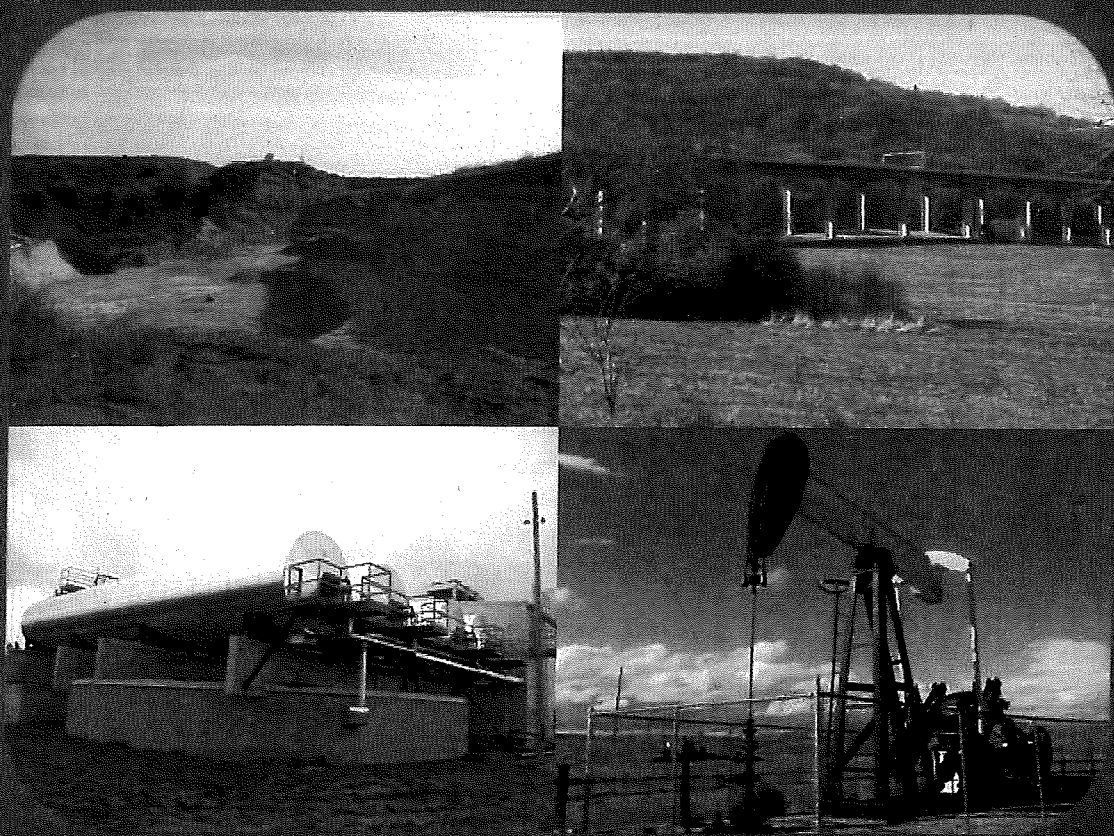


Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Hornícko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství



## **Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí**

Vladimír LAPČÍK

Ostrava 2011



**Vladimír Lapčík**

---

**Oceňování antropogenních vlivů  
na životní prostředí**

---

**Ostrava 2011**

**Název:**        **OCEŇOVÁNÍ ANTROPOGENNÍCH VLIVŮ NA ŽIVOTNÍ  
PROSTŘEDÍ**

**Autor:**        **prof. Ing. Vladimír LAPČÍK, CSc.**

**Recenzenti:**   **doc. Ing. Rudolf BÁLEK, CSc. – FE ČVUT Praha**  
                     **doc. Ing. Jiří ROZMAN, CSc. – FE VUT Brno**

**Vydavatel:**    **VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA,**  
                     **2011 Ostrava**

**©**                **Vladimír Lapčík, 2011**

**ISBN**           **978-80-248-2440-6**



## Obsah

|                                                                                                              | strana    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Úvod</b> .....                                                                                            | <b>4</b>  |
| <b>1. Přírodní a antropogenní faktory</b> .....                                                              | <b>5</b>  |
| 1.1 Přírodní faktory .....                                                                                   | 5         |
| 1.1.1 Změny kosmických vlivů, změny vlastností atmosféry a zemského albeda.....                              | 5         |
| 1.1.2 Globální klimatické změny .....                                                                        | 10        |
| 1.1.3 Zemětřesení, sopečná činnost .....                                                                     | 16        |
| 1.1.4 Radioaktivita prostředí.....                                                                           | 17        |
| 1.1.4.1 Přehled nejdůležitějších částic ionizujícího záření.....                                             | 17        |
| 1.1.4.2 Zdroje záření v životním prostředí .....                                                             | 18        |
| 1.1.4.3 Základní veličiny a jednotky záření .....                                                            | 19        |
| 1.1.5 Biologické faktory .....                                                                               | 20        |
| 1.1.5.1 Vývoj živých organismů .....                                                                         | 20        |
| 1.1.5.2 Živé buňky .....                                                                                     | 20        |
| 1.1.5.3 Fotosyntéza .....                                                                                    | 20        |
| 1.1.5.4 Život je dobře adaptován.....                                                                        | 21        |
| 1.1.5.5 Podoba zemského ovzduší a klimatu .....                                                              | 21        |
| 1.1.5.6 Stálost podmínek.....                                                                                | 22        |
| 1.2 Antropogenní faktory .....                                                                               | 22        |
| 1.2.1 Způsob a objem čerpání přírodních zdrojů .....                                                         | 22        |
| 1.2.2 Emitování odpadů do životního prostředí.....                                                           | 24        |
| 1.2.2.1 Produkce odpadů.....                                                                                 | 24        |
| 1.2.2.2 Skladba produkováných komunálních odpadů.....                                                        | 25        |
| 1.2.2.3 Vliv odpadového hospodářství na životní prostředí.....                                               | 27        |
| 1.2.3 Zásahy do krajiny.....                                                                                 | 28        |
| 1.2.4 Snižování biologické rozmanitosti a introdukce nežádoucích<br>cizích druhů do ekosystémů krajiny ..... | 29        |
| Literatura (kap. 1) .....                                                                                    | 30        |
| <b>2. Sociální aspekty hodnocení</b> .....                                                                   | <b>32</b> |
| 2.1 Sociologické aspekty.....                                                                                | 32        |
| 2.2 Medicínsko-ekologické aspekty .....                                                                      | 32        |
| 2.2.1 Toxické látky v potravinách.....                                                                       | 35        |
| 2.2.1.1 Toxické prvky .....                                                                                  | 35        |
| 2.2.1.2 Organické kontaminanty .....                                                                         | 36        |
| 2.2.2 Analýza zdravotních rizik v životním prostředí.....                                                    | 36        |
| 2.2.2.1 Identifikace nebezpečnosti .....                                                                     | 36        |
| 2.2.2.2 Charakteristika nebezpečnosti.....                                                                   | 36        |
| 2.2.2.3 Hodnocení expozice .....                                                                             | 37        |
| 2.2.2.4 Charakteristika rizika .....                                                                         | 37        |
| 2.2.2.5 Hodnocení zdravotních rizik při posuzování vlivů na životní prostředí.....                           | 38        |
| 2.3 Demo-sociální aspekty .....                                                                              | 43        |
| Literatura (kap. 2) .....                                                                                    | 44        |
| <b>3. Ekonomické aspekty hodnocení</b> .....                                                                 | <b>45</b> |
| 3.1 Ekonomické hodnocení přírodních zdrojů .....                                                             | 45        |
| 3.2 Makroekonomika a životní prostředí .....                                                                 | 47        |
| 3.2.1 Hrubý domácí produkt .....                                                                             | 47        |
| 3.2.2 Investice na ochranu životního prostředí .....                                                         | 49        |
| 3.3 Hodnocení škod na životním prostředí.....                                                                | 51        |
| Literatura (kap. 3) .....                                                                                    | 53        |

|                                                                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. Hodnocení impaktu na životní prostředí.....</b>                                                                    | <b>55</b>  |
| 4.1 Způsoby a metody predikce impaktu .....                                                                              | 57         |
| 4.2 Proces predikce impaktu .....                                                                                        | 60         |
| 4.3 Kritéria.....                                                                                                        | 63         |
| 4.4 Určování hodnot rel. důl. parametrů metodou párového porovnání podle D.Fullera ..                                    | 65         |
| 4.5 Určování hodnot kvalitativních multiplikátorů.....                                                                   | 67         |
| 4.6 Metoda totálního ukazatele kvality prostředí .....                                                                   | 73         |
| 4.7 Základní katalog kritérií a ukazatelů pro posouzení impaktu .....                                                    | 76         |
| 4.8 Příklady aplikace rozhodovací analýzy .....                                                                          | 77         |
| Literatura (kap. 4) .....                                                                                                | 81         |
| <b>5. Proces posuzování vlivů na životní prostředí.....</b>                                                              | <b>82</b>  |
| 5.1 Právní úprava procesu posuzování vlivů na životní prostředí v zahraničí .....                                        | 82         |
| 5.1.1 Legislativa v USA.....                                                                                             | 82         |
| 5.1.2 Legislativa v Evropské unii .....                                                                                  | 83         |
| 5.1.3 Mezinárodní dohody .....                                                                                           | 83         |
| 5.1.3.1 Aarhuská úmluva .....                                                                                            | 83         |
| 5.1.3.2 Espoo úmluva.....                                                                                                | 84         |
| 5.2 Právní úprava procesu posuzování vlivů na životní prostředí v České republice .....                                  | 85         |
| 5.2.1 Zákon č. 244/1992 Sb. ....                                                                                         | 85         |
| 5.2.2 Zákon č. 100/2001 Sb. ....                                                                                         | 85         |
| 5.3 Strategické posuzování vlivů na životní prostředí (SEA) .....                                                        | 93         |
| 5.4 Mezinárodní posuzování vlivů na životní prostředí.....                                                               | 93         |
| 5.5 Další související procesy .....                                                                                      | 94         |
| 5.5.1 Hodnocení vlivů záměrů na soustavu chráněných území evropského významu<br>(na lokality soustavy Natura 2000) ..... | 94         |
| 5.5.2 IPPC .....                                                                                                         | 95         |
| 5.5.3 Hodnocení vlivů na veřejné zdraví .....                                                                            | 96         |
| Literatura (kap. 5) .....                                                                                                | 96         |
| <b>6. Metodika hodnocení interakcí průmyslu a životního prostředí.....</b>                                               | <b>97</b>  |
| 6.1 Hodnocení interakcí průmyslu a životního prostředí .....                                                             | 98         |
| 6.2 Těžba nerostných surovin a životní prostředí.....                                                                    | 100        |
| 6.3 Energetika a životní prostředí.....                                                                                  | 100        |
| Literatura (kap. 6) .....                                                                                                | 101        |
| <b>7. Vliv těžby nerostných surovin a koksárenství na životní prostředí.....</b>                                         | <b>102</b> |
| 7.1 Hlubinná těžba a její vliv na životní prostředí .....                                                                | 102        |
| 7.1.1 Vliv hlubinného dobývání na povrch.....                                                                            | 103        |
| 7.1.2 Hlušínové hospodářství.....                                                                                        | 104        |
| 7.1.3 Důlní a odpadní vody .....                                                                                         | 105        |
| 7.1.3.1 Důlní vody.....                                                                                                  | 105        |
| 7.1.3.2 Odpadní vody z úpraven .....                                                                                     | 106        |
| 7.1.4 Znečišťování ovzduší .....                                                                                         | 107        |
| 7.1.5 Rekultivace .....                                                                                                  | 108        |
| 7.2 Povrchová těžba a její vliv na životní prostředí .....                                                               | 110        |
| 7.2.1 Zábor půdy .....                                                                                                   | 112        |
| 7.2.2 Vlivy na povrchové a podzemní vody a na půdu .....                                                                 | 112        |
| 7.2.3 Hluk .....                                                                                                         | 113        |
| 7.2.4 Vlivy na krajinný ráz .....                                                                                        | 113        |
| 7.2.5 Emisně – imisní situace .....                                                                                      | 113        |
| 7.3 Koksárenství.....                                                                                                    | 115        |
| 7.3.1 Koksárenská technologie .....                                                                                      | 115        |
| 7.3.2 Vliv koksárenství na životní prostředí .....                                                                       | 119        |
| 7.3.2.1 Emise.....                                                                                                       | 119        |

|                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.3.2.2 Odpadní vody .....                                                              | 121        |
| 7.3.2.3 Odpady .....                                                                    | 122        |
| Literatura (kap. 7) .....                                                               | 123        |
| <b>8. Vliv energetiky na životní prostředí .....</b>                                    | <b>125</b> |
| 8.1 Tepelná energetika .....                                                            | 125        |
| 8.1.1 Přeměna energie v tepelné elektrárně .....                                        | 125        |
| 8.1.2 Parní kotle .....                                                                 | 128        |
| 8.1.2.1 Cesta paliva .....                                                              | 130        |
| 8.1.2.2 Cesta spalovacího vzduchu .....                                                 | 130        |
| 8.1.2.3 Cesta spalin .....                                                              | 130        |
| 8.1.2.4 Cesta pracovní látky .....                                                      | 131        |
| 8.1.3 Typy parních kotlů .....                                                          | 134        |
| 8.1.4 Působení tepelné energetiky na životní prostředí .....                            | 136        |
| 8.1.4.1 Emise .....                                                                     | 136        |
| 8.1.4.2 Odpadní vody .....                                                              | 138        |
| 8.1.4.3 Odpady .....                                                                    | 138        |
| 8.1.5 Technologie pro snižování plynných emisí z energetiky .....                       | 139        |
| 8.1.5.1 Odsiřování .....                                                                | 140        |
| 8.1.5.2 Denitrifikace .....                                                             | 145        |
| 8.1.5.3 Redukce oxidu uhličitého .....                                                  | 147        |
| 8.2 Jaderná energetika .....                                                            | 148        |
| 8.2.1 Jaderná elektrárna .....                                                          | 148        |
| 8.2.1.1 Jaderné reaktory .....                                                          | 150        |
| 8.2.1.2 Jaderný palivový cyklus .....                                                   | 152        |
| 8.2.1.3 Hospodaření s vyhořelým palivem .....                                           | 153        |
| 8.2.2 Působení jaderné energetiky na životní prostředí .....                            | 156        |
| 8.2.2.1 Radioaktivní odpady z palivového cyklu jaderných elektráren .....               | 156        |
| 8.2.2.2 Radioaktivní odpady z anomálních stavů a z likvidace jaderných elektráren ..... | 158        |
| 8.2.2.3 Tepelné znečištění .....                                                        | 158        |
| 8.3 Obnovitelné zdroje energie .....                                                    | 161        |
| 8.3.1 Vodní elektrárny .....                                                            | 162        |
| 8.3.1.1 Rozdělení vodních turbín .....                                                  | 163        |
| 8.3.1.2 Vztahy mezi spádem, průtokem, výkonem a účinností vodních turbín .....          | 166        |
| 8.3.1.3 Vliv vodních elektráren na životní prostředí .....                              | 166        |
| 8.3.1.4 Malé vodní elektrárny a jejich vliv na životní prostředí .....                  | 168        |
| 8.3.2 Větrné elektrárny .....                                                           | 170        |
| 8.3.2.1 Technické řešení větrných elektráren .....                                      | 171        |
| 8.3.2.2 Výpočet výkonu větrné elektrárny .....                                          | 177        |
| 8.3.2.3 Vliv větrných elektráren na životní prostředí .....                             | 178        |
| 8.3.3 Bioplynové stanice .....                                                          | 184        |
| 8.3.3.1 Technické řešení bioplynových stanic .....                                      | 186        |
| 8.3.3.2 Vliv bioplynových stanic na životní prostředí .....                             | 191        |
| 8.3.4 Sluneční energie .....                                                            | 196        |
| 8.3.4.1 Sluneční elektrárny .....                                                       | 196        |
| 8.3.4.2 Vliv slunečních elektráren na životní prostředí .....                           | 203        |
| Literatura (kap. 8) .....                                                               | 206        |
| <b>9. Závěr .....</b>                                                                   | <b>209</b> |
| <b>Seznam použitých symbolů a zkratk .....</b>                                          | <b>210</b> |
| Seznam použitých chemických vzorců, značek a zkratk .....                               | 211        |
| Vybrané jednotky .....                                                                  | 213        |
| Literatura .....                                                                        | 214        |
| Seznam obrázků, tabulek a grafů .....                                                   | 214        |

# Úvod

Výstavba velkých staveb představuje vždy určitý negativní vliv na životní prostředí. Realizací opatření, navržených k prevenci, eliminaci, popř. kompenzaci negativních účinků na životní prostředí, lze tento vliv minimalizovat, avšak nikoliv úplně vyloučit. K určení velikosti a specifikace vlivu jsou v současné době používány legislativně stanovené metodické postupy, kterými je nutno většinu velkých staveb posoudit v době jejich přípravy (před samotným územním řízením a stavebním povolením). Dopad staveb na životní prostředí je hodnocen zejména podle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí (EIA), ve znění pozdějších předpisů. Nicméně je možno uplatnit i další metodiky (např. hodnocení environmentálních rizik, environmentální audit, hodnocení životního cyklu).

Náplní předložené monografie je problematika oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí, která je nyní u nás i ve světě prakticky realizována procesem posuzování vlivů na životní prostředí.

Výstavba liniových staveb, staveb průmyslových a těžebních technologií a dalších velkých staveb je řazena k aktivitám, které v mnoha případech ovlivňují přírodní prostředí v krajině jako celku ve značném rozsahu, zejména častokrát z hlediska záboru velkých ploch pozemků (zvláště se tak děje při povrchové důlní činnosti), značného objemu plyných i tuhých emisí do ovzduší, emisí znečišťujících látek do vod a emisí hluku do okolního prostředí. U velkých průmyslových celků, liniových staveb, velkých obchodních center, velkých skládek odpadu a specifických energetických zařízení (větrné elektrárny) je třeba důsledně zvážit i vliv stavby na krajinný ráz.

V úvodních kapitolách monografie (1 až 4) jsou uvedena základní teoretická východiska v oblasti oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí (přírodní a antropogenní faktory, sociální aspekty hodnocení, ekonomické aspekty hodnocení a hodnocení impaktu na životní prostředí). Kapitola 5 je věnována právní úpravě procesu posuzování vlivů na životní prostředí v České republice a v zahraničí (právní úprava formalizuje postupy při oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí).

Kapitola 6 je věnována metodice hodnocení interakcí průmyslu a životního prostředí, která je prakticky demonstrována na posuzování vlivů těžby nerostných surovin a energetiky na životní prostředí (kap. 7 a 8). Tato odvětví byla vybrána jako charakteristická v oblasti těžkého průmyslu z hlediska značného dopadu na životní prostředí.

Monografie poskytuje ucelený přehled o problematice posuzování vlivů na životní prostředí s využitím nejnovějších poznatků a zkušeností. Těmto záměrům byl přizpůsoben i výběr podkladových materiálů. Autor monografie čerpal nejen z časopiseckých článků, knih a publikací prezentovaných na konferencích, ale také z oznámení, dokumentací a posudků, které zpracoval jako autorizovaná osoba v rámci procesu posuzování vlivů na životní prostředí v minulých osmnácti letech.

Předpokládám, že monografie jako studijní text bude užitečná pro studenty technických univerzit a svým uceleným pojetím poslouží i zájemcům z odborné praxe.

Vladimír Lapčík

Ostrava, květen 2011

# 1 Přírodní a antropogenní faktory

Životní prostředí ovlivňují **přírodní** a **antropogenní faktory**.

Mezi **přírodní faktory** je možno zařadit změny kosmických vlivů, změny vlastností atmosféry a zemského albeda, globální klimatické změny, zemětřesení a sopečnou činnost, přirozenou radioaktivitu prostředí a biologické faktory.

Mezi **antropogenní faktory** počítáme zejména způsob a objem čerpání přírodních zdrojů, emitování odpadů všeho druhu do životního prostředí, zásahy do krajiny a snižování biologické rozmanitosti a introdukci nežádoucích cizích druhů do ekosystémů krajiny.

## 1.1 Přírodní faktory

### 1.1.1 Změny kosmických vlivů, změny vlastností atmosféry a zemského albeda

*Změny kosmických vlivů* jsou do značné míry závislé na působení Slunce, které je zdrojem slunečního záření jak pro naši planetu, tak pro ostatní planety sluneční soustavy [1]. Sluneční záření má prvořadý význam pro přirozený oběh látek v přírodě, a tím i pro zachování života na Zemi. Slunce, naše denní hvězda vzdálená od Země cca 150 mil. km, je zdrojem elektromagnetického záření, jež se procesem fotosyntézy transformuje v energii chemickou. Transformace sluneční energie v energii tepelnou je podmínkou hydrologického cyklu na Zemi, jenž je neustále obnovujícím se zdrojem sladké vody nad kontinenty a světovým oceánem.

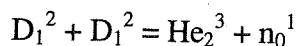
*Základní údaje o Slunci:*

|                                  |                                                             |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| vzdálenost od Země:              | mění se během roku od 147 do 152.10 <sup>6</sup> km         |
| průměr:                          | 1,38.10 <sup>6</sup> km                                     |
| objem:                           | 2,7.10 <sup>24</sup> km <sup>3</sup>                        |
| hmotnost:                        | 1,99.10 <sup>30</sup> kg                                    |
| průměrná hustota:                | 1,4.10 <sup>3</sup> km.m <sup>-3</sup>                      |
| tlak ve středu:                  | 2,10 <sup>10</sup> MPa                                      |
| teplota na povrchu:              | 6 000 K                                                     |
| teplota ve středu:               | 13,10 <sup>6</sup> K                                        |
| zářivý tok:                      | 3,8.10 <sup>23</sup> kW                                     |
| celková zářivá energie (uvnitř): | 2,8.10 <sup>40</sup> J                                      |
| poloha v galaxii:                | 3.10 <sup>17</sup> km (30 000 sv.r.) od středu galaxie      |
| pohyb:                           | obíhá rychlostí 250 km.s <sup>-1</sup> kolem středu galaxie |
| rotace:                          | otáčí se kolem vlastní osy asi 1x za 4 týdny:               |
|                                  | o na rovníku za 27 dnů                                      |
|                                  | o u pólů za 30 dnů                                          |
| stáří:                           | 5 miliard let                                               |

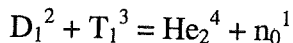
Slunce je obrovský termonukleární reaktor. Je to reaktor velmi dokonalý, neboť se reguluje automaticky, takže nemůže explodovat a zničit život na Zemi. Přeměna vodíku v hélium (viz rovnice dále), probíhající už pět miliard let v hlubokém nitru Slunce, je nejúčinnější jadernou reakcí vůbec. Slunce, které je téměř věčným zdrojem energie, neboť

jeho zásoby vodíku stačí ještě na deset miliard roků, dodává naší Zemi obrovské množství energie (180 000 TJ každou sekundu, což je  $180\,000\text{ TW} = 180\,000 \cdot 10^{12}\text{ W}$ ). Dodává víc jak 20 000x více energie než celé lidstvo spotřebuje. Energie dodaná Sluncem ve formě záření, je energií vysoce kvalitní, neboť ji lze s vysokou účinností přeměňovat v jiné formy energie. Navíc je to energie naprosto čistá, protože neznečišťuje prostředí chemicky ani radioaktivitou.

**Termojadernou syntézu** probíhající v hlubokém nitru Slunce je možno popsat následujícími rovnicemi:

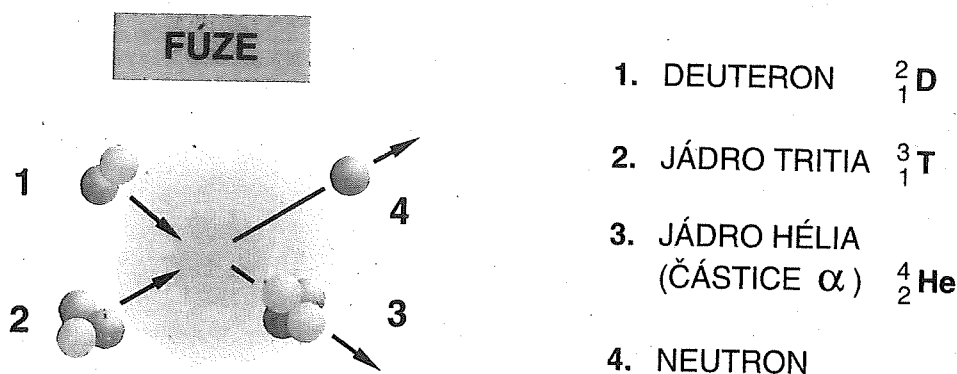


$$Er = 3,26\text{ MeV}$$



$$Er = 17,6\text{ MeV}$$

Pozn.: V případě termojaderné syntézy v nitru Slunce se jedná o přeměnu těžších izotopů vodíku (deuteria – D a tritia – T) v hélium (He). Obecné schéma jaderné fúze je patrné z obr. 1.1.



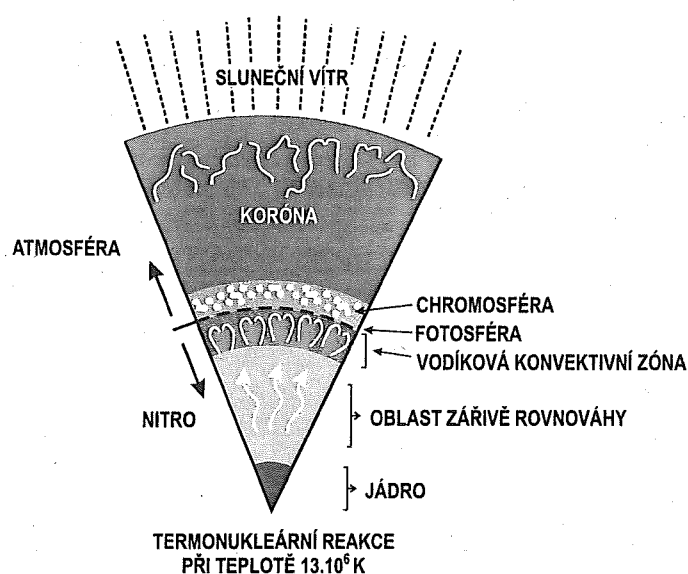
Obr. 1.1 Obecné schéma jaderné fúze [13]

**Sluneční aktivita se mění s periodou 11 let.** Oproti tzv. klidnému slunci vznikají sluneční skvrny, *protuberance* (oblaka zkondenzované koronární hmoty, pohybující se podél magnetických siločar) a další jevy, které doprovázejí změny magnetického pole Slunce, silný tok elektronů apod. Elektrony zasahují naši Zemi, na které způsobují poruchy zemského magnetického pole, vyvolávají polární záři, mohou mít vliv na počasí apod. (viz dále kap. 1.1.2). Jsou tak vazbou, jíž se sluneční aktivita přenáší na Zemi. Proto se také s periodou 11 let částečně mění podmínky života na Zemi.

Schéma stavby Slunce je uvedeno na obrázku 1.2. Nitrem rozumíme tu část, z níž nemůže uniknout ani jediný foton, takže nitro je neviditelné. Naopak atmosféra vyzařuje přímo do prostoru, takže její jednotlivé vrstvy, tedy fotosféru, chromosféru a korónu, můžeme pozorovat.

Přeměna vodíku v hélium je, jak již bylo uvedeno, zdrojem veškeré sluneční energie. Takových přeměn proběhne v nitru Slunce každou sekundu obrovské množství ( $10^{38}$ ). Při tom se přemění přibližně půl miliardy tun vodíku v hélium a uvolní energie  $3,8 \cdot 10^{26}\text{ J}$  za sekundu. Výkon Slunce je tedy  $3,8 \cdot 10^{26}\text{ W}$  (wattů) a nazývá se zářivost.

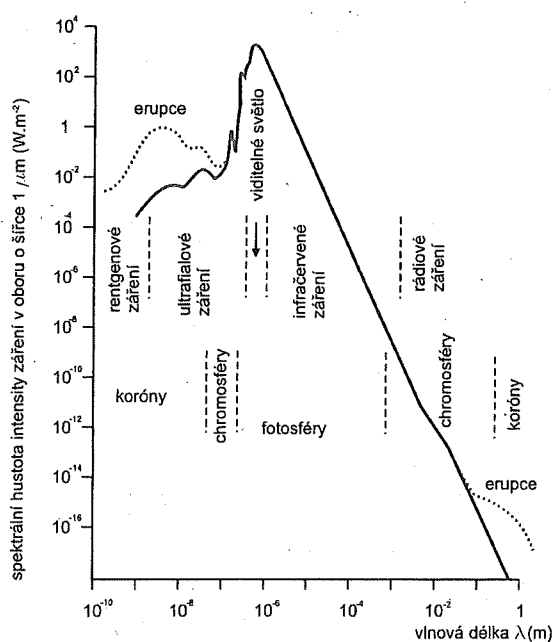
Energie uvolněná v hlubokém nitru Slunce má nejdříve formu **fotonů  $\gamma$** , pak **rentgenového velmi nahuštěného záření**. Toto energetické záření pozvolna prosakuje oblastí zářivé rovnováhy (viz obr. 1.2) k povrchu Slunce, přitom se mění v **záření ultrafialové a světelné**. Původní foton  $\gamma$  uvolněný u středu Slunce se postupně (za déle než milion roků) přemění na několik set tisíc fotonů světelných vyzářených povrchem Slunce (fotosférou).



Obr. 1.2 Stavba Slunce

Převážná většina slunečního záření je ve formě světla a blízkého infračerveného záření. Je to základní složka a s časem kolísá jen nepatrně. Pro život a jako zdroj veškeré energie na Zemi je tato složka slunečního záření naprosto nepostradatelná [1].

Poměrně malá část slunečního záření pochází z velmi řídkých vrstev nad fotosférou - z chromosféry a koróny. Sestává z fotonů rentgenových, ultrafialových a rádiového záření na různých vlnových délkách. Je to proměnná složka slunečního záření, jejíž intenzita závisí na sluneční činnosti.



Obr. 1.3 Přehled jednotlivých typů záření plynoucí ze složení a činnosti Slunce [7]



Pro úplnost je nutno se zmínit o záření korpuskulárním, sestávajícím z protonů, částic, jader a různých prvků a elektronů, tedy vesměs částic elektricky nabitých.

Nazýváme je slunečním větrem. Sluneční vítr je nebezpečné záření, před nímž však biosféru chrání zemská magnetosféra.

Původ jednotlivých typů záření plynoucí ze složení a činnosti Slunce je znázorněn na obrázku 1.3. Přehled elektromagnetického záření platný i pro sluneční záření je uveden v tabulce 1.1.

Je tedy zřejmé, že pro přenos energie ze Slunce na Zemi jsou zdaleka nejdůležitější fotony, a to především fotony světelné a krátkovlnné infračervené (tj. infračervené záření od 700 nm do 1 600 nm). Fotony proměnné složky slunečního záření mají pro přenos energie mnohem menší význam, jednak proto, že představují jen malou část sluneční zářivosti, ale také proto, že jsou pohlceny v zemské ionosféře (rentgenové záření - ve výškách nad 50 km) a ozonoféře (ultrafialové záření - ve výškách nad 20 km). Ani dlouhé rádiové vlny ze Slunce neproniknou ionosférou k zemskému povrchu.

Tab. 1.1 Rozdělení elektromagnetického záření

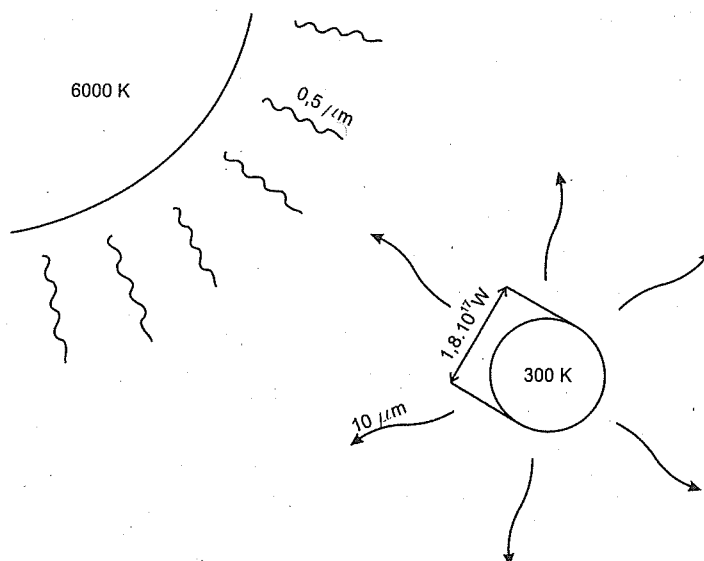
|                      |                              |                        |
|----------------------|------------------------------|------------------------|
| do $5 \cdot 10^{-4}$ | Ultragama paprsky            | Kosmické záření        |
| $10^{-4} - 10^{-2}$  | Tvrdé paprsky □              | Záření □               |
| 0,01 – 0,1 nm        | Měkké paprsky □              | Záření □               |
| 0,1 – 1 nm           | Tvrdé paprsky X              | Záření X (Roentgenovo) |
| 1 – 100 nm           | Měkké paprsky X              | Záření X (Roentgenovo) |
| 14 – 400 nm          | Ultrafialové záření          |                        |
| 380 – 760 nm         | Viditelné světlo             |                        |
| 0,75 – 5 $\mu$ m     | Infračervené světlo          |                        |
| 5 – 340 $\mu$ m      | Tepelné záření               |                        |
| 1 – 100 mm           | Mikrovlny a ultrakrátké vlny |                        |
| 0,1 – 2 m            | Hertzovy vlny                |                        |
| 2 – 100 m            | Velmi krátké a krátké vlny   | Rozhlasové vlny        |
| 200 – 700 m          | Střední vlny                 | Rozhlasové vlny        |
| 1 – 15 km            | Dlouhé vlny                  | Rozhlasové vlny        |
| do 100 km            | Velmi dlouhé vlny            |                        |

Průchodem atmosférou, především troposférou je také značně postižena základní, světelná složka slunečního záření. Na molekulách vzduchu dochází k *Rayleighovu rozptylu*, který postihuje především modré světlo. Proto je obloha modrá a zapadající slunce červené.

Na plochu 1 m<sup>2</sup> kolmo ke slunečním paprskům dopadá vně zemské atmosféry během dne zářivý tok, odpovídající výkonu 1 373 W. Hustota tohoto toku je tzv. *solární konstanta* (1,3736 kW/m<sup>2</sup>).

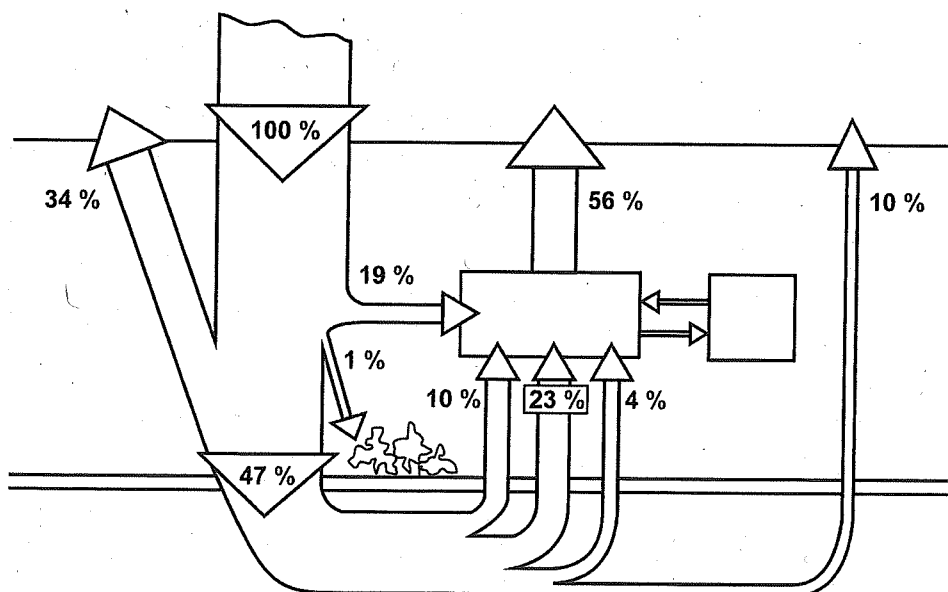
Celkový výkon vyzařovaný Sluncem, jak již bylo uvedeno, činí  $3,8 \cdot 10^{25}$  W. Na Zemi však dopadne jen nepatrná část, asi 180 000 TW. Z toho 34 % (přibližně 60 000 TW) se odráží od atmosféry Země a od mraků (tzv. *albedo Země*) zpět do meziplanetárního prostoru (viz obr. 1.4) a 66 % (zhruba 120 000 TW) je pohlceno jednak atmosférou (19 %) a zemským povrchem (47 %) - viz obr. 1.5. Ze 47 % energie pohlcené zemským povrchem je 1 promile (asi 90 TW) zachyceno fotosyntézou. Z této energie zachycené zelenými rostlinami

a fytoplanktonem žije celá biosféra. Tato energie však není na všech místech Země stejná. V současné době lidé ke svému užívání přímo spotřebují nebo různě ovlivňují 40 % veškeré vyprodukované biomasy.



**Obr. 1.4** Dvě třetiny slunečního záření (přibližně 120 000 TW) jsou pohlceny v zemské atmosféře a povrchem Země [1]

Vysoce kvalitní sluneční světelná energie se transformuje na nekvalitní energii tepelnou a její podstatná část opět Zemi opouští jako infračervené záření s maximální intenzitou kolem vlnové délky 10 μm.



**Obr. 1.5** Rozdělení světelné energie při dopadu na planetu Zemi. Dopadající energie 180 000 TW je označena jako 100 % [1]

Shrneme-li předchozí poznatky, můžeme konstatovat, že spektrální složení slunečního záření dopadajícího na povrch Země, tj. do ekosystémů, je následující:

V průměru asi 9 % představuje *ultrafialové záření* (UV), které má rozsah spektra 290 ÷ 380 nm. Je zachyceno v ionosféře a v pod ní ležící ozónosféře.

Maximum hustoty záření je v *oblasti viditelného záření* (průměrně 45 %). To je oblast mezi 380 ÷ 760 nm. Tomuto rozsahu odpovídá zhruba fotosynteticky aktivní záření (FAR). Jeho spektrální rozsah je dán absorpčními spektry fotosyntetických pigmentů, především chlorofylů. Toto FAR je jediným přímo využitelným zdrojem energie pro primární produkci biomasy, která začíná fotochemickými ději fotosyntézy, a tedy i pro potravní řetězce, jejichž součástí je i člověk.

Asi 46 % slunečního záření dopadajícího na povrch Země má vlnovou délku větší než 750 nm, je to *záření infračervené* (IR). Skládá se z jednotlivých spektrálních pásů, protože bylo v atmosféře selektivně absorbováno vodní párou, oxidem uhličitým, kapičkami v mracích a prachem.

### 1.1.2 Globální klimatické změny

Pojem *skleníkový efekt*, resp. jev se běžně používá k označení dvou rozdílných věcí: *Přírodního skleníkového efektu*, což je skleníkový efekt vyskytující se přirozeně na Zemi, a *přídavného (antropogenního) skleníkového efektu*, jehož původ tkví v lidské činnosti a který s největší pravděpodobností způsobuje globální klimatické změny [2]. Míra významu druhého jevu je předmětem sporů.

Některé současné vědecké poznatky nicméně dokazují, že lidská činnost (produkce skleníkových plynů) klimatický systém Země ovlivňuje. Za skleníkové plyny jsou označovány víceatomové plyny absorbující tepelné záření Země, díky čemuž je ohřívána dolní vrstva atmosféry a zemský povrch. Jsou jimi oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), oxid dusný (N<sub>2</sub>O), částečně a zcela fluorované uhlovodíky (HFC, PFC) a fluorid sírový (SF<sub>6</sub>). Rozhodně nelze zapomínat na vodní páru. Protože každý ze skleníkových plynů má jinou schopnost klima ovlivňovat, existuje pro každý skleníkový plyn tzv. potenciál globálního ohřevu a pro možnosti srovnání se obsah skleníkových plynů uvádí v hodnotě CO<sub>2</sub> ekvivalentní (CO<sub>2</sub> ekv.).

Dnes se statisticky dokazuje globální oteplování a jeho důsledky, dříve se statisticky dokazoval příchod další doby ledové. Záleží tedy na tom, která data a z kterého období se vyberou. Nicméně záleží také na interpretaci těchto dat. Skleníkový efekt umožňuje na Zemi takovou teplotu, při níž je možný život. Přesto byla v různých geologických dobách období chladnější i teplejší. Zdá se, že problém je někde jinde: Chladnější období se totiž opakují v pravidelných intervalech (méně než čtvrt miliardy let) a v poměru k teplejším obdobím jsou mnohonásobně kratší [3].

Doby ledové ve čtvrtohorách byly podle odborníků způsobeny převážně kosmickými příčinami. Přitom teplota kolísala a v meziledových dobách byla často i vyšší, než je dnes. V současnosti žijeme v meziledové době, která je ale delší, než ty předchozí. A zhruba před 6 000 lety bylo o několik stupňů Celsia tepleji, než je dnes.

Jedním z plynů, které způsobují skleníkový efekt, je oxid uhličitý. Do atmosféry se dostává při sopečné činnosti, při dýchání organismů, při rozkladu jejich těl a také při spalování fosilních paliv (antropogenní vliv). Z atmosféry naopak ubývá při růstu organismů, při ukládání organických látek do sedimentu a při tvorbě vápencových schránek (korálové útesy apod.). Jde tedy o přirozený koloběh uhlíku v přírodě. Lidskou činností jeho obsah v atmosféře stoupá. Měla by se tedy i zvyšovat teplota, otázkou však zůstává, kolik

toho v současnosti způsobuje oxid uhličitý a kolik jiné faktory a nakolik se jedná o přirozené oteplování v daném období.

Pokud se týká zvyšování teplot, je nutné si uvědomit, že jsou předkládána průměrná data. Jde totiž také o to, jestli se **denní a roční křivka posune nahoru jako celek**, nebo jestli bude ve **dne** a v **létě tepleji**. Poslední možnost je **oteplení v zimě** a **vyšší teploty v noci** (podle některých vědců se oteplování projevuje právě takto).

Jaká je průměrná teplota naší planety? Kdyby byla přesně zjištěna, věděli bychom, jaké můžeme očekávat případné změny teplot. Geologické období zvané čtvrtohory patří k chladným anomáliím – ve třetihorách rostly i u nás subtropické pralesy. Vzhledem ke stáří Země je určení průměrné teploty za posledních sto, nebo i tisíc let vlastně jen náhodně vybraným číslem (viz tab. 1.2). Klimatologové operují s průměrnou teplotou zhruba za sto, v některých případech za dvě stě let. Nejsprávnější by bylo asi zprůměrovat teploty od devonu, kdy došlo k pokrytí pevnin rostlinstvem. To by však znamenalo průměrnou teplotu asi o 12 °C vyšší než dnes.

Tab. 1.2 Klimatický vývoj od konce poslední doby ledové [3]

| Čas                         | Teplota                   | Hladina moře                       | Ledovce                                       |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| - 10 000                    | stoupá                    | stoupá                             | ustupují                                      |
| - 5800                      | o 2°C tepleji než dnes    | stoupá                             | v Norsku a od středního Švédska ještě ledovce |
| - 5800 ÷ - 4400             | až o 3°C tepleji než dnes | asi 3 m nad dnešní úrovní          | ledová tříšť v Severním moři mizí             |
| -2450 ÷ - 2050              | ochlazení                 | asi 4 m pod dnešní úrovní (??)     | ledovce postupují                             |
| do - 750                    | postupné ochlazování      |                                    |                                               |
| - 750 ÷ - 150               | oteplování                |                                    |                                               |
| - 150 ÷ + 350               | ochlazení                 | asi 2 m pod dnešní úrovní          | ledovce postupují                             |
| + 350 ÷ + 1150              | oteplení                  | 0,5 m nad dnešní úrovní            | na Aljašce o 2 ÷ 3°C tepleji než dnes         |
| 1150 ÷ 1890                 | ochlazení                 |                                    |                                               |
| 1890 ÷ 1940                 | oteplení                  |                                    | ústup ledovců                                 |
| 1940 ÷ 1970                 | ochlazení                 |                                    | pokles teplot na Sibiři a v Kanadě o 2°C      |
| od roku 1970 do současnosti | oteplení                  | hladina se zvyšuje až o centimetry | ústup ledovců                                 |

Časopis National Geographic prezentoval následující údaje [12]:

Před průmyslovou revolucí dosahovala koncentrace oxidu uhličitého v zemské atmosféře asi 280 ppm (parts per million). Bylo to dobré množství - dobré v tom smyslu, že jsme na něj byli zvyklí. Jelikož molekulární struktura oxidu uhličitého udržuje u povrchu planety teplo, které by se jinak vracelo do vesmíru, rozvíjela se civilizace ve světě, jehož teplotu určovalo právě toto množství. Průměrná globální teplota odpovídala zhruba 14 °C. Tato skutečnost rozhodla, kde postavíme města, jaké plodiny budeme pěstovat a konzumovat, na kterých vodních zdrojích budeme závislí, a dokonce i to, jak budeme ve vyšších zeměpisných šířkách reagovat na změny počasí a střídání ročních období.

Tab. 1.3 Průměrné složení přirozené atmosféry koncem 50. let

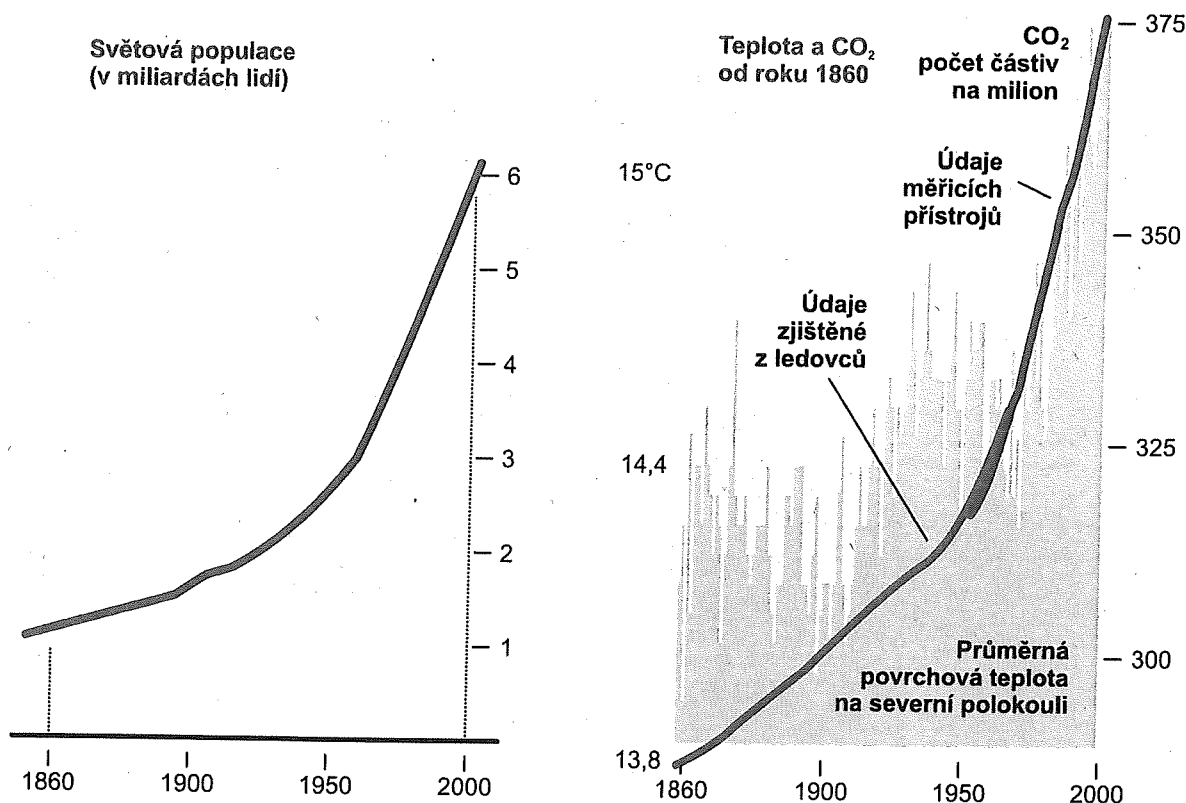
| Hlavní plynné složky   |                  | suchý vzduch |                   |              | vlhký vzduch |                   |              |
|------------------------|------------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
|                        |                  | obj.%        | g/m <sup>3</sup>  | hmot.%       | obj.%        | g/m <sup>3</sup>  | hmot.%       |
| dusík                  | N <sub>2</sub>   | 78,09        | 895               | 75,54        | 75,65        | 867               | 74,08        |
| kyslík                 | O <sub>2</sub>   | 20,94        | 274               | 23,13        | 20,29        | 265               | 22,64        |
| voda                   | H <sub>2</sub> O |              |                   |              | 3,12         | 23                | 1,97         |
| argon                  | Ar               | 0,93         | 15,2              | 1,28         | 0,90         | 14,7              | 1,26         |
| <b>celkem</b>          |                  | <b>99,96</b> |                   | <b>99,95</b> | <b>99,96</b> |                   | <b>99,95</b> |
| Vedlejší plynné složky |                  | suchý vzduch |                   |              | vlhký vzduch |                   |              |
|                        |                  | obj.ppm      | mg/m <sup>3</sup> | hmot.ppm     | obj.ppm      | mg/m <sup>3</sup> | hmot.ppm     |
| oxid uhličitý          | CO <sub>2</sub>  | 315          | 567               | 478          | 305          | 549               | 469          |
| neon                   | Ne               | 18           | 14,9              | 12,6         | 17,4         | 14,4              | 12,3         |
| hélium                 | He               | 5,2          | 0,85              | 0,71         | 5,0          | 0,82              | 0,7          |
| metan                  | CH <sub>4</sub>  | 1,0          | 0,65              | 0,55         | 0,97         | 0,63              | 0,54         |
| krypton                | Kr               | 1,0          | 3,43              | 2,89         | 0,97         | 3,32              | 2,83         |
| oxid dusný             | N <sub>2</sub> O | 0,5          | 0,90              | 0,76         | 0,49         | 0,87              | 0,74         |
| vodík                  | H <sub>2</sub>   | 0,5          | 0,04              | 0,03         | 0,49         | 0,04              | 0,03         |
| oxid uhelnatý          | CO               | 0,1          |                   | 0,20         |              |                   |              |
| xenon                  | Xe               | 0,08         | 0,43              | 0,36         | 0,08         | 0,41              | 0,35         |
| ozón                   | O <sub>3</sub>   | 0,02         |                   | 0,06         |              |                   |              |
| amoniak                | NH <sub>3</sub>  | 0,01         |                   | 0,01         |              |                   |              |
| oxid dusičitý          | NO <sub>2</sub>  | 0,001        |                   | 0,003        |              |                   |              |
| oxid siřičitý          | SO <sub>2</sub>  | 0,0002       |                   | 0,0009       |              |                   |              |
| organické páry         |                  | 0,02         |                   |              | 0,02         |                   |              |

Jakmile se kvůli získávání energie začalo spalovat uhlí, plyn a ropa, množství 280 ppm začalo narůstat. Při prvních měřeních na konci 50. let minulého století se už koncentrace CO<sub>2</sub> zvýšila na 315 ppm (viz tab. 1.3). Nyní je to zhruba 380 ppm (viz obr. 1.6) a obsah CO<sub>2</sub> v atmosféře roste zhruba o dvě ppm ročně. Předpokládá se, že teplo navíc (několik wattů na metr čtvereční zemského povrchu), které CO<sub>2</sub> zachytí, stačí k značnému oteplení planety. Již nyní se teplota zvýšila o více než půl stupně Celsia.

Vlivy dalšího růstu koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře nelze přesně určit, nicméně někteří odborníci předpokládají, že teplota dál poroste, protože oteplení se v atmosféře projeví až po čase. To by ovšem znamenalo, že globální klimatickou změnu nejsme schopni zastavit.

V několika posledních letech se objevila řada studií, podle nichž bychom neměli překročit hranici 450 ppm CO<sub>2</sub>. Pokud se tato hodnota překročí, v následujících stoletích zřejmě roztaje ledová pokrývka v Grónsku a západní Antarktidě a hladiny oceánů se pak značně zvednou. Nicméně je údaj 450 ppm stále jen odhadem (nezahrnuje pestré směs dalších méně významných plynů jako metan a oxidy dusíku). Stane se však bodem, kterému se lidstvo bude snažit vyhnout. Bodem, který se rychle blíží. Budou-li koncentrace nadále

stoupat o dvě ppm za rok, zbývá nám pouhých 35 let. Tolik tedy článek [12], který zveřejnil renomovaný časopis National Geographic.



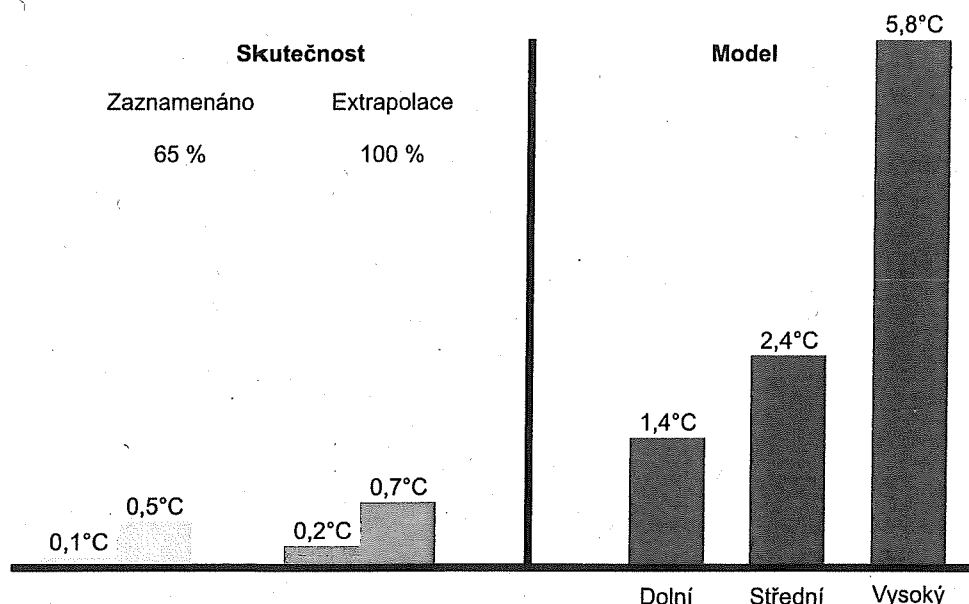
**Obr. 1.6** Koncentrace oxidu uhličitého (v ppm) v zemské atmosféře od roku 1860 do roku 2000. Vývoj světové populace v letech 1860 až 2000 [12]

Jak citlivé je globální podnebí na růst koncentrací antropogenních skleníkových plynů? Chceme-li na tuto otázku odpovědět, je asi nejlepší srovnat naměřené údaje o oteplování s údaji předpovídanými [4]. Nárůst koncentrace skleníkových plynů a s tím spojený případný potenciál globálního oteplování je možné měřit. Začneme-li s indexem koncentrace skleníkových plynů v hodnotě 100 v roce 1950, pak hodnota tohoto indexu by dnes přibližně obnášela 152. Vážený průměr potenciálu globálního oteplování (GWP) by byl 166, oproti modelem předpokládanému oteplení v hodnotě 200 (tj. dvojnásobku [14]). Naměřená hodnota oteplení zemského povrchu v minulém století je asi 0,7 °C, z čehož určitá část je dána přirozenými příčinami souvisejícími s koncem malé doby ledové v polovině 19. století.

Oteplení povrchu, které bylo zaznamenáno v 1. polovině 20. století (přibližně polovina celkového oteplení), velmi pravděpodobně obsahovalo výrazně neantropogenní prvek. Předpokládá se, že oteplení před druhou světovou válkou bylo způsobeno především sluneční činností (vědecký zájem o krátkodobé působení sluneční činnosti na podnebí trvá i nadále – viz dále).

Odhadované horní rozpětí antropogenního oteplování od roku 1980 je 75 % celkově zaznamenaného povrchového oteplení. Thomas Crowley [15] uvádí, že podle zprávy IPCC z roku 2001 byla většina povrchového oteplování za posledních 50 let dost pravděpodobně antropogenní povahy. Tento údaj je nicméně stále diskutován vzhledem k posledním

naměřeným údajům, které ukazují, že přirozená variabilita a s tím spojené oteplování je větší, než se původně předpokládalo. Jiné rovnocenné odhady antropogenních vlivů se blíží k nízkým 50 %. Zvětšení odhadovaného antropogenního vlivu ze zaznamenaných 66 % na hypotetických 100 % by znamenalo oteplení o necelý 1 °C, pokud by ke zdvojnásobení potenciálu došlo mezi lety 2060 (IPCC) a 2125. Taková extrapolace skutečného oteplení je značně pod mezí odhadu oteplení IPCC pro rok 2100, jak to uvádí obr. 1.7.



Obr. 1.7 Modelová předikce (IPCC) a extrapolace skutečného oteplení pro rok 2100 [4]

Je skutečností, že ke globálnímu oteplování dochází. Nicméně **na globalizačních změnách se podílí vždy několik faktorů**. Globalizační změny klimatu proběhly mnohokrát, a to nejen v geologické minulosti před desítkami a stovkami milionů let, ale i za posledních deset tisíc let, která jsou pro lidstvo asi nejdůležitější. Přírodní klimatické změny můžeme přirovnat k rychle jedoucímu eskalátoru [16]. Můžeme jít buď ve směru, nebo proti směru pohybu eskalátoru, ale pohybující se schody nás unášejí velkou rychlostí dál, my jen mírně zkrátíme nebo prodloužíme čas, kdy nás takový rychlý eskalátor doveze na konec. Pohyb eskalátoru představuje v našem příměru také globální klimatické změny vlivem různých faktorů kromě antropogenních skleníkových plynů, tedy přírodní změnu. Naše chůze po eskalátoru znázorňuje změnu koncentrace CO<sub>2</sub> způsobenou člověkem. Tato změna jen mírně přispívá ke změně globální teploty, ale nemůže ovlivnit celkovou změnu klimatu.

Obhájcí hypotézy o dominantním, nebo o jediném vlivu emisí skleníkových plynů na globální oteplování nemají v mnoha svých tvrzeních pravdu [16]:

**Změna klimatu přivodí zánik civilizace.** Není to pravda. Právě naopak, změny klimatu se spolupodílely na vývoji člověka a na rozkvětu starověkých civilizací (výrazné oteplení umožnilo počátek zemědělství v Evropě, Řekové měli příznivější podmínky než Římané, lidé se však s výkyvy teplot vyrovnali velmi dobře.). Pokud starověké civilizace zanikly, bylo to především proto, že se důsledkem změny klimatu nedokázaly ubránit pro svou vnitřní slabost.

**Změny obsahu atmosférického CO<sub>2</sub> vyvolaly nástup glaciálů a interglaciálů.** Není to pravda. Je tomu právě naopak, změna klimatu (prudké ochlazení v glaciálu, prudké oteplení

v interglaciálu) způsobila změnu rychlosti biologických procesů a důsledkem byla změna obsahu  $\text{CO}_2$  v atmosféře.

***Současný stav atmosférického  $\text{CO}_2$  nemá v historii obdoby.*** Nepřesné. Týká se pouze pleistocénu. V dlouhodobé geologické historii Země byl obsah  $\text{CO}_2$  v atmosféře podstatně vyšší. Dlouhodobě probíhá pokles koncentrace  $\text{CO}_2$ .

***Současná globální teplota je nejvyšší z celého holocénu (za posledních 11 500 let).*** Není to pravda. Teploty v raném holocénu, tedy před 9 až 7 tisíci lety, v Římské periodě na počátku letopočtu a ve Středověké teplé periodě byly vyšší.

***Současná globální teplota je nejvyšší za posledních 500 let.*** Omezení času, pro který by měla platit hypotéza, není seriózním odborným argumentem.

***Katastrofická rychlost zvyšování teploty nemá v minulosti obdoby.*** Není to pravda. Rychlost oteplování byla na konci poslední doby ledové a při nástupu naší meziledové doby přibližně stejná, jako je dnešní rychlost oteplování, a ve dvou případech byla rychlost oteplování na počátku holocénu vyšší.

***Zvyšování obsahu  $\text{CO}_2$  v atmosféře a globální klimatické změny způsobí vysušování půdy a aridizaci.*** Není to pravda. Vyšší obsah  $\text{CO}_2$  způsobí menší spotřebu vody transpirací a tím budou zásoby vody v půdě vyšší i při vyšších výnosech.

***Zvyšování obsahu  $\text{CO}_2$  v atmosféře a globální klimatické změny způsobí hladomory.*** Není to pravda. Zvýšení obsahu  $\text{CO}_2$  v atmosféře má hnojivý efekt na většinu rostlin a tím zvyšuje jejich výnosy. Také četnost hladomoru v poslední Středověké teplé periodě byla podstatně menší než v následujících stoletích a v Malé době ledové.

***Zvyšování obsahu  $\text{CO}_2$  v atmosféře a globální klimatické změny způsobí šíření pouští.*** Není pravděpodobné, že by dezertifikace byla způsobena globálními klimatickými změnami. Jižní hranice písečných saharských dun sahala v posledním glaciálu mnohem dál na jih. Na fosilních dunách je dnes vegetace savany. Závěry odvozené z analogie potvrzují dokonce i modely, ve kterých se uvažuje hnojivý a antitranspirační efekt zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$ .

***Mořská hladina vystoupí v budoucnosti vlivem globálních klimatických změn o několik metrů.*** Vysoce nepravděpodobné tvrzení. Dosavadní rychlost je 1,8 mm/rok.

***Současným rozsáhlým táním permafrostu se uvolní takové množství skleníkových plynů, že se ještě zesílí přicházející katastrofa.*** Nepřesné, k tání permafrostu dochází po celou dobu holocénu.

***Současné globální klimatické změny jsou způsobeny především emisemi  $\text{CO}_2$ .*** Nepřesné. Na globální klimatické změny má vliv řada faktorů, například současná zvýšená sluneční aktivita, snižování koncentrace aerosolů, Milankovičovy cykly (viz pozn. dále). Z historických analogií je však zřejmé, že emise  $\text{CO}_2$  a skleníkový efekt nejsou dominantním faktorem. Současné změny klimatu nelze vytrhávat ze souvislostí klimatických změn v celém holocénu a dokonce ani ne z celého pleistocénu, pokud neopouštíme principy vědeckého zkoumání.

Pozn.: Podle Milankovičovy teorie jsou velké klimatické změny způsobeny změnou intenzity slunečního záření. Ke změnám dochází v důsledku tří periodicky se opakujících změn parametrů oběžné dráhy Země okolo Slunce. Jde o změnu výstřednosti eliptické dráhy Země (excentricity) s periodou podle Milankoviče původně 92 000 let, dále o změnu sklonu osy otáčení Země vůči oběžné rovině Země s periodou 40 000 let a o precesi rotační osy Země v průběhu 21 000 let. Změna intenzity ozáření Země a jednotlivých zeměpisných pásem a kontinentů vede jak ke změnám globálních teplot, tak k rozdílným průběhům teplot v rozsáhlých regionech [16].



Závěrem je nicméně nutno dodat, že klimatologové varují před extrémními výkyvy počasí. Čekají nás vichřice a záplavy. I tady je možno podívat se do minulosti. Srovnání však není jednoduché. V případě větru máme sice historické zprávy o extrémech, ale musíme uvážit, že dříve byla místa, kde mohl vítr napáchat největší škody většinou neosídlena (totéž platí např. i o škodách, které způsobují laviny). U povodní je situace jednodušší. Každá údolní niva je záplavové území a jako na takovém se zde povodně opakují. Vznik nivy je opakovanými záplavami vlastně podmíněn. Škody zde nezpůsobuje příroda, ale lidé, kteří zde staví svoje sídla. Zvýšená frekvence záplav je také důsledkem zemědělské činnosti, resp. odlesnění velkých částí krajiny. Nesprávná regulace a meliorace zabrání malé lokální záplavě, naopak větší povodeň má pak daleko horší následky.

Vzhledem ke skutečnosti, že ke klimatickým změnám docházelo i v dobách, kdy je lidé z objektivních důvodů nemohli ovlivnit, je problematika globálních klimatických změn zařazena v subkapitole 1.1 Přírodní faktory, byť jsou zde také diskutovány antropogenní vlivy na globální zvýšení teploty.

### 1.1.3 Zemětřesení, sopečná činnost

I když je možno hovořit o stálých podmínkách na zemském povrchu (ve srovnání se situací na jiných kosmických tělesech, která byla do současnosti prozkoumána), počítáme s tím, že se v určitých mezích neustále mění. Jestliže však odchylky nepřesáhnou obvyklou míru, považujeme podmínky za stálé. Někdy se však stane, že změny jsou větší, než považujeme za obvyklé. Potom hovoříme o mimořádných událostech, a jestliže jsou změny skutečně veliké, hovoříme o přírodních katastrofách. Katastrofy způsobené výjimečnými podmínkami počasí zahrnují období mimořádně silných mrazů nebo veder a také období dlouhých such zejména v oblastech, které nejsou těmto suchým obdobím dobře přizpůsobeny. Jestliže naopak nadmíru prší, mohou nastat povodně. Ty patří mezi velmi nebezpečné přírodní katastrofy, někdy při nich zahynou až desítky tisíc lidí. Ničivé jsou rovněž velmi silné větry, například americké hurikány nebo asijské tajfuny. Mezi přírodní katastrofy počítáme i velké požáry, zejména lesní, které se hojně vyskytují ve Spojených státech amerických (mnohdy často v národních parcích) a v Austrálii.

Jestliže se změni stálé podmínky zemské kůry, mohou nastat dva druhy přírodních katastrof [5]. Především jde o **zemětřesení**, která jsou v převážné míře způsobena tím, že při pohybu velkých bloků zemské kůry (rozměrů až kontinentálních) na místech jejich dotyků čas od času dochází k jevům, které připomínají srážku dvou ledových ker na vodní hladině. Druhým typem přírodních katastrof **geologického typu** jsou **výbuchy sopek**, které mají svůj původ v zemském plášti. Zemětřesení a sopečná činnost patří k nejničivějším přírodním katastrofám vůbec.

V lidské historii byly zaznamenány případy, kdy v jejich důsledku zahynuly statisíce lidí (např. erupce Vesuvu v římských dobách).

*179 po Kr. sopka Mount Somma - záhlubí Vesuvu*  
Další konkrétní příklad je možno uvést z období nazývaného Malá doba ledová [16]. Léto roku 1600 bylo mrazivé v celé severní Evropě, následovala řada let s nízkými teplotami a Malá doba ledová dosahovala v tomto období své extrémní hodnoty. Důsledkem byly neúrody a hladomory. Mezi 16. únorem a 5. březnem 1600 došlo na jižní části území dnešního Peru k silné erupci sopky Huanyaputina. Byla to jedna z nejsilnějších erupcí v historii lidstva – začala v půli února a trvala tři týdny. Vyvrženo bylo obrovské množství popele. Globální mrak způsobil nejstudenější léto na celé severní polokouli, podle kronik bylo slunce neustále zastíněno mlžným oparem nejen v Evropě, ale i např. v Číně. Sopečný popel

spadl na ploše asi 300 000 km<sup>2</sup> a jeho vzorky nacházíme i v grónském ledovci. Mlžný opar zakrývající po měsíce slunce se vznášel i nad Evropou (vulkanická činnost má vliv na vznik vysoké koncentrace aerosolů). Extrémní ochlazení v Malé době ledové přetrvalo až do roku 1601.

Jak již bylo zmíněno, výbuchy sopek jsou dokumentované v ledovcích. S výbuchem vulkánu se dostává do ovzduší oxid siřičitý, který se rozpouští v kapičkách vody v mracích a se sněhovými srážkami se dostane na povrch ledovce. Protože jsou vrstvičky v ledovci přesně datované, určí se chemickým rozbořem datum sopečné erupce. Takto bylo na základě vrtu v grónském ledovci opraveno datum erupce sopky Santorini z dříve odhadovaného roku 1623 na rok 1644 př. n. l. Původně na začátku pleistocénu před 2 milióny let to byly tři skalnaté ostrůvky, které se vulkanismem dotvarovaly do jednoho většího ostrova, na němž se rozvinula minójská kultura. Výbuch sopky v roce 1644 př. n. l. měl katastrofální důsledky - minójská civilizace byla zničena, ostrov Kréta byl zasažen vysokou vlnou tsunami [16].

Musíme si ovšem uvědomit, že přírodní katastrofy patří k naší planetě, ve svém úhrnu vlastně ničím mimořádným nejsou.

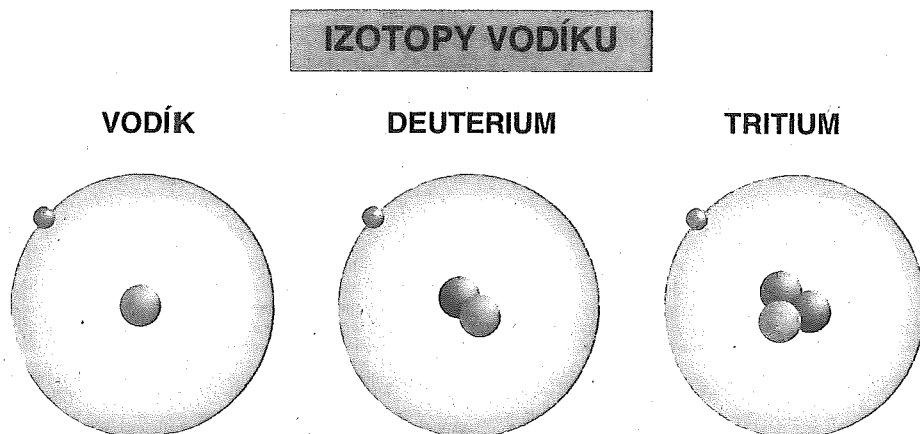
### 1.1.4 Radioaktivita prostředí

**Ionizující záření** je záření, které vyvolává **přímo** nebo **nepřímo ionizaci**. Za **přímo ionizující** považujeme nabitě částice, mající dostatečnou kinetickou energii k vyvolání ionizace. **Nepřímo ionizující** jsou nenabitě částice, které mohou uvolňovat částice přímo ionizující, nebo vyvolat jadernou přeměnu, provázenou emisí přímo ionizujících částic. Dále je uvedeno schematické rozdělení záření podle ionizační schopnosti [10]:

- |                               |                      |                                                                   |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Záření - korpuskulární</b> | - přímo ionizující   | (částice alfa, protony, deuterony, tritony, elektrony, pozitrony) |
|                               | - nepřímo ionizující | (neutrony)                                                        |
| <b>- elektromagnetické</b>    | - nepřímo ionizující | (UV záření, gama záření, X-záření)                                |
|                               | - neionizující       | (mikrovlny, infračervené záření, viditelné světlo)                |

#### 1.1.4.1 Přehled nejdůležitějších částic ionizujícího záření

- **Proton:** Je těžká elementární částice nesoucí kladný elementární náboj. V ŽP jsou jen v kosmickém záření nebo při jaderných reakcích.
- **Deuteron:** Je jádro těžkého vodíku – deuteria, složené z protonu a neutronu ( $Z = 1$ ,  $A = 2$ ). Má kladný elementární náboj. Získáme je při jaderné přeměně.
- **Triton:** Je jádro nejtěžšího nuklidu vodíku – tritia, složené z protonu a dvou neutronů. Je nestabilní částicí emitující záření s poločasem přeměny 12,2 roku. Vzniká také ale vzácně při některých jaderných reakcích v urychlovačích.
- **Částice  $\alpha$ :** Je jádro He se dvěma protony a dvěma neutrony. Má dva elementární kladné náboje. Emitují se při radioaktivní přeměně některých těžkých jader.
- **Neutron:** Je elementární částice bez náboje. Ve volném stavu je nestabilní. Neutron, který vnikl do látky, je ve volném stavu po dobu jen  $\mu$ s až ms, pak je pohlcen některým jádrem.



Obr. 1.8 Izotopy vodíku [13]

### Klasifikace neutronů podle energie

- |                              |                                                 |
|------------------------------|-------------------------------------------------|
| • pomalé                     |                                                 |
| • neutrony středních energií | 1 ÷ 500 keV                                     |
| • rychlé neutrony            | 0,5 ÷ 10 MeV                                    |
| • vysokoenergetické neutrony | 10 MeV      (1eV = 1,602 · 10 <sup>-19</sup> J) |

Neutrony samotné ionizaci nezpůsobují, ale porušují stabilní stavy atomů. Vyvolávají tak radioaktivitu u látek neradioaktivních či u tkání, kterými procházejí. Při stejném množství absorbované energie způsobí rychlé neutrony asi 10x a pomalé neutrony 5x větší účinek než záření.

#### 1.1.4.2 Zdroje záření v životním prostředí

V souvislosti s ochranou životního prostředí je třeba uvážit celkovou dávku záření, kterou organismy v dané lokalitě dostávají od přirozených i umělých zdrojů.

**Přirozené radioaktivní pozadí** vytváří expozici pro většinu obyvatel, která je poblíž hladiny moře hodnocena celotělovou dávkou asi **0,4 mGy za rok**. Vyšší dávku obdrží organismus ve vysokých nadmořských výškách a na některých místech na Zemi s vysokou radioaktivitou půd a horzin. Podobně i od vody z hlubokých studní. K úrovni přirozeného pozadí řadíme i ozáření ze stavebních materiálů. Celkově je přirozené radioaktivní pozadí **1÷1,2 mGy za rok**.

**Uměle vytvářené pozadí** je závislé na druhu lidské činnosti v dané lokalitě. Mezinárodní komise pro radiologické jednotky (ICRP) doporučila, aby populační dávka ze všech uměle vytvořených zdrojů (vyjma lékařských) nepřekročila dávku přirozeného pozadí o více než **50 mGy za 30 let**.

Ve státě **Kerala v jižní Indii** je přirozené radioaktivní pozadí asi 10x vyšší než jinde. Kolísá mezi **3,8 až 17 mSv/rok** [11].

V některých oblastech **Brazílie** je přirozené radioaktivní pozadí dokonce ještě 10krát silnější (až **175 mSv/rok**) [11].

Ještě větší je přirozené radioaktivní pozadí je v některých částech **Íránu**, kde dosahuje **260 mSv/rok** (v některých oblastech až 400 mSv/rok). Mezi lidmi, kteří tam žijí, není výskyt rakoviny ani jiných nemocí ze záření vyšší než u lidí z jiných oblastí [11].

### 1.1.4.3 Základní veličiny a jednotky záření

**Aktivita A** radioaktivního preparátu je definována středním počtem radioaktivních přeměn za jednotku času. Becquerel je aktivita tělesa z radioaktivního nuklidu, ve kterém nastává jedna jaderná přeměna za sekundu. Starší jednotkou byla curie (Ci), když za sekundu nastalo  $3,7 \cdot 10^{10}$  jaderných přeměn. Odpovídá to aktivitě 1g radia.

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq (stará jednotka)}$$

**Měrná aktivita** je podíl aktivity A a hmotnosti m určité látky:

$$a = A/m$$

Jednotkou měrné aktivity je  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  (příp.  $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ ).

**Expozice (ozáření) X** vyjadřuje ionizující účinek rentgenového a  $\gamma$  záření. Udává se v  $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Coulomb na kilogram je ozáření, při kterém střední hodnota součtu nábojů jednoho znaménka, uvolněných za určitých podmínek fotony v elementu objemu o hmotnosti 1 kg, je 1 C. Starší jednotkou byl rentgen.

$$1 \text{ C/kg} = 3875,9 \text{ R}$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$$

**Dávka D** je střední energie ionizující záření, absorbovaná v jednotkovém objemovém elementu látky. Jednotkou je Gy ( $\text{J/kg}$ ). Gray je dávka absorbovaná tělesem o hmotnosti 1 kg, odpovídající energii ionizujícího záření 1 J. starší jednotkou byl rad (Roentgen absorbed dose), který odpovídal absorpci 0,01 J v 1 kg ozařované látky.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}, 1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/kg} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

Experimentálně bylo zjištěno, že biologický efekt různých druhů ionizačního záření není stejný. Mohlo by se předpokládat, že změny v systému jsou závislé pouze na absorbované energii. Avšak biologický efekt závisí rovněž na distribuci energie podél dráhy ionizující částice. Stejná absorbovaná energie různého typu záření nemusí proto vyvolat stejné biologické efekty. Všeobecně řečeno, biologický účinek vzrůstá se vzrůstajícím gradientem absorbované energie podél pohybu ionizující částice.

Proto byl zaveden **dávkový ekvivalent H** je základní veličinou charakterizující radiační zátěž organismu. Je to součin dávky D a jakostního faktoru Q. Jednotkou je sievert Sv ( $\text{J/kg}$ ).

$$H = Q \cdot D \text{ (J/kg), starší jednotkou byl rem} \quad (1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}, 1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv})$$

Podle doporučení Mezinárodní komise pro radiologické jednotky (ICRP) byla stanovena hodnota jakostního faktoru Q (viz tab. 1.4). Jakostní faktor zahrnuje rozdílné biologické účinky různých druhů záření.

Tab. 1.4 Hodnota jakostního faktoru [7]

| Druh záření                                           | Q (jakostní faktor) |
|-------------------------------------------------------|---------------------|
| fotony a $\gamma$ záření                              | 1                   |
| elektrony a $\beta$ částice ( $> 30 \text{ keV}$ )    | 1                   |
| elektrony a $\beta$ částice ( $\leq 30 \text{ keV}$ ) | 1,7                 |
| rezonanční neutrony                                   | 2,5                 |
| neutrony se střední energií                           | 8                   |
| rychlé neutrony                                       | 10                  |
| protony a $\alpha$ částice                            | 10                  |
| odražená jádra a štěpné fragmenty                     | 25                  |

## 1.1.5 Biologické faktory

### 1.1.5.1 Vývoj živých organismů

Největší rozdíl je ovšem v tom, že dnešní povrch planety je oživen. Povrch souší je většinou pokryt vegetací, v mořích a oceánech žijí ryby a četné jiné živé organismy. Víme, že dnešní podoba života je výsledkem dlouhého vývoje od jeho vzniku. Dnes se nám zdá, že vývoj života byl zpočátku velmi pomalý, protože až do doby před zhruba 500 miliony let se neobjevily žádné organismy, které by byly podobné dnešním živočichům nebo rostlinám. (Z té doby se nezachovalo mnoho pozůstatků živých organismů, ale nějaké přece). Ale před půl miliardou let se jakoby náhle objevily alespoň v primitivních formách zástupci téměř všech dnešních kmenů živočichů a později - asi za dalších 100 milionů let - i rostlin [5].

### 1.1.5.2 Živé buňky

Základním stavebním kamenem všech dnešních živých organismů jsou živé buňky, ze kterých jsou vystavěna těla jak živočichů, tak rostlin. Probíhají v nich nejdůležitější děje života, výměna látková, rozmnožování, předávání genetických informací potomkům. V mnoha rysech jsou si buňky všech živých organismů podobné, ať jde o mikroskopickou bakterii, největší strom či člověka. Nesmírně složité děje v živých buňkách, které ani dnes ještě nejsou plně vědecky probádány, se vyvíjely po celé dlouhé období od vzniku života. Právě proto, že se zachovalo jen velmi málo pozůstatků oněch procesů, můžeme pouze odhadovat, kdy se objevily různé důležité jevy, tak významné pro dnešní pozemský život [5].

### 1.1.5.3 Fotosyntéza

Snad nejdůležitějším a pro pozemský život velmi typickým životním procesem je fotosyntéza, která se objevila asi před 2,5 miliardami let. Probíhá v buňkách všech zelených rostlin, ať jsou to mikroskopické řasy, trávy nebo lesní stromy. Zelené barvivo rostlinných buněk, chlorofyl, produkuje za přítomnosti slunečního záření z neživých látek - především z oxidu uhličitého a vody - látky organické, škroby a jiné základní suroviny pro výstavbu svých těl. Jsou to látky s vysokým obsahem energie, která je pak použita pro všechny složité životní procesy. Tuto energii získávají rostliny ze slunečního záření. Zásadní význam fotosyntézy je právě v tom, že dokáže využít energie slunečních paprsků a přeměnit ji na použitelnou energii chemickou.

Vedlejším produktem fotosyntézy je kyslík, který je typickou složkou dnešního ovzduší. V původní zemské atmosféře se kyslík nevyskytoval, jeho dnešní obsah je produktem činnosti zelených rostlin, produktem jejich fotosyntézy. Právě proto, že máme důkazy o jeho přítomnosti v atmosféře již asi před dvěma a půl miliardami let, můžeme usoudit, že „vynález“ fotosyntézy je asi takto starý. Kyslík je látka velmi reaktivní, snadno se slučuje s téměř všemi ostatními chemickými prvky. Kdyby nebylo jeho stálého přísunu fotosyntézou, z ovzduší by po určité době (několika desítek tisíc let) samovolně vymizel, protože by se postupně sloučil s různými látkami na zemském povrchu [5].

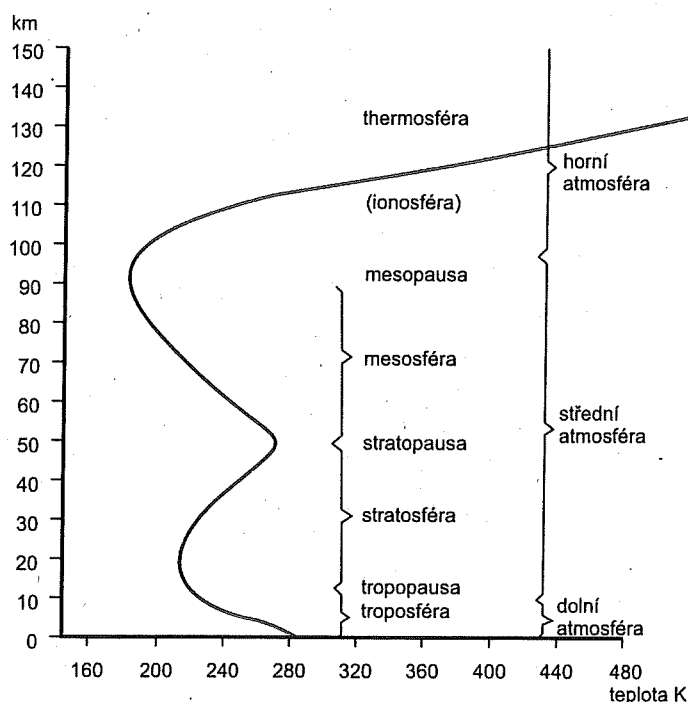
Přítomnost kyslíku v ovzduší je podmínkou života živočichů, ale i rostlin, které ho využívají při druhém základním životním procesu dnešních živých organismů, při dýchání. Dýchání je jakýmsi opakem fotosyntézy. Při něm se z pomalu okysličovaných organických látek získává energie. Při dýchání se do ovzduší uvolňuje oxid uhličitý. Procesy fotosyntézy a dýchání se tak vzájemně doplňují.

Fotosyntézou vznikají stále nové látky, rostliny rostou, celkový objem živé hmoty

zůstává však v průběhu let stejný. Zhruba stejné množství, které vznikne fotosyntézou, opět v průběhu roku zanikne, „prodýchá se“. Oba procesy jsou vzájemně vyvážené. Látkové cykly kyslíku a uhlíku se tak uzavírají [5].

#### 1.1.5.4 Život je dobře adaptován

Dlouhým vývojem se život na Zemi velice dobře adaptoval na podmínky, které panují na zemském povrchu [5]. Mezi ně patří chemické složení hornin, vody a atmosféry, fyzikální a chemický charakter ovzduší, přítomnost vody, klimatické podmínky, ale i podmínky geofyzikální, mechanické vlastnosti hornin, reliéf terénu, zemská tíže, geomagnetické pole a další skutečnosti. Tyto podmínky jsou především dány charakterem Země jako kosmického tělesa, její velikostí, chemickým složením a vzdáleností od Slunce (viz výše kap. 1.1.1).



Obr. 1.9 Teplotní struktura atmosféry [1]

#### 1.1.5.5 Podoba zemského ovzduší a klimatu

Velikost Země a její vzdálenost od planety Slunce (cca 150 mil. km) určují zásadním způsobem podobu zemského ovzduší. Gravitace daná velikostí planety a zvláštní struktura atmosféry nedovoluje uniknout z dosahu planety hlavním plynným součástem, dusíku a kyslíku, a také vodní páře. Ta je zachycována velmi studenou oblastí ovzduší mezi 10 - 20 km nad zemským povrchem, kde se teplota pohybuje okolo  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  (viz obr. 1.9). Vodní pára z ovzduší „vymrzne“, takže nemůže vystoupit výše. Kdyby se to jejím molekulám podařilo, působením slunečního záření by se rozložily na vodík a kyslík a vodík by unikl do kosmického prostoru. Takovým způsobem by v průběhu geologické historie Země mohla přijít o veškerou vodu. Že se tak nestalo, za to můžeme vděčit příznivé kombinaci velikosti Země a její vzdálenosti od Slunce. Tím je také dáno příznivé klima, které umožňuje, aby většina vody na zemském povrchu byla v kapalném stavu. Průměrná teplota zemského povrchu je okolo  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a to je pro existenci kapalné vody úplně optimální [5].

### 1.1.5.6 Stálost podmínek

Velmi důležitou vlastností podmínek na zemském povrchu je jejich stálost. Když srovnáme situaci na jiných kosmických tělesech, která se podařilo prozkoumat v posledních letech, například na planetách sluneční soustavy nebo jejich Měsících, vidíme, že zde panují poměry, které bychom snad mohli nazvat velmi drsnými nebo přímo divokými. Vyskytují se dlouhotrvající obrovské bouře, zemětřesení, vulkanické výbuchy a podobně. Za takových podmínek se život nemůže nerušeně vyvíjet. Důkazem toho je historie vývoje života z posledních přibližně 500 milionů let, kterou poměrně dobře známe. V té době několikrát došlo k masovému vymírání živočišných a rostlinných druhů. Tyto události byly způsobeny dopady obrovských meteoritů nebo mohutnými projevy vulkanické činnosti. Opakované výbuchy mohutných sopek či pád meteoritu před zhruba 250 miliony let natolik drasticky změnily podmínky na tehdejší planetě, že většina rostlinných a živočišných druhů nemohla tyto katastrofy přežít. Takovéto události byly v průběhu celé historie naší planety naštěstí spíše výjimečné. V posledním období několika set milionů let, kdy život na Zemi je již dostatečně rozvinut, přispívají ke stálosti podmínek také samotné živé organismy [5].

## 1.2 Antropogenní faktory

### 1.2.1 Způsob a objem čerpání přírodních zdrojů

Nerostné suroviny jsou jedním ze základů moderní průmyslové civilizace [5]. Mezi životně důležité suroviny patří především zdroje energetické, ropa, fosilní paliva, ale také zdroje různých kovů. Nesmíme zapomenout ani na suroviny (hlavně minerály obsahující fosfor), ze kterých se vyrábějí umělá hnojiva, bez nichž si nedovedeme představit dostatečnou produkci potravin. Jsou to typické zdroje neobnovitelného charakteru a není proto divu, že lidé mají obavu z jejich vyčerpání a z důsledku tohoto vyčerpání pro hospodářství celé společnosti. Takovéto obavy se vyskytly v 70. letech. Dnes však se odborníci shodují na tom, že nedostatek nerostných zdrojů ani v dlouhodobé perspektivě nehrozí. Především se podařilo najít dostatek ložisek téměř všech surovin na mnoho let. Navíc můžeme doufat, že spotřeba materiálů z geologických zdrojů bude postupně klesat, protože se podaří snižovat materiálovou náročnost technologických procesů a protože se postupně bude stále více uplatňovat recyklace.

Nejrozsáhlejší co do objemu je těžba stavebních, keramických, sklářských a podobných surovin. Ta sama o sobě představuje vůbec největší materiálový tok vyvolaný lidskou činností. Z hlediska zátěže životního prostředí a přírodních zdrojů jsou však vlivy těžby relativně malé. Těžebny obvykle nejsou příliš rozsáhlé a lze je - na rozdíl od jiných surovin - poměrně dobře umístit do krajiny. Tyto suroviny se nalézají na mnoha místech, neboť lze využít velmi širokou paletu vhodných hornin a jen málokdy je nutno dopravovat je na velké vzdálenosti. To ovšem neznamená, že zde žádné problémy nejsou. V některých oblastech je velký nedostatek některých stavebních surovin, u nás například máme nedostatek kvalitních písků a zejména vápence.

Ložiska vápence jsou v České republice nejčastěji v zajímavých krajinných oblastech, které jsou navíc často chráněny. Vápencová území se vyznačují bohatou přírodou, rozmanitostí rostlin a živočichů. Proti těžbě mají ochránci přírody obvykle velmi silné námitky. Typickým příkladem je těžba vápenců v oblasti Českého krasu u Koněprus, těžba kamene ve Středočeské hornatině (například vrch Tlustec) nebo těžba šterkopísků v povodí

některých řek, například Lužnice.

Co do vytěžených objemů jsou fosilní paliva až na druhém místě (těží se jich asi 9 miliard tun ročně). Jejich těžba i využití však přináší podstatně větší problémy v životním prostředí. Nejvíce se vytěží uhlí, jehož těžba ve světovém měřítku sice v 60. letech stagnovala, protože se prudce zvyšovala spotřeba ropy, avšak od 70. let opět získává na důležitosti zejména v rozvojových zemích. Největší ložiska uhlí jsou v Číně. Pro naši energetiku představuje uhlí hnědé i černé základní surovinu, jehož těžba i využití však má celou řadu vážných negativních vlivů na životní prostředí.

Těžba ropy od 70. let příliš neroste. Zaznamenává určité výkyvy, v posledních letech mírně stoupá, avšak ve srovnání s desetiletími do roku 1973 se její růst téměř zastavil. V současné době rozhodně žádný nedostatek ropy nehrozí, naopak producentové se snaží co nejvíce ropy prodat. S tím také souvisí skutečnost, že cena ropy, po silném růstu do roku 2008, vlivem současné recese silně klesla a jen pozvolně stoupá. Poměrně příznivé jsou vyhlídky i do budoucnosti, přestože někteří odborníci varují, že zásoby budou stačit jen na 30 až 50 let.

Tab. 1.5 Světové zásoby nerostných zdrojů [6]

| Zdroj  | Zásoby celkem       | Vyčerpání při současné spotřebě | Průměrná míra růstu ročně | Při růstu spotřeby vyčerpáno za | Státy a oblasti s nejvyššími zásobami     | Největší producenti                     |
|--------|---------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
|        | 10 <sup>6</sup> tun | let                             | %                         | Let                             | % svět. zásob                             | % svět. těžby                           |
| Uhlí   | 5.10 <sup>6</sup>   | 2300                            | 4,1                       | 111                             | 55 Rusko, Čína<br>32 USA                  | 20 Rusko<br>13 USA                      |
| Hliník | 1170                | 100                             | 6,4                       | 21                              | 33 Austrálie<br>20 Guinea<br>10 Jamajka   | 19 Jamajka<br>12 Surinam                |
| Chrom  | 775                 | 420                             | 2,6                       | 95                              | 75 Jihoafrická republika (JAR)            | 30 Rusko<br>10 Turecko                  |
| Měď    | 308                 | 36                              | 4,6                       | 21                              | 28 USA<br>19 Chile                        | 20 USA<br>15 Rusko<br>13 Zambie         |
| Železo | 10 <sup>5</sup>     | 240                             | 1,8                       | 93                              | 33 Rusko<br>18 Jižní Amerika<br>14 Kanada | 25 Rusko<br>14 USA                      |
| Olovo  | 91                  | 26                              | 2,0                       | 21                              | 39 USA                                    | 13 Rusko<br>13 Austrálie<br>11 Kanada   |
| Mangan | 800                 | 97                              | 2,9                       | 46                              | 38 JAR                                    | 34 Rusko<br>13 Brazílie<br>13 JAR       |
| Cín    | 4,3                 | 17                              | 1,1                       | 15                              | 33 Thajsko<br>14 Malajsie                 | 41 Malajsie<br>16 Bolívie<br>13 Thajsko |
| Zinek  | 123                 | 23                              | 1,9                       | 18                              | 27 USA<br>20 Kanada                       | 23 Kanada<br>11 Rusko<br>8 USA          |

Rychle se rozšiřuje těžba zemního plynu. Toto palivo, které můžeme nazvat perspektivním palivem budoucnosti, alespoň v nejbližším časovém horizontu 20 ÷ 40 let, je z hlediska zátěže životního prostředí z fosilních paliv nejlepší. Jeho těžba, doprava - obvykle potrubím - ani využití nepřináší mimořádné problémy pro životní prostředí, alespoň



ve srovnání s ostatními palivy. Základní zátěží je produkce oxidu uhličitého, který přispívá ke skleníkovému efektu ovzduší a který se nedá žádným způsobem omezit. Na jednotku vyprodukované energie se při spalování plynu uvolní do ovzduší přibližně polovina oxidu uhličitého ve srovnání s uhlím a o třetinu méně ve srovnání s ropou. Přehled světových zásob nerostných zdrojů a doba jejich vyčerpání je patrná z tabulky 1.5 [6].

Závěrem se podívejme na jednu specifickou surovinovou potřebu automobilového průmyslu - lithium.

Všechny naděje v oblasti elektromobilů směřují nyní k akumulátorům **lithium-ionového typu** (Li-Ion), využívajícím příznivých elektrochemických vlastností alkalického kovu lithia, jež proti typu Ni-MH mají vyšší energetickou i výkonovou hustotu při napětí jednotlivých článků 3,6 V – potřebný počet článků se tak snižuje.

Problémem se nicméně jeví **surovinová základna** pro výrobu Li-Ion akumulátorů. Zhruba **polovina známých zásob lithia (5,4 mil. tun)** se nachází na území Bolívie, v Chile jsou to cca 3 mil. tun, v Argentíně 2 mil. tun, v Číně 1,1 mil. tun a ve Spojených státech je to **410 000 tun** (nachází se zde pouze jediný důl v Severní Karolíně), přičemž ve střednědobém výhledu má spotřeba dosáhnout půl milionu tun (současná produkce a spotřeba lithia činí asi 30 000 tun) [9].

## 1.2.2 Emitování odpadů do životního prostředí

Je nutno podotknout, že tato subkapitola by měla zahrnout vnášení všech odpadních látek do životního prostředí, tzn. že by mělo být pojednáno jak o problematice odpadů, tak o emisích do vod a ovzduší, ale i o ostatních složkách působících na životní prostředí (hluk, vibrace, elektromagnetické záření, ionizující záření). Vzhledem k omezenému rozsahu této kapitoly a vzhledem k tomu, že o některých vlivech je pojednáno v jiných kapitolách této monografie (ionizující záření – viz kap. 1.1.4; emise do vod a do ovzduší – viz dále kap. 8.1.4), je tato kapitola věnována pouze odpadům.

### 1.2.2.1 Produkce odpadů

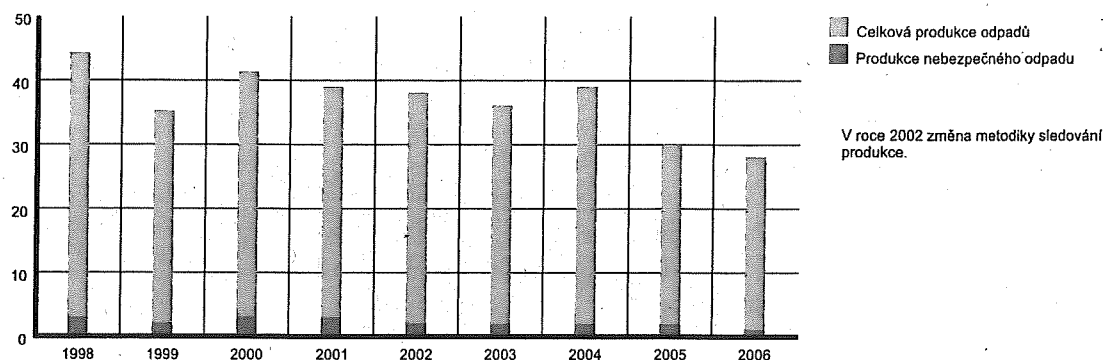
Plánované hospodářství praktikované v České republice před rokem 1990 se oproti tržní ekonomice vyznačovalo nižší výrobou a prodejem spotřebního zboží a současně menší užitím obalových materiálů. Proto byla zejména produkce komunálních odpadů v ČR ve srovnání se státy Evropy výrazně nižší.

Do roku 1985 neexistovalo pravidelné sledování produkce komunálního a průmyslového odpadu, které by odpovídalo dnešním požadavkům na statistická vyhodnocování, a informace byly získávány pouze jednorázovými statistickými šetřeními Federálního statistického úřadu (FSÚ). Na základě prvního šetření v roce 1987 byla zjištěna celková produkce odpadů 630,8 mil. t/rok. Komunální odpady představovaly 2,6 mil. tun/rok, avšak metodika šetření ani sledované kategorie produkce a nakládání s odpady nebyly s dnešními statistickými výstupy porovnatelné.

V roce 1991 byla produkce odpadů odhadnuta na 187 mi. tun, což ve skutečnosti šestinásobně převyšuje celkovou produkci odpadů v roce 2004 [2]. První data o produkci odpadů začala být systematicky sbírána až od poloviny devadesátých let (viz graf. 1.1), kdy začal platit první zákon o odpadech. V té době se již plně začal projevovat nárůst spotřeby a používání nových obalových materiálů, který přinesl postupné zvyšování podílu plastů a papíru v komunálních odpadech. Postupně se rozšířilo např. používání nápojových obalů z PET, trojsložkových nápojových obalů (obalové kartony) či potravinových fólií. Zcela

novým jevem byl také nárůst produkce odpadu z elektroniky a elektronických spotřebičů.

Vývoj produkce odpadů (mil.t)



Graf 1.1 Vývoj produkce odpadů [VÚV T.G.M, v.v.i., CENIA]

### 1.2.2.2 Skladba produkováných komunálních odpadů

Data o produkci odpadů dle dnešních požadavků na jejich kvalitu začala být sbírána až poté, co vstoupila v platnost druhá a třetí generace odpadové legislativy, tj. od roku 1998. Produkce odpadů výrazně poklesla mezi roky 1998 až 1999, což souvisí i s metodickými změnami sběru dat a poté měla mírně vzrůstající tendenci. V roce 2002 však došlo ke schválení třetí generace legislativy a změně zařazených kategorií odpadu, což přispělo k výraznému poklesu vykazované produkce zejména u nebezpečných odpadů. Po roce 2002 je možné zaznamenat stejně jako v předchozím období mírný setrvalý vzestup produkce odpadů, který se zastavil teprve v roce 2004. Popisovaný vývoj je ovlivňován zejména růstem průmyslové produkce a životní úrovně obyvatelstva. K velmi důležitému zlomu došlo po roce 2005, kdy i přes pokračující růst ekonomiky došlo meziročně k poklesu množství produkováných odpadů.

Obecnou tendencí po roce 1989 byl mírný nárůst a poté stagnace roční produkce komunálních odpadů. V období let 2002 - 2005 se jejich produkce pohybovala okolo 4,5 mil. tun a v roce 2006 poklesla na 4 mil. tun [2].

Vlivem uvedených výrazných změn metodiky sledování produkce odpadů je tedy možné provádět dlouhodobá srovnání až od roku 2002, resp. pro celkovou produkci odpadů od roku 1998.

Celková produkce odpadů v letech 1998 - 2006 je znázorněna v grafu 1.1 (viz výše). Tato data lze považovat v porevolučním období za první indikátory, které spolehlivě informují o skutečném stavu odpadového hospodářství v České republice.

Lepší situace v oblasti zjišťování kvantitativních a kvalitativních údajů byla pro komunální odpady. První dlouhodobá sledování probíhala v Praze již začátkem 20. století v souvislosti s uvažovanou výstavbou spalovny, která měla řešit nedostatek skládkovacích kapacit na území vnitřní Prahy. Zvoleným řešením byl nakonec odvoz odpadků (podle tehdejší terminologie) železnici za Prahu a spalovna byla postavena až počátkem 30. let ve Vysočanech jako reakce na epidemii úplavice.

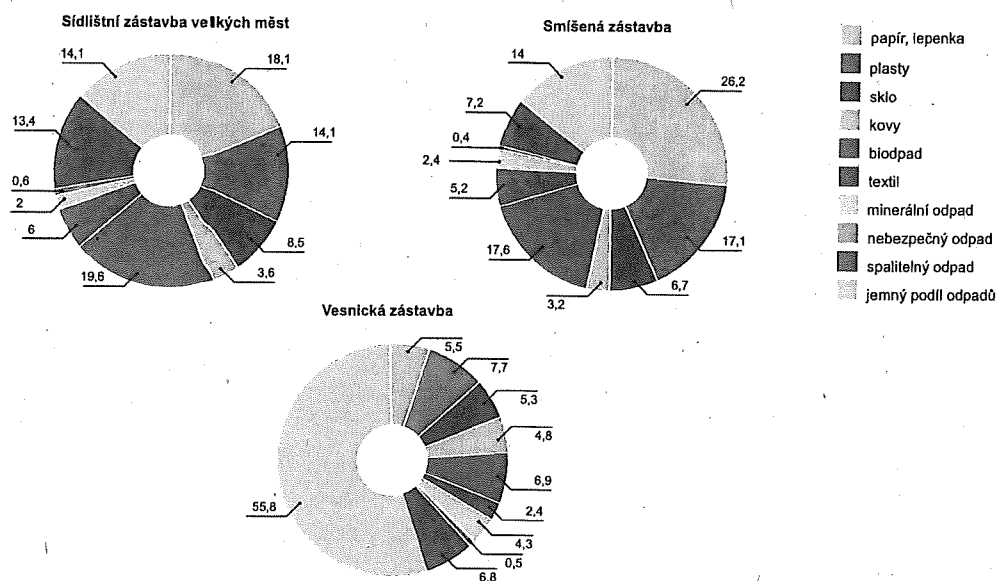
V moderní době začal zájem o zjišťování vlastností domovních odpadů již v 60. a 70. letech v rámci státních výzkumných úkolů mechanizovaného třídění komunálních odpadů, které byly vypsaný v souvislosti s orientací na využívání druhotných surovin. Stejný důvod

měly rozsáhlé rozborů domovních odpadů organizované Výzkumným ústavem místního hospodářství v Praze v letech 1981 - 1984, jejichž výsledky se používaly ještě v průběhu 90. let, a zvolený metodický postup byl převzat téměř všemi dalšími organizátory rozborů a používá se prakticky dodnes. V rámci vývoje mechanizovaného třídění komunálních odpadů v Ústavu nerostných surovin Kutná Hora byly v roce 1988 provedeny historicky nejdetailnější rozborů odpadů z centrálně vytápěné zástavby.

Rozborů komunálních odpadů jsou organizovány častěji již od počátku 90. let 20. století. Prováděny byly především v Českých Budějovicích, Třeboni, Benešově, Praze, Brně, Ostravě, Třebíči a Černošíně. V období 1993-1995 provedlo v Praze KZT Praha sledování množství a skladby komunálního odpadu odlišnou metodikou založenou na separaci odpadů přímo u jeho zdroje, tj. v domácnostech. Na základě tohoto sledování bylo odhadnuto, že v roce 1993 bylo v Praze vyprodukováno celkem cca  $306 \div 328$  tis. tun komunálních odpadů [2].

Sledováním skladby domovních odpadů se roku 1993 zjistilo, že **průměrný obyvatel Prahy vyprodukuje** (dle metodiky užitá pro toto sledování) za týden v průměru cca **3,42 kg komunálních odpadů**, které obsahují 0,32 kg papíru, 0,11 kg plastů, 0,19 kg skla, 0,24 kg využitelných odpadů, 0,92 bioodpadů, 0,81 kg zbytkového odpadu a 0,83 kg popela. Průměrný objem tohoto odpadu je  $21,12 \text{ dm}^3$ .

Porovnání skladby odpadu dle jednotlivých druhů zástavby, 2000 (%)



Graf 1.2 Porovnání skladby odpadu dle jednotlivých druhů zástavby, 2000 (%) [MŽP, VaV/720/2/06]

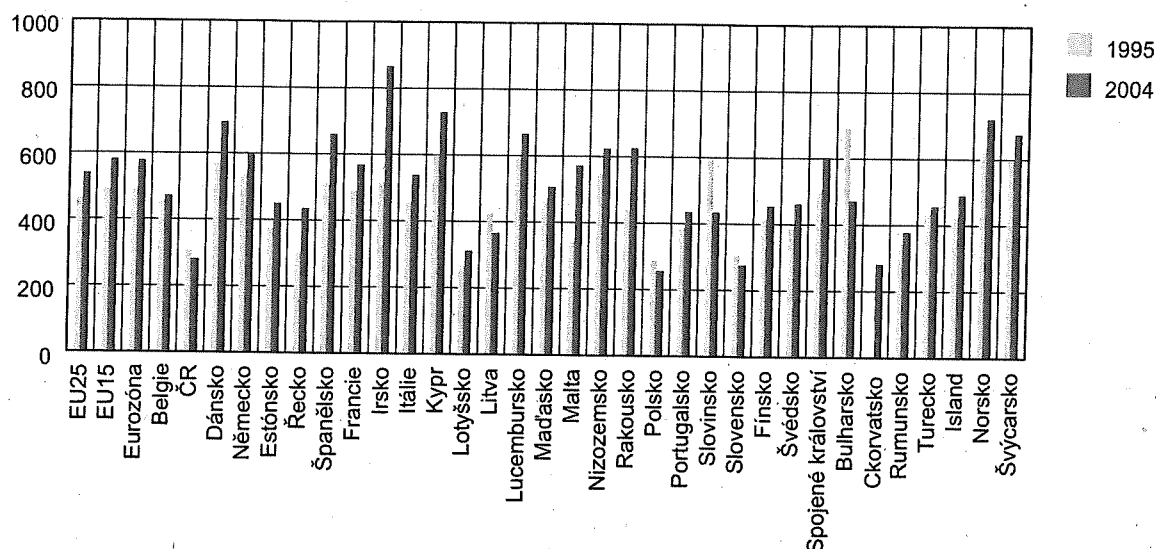
Zajímavé porovnání jak historického vývoje skladby domovních odpadů vzhledem k roku 1993, tak mezi jednotlivými typy zástavby, přinesl rozbor skladby komunálních odpadů provedený v roce 2000. Tento rozbor, jehož některé výsledky znázorňuje graf 1.2, nařídilo sledovat formou projektu vědy a výzkumu Ministerstvo životního prostředí. Na skladbě komunálních odpadů je dobře patrný vliv volby topeniště a možnosti kompostovat či zkrmit bioodpad při porovnávání sídlištní, smíšené a vesnické zástavby.

Pokud porovnáme složení komunálních odpadů v Praze z roku 1993 (dle Vrbové, 1995) se sídlištní zástavbou velkých měst a smíšenou zástavbou v roce 2000, je patrný nárůst podílu plastů a papíru a naopak pokles podílu bioodpadu, což může souviset se zvýšeným používáním obalových materiálů a růstem spotřeby spotřebního zboží nepotravinového

charakteru.

Po roce 2001 se **množství komunálních odpadů v ČR** stabilizovalo zhruba na úrovni současné produkce a pohybuje se dle údajů ČSÚ mezi **400 až 500 kg komunálních odpadů na obyvatele ročně**. Tento ukazatel se tak svou hodnotou blíží stavu ve srovnatelných státech EU.

**Mezinárodní srovnání produkce komunálních odpadů (kg/obyv./rok)**



**Graf 1.3** Mezinárodní srovnání produkce komunálních odpadů (kg/obyv./rok) [Eurostat]

U celkové produkce odpadů je obtížné sestavit věrohodné mezinárodní srovnání. V produkci odpadů komunálních (v přepočtu na obyvatele) nedosahuje Česká republika průměru produkce odpadů v EU15 ani EU25. Pohybujeme se mezi státy s nejmenší měrnou produkcí odpadů na jednoho obyvatele, jako jsou např. Chorvatsko a Slovensko. Srovnání produkce komunálních odpadů znázorňuje graf 1.3 [2].

**Produkce komunálních odpadů** v současné době se v průměru EU odhaduje na **500 kg na osobu a rok**. OECD odhaduje, že produkce komunálních odpadů v regionu OECD se zvýší v období let 1995 - 2020 o 43 % a dosáhne na konci tohoto období 640 kg na osobu a rok. Zvyšující se produkce komunálních odpadů je také jedním z hlavních důvodů, proč byla navržena nová odpadová politika EU – Tematická strategie pro předcházení vzniku odpadů a jejich recyklaci. Záměrem politiky je přeměna EU na „**recyklační společnost**“, která se snaží předcházet vzniku odpadů, využívá odpady jako zdroje. Základní cíle stávající odpadové politiky EU definované tzv. „**odpadovou hierarchií**“ budou stále platné. Předcházením vzniku a podporou využívání a recyklace odpadů dojde ke zvýšení efektivity využívání zdrojů a ke snížení nepříznivého vlivu na životní prostředí. Cílem je udržení materiálové základny, která je nezbytná pro trvale udržitelný hospodářský růst. Zavedení vysoce environmentálních norem podpoří vnitřní trh recyklace a využívání odpadů. Modernizací stávajícího právního rámce budou zavedeny postupy **analýzy životního cyklu (LCA)**, které zjednoduší a zefektivní právní předpisy EU.

### 1.2.2.3 Vliv odpadového hospodářství na životní prostředí

Produkce odpadů je svou podstatou projevem nehospodárnosti a přímo souvisí zejména s technologickou úrovní průmyslové výroby a ekonomiky. Pokud jsou odpady místo využití odstraněny, znamená to vždy přinejmenším zábor určitého území. Riziko negativního

ovlivnění životního prostředí odpady a nevhodným nakládáním s nimi existovalo zejména bezprostředně po roce 1989, kdy vznik i nakládání s odpady nebyly kontrolovanými oblastmi. Neexistovaly příslušné právní a technologické normy a neuplatňovaly se ani další nástroje řízení odpadového hospodářství. Sklárky nebyly zabezpečeny např. proti průsaku vod, vzniku infekcí, úletu lehčích frakcí odpadů do okolí, nebyly odplyněny a nebyla stanovena povinnost předcházet vzniku odpadů a upřednostnit jeho využití před odstraněním, jako je tomu v současnosti [2].

V současné době se naopak projevují až přehnané obavy veřejnosti před možným negativním dopadem na životní prostředí v případě výstavby a provozu nových zařízení na energetické využívání odpadů. Tato zařízení podléhají velmi náročným podmínkám povolování a samotného provozu, včetně emisních limitů, a to přísnějším než ostatní energetické zdroje (např. elektrárny, teplárny či kotelny). Představují zatím ekonomicky nejschůdnější způsob, jak bez zdravotních rizik zvýšit zejména využití komunálních odpadů na úroveň, jaké jsme se zavázali dosáhnout ve schváleném Plánu odpadového hospodářství ČR. Případné energetické využití komunálních odpadů také umožní snížit podíl biologicky rozložitelného odpadu ukládaného na skládkách, což je dalším cílem Plánu odpadového hospodářství.

### 1.2.3 Zásahy do krajiny

Krajinný ráz se odvíjí v první řadě od trvalých ekologických podmínek a ekosystémových režimů krajiny, tedy základních přírodních vlastností dané krajiny (přírodních podmínek území) [17]. V těchto rámcích je krajinný ráz dotvářen (krajiny přírodní) až vytvářen (krajiny antropicky přeměněné) lidskou činností a životem lidí v nich (krajinotvornými způsoby využívání území).

Každá krajina bez výjimky má svůj krajinný ráz. Ne každá krajina však zasluhuje stejnou míru ochrany. Je možno se ztotožnit s názorem, že krajinný ráz zaslouží vyšší ochranu tam, kde je dobře dochován, nebo tam, kde je zvláště užitečný, nebo kde nejméně překáží jiným aktivitám, nebo tehdy, je-li jeho určitý typ vzácný, nebo tehdy, přejí-li si jej ti, kteří v něm žijí a jimž území patří [19].

Krajinný ráz, kterým je zejména přírodní, kulturní a historická charakteristika určitého místa či oblasti, je chráněn před činností snižující jeho estetickou a přírodní hodnotu. Zásahy do krajinného rázu, zejména umísťování a povolování staveb, mohou být prováděny pouze s ohledem na zachování významných krajinných prvků, zvláště chráněných území, kulturních dominant krajiny, harmonického měřítka a vztahů v krajině (viz § 12 odst. 1 zákona č. 114/1992 Sb., ve znění pozdějších předpisů). Krajinný ráz je jediným legislativním nástrojem, který může zamezit realizaci staveb, které sice nepoškozuji chráněné území z hlediska zájmů ochrany přírody, ale poškozuji estetiku krajiny a její kulturní hodnoty, působí negativně na pozorovatele a obyvatele.

Celkově lze vliv záměru na zákonná kritéria přehledně analyzovat tabelárně, jak je patrné z tabulky 1.6.

K umísťování a povolování staveb, jakož i jiných činnostem, které by mohly snížit nebo změnit krajinný ráz, je nezbytný souhlas orgánu ochrany přírody. Podrobnosti ochrany krajinného rázu může stanovit ministerstvo životního prostředí obecně závazným právním předpisem. K ochraně krajinného rázu s významnými soustředěnými estetickými a přírodními hodnotami, který není zvláště chráněn podle třetí části zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů, může orgán ochrany přírody zřídit obecně

závazným právním předpisem **přírodní park** a stanovit omezení takového využití území, které by znamenalo zničení, poškození nebo rušení stavu tohoto území (viz § 12 odst. 3 zákona č. 114/1992 Sb.).

Tab. 1.6 Tabulka vlivu na zákonná kritéria krajinného rázu [20]

| Tabulka vlivu na zákonná kritéria krajinného rázu (viz §12 zákona) | Vliv NS |
|--------------------------------------------------------------------|---------|
| Vliv na rysy a hodnoty přírodní charakteristiky                    |         |
| Vliv na rysy a hodnoty kulturní charakteristiky                    |         |
| Vliv na VKP                                                        |         |
| Vliv na ZCHÚ                                                       |         |
| Vliv na kulturní dominanty                                         |         |
| Vliv na estetické hodnoty                                          |         |
| Vliv na harmonické měřítko krajiny                                 |         |
| Vliv na harmonické vztahy v krajině                                |         |

Pozn.: Ve sloupci NS se vyplňuje slovní hodnocení bez vlivu, slabý vliv, středně silný a silný vliv.

#### Příklady nejproblematictějších staveb a činností [21]:

Nejkonfliktnější jsou dálnice a rychlostní komunikace (včetně všech doprovodných jevů, kterými jsou motoresty, čerpací stanice PHM, odpočívadla, velkoplošné poutače, stožáry sítě GSM, hypermarkety, skladové haly a logistická centra apod.), těžba nerostných surovin, rozlehlé průmyslové areály určené k výrobě automobilů, nová golfová hřiště, nově i větrné elektrárny (zde je situace komplikovaná skutečností, že větrné elektrárny patří mezi obnovitelné zdroje energie – viz dále kap. 8.3.2.3), výstavba satelitních „vesnic“ ve volné krajině bez struktury klasické vesnice, výstavba skladů mimo zastavěná území, oplocování pozemků ve volné, nezastavěné krajině apod. Stále přetrvávají tendence stavět na zelené louce, nejsou dostatečně využívány tzv. brownfields. Také světelné znečištění se stává stále větším problémem. V minulosti také docházelo ke změnám krajinného rázu v souvislosti s působením člověka v historickém kontextu (kácení lesů na úkor rozmachu zemědělství, odlišnosti hospodaření ve specifických zemědělských soustavách /přílohová, trojpolní aj./, výstavba osad a měst, využívání okolních pozemků právě těchto sídel, modernizace /železnice, elektrifikace/, využívání obnovitelných a neobnovitelných zdrojů, unifikace krajiny zejména v 70. letech).

Problematické ochrany krajinného rázu při výstavbě se věnuje i Metodický pokyn MŽP. Smyslem posuzování záměrů situovaných do krajiny z hlediska jejich dopadů na krajinný ráz je zkoumat a hodnotit, zda zamýšlená činnost ovlivní kladně či záporně charakteristiky a hodnoty krajinného rázu. Součástí posuzování záměru je i určování podmínek, za kterých při realizaci záměru nedojde ke změně a poškození krajinného rázu.

#### 1.2.4 Snižování biologické rozmanitosti a introdukce nežádoucích cizích druhů do ekosystémů krajiny

Člověk od počátku své existence biologické bohatství nějak ovlivňoval, měnil, ochuzoval nebo rozmnožoval. V pravěku člověk lovil zvířata, používal ohně k úpravám prostředí. Jeho vliv již v období společnosti lovecko-sběračské byl pravděpodobně větší, než si dnes připouštíme. V zemědělském období pak člověk hluboce proměnil celé krajiny, protože přeměnil obrovská území v zemědělské pozemky. Tato území byla původně pokryta především lesními systémy. Lidé také ve svém okolí vyhubili největší šelmy, které je

ohrožovaly. Průmyslová civilizace pak přinesla ještě hlubší zásahy. Lidské působení vedlo především ke snižování biologické rozmanitosti. Mnohé ekosystémy zmizely vůbec nebo se jejich rozsah podstatně zmenšil. Platí to především pro lesy a mokřady, s nimiž zmizely ze zemského povrchu i mnohé rostlinné a živočišné druhy [5].

V některých případech však člověk biologickou rozmanitost celých velkých území svou činností obohatil. Např. Třeboňsko bylo ještě ve 12. století nehostinnou krajinou močálů a neproniknutelných lesů. Díky dílu známých rybníkářů Jakuba Krčína z Jelčan, Štěpánka Netolického a dalších je zde dodnes biologicky bohatá krajina rybníků, polí, luk i lesů. Její rozmanitost je vyšší, než byla před zásahem člověka [5]. Takové příklady jsou však dnes bohužel výjimečné.

Pokud lidé zvyšují bohatství druhů na určitém území, je tomu většinou tak, že při své činnosti úmyslně nebo neúmyslně uvádějí do místního prostředí rostliny a živočichy, kteří zde dříve nežili. Mluvíme o vstupu cizích druhů rostlin nebo živočichů, které většinou dlouho nepřežijí, protože nejsou přizpůsobeny místním podmínkám. Někdy se ekosystém může trvale obohatit, bývá to však jen ve výjimečných případech. Mnohdy mohou naopak nastat nebezpečné situace. Je tomu tak tehdy, jestliže cizí druh najde příznivé podmínky a může se rozšířit na úkor druhů domácích. V takových případech mohou cizí druhy způsobit malou či větší přírodní katastrofu. Příkladem jsou králíci a zdivočelí psi v Austrálii a kočky na některých Tichomořských ostrovech, které zdecimovaly místní živočišstvo [5]. Je nutno připomenout také agresivní druhy rostlin. U nás se v tomto případě jedná o invazivní rostlinné taxony křídlatka japonská a bolševník sachalinský. Také v mořském prostředí se uplatňují zejména v poslední době velmi nebezpečné cizí druhy, které zcela změny vodní ekosystémy.

Ohrožení biologické rozmanitosti je v současné době snad vůbec nejvážnějším nebezpečím pro globální životní prostředí. Výsledkem tohoto civilizačního tlaku je skutečně hrozné tempo vymírání rostlinných a živočišných druhů, které se navíc velmi zrychluje. V České republice je situace velmi vážná. U mnoha druhů živočichů i rostlin je situace kritická. Například obojživelníků je ohroženo více než 95 %, 100 % je chráněno. Početnost ptáků poklesla v posledních letech o více než 50 %. Více než 58 % z celkového počtu vyšších i nižších rostlinných druhů a společenstev je v různém stupni ohrožení, pokud přímo nevyhynuly [5].

## Literatura (kap. 1)

- [1] HERČÍK, Miloslav, LAPČÍK, Vladimír, OBROUČKA, Karel. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1994. 243 s. ISBN 80-7078-255-2.
- [2] VOLAUFOVÁ, Lenka et al. *Hospodářství a životní prostředí v České republice po roce 1989*. Praha: CENIA, 2008. 188 s. ISBN 978-80-85087-67-3.
- [3] DRÁBEK, Karel. *Kdo potřebuje globální oteplování?* Blog.idnes.cz, 02/2008.
- [4] BRADLEY, Robert L. jr. *Kritika klimatického alarmismu*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita v Ostravě – VEC, 2004. 169 s. ISBN 80-248-0636-3.
- [5] MOLDAN, Bedřich. *Příroda a civilizace. Životní prostředí a rozvoj lidské civilizace*. Praha: SPN, 1997. 147 s. ISBN 80-04-26434-4.
- [6] GRATHWOHL, Manfred. *Energieversorgung: Ressourcen, Technologien, Perspektiven*. 2., völlig neubearbeitete und stark erweiterte Auflage. Berlin, New York: de Gruyter,

1983. ISBN 3-11-008592-5.
- [7] ROZMAN, Jiří. *Životní prostředí*. Skriptum. Brno: VUT, FE, 1987. 150 s.
- [8] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1996. 128 s. ISBN 80-7078-316-8.
- [9] LAPČÍK, Vladimír. *Průmyslové technologie a jejich vliv na životní prostředí*. Monografie. Ostrava: VŠB-TU, 2009. 362 s. ISBN 978-80-248-2015-6.
- [10] CHALUPOVÁ, Věra, BÁLEK, Rudolf, ROZMAN, Jiří, LAPČÍK, V. et al. *Příručka k ekologické výuce na elektrotechnických oborech*. Praha: MŠMT ČR a ČSVTS FEL ČVUT, 1988. 230 s. 60-807-A-88.
- [11] COMBY, Bruno. *Environmentalisté pro jadernou energii*. Praha: PRAGMA, 2007. 321 s. ISBN 978-80-7349-042-3.
- [12] Mc KIBBEN, Bill. Uhlík – nová čísla. In *National Geographic*, říjen 2007, s. 59 – 63.
- [13] DUFKOVÁ, Marie, KUH, Petr. *Atomy a jaderná energie – sada fólií pro zpětný projektor*. Praha: ČEZ, a.s. a Hutnický institut VÚHŽ, spol. s r.o., 1995. 15 s.+15 fólií.
- [14] IPCC, *Climate Change 2001*. The Scientific Basis, s. 350 - 51, 357 – 58.
- [15] CROWLEY, Thomas. Causes of Climate Change over the Past 1000 Years. In *Science*, 14, červenec 2000, s. 276.
- [16] KUTÍLEK, Miroslav. *Racionálně o globálním oteplování*. Praha: Dokořán, s.r.o. 2008. 185 s. ISBN 978-80-7363-183-3.
- [17] LAPČÍK, Vladimír. Oznámení ve smyslu přílohy č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, na záměr *Větrné elektrárny Potštát - Kyžlířov*. Ostrava, červenec 2008. 76 s. 20 příloh, fotodokumentace a vizualizace VTE (8).
- [18] *Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2007*. Praha: MŽP, 2007. 641 s. ISBN 80-7212-472-5.
- [19] LÖW, J. Hodnocení a ochrana krajinného rázu. In *Péče o krajinný ráz-cíle a metody*. Ed. Vorel, I., Sklenička, P. Praha: ČVUT, 1999. s. 199-203. ISBN 80-01-01979-9.
- [20] MANA, Vladimír. Odborný posudek ve věci posouzení vlivu záměru tří větrných elektráren v lokalitě Jindřichov na krajinný ráz. Podolí: V. Mana, 2011. 31 s.
- [21] ŠKOUDLÍNOVÁ, A. Krajinný ráz a státní správa. In *Ochrana krajinného rázu – třináct let zkušeností, úspěchů i omylů*. Ed I. Vorel, P. Sklenička. Praha: Nakl. Naděžda Skleničková, 2006. s. 117-123. ISBN 80-903206-78.



## 2 Sociální aspekty hodnocení

Sociální hodnocení odráží stupeň změn prostředí, v němž člověk žije, a spočívá ve stanovení vlivu změněného prostředí na životní podmínky a na činnost člověka, na možnosti uspokojování sociálních potřeb společnosti, resp. jednotlivých skupin společnosti.

Sociální aspekty hodnocení kvality životního prostředí dělíme na aspekty sociologické, medicínsko-ekologické a demo-sociální:

- **sociologické aspekty:** vědomí, chování, způsob života,
- **medicínsko-ekologické aspekty:** zdravotní stav obyvatelstva jako odraz změn kvality životního prostředí,
- **demo-sociální aspekty:** migrace, dojížděka za prací a za rekreací, změny sociální a věkové struktury.

### 2.1 Sociologické aspekty

Umožňují analyzovat a hodnotit různé úrovně a druhy chování, vědomí a způsob života různých sociálních skupin včetně diferenciace v regionálním aspektu. Chování se k vlastnímu životnímu prostředí a vytváření si nějakého životního způsobu zahrnuje v sobě jak historický vývoj, tak vztahy k místu bydlení, práce, výchově či rekreaci jako celku.

V principu jde stále o méně propracovanou problematiku, i když hodnotově velmi významnou. Nedostatek výchozích informací pro sociologické aspekty hodnocení je známý.

Nutnost **kombinace dat o objektivním stavu (tvrdá data)** s informacemi o postojích jedinců a skupin získávaných **sociologickým šetřením (měkká data)** se jeví jako nezbytný předpoklad pro možnost vlastního procesu hodnocení.

Názory na aktivity a podmínky se budou samozřejmě vztahovat jak k vlastnímu chování a postavení, tak k činnostem a situaci ostatních členů příslušné skupiny i převažujícím tendencím v rámci celé populace. Subjektivní výpovědi zahrnují podstatnou sféru vědomí, reflexe reálných podmínek a aktivit a míru spokojenosti s nimi, posuzování daných normativních regulativů a míru ochoty je respektovat nebo intenzitu požadavků jejich změny a konečně míru připravenosti osobně se ekologických aktivit účastnit, příp. je bojkotovat.

Bez zjištění postojů k těmto aspektům ekologie by hodnocení vztahu sociálních skupin k životnímu prostředí bylo neúplné a tedy nekomplexní [1, 3]. Ekologické vědomí proto představuje další relativně samostatné a podřazené, ale z předmětu řešení logicky vyplývající téma.

### 2.2 Medicínsko-ekologické aspekty

Hodnocení vychází z poznání, že **zdravotní stav obyvatelstva je odrazem i kvality životního prostředí.**

Medicínsko-ekologické hodnocení jako dílčí případ sociálního hodnocení vlivu činnosti člověka na životní prostředí odráží změny zdravotního stavu obyvatelstva, které byly způsobeny zhoršením jeho životního prostředí.

Do zdravotního stavu se komplexně promítá působení všech složek životního prostředí i všechny jeho změny, ať už přírodního nebo antropogenního původu. Zdravotní stav populace tak můžeme chápat jako jedno z nejvýznamnějších hledisek pro hodnocení kvality prostředí.

Zdravotní stav můžeme hodnotit jak metodami ekonomického, tak mimoekonomického hodnocení. Vzhledem k dvojímu charakteru člověka samého jako bytosti **přírodní i sociální**, stýkají se v hodnocení zdravotního stavu aspekty jak sociální, tak ekologické.

Efektivnost využití těchto kritérií a ukazatelů je určována tím, že obyvatelstvo je jedním ze základních recipientů antropogenního vlivu na prostředí a ve stavu jeho zdraví se ve speciální formě odráží různé změny prostředí, které jsou způsobovány právě činností obyvatelstva: biologickou, sociální, kulturní, výrobní, hospodářskou, obytnou atd.

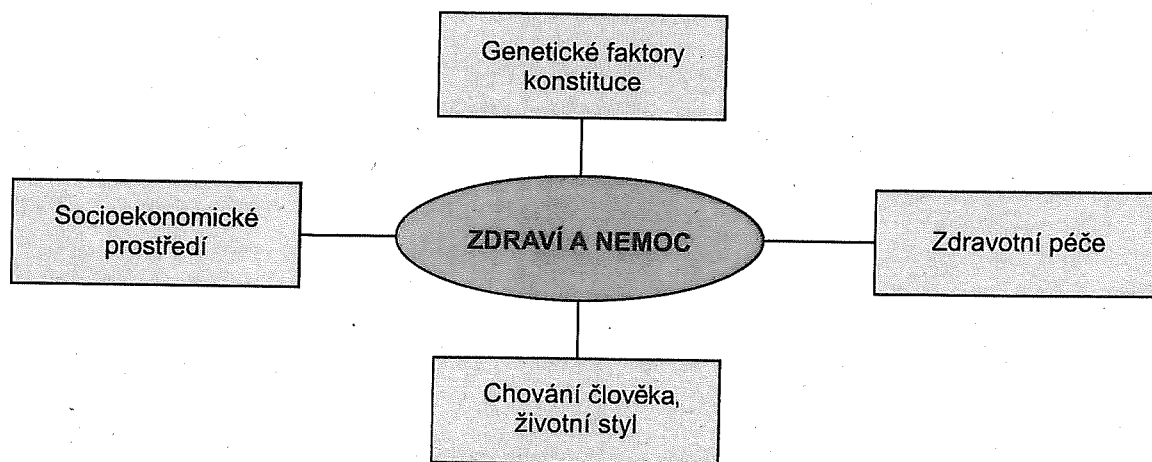
Libovolné ukazatele zdravotního stavu obyvatelstva jak obecné, tak i relativně dílčí, odrážejí v syntetické formě různé aspekty vlivu životního prostředí na člověka a tím tedy mohou být využity jako kritéria jeho stavu.

Všechny stránky životního prostředí mají vztah k lidskému zdraví. Takže pečovat o zdraví člověka znamená starat se především o životní prostředí.

Pro porovnání zdravotního stavu mezi populacemi různých regionů se doporučuje podle WHO používat těchto ukazatelů:

- ukazatel kojenecké úmrtnosti,
- ukazatel dětské úmrtnosti,
- střední délka života,
- ukazatele specifické úmrtnosti,
- ukazatele specifické nemocnosti,
- ukazatele invalidity,
- ukazatel celkové standardizované úmrtnosti,
- ukazatele sociální a mentální patologie - např. ukazatele sebevražd, zneužívání drog, delikventce mladistvých, alkoholismu, tabakismu, obezity apod.

Jestliže fyzikální prostředí, ve kterém člověk žije, považujeme za dané, potom základní determinanty ovlivňující zdravotní stav člověka můžeme zobrazit tak zvaným diamantovým modelem příčin nemocí (viz dále obr. 2.1).



Obr. 2.1 Diamantový model příčin nemocí [1]

Z obr. 2.1 je zřejmé, že příčiny vzniku chorob a stav zdraví jedinců a populačních skupin mají multifaktorovou interakční povahu. Snahy vysvětlit změny ukazatelů zdravotního stavu populace pouze působením jednoho nebo několika málo faktorů (např. životním prostředím nebo nedostatečnou zdravotní péčí) jsou zavádějícím zjednodušováním.

Rozvedme skupiny faktorů uvedené v „diamantovém modelu“ a uvedme jejich vztah k stavu zdraví.

### ***Skupiny faktorů „diamantového modelu“:***

#### **1. Genetické faktory konstituce zahrnují:**

- věk,
- pohlaví,
- genetické utváření,
- imunologický status,
- výživový status včetně minulých stavů,
- konstituční schopnosti predeterminované geneticky i vyvinuté během života.

#### **2. Zdravotní péče obsahuje především:**

- danou úroveň technologie preventivních a kurativních činností,
- zdravotní výchovu obyvatel,
- dostupnost odborné péče,
- organizační uspořádání zdravotní péče.

#### **3. Chování člověka, životní styl ve vztahu ke stavu zdraví zahrnuje:**

- úroveň výživy a výživové zvyklosti,
- režim trávení volného času,
- pohybovou aktivitu,
- úroveň požívání alkoholu, drog,
- tabakismus,
- úroveň bezpečnosti práce,
- zachování zásad bezpečnosti v mimopracovních činnostech.

#### **4. Socioekonomické prostředí obsahuje tyto komponenty:**

- ekonomickou úroveň společnosti,
- faktory bydlení,
- zaměstnání,
- reálný příjem,
- úroveň životního prostředí včetně prostředí pracovního.

Vliv jednotlivých faktorů na ukazatele zdravotního stavu byl zkoumán v různých studiích. Nejúplnější obraz o vztahu různých faktorů k předčasné úmrtnosti na vybrané choroby poskytuje studie U.S. Center for Disease Control, týkající se USA (viz dále tab. 2.1).

**Tab. 2.1** Vliv vybraných faktorů na předčasnou úmrtnost způsobenou vlivem některých chorob a patologických stavů (zdroj: Studie U.S. Center for Disease Control)

| Příčina smrti            | Životní styl | Prostředí | Genet. faktory | Zdrav. služby |
|--------------------------|--------------|-----------|----------------|---------------|
| Nemoci srdce             | 54           | 9         | 25             | 12            |
| Zhoubné nádory           | 37           | 24        | 29             | 10            |
| Mozková mrtvice          | 50           | 22        | 21             | 7             |
| Úrazy motorovými vozidly | 69           | 18        | 1              | 12            |
| Ostatní úrazy            | 51           | 31        | 4              | 14            |
| Chřipka, zápal plic      | 23           | 20        | 39             | 18            |
| Cukrovka                 | 34           | 0         | 60             | 6             |
| Cirhóza jater            | 70           | 9         | 18             | 3             |
| Sebevraždy               | 60           | 35        | 2              | 0             |
| Všechny příčiny          | 51           | 19        | 20             | 10            |

## 2.2.1 Toxické látky v potravinách

Znečištěné životní prostředí působí na člověka také prostřednictvím potravinového řetězce. **Toxické látky v potravinách** (poživatiny živočišného i rostlinného původu) představují asi **80 až 85 % celkové zátěže člověka toxickými látkami**. Kvalitativní a kvantitativní parametry diety představují, vedle kouření, nejvyšší zdravotní riziko pro naši populaci. Snaha stanovit podíl diety na zdravotním riziku pro populaci i jednotlivce vede k úsilí definovat základní expoziční parametry, které ve spojení se studiem koncentrace jednotlivých chemických látek v poživatinách mohou umožnit popis rozměrů rizika. Mezi základní expoziční parametry používané pro odhad rizika nádorových procesů patří průměrná **celoživotní hmotnost osob a střední délka života**. Tyto parametry byly v současnosti připraveny pro účely monitoringu **dietární expozice chemickými látkami v poživatinách** a jsou použitelné pro hodnocení rizik na úrovni populace v České republice. Dalšími expozičními parametry je spotřeba jednotlivých poživatin, doplněná pro verifikaci i základním nutričním hodnocením. Pro účely monitorování byl proto definován tzv. spotřební koš potravin, který uvádí denní spotřebu asi u 650 jednotlivých poživatin pro průměrnou osobu v ČR. Pro rámcové hodnocení lze použít i odhad spotřeby jednotlivých skupin potravin.

### 2.2.1.1 Toxické prvky

Obsahy toxických prvků v mase hospodářských zvířat se v ČR pohybují zpravidla hluboko pod stanovenými hodnotami *nejvýše přípustného množství* (= NPM, tj. hygienickými limity). Zvýšené hladiny kadmia, olova a rtuti se vyskytují pouze v orgánech, zejména v ledvinách a v játrech, u déle žijících zvířat. Vyšší obsahy toxických kovů lze nalézt spíše u volně žijící zvěře. Vyšší obsahy toxických prvků v poživatinách rostlinného původu zůstávají v průměru na úrovni minulých let. U žádného ze sledovaných prvků nedochází k výraznému překračování hodnot NPM, zvýšené hladiny kadmia jsou zjišťovány v **bramborách, mrkvi a listové zelenině**. Poživatiny **rostlinného původu**, vzhledem k jejich vyššímu konzumovanému množství, jsou významným **zdrojem toxických kovů**.

Z hlediska celkové zátěže je důležité sledování olova zejména proto, že Světová zdravotnická organizace (WHO) navrhla nižší hodnoty jeho přijatelného týdenního přívodu.

Hladiny rtuti u hospodářských zvířat poklesly zejména po zákazu použití rtuťnatých mořidel.

**Obsahy dusičnanů** v zelenině kolísají a jejich hlavním zdrojem jsou **brambory a zelí**. Česká zemědělská a potravinářská inspekce (ČZPI) zjistila v devadesátých letech překročení NPM pro dusičnany u 21 % vzorků zeleniny.

### 2.2.1.2 Organické kontaminanty

V případě persistentních organických kontaminantů trvá zatížení skotu, a tedy i masa, mléka a mléčných výrobků polychlorovanými bifenylly [2]. Úroveň této zátěže je však nižší než v předchozích letech. Obsah PCB ve vepřovém a drůbežím masu je již minimální. Nevyřešena zůstává otázka likvidace stále přetrvávajících zdrojů PCB. Kontaminace prostředí se odráží ve vyšších nálezech PCB ve svalovině volně žijící zvěře.

Z organických toxických látek v poživatinách rostlinného původu se věnuje pozornost polycyklickým aromatickým uhlovodíkům a esterům kyseliny ftalové. Zdrojem ftalátů jsou plastické hmoty.

Polycyklické aromatické uhlovodíky, které vznikají při hoření, vstupují do ovzduší např. se spalinami uhlí a jsou zdrojem kontaminace poživatin rostlinného původu. Významným zdrojem jsou i výfukové plyny naftových motorů. Nejvyšší obsahy benzo(a)pyrenu (indikátor polycyklických aromatických uhlovodíků) se zjišťují u zelí, jablek a v pšenici a dále v mouce a chlebu.

Z hodnocení celkového přívodu sledovaných toxických látek poživatinami v porovnání s hodnotami ADI (acceptable daily intake = přijatelný denní přívod) je zřejmé, že u kadmia a rtuti denní přívod převyšuje ADI. Po zpřísnění hodnoty přijatelného denního přívodu podle WHO (1993) pro olovo a organické látky (polyaromatické uhlovodíky a PCB) jsou průměrné denní dávky na hranici překročení minimální míry rizika.

## 2.2.2 Analýza zdravotních rizik v životním prostředí

Hodnocení zdravotních rizik je nedílnou součástí rozhodovacích procesů v otázkách posuzování vlivu faktorů prostředí na zdraví člověka. Jedná se o systematické postupné vyhodnocování faktorů, které mohou vyvolat nežádoucí zdravotní účinek u člověka [4].

Metoda hodnocení zdravotních rizik (*Health Risk Assessment*) obecně zahrnuje čtyři základní kroky, kterými jsou *identifikace nebezpečnosti*, *charakteristika nebezpečnosti*, *hodnocení expozice* a *charakteristika rizika*.

### 2.2.2.1 Identifikace nebezpečnosti

V tomto kroku se provádí výběr škodlivin, které mají být hodnoceny a soustředí se informace o tom, jakým způsobem a za jakých podmínek mohou nepříznivě ovlivnit lidské zdraví. Zdrojem těchto informací jsou toxikologické databáze a odborná literatura obsahující výsledky pozorování a epidemiologických studií u lidí, experimentů na pokusných zvířatech nebo laboratorních testů.

### 2.2.2.2 Charakteristika nebezpečnosti

Charakteristika nebezpečnosti má objasnit kvantitativní vztah mezi dávkou dané škodliviny a mírou jejího účinku, což je nezbytným předpokladem pro možnost odhadu míry rizika. V zásadě se přitom rozlišují dva typy účinků chemických látek:

- **U látek, které nejsou podezřelé z účasti na karcinogenním působení,** tedy vyvolání vzniku zhoubných nádorových onemocnění, se předpokládá tzv. **prahový účinek**. Tento účinek, většinou spočívající v poškození různých systémů v organismu, se projeví až po překročení kapacity fyziologických detoxikačních a reparačních obranných mechanismů v organismu. Lze tedy identifikovat míru expozice, která je pro organismus člověka ještě bezpečná a za normálních okolností nevyvolává nepříznivý efekt. Tuto míru ještě bezpečné expozice udávají referenční hodnoty, odvozené buď z výsledků epidemiologických studií známých účinků u člověka, nebo pomocí pokusů na laboratorních zvířatech s použitím faktorů nejistoty. Jsou uvedeny např. ve Směrnici WHO pro kvalitu ovzduší (Air Quality Guidelines) jako zdravotně zdůvodněné návrhy limitních koncentrací.
- **U látek podezřelých z karcinogenity u člověka** se předpokládá **bezprahový účinek**. Vychází se přitom ze současné představy o vzniku zhoubného bujení, kdy vyvolávajícím momentem může být jakýkoliv kontakt s karcinogenní látkou. *Nelze zde tedy stanovit ještě bezpečnou dávku a závislost dávky a účinku* se při klasickém postupu dle metodiky US EPA vyjadřuje ukazatelem, vyjadřujícím míru karcinogenního potenciálu dané látky. Tímto ukazatelem je faktor směrnice rakovinového rizika, odvozený extrapolací z prokázaného vztahu dávky a účinku při experimentu nebo vysoké expozici např. v pracovním prostředí, do oblasti nízkých dávek reálných v životním prostředí. Pro zjednodušení se pro standardní expoziční scénář při inhalaci z ovzduší může použít jednotka karcinogenního rizika, která je vztažena přímo ke koncentraci karcinogenní látky ve vzduchu.

### 2.2.2.3 Hodnocení expozice

Na základě znalosti dané situace se sestavuje expoziční scénář, tedy představa, jakými cestami a v jaké intenzitě a množství je konkrétní populace exponována dané škodlivině. Cílem je přitom postihnout nejen průměrného jedince z exponované populace, nýbrž i reálné možné případy osob s nejvyšší expozicí a obdrženou dávkou. Za tímto účelem se identifikují nejvíce citlivé podskupiny populace, u kterých předpokládáme zvýšenou expozici nebo zvýšenou zranitelnost.

### 2.2.2.4 Charakteristika rizika

Charakteristika rizika shrnuje všechny informace získané v předchozích etapách. Výsledkem je kvantitativní vyjádření míry reálného konkrétního zdravotního rizika za dané situace, která může sloužit jako podklad pro rozhodování o opatřeních:

- U toxických nekarcinogenních látek je míra rizika většinou vyjádřena pomocí poměru konkrétní zjištěné expozice či dávky k expozici nebo dávce, která je považována za ještě bezpečnou. Tento poměr se nazývá **kvocient nebezpečnosti** (Hazard Quotient - HQ), popřípadě při součtu kvocientů nebezpečnosti u současně se vyskytujících látek s podobným systémovým toxickým účinkem se jedná o index nebezpečnosti (Hazard Index - HI). Při kvocientu nebo indexu nebezpečnosti vyšším než 1 již hrozí riziko toxického účinku. U některých škodlivin, jako je tomu u oxidu dusičitého a suspendovaných částic PM<sub>10</sub> (např. při hodnocení zdravotních rizik ze silniční dopravy), současné znalosti neumožňují odvodit prahovou dávku či expozici a k vyjádření míry rizika se používá předpověď výskytu zdravotních účinků u exponovaných lidí s použitím vztahů závislosti účinku na expozici z epidemiologických studií.

- V případě možného karcinogenního účinku (u benzenu a benzo(a)pyrenu) je míra rizika vyjádřena jako **celoživotní vzestup pravděpodobnosti vzniku nádorového onemocnění** (Individual Lifetime Cancer Risk - ILCR) u jedince z exponované populace, tedy teoretický počet statisticky předpokládaných případů nádorového onemocnění na počet exponovaných osob. Za přijatelné karcinogenní riziko je většinou považováno celoživotní zvýšení pravděpodobnosti vzniku nádorového onemocnění ve výši  $1 \times 10^{-6}$  [1E-06], tedy jeden případ onemocnění na milion exponovaných osob, i když někdy mohou být požadavky i jiné (viz dále).

Nezbytnou součástí odhadu rizika je **analýza nejistot**, se kterými je každý odhad rizika nevyhnutelně spojen. Jejich přehled a kritický rozbor zkvalitní pochopení a posouzení dané situace a je třeba je zohlednit při řízení rizika.

### 2.2.2.5 Hodnocení zdravotních rizik při posuzování vlivů na životní prostředí

Při praktickém hodnocení zdravotních rizik, které je obligatorní při zpracování dokumentace dle přílohy č. 4 k zákonu č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, ve znění pozdějších předpisů, se v drtivé většině případů hodnotí působení *plynných imisí a hluku* na lidské zdraví.

#### Působení imisí

Aby bylo možno hodnotit působení imisí, je nutno zpracovat *rozptylovou studii*. Zjištěné imisní hodnoty v kontrolních bodech, resp. hodnoty příslušných izolinií nesmí překročit dané imisní limity (v současné době imisní limity uvedené v nařízení vlády č. 597/2006 Sb., o sledování a vyhodnocování kvality ovzduší). Jsou-li imisní limity splněny, má smysl provádět další hodnocení zdravotních rizik v této oblasti.

Běžně jsou hodnocena jak *karcinogenní*, tak *nekarcinogenní rizika*.

#### Riziko karcinogenních polutantů

V případě možného karcinogenního účinku (u benzenu a benzo(a)pyrenu) je míra rizika vyjádřena jako **celoživotní individuální riziko nádorového onemocnění** (Individual Lifetime Cancer Risk - ILCR) u jedince z exponované populace jako:

$$\text{ILCR} = \text{LADD} \times \text{CSP}_i \quad (\text{vztah platí za předpokladu, že riziko je nižší než } 0,01, \text{ tj. } 1\text{E-}02 = 1 \times 10^{-2}), \text{ kde}$$

LADD [mg/kg.den] – celoživotní průměrná denní dávka  
dávka vypočtená pro jednotlivé  
expoziční cesty,

CSP<sub>i</sub> [(mg/kg.den)<sup>-1</sup>] – faktor směrnice vypočtený  
ze vztahu mezi dávkou a  
odpovědí.

Je třeba připomenout, že samotné **použití faktoru směrnice** vychází z **lineárního vícefázového modelu** a je tedy horní hranicí odhadu.

**Reálné riziko** bude tedy **pravděpodobně nižší**. Uvedená sumace platí pouze za předpokladu nezávislosti působení jednotlivých látek (**neuvažuje synergické či antagonické účinky**). Dále předpokládá, že látky mají karcinogenní účinek a nepřihlíží k rozdílům v jejich klasifikaci. Nejistoty hodnocení musí být slovně dokumentovány.

**Karcinogenní riziko takto vypočtené, tzv. celoživotní individuální riziko pro jednotlivce**, se považuje za teoretické zvýšení pravdě-podobnosti počtu nádorových onemocnění nad všeobecný průměr pro jednotlivce v důsledku definované expozice hodnocené látce. Tzv. celospolečensky akceptovatelné celoživotní individuální riziko vzniku nádoru je stanoveno v různých státech rozdílně:

- US EPA požaduje hodnotu  $1 \times 10^{-6}$  dle HEAST hodnotu  $1 \times 10^{-5}$  [1E-05],
- Státní zdravotní ústav Praha doporučuje hodnotu  $5 \times 10^{-5}$  [5E-05],
- UNEP Chemicals doporučuje hodnotu  $1 \times 10^{-6}$  [1E-06].

#### ***Riziko nekarcinogenních polutantů***

K hodnocení rizika chemických škodlivin, které nemají karcinogenní účinek, se používá index nebezpečnosti (hazard index – HI), který umožňuje porovnání dávky chemické látky s  $RfD_i$  (eventuálně  $RfC$ ):

$$HI = ADD_{CELK} / RfD_i$$

Jestliže HI dosahuje **hodnoty menší než 1**, nemělo by existovat žádné významné riziko **systémové toxicity**.

Charakteristika zdravotního rizika u klasických znečišťujících látek např.  $NO_x$ , eventuálně  $NO_2$ , CO je prováděna na základě zjištění nepříznivých projevů v epidemiologických studiích (WHO, EC). **Analýza nejistot** je jednou z **nedílných součástí hodnocení rizik** a má rozhodující vliv na interpretaci výsledků a jejich praktické využití.

#### ***Působení hluku***

Prvotní podmínkou je, že ekvivalentní hladiny hluku stanovené v kontrolních bodech hlukovou studií musí být nižší než přípustné ekvivalentní hladiny hluku, dané příslušnými právními předpisy (nyní nařízení vlády č. 148/2006 Sb.).

Hluk je jedním z fyzikálních faktorů, které mohou nepříznivě ovlivňovat lidské zdraví. Je definován jako každý zvuk, který může být škodlivý pro zdraví nebo může být jinak nebezpečný.

Zdravotní hodnocení hluku má tři základní hlediska [4]:

- hladinu, projevující se jako hlasitost zvuku,
- frekvenci, projevující se jako výška zvuku,
- časový průběh hlukové události a její trvání.

Uvedené charakteristiky mají fyzikální obsah a jsou měřitelné. Vnímání hluku však podléhá exponenciální závislosti a je ovlivněno i psychicky subjektivními pocity, které se mohou lišit s vysokou mírou individuality.

Pro účinky na lidský organismus je možno vlivy hlukové zátěže rozčlenit podle délky působení a podle jeho intenzity. Negativní účinky hluku spočívají v tom, že primárně byly akustické signály vnímány jako výstražné a měly význam pro zachování života. Sluchový orgán jako receptor není možno vyřadit z činnosti ani během odpočinku a spánku. Proto hluk, zvláště vnímáný jako rušivý nebo nepříjemný, působí na organismus nepřetržitě a vyvolává odezvu na úrovni anatomické, fyziologické, biochemické i psychické. Mnohé ze zdravotních projevů zátěže hlukem se spojují s tzv. civilizačními chorobami a souvisejí se současným způsobem života. Hlučnost sama obvykle nepůsobí jako specifická noxa, ale podporuje vznik



poškození organismu způsobený jinými příčinami – například stresem, napětím, nedostatkem pohybové aktivity, nevhodným životním stylem apod.

Vysoká míra hlukové zátěže se projevuje somaticky – např. poškozením sluchového aparátu, zvýšeným výskytem hypertenze a ischemické nemoci srdeční, snížením možnosti komunikace, snížením schopnosti soustředění apod. Chronické působení hluku nižších intenzit se projevuje především v oblasti psychické – narušením psychických funkcí jako je pozornost, pocit pohody apod.

I když je hluk vnímán subjektivně, je nutné stanovit teoretickou fyzikální míru přípustné hlukové expozice. Pro působení hluku v subjektivní sféře byly zavedeny diferencované pojmy pro charakterizaci účinků na člověka. Jsou to (Havránek, 1990):

- rušení, při němž hluk interferuje s nějakou činností (spánkem, duševní prací, řečovou komunikací apod.),
- rozmrzelost a pocit nepohody, vznikající působením hluku a prožívaný negativně hlukem postiženým člověkem nebo skupinou,
- hlučnost, což je subjektivní hodnocení pocitu s nepatřičností hluku v konkrétním prostředí,
- obtěžování, což představuje nepřípustné ovlivňování životního prostředí, případně skupinových či osobních práv.

Významným faktorem je v takovém případě vztah exponované osoby ke zdroji hluku. Pokud je vztah indiferentní nebo k němu má subjekt dokonce kladný vztah – například se jedná o hlučnost provozu, která je zaměstnavatelem exponované osoby nebo se jedná o hudební produkci, která se subjektu líbí, nepociťuje hlukovou zátěž jako nepřiměřenou nebo obtěžující. Naproti tomu již slabé projevy sousedského hluku, které souvisí s běžným užíváním bytů nebo hlukové projevy s informačním obsahem nebo tónovou složkou mohou způsobit vysoký stupeň rozmrzelosti nebo nespokojenosti, která může vést například ke snížení hloubky spánku nebo k zhoršení nálady a pracovní výkonnosti exponované osoby.

Za zmínku stojí i vnímání hluku z různých zdrojů, které se projevují rozdílnou dynamikou a odlišným spektrálním složením i časovým rozložením akustických vln. V nenarušeném přírodním prostředí se vyskytuje hluk tvořený prouděním větru, vody, projevy volně žijících živočichů a podobně, který nepůsobí rušivě a naopak je obvykle vnímán jako pozitivní faktor pro psychickou pohodu. Běžný komunální hluk, který je přítomen v různé intenzitě v každém sídelním útvaru, je tvořen směsí hluku sousedské činnosti a dopravy. K tomuto hluku přistupuje prakticky v každém soustředěném útvaru s výskytem obyvatel i hlučnost různých provozoven. Hluk těchto zařízení často tvoří šramoty (sypaní a převalování materiálu), harmonické monotónně působící frekvence hluku (například běžící motory, větrání, vrtání) a krátkodobé změny intenzity hluku (nárazy, sbíjení, odhazování materiálu), které působí se zvýšenou iritací na exponované obyvatele.

Jako důležitý faktor se vzhledem k charakteru působení hluku na veřejné zdraví jeví rozdíl mezi hlučností ve dne a v nočních hodinách. Požadavek platné legislativy je postaven na rozdílu limitů o 10 dB. Menší rozdíly mezi denní a noční hlučností jsou obvykle způsobeny vysokou intenzitou dopravy na hlavních průtahových komunikacích a v oblastech v dosahu nepřetržitých provozů. Obecně je možno říci, že největší rozdíly mezi denní a noční hlučností jsou v odlehlé krajině s nízkým stupněm antropogenní zátěže. V oblastech, které jsou industrializovány, dochází ke zvýšení především noční hlučnosti. Tento vliv se projevuje stabilní hlukovou zátěží, která působí na zdravotní stav především expozicí v nočních hodinách.

Závislost projevů negativních zdravotních účinků na míře expozice hluku byly formulovány například na základě výsledků programu Monitoringu zdravotního stavu obyvatel ČR ve vztahu k životnímu prostředí. Tyto účinky se mění podle denní doby, kdy je exponovaná osoba vystavena účinkům hluku. Závislost má přitom charakter hlukového prahu, jehož překročení má za následek zvýšení výskytu poškození zdravotního stavu populace v souvislosti s hlukovou zátěží. Porovnáním a doplněním na základě zahraničních pramenů byl pro AN 15 a jeho novelizaci (SZÚ Praha) i podle doporučených úprav na základě znalosti nejnovějších poznatků definován soubor očekávaných projevů poškození zdravotního stavu exponovaných obyvatel (tab. 2.2 a 2.3) s využitím nejnovějších publikovaných poznatků WHO o zdravotním účinku noční hlučnosti (Night Noise Guidelines for Europe, 2009).

Tab. 2.2 Prokázané nepříznivé účinky hlukové zátěže - den

|                                       | dB(A) |       |       |       |       |       |       |     |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Nepříznivý účinek                     | < 40  | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 | 60-65 | 65-70 | 70+ |
| Sluchové postižení *                  |       |       |       |       |       |       |       |     |
| Zhoršené osvojení řeči a čtení u dětí |       |       |       |       |       |       |       |     |
| Ischemická choroba srdeční            |       |       |       |       |       |       |       |     |
| Zhoršená komunikace řečí              |       |       |       |       |       |       |       |     |
| Silné obtěžování hlukem               |       |       |       |       |       |       |       |     |
| Mírné obtěžování hlukem               |       |       |       |       |       |       |       |     |

\* přímá expozice hluku v interiéru

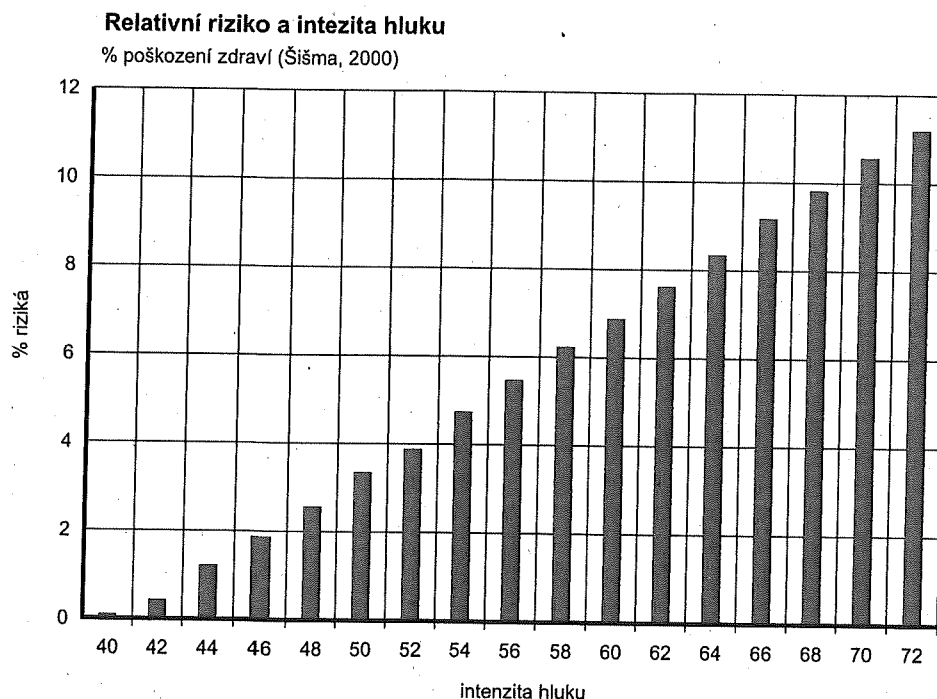
Tab. 2.3 Prokázané nepříznivé účinky hlukové zátěže - noc

|                                            | dB(A) |       |       |       |       |       |     |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Nepříznivý účinek                          | < 35  | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 | 60+ |
| Psychické poruchy *                        |       |       |       |       |       |       |     |
| Hypertenze a infarkt myokardu *            |       |       |       |       |       |       |     |
| Subjektivně hodnocená horší kvalita spánku |       |       |       |       |       |       |     |
| Zvýšené užívání sedativ                    |       |       |       |       |       |       |     |

\* - omezená váha důkazů

Projev tzv. zvýšeného výskytu civilizačních chorob má podle dříve používané závislosti dle Šišmy (2003) kontinuální charakter a začíná na 42 dB. Vztah vycházel především z dlouhodobé noční zátěže běžným komunálním hlukem, v němž hraje významnou úlohu hlučnost dopravy (obr. 2.2). Na základě současných poznatků jsou doporučena přesnější hodnocení pomocí závislostí, které byly odvozeny zahraničními vědeckými institucemi.

Dle světové zdravotnické organizace WHO může hluk způsobovat také poškození lidského zdraví ve formě zhoršení sluchu, zhoršení srozumitelnosti a komunikaci řeči, poruchy spánku a fyziologických funkcí lidského organismu jako jsou například zvýšení krevního tlaku, ischemická choroba srdeční a v neposlední řadě mentální onemocnění v podobě nejružnějších neuróz atd. (WHO, 1999). V současné době je směrnice pro hodnocení vlivu hlučnosti na veřejné zdraví předmětem revize.



**Obr. 2.2** Projevy civilizačních chorob ve vztahu k noční hlučnosti obydlí [Šišma, 2003]

Podle doporučeného postupu SZÚ je možno pocit obtěžování (rozmrzelosti) exponované populace vyjádřit očekávaným procentem populace, která bude cítit hlučnost určitého typu jako subjektivní pocit zhoršeného prostředí pro svůj život. Tento přístup rozděluje hlučnost podle zdrojů na:

- hlučnost leteckého provozu,
- dopravní hlučnost silniční,
- dopravní hlučnost železniční,
- hlučnost průmyslového typu trvalého,
- hlučnost nárazovou typu posunovacího nádraží,
- hlučnost sezónně provozovaného průmyslového hluku,
- hlučnost větrných elektráren.

Pro hodnocení byly odvozeny spojitě funkce, které využívají jako základní deskriptor  $L_{dvn}$  – hladinu akustického tlaku přepočtenou z hladin akustického tlaku pro den, večer a noc. Tento deskriptor je vyjádřen funkcí

$$L_{dvn} = 10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_v+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right\} \quad (2.1)$$

V případě, že hodnocený záměr je provozován pouze v denní době, používá se pro hodnocení jeho očekávaného vlivu na veřejné zdraví pouze deskriptor  $L_d$ , který popisuje denní hlučnost, případně  $L_{dn}$ , který vychází z hodnot denní a noční hlučnosti.  $L_{dn}$  je odvozen vztahem

$$L_{dn} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{24} \cdot \left( 16 \cdot 10^{\frac{L_{6-22h}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{22-6h}+10}{10}} \right) \right] \quad (2.2)$$

Uvedená podrobnost rozdělení typů hluku a hlavně vymezení očekávaných účinků dopravní a technologické hlučnosti řeší hlavní problém hodnocení vlivu hluku na veřejné zdraví, kterým je rozdíl v kvalitě produkovaných hlukových emisí vlivem kvalitativně různých zdrojů hluku. Tím se liší použití hlukového deskriptoru  $L_{dvn}$  od ostatních metodických přístupů, které neumožňují posoudit očekávaný vliv záměrů s ohledem na kvalitu produkovaných hlukových emisí.

## 2.3 Demo-sociální aspekty

Ve vztahu k životnímu prostředí jsou velmi významné, ale nedostatečně regionálně propracované. Zatímco pro řešení demo-sociálních charakteristik funguje celý systém statistických služeb, vztah ke kvalitě životního prostředí byl rozpracován jen v některých oblastech, a to zejména tam, kde již byl dosažen stupeň ekologické krize.

Jako kritéria se uvažují:

- **migrace obyvatel** kolísala v rozmezí  $3 \div 5 \%$  z celkového počtu obyvatel. Příčiny migrace jsou velmi různorodé. Stanovit jako příčinu např. změněnou kvalitu životního prostředí pro území ČR je velmi obtížné. V průmyslových oblastech se příčina - špatná kvalita životního prostředí - projevuje asi v objemu 30 - 40 %.
- **dojíždka za prací** jak co do objemu, tak v profesionální struktuře je silně regionálně diferencovaná. Z celkového objemu dojíždky mezi obcemi, který kolísal v minulém desetiletí mezi 1,70 ÷ 1,76 milionu dojíždějících, se odhaduje, že příčinou je kvalita životního prostředí asi ve 20 - 30 %, zatímco v „intravilánu“ průmyslových oblastí a jejich zázemí, včetně objemu mezikrajských hranic, se pohybuje mezi 40 - 50 %.
- **dojíždka za rekreací** je problémem všech velkých měst z důvodu nevhodného obytného prostředí. V devadesátých letech minulého století se odhadovalo, že nutný počet chat a chalup pro zajištění rekreace obyvatel z těchto nevhodných městských bytů by měl být v ČR ve výši cca 600 000 objektů [1]. Se změnou kvality bydlení v posledních letech (výstavba nových bytů a rodinných domů v oblastech s kvalitnějším životním prostředím) se dá předpokládat snížení potřeby dojíždky za rekreací a tedy i počtu rekreačních objektů.
- **změny sociální a věkové struktury** z důvodů změněné kvality životního prostředí lze modelově sledovat např. v sídlech jako je Havířov, Most, Chomutov, Písek aj., kde došlo v minulosti ke vzniku sociálních a věkových monostruktur a příčinou jsou změněné podmínky a kvalita životního prostředí [3].

Sociální hodnocení se vyjadřuje v následujících formách:

- **sociální omezení** (např. minimální a maximální hodnoty možných vlivů a následků),
- **sociální škody** vyjádřené v cenách (např. ztráty neodpracovaných dnů v důsledku onemocnění, která vznikla vlivem znečištěného prostředí, zvýšené náklady na sociální zabezpečení, snížení důchodů a příjmů obyvatelstva),
- **náklady na odvrácení negativních následků** a konkrétně na profylaktická opatření, vytvoření a uchování zdravotně hygienických oblastí mezi průmyslovými podniky a sídlišti aj.,
- **změny rozdělení času obyvatelstva,**

- *změny zdravotního stavu.*

### Kritéria a formy sociálního hodnocení

Různé sféry života mají svá kritéria pro hodnocení. Jejich volba je podmíněna demografickou a sociální strukturou společnosti, zdravotním stavem obyvatelstva, úrovní a uspokojováním materiálních a duchovních potřeb, kulturními a životními zvláštnostmi společnosti a jejích skupin, estetickým vnímáním přírody a životního prostředí, vnímáním dokonalosti prostředí atp.

Jelikož **neexistují normativy**, které by vyjadřovaly **optimální úroveň těchto kritérií**, je nutno použít vztažných ukazatelů, charakterizujících více nebo méně ustálené představy o kvalitě prostředí. Tyto představy mají však mnoho variant v čase a prostoru a jsou závislé na subjektu, který toto hodnocení provádí.

**V sociálním hodnocení** však i nadále **zůstává nejdůležitějším kritériem zdravotní stav obyvatelstva**. Proto je nyní legislativou obligatorně požadováno (viz též dále příslušná subkapitola) v rámci zpracování dokumentace o hodnocení vlivů na životní prostředí předložení hodnocení zdravotních rizik. Cílem hodnocení zdravotních rizik je poskytnutí hlubší informace o možném vlivu nepříznivých faktorů na zdraví a pohodu obyvatel, nežli je možné pouhým srovnáním intenzit jejich výskytu s limitními hodnotami, danými platnou legislativou. Tyto limitní hodnoty někdy představují kompromis mezi snahou o ochranu zdraví dosažitelnou realitou a nemusí zaručovat úplnou ochranu zdraví a tím spíše pohody lidí, zejména pak skupin populace se zvýšenou citlivostí k danému faktoru. Příkladem mohou být imisní limity pro klasické škodliviny v ovzduší, nebo korekce k limitním hodnotám hluku z dopravy.

### Literatura (kap. 2)

- [1] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1996. 128 s. ISBN 80-7078-316-8.
- [2] HERČÍK, Miloslav, LAPČÍK, Vladimír, OBROUČKA, Karel. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1994. 243 s.
- [3] VORÁČEK, Vladimír et al. *Rukověť EIA*. Praha: AD VITAM, 1993.
- [4] PROVAZNÍK, K., CIKRT, M., KOMÁREK, L.: *Manuál prevence v lékařské praxi – VIII. Základy hodnocení zdravotních rizik*. Praha: Státní zdravotní ústav Praha, Nakladatelství Fortuna, 2000. ISBN 80-7071-161-2.

### 3 Ekonomické aspekty hodnocení

Ekonomické aspekty hodnocení kvality životního prostředí vycházejí z řešení těchto problémů:

- **ekonomické hodnocení přírodních zdrojů,**
- **makroekonomika a životní prostředí,**
- **ekonomické hodnocení škod na životním prostředí.**

#### 3.1 Ekonomické hodnocení přírodních zdrojů

**Ekonomické hodnocení** lze vyjádřit ve **formě nákladů** i ve formě jiné. Jako **hlavní se jeví hodnocení nákladů**. Jeho výhradou je celkový integrující charakter. **Druhý způsob hodnocení (nikoliv náklady)** se používá pro řešení **dílčích úkolů** [1].

K získání první formy ekonomického hodnocení podle nákladů se doporučuje využít **metody přímého účtu**, jehož podstata spočívá ve stanovení složení nákladů na opatření pro ochranu přírody a prostředí a velikosti ekonomické škody, která zůstává po jejich provedení.

**Ekonomická škoda (ztráta)** - představuje vyjádření nákladů vzniklých ekonomickou ztrátou. V závislosti na možnosti tohoto vyjádření rozlišujeme:

- **škody (ztráty) v hospodářské činnosti**, které dostávají výraz přímého cenového vyjádření (náklady) za pomoci obecně přijatých ekonomických ukazatelů (např. ztráty v produkci, zisku, důchodu, ztráty - náklady na kompenzaci atd.),
- **škody sociální**, které jsou vyjádřeny nepřímo nebo dílčím způsobem za pomoci zvážení jejich vlivu na produktivitu práce či hodnotou ztrát na kompenzaci škod atd. (ztráta volného času a zhoršení zdravotního stavu obyvatelstva, zhoršení podmínek pro odpočinek apod.),
- **škody sociální a ekonomické**, jejichž vyjádření v nákladech (ceně) **za dané období není možné** vlivem indefinity (neurčitosti) jejich projevu v budoucnu, tj. po určité době se začnou teprve projevovat (např. genetické následky), či vlivem jejich nekonvertibility (ztráta genofondu, poškození unikátních přírodních a historicko-architektonických památek apod.).

Při takto získaném hodnocení nemůže být část přirozených škod vyjádřena v cenových ukazatelích.

Při volbě ukazatelů ekonomických ztrát nutno vzít v úvahu [4]:

- druh řešených úkolů (podle maxima čistého důchodu, podle minima nákladů),
- faktory limitující rozvoj ekonomiky,
- stav informační báze.

V podmínkách omezených přírodních, materiálních a finančních zdrojů se přednostně provádí měření podle velikosti **dodatečných národohospodářských nákladů** na kompenzaci negativních následků, neboť pro nahrazení ztrát je společnost nucena přejít na provoz kvalitativně chudších ložisek, k výrobě produkce v podnicích s vyššími provozními ztrátami apod.

Kompenzační náklady sestávají z následujících nákladů:

- na lékařské ošetření pracujících, kteří onemocněli v důsledku znečištění prostředí, náklady na jejich nemocniční léčení,
- na kompenzaci ztrát produkce vzniklých v důsledku absence nemocných pracovníků,
- na kompenzaci předčasného opotřebení základních fondů v průmyslu, dopravě, komunálním hospodářství,
- na dodatečný rozvoj komunálního hospodaření v znečištěném prostředí,
- na kompenzaci kvantitativních a kvalitativních ztrát produkce v důsledku zhoršení bonity půdy, lesů, vody a snižování zásob přírodních zdrojů.

### Metody výpočtu cen přírodních zdrojů v tržních ekonomikách [1]

Nejobecněji lze vzorec pro výpočet ceny přírodního zdroje zapsat ve formě

$$c = \sum_t \frac{r_t}{(1 + i_t)^t} \quad (3.1)$$

kde  $c$  = cena přírodního zdroje,  
 $r_t$  = očekávaná veličina rentního efektu v roce  $t$ ,  
 $i_t$  = očekávaná veličina diskontní míry v roce  $t$ .

Vzhledem k tomu, že očekávaný roční **rentní efekt** je funkcí mnoha proměnných (typové produkce, cen vstupů, výnosů, daní, úrokové míry, míry inflace atd.) a podobně je funkcí mnoha proměnných také **diskontní míra** (časová preference peněz, riziko, inflace atd.), je obecný vzorec ceny přírodního zdroje často zjednodušován pomocí přijatelných předpokladů. Nejčastějším předpokladem je předpoklad konstantnosti veličin  $r$ , resp.  $i$  v čase a předpoklad nekonečného horizontu. Za těchto předpokladů lze vzorec přírodního zdroje zapsat ve tvaru

$$c_s = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{r_t}{(1 + i_t)^t} = \frac{r}{i} \quad (3.2)$$

kde  $c_s$  = cena zdroje vypočtená za zjednodušených předpokladů.

Jde o známý vzorec kapitalizované renty, v němž cena zdroje vyjadřuje částku, která uložena v bance na úrokovou míru  $i$  nese ročně rentu  $r$ .

Chceme-li vypočítat cenu zdroje na omezenou dobu jeho využívání, což se týká především vyčerpatelných zdrojů, (za předpokladu konstatnosti  $r$ ,  $i$ ) použijeme vzorec

$$c_0 = r \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1 + i)^t} = \frac{r[(1 + i)^T - 1]}{i(1 + i)^T} \quad (3.3)$$

kde  $c_0$  = cena zdroje za omezený počet let užívání ( $T$ ).

Uvedené vzorce pro výpočet ceny přírodního zdroje představují v tržních ekonomikách základní přístupy k výpočtu této ceny při různých ekonomických

podmínkách a různých přijímaných předpokladech.

Vedle uvedených metod se zhruba od 50. let našeho století (v souvislosti s rozvojem *cost-benefit analýzy* jako hlavní neoklasické disciplíny pro vyhodnocování projekčních variant) silně rozšířila metoda tzv. *čisté současné hodnoty* (*Net Present Value*):

$$NVP = \sum_{t=1}^n CF_n (1+i)^{-t} - \sum_{t=1}^m I_m (1+i)^{-t} \quad (3.4)$$

mělo by platit  $NPV > 0$

kde

|        |                                                                                  |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $CF_n$ | = vnitřní finanční zdroje <i>cash flow</i> v letech využívání přírodního zdroje, |
| $I_m$  | = investice do využívání zdroje v jednotlivých letech výstavby,                  |
| $n$    | = počet let využívání zdroje,                                                    |
| $m$    | = počet let výstavby,                                                            |
| $i$    | = diskontní míra,                                                                |
| $t$    | = čas.                                                                           |

Jestliže sociálně ekonomické důsledky rentních vztahů mohou být v určité míře řešeny sociálně spravedlivým systémem zdaňování, potom podstatou zůstává ekonomická funkce renty. Započítávání renty za využívání omezených zdrojů přispívá k jejich efektivnější alokaci, renta slouží jako ekonomický nástroj rozdělování omezených přírodních zdrojů.

## 3.2 Makroekonomika a životní prostředí

### 3.2.1 Hrubý domácí produkt

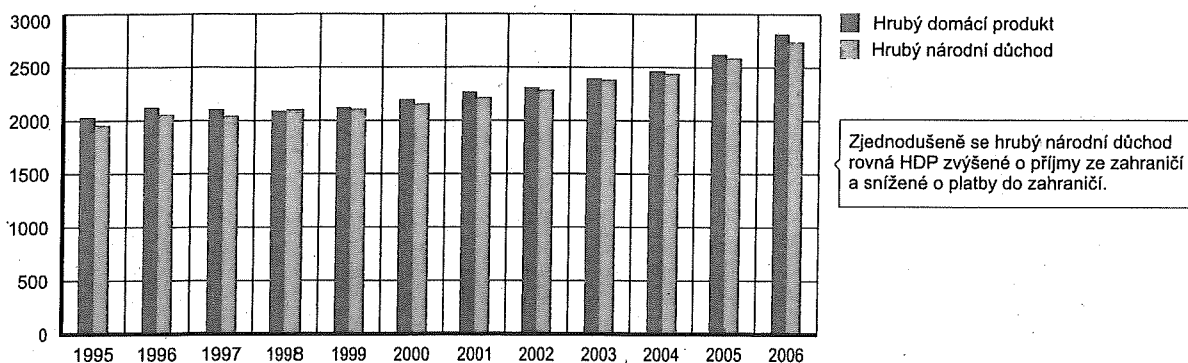
**Hrubý domácí produkt (HDP)** je nejsouhrnnějším ukazatelem stavu národního hospodářství (viz graf 3.1). Tvoří jej celková peněžní hodnota statků a služeb vytvořená za dané období na určitém území. Časovým obdobím bývá obvykle rok. V mezinárodních srovnáních se často používá HDP na obyvatele (HDP na hlavu) podle parity kupní síly (PPP).

**Hrubý národní důchod (HND)** se zjednodušeně rovná HDP opravenému o saldo důchodů přijímaných a vyplácených z a do zahraničí (viz graf 3.1).

Do roku 1993 HDP klesal, což bylo prolomeno až v roce 1994. Na rostoucí vnější (relativní výše běžného účtu platební bilance) a vnitřní (předstih růstu reálných mezd) nerovnováhu reagovala nejprve centrální banka a poté i vláda restriktivnější politikou. Negativně působila rovněž ztráta transformační dynamiky. Proto v roce 1996 došlo k poklesu tempa růstu HDP a v letech 1997-1998 se dokonce hodnota HDP absolutně snížila. Od roku 1999 však HDP rostl a v roce 2003 se tempo růstu dokonce zvýšilo (3,6 % v roce 2003, 6,4 % v roce 2005 a 6,5 % v roce 2007 [2]). Tento trend potvrzuje rovněž vyjádření HDP v přepočtu na jednoho obyvatele (viz graf 3.2). Tzv. reálný HDP je vyjadřován ve stálých cenách výchozího roku. V současném období recese nicméně HDP výrazně klesá.

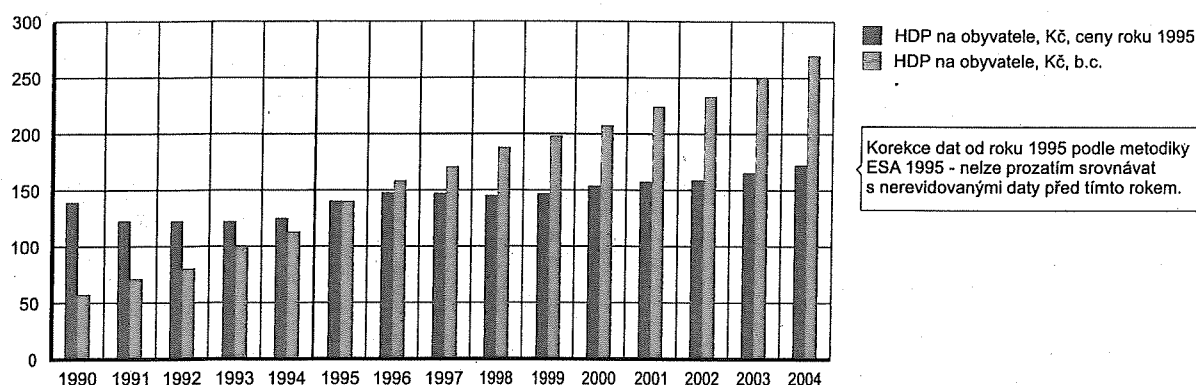


Vývoj HDP a HND, ceny roku 2000 (mld.Kč)



Graf 3.1 Vývoj HDP a HND, ceny roku 2000 (mld. Kč) [2]

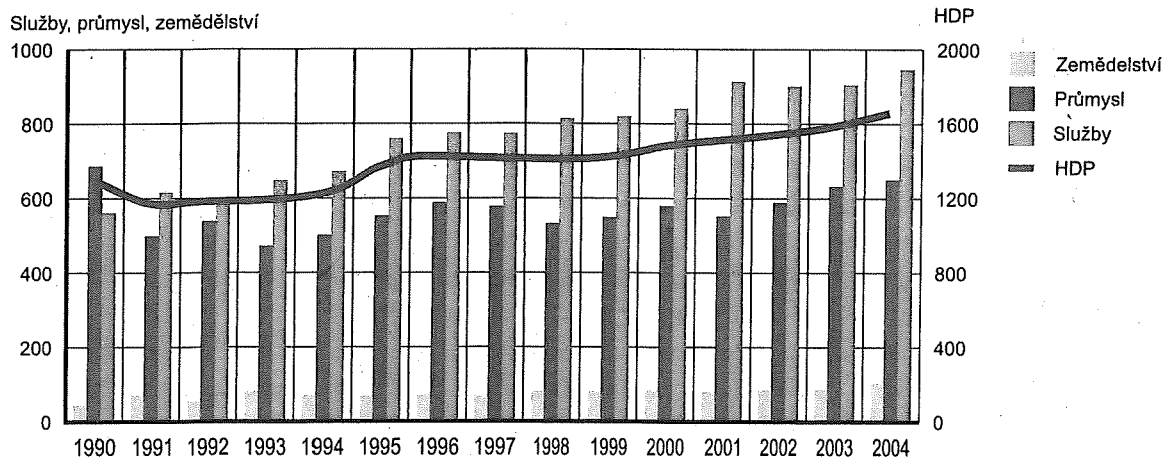
Vývoj HDP na obyvatele, ceny roku 1995 (tis.Kč)



Graf 3.2 Vývoj HDP na obyvatele, ceny roku 1995 (tis. Kč) [2]

Výrazně se měnila rovněž odvětvová struktura tvorby HDP. Zatímco v roce 1990 vytvářel největší podíl HDP průmysl (53,1% včetně stavebnictví), v dalších letech zaujaly vedoucí pozici služby (viz graf 3.3).

Struktura HDP, stálé ceny roku 1995 (mld.Kč)



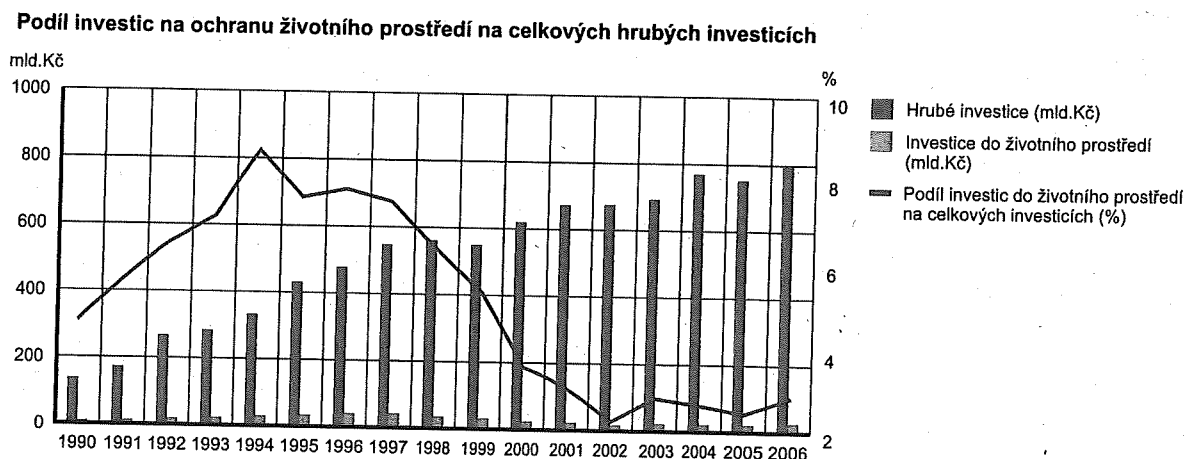
Graf 3.3 Struktura HDP, stálé ceny roku 1995 (mld. Kč) [2]

Pro hospodářskou politiku je hrubý domácí produkt podkladem zásadního významu,

protože umožňuje efektivní rozhodování nejen o rozmísťování investic, ale také o celkové restrukturalizaci hospodářství podle všech druhů potenciálů a zdrojů a to přírodních, ekonomických i sociálních.

### 3.2.2 Investice na ochranu životního prostředí

Po roce 1989 bylo nezbytné začít s nápravou stavu životního prostředí, což bylo přirozeně spojeno s vysokými náklady. Základ pro růst výdajů do životního prostředí byl položen zejména novou legislativou stanovující přísné emisní limity vypouštění znečišťujících látek i tvrdé termíny, ve kterých muselo být omezení znečištění dosaženo. Největší objem finančních prostředků byl vynaložen v letech 1995 – 1997, a to především v oblasti ochrany ovzduší (odsíření) a v menší míře rovněž v oblasti ochrany vod. Od roku 1990 investovala Česká republika do ochrany životního prostředí více než 390 mld. Kč. Přijetí environmentálních právních norem způsobilo přechodné zatížení ekonomiky a investice na ochranu životního prostředí tvořily v roce 1994 více než 8 % z celkových investic (viz graf 3.4) ve srovnání s 1 – 3 % v ostatních zemích OECD [2]. Musíme mít ale na zřeteli, že na tomto nepoměru se podílejí i další skutečnosti: nižší produktivita práce v ČR, stav životního prostředí v zemích EU nevyžaduje tak velké investice jako v ČR, české environmentální právní normy jsou v některých případech přísnější než v zemích EU a v minulosti navíc často obsahovala krátké termíny pro realizaci příslušných opatření.



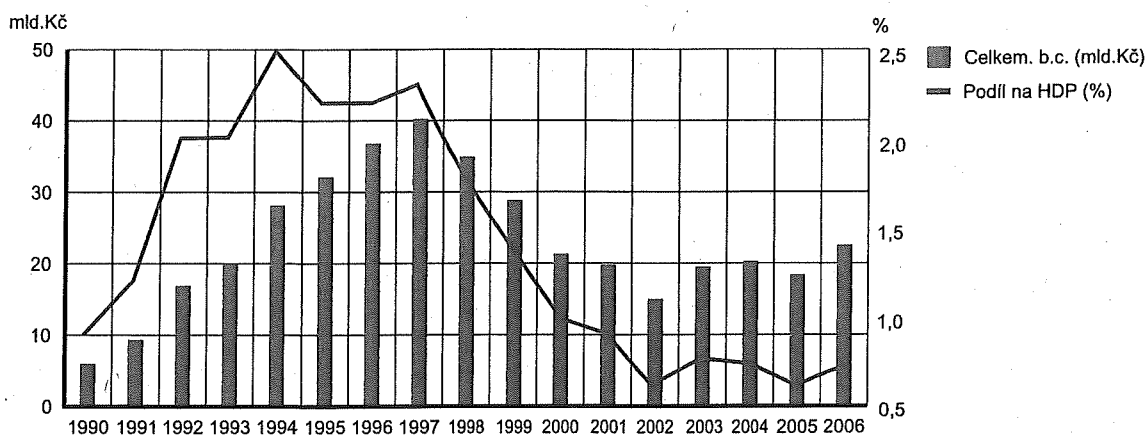
**Graf 3.4** Podíl investic na ochranu životního prostředí na celkových hrubých investicích [2]

Členění investic na ochranu životního prostředí podle programového zaměření umožňuje sledovat, jak jsou naplňovány cíle Státní politiky životního prostředí, respektive jak účinná jsou environmentální legislativní opatření.

Z finančního hlediska je důležité sledování výdajů na ochranu životního prostředí podle zdrojů financování. Tyto údaje odrážejí vývoj ve struktuře zdrojů financování a na jejich základě je nožné provádět analýzy do budoucna.

Klesající tendence se projevuje především u investic z veřejných rozpočtů, naopak vlastní zdroje tvoří stále nejsilnější zdroj financování. Jejich podíl představuje cca 2/3 investičních nákladů, které jsou k tomuto účelu vynakládány. Jedním ze stěžejních problémů v ochraně životního prostředí bylo zajištění finančních prostředků na stanovená opatření na úrovni jednotlivých investorů.

Podíl investic na ochranu životního prostředí na HDP



Graf 3.5 Podíl investic na ochranu životního prostředí na HDP [2]

Naopak k poklesu docházelo u finančních prostředků poskytovaných ze zahraničí, tato situace se však začala měnit a došlo k pozvolnému nárůstu objemu těchto investic, po vstupu ČR do EU tento trend nadále pokračoval. Pro finanční období 2007-2013 bude možné pro Operační program Životní prostředí využít ze zdrojů EU téměř 5 mld. EUR. Zvláště významné to bude pro potřebné čištění odpadních vod.

Výdaje na životní prostředí (viz tab. 3.1) vykazují růst, jehož zvýšení je zřetelné především v období po vstupu ČR do EU. Nárůst se, podle očekávání, nejvíce projevil v oblasti ochrany vod (požadavky na čistírny odpadních vod dle směrnice 91/271/EHS). Významné byly rovněž výdaje v kategoriích nakládání s odpady a ochrana přírody (soustava NATURA 2000).

Tab. 3.1 Celkové investice na ochranu životního prostředí (v mld. Kčs/Kč, běžné ceny) [2]

|                                                  | 1990        | 1992         | 1994         | 1996         | 1998        | 2000         | 2002         | 2004         | 2006         |
|--------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ochrana ovzduší a klimatu <sup>1)</sup>          | 1,69        | 5,76         | 13,49        | 21,48        | 20,14       | 8,42         | 4,15         | 4,68         | 4,56         |
| Nakládání s odpadními vodami <sup>2)</sup>       | 3,27        | 7,22         | 10,84        | 10,01        | 8,29        | 8,57         | 7,03         | 8,43         | 7,35         |
| Nakládání s odpady <sup>3)</sup>                 | 1,09        | 3,12         | 3,13         | 3,45         | 4,70        | 2,27         | 1,24         | 2,83         | 3,40         |
| Ochrana a sanace půdy, ochrana vod <sup>4)</sup> |             |              |              | 0,88         | 0,56        | 0,33         | 1,03         | 1,97         | 4,20         |
| Omezování hluku a vibrací <sup>5)</sup>          |             | 0,79         | 0,65         | 0,57         | 0,31        | 0,28         | 0,37         | 0,44         | 1,19         |
| Ochrana biodiverzity a krajiny <sup>6)</sup>     |             | 0,72         | 0,16         | 0,66         | 1,16        | 1,55         | 0,51         | 0,84         | 1,08         |
| Ochrana proti záření                             |             |              |              |              |             |              | 0,02         | 0,31         | 0,17         |
| Výzkum a vývoj na ochranu životního prostředí    |             |              |              |              |             |              | 0,13         | 0,08         | 0,04         |
| Ostatní aktivity na ochranu životního prostředí  |             |              |              |              |             |              | 0,45         | 0,62         | 0,51         |
| <b>Celkem</b>                                    | <b>6,05</b> | <b>16,95</b> | <b>28,27</b> | <b>37,04</b> | <b>3,52</b> | <b>21,40</b> | <b>14,92</b> | <b>20,21</b> | <b>22,47</b> |

- 1) do roku 1995 ochrana čistoty ovzduší
- 2) do roku 1995 ochrana čistoty vod, do roku 2001 ochrana vody (s výjimkou podzemní)
- 3) do roku 1995 využití a likvidace odpadu, do roku 2001 ekologické nakládání a odpady
- 4) do roku 2001 ochrana půdy a podzemní vody, od roku 2002 i povrchových vod
- 5) do roku 1995 omezení působení fyzikálních faktorů na životní prostředí, do roku 2001 redukce vlivu fyzikálních faktorů; kromě ochrany pracovišť
- 6) do roku 1995 rekultivace půdy, do roku 2001 ochrana přírody a krajiny

Získání potřebných finančních prostředků pro splnění jmenovaných evropských závazků (zejména v ochraně vod) je v současnosti nejvážnějším problémem financování ochrany životního prostředí. Shodná klasifikace výdajů na životní prostředí podle evropské klasifikace CEPA 2000 umožňuje srovnávání veřejných výdajů na životní prostředí v ČR se státy EU. ČR vynakládala v porovnání se státy EU na životní prostředí mnohem více finančních prostředků. Problémem je, že koncepce výdajů na životní prostředí zahrnuje kromě

investičních a neinvestičních nákladů na ochranu životního prostředí i část nákladů kompenzace environmentálních škod.

### 3.3 Hodnocení škod na životním prostředí

Značný rozsah ekologických škod ekonomického charakteru, resp. **ekonomických škod ze znehodnocování přírodních složek** životního prostředí vedl k četným pokusům kvantifikovat tyto škody. Praktické kvantifikace nastolily otázku metodologických problémů **kvantifikace ekonomických škod ze znehodnocování**. Nejdále postoupily kvantifikace ekonomických škod ze **znečištění přírodních složek životního prostředí**. Je to paradoxní, neboť jde o nejsložitější oblast kvantifikací ekonomických škod ze znehodnocování.

V případě kvantifikace **ekonomických škod ze znehodnocování** zpravidla srovnáváme ekologicky **narušené** (ovlivněné) a **nenarušené** (neovlivněné, kontrolní) **oblasti**, resp. jednotlivé regiony, lišící se především různou mírou narušení životního prostředí. Důležité je, zda se podaří dosáhnout přijatelné srovnatelnosti ostatních spoluovlivňujících faktorů. Na dostatečné srovnatelnosti ostatních spoluovlivňujících faktorů závisí síla, resp. slabost metody komparativní analýzy [1, 4].

Počítáme-li např. pole ve stejných půdně klimatických podmínkách, oseté stejným druhem plodiny včetně odrůdy, stejně ošetřované apod., tj. pole, které se liší především různou vzdáleností od zdroje znečištění, resp. rozdílnou mírou znečištění ovzduší, dostaneme se pravděpodobně k rozdílu, který s přijatelnou chybou lze připsat faktoru znečištěného ovzduší.

Naproti tomu normativní metoda kvantifikace ekonomických škod ze znehodnocování se opírá o zobecněné vztahy „negativní ekologické vlivy - ekonomické škody ze znehodnocování“. Tyto vztahy je samozřejmě nutné nejdříve určit. Určují se obvykle za pomoci metody komparativní analýzy.

Příkladem může být např. vztah míra „znečištění ovzduší - růst naturálního poškození vlivem koroze“, vztah „škody způsobené jednou myší za rok“ + vztah „počet myší ulovených za rok jedním kánětem či poštolkou“, vztah „růst nemocnosti způsobené nadměrným dopravním hlukem“ a vyčíslení nákladů jím vyvolaných apod.

Výpočet ekonomických škod ze znehodnocování **normativní metodou** je podmíněn kromě znalosti příslušných **norem** poškození i znalostí **rozsahu a struktury postižených příjemců** negativních vlivů, včetně jejich **ceny**. Přesnost kvantifikací normativní metodou se prohlubuje, známe-li zákonitosti tzv. **latentního stádia ekonomických škod** ze znehodnocování, tj. škod, které sice již vznikly, ale zatím se neprojevují, a známe-li zákonitosti tzv. **synergického efektu**, jež škody zvyšuje vlivem společného působení **více škodlivin** ve směsi.

Metoda **expertního odhadu** se opírá o odhad expertů. Kvalifikovaní experti by měli dobře znát **metodu komparativní analýzy** i **metodu normativní**, měli by znát možné účinky té či oné aktivity a měli by mít nezbytné zkušenosti s odhadováním ekonomických škod ze znehodnocování i škod obecně. Tyto požadavky se mohou jevit jako náročné. V každém případě jsou nezbytné, neboť v případě jejich zanedbání hrozí vážné nedostatky při modelovém hodnocení škod ze znehodnocování přírodních složek životního prostředí.

Při kvantifikacích ekonomických škod ze znehodnocování je třeba si uvědomit,

že i při správném metodickém postupu se dopočítáme údajů pouze přibližných. Přesnost  $\pm 10 \%$  bude výjimečná, většinou je nutno se spokojit s přesností  $\pm 20 \%$  a v některých případech s přesností ještě nižší.

#### **A/ Kvantifikace ekonomických škod na životní prostředí:**

- Škody ze znečištění,
- Škody z devastace,
- Škody z narušování ekologické rovnováhy,
- Škody ze ztrát surovin vlivem jejich neefektivní těžby a spotřeby.

Oceňování poškozených příjemců negativních ekologických vlivů, surovin a energie, odpadu, přírodních objektů apod.

#### **B/ Škody vznikající na jednotlivých faktorech jejich antropogenní transformaci v negativním smyslu - reliéf, klima, půda, vegetace, voda, krajina v ekosystémech regionální dimenze:**

- Degradace reliéfu,
- Narušení klimatu,
- Škody na půdě,
- Poškození vegetace,
- Znehodnocování vod,
- Degradace krajiny,
- Škody na ekosystémech.

#### **C/ Škody vznikající v jednotlivých výrobních a nevýrobních odvětvích (zemědělství, lesní a vodní hospodářství, doprava, průmysl, služby aj.):**

##### *Zemědělství*

- snížení hektarových výnosů,
- snížení jakosti rostlinné produkce,
- ohrožení půdy,
- pokles užitkovosti,
- pokles jakosti živočišné produkce,
- růst koroze zemědělských strojů, příp. staveb.

##### *Lesní hospodářství*

- ztráty na přírůstku dřevní produkce,
- ztráty na poklesu kvality dřeva,
- ztráty z dezorganizace hospodaření v lesích,
- zvýšené náklady na zalesňování,
- škody z destrukce mimoprodukčních funkcí lesa.

##### *Vodní hospodářství*

- zrychlení zanášení vodních děl,
- růst znečištění vod vlivem růstu zdrojů znečištění vod a poklesu její samočisticí schopnosti,
- růst povodňového ohrožení krajů,
- ohrožení zásobování vodou včetně závlah,
- ohrožení vodní rekreace.

##### *Doprava*

- zábor půdy,
- oběti autonehod,
- škody vlivem dopravního hluku,
- škody vlivem exhalací z dopravy.

#### *Průmysl*

- vliv znečišťování ovzduší,
- vliv znečišťování vod,
- vliv produkce odpadů,
- ohrožení pracovního prostředí a bezpečnosti práce.

#### *Těžba*

- destrukce krajiny,
- ohrožení vod,
- ohrožení čistoty ovzduší,
- vliv odvalů,
- ohrožení pracovního prostředí a bezpečnosti práce.

#### *Služby*

### **D/ Škody vznikající na základních фонdech, sídlech, liniových inženýrských zařízeních a stavbách atd.:**

- Škody na základních фонdech,
- Škody na sídlech,
- Škody na liniových stavbách.

### **E/ Škody způsobené obyvatelstvu na bytech, infrastruktuře, vynucenou dojížděnou za prací, migrací atd.:**

- Vyšší náklady a škody na osobních předmětech,
- Rychlejší opotřebení obytných domů, chat,
- Vyšší potřeba rekreace,
- Vyšší potřeba dojíždění za prací,
- Náklady zvýšené fluktuace a migrace,
- Ohrožení úrody zahrádek.

### **F/ Škody vznikající obyvatelstvu z důvodu změn zdravotního stavu působené změnou kvality životního prostředí:**

- Ekonomické škody na zdraví,
- Vyšší potřeba lázeňské péče a rekreace,
- Náklady škol v přírodě,
- Sociální devastace vlivem ohroženého životního prostředí.

## **Literatura (kap. 3)**

- [1] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1996. 128 s. ISBN 80-7078-316-8.
- [2] VOLAUFOVÁ, Lenka et al. *Hospodářství a životní prostředí v České republice po roce*

1989. Praha: CENIA, 2008. 188 s. ISBN 978-80-85087-67-3.
- [3] HERČÍK, Miloslav, LAPČÍK, Vladimír, OBROUČKA, Karel. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1994. 243 s. ISBN 80-7078-255-2.
- [4] VORÁČEK, Vladimír et al. *Rukověť EIA*. Praha: AD VITAM, 1993.

## 4 Hodnocení impaktu na životní prostředí

Realizované stavby, soubory staveb a výrobní technologie pokládáme za nejvýznamnější artefakty v životním prostředí. Vyvolávají změny v životním prostředí, které lze srovnat pouze s některými dalšími činnostmi, zejména s těžbou, totálním odlesňováním, odvodňováním apod. U staveb a výrobních technologií se setkáváme s neobvykle silnými impakty co do rozsáhlosti územního celku, vysokými ekonomickými náklady a přijatým ekologickým, popř. zdravotním rizikem. Posuzování impaktu ve smyslu jeho hodnocení může být z hlediska toku času ex post, tj. u dříve realizovaných akcí, nebo a priori, tj. takové, které se orientuje na připravované a v budoucnosti uvažované investice a záměry. Předmětem zájmu procesu posuzování vlivů na životní prostředí je převážně druhý okruh problematiky.

Vzhledem k tomu, že proces posuzování vlivů na životní prostředí (EIA) je značně internacionalizován, je vhodné respektovat mezinárodní uzanci v definiční oblasti. Výraz **impakt** je definován jako přímý nebo nepřímý efekt způsobený navrhovanou činností na:

- existenci člověka, flóru a faunu,
- půdu, vodu, ovzduší, klima a krajinu,
- materiální hodnoty a kulturní dědictví.

Z hlediska metodologického je pak vhodné impakt definovat jako rozdíl mezi dvěma stavy, tj. budoucím a navrženou činností (tj. po realizaci projektu) a druhým, tzv. referenčním stavem.

Za referenční stav lze pokládat řadu variant referenčních úrovní, např.:

- původní stav existující před realizovanou činností, obecně nazývanou jako současný stav nebo stávající podmínky,
- stav, který se vyvine bez jakékoliv činnosti a plánovaného projektu (viz např. varianty typu no-action),
- ideální stav.

Prognóza vyvolaných změn a odhad impaktu na okolí je velmi důležitý, zejména v souvislosti s realizací velkých staveb a výrobních technologií. Jejich následné využívání má rozdílnou ekologickou odezvu, kterou lze vyjádřit souborem **ukazatelů fyzikální, chemické a biologické kvality** složek životního prostředí, **kritérii demografickými a socioekonomickými, psychologickými a estetickými, kulturními** apod. Přitom preference ukazatelů ekonomické efektivnosti záměru a jeho provozní náročnosti i nadále zůstává do určité míry nesprávná.

Predikce impaktu (změny, dopadu, vlivu, podnětu, odezvy, účinku) předpokládá, že může existovat vztah mezi navrženou činností a složkami životního prostředí. Tyto vztahy mohou být popsány jako řetězec příčin a účinků, kde lze rozeznat příčinu (přímý efekt spojený s činností, např. vznikem emise, kontaminovaným odpadem apod.), účinky prvního řádu (převážně fyzikální a chemické změny v prostředí) a účinky vyššího řádu (převážně impakt na příjemce - rostlinstvo, živočišstvo, člověka, nemovitý majetek apod.).

Pravděpodobné impakty je třeba posoudit z hlediska jejich zásadní povahy, tj. zda se jedná o impakty

- prospěšné (žádané) či škodlivé (záporné),



- přímé či nepřímé, popř. jako související účinky (účinky prvního řádu - převážně fyzikální a chemické změny v prostředí a účinky vyššího řádu - převážně impakt na příjemce: rostlinstvo, živočišstvo, člověka, nemovitý majetek apod.),
- v reálném čase nebo časově odložené,
- vratné či nevratné (ireverzibilní),
- krátkodobé či dlouhodobé,
- místní či strategické.

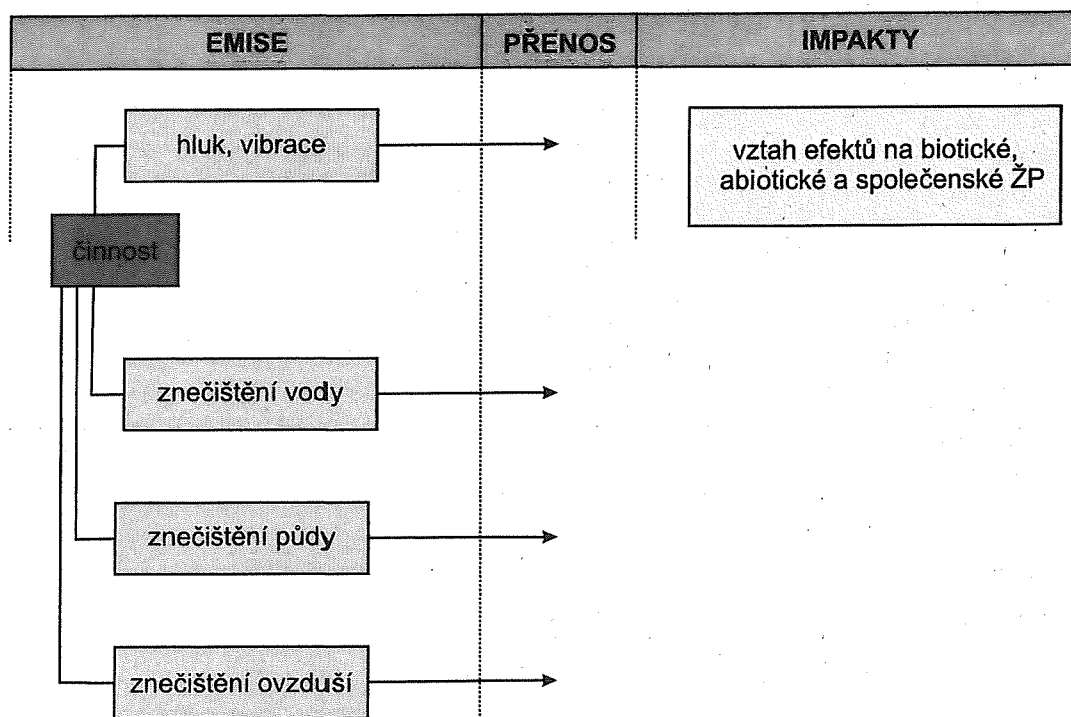
Z hlediska metodického zjednodušení lze předpokládat, že všechny dopady realizovaných projektů na okolí lze členit na impakty:

- inženýrské a biofyzikální (tj. na živou a neživou část přírody),
- ekonomické, sociální a kulturní,
- zdravotní,
- estetické.

Pro vyvolanou změnu a charakteristiku vlivu je důležitý údaj kvantitativní, kvalitativní, prostorový (tedy územní) a časový. Potenciální impakt může spočívat v posouzení dopadu na jeden vybraný ukazatel kritéria, popř. na více ukazatelů jednoho kritéria nebo více ukazatelů mnoha kritérií.

Je nutno zdůraznit, že je třeba rozlišovat výrazy pro **efekt** (effect) a **impakt** (impact). Efekt vyvolaný projektem lze definovat jako změnu vlastností určité složky životního prostředí (např. čistota ovzduší, vody, půdy apod.). Naopak impakt lze chápat jednak jako vědeckou nebo technickou predikci číselné hodnoty, jednak jako interpretaci toho, co tato čísla mohou znamenat ve vztahu k biotickému, abiotickému nebo společenskému prostředí.

Logické chápání rozdílu těchto dvou pojmů názorně vyplývá z grafického schématu - viz obr. 4.1.



Obr. 4.1 Objasnění rozdílu mezi efektem a impaktem [1, 4]

## 4.1 Způsoby a metody predikce impaktu

Predikce impaktu je důležitou činností v procesu posuzování vlivů na životní prostředí (EIA). Umožňuje získat informace, na kterých je možno založit rozhodnutí o přijetí varianty včetně preventivních, kompenzačních a zmírňujících opatření. Ze zahraničních i domácích zkušeností plyne, že je nutno věnovat pozornost obsahové náplni jednotlivých pracovních etap predikce (tab. 4.1) a klasifikaci efektů, které vyžadují mimořádnou pozornost z hlediska hlavních složek životního prostředí (tab. 4.2).

Tab. 4.1 Etapy predikce

| Etapy predikce podle ERL                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Etapa:</b>                                                   | Úkoly – výstupy                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Identifikování potenciálních efektů:</b>                     | Definování plánovaných činností v rámci posuzovaných variant<br>Podrobný popis všech částí souboru posuzovaných variant<br>Popis přírodních zdrojů<br>Identifikace a popis efektů 1., 2. a vyššího řádu<br>Sumarizace efektů vyvolaných každou variantou<br><b>Výstup:</b> Soustava příčin efektů pro každou variantu |
| <b>Předběžné posuzování efektů:</b>                             | Stanovení kritérií pro předběžné hodnocení efektů<br>Provedení předběžné predikce<br>Hodnocení významnosti efektů<br><b>Výstup:</b> Porovnání predikovaných efektů a rozhodnutí o potřebě dalšího šetření                                                                                                             |
| <b>Definování požadavků pro sestavení informace o efektech:</b> | Ověření faktorů, které by měly být vzaty do úvahy<br>Definování proměnných<br>Formulování a popis požadovaného typu výsledku<br><b>Výstup:</b> Seznam požadovaných informací                                                                                                                                          |
| <b>Výběr metod pro predikci:</b>                                | Identifikace dostupných metod pro získání požadované informace<br>Volba nejvhodnější metody se zřetelem na dané podmínky a řešený problém<br><b>Výstup:</b> Rozhodnutí - výběr metody a zdůvodnění                                                                                                                    |
| <b>Použití metody pro predikovaný efekt:</b>                    | Sběr dat<br>Příprava metody<br>Aplikace metody<br>Posouzení kvality obdržených výsledků<br><b>Výstup:</b> Predikce efektů a hodnocení spolehlivosti predikce                                                                                                                                                          |
| <b>Uspořádání a prezentace výsledků:</b>                        | Hodnocení významnosti očekávaných efektů<br>Prezentace výsledků<br><b>Výstup:</b> Písemná zpráva apod.                                                                                                                                                                                                                |

Cílem predikce v procesu posuzování vlivů na životní prostředí je popis pravděpodobné změny, která bude výsledkem navrhované činnosti nebo realizovaného projektu. Za tímto účelem je nutno:

- popsat stávající stav na základě provedeného místního šetření, popř. průzkumu či monitoringu,
- zpracovat predikci hodnot parametrů pomocí prediktivních metod,
- současné i budoucí (změněné) podmínky vyhodnotit pomocí vyhodnocovacích metod.

Tab. 4.2 Klasifikace efektů

| Klasifikace efektů podle ERL, které vyžadují predikci z různých hledisek                                                                                                                                                      |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Kategorie účinku:<br>Popis efektů:                                                                                                                                                                                            |  |
| <b>I. Z HLEDISKA OCHRANY OVZDUŠÍ:</b>                                                                                                                                                                                         |  |
| Prvního řádu:<br>Změny v koncentraci látek v ovzduší                                                                                                                                                                          |  |
| Prvního a vyššího řádu:<br>Efekty fyzikálních a chemických změn na klima (např. turbulence, mlhy, mikroklima, emise tepla, skleníkový efekt)                                                                                  |  |
| Vyššího řádu:<br>Ukládání látek do půdy a vody, působení na vegetaci<br>Účinek působení sedimentovaných látek na materiály (koroze)<br>Účinky na změny klimatu a jakost ovzduší, viditelnost (průzračnost) atmosféry          |  |
| <b>II. Z HLEDISKA OCHRANY POVRCHOVÝCH VOD:</b>                                                                                                                                                                                |  |
| Prvního řádu:<br>Změny v hydrologii povrchové vody<br>Změny kvality povrchové vody (fyzikální, chemické, mikrobiologické)                                                                                                     |  |
| Vyššího řádu:<br>Změny v chování sedimentů<br>Změny v solnosti<br>Změny v ekologických vlastnostech povrchové vody (eutrofizace)                                                                                              |  |
| <b>III. Z HLEDISKA OCHRANY ROSTLINSTVA A ŽIVOČIŠTVA:</b>                                                                                                                                                                      |  |
| Prvního řádu:<br>Vliv fyzikálních poruch na rostlinstvo, živočišstvo a jejich stanoviště (mechanické odstranění a poškození)                                                                                                  |  |
| Vyššího řádu:<br>Účinky znečišťování nebo poškození (smrtelné nebo polosmrtelné efekty) na populaci, produktivitu a složení rostlinných a živočišných společenstev a stanovišť<br>Akumulace škodlivin v biologickém materiálu |  |

Pro místní šetření, průzkum či monitoring se běžně používá např.:

- odběr vzorků a analytické metody pro zjišťování kvality ovzduší, vody, půdy atd.,
- metody mapování přírodních zdrojů, vlastností krajiny, demografických jevů atd.,
- metody pro zjišťování biologických vlastností (např. velikost populace, diverzita),
- metody pro měření fyzikálních vlastností (vektory rychlosti proudění podzemních vod, směr a velikost sklonu svahů podzemních masívů, rychlost větru),
- metody pro provádění sociologických průzkumů apod.

Prognostické hodnocení v rámci posuzování vlivů na životní prostředí se orientuje na připravované, plánované, projektované nebo jinak v budoucnu uvažované činnosti a investice. Prognostická dimenze musí pokrýt širokou sféru očekávaných nebo možných impaktů v čase, prostoru a intenzitě, sféru možných rizik, nebezpečí nebo havárií. Zároveň je nutno sledovat dynamický vývoj systému a okolí systému (investice), tj. faktor času (období realizace, plného provozu, dožití, likvidace atd.).

Důraz na prognostickou dimenzi nesmí potlačit skutečnost, že kvantifikace hodnot ukazatelů kritérií musí rozlišovat úroveň **hodnocení deskriptivního** od úrovně **normativního**. Obě úrovně nemohou být zaměňovány nebo ztotožňovány.

**Deskriptivní hodnocení** sestává z údajů, které jsou naměřené, jakýmkoliv způsobem

zjištěné, vypočítané, očekávané či expertním způsobem odhadnuté.

**Normativní hodnocení** se opírá o maximální či minimální limitní hodnoty mezinárodních, státních a oborových norem, hygienických předpisů, obecně známých stupňů toxicity nebezpečných látek, mezinárodních uzancí, popř. míry přijatelného rizika.

**Prediktivní metody** je možno rozlišit na **formální** a **neformální**.

Jako osvědčené **formální metody** se uznávají:

- exaktní způsoby,
- statistické metody,
- experimentální metody a matematické modelování.

**Neformální metody** jsou reprezentovány znaleckými odhady a uplatněním analogie.

Formální pracovní postupy vytvářejí rozsáhlou kategorii **technicko-metodických způsobů predikce**.

**Exaktní metody** jsou v praxi umožněny vypracováním konkrétního technického a ekonomického záměru v různých variantách a změřením hodnot z mapovaného podkladu, výpočtem apod., převážně v technických a ekonomických objektivních jednotkách.

**Statistické metody** vycházejí ze shromážděných údajů (sběru dat) významných pro daný problém a území (okolí). Využívá se vědeckých základů prognózování, teorie růstových křivek a posouzení pravděpodobných vývojových trendů. **Prognózou** rozumíme pravděpodobnostní výrok o událostech, které nastanou v nějakém prostorovém nebo časovém intervalu.

**Experimentální metody a matematické modely** se liší v tom, že u matematických modelů se musí příčina a účinek explicitně formulovat, zatímco u experimentálních metod tyto vztahy nemusí být známy. V obou případech je však nezbytná schematizace (zjednodušení) systému, vedoucí k vymezení vztahu **příčina → účinek**.

**Experimentální metody** lze rozdělit na tři skupiny:

- ilustrativní nebo fyzikální modely znázorňující ovlivněné prostředí,
- terénní experimenty,
- laboratorní experimenty.

V **matematických modelech** jsou vztahy mezi příčinou a účinkem představovány jednou nebo několika matematickými rovnicemi. Modely mohou být:

- empirické,
- procesní,
- smíšené.

**Empirické modely** jsou založeny na experimentech nebo opakovaném měření, využívají poznatků statistické analýzy a ukazují vztahy mezi příčinou a účinkem bez explicitně formulovaných vnitřních vztahů (model černé skříňky). Vedle obecných modelů se používají modely speciální pro aplikaci v konkrétní lokalitě nebo pro určitý typ prostředí.

**Procesní modely** spočívají v explicitním definování procesu buď bez ohledu na vývoj v čase (ustálený, setrvalý stav), nebo naopak (dynamický vývoj).

Složitost (algoritmus) modelů se mění od jednoduchých, které mohou být řešeny ručně, až po komplexní dynamické a stochastické modely, které vyžadují výpočetní techniku.

Predikce hodnot parametrů podle **technicko-metodických způsobů** předpokládá existenci alespoň jednoduché, ale formalizované, předem definované metodiky, kterou lze mnohonásobně podle potřeby opakovat. Opačný přístup technickou metodiku postrádá. Přesto se však jedná o nezanedbatelné **neformální expertní a analogické pracovní postupy**, které např.:

- využívají osobních znalostí a zkušeností expertů, což umožňuje zpracovat znalecký posudek často na nedostižné teoretické a společenské úrovni,
- umožňují poměrně přesný odhad vlivu na základě analogie věcné, územní apod.,
- nashromážděním údajů o prostředí na základě průzkumu a šetření poskytují inventárním způsobem (včetně mapování) a pomocí jednoduché posuzující (oceňující) techniky záznam (obraz) o současné situaci.

Nejvýraznější neformální metodou kvalitativní situace je posudek ojedinelého znalce, kdy jeden expert podává svůj názor na pravděpodobný efekt. Formální stránku modelu predikce lze z tohoto startovního bodu zvýšit různými cestami, např.:

- požadavkem, aby expert zdůvodnil svůj názor verbálním nebo matematickým popisem vztahů, které použil, nebo aby podpořil svá zjištění odkazem na vědecké, popř. historické záznamy,
- požádat skupinu expertů o shodný názor na pravděpodobný efekt,
- zvýšením počtu expertů a tím z individuálních názorů skupiny expertů obdržet výsledný kolektivní názor,
- požádat skupinu expertů o shodný názor na pravděpodobný efekt prostřednictvím aplikovaného expertního systému a vhodné metody.

Součástí predikce tvoří **číselné ohodnocování efektů**. Způsob závisí na povaze efektu a příjemci. **Objektivní hodnocení** je založeno na použití objektivních technických a ekonomických jednotek (soustava SI). **Subjektivní hodnocení** vyžaduje zvláštní pozornost a citlivou práci s verbálně-numerickými stupnicemi.

## 4.2 Proces predikce impaktu

Dodržet podmínky splňující předpoklady úplného procesu predikce a hodnocení impaktu (viz obr. 4.2) vedou k úsilí o zjednodušení tohoto procesu při důsledném dodržení zásad pro systémový přístup. Obecně se dává přednost **neúplnému procesu predikce**, pro který je možno použít dva přijatelné způsoby, tj.:

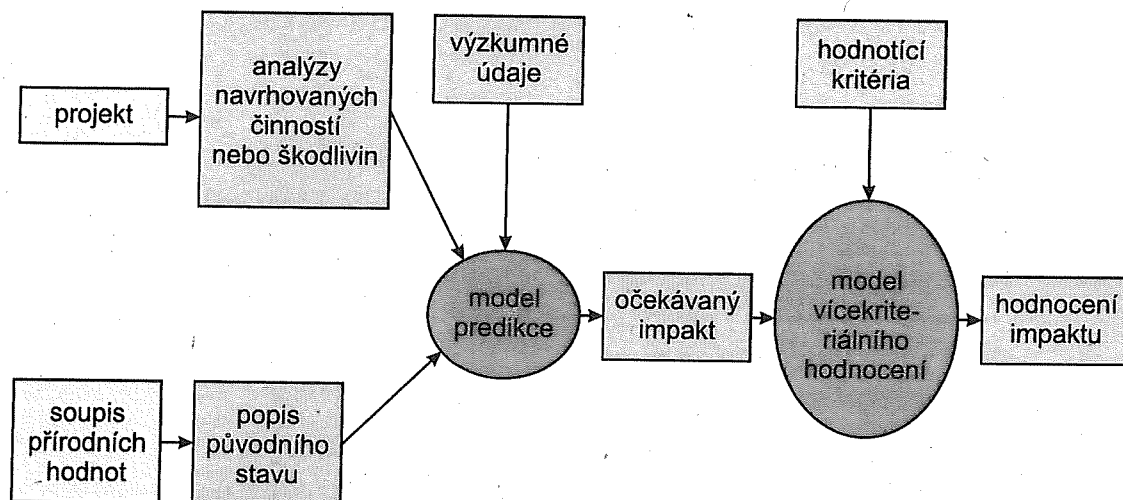
- uplatnění přibližných metod,
- zkrácení úplného procesu predikce.

**Přibližné metody predikce** umožňují uspokojivé řešení dílčích problémů spojených s náročnými otázkami měřítka, komplexnosti a nejistoty (naznačuje přehled v tabulce 4.3).

Možnosti **zkrácení procesu predikce** pro posuzování vlivů na životní prostředí spočívají ve vyloučení některých kroků (zpravidla ve čtyřech modifikacích), které jsou zaměřeny na [1, 4]:

- analýzu činnosti,
- posouzení území,
- studii citlivosti,
- výběr srovnávacího prostoru (území).

Všechny uvedené přístupy jsou schematicky znázorněny níže na obr. 4.3 v souladu (tj. na pozadí) základního vývojového diagramu pro úplný proces predikce (viz obr. 4.2).



Obr. 4.2 Vývojový diagram pro úplný proces predikce a hodnocení impaktu podle H. de Haese a A. Dona (1987)

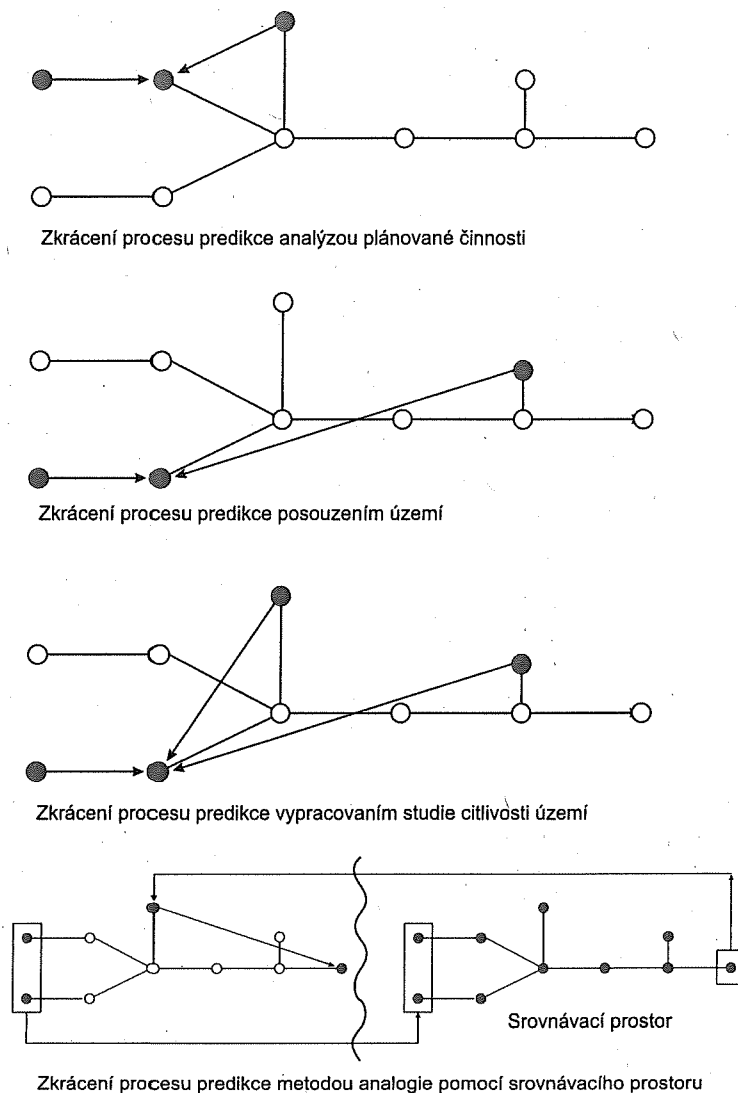
Tab. 4.3 Přehled možných aplikací přibližných metod pro překonání kontroverzních otázek měřítka, komplexnosti a nejistoty

| Problém                                  | Měřítka                                                                                               | Komplexnost                                                   | Nejistota                                                                                      |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Analýza navrhovaných činností nebo emisí | Metoda nahodilého vzorku                                                                              | Výběr činností nebo uvažovaných emisí<br>Širší kategorie změn | Specifikace podobného příkladu<br>Studie citlivosti<br>Vztahové diagramy<br>Expertní hodnocení |
| Popis původní situace                    | Metoda nahodilého vzorku<br>Volba velké geografické jednotky<br>Vyšší stupeň organického společenství | Vyšší stupeň organického společenství<br>Volba ukazatelů      | Vztahové diagramy<br>Expertní hodnocení                                                        |
| Predikce impaktu                         |                                                                                                       | Analýza impaktu<br>Metoda černé skříňky                       | Určení maximálního účinku<br>Studie citlivosti<br>Vztahové diagramy<br>Expertní hodnocení      |
| Hodnocení impaktu                        |                                                                                                       | Ukazatel kritéria                                             | Určení optimistické/pesimistické možnosti impaktu<br>Expertní hodnocení                        |

**Analýza plánované činnosti** přichází v úvahu v případě, kdy není známá lokalizace plánovaného záměru. Celkový impakt (např. zdroj emisí SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>) je analyzován pouze obecně - popis původní situace a skutečná predikce včetně hodnocení dílčích účinků je zanedbávána.

**Posouzení území** postačí v takových případech, kdy realizace projektu způsobí

absolutní impakt (např. ztrátu přírodní rezervace) a předmětem diskuse je lokalita (*umístění*) stavby. Pro řešení postačí popis a hodnocení původního stavu příslušné geografické lokality. Hodnocení kvality přírodního ekosystému v konkrétním případě naznačí ztráty vyplývající z realizace navrhovaného projektu.



**Obr. 4.3** Schématické znázornění zkráceného procesu predikce

Vypracování **studie citlivosti území** je prováděno v různých modifikacích v závislosti na:

- citlivosti původní lokality na vyvolanou změnu,
- hodnotě původní lokality,
- velikosti území ovlivněného změnou.

Tato metoda je vhodná pro ty případy, kdy není známa velikost změny a není znám (*definován*) vztah příčina - účinek. Obecně nelze použít kvantitativní přístup. Analýzu citlivosti lze použít pro objasnění a porovnání analogických změn, které jsou vědeckovýzkumně obecně objasněny. Přednosti tohoto přístupu jsou zřejmé pro ocenění

citlivosti různých ekosystémů na plánované změny (viz např. snížení nebo zvýšení hladiny podzemní vody, zvýšení trofického potenciálu, eutrofizace, okyselení apod.).

Použití metody **analogie pomocí srovnávacího území (prostoru)** je nezbytné v případě absence dostatečného množství vědeckovýzkumných údajů a velkého počtu různých dílčích změn, které nelze izolovaně predikovat. Zpravidla jde o složité soubory staveb s náročnou výrobní technologií (např. petrochemický průmysl) a s velkým počtem navazujících činností (následných impaktů).

## 4.3 Kritéria

Předpokladem pro úspěšné posouzení potenciálního vlivu záměru na životní prostředí je soustava kritérií, vypracovaná individuálně pro konkrétní případ podle zásad systémového přístupu (např. tzv. úplnost hodnoceného prostoru a vlastností systému, dodržení disjunkce, preferenční a užitkové vzájemné nezávislosti kritérií apod.). Kritéria, resp. ukazatelé kritérií vytvářejí soubory (*katalogy*), které se s úspěchem používají pro **screening-test** a **scoping proces**. Z těchto procedur ihned v počáteční fázi procesu posuzování vlivů na životní prostředí (EIA) vyplynou klíčová hlediska, kterým je třeba věnovat důkladnou pozornost při podrobném vypracování dokumentace o vlivu na životní prostředí. Naopak v opačném případě lze z předběžného výsledku usoudit, že potenciální impakt je zanedbatelný a proces posuzování není nutný.

Práce s kritérii zahrnuje několik relativně **samostatných problémů**, kterými jsou [1, 4, 5]:

- *vytváření souborů kritérií pro určité druhy činností, staveb a technologií, které se vyznačují společnými znaky z hlediska jejich vlivu na okolí,*
- *způsob a určování ukazatelů kritérií z hlediska jejich fyzikálního rozměru, limitních hodnot a způsobu jejich predikce,*
- *určování míry přijatého rizika z hlediska očekávaného vlivu podle definovaného ukazatele kritéria,*
- *úprava ukazatele kritéria pro multikriteriální analýzu a jeho transformace do polohy kvantitativního a kvalitativního multiplikátoru (viz vyhodnocovací křivka - rating curve a váha - weight).*

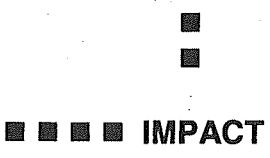
V pragmatickém vývoji kategorie posuzování vlivů na životní prostředí (EIA) má své nezastupitelné místo **křížová matice interakcí** (*cross - impact matrix*). Tvoří vhodný počáteční nástroj pro získání předběžné informace o potenciálním impaktu na jednotlivé složky životního prostředí a člověka. Současný stav poznání však nepřipouští použití této metody bez návaznosti na formalizované metody rozhodování.

Elementární schéma a konstrukce matice interakcí spočívá ve vyhledání vzájemně možných (předpokládaných, pravděpodobných) vztahů mezi plánovanými činnostmi na *x-ové* ose a parametry životního prostředí na *y-ové* ose. Takto identifikované průsečíky se označí. Historický význam má standardní typ matice, kterou uvedl L. B. Leopold (1971) a v rozvinuté (vícestupňové) podobě J. L. Moor et al. (1973).

Křížová matice interakcí (tab. 4.4) je již konstruována ve smyslu screening testu a pro uplatnění výstupu v navazujícím scoping procesu dle vzorové tabulární úpravy:



Tab. 4.4 Křížová matice interakcí

| Matice interakcí pro předběžné posouzení vlivů na životní prostředí (screening-test)                                                                                                                                            |                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ovlivněné faktory a složky ŽP                                                                                                                                                                                                   | Přehled plánovaných činností vyvolávajících potenciální impakt - viz doplňující adresář                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                 | 1 ... 2 ... 3 ... 4 ... 5 ... 6 ... n                                                                                       |
| <b>A. BIOFYZIKÁLNÍ ŽP</b><br>Půda<br>Voda<br>Ovzduší<br>Hluk a vibrace<br>Záření<br>Biosféra<br>Viditelné intruze<br><b>B. SPOLEČENSKÉ ŽP</b><br>Osídlení<br>Pracovní příležitosti<br>Volný čas<br>Doprava<br>Kulturní aktivita | <div style="text-align: center;">  </div> |

Připojený adresář (dle prof. Kennedyho) doplňuje v libovolném pořadí přehled (*popis*) plánovaných dílčích činností, které je třeba realizovat pro posuzovaný záměr (*projekt*).

Do průsečíků předpokládaných interakcí se vepisují formalizované symboly podle závazné legendy:

|           |   |                               |
|-----------|---|-------------------------------|
| <i>N</i>  | - | <i>negativní impakt</i>       |
| <i>n</i>  | - | <i>málo negativní impakt</i>  |
| <i>P</i>  | - | <i>pozitivní impakt</i>       |
| <i>p</i>  | - | <i>málo pozitivní impakt</i>  |
| <i>VN</i> | - | <i>velmi negativní impakt</i> |
| <i>VP</i> | - | <i>velmi pozitivní impakt</i> |
| <i>O</i>  | - | <i>žádný očekávaný impakt</i> |

Vypovídací schopnost takto sestavené matice umožňuje identifikovat průměrně nebo extrémně se vyskytující očekávané impakty, na které je třeba soustředit pozornost v následujícím podrobném hodnocení. Tvoří důležitou informaci pro sestavení katalogu (seznamu) kritérií, na základě kterého je možno uskutečnit podrobnou multikritériální analýzu všech posuzovaných variant.

V určitých případech může být křížové matice interakcí využito jako pomůcky v rámci rozhodovací procedury, která stanoví, že proces posuzování vlivů na životní prostředí bude ukončen zjišťovacím řízením dle §7 zákona č. 100/2001 Sb., v platném znění (viz dále kap. 4.5).

Jednotlivá kritéria (ukazatelé kritérií) vytvářejí soubory (seznamy, katalogy), které podle vypovídací schopnosti lze členit nejméně na pět kategorií, tj.:

- Seznam** (simple checklist), katalog 1. třídy, je prostý soupis parametrů vybraných jako kritéria kvality životního prostředí. Neobsahuje návod na způsob měření jednotlivých ukazatelů, ani jejich interpretací.
- Popisný seznam** (descriptive checklist), katalog 2. třídy, je rozšířený seznam o specifikaci pracovního postupu, jak jednotlivé parametry měřit.

- c) **Katalog se stupnicí** (scaling checklist), katalog 3. třídy, je rozšířený předcházející typ. Doplněk tvoří návod na způsob oceňování kladného či záporného vlivu a specifikuje např. bodový žebříček verbálně numerické stupnice. Pomocí katalogu 3. třídy lze zjišťovat relativní vliv variant buď součtem kladných a záporných hodnot, nebo celkovým součtem.
- d) **Kombinovaný katalog** (scaling-weighting checklist), katalog 4. třídy, rozšiřuje předcházející typy o soustavu váhových multiplikátorů, které rozlišují jejich vzájemnou relativní významnost  $w_j$ .
- e) **Kombinovaný katalog s transformačními funkcemi** (rating curves), katalog 5. třídy, představuje nejvyšší a nejúplnější typ formalizovaného podkladu rozhodovací analýzy. Seznam katalogu 4. třídy je doplněn o hodnotící křivky, tj. transformační vztahy mezi analytickým ukazatelem  $P_j$  a kvalitativním multiplikátorem  $U_j$ , který nabývá ve všech případech hodnoty v intervalu  $<0;1>$ . **Transformační funkce  $U_j = f_j(P_j)$**  mohou být vyjádřeny **matematicky nebo graficky**. V prvním případě lze s výhodou uplatnit strojový mechanismus výpočtu, ve druhém případě pro běžnou praxi vyhovuje úplný soubor nomogramů.

Při posouzení jednotlivých typů katalogů je zřejmé, že nejvyšší potlačení subjektivního prvku v rozhodovacím procesu poskytuje katalog 5. třídy, který předem formalizuje převod **analytického ukazatele kvality  $P_j$  na kvalitativní multiplikátor  $U_j$** . Předcházející zpracování a dostupnost závazných nomogramů pro obecně dohodnuté ukazatele kritérií přispívá k vysoké míře disponibility rozhodovací metodiky bez náročného matematického aparátu. I v tomto případě se pracuje se soustavou váhových multiplikátorů  $w_j$ .

Seznam kritérií vytvořený pomocí katalogu kritérií je obvykle nutno doplnit např. pomocí brainstormingu a dále jej rozčlenit a určit nutnost podrobného posouzení jednotlivých vlivů. Roztřídění se provádí obdobně jako u brainstormingu, jako kritéria pro určení důležitosti se v této fázi EIA používají:

- předpokládaný rozsah vlivů,
- citlivost území,
- doba předpokládaného působení vlivu,
- podstatné existující nejistoty.

#### 4.4 Určování hodnot relativní důležitosti parametrů metodou párového porovnání podle D. Fullera

V souboru ukazatelů kritérií nemají všechny prvky množiny  $P_j$  stejný relativní význam ve vztahu ke konkrétnímu posuzovanému problému. Tento relativní, vzájemně poměrný význam (důležitost) se zjednodušeně označuje jako váha kritéria  $w_j$ . Hodnota  $w_j$  poskytuje informaci o relativní společenské důležitosti (rozuměj impaktu) jednotlivých ukazatelů kritérií v rámci dané množiny  $P_1, P_2 \dots P_n$ . Představuje individuální kvantitativní multiplikátor pro každý ukazatel kritéria. Pro jeho stanovení (kvantifikaci) jsou k dispozici různé metody z oblasti rozhodovací analýzy.

Týmovou metodu párového porovnání publikoval D. Fuller. V porovnání s jinými běžně používanými metodami (např. známkování, pořadí, alokace apod.) tento formalizovaný postup minimalizuje vliv subjektivního činitele. Jestliže přichází do úvahy  $n$  parametrů, potom lze sestavit jejich kombinaci 2. třídy. Celkový počet dvojic je

$$\frac{n}{2} (n - 1),$$

který se sestavuje do tabulky tzv. Fullerova trojúhelníku. Formální úpravy však mohou být různé, při velkém počtu  $n$  se z úsporných důvodů pracuje v jednořádkovém trojúhelníku, nebo se volí tabelární forma.

Základní zápis pro schéma párového vyhodnocení parametrů je

$$\begin{array}{ccccccc}
 1 & 1 & 1 & 1 & & 1 & \\
 2 & 3 & 4 & \dots (n-1) & & n & \\
 & 2 & 2 & \dots 2 & & 2 & \\
 & 3 & 4 & \dots (n-1) & & n & \\
 & & 3 & \dots 3 & & 3 & \\
 & & 4 & \dots (n-1) & & n & \\
 & & & \dots & & & \\
 & & & \dots & & & \\
 & & & & & (n-1) & \\
 & & & & & n & 
 \end{array}$$

Mechanismus pracovního postupu spočívá ve vzájemném porovnání všech dvojic, kde lze zpravidla snadno posoudit ve vztahu k deklarovanému cíli, který parametr je více či méně významný. V rámci dvojice preferovaný parametr (*index parametru*) se označí podtržením nebo kroužkem a postupně se zjišťuje celkový počet individuálně získaných předností pro celou množinu parametrů; tento počet určuje číselný údaj o váze ukazatele kritéria  $w_j$ . Výpočet normované váhy kritéria  $w_j^{(n)}$  je nutný z tohoto důvodu, aby byly splněny podmínky podle rovnice (4.15) a (4.16). Obecně je shodný např. s metodou pořadí - pro individuální výpočet se použije rovnice

$$w_j^{(n)} = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (4.1)$$

kde platí vztah podle rovnice (4.16). Jestliže úlohu řeší kolektiv expertů (zastoupení různých vědních oborů) je třeba stanovit celkovou (průměrnou) normovanou váhu podle vztahu

$$w_j^{(n)} = \frac{\sum_{k=1}^s w_{jk}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s w_{jk}} \quad (4.2)$$

kde  $w_{jk}$  je váha  $j$ -tého parametru přisouzená  $k$ -tým expertem,  
 $n$  - celkový počet parametrů,  
 $s$  - celkový počet expertů.

Pro praktické řešení je účelné použít tabelární uspořádání. Průběžná kontrola správnosti výpočtu vychází ze skutečnosti, že celkový úhrn získaných preferencí musí vyhovovat shora uvedenému vztahu  $n/2(n-1)$ . Průměr hodnot většího počtu expertů

(nad  $s = 35$ ) vyhovuje Gaussovu rozdělení [4].

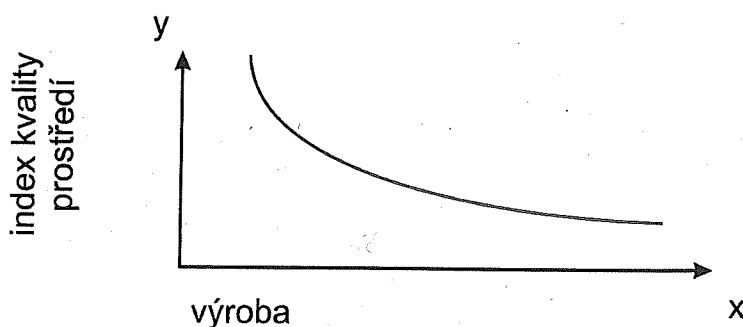
Modifikací této metody je metoda úplného párového porovnání, kdy se každá dvojice parametrů posuzuje dvakrát, čímž se vyloučí nesprávné závěry vyplývající z počátečního nahodile sestaveného pořadí parametrů v trojúhelníku.

Za další výhody této metody se pokládá snadné porovnávání parametrů a možnost připsání stanoviska, že oba parametry jsou rovnocenné, popř. nesrovnatelné. Mechanismus výpočtu nevyžaduje předcházející tranzitivnost pořadí a s výhodou lze řešení spojovat s metodou bodovací.

Při řešení úlohy cílového programování s mimořádnou společenskou odezvou je účelné kombinovat metodu D. Fullera s metodami týmového expertního hodnocení, např. modifikovanou metodou Delfy.

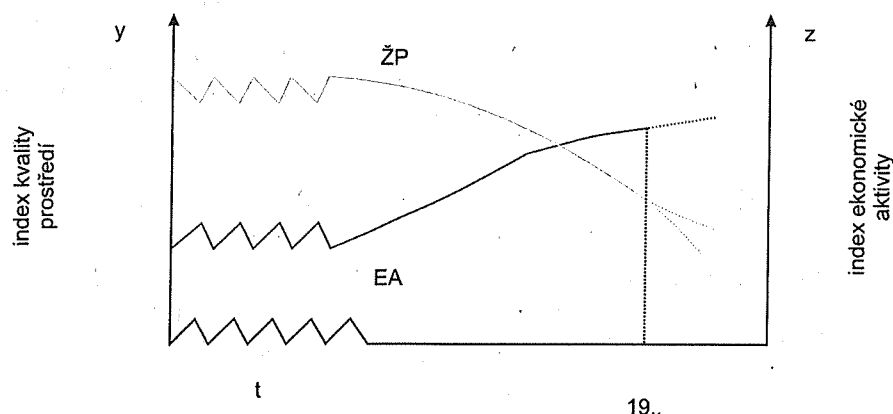
## 4.5 Určování hodnot kvalitativních multiplikátorů

Tvar a průběh vyhodnocovacích křivek pro jednotlivé parametry  $P_j$  (ukazatele kritérií) graficky vyjadřují vlastnosti jednorozměrných transformačních funkcí dílčího užítku  $U_j = f_j(P_j)$ . Jejich aplikace v procesu multikriteriální hodnotové ekologické analýzy a rozhodovacího procesu umožňuje využít poznatků multikriteriální axiomatické teorie kardinálního užítku MUT (Multiattribute Utility Theory). Tato teorie vychází z filozofického předpokladu, že souhrnná kvalita životního prostředí pro dané území (region) je určena podstatnými (kardinálními) vlastnostmi jednotlivých složek prostředí, jejichž kvalitu lze ocenit dostupnými analyticko-diagnostickými ukazateli. Základním axiomatickým vztahem pro proces hodnocení je obecně uznávaný nepřímý vztah mezi výrobou (stupněm ekonomické aktivity, mírou urbanizace apod. - obr. 4.4) a indexem kvality prostředí podle obr. 4.5.



Obr. 4.4 Obecně platný vztah mezi výrobou a kvalitou prostředí

Funkce  $U_j$  plní v modelu metody totálního ukazatele kvality prostředí (TUKP - viz kapitola 4.6) úlohu multiplikátoru [1, 4]. Jestliže míra užítku je relativní, lze ke stanovenému počátku stupnice  $U_j$  přiřadit libovolnou hodnotu ukazatele  $P_j$ . Protože význam a fyzikální rozměr jednotlivých ukazatelů  $P_j$  se v katalogu kritérií diferencuje, jsou jejich hodnoty vzájemně nesrovnatelné (neporovnatelné), viz např. [m, t, ha, Kč, %, RJ aj.]. Z tohoto důvodu se všechny tyto hodnoty formalizovaným způsobem transformují (*normují*) do jednotného intervalu s okrajovými hodnotami  $\langle 0;1 \rangle$ .



**Obr. 4.5** Informativní vztahy mezi indexem kvality prostředí  $y$  a indexem ekonomické aktivity  $z$  v území  $a$  v čase  $t$

Jednotlivé dílčí funkce užitku je možné normovat vztahy

$$\left. \begin{aligned} U_j &= f_j(P_j^0) = 0 \\ U_j &= f_j(P_j^+) = 1 \end{aligned} \right\} 1, 2, 3, \dots m \quad (4.3)$$

takže oborem kvalitativních multiplikátorů (podle zásady, čím vyšší hodnota  $U_j$ , tím lepší - společensky přijatelnější) je vždy interval  $<0;1>$  pro dva standardní případy, tj. přímou nebo nepřímou závislost hodnocení kvality životního prostředí na zvoleném parametru.

Definičním oborem pro přímou (pozitivní) závislost je

$$<P_j^0; P_j^+>, \quad (4.4)$$

definičním oborem pro nepřímou (negativní) závislost je

$$<P_j^+; P_j^0>. \quad (4.5)$$

Ve většině případů lze vystačit s jednoduchými typy transformačních funkcí.

Pro vlastní určení funkce  $U_j$  (postup sestrojení, genezi) existuje pět pracovních kroků, tj.

1. krok: období předběžné přípravy vlastní konstrukce
2. krok: identifikace vhodných kvalitativních ukazatelů
3. krok: vymezení okrajových hodnot,
4. krok: výběr vhodné funkce užitku,
5. krok: kontrola.

První krok spočívá v racionálním navázání kontaktu mezi členy řešitelského týmu. Je účelné alespoň částečně sjednotit názory na konkrétní problém, otevřeně a nezáujatě si objasnit svá stanoviska. Týmový analytik si získává důvěru ostatních tím, že poskytne podrobné informace o svých přístupech sestrojení funkce užitku.

Druhý krok spočívá v objasnění základní kvalitativní závislosti  $U_j$  na  $P_j$ . Zejména je důležité rozhodnout, zda jde o monotónní či nemonotónní funkci. Současně je třeba ověřit (verifikovat) chování zpracovatele rozhodovacího procesu, do jaké míry projevuje sklon nebo

averzi k riziku, tj. zda preferuje ekologicky optimistickou či pesimistickou transformaci (viz další text).

Vlastní konstrukci  $U_j = f_j(P_j)$ , tj. třetí a čtvrtý krok, lze realizovat přibližnou grafickou metodou tak, že se určí metody užitku postupně pro několik bodů. Pomocí zadaných pravděpodobností, tj. nejčastěji pro  $p = (1 - p) = 0,5$ , a na podkladě konfrontace názorů analytika a přizvaného experta (hodnotitele, rozhodovatele) je možné iterativním postupem dospět ke zdůvodněné volbě vhodného typu vyhodnocovací křivky.

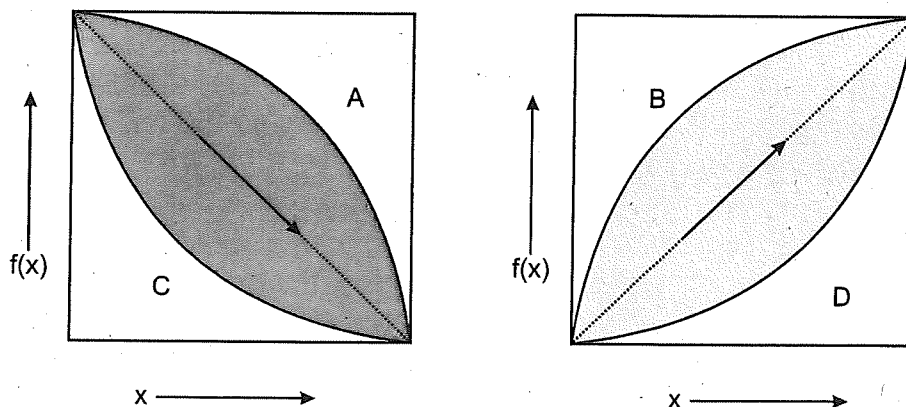
V závislosti na povaze a typu úlohy, tj. zda se jedná o převažující problematiku (rozuměj ukazatele kritéria) ekologickou, anebo ryze technickoekonomickou (především technické a ekonomické parametry projektu), lze zásadně postupovat podle tří odlišných postupů s tím, že čtvrtý postup spočívá v jejich zcela volné vzájemné kombinaci.

*Jsou to postupy:*

- I. Uplatnění reálné transformační funkce v souladu s předpokládanou užitností (tj. absolutně chápanými vlastnostmi) posuzovaného parametru.
- II. Aplikace monotónní transformační funkce podle vyvinuté ekologické klasifikace vyhodnocovacích křivek.
- III. Konstrukce transformační funkce ze zadaných porovnávaných hodnot, tj. ze vstupní maticové tabulky pro soubor hodnocených variant.
- IV. V rámci katalogů parametrů vzájemná kombinace specifikovaných postupů I., II. a III.

#### Křivky kategorie I:

Odvození reálné transformační funkce spočívá zároveň v plném uplatnění katalogů nejvyššího typu, ve kterém jsou jednorozměrné dílčí funkce užitku předem definovány a ve svém tvaru, průběhu a okrajovými hodnotami zdůvodněny.



**Obr. 4.6** Prostor možných transformací vymezený křivkami A, C pro nepřímou a křivkami B, D pro přímou funkční závislost

Při konstrukci křivek tohoto typu se vychází z poznání, že hodnoty funkce  $U_j$  jsou objektivním ukazatelem kvality určité složky životního prostředí jen tehdy, když jsou vztaženy normovaným hodnotám jakosti (celosvětovým, evropským), viz normativy mezinárodních organizací OSN (např. WHO) apod. V mimořádných případech lze přihlídnout k odborné literatuře, předpisům či uzancím, které klasifikují kvalitu či nekvalitu (míru znečištění) prostředí a dopad na společnost.

Křivky kategorie II:

Odvození ekologických transformačních funkcí využívá teoretické poznatky z oblasti rozhodování a teorie her, přičemž nabízí uplatnění souboru vyhodnocovacích křivek ve smyslu ekologické typologie funkcí na obr. 4.6 a v tabulce 4.5.

**Tab. 4.5** Ekologická typologie transformačních funkcí užítu a jejich vlastnosti

|                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Typ „A“</b>                                                                                                                                                                                                                                        |
| Klesající konkávní funkce užítu<br>Nepřímá závislost $U_j$ na $P_j$<br>Mírný pokles užitečnosti v oblasti nejlepších hodnot pro $U_j \rightarrow 1$<br>Disponibilní zdroj není omezen, naopak je v nadbytku<br>Ekologicky optimistické hodnocení      |
| <b>Typ „B“</b>                                                                                                                                                                                                                                        |
| Rostoucí konkávní funkce užítu<br>Přímá závislost $U_j$ na $P_j$<br>Mírný pokles užitečnosti v oblasti nejlepších hodnot pro $U_j \rightarrow 1$<br>Disponibilní zdroj není omezen, naopak je v nadbytku<br>Ekologicky optimistické hodnocení         |
| <b>Typ „C“</b>                                                                                                                                                                                                                                        |
| Klesající konvexní funkce užítu<br>Nepřímá závislost $U_j$ na $P_j$<br>Radikální pokles užitečnosti v oblasti nejlepších hodnot pro $U_j \rightarrow 1$<br>Disponibilní zdroj je omezen, tzn. že je nedostatečný<br>Ekologicky pesimistické hodnocení |
| <b>Typ „D“</b>                                                                                                                                                                                                                                        |
| Rostoucí konvexní funkce užítu<br>Přímá závislost $U_j$ na $P_j$<br>Radikální pokles užitečnosti v oblasti nejlepších hodnot pro $U_j \rightarrow 1$<br>Disponibilní zdroj je omezen, tzn. že je nedostatečný<br>Ekologicky pesimistické hodnocení    |

V rámci tohoto postupu lze uplatnit pět opakovaných standardních a ekologicky odlišných hodnocení. Jsou to hodnocení neutrální, vyznačující se lineární transformací, a hodnocení optimistická a pesimistická, popř. silně optimistická a silně pesimistická. Pro každé uvedené hodnocení existuje závazná transformace, definovaná funkčním vztahem. Pro přímou závislost transformace platí vztah:

$$U = \left[ \frac{P_{pr} - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \right]^k \quad (4.6)$$

kde střední hodnota  $P_{pr}$  je definována jako průměr okrajových hodnot  $P_{pr} = (P_{max} - P_{min})/2$ . Obdobně pro nepřímou závislost je:

$$U = 1 - \left[ \frac{P_{pr} - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \right]^k \quad (4.7)$$

Hodnoty exponentů  $k$  byly pro oba případy závislosti voleny shodně tak, aby pro  $P_{pr}$  a pro silně optimistické hodnocení nabývala veličina  $U = 0,9$ , pro mírně optimistické  $U = 0,75$ , pro mírně pesimistické  $U = 0,25$  a pro silně pesimistické  $U = 0,1$ . Podmínku lineární transformace pro neutrální hodnocení splňuje hodnota  $U = 0,5$ . Každý případ je definován typem vyhodnocovací monotónní křivky (přímky) hodnotou exponentu  $k$  podle následujícího

přehledu:

*Přímá transformace - ekologicky pozitivní hodnocení podle zásady „čím vyšší hodnota  $P_j$  → tím lépe“ (viz tab. 4.6).*

**Tab. 4.6** Hodnocení a typ vyhodnocovací křivky – přímá transformace

| Hodnocení a typ vyhodnocovací křivky     | Znak    | k     |
|------------------------------------------|---------|-------|
| I. Křivka pozitivní, silně optimistická  | KP - 02 | 0,152 |
| II. Křivka pozitivní optimistická        | KP - 01 | 0,415 |
| III. Křivka pozitivní neutrální (přímka) | KP - N  | 1,000 |
| IV. Křivka pozitivní pesimistická        | KP - P1 | 2,000 |
| V. Křivka pozitivní, silně pesimistická  | KP - P2 | 3,322 |

*Nepřímá transformace - ekologicky negativní hodnocení podle zásady „čím vyšší hodnota  $P_j$  → tím hůře“ (viz tab. 4.7).*

**Tab. 4.7** Hodnocení a typ vyhodnocovací křivky – nepřímá transformace

| Hodnocení a typ vyhodnocovací křivky     | Znak    | k     |
|------------------------------------------|---------|-------|
| I. Křivka negativní, silně optimistická  | KN - 02 | 3,322 |
| II. Křivka negativní optimistická        | KN - 01 | 2,000 |
| III. Křivka negativní neutrální (přímka) | KN - N  | 1,000 |
| IV. Křivka negativní pesimistická        | KN - P1 | 0,415 |
| V. Křivka negativní, silně pesimistická  | KN - P2 | 0,152 |

Pro rozhodovací proces je důležité závěrečné vyhodnocení a vzájemná komparace výsledků podle všech pěti uvedených způsobů hodnocení analogicky k významu provádění testů citlivosti na zařazení různých kritérií.

### Křivky kategorie III:

Odvození ryze komparativních transformačních funkcí se opírá výhradně o zadané vstupní údaje pro celý posuzovaný soubor variant. Z tohoto důvodu je zvláště vhodný pro technickoekonomické problémy rozhodování (ukazatele kritérií), kde není možné nebo nutné respektovat ekologická, hygienická a podobná normativní omezení. Pro každý parametr  $P_j$  a všechny jemu odpovídající vstupní údaje posuzovaných variant  $V_i$  musí být nejdříve vymezen transformační prostor podle obr. 4.7. Pro každý případ musí být obecně řešeny tyto otázky:

- zda jde o transformaci přímou (viz typ kritéria výnosového a zásadně pozitivních efektů), anebo
- zda jde o transformaci přímou (viz typ kritéria nákladového a zásadně negativních efektů, např. vlivem škodlivin a koroze materiálů),
- v jakém intervalu  $\langle P_{\min}; P_{\max} \rangle$  se transformace uskuteční,
- v jakých jednotkách bude ukazatel kritéria měřen (vyjádřen),
- jaký tvar bude mít vyhodnocovací křivka,
- vhodné matematické vyjádření jednorozměrné transformační funkce užítu  $U_j$ .

Vlastní řešení spočívá ve čtyřech postupných krocích.

Výsledkem prvního kroku je deklarování závislosti  $U_j$  na  $P_j$  ve shodě s dříve uvedenými zásadami, ekologickou typologií vyhodnocovacích křivek a rovnicemi (4.6) a (4.7).



Druhý krok směřuje k přiřazení okrajových bodů stupnice (škály, měřítka) pro množinu  $P_j$  a variantu  $V_i$ . Na základě dříve provedených testů citlivosti bylo ověřeno, že přiřazení hodnot pro počátek a konec na x-ové ose souřadnic nemůže být libovolné. Je třeba zabránit vzniku nulových hodnot v průběhu transformace podle rovnice (4.12), jinak by se částečně (nesoustavně) vynulovaly některé hodnoty kvalitativních multiplikátorů. Tento případ nastává vždy, jestliže je zvolen počátek stupnice pro přímou závislost  $P_{j(\text{poč})} = P_{j(\text{min})}$  (nejnižší hodnota parametru  $P_j$  ze všech variant  $V_i$ ) a u nepřímé závislosti pro koncový bod stupnice  $P_{j(\text{kon})} = P_{j(\text{max})}$  (nejvyšší hodnota parametru  $P_j$  ze všech variant  $V_i$ ). Z uvedeného důvodu musí být počátek (konec) na x-ové ose určován standardně pomocí desetiprocentní difference maximální a minimální hodnoty podle vztahu

$$D(P_j) = \frac{P_{j(\text{max})} - P_{j(\text{min})}}{10} \quad (4.8)$$

Pro počáteční bod stupnice platí

$$P_{j(\text{poč})} = P_{j(\text{min})} - D(P_j) \quad (4.9)$$

a obdobně pro koncový bod platí

$$P_{j(\text{kon})} = P_{j(\text{max})} + D(P_j) \quad (4.10)$$

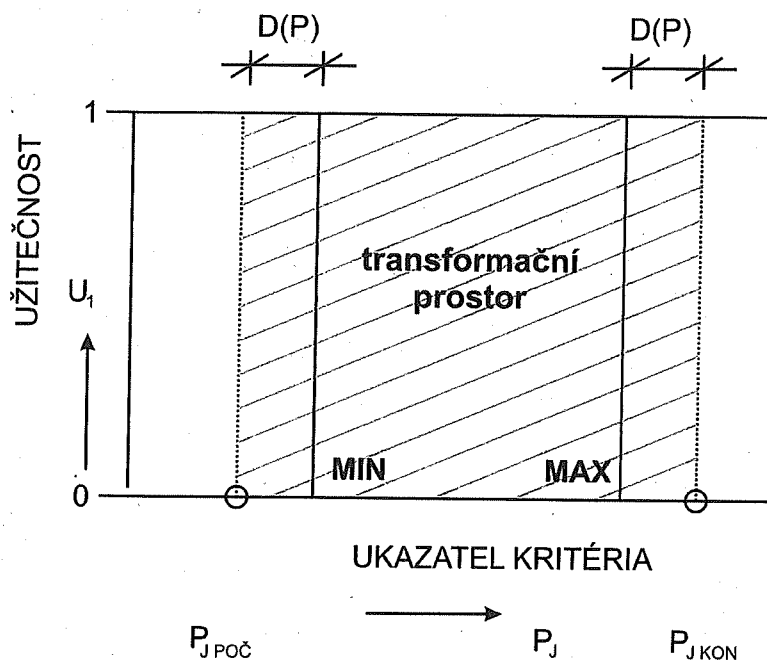
Tam, kde stupnice může začínat nulou (tj. případ kardinální poměrové stupnice s absolutní nulou), tedy za předpokladu, že stupnice bude v plném rozsahu využita, je přípustné volit  $P_{j(\text{poč})} = 0,00$ . Výsledkem druhého kroku je určení hodnot  $D(P_j)$ ,  $P_{j(\text{poč})}$  a  $P_{j(\text{kon})}$  pro všechny parametry.

Třetí krok spočívá v definování vlastního vztahu transformace. Vychází se ze zadaných vstupních (reálných) dat, tj. hodnot ukazatelů kritérií  $P_j$  pro všechny posuzované varianty  $V_i$ . Vypočítané průměrné hodnotě  $P_{j(\text{pr})}$  se pak přisoudí střední hodnota dílčí funkce užítka, tedy

$$U_{j(\text{pr})} = f_j [ P_{j(\text{pr})} ] = 0,50 \quad (4.11)$$

Výsledkem třetího kroku je stanovení třetího bodu transformační funkce, čímž je vyhodnocovací křivka matematicky definována. S využitím dvou okrajových bodů stupnice lze přistoupit k závěrečnému čtvrtému kroku, tj. k odvození parametrů transformační funkce ze zadaných vstupních dat.

Čtvrtý krok spočívá ve vhodné aproximaci transformačního vztahu podle dříve uvedených zásad, nejlépe pro mocninový typ funkce. Obdobně jsou vhodné funkce typu exponenciálního, popř. polynom 3. stupně. Funkce exponenciálního typu mají na rozdíl od mocninových funkcí rozdílnou strmost pro stejné vstupní podmínky, což lze výhodně použít pro zvýraznění rychlosti v počáteční nebo závěrečné fázi transformace.



Obr. 4.7 Vymezení počátečního a koncového bodu měřítka a transformačního prostoru

## 4.6 Metoda totálního ukazatele kvality prostředí

Adaptivní formalizovaná graficko-analytická metoda totálního ukazatele kvality prostředí (TUKP) přísluší do souboru metod pro cílové programování [4, 5]. Směřuje ke stanovení komplexní hodnoty území z hlediska antropogenně ovlivněné kvality životního prostředí a zásadně umožňuje výběr společensky preferované varianty z konečné množiny variant řešení, nebo uspořádat preferenční pořadí variant vzhledem k danému souboru kritérií. Vychází z teorie MUT (Multiattribute Utility Theory - viz kap. 4.5) a základ tvoří koncepce multikriteriální hodnotové a ekologické analýzy, dovedené až do stadia rozhodnutí. Individuální modifikace je možná především z hlediska stanovení užité hodnoty životního prostředí a hodnoty osobní obliby. Vysoká formalizovaná úroveň ji řadí do kategorie modelů kvantitativního (tvrdeho) typu, jež umožňuje číselné vyjádření hodnoty vícerozměrného vektoru pro každou posuzovanou variantu. Využívá adaptabilní katalog kritérií nejvyššího typu, tzn. jednak vyhodnocovacích křivek ve smyslu jednorozměrných dílčích funkcí užitku (kvalitativních multiplikátorů), jednak relativní důležitosti kritérií, tj. váhy parametrů (kvantitativních multiplikátorů). Algoritmus metody odstraňuje problém nesouměřitelnosti měřítek včetně různých jednotek posuzovaných parametrů a minimalizuje subjektivní přístup experta.

Nechť je  $V_i$  varianta řešení pro  $i = 1, 2, \dots, m$ , kde je

- $m$  - celkový počet předem vypracovaných a odlišných variant,
- $P_y$  - podstatný parametr kvality životního prostředí, který lze použít jako kritérium pro kvalitativní posouzení vlivu na složku životního prostředí nebo společnost, když  $y = 1, 2, \dots, z$ , kde  $z$  je celkový počet vybraných kritérií,
- $P_j^{(y)}$  - ukazatel kritéria jako hodnota zjištěného (posouzeného, odhadnutého, vypočítaného) parametru pro  $j = 1, 2, \dots, n(y)$ , kde  $n$  je celkový počet ukazatelů, jako  $j$ -tý dílčí

- důsledek  $V_i$ , nebo pro zjednodušení zkráceně  $P_j$ ,
- $\bar{P}$  - vektor parametrů, pro který je  $\bar{P} = [\bar{P}_1 \dots \bar{P}_z]$ ,
- $P$  - celkový důsledek  $V_i$ , pro který je  $P = [P_1 \dots P_n]$ ,
- $w_j$  - váhový či kvantitativní multiplikátor, tj. relativní důležitost vyšetřovaného  $P_j^{(y)}$  v rámci celého souboru  $j = 1, 2, \dots, n (y)$ ,
- $U_j$  - dílčí funkce užitku jako kvalitativní multiplikátor mající charakter transformační funkce  $f_j[P_j^{(y)}]$ , nabývající hodnoty v intervalu  $0 \leq U_j \leq 1$ ,
- $U$  - celková funkce užitku.

Současně se předpokládá, že pro daný územní region  $r$  a množinu indexů  $j$  lze stanovit všechny hodnoty  $P_j^{(y)}$ , a  $U_j$ , pro které platí vztah

$$U_j = f_j[P_j^{(y)}], \quad (4.12)$$

který vyjadřuje matematickou formu dílčí funkce užitku a tvar vyhodnocovací křivky (rating curve). Hodnota celkové funkce užitku (mnoharozměrného vektoru)  $U$  je závislá na celkovém důsledku  $P$  a pro její konstrukci (výpočet) slouží jednotlivé dílčí funkce užitku  $U_j$ . Předpokládá se platnost podmínek preferenční a užitkové nezávislosti ukazatelů kritérií  $P_j^{(y)}$ .

Dále je nezbytný předpoklad, že pro celý soubor  $V_i$  je

$$w_j = \text{konstanta} \quad (4.13)$$

Souhrnná kvalita životního prostředí v daném regionu  $r$  je dána hodnotou totálního ukazatele kvality prostředí  $TUKP_r = U$  podle vztahu

$$U = \sum_{j=1}^n U_j w_j \quad (4.14)$$

Uvedený tvar funkce  $U$  lze použít v případě, že pro množinu  $w_j$  důsledně platí

$$0 \leq w_j < 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4.15)$$

a současně

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (4.16)$$

Rovnice (4.14) je aditivní tvar výrazu  $U$ ; v případě, že podmínka podle rovnice (4.16) není splněna, musí být použit složitější tvar multiplikativní. Z praktických důvodů nepřipouštíme případy pro  $w_j = 0$  (riziko vynulování relevantního parametru pro rozhodovací proces).

Z koncepce metody TUKP vyplývá potřeba vyjádřit hodnoty multiplikátorů  $U_j$  a  $w_j$  pro celý soubor posuzovaných variant  $V_i$ . Za klíčový teoretický problém je pokládán výběr a určování hodnot kvalitativních multiplikátorů  $U_j$  (vyhodnocovací křivky), kde jsou používány tři různé pracovní postupy (viz kapitola 4.5). Pro stanovení hodnot kvantitativních multiplikátorů  $w_j$ , tj. relativní důležitosti parametrů (váhy), je dávana přednost týmové metodě párového porovnání podle Fullera (minimalizace vlivu subjektivního činitele), viz kap. 4.4.

V případech, že maticová tabulka vstupních údajů pro  $P_j$  není úplná, popř. nejsou k dispozici číselné hodnoty, musí analýze předcházet konečná úprava hodnocených

charakteristik za aktivní účasti (souhlasu) zadavatele a dalších účastníků procesu. Expertní systém nabízí v souladu s přílohou číslo 3, resp. 4 k zákonu č. 100/2001 Sb., v platném znění, základní katalog kritérií a ukazatelů pro posouzení impaktu, který zahrnuje dvě kategorie potenciálního impaktu, tj. jednak na biofyzikální (přírodní) prostředí (složky živé a neživé přírody), jednak na společenské (sociální) prostředí (člověka a společnost), viz kap. 4.7.

Obdobným způsobem expertní systém nabízí orientační katalog kritérií pro posouzení technického, ekonomického a strategického řešení vlastního záměru (projektu stavby, technologického zařízení), viz tab. 4.8. Jestliže v souboru ukazatelů kritérií není použit žádný z této skupiny, potom se hodnocení omezuje pouze na ukazatele základního katalogu (kap. 4.7) a výsledná hodnota vektoru  $U$  odpovídá nulové variantě bez projektu ve smyslu referenční úrovně.

**Tab. 4.8** Katalog kritérií pro posouzení technického, ekonomického a strategického řešení záměru

| Preference varianty z hlediska |                                                                                                                                                             |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a)                             | splnění účelů (požadavku na dosažení sledovaného cíle),                                                                                                     |
| b)                             | spolehlivosti a bezpečnosti provozu (včetně míry rizika vzniku havárie, technických možností prevence a kompenzace vlivů),                                  |
| c)                             | energetické a materiálové náročnosti,                                                                                                                       |
| d)                             | úrovně technického řešení a rozvojové adaptability (viz riziko spojené s vývojem okolí),                                                                    |
| e)                             | maximálního zisku (viz metoda nákladů a užitků - CBA - cost benefit analysis), popř. měrných nákladů u nevýrobních investic,                                |
| f)                             | minimálních provozních nákladů,                                                                                                                             |
| g)                             | pravděpodobnosti realizace (důsledky neurčitosti a neúplných informací, multiplikátor dílčích důvodů rizika zpoždění),                                      |
| h)                             | míry úspěšnosti estetického začlenění do území a krajiny (viz princip estetického teorému),                                                                 |
| i)                             | územně - technických cílů (situování stavby ve vztahu k územně plánovací dokumentaci) včetně možného střetu zájmů s institucí ochranných pásem všeho druhu, |
| j)                             | vyšších strategických cílů (politických, vojenských, mezinárodních dohod a uzancí).                                                                         |

**Poznámka:** Pořadí uvedených hledisek není hierarchizováno.

Závěrečný krok syntézy tvoří výsledná hierarchizace posuzované množiny variant  $V_i$  podle zásady, že čím vyšší je číselná hodnota vektoru  $U_i$ , tím vyšší je celospolečenská preference reálné varianty. Skórování všech variant umožňuje sestavení jejich vzájemného pořadí pro objektivní rozhodovací proces.

Zřejmou výhodou graficko-analytické metody TUKP je její expeditivnost při současném respektování objektivních ukazatelů kvality (normativů) životního prostředí, kde hodnocení u transformačních funkcí (vyhodnocovacích křivek) může být standardizováno na podkladě technických norem, předpisů a uzancí. Z tohoto důvodu jsou různí zpracovatelé stejného problému nuceni postupovat podle pevné osnovy a zásad. Výsledek řešení je pak méně ovlivněn (deformován) vlastními subjektivními pocity jednotlivce - experta.

## 4.7 Základní katalog kritérií a ukazatelů pro posouzení impaktu

### Kritérium - složka životního prostředí

*Hledisko potenciálního impaktu - definovaný parametr kritéria*

#### KATEGORIE IMPAKTU NA BIOFYZIKÁLNÍ (PŘÍRODNÍ) PROSTŘEDÍ

##### *Půda - litosféra*

- j = 1 Zábor lesního půdního fondu, ha
- j = 2 Zábor zemědělského půdního fondu, ha
- j = 3 Změna půdních podmínek - zrychlená eroze, kontaminace škodlivinami apod., RJ

##### *Voda - hydrosféra*

- j = 4 Změna ukazatele BSM - vodního potenciálu krajiny, RJ
- j = 5 Změna ukazatele BSJ (BSK<sub>5</sub>, CHSK, RL, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>), RJ
- j = 6 Změna teploty a zákalu vody, RJ
- j = 7 Eutrofizace, RJ
- j = 8 Vliv na vodní fenomén - riziko změny režimu proudění v korytě, riziko změny vodního režimu v území vody povrchové i podzemní apod., RJ

##### *Ovzduší - atmosféra*

- j = 9 Znečištění inertním prachem, mg.m<sup>-3</sup>
- j = 10 Znečištění oxidem siřičitým SO<sub>2</sub>, mg.m<sup>-3</sup>
- j = 11 Znečištění oxidy dusíku NO<sub>x</sub>, mg.m<sup>-3</sup>
- j = 12 Zátěž odporným zápachem, RJ
- j = 13 Změna mikroklimatu, RJ

##### *Hluk a vibrace*

- j = 14 Zátěž hlukem a vibracemi, RJ

##### *Záření*

- j = 15 Zátěž elektromagnetickým nebo ionizačním zářením, RJ

##### *Biosféra*

- j = 16 Odezva a dopad na flóru, RJ
- j = 17 Odezva a dopad na faunu, RJ
- j = 18 Odezva a dopad na organizmy ve vodním prostředí (sladkovodní ekosystém), RJ
- j = 19 Hledisko trvale udržitelného rozvoje - ekologické znehodnocení území, riziko rozvratu ekosystému (ukazatel antropogenní ekologické nestability), RJ

#### KATEGORIE IMPAKTU NA SPOLEČENSKÉ (SOCIÁLNÍ) PROSTŘEDÍ

##### *Osídlení*

- j = 20 Změna populace v regionu - vynucené přesídlení v oboustranném směru, počet osob

##### *Pracovní příležitosti*

- j = 21 Změna počtu pracovních příležitostí v regionu, počet pracovních míst

##### *Zdraví*

- j = 22 Změna zdravotních a hygienických podmínek a vznik potenciálních rizik (např. viz nemoci šířené vodou), RJ
- j = 23 Vyvolání psychické či stresové zátěže, RJ

##### *Volný čas*

j = 24 Změna územních (přírodních) předpokladů pro rekreaci a turistiku, RJ

*Doprava*

j = 25 Změna v časové nebo prostorové územní dostupnosti (přístupnosti) regionu (týká se všech druhů dopravy), RJ

*Kulturní aktiva*

j = 26 Vliv na historické a kulturní artefakty (riziko přímé destrukce), RJ

j = 27 Vliv na přírodní výtvořky a chráněné části přírody (riziko přímé i nepřímé destrukce v důsledku např. usnadněné přístupnosti pro hromadnou návštěvnost, uplatnění zájmů ochrany přírody nadnárodního významu - viz seznamy biosférických rezervací UNESCO apod.), RJ

Poznámka: RJ ..... relativní jednotky pro individuální verbálně numerickou stupnici příslušného parametru

BSM ...bilanční stav množství vody

BSJ ....bilanční stav jakosti vody

Pramen: EcoImpAct FORMULA: Manuál a uživatelská příručka pro posuzování vlivu staveb a činností na životní prostředí - úplný expertní systém. Praha: ECOIMPACT, 1992.

## 4.8 Příklady aplikace rozhodovací analýzy

### Příklad 1

Proveďte pomocí matice interakcí předběžné posouzení impaktu na životní prostředí u skládky TKO.

Etapy existence skládky:

1. Založení nebo otevření skládky
2. Vlastní skládkování
3. Uzavření skládky (včetně rekultivace)

Řešení je patrné z tabulky 4.9.

Tab. 4.9 Křížová matice interakcí - příklad

| Ovlivněné faktory a složky ŽP | Založení, otevření skládky | Vlastní skládkování | Uzavření skládky |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------|------------------|
| 1. Půda                       | N(n)                       | N                   | VP               |
| 2. Voda                       | n                          | N                   | P                |
| 3. Ovzduší                    | N                          | N                   | P                |
| 4. Hluk a vibrace             | N                          | N                   | P                |
| 5. Ionizující záření          | 0                          | 0                   | 0                |
| 6. Biosféra                   | N                          | N                   | P                |
| 7. Osídlení                   | N                          | N                   | P                |
| 8. Pracovní příležitosti      | P                          | P                   | P                |
| 9. Zdraví                     | N                          | N                   | VP               |
| 10. Volný čas                 | 0                          | 0                   | 0                |
| 11. Doprava                   | N(n)                       | N                   | n                |
| 12. Kulturní aktivita         | 0                          | 0                   | P                |

## Zkratky:

|    |                            |
|----|----------------------------|
| N  | ... negativní impakt       |
| VN | ... velmi negativní impakt |
| n  | ... málo negativní impakt  |
| P  | ... pozitivní impakt       |
| VP | ... velmi pozitivní impakt |
| p  | ... málo pozitivní impakt  |
| 0  | ... žádný impakt           |

## Příklad 2

Je nutno provést pomocí Fullerova trojúhelníku hierarchizaci kritérií u skládky TKO

Budou posuzována následující kritéria:

- 1.) Ekologická stabilita
- 2.) Životnost skládky
- 3.) Kapacita skládky
- 4.) Náklady
- 5.) Zábor zemědělského půdního fondu

Řešení je patrné z tabulky 4.10.

Tab. 4.10 Fullerův trojúhelník - příklad

| Kritérium číslo |        |        |        |        | Kolikrát je kritérium významnější | Váha, kvalitativní multiplikátor $w_i$ |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| 1               | ①<br>2 | ①<br>3 | 1<br>④ | ①<br>5 | 3                                 | 0,3                                    |
| 2               |        | ②<br>3 | ②<br>4 | 2<br>⑤ | 2                                 | 0,2                                    |
| 3               |        |        | 3<br>④ | ③<br>5 | 1                                 | 0,1                                    |
| 4               |        |        |        | ④<br>5 | 3*                                | 0,3                                    |
| 5               |        |        |        | 5      | 1                                 | 0,1                                    |

Poznámka: \* včetně kritéria – řádku č. 1 a 3!

Je patrné, že nejvýznamnější jsou kritéria č. 1 a č. 4, dále následuje kritérium č. 2 a ex aequo kritéria č. 3 a č. 5.

Obdobné hodnocení by provedlo více expertů a poté by se provedlo zprůměrování hodnot.

## Příklad 3

Cílem je rozhodnout pomocí multikriteriální analýzy, která varianta z posuzovaných variant je variantou ekologicky i společensky optimální.

Pro skládku máme pro jednotlivé varianty následující hodnoty kritérií:

Tab. 4.11 TUKP – vstupní údaje - příklad

| Kritérium<br>↓                | Varianty |     |     |     |
|-------------------------------|----------|-----|-----|-----|
|                               | V1       | V2  | V3  | V4  |
| Náklady, mil Kč $\equiv P$    | 0,5      | 3,0 | 5,0 | 1,0 |
| Kapacita, mil. m <sup>3</sup> | 0,2      | 0,8 | 0,9 | 0,7 |

Je nutno najít transformační funkci.

Transformační funkce užítu (má hodnotu od 0 do 1!)

$$U = f(P)$$

obecně

U ... kvalitativní multiplikátor

P ... parametr (náklady, zábor půdy, koncentrace škodlivin, atd.)

Přímá úměra:

$$U = f(P)^k = \left[ \frac{P - P_{poč.}}{P_{kon} - P_{poč.}} \right]^k$$

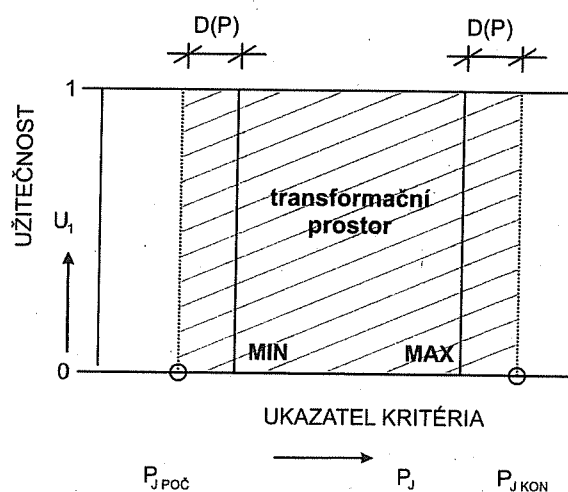
Nepřímá úměra:

$$D = \frac{P_{max} - P_{min}}{* 10}$$

Poznámka: \*mohou zvolit 10 nebo 100 (volím vlastně prostor – viz dále). Mohu dělení i vynechat, pak bude mít výraz tvar  $D = P_{max} - P_{min}$

$$P_{poč.} = P_{min} - D$$

$$P_{kon.} = P_{max} + D$$



Obr. 4.8 Vymezení počátečního a koncového bodu měřítka a transformačního prostoru - příklad

Budou posuzovány náklady (viz výše tabulka 4.11 – vyznačeno tučně)

$$D = \frac{P_{max} - P_{min}}{10} = \frac{5,0 - 0,5}{10} = 0,45$$



$$P_{poč} = P_{min} - D = 0,5 - 0,45 = 0,05$$

$$P_{kon} = P_{max} + D = 5,0 + 0,45 = 5,45$$

$$\dot{U} = 1 - \left[ \frac{\ddot{P} - P_{poč}}{P_{kon} - P_{poč}} \right]^k = \left[ \frac{2,4 - 0,05}{5,45 - 0,05} \right]^k$$

\* Dosadíme nejnižší hodnotu nákladů – 0,5 mil. Kč

\*\* Dosadíme Ø náklady:  $9,5 : 4 = 2,375 \approx 2,4$

$$0,5 = 1 - \left[ \frac{0,5 - 0,05}{5,4} \right]^k \Rightarrow k = 1,1 \quad (k > 1)$$

k ... bezrozměrný exponent

za P postupně dosadíme: 0,5; 3,0; 5,0; 1,0

$$U = 1 - \left[ \frac{0,5 - 0,05}{5,4} \right]^{1,1} \text{ atd.}$$

Pro jednotlivé varianty získáme hodnoty U, uvedené v tabulce 4.12.

Tab. 4.12 TUKP – hodnoty funkce U - příklad

| Kritérium                                         | Varianty |     |     |     |
|---------------------------------------------------|----------|-----|-----|-----|
|                                                   | V1       | V2  | V3  | V4  |
| Náklady                                           | 0,2      | 0,8 | 0,9 | 0,4 |
| Kapacita                                          | 0,7      | 0,1 | 0,3 | 0,2 |
| Celková hodnota kvalitativního multiplikátoru (Σ) | 0,9      | 0,9 | 1,2 | 0,6 |
| Pořadí                                            | 2        | 2   | 1   | 3   |

Závěr: Nejvyšší celková hodnota kvalitativního multiplikátoru (v našem případě 1,2 – varianta 3) odpovídá v daném případě nejlépe ekologickým a společenským požadavkům (pořadí 1).

## Literatura (kap. 4)

- [1] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1996. 128 s. ISBN 80-7078-316-8.
- [2] HERČÍK, Milošlav, LAPČÍK, Vladimír, OBROUČKA, Karel. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1994. 243 s.
- [3] VORÁČEK, Vladimír et al. *Rukověť EIA*. Praha: AD VITAM, 1993.
- [4] ŘÍHA, Josef. *Ekologická expertiza staveb – metody pro vyhodnocování variant*. Praha: Ecoimpact, 1993. 33 s.
- [5] ŘÍHA, Josef. *Multikriteriální posuzování investičních záměrů*. Praha: SNTL, 1987. 336 s.
- [6] EcoImpAct FORMULA. Úplný expertní systém pro posuzování vlivu staveb a činností na životní prostředí. Manuál EIA. Praha: ECOIMPACT, 1994 (manuskript).

## 5 Proces posuzování vlivů na životní prostředí

Jedním z komplexních nástrojů prevence v oblasti životního prostředí je **proces posuzování vlivů na životní prostředí**, známý pod anglickou zkratkou EIA (= Environmental Impact Assessment).

Proces posuzování vlivů záměrů na životní prostředí (dále „proces EIA“) je založen na systematickém zkoumání a posuzování možného působení rozvojových záměrů na životní prostředí. Proces EIA probíhá vždy dříve, než jsou záměry povoleny a než se započne s jejich vlastní realizací. Ve vyspělých zemích je proces EIA již dlouho téměř rutinní součástí povolovacích postupů, který umožňuje záměr zvažovat v několika variantách z hlediska jeho možných vlivů na životní prostředí.

Smyslem EIA je zjistit, popsat a komplexně vyhodnotit předpokládané vlivy připravovaných záměrů na životní prostředí ve všech rozhodujících souvislostech. Cílem procesu EIA je zmírnění nepříznivých vlivů realizace hodnoceného záměru na životní prostředí. Výsledky procesu EIA slouží jako **odborný podklad** pro následný rozhodovací proces o povolení záměru. EIA tak představuje významný preventivní nástroj ochrany životního prostředí a současně jeden z prvků environmentální politiky [4].

Je nezbytné, aby se investoři záměrů seznámili se základními principy kvalitně a efektivně prováděné EIA a vyžadovali jejich zohledňování i od dalších účastníků (příslušné orgány státní správy a samosprávy, odborné instituce, experti, nevládní organizace, veřejnost) procesu posuzování vlivů na životní prostředí. Pro investora (na rozdíl od ostatních účastníků procesu EIA) je situace složitější v tom smyslu, že stojí před rozhodováním, jakým způsobem ošetřit potenciální či reálný proces EIA, aby byly tyto principy dodrženy.

Je třeba mít stále na zřeteli, že jde o zákonný proces otevřený veřejnosti a dalším stranám, a kladoucí tak mimořádné nároky na komunikaci. Současně se však jedná o **proces preventivního charakteru**, který by na základě expertního přístupu měl především vyjasnit otázky „slučitelnosti“ záměru s požadavky ochrany životního prostředí a jeho složek, s požadavky ochrany veřejného zdraví a konečně i s požadavky na skutečně racionální využití území.

Oblast posuzování vlivů je v České republice legislativně upravena zákonem č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, ve znění pozdějších předpisů.

### 5.1 Právní úprava procesu posuzování vlivů na životní prostředí v zahraničí

#### 5.1.1 Legislativa v USA

Termín EIA (Environmental Impact Assessment) je odvozen z oddílu 102 zákona o národní politice v oblasti životního prostředí (**NEPA** - the National Environmental Policy Act) z r. 1969, zákona, který znamenal zásadní obrat v legislativě životního prostředí v USA [1].

Poprvé musel navrhovatel činnosti prokázat, že neovlivní podstatně životní prostředí, a to ve zpracovaném stanovisku o dopadech na životní prostředí (**EIS** - Environmental Impact Statement). Celý proces EIA byl dále odborně i legislativně usměrňován a nyní má každý stát

i federální agentura pro životní prostředí (EPA) svou vlastní proceduru posuzování vlivů na životní prostředí (EIA).

### 5.1.2 Legislativa v Evropské unii

Ve svém druhém akčním programu životního prostředí v roce 1977 konstatovala **Evropská hospodářská komise OSN**, že EIA je potřebným nástrojem péče o životní prostředí a prevence znečištění.

Po řadě jednání a nejrůznějších úpravách byla v roce **1985** vydána **Směrnice Rady Evropských společenství č. 85/337/EEC** „O hodnocení vlivů určitých soukromých a veřejných projektů na životní prostředí“. Ve zpětném pohledu bylo této směrnici vytýkáno několik nedostatků:

- netýká se plánů a strategií, které mohou mít dopady na životní prostředí,
- chybí v ní účast veřejnosti v prvních fázích procesu (procedury) EIA,
- členské země EEC nejsou příliš vázány při formulaci vlastních zákonných ustanovení k EIA.

Dne 14. března 1999 nabyla účinnosti Směrnice Rady **97/11/EC**, která novelizuje Směrnicí Rady 85/337/EEC. Novela rozšiřuje rozsah rozvojových projektů, které požadovala dřívější Směrnice Rady 85/337/EEC a zahrnuje několik malých, ale důležitých změn v proceduře posuzování vlivů na životní prostředí [1].

Dne 27. června 2001 byla vydána Směrnice Evropského parlamentu a Rady **2001/42/EC**, o posuzování vlivů některých plánů a programů na životní prostředí. Další směrnici, která mění původní Směrnicí Rady 85/337/EEC, je Směrnice Evropského parlamentu a Rady **2003/35/EC**, jejímž účelem je rozšíření účasti veřejnosti v rámci procesu posuzování vlivů na životní prostředí.

Zajímavá je otázka formy a povahy právní úpravy posuzování vlivů na životní prostředí. Ze srovnání v jednotlivých státech Evropské unie a v USA vyplývá, že každý stát řešil tuto problematiku jinak, podle svých podmínek, právních tradic apod. Tak např. Nařízení Rady Evropských společenství č. 85/337/EEC je aplikováno v jednotlivých státech ve třech základních formách:

- některé státy zařadily problematiku EIA do stávajících právních předpisů, nejčastěji jako doplněk zákonů o územním plánování (Dánsko, Irsko, Velká Británie) nebo zákonů o ochraně přírody (např. Francie),
- jinde se stala tato problematika součástí zákonů o životním prostředí (např. Holandsko, Řecko),
- někde byly vydány o EIA samostatné právní normy (např. Španělsko, Belgie, SRN).

### 5.1.3 Mezinárodní dohody

#### 5.1.3.1 Aarhuská úmluva

Úmluva Evropské hospodářské komise OSN o přístupu k informacím, účasti veřejnosti na rozhodování a přístupu k právní ochraně v otázkách životního prostředí byla přijata dne 25.06.1998 v dánském Aarhusu. Česká republika podepsala Aarhuskou úmluvu dne 25.06.1998, kterou ratifikovala dne 06.07.2004 [1].

Ratifikace Aarhuské úmluvy znamená pro občany České republiky zajištění práva

na dostupnost informací o životním prostředí, možnosti včas se vyjadřovat k projektovým záměrům (ale také k připravovaným politikám, plánům či zákonům s dopadem na životní prostředí) a možnosti domáhat se nápravy v případě odepření informací nebo nesplnění podmínek pro zapojení veřejnosti. Účast veřejnosti na rozhodování o specifických činnostech, upravuje článek 6 Aarhuské úmluvy - velmi důležité je ustanovení, že musí být zajištěna účast veřejnosti ve fázi, kdy jsou ještě všechny možnosti výběru a alternativ otevřeny a kdy tato účast může být účinná (odstavec 4). Lze říci, že pokud je proces EIA proveden podle požadavků zákona o posuzování vlivů na životní prostředí, jsou tak zároveň naplněny i požadavky Aarhuské úmluvy [4].

### 5.1.3.2 Espoo úmluva

Dalším významným krokem v uplatňování EIA jako nástroje mezinárodní ekologické politiky bylo přijetí úmluvy Evropské hospodářské komise OSN „O hodnocení vlivů na životní prostředí přesahujících státní hranice“ (EIA in Transboundary Context), tzv. **ESPOO úmluva**, resp. **konvence**. Espoo úmluva definuje postupy v oblasti mezistátního posuzování vlivů na životní prostředí.

Úmluva byla přijata ve finském městě Espoo dne 25.02.1991 [1]. Bývalá ČSFR přistoupila k této konvenci v srpnu 1991. ESPOO úmluva byla ratifikována Českou republikou dne 26.02.2001.

Espoo úmluva zakotvuje právo obyvatel záměrem dotčené oblasti být informován o záměru a účastnit se procesu EIA i pokud je záměr realizován na území jiného státu. Požadavky Espoo úmluvy jsou pro záměry upraveny v hlavě II (§§ 11, 12, 13, 14, 14a a 14b) zákona o posuzování vlivů na ŽP, týkající se posuzování vlivů na životní prostředí přesahujících hranice České republiky.

Mezi pozitivní, významné body úmluvy patří:

- konkrétní, limitující vliv při tvorbě legislativy EIA v jednotlivých státech,
- zdůrazněná nutnost věnovat pozornost ekologickým faktorům v nejranějších stadiích rozhodovacího procesu,
- počítá se již s posuzováním vlivů koncepcí, plánů a programů na životní prostředí,
- uvedení jmenovité a závazné specifikace činností, na něž se konvence vztahuje - dodatek I,
- specifikace obsahu dokumentace o hodnocení vlivů na životní prostředí - dodatek II,
- nutnost zapojení veřejnosti,
- zahrnutí postprojektové analýzy jako kontroly dodržování podmínek dohodnutých při schválení dané činnosti.

V našich podmínkách, kdy přistoupení k ESPOO úmluvě si vyžadovalo urychlené promítnutí EIA do našeho právního řádu, bylo možné upravovat danou problematiku:

- v rámci zákona o územním plánování a stavebním řádu,
- v rámci zákona o životním prostředí - v samostatném zákonu.

Důsledná realizace požadavků, vyplývajících z Espoo úmluvy, k níž ČSFR a následně ČR přistoupila (Česká republika ji přejala v roce 1993 jako jeden z následnických států ČSFR), se projevila v rámci zákona č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, a v rámci přijetí speciálního zákona ČNR č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, který byl posléze nahrazen zákonem č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně souvisejících zákonů (o posuzování vlivů na životní prostředí) - nabyl účinnosti dne 01.01.2002.

## 5.2 Právní úprava procesu posuzování vlivů na životní prostředí v České republice

### 5.2.1 Zákon č. 244/1992 Sb.

Zákonem ČNR č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, byl v České republice vytvořen prostor pro rozhodování o alternativách rozvoje z hlediska jejich možného působení na životní prostředí.

Zákon ČNR č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, platil v České republice do konce roku 2001. Již v průběhu prvních let platnosti se ukázalo, že bude nutno zákon č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, novelizovat. První analýzy zákona ukázaly některé nedostatky, které se týkaly zejména absence některých standardních fází procesu posuzování (zjišťovací řízení, zadání pro zpracování dokumentace - scoping process). Uvedené nedostatky patřily zároveň i mezi příčiny nekompatibility této právní úpravy posuzování vlivů na životní prostředí s právem Evropské unie. Z provedené analýzy a z ní vyplývajícího rozsahu nutných změn platné právní úpravy posuzování vlivů na ŽP vyplynulo, že nestačí novelizace platné právní úpravy (byla v průběhu platnosti stávajícího zákona několikrát navržena), ale že je nezbytné přistoupit k přípravě nové právní úpravy posuzování vlivů na životní prostředí [1, 2, 6].

Během platnosti zákona č. 244/1992 Sb. byl Ministerstvu životního prostředí České republiky oznámen značný počet staveb, které naplnily kritéria přílohy č. 1 zákona. Pro ilustraci je dále uvedeno odvětvové členění staveb oznámených Ministerstvu životního prostředí ČR od účinnosti zákona č. 244/1992 Sb. (01.07.1992) k 31.12.1999 (viz tabulka 5.1).

**Tab. 5.1** Odvětvové členění staveb oznámených Ministerstvu životního prostředí (ČR) od účinnosti zákona č. 244/1992 Sb. k 31.12.1999

| Odvětví               | Počet staveb posuzovaných MŽP (ČR) | %    |
|-----------------------|------------------------------------|------|
| Dálnice, silnice      | 208                                | 31,2 |
| Odpadové hospodářství | 125                                | 18,8 |
| Energetika            | 83                                 | 12,5 |
| Chemický průmysl      | 99                                 | 14,9 |
| Těžba                 | 66                                 | 9,9  |
| Ostatní               | 85                                 | 12,7 |

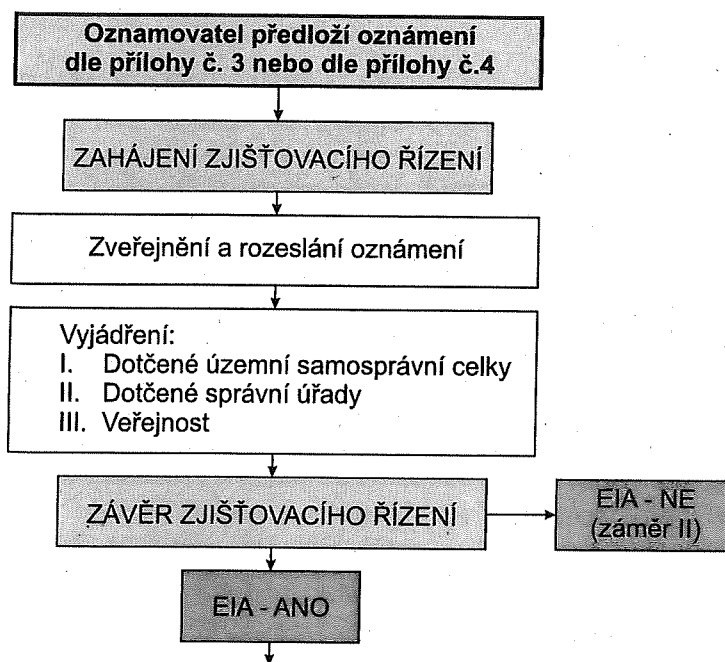
### 5.2.2 Zákon č. 100/2001 Sb.

Věcný záměr zákona nového zákona o posuzování vlivů na životní prostředí, předložený Ministerstvu životního prostředí České republiky zpracovatelským týmem v únoru 1999, vycházel ze všech tehdy platných legislativních dokumentů Evropské unie v této oblasti (Směrnice Rady Evropské unie 97/11/EC a 96/61/ES, Úmluva Evropské hospodářské komise OSN E/ECE/1250 a ECE/CEP/43 atd.).

Po projednání ve vládě České republiky, schválení v Poslanecké sněmovně a Senátu Parlamentu České republiky a po podpisu prezidentem republiky nabytí nového zákona o posuzování vlivů na životní prostředí č. 100/2001 Sb. účinnosti dnem 1. ledna 2002.

Zákon o posuzování vlivů na životní prostředí č. 100/2001 Sb. (dále také jen „zákon“) zahrnuje zjišťovací řízení a umožňuje příslušným úřadům určit rozsah zadání pro zpracování dokumentace. Posuzovanými záměry jsou stavby, činnosti a technologie uvedené v příloze č. 1 k zákonu. Hlavní kroky procesu posuzování vlivů na životní prostředí jsou patrné z obr. 5.1A a 5.1B.

#### Environmental Impact Assessment část I.



Obr. 5.1A Schéma stávajícího procesu posuzování vlivů na ŽP v České republice [2]

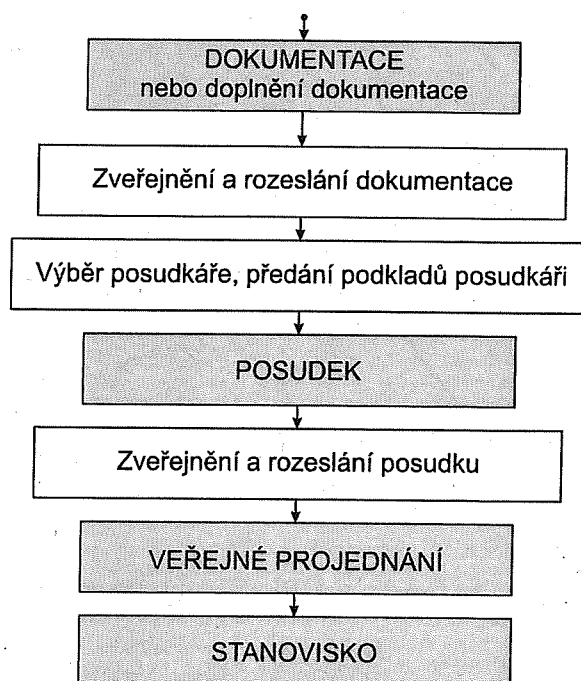
Každá **fyzická osoba** nebo **právní osoba**, která hodlá provést záměr (dále jen „oznamovatel“), je povinná předložit **oznámení záměru** (dále jen „oznámení“) dle přílohy č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb. Ministerstvu životního prostředí nebo orgánu kraje v přenesené působnosti, v jehož územně správním obvodu je záměr navržen (dále jen „příslušný úřad“). Pokud je záměr navrhován na území více krajů, zasílá oznamovatel oznámení Ministerstvu životního prostředí (dále jen „ministerstvo“). V tomto případě ministerstvo rozhodne o tom, který krajský úřad je příslušný k provedení posouzení, a postoupí mu neprodleně oznámení k dalšímu řízení [2].

V případě hodnocení **podlimitního záměru** je možno předložit zkrácené oznámení dle přílohy č. 3a k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Příslušný úřad na základě oznámení podlimitního záměru a s přihlédnutím k zásadám pro zjišťovací řízení sdělí **do 15 dnů** oznamovateli, zda podlimitní záměr podléhá zjišťovacímu řízení a zároveň toto sdělení zveřejní na internetu (IS EIA - informační systém EIA MŽP). V případě sdělení, že podlimitní záměr podléhá zjišťovacímu řízení musí oznamovatel zpracovat oznámení

v rozsahu přílohy č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb., případně budou následovat další kroky procesu posuzování vlivů na životní prostředí (tato úprava platí od platnosti zákona č. 216/2007 Sb., kterým byl novelizován zákon č. 100/2001 Sb.).

Oznamovatel je povinen předložit oznámení příslušnému úřadu písemně a na technickém nosiči dat, popřípadě zaslat elektronickou poštou (tedy „v elektronické podobě“). Náležitosti oznámení stanoví příloha č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb. Pokud se jedná o záměr, který podléhá posouzení podle přílohy č. 1 k tomuto zákonu (záměry kategorie I), musí oznamovatel **vždy uvést nástin studovaných hlavních variant** a stěžejní důvody pro jeho volbu vzhledem k vlivu na životní prostředí. Dle § 6 odst. 5 zákona je možné předložit také oznámení s obsahem a rozsahem podle přílohy č. 4 k tomuto zákonu (tedy s náležitostmi **dokumentace** vlivů záměru na životní prostředí – dále jen „dokumentace“, nikoliv pouze s náležitostmi **oznámení**), a to v počtu vyhotovení stanoveném dohodou s příslušným úřadem [2].

#### Environmental Impact Assessment část II.



**Obr. 5.1B** Schéma stávajícího procesu posuzování vlivů na ŽP v České republice [2]

U záměrů a změn záměrů podle § 4 odst. 1 písm. a), b) a c) zákona může oznamovatel předložit místo oznámení přímo dokumentaci podle přílohy č. 4 k zákonu. V tomto případě příslušný úřad postupuje podle § 8 zákona (viz též dále).

Příslušný úřad (MŽP, krajský úřad) zašle **do 7 pracovních dnů** ode dne obdržení oznámení jeho kopii k vyjádření dotčeným správním úřadům a dotčeným územním samosprávným celkům. V téže lhůtě zajistí zveřejnění informace o oznámení a o tom, kdy a kde je možno do něj nahlížet a na internetu (IS EIA) vždy alespoň textovou část oznámení. Orgán kraje v přenesené působnosti (dále jen „orgán kraje“) v téže lhůtě zašle kopii oznámení Ministerstvu životního prostředí.



Každý může zaslat své písemné vyjádření k oznámení příslušnému úřadu **do 20 dnů** ode dne zveřejnění informace o oznámení. Za den zveřejnění je považován den, kdy došlo k vyvěšení informace o oznámení na úřední desce dotčeného kraje, tj. kraje, kde má být záměr realizován (týká se i záměrů řízených MŽP). K vyjádřením zaslaným po lhůtě příslušný úřad nemusí přihlížet.

Jistým problémem se může jevit naplnění oznámení. Např. v části oznámení týkající se charakteristiky možných vlivů a odhadu jejich velikosti, složitosti a významnosti, kde by u většiny záměrů měla být mj. posouzena otázka znečišťování ovzduší a hlukosti, je velmi těžké odhadnout potřebu zpracování rozptylové, resp. hlukové studie. V principu by oznámení nemuselo tyto studie obsahovat (měly by být součástí až samotné dokumentace). Nicméně jsou případy, kdy je rozptylovou, resp. hlukovou studií vhodné zpracovat, jestliže chceme prokázat, že vliv na ovzduší a hlukovou situaci nebude po realizaci posuzovaného záměru významný. V případě prokázání nevýznamnosti vlivů na jednotlivé složky životního prostředí lze předpokládat pozitivní reakci dotčených správních úřadů a dotčených územních samosprávných celků, která je důležitá zejména při posuzování záměrů kategorie II (záměry vyžadující zjišťovací řízení) dle přílohy č. 1 k zákonu. U těchto záměrů může být shledáno, že záměr *nebude posuzován* (viz též dále). V případech, kdy příslušný úřad obdrží nesouhlasné vyjádření k záměru, je nutno zpracovat dokumentaci (dle přílohy č. 4) a naplnit všechny další kroky procesu posuzování vlivů na životní prostředí ve smyslu zákona č. 100/2001 Sb.

**Zjišťovací řízení** (viz § 7 zákona č. 100/2001 Sb.) je institutem, který byl zákonem č. 100/2001 Sb. značně pozměněn (zákon č. 244/1992 Sb. svými přílohami č. 1 a 2 naplňoval pouze požadavky tzv. obligatorního zjišťovacího řízení), takže nyní je zde zahrnuto jak *obligatorní* (viz příloha č. 1, kategorie I - záměry vždy podléhající posouzení), tak *fakultativní zjišťovací řízení* (příloha č. 1, kategorie II - záměry vyžadující zjišťovací řízení) [2].

Cílem zjišťovacího řízení je upřesnění informací, které je vhodné uvést do dokumentace vlivu záměru na životní prostředí (dále jen „dokumentace“), a to se zřetelem na:

- povahu konkrétního záměru nebo druhu záměru,
- faktory životního prostředí uvedené v § 2, které mohou být provedením záměru ovlivněny,
- současný stav poznatků a metody posuzování.

U záměru uvedeného v příloze č. 1 zákona č. 100/2001 Sb., v kategorii II (záměry vyžadující zjišťovací řízení) a u změny záměru je cílem zjišťovacího řízení také zjištění, zda záměr nebo jeho změna bude dále posuzována podle tohoto zákona (může být shledáno, že záměr kategorie II *nebude posuzován* – viz obr. 5.1A). Zjišťovací řízení se zahajuje a provádí na podkladě oznámení (viz příloha č. 3 k zákonu), vyjádření k němu obdržených a podle hledisek a měřítek uvedených v příloze č. 2 (zásady pro zjišťovací řízení) k tomuto zákonu.

Zjišťovací řízení ukončí příslušný úřad **nejdéle do 30 dnů** ode dne zveřejnění informace o oznámení, tj. ode dne, kdy došlo k vyvěšení informace o zahájení zjišťovacího řízení na úřední desce dotčeného kraje. Příslušný úřad po ukončení zjišťovacího řízení neprodleně zašle jeho **odůvodněný závěr** oznamovateli a zveřejní jej podle § 16 zákona. Součástí písemného závěru zjišťovacího řízení je souhrnné vypořádání všech připomínek obsažených ve vyjádřeních. Nedílnou přílohou tohoto závěru jsou kopie všech obdržených vyjádření.

Pokud bylo předloženo oznámení s náležitostmi podle přílohy č. 4 (byla tedy vlastně předložena dokumentace) a příslušný úřad neobdržel **žádné odůvodněné nesouhlasné vyjádření k němu**, může v závěru stanovit, že **dokumentaci není třeba zpracovávat** a oznámení se považuje za dokumentaci. V **opačném případě** příslušný úřad na základě vyjádření podle předchozí věty ve svém **závěru stanoví**, jak je třeba **oznámení dopracovat** tak, aby mohlo **nahradit dokumentaci**. Pozn.: U záměrů kategorie I dle přílohy č. 1 zákona č. 100/2001 Sb. je vhodné zpracovat oznámení s náležitostmi dle přílohy č. 4 zákona (tedy s náležitostmi dokumentace), neboť tyto záměry (kategorie I) vždy podléhají posouzení. Je tak možno významně zkrátit proces posuzování z časového hlediska. Nejnověji (tedy od platnosti zákona č. 436/2009 Sb., kterým byl novelizován zákon č. 100/2001 Sb.) je možno dokumentaci předložit přímo, jak tomu bylo již dříve v době platnosti zákona č. 244/1992 Sb. **Nebezpečím** je ovšem skutečnost, že při **nesouhlasném vyjádření k dokumentaci se proces může přenést zpět do fáze zjišťovacího řízení, je-li tak rozhodnuto příslušným úřadem**, což rozhodně nepříspěje ke zkrácení procesu posuzování z časového hlediska.

V závěru může příslušný úřad navrhnout zpracování variant řešení záměru, které se zpravidla liší umístěním, kapacitou, použitou technologií či okamžikem provedení, jestliže je jejich provedení prokazatelně účelné a z technických hledisek možné.

V závěru příslušný úřad s ohledem na počet dotčených správních úřadů a dotčených územních samosprávních celků stanoví, v jakém počtu mu oznamovatel předloží dokumentaci záměru.

Z výše uvedeného textu vyplývá, že v případě záměrů, které jsou uvedeny kategorií I, a u záměrů kategorie II, u kterých tak bylo rozhodnuto v rámci zjišťovacího řízení, musí být zpracována dokumentace. Dále v tomto případě proces posuzování vlivů na životní prostředí pokračuje (viz obr. 5.1B) zveřejněním dokumentace, zpracováním posudku, zveřejněním posudku, veřejným projednáním (nemusí být vždy konáno – viz platná legislativa) a vydáním stanoviska [2].

Oznamovatel na základě oznámení, vyjádření k oznámení a závěru zjišťovacího řízení zajistí zpracování **dokumentace** v písemné podobě v počtu vyhotovení stanoveném příslušným úřadem a v elektronické podobě. Náležitosti dokumentace jsou uvedeny v příloze č. 4 k zákonu. Dokumentaci může zpracovávat pouze autorizovaná osoba ve smyslu zákona č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Příslušný úřad dokumentaci **do 10 pracovních dnů** ode dne, kdy mu byla doručena, zveřejní na internetu a zašle k vyjádření dotčeným správním úřadům a dotčeným územním samosprávným celkům. V téže lhůtě zajistí zveřejnění informace o dokumentaci. Každý se může **vyjádřit k dokumentaci** u příslušného úřadu, a to **písemně do 30 dnů** od zveřejnění informace o dokumentaci. K vyjádřením zaslaným po lhůtě **nemusí** úřad přihlížet.

Příslušný úřad (MŽP, krajský úřad) může na základě obdržených vyjádření k dokumentaci nebo na základě doporučení zpracovatele posudku, nejdéle však **do 40 dnů** ode dne, kdy byla dokumentace záměru doručena zpracovateli posudku, **vrátit oznamovateli tuto dokumentaci k přepracování nebo doplnění**.

Příslušný úřad smluvně zajistí zpracování **posudku** osobou k tomu oprávněnou (autorizovanou osobou). Zpracovatel posudku zpracuje tento posudek na základě dokumentace, popřípadě oznámení, a všech podaných vyjádření k nim. Náležitosti posudku jsou uvedeny v příloze č. 5 k zákonu. **Doba pro zpracování posudku nesmí být delší než 60 dnů** ode dne, kdy byla dokumentace včetně všech obdržených vyjádření k ní zpracovateli posudku doručena. Tato **lhůta může být** v odůvodněných, zejména složitých případech **překročena**, nejdéle však o **dalších 30 dnů** [2].

Zpracovatel posudku zašle posudek příslušnému úřadu v dohodnutém počtu, termínu a formě. Příslušný úřad **zašle posudek do 10 pracovních dnů** ode dne jeho obdržení oznamovateli, dotčeným správním úřadům a dotčeným územním samosprávným celkům. V téže lhůtě zveřejní posudek na internetu a zajistí zveřejnění informace o posudku záměru.

K posudku je každý oprávněn zaslat příslušnému úřadu písemné vyjádření ve lhůtě **do 30 dnů** ode dne zveřejnění informace o něm, popřípadě se k němu vyjádřit na veřejném projednání (viz dále). K vyjádřením zaslaným po uplynutí této lhůty nemusí příslušný úřad při dalším postupu přihlížet.

Pokud příslušný úřad obdržel nesouhlasné vyjádření k dokumentaci nebo k posudku, zajistí **veřejné projednání posudku a současně dokumentace**.

Příslušný úřad je povinen **zveřejnit informaci o veřejném projednání nejméně 5 dnů před jeho konáním**. Příslušný úřad je povinen zajistit, aby se **veřejné projednání konalo nejpozději 5 dnů po uplynutí lhůty pro vyjádření k posudku**. Příslušný úřad může ukončit veřejné projednání v případě neúčasti oznamovatele nebo zpracovatele dokumentace nebo posudku. Příslušný úřad pořizuje z veřejného projednání zápis obsahující zejména údaje o účasti a závěry z projednání a dále z něj pořizuje úplný textový nebo zvukový záznam.

Příslušný úřad vydá na základě dokumentace, popřípadě oznámení, posudku a veřejného projednání a vyjádření k nim uplatněných **stanovisko** k posouzení vlivu provedení záměru na životní prostředí (dále jen "stanovisko") ve lhůtě **do 30 dnů** ode dne uplynutí lhůty pro vyjádření k posudku. Náležitosti stanoviska jsou uvedeny v příloze č. 6 k zákonu [2].

**Stanovisko** je odborným podkladem pro vydání rozhodnutí, popřípadě opatření podle zvláštních právních předpisů. Stanovisko předkládá oznamovatel jako jeden z podkladů pro navazující řízení nebo postup podle těchto předpisů. **Platnost stanoviska je 5 let** ode dne jeho vydání. Platnost může být na žádost oznamovatele **prodloužena o pět let** (tato úprava platí od platnosti zákona č. 436/2009 Sb., kterým byl novelizován zákon č. 100/2001 Sb.; dříve to byly 2 roky), a to i opakovaně, nedošlo-li k podstatným změnám realizace záměru, a podmínek v dotčeném území, k novým znalostem souvisejícím s věcným obsahem dokumentace a vývoji nových technologií využitelných v záměru.

**Současnou základní právní úpravu procesu posuzování vlivů na životní prostředí v České republice** tedy tvoří zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně souvisejících zákonů (o posuzování vlivů na životní prostředí) a vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 457/2001 Sb., o odborné způsobilosti a úpravě některých dalších otázek souvisejících s posuzováním vlivů na životní prostředí a vyhláška č. 353/2004 Sb., kterou se stanoví bližší podmínky osvědčení o odborné způsobilosti pro oblast posuzování vlivů na veřejné zdraví, postup při jejich ověřování a postup při udělování a odnímání osvědčení.

**Zákon č. 100/2001 Sb.** byl již **několikrát novelizován** následujícími zákony:

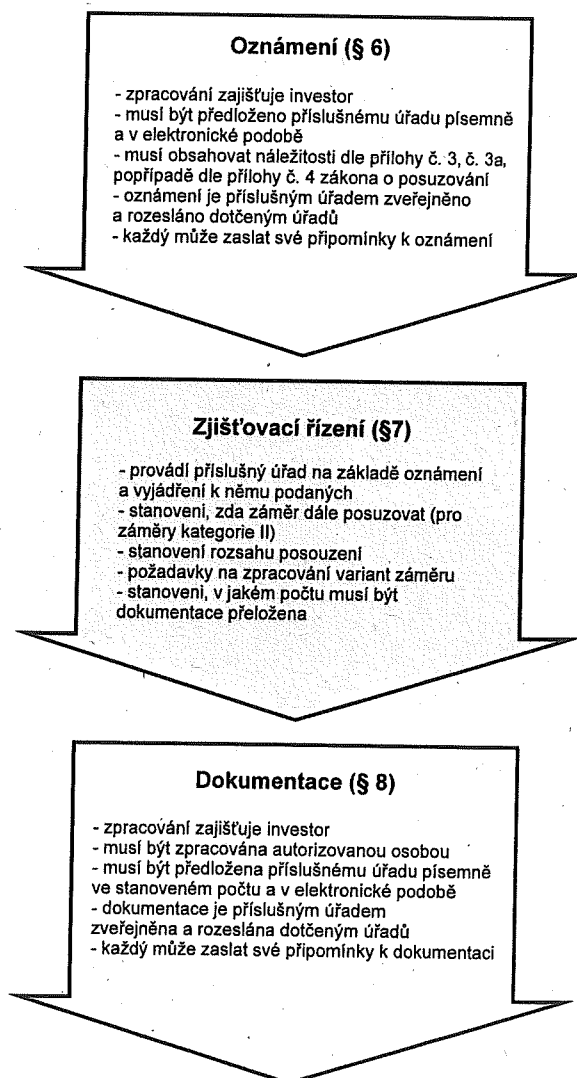
- č. 93/2004 Sb. – tato novelizace rozšířila text zákona o ustanovení o strategickém posuzování vlivů na životní prostředí (tzv. SEA); zavedla hodnocení zdravotních rizik a posuzování vlivů na složky systému NATURA 2000,
- č. 163/2006 Sb. – změna náplně přílohy č. 1 k zákonu,
- č. 186/2006 Sb. – změna terminologie vzhledem k novému stavebnímu zákonu,
- č. 216/2007 Sb. – rozšíření o způsob posuzování tzv. podlimitních záměrů,
- č. 436/2009 Sb. - novela z 11.12.2009 – možnost domáhat se žalobou z důvodu porušení zákona č. 100/2001 Sb. zrušení navazujícího rozhodnutí (ÚŘ, SP),

příčemž **odkladný účinek** žaloby je vyloučen; možnost **prodloužení stanoviska** na žádost oznamovatele o 5 let, a to i opakovaně.

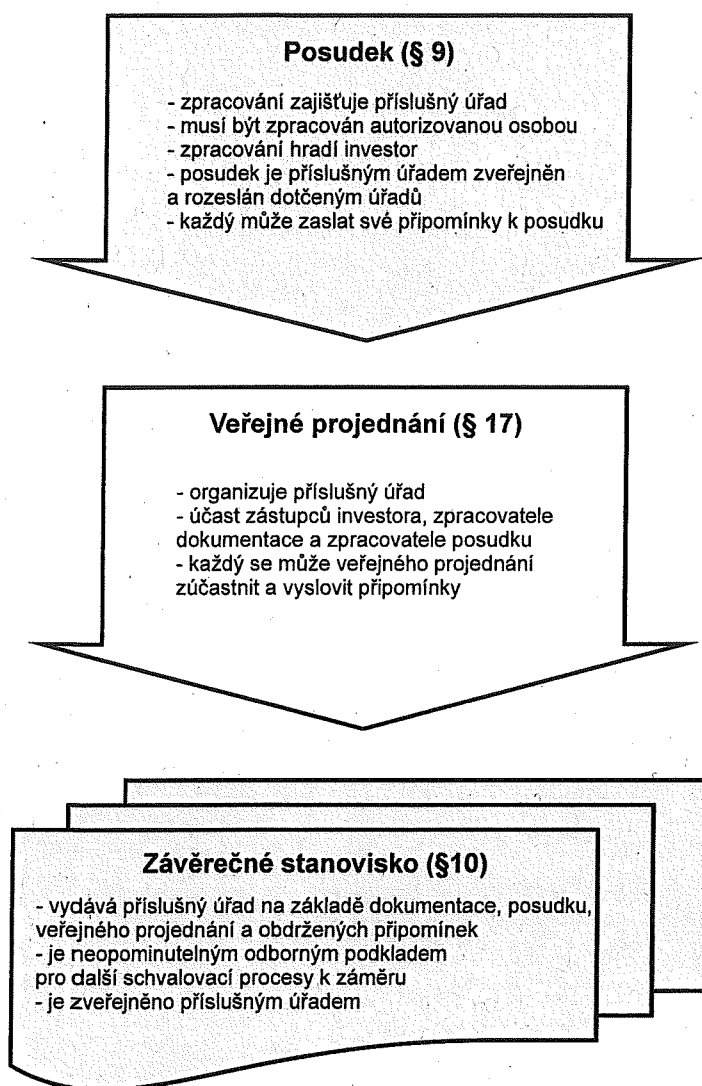
Zákon č. 100/2001 Sb. byl dále novelizován v rámci zákona č. 124/2008 Sb., zákona č. 223/2009 Sb. a zákona č. 227/2009 Sb. Jednalo se nicméně o vymezení jednoho či více pojmů, resp. jistá upřesnění (tyto novely bývají uváděny v příslušných přehledech). V roce 2010 bylo vydáno úplné znění zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů, pod číslem 49/2010 Sb.

Proces posuzování vlivů na životní prostředí u nás probíhá **prakticky od února roku 1993**, kdy byly po příslušných zkouškách ustanoveny první způsobilé osoby (nyní autorizované osoby). Tehdy se proces posuzování vlivů na životní prostředí řídil zákonem č. 244/1992 Sb. (viz výše).

Názorně jsou fáze procesu posuzování vlivů na životní prostředí (s podrobnějším uvedením jednotlivých kroků) patrné z obr. 5.2 a 5.3.



**Obr. 5.2** Fáze procesu posuzování vlivů na životní prostředí s uvedením jednotlivých kroků – oznámení, zjišťovací řízení, dokumentace [4 + doplnění]



**Obr. 5.3** Fáze procesu posuzování vlivů na životní prostředí s uvedením jednotlivých kroků – posudek, veřejné projednání, stanovisko [4]

**Závěry procesu posuzování vlivů na životní prostředí musí být zohledněny v dalších postupech a etapách přípravy, realizace a provozu záměru.** Takto musí být zohledněn i **závěr zjišťovacího řízení** (v případě dále neposuzovaných záměrů kategorie II nebo změn záměrů obou kategorií přílohy č. 1 zákona č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů).

Především z tohoto důvodu by měli mít oznamovatelé - investoři zájem na tom, aby proces EIA proběhl objektivně, věcně a pokud možno rychle, přičemž k těmto parametrům procesu EIA může oznamovatel sám přispět věcností a dobrou kvalitou podkladů, vstřícností při projednávání a korektností v rámci komunikace se všemi stranami procesu EIA.

### 5.3 Strategické posuzování vlivů na živ. prostředí (SEA)

Strategické posuzování vlivů na životní prostředí (krátce SEA z anglického „Strategic Environmental Assessment“) je důležitým nástrojem pro zvážení a zhodnocení možných dopadů realizace připravovaných plánů, programů a koncepcí na kvalitu životního prostředí. Proces SEA umožňuje zvážit možné varianty řešení a uplatnit základní principy ochrany životního prostředí, jako jsou princip prevence nebo princip předběžné opatrnosti již v počátečních fázích rozhodování [4].

Trendem moderní SEA je co nejširší zapojení posuzovatelského týmu do práce týmu připravujícího plán, program či politiku. Pak je možné do těchto dokumentů integrovat cíle a hlediska ochrany životního prostředí již během jejich vzniku a včas eliminovat možné negativní důsledky jejich realizace. Výsledkem je zkvalitnění koncepce i samotného plánovacího procesu, včetně snížení finančních a časových nároků.

Česká republika vytvořila základní právní rámec pro SEA v roce 1992. Paragraf 14 zákona č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, upravoval problematiku posuzování koncepcí poměrně vágně, přesto se postupně vytvářela bohatá praxe. Z důvodů transpozice evropského práva do českého právního systému nabyla dne 1. května 2004 účinnosti novela č. 93/2004 Sb. zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, ve znění pozdějších předpisů, která v souladu se směrnicí č. 2001/42/ES rozšiřuje povinnost strategického posuzování vlivů na životní prostředí ze stávající národní úrovně i na úroveň regionální a lokální.

Proces SEA zahrnuje povinnost předkladatele koncepce zpracovat vyhodnocení vlivů koncepce na životní prostředí – viz náležitosti oznámení koncepce (příloha č. 7 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů). Současně je předkladatel koncepce povinen návrh koncepce společně s vyhodnocením vlivů koncepce na životní prostředí (viz příloha č. 9 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů) zveřejnit a zpřístupnit k připomínkám před jejím schvalováním. Proces posuzování také zahrnuje vydání stanoviska k návrhu koncepce Ministerstvem životního prostředí a podmínku, že schvalující orgán neprojedná koncepci bez jeho stanoviska.

Koncepce (celostátní, krajské či obecní - například územní plán, plán odpadového hospodářství, územní energetická koncepce atd.) povětšinou vytvářejí základ pro budoucí realizaci projektových záměrů. Posouzení jejich vlivů na životní prostředí (SEA) může stanovit podmínky pro povolení a realizaci těchto záměrů z hlediska životního prostředí. Proto je vhodné již v počáteční fázi přípravy záměru zjistit, zda záměr vyplývá z některých platných strategických dokumentů a zda byly v rámci SEA stanoveny podmínky pro realizaci záměrů z hlediska ochrany životního prostředí.

### 5.4 Mezistátní posuzování vlivů na životní prostředí

Realizace některých záměrů či koncepcí může mít vlivy na životní prostředí, které přesahují hranice České republiky a zasahují tak na území jiného státu (tzv. dotčený stát). V takovém případě je záměr či koncepce předmětem mezistátního posuzování - je nutné provedení „přeshraniční EIA, resp. SEA“. Tato procedura je upravena v hlavě II (§§ 11, 12, 13, 14, 14a a 14b) zákona č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Mezistátní posuzování záměru či koncepce provádí vždy Ministerstvo životního prostředí ČR. Při přeshraniční EIA a SEA může Ministerstvo životního prostředí prodloužit jednotlivé lhůty pro vyjádření k dokumentům až o 30 dnů a může také přiměřeně prodloužit i ostatní lhůty,

stanovené zákonem o posuzování.

V rámci přeshraniční EIA je Ministerstvem životního prostředí zasláno dotčenému státu k vyjádření **oznámení** a **dokumentace**, v rámci příhraniční SEA pak **návrh koncepce**. Dotčený stát je povinen zapojovat svou veřejnost a své dotčené úřady. Vyjádření dotčeného státu (včetně veřejnosti a dotčených úřadů) k dokumentaci, resp. k návrhu koncepce (v případě SEA) zpracovává Ministerstvo životního prostředí do závěrečného stanoviska k záměru (resp. ke koncepci) nebo zdůvodní, proč bylo zpracováno jen zčásti nebo vůbec. Náklady spojené s překlady dokumentace a posudku a náklady spojené s tlumočením hradí oznamovatel [4].

## 5.5 Další související procesy

### 5.5.1 Hodnocení vlivů záměrů na soustavu chráněných území evropského významu (na lokality soustavy Natura 2000)

Na základě požadavků Evropské unie byly v České republice novelou zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů, dány podmínky pro vytváření soustavy chráněných území evropského významu Natura 2000. Tato soustava je tvořena dvěma typy lokalit: ptačími oblastmi (zvláštní typ chráněného území, resp. SPA = Special Protected Area) a tzv. evropsky významnými lokalitami (EVL, resp. pSCI = proposed Sites of Community Importance) [5].

V souladu s články 6 a 7 směrnice 92/43/EHS, o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících druhů živočichů a planě rostoucích rostlin, je velmi důležitým prvkem ochrany těchto území hodnocení možných důsledků realizace koncepcí či záměrů na tato území, což upravují ustanovení § 45h a § 45i zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Hodnocení je zaměřeno na cíle ochrany dané lokality soustavy Natura 2000. Je velmi důležité, že zákon o ochraně přírody a krajiny nerozlišuje, zda se hodnotí významné negativní či pozitivní vlivy na lokality soustavy Natura 2000. Z posuzování proto nelze vyloučit ani záměry se zjevným kladným vlivem [4].

Hodnocení vlivů na lokality soustavy Natura 2000 má úzký vztah k procesům posuzování vlivů na životní prostředí (EIA a SEA) dle zákona o posuzování vlivů. Součástí oznámení záměru v rámci procesu EIA musí být i stanovisko příslušného orgánu ochrany přírody podle § 45i zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Na základě tohoto stanoviska:

- a) lze vyloučit významné vlivy záměru na území Natura 2000. Pokud záměr svým rozsahem a charakterem podléhá posuzování dle zákona o posuzování vlivů, probíhá proces EIA standardním postupem dle zákona o posuzování bez hodnocení vlivů na lokality soustavy Natura 2000.
- b) nelze vyloučit významné vlivy záměru na území Natura 2000. Záměr tak podléhá posuzování dle zákona o posuzování vlivů. V takovém případě probíhá proces EIA dle zákona o posuzování včetně hodnocení vlivů na lokality soustavy Natura 2000.

Hodnocení vlivů na lokality soustavy Natura 2000 musí být provedeno autorizovanou osobou k provádění posouzení dle § 45i a § 67 zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění zákona č. 218/2004 Sb. V případě, že se v rámci provedeného hodnocení vlivů záměru na lokality soustavy Natura 2000 prokáží negativní vlivy na tyto lokality, záměr nemůže být v navržené podobě schválen. V takovém případě musí být hledány další varianty

záměru a navržena kompenzační opatření.

## 5.5.2 IPPC

Nový přístup k ochraně životního prostředí při provozu průmyslových a zemědělských provozů a zařízení byl na úrovni EU zakotven směrnicí 96/61/EC o Integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control). Hlavním cílem integrované prevence je ochrana životního prostředí jako celku před průmyslovým a zemědělským znečištěním regulací provozu vybraných zařízení. Může nastat situace, kdy takovéto zařízení podléhá jak procesu EIA, tak řízení IPPC. To znamená, že vlivy jednoho záměru na životní prostředí musí být dvakrát posuzovány [4].

Evropská směrnice byla do českého právního řádu transponována zákonem č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci, ve znění zákona č. 521/2002 Sb. (dále „zákon o integrované prevenci“).

Uplatňování zákona o integrované prevenci má významný dopad na velký počet zařízení, v ČR řádově několik set. Podniky, které spadají do působnosti tohoto zákona, budou podléhat pravidelně opakovanému procesu povolování z hlediska souhrnných dopadů na životní prostředí.

Komplexní přístup k předcházení vzniku a omezování průmyslového znečištění má v procesu IPPC podobu řízení o tzv. „integrovaném povolení“ (dále také jako „IP“) a vydání podmínek integrovaného povolení, které je vydáváno na základě zhodnocení předpokladů daného zařízení předcházet znečištění a srovnání jeho environmentální výkonnosti s tzv. nejlepšími dostupnými technikami (BAT - „Best Available Techniques“).

Se vstupem zákona o integrované prevenci v platnost vznikla provozovatelům zařízení povinnost ve stanovených lhůtách získat povolení pro provoz zařízení. Tato povinnost se týká především velkých průmyslových a zemědělských podniků, výrobců potravin a krmiv, provozovatelů skládek, spaloven atd.. Od podniku vyžaduje důkladnější přístup k řešení problémů se vznikem znečištění a v některých případech i zvýšení investic do modernějších technologií.

Opatření podniku na předcházení vzniku znečištění mohou zahrnovat např. zavádění šetrnějších technologií, zlepšení hospodaření se surovinami, vodou a energií apod.

Významným přínosem pro investory je zjednodušený způsob povolování provozu pomocí hodnocení všech hledisek životního prostředí v rámci jednoho správního řízení. Povolení jsou vydávána krajskými úřady nebo MŽP ČR a nahrazují řadu rozhodnutí dle složkové environmentální legislativy, odbornou podporu v procesu řízení o vydání integrovaného povolení a odborné zázemí pro konzultace v rámci procesu povolování zajišťuje Agentura Integrované prevence (příspěvková organizace MŽP ČR).

Integrovaná prevence je prvním administrativním nástrojem, který zavádí na rozdíl od dobrovolných nástrojů právně závazné požadavky na uplatňování principů předcházení vzniku znečištění a žádoucím přístupem k ochraně životního prostředí před průmyslovým (a zemědělským) znečišťováním, které bylo v uplynulých letech řešeno spíše cestou méně účinných a finančně nákladnějších nápravných opatření.

Při počáteční úvaze o záměru je vhodné zjistit, zda kromě EIA je pro daný záměr vyžadováno i vydání integrovaného povolení pro provoz. V případě, že ano, lze podklady zpracované v rámci procesu EIA využít posléze i pro tuto proceduru. Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 554/2002, která stanovuje vzor žádosti o integrované povolení,



požaduje mimo jiné i informace a údaje, které jsou řešeny v rámci procesu EIA [4].

### 5.5.3 Hodnocení vlivů na veřejné zdraví

Jde o proces, který je nedílnou součástí posuzování vlivů na životní prostředí. Hlavním cílem hodnocení vlivu na veřejné zdraví je ochrana a podpora veřejného zdraví jako souhrn činností a opatření k vytváření a ochraně zdravých životních podmínek.

Hodnocení zdravotních rizik (viz též výše kap. 2.2.2) je posouzení pravděpodobnosti poškození zdraví populace, vystavené rizikovým faktorům životních a pracovních podmínek a způsobu života. Podkladem pro hodnocení zdravotního rizika je kvalitativní a kvantitativní hodnocení expozice obyvatel.

Výsledek hodnocení zdravotního rizika je podkladem pro řízení zdravotních rizik, čímž se rozumí rozhodovací proces s cílem snížit zdravotní rizika.

Vlivy záměru na veřejné zdraví musí být v rámci dokumentace (u záměrů kategorie I povinně, u záměrů kategorie II a změn záměrů obou kategorií na základě závěru zjišťovacího řízení) vyhodnoceny oprávněnou osobou - držitelem osvědčení o autorizaci pro hodnocení zdravotních rizik dle zákona č. 100/2001 Sb., v platném znění, ve smyslu vyhlášky č. 353/2004 Sb. (osvědčení uděluje a odnímá Ministerstvo zdravotnictví).

### Literatura (kap. 5)

- [1] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1996. 128 s. ISBN 80-7078-316-8.
- [2] LAPČÍK, Vladimír. *Posuzování vlivů na životní prostředí v České republice*. In: Krizový manažment (vědecko-odborný časopis Fakulty speciálního inženýrstva Žilinskej univerzity v Žilině), č. 1/2004, ročník 3, s. 26 - 31. ISSN 1336-0019.
- [3] HERČÍK, Miloslav, LAPČÍK, Vladimír, OBROUČKA, Karel. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1994. 243 s.
- [4] Kol. autorů. *EIA – průvodce investora procesem* (metodická příručka). Praha: CpKP a REC ČR, 2004. Twinningový projekt CZ/2002/IB/EN/02, Program PHARE 2002. 48 s.
- [5] LAPČÍK, Vladimír. Dokumentace ve smyslu přílohy č. 4 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, na záměr „*Větrné elektrárny Partutovice*“. Ostrava, listopad 2010. 92 s. 26 příloh (223 s.), fotodokumentace (6).
- [6] LAPČÍK, Vladimír. Experience with Application of E.I.A. Procedure in the Czech Republic. In: The International Conference on Environment, Energy, and Society. Carbondale 1994, s. 163-167.
- [7] LAPČÍK, Vladimír. Nový zákon o posuzování vlivů na životní prostředí č. 100/2001 Sb. v České republice. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - TU Ostrava, číslo 2, rok 2001, ročník XLVII, řada hornicko-geologická*, s. 33 - 42.
- [8] LAPČÍK, Vladimír. New Legislation in Sphere of Environmental Impact Assessment in the Czech Republic. In: New Trends in Mineral Processing IV - Part II (sborník mezinárodní konference, Ostrava, 28.-30.6.2001). VŠB-TU Ostrava, červen 2001, s. 443 - 445. ISBN 80-7078-886-0.

## 6 Metodika hodnocení interakcí průmyslu a životního prostředí

Interakce společnosti s prostředím je možné charakterizovat ze strany společnosti množinou činností charakterizovaných vazbami a vztahy materiální povahy a ze strany prostředí změnami vývojových procesů s různými zpětnými dopady na výchozí zdroj změn, tj. sociální subjekt, tedy na vlastní společnost s různou sociální strukturou.

Analýza interakcí, mechanismus procesů v systému - společnosti a prostředí - je základem pro hodnocení objektivních procesů v libovolném regionu a v libovolné geografické dimenzi. Hlavní vlivy aktivit **společnosti na prostředí** lze charakterizovat:

- odčerpáváním hmoty a energií,
- přerozdělováním hmoty a energií (bez odčerpávání),
- vnášením umělých hmot a energie do prostředí nebo vlastních látek a energií ve zvýšené koncentraci,
- vytvářením technických zařízení různého druhu.

V **teritoriálním aspektu** mohou formy vlivů být:

- bodové, ohniskové,
- liniové, síťové,
- plošné.

Dále je možno z hlediska **aspektu času** uvažovat vlivy:

- dlouhodobé a krátkodobé,
- nepřetržité a impulzní,
- sezónní a celoroční.

Tolik tedy velice stručně o interakci společnosti s prostředím. Zaměřme se nyní na interakce výrobních a nevýrobních aktivit společnosti s prostředím.

Je možno říci, že podle druhů interakcí výrobních aktivit společnosti s prostředím dochází ke změnám jak v úrovni vlastních výrobních aktivit, tak také k charakteristickým změnám v prostředí (*antropogenizace*).

Vyvolané změny je možné hodnotit z nejrůznějších aspektů, např. sociálních, ekonomických, ekologických, technických apod. Vzhledem k tomu, že velmi často dochází k různým druhům interakcí s prostředím v totožném prostoru, vznikají interference včetně složitých synergických jevů. Analýza výsledného stavu je pak velmi náročná.

Vzniká řada nových antropogenizovaných procesů. Tyto procesy můžeme kvalitativně a časově rozdělit na tři po sobě jdoucí etapy, a to vlivy, změny a účinky. Je ovšem nutno analyzovat také zpětné vazby, tj. působení změněného prostředí na prvotní výrobní i nevýrobní aktivity a společnost, které vytváří jak stále nové rámcové podmínky, tak spolupůsobí při vzniku mezních hodnot rozvoje nebo vývojových procesů pro rozvoj společnosti a hospodářství.

## 6.1 Hodnocení interakcí průmyslu a životního prostředí

Metodický přístup k hodnocení interakcí průmyslu a prostředí vyžaduje:

- při vědomí mimořádného rozsahu a složitosti interakcí průmyslu a životního prostředí a jejich zpětných vazeb, stanovit a realizovat zásadu selektivního výběru interakcí z hlediska relevantnosti a jednosměrnosti působení na životní prostředí,
- klasifikovat rozsah, obsah a kategorizaci takto odvozených základních interakcí, to je vlivů, změn a účinků průmyslu na životní prostředí,
- na základě odvětvových analýz a regionálních syntéz hledat potenciální řešení v prvé řadě v prevenci a následně v omezování negativních interakcí průmyslu s prostředím (celkově a zvláště ve vymezených regionech).

Systém interakcí průmyslu s prostředím zahrnuje velké množství vlivů, změn a účinků, vzájemně **propojených** a vesměs negativně působících na základní složky životního prostředí. Rovněž tak existuje řada **zpětných vazeb**, kdy narušené životní prostředí **negativně ovlivňuje průmyslovou výrobu** (např. znečištěné vodní zdroje, koroze zařízení apod.).

Metodicky je možno klasifikovat interakce průmyslu s životním prostředím z několika hledisek. Z **obsahového** hlediska jde o **vlivy, změny a účinky**, z hlediska **časového - krátkodobě, střednědobě a dlouhodobě** působící **faktory**, dle **způsobu přenosu** ekologického účinku průmyslu na životní prostředí - **primární** (přímé), **sekundární**, **terciární** (zprostředkované) vazby [1, 4].

Pod pojmem **vlivy** rozumíme působení **průmyslových závodů, oborů a odvětví** na své okolí prostřednictvím nejrůznějších druhů **odpadů, hluku a devastáčních zásahů** do okolí (zábor půdy, narušení režimu podzemních vod, reliéfu krajiny apod.) a dále **výrobu závadných, či přímo škodlivých průmyslových produktů** (např. chemická výroba - DDT, PCB, freony, speciální kapaliny, výroba stavebních děl s obsahem radonu atd. – pozn.: dnes není možno dle platných právních předpisů většinu uvedených produktů vyrábět).

**Změny** jednotlivých elementů životního prostředí v důsledku negativního působení průmyslu můžeme **charakterizovat** a zpravidla i **kvantifikovat** jako **míru jejich narušení**. Jde např. o stupeň a charakter znečištění ovzduší a vody, o rozsah záboru a charakter devastace půdního fondu apod.

**Účinky** jsou v podstatě důsledkem **vlivu průmyslu na změny jednotlivých elementů** životního prostředí a to z různých aspektů. Účinky mohou být **ekonomické** (ekonomicky vyčíslitelné ztráty, škody, vícenáklady), **zdravotní** (zvýšená nemocnost, úmrtnost, genetické vlivy), **ekologické** (narušení přírodních struktur a zákonitostí vývoje), **demografické** (deformace natality, migrační vlivy a jejich důsledky), **sociální** (deformace sociální struktury a sociálního mikroklimatu, zvýšený výskyt sociálně negativních až sociálně-patologických jevů).

Výsledky analýz interakcí průmyslu a prostředí ukazují, že z **časového hlediska** jsou nejzávažnějšími účinky dlouhodobě působících vlivů. Zatímco u **krátkodobých vlivů**, jakými jsou např. havárie či krátkodobé překračování hygienických norem, z různých důvodů **nedochází zpravidla k trvalým změnám** jednotlivých elementů životního prostředí a k **trvalým účinkům**. U **dlouhodobě** působících **vlivů** průmyslu mají změny a účinky **trvalý, dlouhodobý** charakter. Dokonce se odhaduje jejich **přetrvávání** v době, kdy již **primární negativní vlivy** budou **slábnout** nebo zcela **pominou**. Do této oblasti proto musí směřovat společenské úsilí a prostředky přednostně, a to jak pro účely preventivních opatření, tak pro účely zmírnění již se projevujících následků.

Dle způsobu přenosu ekologického účinku průmyslu na životní prostředí je možno odvodit dva druhy vztahů:

- **primární** (přímé) vztahy, např. průmysl-ovzduší, průmysl-voda,
- **zprostředkované** vztahy (sekundární, terciární), kdy průmyslem poškozené ovzduší (voda) působí dále negativně na vegetaci, obyvatelstvo a další složky životního prostředí.

Účinky vlivu narušeného životního prostředí průmyslovou výrobou na **zdravotní stav obyvatel** v regionálním průřezu ČR jsou zcela průkazné a je možno je dokumentovat řadou ukazatelů:

- zdravotní stav dětské populace,
- údaje o poškození imunitní odolnosti obyvatelstva,
- údaje o genotoxickém poškozování populace,
- epidemiologické studie u profesionálně exponovaných skupin a další.

Současný stav poznání umožňuje vytipovat hlavní faktory ovlivňující zdravotní stav populace České republiky, provádět jejich analýzu a stanovit odpovídající metody monitorování.

Obdobně je možno specifikovat **ekonomické účinky** průmyslem narušeného životního prostředí a to především metodologií a metodikou **ekonomického hodnocení škod a poškození** na životním prostředí, včetně nákladů na odstraňování těchto škod.

Složitější a obtížnější specifikace je zejména u **sociálních účinků narušeného životního prostředí**, avšak i zde existují důkazy o silné korelační závislosti různých sociálních deformací a deviací na stupni narušení životního prostředí.

**Účinky** (zdravotní, ekonomické, ekologické, sociální) jsou propracovány metodicky i obsahově poměrně důkladně. Jde vlastně o vývojový proces v časovém řetězci vlivy - změny - účinky. Chceme-li tedy rozplétat „gordický uzel“ interakcí průmyslu a životního prostředí a provést jejich hodnocení, je nutné začít u **analýzy vlivů** průmyslu na životní prostředí. V tomto směru mohou např. posloužit vzorové metodické ukazatele odvětví energetika a těžba nerostných surovin, což jsou odvětví s jedním z nejhorších ekologických účinků na životní prostředí.

**Předmětem vlivu průmyslu jsou:**

- zábor ploch a změny land-use, včetně struktur širšího území,
- změny přírodního prostředí jako celku, jednotlivých prvků a ekosystémů různé úrovně,
- změny sídel a sídelních struktur,
- změny infrastruktury všech druhů (např. dopravních sítí, liniových inženýrských sítí),
- změny demo-sociálních struktur ve všech aspektech,
- změny regionu jako celku včetně jeho funkcí,
- změny všech druhů potenciálů, přírodních, sociálních, ekonomických.

Pro prezentaci metodiky byla zvolena dvě odvětví [1], a to **těžba nerostných surovin (včetně koksárenství)** a **energetika** (viz dále kap. 6.2 a 6.3 a také kap. 7 a 8 [2]).

## 6.2 Těžba nerostných surovin a životní prostředí

**A/ Cílem řešení je dosáhnout snížení negativních vlivů těžby nerostných surovin na životní prostředí, zejména v oblasti [1, 2]:**

- 1) *zdravotního zatížení obyvatel regionů, kde probíhá těžební činnost,*
- 2) *množství škodlivých látek a vlivů, vznikajících při těžbě,*
- 3) *negativního působení výsypek na klimatické podmínky regionu,*
- 4) *záboru pozemků pro těžbu,*
- 5) *regionálně-ekonomické problematiky,*
- 6) *následného zmírnění důsledků těžby realizované v uplynulém období s cílem přispět k vytváření opětovné rovnováhy v krajině.*

**B/ Řešení problematiky bude zaměřeno do oblasti těžby černého a hnědého uhlí a dalších nerostných surovin.**

**C/ Z hlediska uvedených cílů je nutné se zaměřit na:**

- 1) *projektování těžby, včetně hlediska budoucího využívání území,*
- 2) *určení způsobu ukládání zeminy a hlušiny na výsypkách, tak aby se snížilo:*
  - ♦ *zdravotní a pracovní zatížení obyvatel regionu,*
  - ♦ *množství škodlivých látek a vlivů vznikajících při těžbě,*
  - ♦ *negativní působení výsypek na klimatické a hydrologické poměry,*
  - ♦ *zábor pozemků.*
- 3) *navržení realizace monitorovacích a kontrolních systémů založených na možnostech moderní výpočetní techniky pro:*
  - ♦ *řízení těžebního procesu v reálném čase z hlediska dopadu na životní prostředí,*
  - ♦ *vyhodnocení dlouhodobého působení těžby na životní prostředí,*
  - ♦ *přijímání rozhodnutí eliminujících nepříznivé vlivy vyvolané těžbou.*
- 4) *příprava metodických materiálů a směrnic pro následné a urychlené odstraňování důsledků těžby v uplynulém období.*

## 6.3 Energetika a životní prostředí

**A/ Působení energetických závodů na jednotlivé složky životního prostředí [2]:**

1. *ovzduší:*
  - prach,
  - SO<sub>2</sub>,
  - NO<sub>x</sub>,
  - C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>,
  - emise fluóru a chlóru,
  - emise těžkých kovů.
2. *vodní hospodářství závodů:*
  - odpadní vody závodů (charakteristika, složení, množství),
  - procesy čištění odpadních vod.

### 3. vliv provozu na půdní fond:

- mokré skladování popílku,
- suché skladování popílku,
- stabilizace popílku,
- rekultivace.

### 4. hlučnost provozu závodů

### 5. vliv provozu závodů na produkci jiných odvětví

## B/ Opatření ke zmírnění následků provozu stávajícího energetického hospodářství na životní prostředí [2]:

### 1. zachycování tuhých emisí (odprašování)

### 2. zachycování plyných emisí:

#### a) odsiřování:

- spalin,
- uhlí.

#### b) denitrifikace spalin:

- primární opatření,
- sekundární opatření.

#### c) snižování emisí skleníkových plynů (CO<sub>2</sub>):

- zvyšování tepelné účinnosti energetických zařízení,
- jímání CO<sub>2</sub> a jeho další zpracování.

### 3. zákonné nástroje pro životní prostředí

### 4. investice do životního prostředí

### 5. strategická opatření ke snížení negativního působení energetiky na životní prostředí:

- zásadní snížení energetické náročnosti v rámci hospodářství ČR,
- vyšší hospodárnost ve spotřebě všech druhů energie,
- změny struktury výroby energie směrem k ekologicky výhodnějším prvotním zdrojům.

Vlivy těžby nerostných surovin (včetně koksárenství) a energetiky na životní prostředí jsou dále podrobně popsány v kapitolách 7 a 8 [2].

## Literatura (kap. 6)

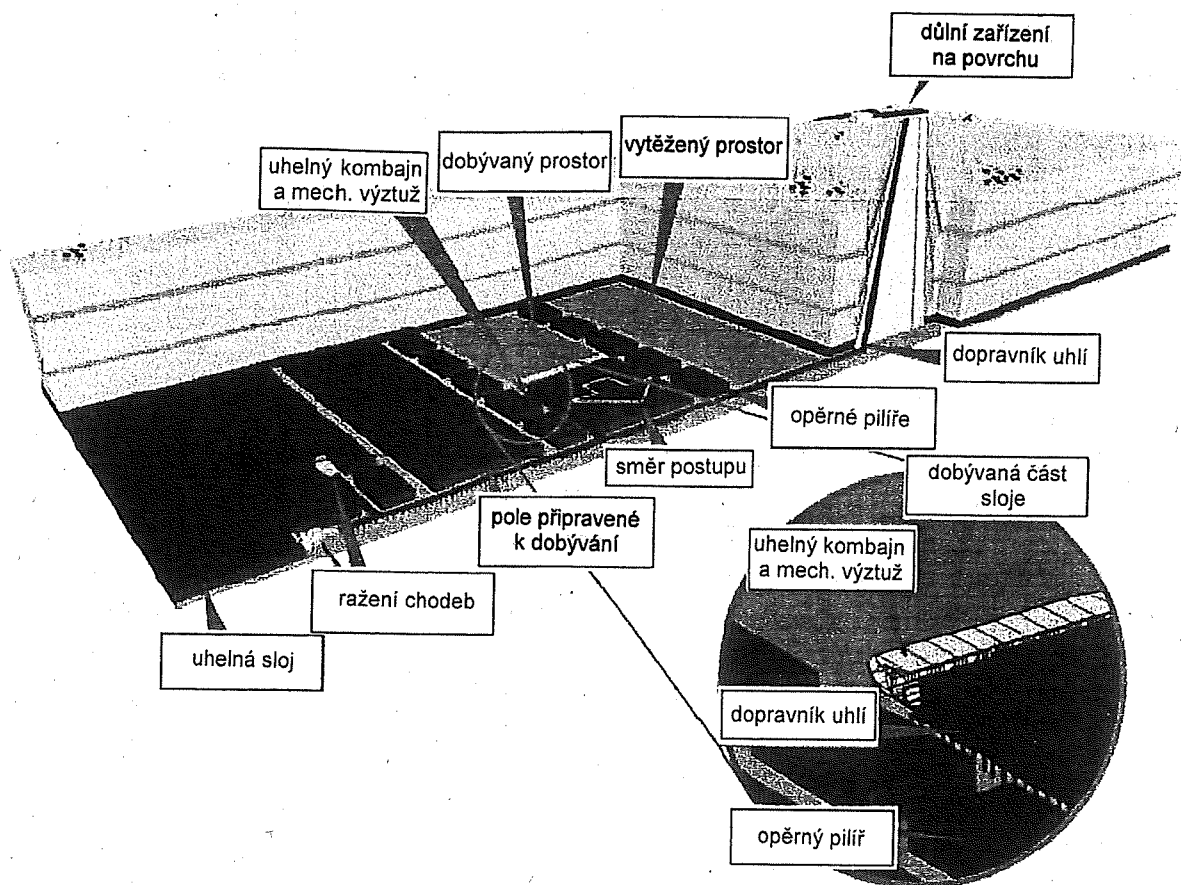
- [1] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1996. 128 s. ISBN 80-7078-316-8.
- [2] LAPČÍK, Vladimír. *Průmyslové technologie a jejich vliv na životní prostředí*. Monografie. Ostrava: VŠB-TU, 2009. 362 s. ISBN 978-80-248-2015-6.
- [3] HERČÍK, Miloslav, LAPČÍK, Vladimír, OBROUČKA, Karel. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1994. 243 s. ISBN 80-7078-255-2.
- [4] VORÁČEK, Vladimír et al. *Rukověť EIA*. Praha: AD VITAM, 1993.

## 7 Vliv těžby nerostných surovin a koksárenství na životní prostředí

Těžba nerostných surovin je prováděna v podstatě dvěma způsoby a to: metodami povrchovými a metodami hlubinnými. Ve zvláštních případech jsou např. uhelná ložiska využívána podzemním zplyňováním nebo loužením. V následující části této kapitoly bude pozornost zaměřena především na problematiku životního prostředí u hlubinného a povrchového dobývání [3].

### 7.1 Hlubinná těžba a její vliv na životní prostředí

Hlubinným způsobem jsou těžena zejména ložiska uhelná, rudná a různých nerudných surovin. Hlubinné dobývání uhelných ložisek je prováděno v závislosti na mocnosti, úklonu a technologických vlastnostech dobývané sloje komorováním, pilířováním a zátinkováním nebo stěnováním (viz obr. 7.1). Těžba je organizována buď na zával, nebo se základkou vyrubaných prostor.



Obr. 7.1 Dobývání uhelné sloje stěnováním [13]

V minulosti se uhlí dobývalo ručně. Do primitivních šachet přišla mechanizace až koncem 18. století [6]. Uhlenná stěna se podřezávala pilami a uhlí se vylamovalo ručně pneumatickými rubacími kladivy (sbíječkami). Poté se uhlí nakládalo do důlních vozíků,

kteří se nejprve svázely pomocí koní, později lokomotivami na náraziště, odkud se uhlí vyváželo v klecích pomocí těžního stroje. Pokles stropu se zabezpečoval dřevěnou, později ocelovou výstuží.

Po druhé světové válce se začaly používat uhelné pluhy (škrabáky), později uhelné kombajny, kde se využívalo rozpojování uhlí řetězy, ozubenými válci nebo šneky. Spojením dobývacího kombajnu s porubovým dopravníkem a krácející štítovou výstuží vznikly automatické dobývací komplexy.

Nešetrně realizovaná hornická činnost výrazně ovlivňuje abiotické a biotické složky krajiny. Poškozuje je a způsobuje posun a porušení ekologické rovnováhy a stability ekosystémů krajiny. Vznikají výrazné geobiochemické změny, které vedou na místech intenzivně ovlivněných těžbou ke zničení původních přírodních ekosystémů. Týká se to především zemědělského a lesního půdního fondu, kdy vznikem poklesových kotlin relativně stoupá hladina podzemní vody. Dále jde o zábor půdy pro uložení hlušiny z hlubinných dolů a úpraven a pro stavbu různých sedimentačních nádrží.

Vodní režim krajiny ovlivňují bezodtoké poklesové kotliny. Vodní toky mají v místech intenzivní těžby změněné spádové poměry a odtok vod je zpomalen. Do toků se vypouštějí odpadní vody z uhelných úpraven a sedimentačních nádrží a dále slané důlní vody.

Významná je i prašnost, vznikající při sypání odvalového materiálu a sekundární prašnost z povrchu odvalových těles.

Důlní činnost výrazně působí na stavby a komunikace. Poškozuje budovy, inženýrské sítě a další zařízení na povrchu. Lze registrovat i další vlivy, k nimž patří hlučnost prostředí, otřesy, vibrace apod.

Hlubinná těžba postihuje všechny složky krajinných ekosystémů, zejména však půdu, faunu a flóru. Vzniká tak porušená ekologická rovnováha u těchto i dalších krajinných systémů a podsystémů, která se projevuje ve změnách jejich struktura funkcí. Jednotlivé přírodní ekosystémy zanikají a na jejich místě vznikají ekosystémy umělé, které jsou důsledkem průmyslové činnosti v ovlivněné oblasti.

Regenerace krajiny postižené těžbou a ostatní doprovodnou průmyslovou činností je složitou záležitostí. Jde o to vypracovat takovou soustavu postupných úprav, které by zaručovaly vznik zcela nových struktur a funkcí území, a to v rámci stávajících subsystémů litosféry, pedosféry, hydrosféry a dalších. Smyslem těchto prací je tedy obnovit nebo vytvořit zemědělské pozemky a lesní kultury, nebo vodní plochy a ostatní složky krajiny tak, aby se krajina stala ekologicky vyváženým prostředím.

### 7.1.1 Vliv hlubinného dobývání na povrch

Objektivním a nezbytným důsledkem důlní činnosti (přípravy, otvírky, vlastní těžby) je následný pohyb nadložních vrstev nad vyrubanými prostory v podzemí. Tento pohyb, pokud v souvislosti s mocností a hloubkou vyrubaných slojí dosáhne až k povrchu území, vyvolá zde pohyb povrchových partií, tak zvané deformace povrchu [11].

Tyto deformace pak působí na veškeré objekty na povrchu (přírozené i umělé), přičemž toto působení je vesměs ve svých důsledcích negativní a vyvolává tzv. důlní škody. Důlní škody (včetně škod na životním prostředí) jsou tedy nezbytným působícím důsledkem hlubinného dobývání. Tyto důlní škody na povrchu proto není možné zcela vyloučit. Je však možné tyto negativní účinky dolování omezovat. Prakticky jsou možné dvě cesty. A to hlavně při vlastní těžbě uhlí (zakládáním vyrubaných slojí, ponecháním pilířů chránících určité části



povrchu, harmonickým dobýváním jednotlivých slojí, rychlostí, směrem a plynulostí postupu porubní fronty a dalšími opatřeními), nebo následně omezením negativních účinků dolování na vlastních objektech na povrchu neboli preventivními opatřeními nejrozumnějšího druhu.

Z uvedeného krátkého rozboru jednoznačně vyplývá, že rozhodující vliv na ochranu povrchu má způsob těžby. Z hlediska ochrany životního prostředí a ochrany povrchu dolu rozlišujeme způsob těžby „ex post“, to znamená s minimem preventivních a šetrných opatření v dole, bez ohledu na důsledky škod na krajině a objektech na povrchu. Opačným postupem je způsob těžby „ex ante“, kdy je povrch dolu preventivně šetřen způsobem a technologií těžby. Pro zmírnění následků vlivu poddolování je nejúčinnější využití základky. Nešetrný přístup může být uplatňován jen v těch případech, kde hodnota území je nízká, nebo devastace dostoupily do pokročilého stádia a uvažuje se přejít např. na vodo hospodářské rekultivace.

Vlastní proces těžby neovlivňuje výrazně jen vlivy poddolování na povrchu, ale nepřímo ovlivňuje celou řadu oblastí, týkající se ochrany životního prostředí, a to:

- množství produkovaných hlušin (optimální řešení otvirkových a přípravných důlních děl, technologie dobývání atd.),
- množství čerpaných důlních vod na povrch a jejich znečištění,
- kvalitu surové uhelné vsázky pro úpravny (degradace zrnitosti s nepříznivým dopadem na úpravárenský proces),
- znečištění ovzduší v okolí výdušných jam výdušnými větry a odfuky degazačního plynu, včetně hluku hlavních důlních ventilátorů.

### 7.1.2 Hlušinové hospodářství

Odpady z ražení důlních děl a úpraven uhlí nazýváme hlušinami. Hlušiny z úpraven uhlí mají zrnitý nebo tekutý charakter. Zrnité hlušiny vznikají při rozdrůžovacích procesech a to ve velmi širokém zrnitostním rozsahu (až do 200 mm) podle druhu použitého rozdrůžovacího zařízení. Tekuté hlušiny tvoří flotační hlušiny (0 ÷ 0,5 mm) jako produkt flotačního procesu.

Množství hlušin vzniklých při hlubinné těžbě a úpravě uhlí závisí na mnoha faktorech (genezi ložiska, hloubce ložiska, mocnosti slojí, způsobu dobývání a úpravě uhlí, výsledné popelnatosti uhlí atd.). Je tedy specifické pro každou uhelnou těžební oblast. Velmi důležitý je ukazatel měrného množství hlušin připadající na t vytěženého uhlí.

Z hlediska využívání hlušin, resp. jejich likvidace, rozdělujeme tuto problematiku na tři základní skupiny:

#### 1. Potřeba vlastního důlního podniku:

Ponechání v dole, příprava základkového materiálu, pro vlastní investice. Ukládání flotačních hlušin a odpadů (elektrárenských popílků) do dolů. V převážné části však na asanační a rekultivační účely, pro terénní korekce a územní rekonstrukce.

#### 2. Potřeba ostatních průmyslových odvětví:

Široká aplikace využití v inženýrských stavbách (násypy komunikací, vodní stavby, hrubé terénní úpravy, meliorace pozemků atd.). Do výroby stavebních materiálů a hmot (cihelny, cementárny, náhrada za štěrkopísky).

### 3. Uložení přebytečných hlušin na odvaly:

Podle funkce rozdělujeme odvaly na:

- provozní (nutné pro provoz dolu),
- účelové s následným využitím pro různé účely (sportovní, rekreační),
- sanační, meliorační,
- přebytkové, tzn. skutečné odvaly v dnešním smyslu slova, tedy z environmentálního hlediska nežádoucí.

Vznikem nových odvalů dochází k významným morfologickým změnám v blízkém i ve vzdálenějším okolí. Mění se klimatické poměry, odtokové poměry, kvalita podzemních vod, celkový vzhled krajiny. Každý odval, není-li vhodným způsobem druhotně upotřeben (využit), působí v daném prostoru nepříznivě opticky (velkou hmotou), způsobuje zábor půdy, ovlivňuje vodní režim a je obvykle zdrojem sekundární prašnosti.

Způsob ukládání hlušin a tvar odvalů může být kuželový, plošný nebo nepravidelný (tvarem začleněn esteticky do krajiny). Hlušiny na odvaly musí být ukládány takovým způsobem, aby nedošlo k jejich následnému vznícení a hoření (hutnění, využívání popílků atd.).

Exhalace i hořících odvalů, pokud dojde k požáru odvalu, obsahují  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ . Tyto exhalace působí nepříznivě na okolní faunu a flóru, snižují estetickou hodnotu, ale zejména obytnou funkci krajiny. Jejich hašení je vždy velmi obtížné a nákladné [12]. Z těchto důvodů se sypaní kuželových (kónických) odvalů, které jsou velmi náchylné k hoření, v současné době již neprovádí.

## 7.1.3 Důlní a odpadní vody

### 7.1.3.1 Důlní vody

Z hlediska ochrany životního prostředí patří využití a likvidace důlních vod k velmi závažným současným problémům v hornictví.

Obecně důlní vody dělíme podle složení na:

- kvartérní vody** (obvykle vzniká kvartérské okno). Obsah rozpuštěných látek (RL) se pohybuje v širokém rozmezí  $200 \div 400 \text{ mg/l}$ ,
- vody bez tvorby dynamických zásob:**
  - hlubinné (sodnokarbonátové), obsah RL se pohybuje okolo  $10 \text{ g/l}$ ,
  - z detritů (sodnochloridované), obsah RL se pohybuje okolo  $15 \div 20 \text{ g/l}$ , max. i  $200 \text{ g/l}$ , ale vždy jen menší množství.

Na povrch dolů se vyčerpává směs přírodních vod a provozní vody.

Podle legislativy a vodohospodářských normativů jsou za důlní vody považovány všechny podzemní, podpovrchové a srážkové vody, které vnikly do důlních prostorů, a to až do jejich spojení s jinými povrchovými, nebo podzemními vodami.

Množství čerpaných důlních vod na jednotlivých důlních lokalitách je závislé na celé řadě faktorů. V podmínkách OKR platilo a platí pravidlo, že na  $1 \text{ t}$  vytěženého uhlí připadá  $1 \text{ m}^3$  důlní vody.

V roce 1990 (před útlumem ostravské části revíru) dosahoval celkový objem důlních vod v OKR cca 15 mil. m<sup>3</sup> za rok. Jejich zpětné využití bylo nízké a dosahovalo cca 3 %. Důlní vody jsou vypouštěny do vodních toků (v konečné fázi do řeky Odry). V období kolem roku 1990 bylo ročně vypuštěno cca 200 000 tun RL, z toho cca 100 000 tun iontu Cl<sup>-</sup>. V přepočtu to činilo přibližně 150 000 t NaCl, tedy asi 400 t denně [5]. Průměrné množství RL v litru důlní vody se pohybuje v rozmezí 10 ÷ 12 g. V současnosti je z důlních závodů OKR vypouštěno do vodotečí mnohem méně důlních vod.

Důlní vody nejsou legislativně posuzovány jako vody odpadní. Nepodléhají tedy přímo vodnímu zákonu, ale zákonu hornímu. Nicméně jejich vypouštění musí být prováděno podle podmínek stanovených vodohospodářskými orgány. Důlní podniky za vypouštění důlních vod do recipientů neplatí poplatky.

Likvidace přebytečných důlních vod může probíhat následujícími způsoby:

- vypouštěním do vodních toků (neřízené vypouštění),
- dávkovaným vypouštěním do vodních toků (řízené vypouštění),
- odsolováním vod fyzikálně-chemickými způsoby (elektrodialýza, reverzní osmóza, odpařování, vymrazování),
- vypouštěním do vytěžených prostor dolů (vrty, vsakováním) - odvedením do moře (v případě OKR do Baltu).

Důlní vody v OKR jsou převážně likvidovány vodohospodářsky řízeným dávkováním do povrchových toků (Odra, Olše) [3]. Významný prvek systému důlních vod OKD představuje dávkovací nádrž Heřmanice. Odtok důlních vod je řízen tak, aby byly dodrženy látkové koncentrace v hraničním profilu řeky Odry v Bohumíně, stanovené česko-polskou dohodou. Povolený celoroční saturační průměr je 10 290 g RL/s.

Současné moderní metody odsolování důlních vod, ať jde o reverzní osmózu, elektrodialýzu či vlastní odparky, jsou natolik investičně i provozně náročné, že se zatím reálně neuvažovalo s jejich praktickou aplikací v OKR. Navíc vzhledem k poměrně nízké salinitě vod OKR, by bylo nutné před vlastní odparku předřadit jednu z uvedených fyzikálně-chemických metod pro zvýšení koncentrace RL. Ekonomická limitní hodnota RL v důlní vodě pro odparku se pohybuje na hranici 70 g/l.

### 7.1.3.2 Odpadní vody z úpraven

Uhlí je těženo v neupraveném stavu. Pro potřeby koksoven by mělo obsahovat max. 10 % nespalitelných látek (popela) a max. 10 % vody. V nových moderních úpravkách se uhlí upravuje prakticky výlučně ve vodním prostředí. Vedle zrnitých podílů vzniká i surový uhelný kal (vodní suspence nejjemnějších frakcí 0,5 mm). Ten se upravuje převážně flotací a získá se produkt - flotační koncentrát (s obsahem popela 10, někdy až 15 %), který se obvykle využívá v koksárenství. Z úpraven uhlí jsou pak vypouštěny odpadní vody obsahující odpadní uhelný kal - flotační (flotační hlušiny), energeticky nevyužitelný s obsahem popela 60 ÷ 75 %. Tyto odpadní vody lze čistit strojně-technologickým způsobem - kalolisováním (bezodpadové kalové oběhy úpraven uhlí), nebo je čistit v odkalištích.

V podmínkách OKR jsou odpadní vody z úpraven čistěny převážně v odkalištích. Odkaliště jsou vysoce bezpečným, velmi účinným a ekonomicky výhodným způsobem čištění odpadních vod. Z ekologického hlediska však zcela porušují rovnováhu krajinných ekosystémů, narušují estetický vzhled krajiny. Dochází k dlouhodobým záborům půdy,

nepříznivé ovlivňují režim podzemních vod a způsobují hygienicky závadné podmínky (znečišťování ovzduší, půdy a prášení v širokém okolí).

V důsledku zvyšujícího se podílu nejjemnějších částic v těžném uhlí (mechanizace těžby) a nedostatečné kapacity úpraven, bylo do odkališť OKR vypuštěno značné množství neflotovaných (surových) kalů. Současná odkaliště v OKR zabírají celkovou plochu přes 800 ha, objem odkališť dosahuje 40 mil. m<sup>3</sup> a je v nich uloženo cca 25 mil. t uhelných kalů, z nichž asi třetina je energeticky využitelná.

Ekologické řešení následků, tedy v našem případě využití značně velkého množství uhelných kalů a rekultivace nebo jiné využití prostor odkališť, je v zásadě možné provést následujícími způsoby:

- energetické využití ve větších spalovnách, vybavených potřebným odlučovacím zařízením a následnou ekologicky přijatelnou likvidací odpadů spalování (např. uložení popílku do vytěžených prostor v dolech jako základku spolu s flotačními hlušinami),
- reflowce uhelných katů s využitím uhelné substance v koksárenství a energetice a následnou ekologicky přijatelnou likvidací odpadů, tzn. hlušin a flotačních hlušin,
- jejich využití při výrobě stavebních hmot (výroba cihel, cementu apod.),
- jejich postupné vytěžování a spalování v lokálních topeništích.

První dva uvedené způsoby jsou ekologicky přijatelné za předpokladu bezproblémového využití vzniklých odpadů. V případě energetického využití se jedná o vznikající popel, resp. popílek, v případě reflowce pak využití a přijatelný způsob likvidace velmi jemných podílů reflowce - flotačních hlušin.

Za bezproblémové (po ekologické stránce) lze považovat jejich další využití ve výrobě stavebních hmot (pokud nejsou zdrojem záření).

Po ekologické stránce je poslední způsob využití uhelných kalů zcela nepřijatelný. Jejich spalování v rodinných domech a jiných objektech v obcích a na okrajích měst vznikají v zimních měsících v období inverzních situací v členitém terénu předbeskydí nedýchatelně smogové situace.

#### 7.1.4 Znečišťování ovzduší

Znečišťování ovzduší vlastními důlními podniky je způsobeno jejich teplárnami a je dáno potřebou výroby tepla na ohřev vtažných větrů, otápení prostor dolů, koupání horníků atd.

Co do významu jsou emise způsobené teplárnami báňského průmyslu poměrně malé (5 ÷ 7 % produkovaných emisí v rámci ostravsko-karvinské aglomerace), na druhé straně nepříznivě působí tím, že jsou rozptýleny na velké ploše. Jedná se zejména o emise TZL, SO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>.

Pro snižování množství emisí by měla být obecně uplatňována následující opatření:

- centralizace zdrojů tepla (napojování kotlen na systém centrálního zásobování teplem),
- využívání při spalování ušlechtilých paliv (zemního plynu atd.) vlastního plynu z degazace,

- realizace kotlen s fluidním spalovacím režimem pro méněhodnotná paliva s možností snížení emisí,
- ukládání hlušin takovým způsobem, aby následně nedocházelo k hoření hlušinových těles.

Za pozornost stojí si všimnout i emisí ZL vznikajících při odvětrávání důlních provozů ve výdušných větrech. Přestože obsahují jen nepatrné množství  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$ , vzhledem k velkým objemům výdušných větrů, je jejich množství nezanedbatelné. Z hlediska životního prostředí však kvalitu ovzduší podstatně neovlivňují ani v nejbližším okolí dolu. Nicméně zvyšují v ovzduší obsah znečišťujících látek, které nepříznivě ovlivňují skleníkový efekt.

## 7.1.5 Rekultivace

Pod pojmem rekultivace půdy zahrnujeme obnovu území zničeného činností:

- přírody (erozí, vysycháním, zabahněním atd.),
- zásahy člověka (těžbou, výsypkami atd.).

K devastaci území dochází při povrchovém i hlubinném způsobu těžby. Rekultivační proces porušeného krajinného systému zahrnuje celou řadu prací:

- důlnětechnických (průzkum nadložních hornin, volba způsobu dobývání, odklíz nadložních hornin atd.),
- technických (terénní úpravy, navážky vhodných zemin, meliorace atd.),
- biotechnických (agrotechnické, lesnické práce atd.).

Rekultivovaná krajina by měla splňovat následující základní vlastnosti (dle Štýse):

- ekologickou vyváženost,
- efektivní i potenciální produkční schopnost,
- zdravotně hygienickou nezávadnost,
- estetickou působivost a rekreační účinnost.

1. Ekologické vyváženosti, charakterizované relativní stabilitou ekosystémů, lze dosáhnout hlavně úměrným zastoupením producentů, konzumentů a reducentů v krajině. Hlavní důraz je třeba klást na dostatečné zastoupení producentů, z nichž ekologicky nejúčinnější jsou lesy, a na vyrovnaný vodní režim.
2. Ekonomické efektivnosti rekultivované krajiny lze dosáhnout především dostatečným zastoupením vysoce produkčních forem zemědělské rekultivace (za předpokladu vytvoření vhodných podmínek v etapě důlně-technické rekultivace). Ekonomicky efektivní jsou i produkční formy lesů, vodohospodářské způsoby rekultivace (funkce vody v ekosystémech, pitná a užitková voda) a různé způsoby abiotického využití devastovaných území (jako surovinového zdroje, staveniště, složiště průmyslových a komunálních odpadků apod.).
3. Zdravotně-hygienické nezávadnosti lze v rekultivované krajině dosáhnout:
  - vhodným reliéfem, důležitým pro tvorbu žádoucích mezoklimatických, mikroklimatických a hlavně bioklimatických poměrů,

- kvalitou rekultivovaných půd, která ovlivňuje asanační funkce fyzikálně-chemických a biochemických procesů,
  - dostatečným zastoupením rekultivační zeleně s mnohostrannou asanační a hygienicky zdravotní funkcí,
  - vyrovnanými vodními poměry, jejichž extrémní situace jsou nežádoucí nejen z ekologických, ekonomických, ale i ze zdravotně-hygienických hledisek.
4. Estetické působivosti dosáhneme především vhodným reliéfem, úměrným zastoupením všech základních způsobů rekultivace, řešením jejich kompoziční proporcionality v prostoru rekultivované krajiny. Esteticky se uplatňují hlavně různé formy rekultivační zeleně, vodní plochy a toky, zvláště v okrajových úsecích jednotlivých ekosystémů. Vysoké estetické účinnosti lze dosáhnout vhodnou koncepcí rekreačních způsobů rekultivace, hlavně parků a parkových lesů v integraci s účelným řešením vodohospodářských způsobů rekultivace.

Stanovení ekologicky a sociálně - ekonomických optimálních způsobů rekultivace je velmi složitý, mnohotvárný a neopakovatelný proces, který musí vycházet z komplexního integrovaného posouzení a zhodnocení všech charakteristik devastovaného území i širší oblasti.

Podle využití devastovaných území rozdělujeme způsoby rekultivace na rekultivaci:

#### **1. zemědělskou:**

- agrotechnickou (role, louky, pastviny, zahrady),
- pomologickou (sady, vinice, chmelnice).

#### **2. lesnickou:**

- lesy produkční (tradiční porosty, rychlerostoucí dřeviny),
- lesy účelové (půdoochranné, stabilizační, rekreační).

#### **3. vodohospodářskou:**

- vody stojaté (akumulační nádrže, rybníky),
- vody tekoucí (nové vodní toky).

#### **4. rekreační:**

- parky (areály zdraví),
- lovecké prostory (bažantnice, obory),
- sportovní prostory (hřiště, závodiště).

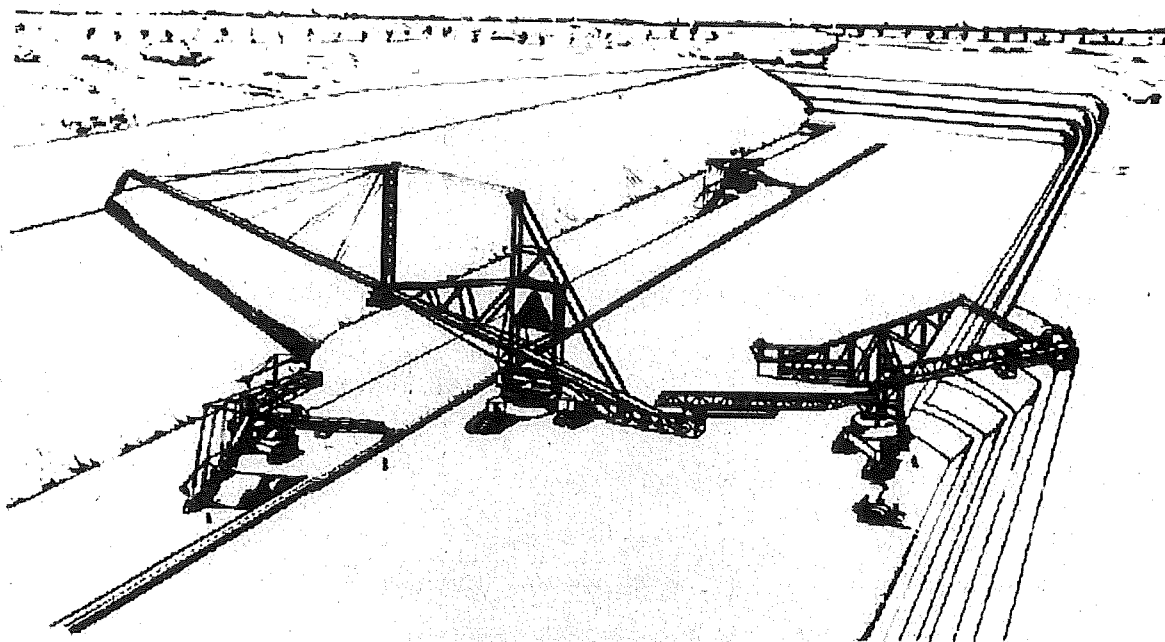
#### **5. jiné využití:**

- staveniště (obytná, průmyslová výstavba),
- složiště odpadů (komunálních, průmyslových),
- k dalším sociálně - ekonomickým účelům.

## 7.2 Povrchová těžba a její vliv na životní prostředí

Pro povrchový způsob dobývání jsou rozhodující zejména: geneze ložiska, jeho poloha, tvar a mocnost, množství zásob užitkového nerostu atd. Rozhodujícím ukazatelem je však mezní hloubka dobývání, která z technologického (ale zejména z ekonomického) hlediska rozhoduje, zda je výhodnější ložisko těžit povrchové nebo hlubinně.

Povrchové způsoby těžby (obr. 7.2) mají proti hlubinným metodám řadu výhod a to: vysoká výrubnost ložiska, vyšší produktivita, lepší možnost selektivní těžby, větší bezpečnost a hygiena práce, lepší pracovní podmínky.



Obr. 7.2 Povrchová těžba uhlí (kolesové a korečkové rýpadlo, pásová doprava uhlí) [6]

Mezi nevýhody povrchového způsobu těžby patří vysoký stupeň technogenní transformace těžebního území, který se projevuje výraznou změnou nejen prostoru vlastního lomu a výsypek, ale i změnami v celém okolním prostoru. Jsou to změny:

- **litosféry**, kdy je měněn reliéf území, nadmořská výška, charakter horninového prostředí,
- **atmosféry**, kdy dochází ke změnám klimatických veličin a k ovlivňování kvality vzduchu,
- **hydrosféry**, kdy dochází k výrazné, obvykle negativní transformaci hydrologického režimu,
- **pedosféry**, kdy dochází k degradaci půdy (vysoušením, zamokřením, kontaminací vodou nebo vzduchem) a destrukci půdy záborem vlastním lomem a vnější výsypkou,
- **biosféry**, kdy dochází k degradaci až úplné destrukci neživých a živých složek ekologických systémů (fytocenózy, zoocenózy, mikrobiální cenózy).

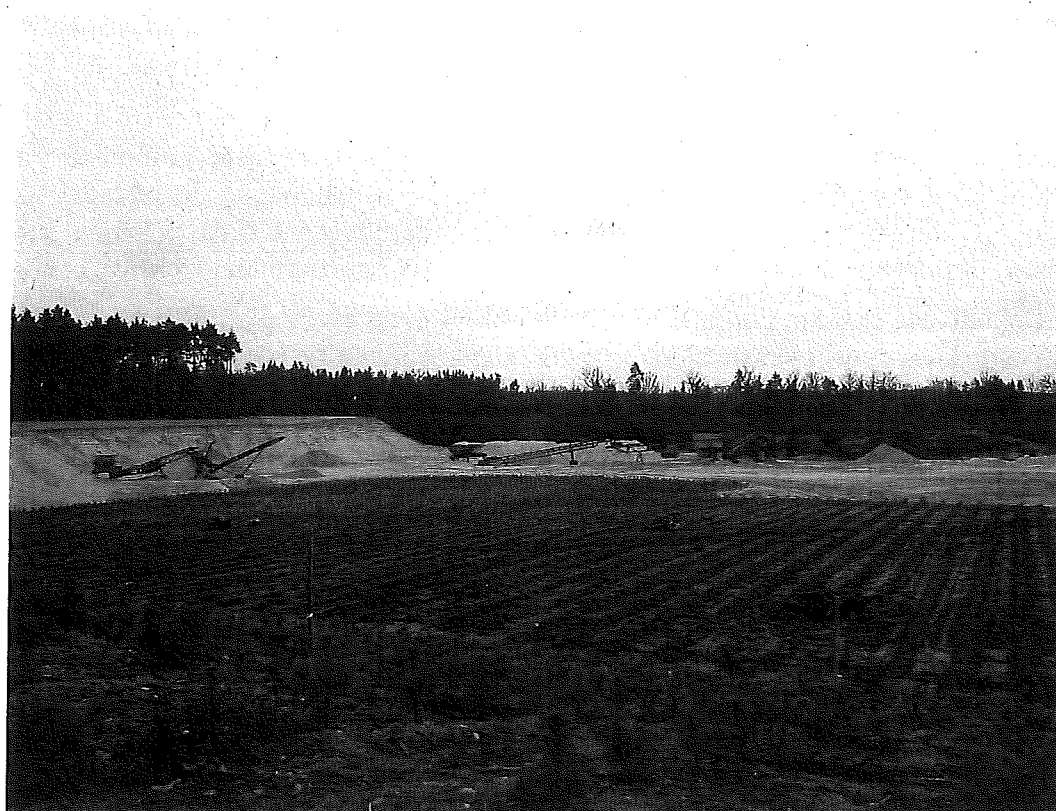
Vlivy těžby na krajinu postihují nejen přírodní ale i sociálně ekonomické složky.

Těžba likviduje na celém území i sociálně ekonomické složky krajiny: sídla, průmyslové objekty, technickou infrastrukturu krajiny, objekty zemědělských, lesnických, vodohospodářských a rekreačních činností.

Následné obnovení ekologicky a společensky žádoucích funkcí postižené části krajiny povrchovou těžbou je velmi složitý a ekonomicky náročný proces.

Záměry z oblasti **povrchové těžební činnosti**, u kterých jsou v současné době v České republice posuzovány vlivy na životní prostředí, lze rozdělit na dvě skupiny [2, 4]:

První skupinu představují menší záměry těžby písků (obr. 7.3) a kamene [5], druhá skupina je reprezentována velkými záměry. Jedná se většinou o rozšíření těžby hnědého uhlí u povrchového lomu [8].



**Obr. 7.3** Pohled na technologické zařízení těžebny písku v dobývacím prostoru Novosedly nad Nežárkou. V popředí je vidět již zrekultivované plochy [7]

Obecně je cílem navrhovaných opatření v rámci procesu posuzování vlivů na životní prostředí dosažení snížení negativních vlivů těžby nerostných surovin na životní prostředí.

Při posuzování vlivů záměrů z oblasti povrchové těžební činnosti na životní prostředí je nutno sledovat zejména následující faktory:

1. zábor půdy,
2. vlivy na povrchové a podzemní vody a na půdu,
3. hluk,
4. vlivy na krajinný ráz,
5. emisně – imisní situace.



### 7.2.1 Zábor půdy

Při těžbě písků o ročním objemu kolem 30 000 m<sup>3</sup> je nutno při střední životnosti ložiska 20 let počítat s dlouhodobým dočasným zábořem půdy v rozsahu cca 60 000 m<sup>2</sup>, tedy cca 6 ha. U velkých záměrů těžby hnědého uhlí jde o dlouhodobý dočasný zábor půdy v rozsahu i stovek hektarů [2, 4].

Vzhledem k tomu, že těžba písků je navrhována po celém území republiky včetně velmi úrodných oblastí, bývá mnohdy u těchto záměrů vystavena dočasněmu zábořu zemědělská půda I. a II. třídy ochrany ZPF. U velkých záměrů těžby hnědého uhlí jde většinou o nižší třídy ochrany ZPF.

Svrchní kulturní vrstvu půdy je nutno skrýt na celé dotčené ploše, odděleně ukládat na vhodném pozemku a využít pro účely rekultivace (většinou se tak děje u menších záměrů - těžba písků a kamene), nebo použít podle požadavků orgánu ochrany zemědělského půdního fondu. Náležitosti plánu rekultivace jsou uvedeny ve vyhlášce č. 13/1994 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Při těžbě písků o mocnost většinou do 20 m vzniknou dočasné prohlubně v reliéfu, které je nutno po ukončení záměru vyplnit rekultivačním materiálem do původní nivelety. U rozsáhlých záměrů těžby hnědého uhlí je dnes rekultivace řešena většinou lesnickou rekultivací, případně vodo hospodářskou rekultivací (vytvoření vodních ploch).

Rekultivace důlního díla a jeho přímého okolí musí být realizována dle plánu sanace a rekultivace, který musí být schválen orgánem ochrany životního prostředí.

### 7.2.2 Vlivy na povrchové a podzemní vody a na půdu

Při těžbě písků nebývá většinou zastižena hladina podzemní vody. Záměrem nebývají ohroženy kvalitativně ani kvantitativně vodní zdroje využívané pro veřejné či individuální zásobování obyvatelstva vodou. Jakost podzemních a povrchových vod v blízkém okolí se vlivem provádění těžby písků tedy většinou nebude měnit. Při těžbě uhlí povrchovým způsobem bývá často zastižena hladina podzemní vody. V důsledku těžby uhlí dochází ke zvýšení obsahu minerálních látek (zvláště se jedná o siřičkové minerály) v podzemní vodě. Důlní vody z povrchové těžby uhlí jsou charakteristické nízkou hodnotou pH faktoru, vysokou tvrdostí, vysokými obsahy iontů železa, vysokou koncentrací rozpuštěných a suspendovaných látek a mimořádně nízkými obsahy organických látek. Tyto vody je nutno čistit.

Dešťové vody z nezpevněných ploch zasakují do terénu. Těžebním zásahem je vždy urychlena infiltrace srážek k hladině podzemní vody. Zpevněné plochy pro přečerpávání pohonných hmot z cisterny do těžebních mechanismů musí být vybudovány jako nepropustné, v případě čerpání paliva do nádrží mechanismů v jámě lomu musí být místo plnění podloženo záchytnou vanou se sorpční rohoží.

Poněkud jiné problémy s důlními vodami jsou u povrchové těžby hnědého uhlí na severu Čech. Za příčinu znečištění těchto důlních vod RL (především sírany) je jednoznačně označována přítomnost síry v uhlí a v nadložních materiálech. Působením vzduchu, vody a za přítomnosti bakterií (chemoautotrofních mikroorganismů) nastává oxidace disulfidicky vázané síry (pyrit, markazit) na sírany a snižuje se pH na 2 ÷ 4,5. Kyselé důlní vody je nutno před jejich vypuštěním do toků upravovat (neutralizovat, odstranit železo a těžké kovy, snížit obsah síranů).

Při těžbě uhlí v povrchovém lomu vznikají i další průmyslové odpadní vody. Jedná se o odpadní vody z čistírny zaolejovaných vod (např. z mytí lokomotiv), z čistírny mourových

vod (z odkališť, resp. z provozů drtíren uhlí) a z čistírny kolové a pásové techniky (většinou se jedná o recirkulační čistírny). Při těžbě písků tyto vody většinou nevznikají.

Při těžbě písků nemusí vznikat žádné splaškové odpadní vody. Pro potřeby jednoho až dvou pracovníků těžebny písku a pro řidiče zákaznických nákladních vozidel je možno instalovat mobilní chemickou toaletu. U velkých záměrů těžby hnědého uhlí je vzhledem k velkému počtu zaměstnanců nutno řešit problematiku splaškových odpadních vod odpovídajícím způsobem (čistírna odpadních vod).

Vlastní těžební technologický proces nezpůsobuje znečištění půdy ve větší intenzitě. V úvahu zde připadá pouze lokální znečištění půd v případě havarijního úniku ropných látek z těžebních a dopravních systémů. Odtěžení uhelné sloje, resp. písku a ostatních hornin (nadložních i meziložních) z prostoru důlního díla však vyvolá nevratné změny v horninovém prostředí.

### 7.2.3 Hluk

Vliv hluku lze posuzovat ze dvou hledisek – jednak jako hluk dopravní (pojezd vozidel po komunikacích zájmového území mimo dobývací prostor), jednak jako hluk technologie provozu (hluk šířící se z dobývacího prostoru).

U menších záměrů těžby písků dominuje hluk z dopravní obsluhy, hluk technologický bývá malý (v provozu jsou jedno až dvě rýpadla ponořená v lomové jámě). U velkých záměrů těžby hnědého uhlí je situace opačná – hluk z dopravní obsluhy neovlivňuje výrazněji okolní komunikace (navíc je většinou pro odvoz uhlí využíváno železniční dopravy), výrazný je však hluk technologický, šířící se z dobývacího prostoru. Tomuto hluku lze v obou případech čelit realizací ochranných valů (viz dále obr. 7.4), případně ochranných lesních pásů.

### 7.2.4 Vlivy na krajinný ráz

Pojem krajinný ráz zavedl do praxe již před lety zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů. Krajinný ráz je v něm definován jako přírodní, kulturní a historická charakteristika určitého místa či oblasti. Krajinný ráz je chráněn před činnostmi snižující jeho estetickou a přírodní hodnotu. Zásahy do krajinného rázu, zejména umísťování a povolování staveb, mohou být prováděny pouze s ohledem na zachování významných krajinných prvků, zvláště chráněných území, kulturních dominant krajiny, harmonického měřítka a vztahů v krajině. Jako nejzávažnější se v rámci hodnocení krajinného rázu ukazuje zachování vztahů v krajině. Tyto jsou reprezentovány především průchodností krajiny pro různé organismy.

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že povrchové důlní záměry jsou zpravidla rušivým prvkem v krajině, což má v podstatě negativní vliv na životní prostředí. U menších záměrů těžby písků lze po ukončení těžby dosáhnout následnou lesnickou či zemědělskou rekultivací nápravy do původního stavu. Složitější je situace u zbytkových jam velkých povrchových uhelných lomů, kde je rekultivace většinou otázkou mnoha let po ukončení těžby. Mnohdy je doporučována mimo lesnickou a zemědělskou rekultivaci (viz výše kap. 7.1.5) jako optimální varianta vodohospodářská rekultivace velké části zbytkové jámy. Napouštění jezera však může trvat mnohdy i několik let (např. 4 až 6) a je plně závislé na vydatnosti nejbližší vhodné vodoteče.

### 7.2.5 Emisně – imisní situace

Pro posouzení imisní zátěže zájmového území je nutno zpracovat rozptylovou studii,

která vyhodnocuje většinou dopad tuhých znečišťujících látek, oxidu siřičitého, oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a benzenu na okolí posuzovaného záměru.

U obou typů zde hodnocených záměrů je nutno provádět skrápění provozních komunikací a zemin na výsypkách a dodržovat časový plán rekultivací, aby postupně se zvyšující podíl zeleně snižoval negativní vliv lomu na okolí, a to zejména riziko znečištění ovzduší polétavým prachem. Průběžně je nutno sledovat a zabezpečit funkční stav zeleně u ochranných valů.

V případě těžby uhlí je nutno občasným měřením ověřovat hromadění plyných škodlivin na dně lomu za různých meteorologických situací a posoudit možnost transportu zvýšených imisí do okolí lomu. Dále je nutno dodržovat technologický postup pro eliminaci a likvidaci zápar a ohňů.



**Obr. 7.4** Ochranné zemní valy u obce Černovice (severní Čechy) [8]

Bohužel veřejnost v České republice vnímá záměry z oblasti povrchové těžební činnosti v drtivé většině případů jako potenciálně problematické. Je to dáno historickou zkušeností, kdy v minulých desetiletích vznikaly např. kamenolomy, které po dlouhá léta obtěžovaly obyvatele okolních obcí a to jak hlukem technologickým, tak hlukem a emisemi z dopravy vytěžených surovin. Nyní je mnohdy velmi těžké veřejnost přesvědčit, že existují technologicky vyspělá těžební zařízení, která spolu s odpovídající logistikou dopravy zaručují těžební činnost bez výrazného zvýšení hluku a plyných emisí v dané oblasti.

Vzhledem k výše zmíněnému vztahu veřejnosti k těžebními záměry, je proces posuzování vlivů na životní prostředí (dle zákona č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů) u těchto zařízení zdoluhavý a problematický. Ve většině případů je nutno počítat s celým procesem posuzování (zpracování oznámení, zjišťovací řízení, zpracování dokumentace, zpracování posudku, veřejné projednání), i když zákon hypoteticky umožňuje podrobit některé těžební záměry pouze zjišťovacímu řízení (po předání oznámení) a tedy

ukončit proces posuzování v tzv. zkráceném řízení.

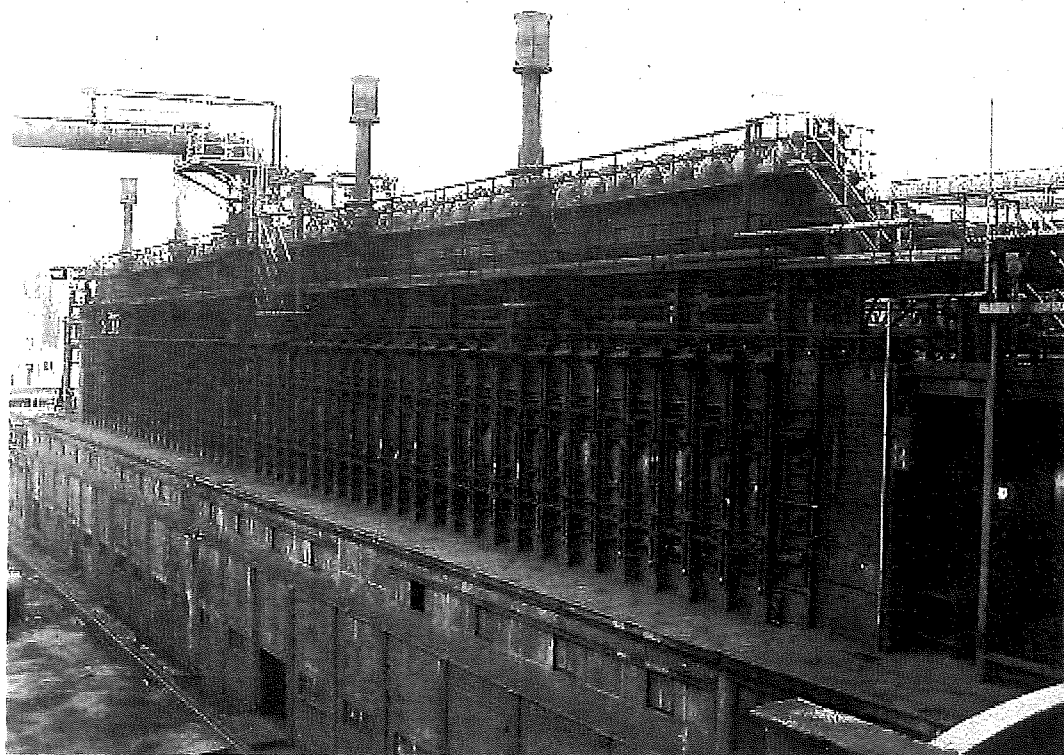
Přes všechny výše uvedené zkušenosti je nicméně nutno podotknout, že v drtivé většině případů vede uplatnění opatření, navržených v rámci procesu posuzování vlivů na životní prostředí, k dosažení snížení negativních vlivů povrchové těžby nerostných surovin na životní prostředí.

## 7.3 Koksárenství

Koksárenská technologie, spočívající ve vysokotepelné karbonizaci černého uhlí, vznikajícími škodlivinami a odpadními vodami výrazně ovlivňuje životní prostředí ve svém okolí [3].

### 7.3.1 Koksárenská technologie

Výroba na koksovnách je členěna na čtyři technologické celky: **uhelnou službu** (příprava uhelné vsázky), **koksárenské baterie** (KB, obr. 7.5), **koksovou službu** (třídění koksu) a **chemické provozy**.



**Obr. 7.5** Pohled na koksárenskou baterii (KB) s padesáti koksovacími komorami [14]

Samotná technologie výroby koksu probíhá v následujících krocích - příprava uhelné vsázky, obsazování koksárenských baterií, koksování, vytlačování, hašení a třídění koksu.

#### **Příprava uhelné vsázky**

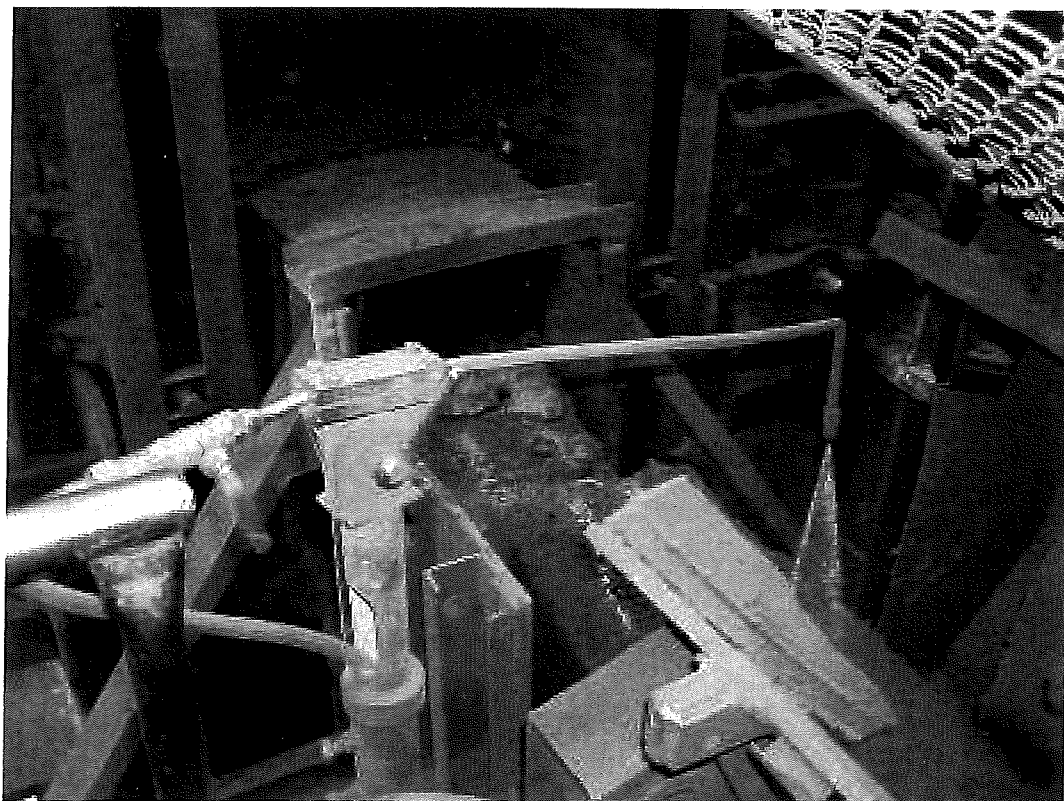
Slouží k mletí, dávkování a míchání jednotlivých typů uhlí a vytvoření optimální směsi určené ke koksování. Zahrnuje následující technologická zařízení a dílčí operace:

- skládku uhlí,
- uskladňování uhlí v hloubkovém a v druhových zásobnících,
- vynášecí a dávkovací zařízení v přípravě vsázky,
- mletí uhlí v mlýnici,
- uhelné věže,
- pásovou dopravu.

Prané černé uhlí je přiváženo z dolů obvykle v železničních vozech a skládáno do hloubkového zásobníku. Odtěžování uhlí z hloubkového zásobníku se provádí vyhrabávacím zařízením a pak je pásovou dopravou dopravováno do jednotlivých druhových zásobníků v objektu uhelné služby. Uhlí určené pro koksování se mele v kladivových mlýnech na požadovanou zrnitost. Směs mletého uhlí pro koksování je dopravována pásovými dopravníky do uhelné věže.

### Obsazování koksárenských baterií

Koksárenské baterie jsou obsazovány výslednou uhelnou vsázkou pro koksování, která se odebírá z uhelných věží do zásobníku vytlačných a pěchovacích strojů (VPS), kde se zvýší její měrná hmotnost pěchováním do uhelného bloku ve tvaru hranolu. VPS jsou vybaveny pěchovacím zařízením, umožňující obsazování koksovacích komor uhelným hranolem bez čelního štítu.



**Obr. 7.6** Obsazování koksovací komory [14]

Operace obsazování koksovacích komor (viz obr. 7.6) se provádí na KB následovně: Zákryt uhelného bloku na VPS se přistaví na otevřenou vytlačnou koksovací komoru a blok je obsazovací deskou horizontálně zasouván do komory. Při obsazování je horní základna bloku vlhčena a výška upravena seřezáním sklopným zarovnávacím nožem za účelem

upravení rozměru uhelného bloku a zajištění průchodnosti podklenbového prostoru v koksovací komoře při koksování.

Obsazování se provádí s přistaveným zákrytem uhelného bloku a zásadně se zavřenými dveřmi na koksové straně, uzavřené stoupačce s napojenou předlohovou skříní na předlohu, přičemž je v činnosti současně hydroinjektáž obsazované a hydroinjektáž další komory. Jako rezervní je instalována parní injektáž.

Operace obsazení koksovací komory se provádí po nutných čistících pracích neprodleně po operaci vytlačení koksu z této komory. Před uzavřením prázdné komory dveřmi a před jejím obsazením jsou obsluhou vyčištěny dveře a dosedací plochy rámu koksovací komory. Rámy stropních otvorů jsou zbaveny nánosů grafitu a odtahová cesta plynu vedoucí stoupačkou, kolenovou a předlohovou skříní do předlohy musí být mechanicky (tzv. ježkem) a manuálně čistícími nástroji dostatečně uvolněna.

### Koksování

Operace koksování probíhá následně po operaci obsazování. Karbonizace vsázky probíhá bez přístupu vzduchu po celou koksovací dobu v koksovací komoře, která je neprodyšně uzavřena vůči okolnímu prostředí. Po obsazení komory uhelnou vsázkou je za účelem zamezení úniku karbonizačního surového koksárenského plynu prováděno strojní seřízení dosedacích ploch dveří koksovacích komor. Dále je prováděno dotěšňování těsnicí inertní hmotou jak poškozených dveří, tak dalších technologických uzávěrů koksovací komory na stropě KB, na kterých se projeví vizuální netěsnosti.

Dotěšňování se také neprodleně provádí během koksování, kdy dochází k dalším viditelným únikům surového plynu nad povolenou mez.

Odvádění karbonizačního plynu z koksovacích komor při technologické operaci koksování se provádí stoupačkou do kolenové a předlohové skříně, předlohy, dále odsávacím a společným sacím potrubím do chemických procesů mimo KB. Každá koksovací komora je jednotlivě vybavena stoupačkou zaústěnou do stropu koksovací komory na strojní straně. Stoupačka je napojena na kolenovou skřín s tryskou na fenolpavkovou (f-č) vodu k chlazení plynu. Kolenová skřín je dále napojena na předlohovou skřín s vodním pohyblivým uzávěrem a ta ústí do předlohy. Předloha slouží pro odvedení a homogenizaci surového plynu z koksovacích komor jednotlivých KB. Je vybavena čistícími otvory, vyhrabávačem dehtových usazenin (smola) a hermetizovaným vodním uzávěrem. Cirkulující chladicí f-č voda je přepouštěna do hermetizované nádrže hrubé kondenzace v chemickém provozu.

Přetlak surového plynu v předloze při normálním provozu je udržován na stanoveném parametru, hodnoty jsou kontinuálně zaznamenávány na cejchovaný záznam ve velínu obsluhy topení KB. Nižší tlak v předloze, než je stanovený, může být nařízen pouze pro nutné plynové práce s uvedením důvodu, hodnoty a doby trvání. Předloha je ve směru toku plynu dále napojena na odsávací potrubí, kde jsou instalovány dvě regulační klapky a vodní uzávěr. První klapka je regulována automaticky a udržuje nastavený tlak v předloze. Druhá, ručně ovladatelná, slouží k celkové regulaci přetlaku v jednotlivých větvích odsávacího potrubí koksárenských baterií. Za touto regulací je sací potrubí, ve kterém je provozem turboodsavačů udržován podtlak plynu.

Během operace koksování provozovatel zařízení vizuálně sleduje dosaženou úroveň těsnosti dveří.

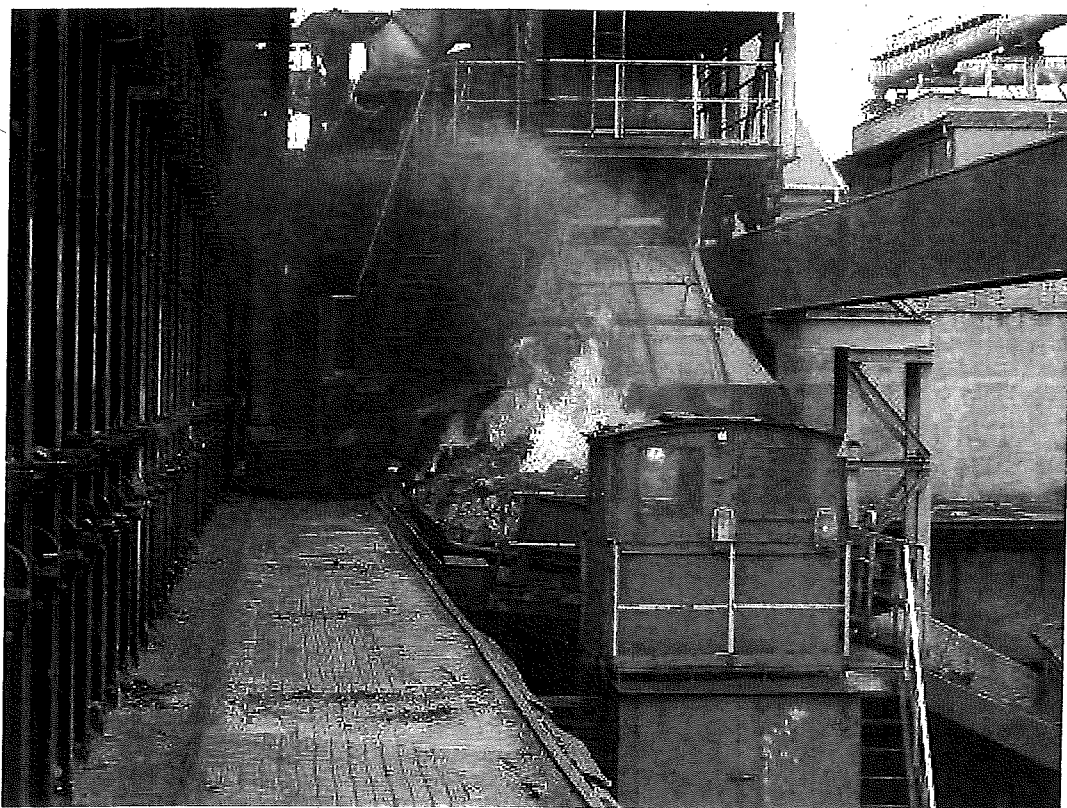


### Vytlačování koksu

Odplynění koksu nastává před samotným vytlačením koksu z koksovací komory a dochází k němu také po jeho vytlačení a přepravě v hasicím voze k hašení. Podmínkou pro zahájení odplynění koksu s následným vytlačením je hodnocení dosažené kvality předchozí operace koksování. Ta se posuzuje vedle hodnocení uplynutí koksovací doby (trvání operace koksování) také vizuálně podle vlastností zapáleného unikajícího plynu z otevřené stoupačky. Obsluha proto provede odpojení komory od předlohy uzavřením vodního uzávěru předlokové skříně a bezprostředně nato otevře stoupačku. Dlouhý (svítivý) plamen znamená nedokončené koksování, tj. nedostatečnou karbonizaci uhelné vsázky a proto obsluha opět stoupačku ihned uzavře, komoru připojí na předlohu otevřením vodního uzávěru předlokové skříně a pokračuje se v koksování. Krátký (nesvítivý) plamen charakterizuje ukončení operace koksování a následuje odplynění. Současně se při něm provádí čištění stoupačky příslušným zařízením (tzv. ježek), přičemž koks je v komoře.

Vytlačování koksu z komor se provádí ve stejných sériích a pořadí, které byly stanoveny pro operaci obsazování. Pro odprašení, tj. zachycení tuhých znečišťujících látek z operace vytlačování koksu z každé koksárenské baterie slouží odsávací sekce z krytu hasicího vozu, převáděcí vozík, odprašovací předloha, propojovací potrubí a stacionární odprašovací stanice.

Vzdušina znečištěná tuhými a plynnými látkami je přivedena propojovacím potrubím s uzavíracími klapkami s dálkovým ovládním příslušné odsávací cesty do stacionární stanice. Vzdušina je vedena nejprve do odlučovače tuhých látek s vestaveným hmotovým výměníkem tepla, který je prvním stupněm odlučování, dále do filtru s pulsační regenerací, který je druhým stupněm odlučování, dále přes ventilátory do komína s tlumičem hluku.



Obr. 7.7 Pohled na hasicí vůz [14]

### Hašení koksu

Žhavý koks, vytlačovaný do hasicího vozu (obr. 7.7), je jeho pojezdem ukládán tak, aby byl na voze rovnoměrně rozložen po celé délce. Dobu hašení lze upravit podle provozních podmínek za účelem dosažení úplného zhašení šarže.

Hasicí věž je tvořena konfuzorní a difuzorní částí komína obdélníkového průřezu, který je vybaven vestavbou v ústí komína s nastavitelnými eliminátory. K hašení se používá cirkulující hasicí voda ze sedimentačních jímek hašení a k doplnění úbytku objemu se přidává užitková voda (většinou čerpaná přímo z řeky). Do jedné ze sedimentačních jímek bývá svedena kalová voda z odprášení z hrubé (HTK) a jemné třídičky koksu (JTK).

Dochlazování koksu se provádí na koksových rampách u jednotlivých KB před samotným tříděním v třídících koksu. Vodou uhašený a odkapaný, ale ještě horký koks se vyklopí z hasicího vozu na koksovou rampu, která slouží k jeho dochlazení. Sklon rampy a šířka je konstrukčně volena tak, aby vrstva vysypaného koksu měla rovnoměrnou mocnost. Plocha rampy je vyložena litinovými deskami nebo keramickými dlaždicemi. Na pracovním ochozu rampy je zařízení pro ruční dohašování žhavých hnízd koksu a rampové uzávěry, při jejichž otevření se koks z rampy sesouvá na dopravní pás, který jej dopravuje na hrubou třídičku.

### Třídění koksu

Třídění koksu umístěné v hrubé třídičce koksu slouží k roztřídění celkového koksu zrnitosti  $0 \div 250$  mm většinou na čtyřech třídících rostech. Nadroštová frakce je sortimentem, který se expeduje. Podroštová frakce se dopravuje pásovými dopravníky do jemné třídičky koksu. K dosažení žádaného poměru sortimentu koksu slouží obvykle dva válcové drtiče. Odprášení technologických zařízení je provedeno většinou mokkými hladinovými odlučovači.

## 7.3.2 Vliv koksárenství na životní prostředí

Environmentální problematiku koksoven je možno rozdělit do následujících oblastí:

- ochrana čistoty ovzduší (snižování emisí),
- ochrana čistoty vod (čištění odpadních vod),
- odpady.

### 7.3.2.1 Emise

Stanovení množství emisí koksoven je velmi problematické, protože se jedná nejen o velmi širokou škálu znečišťujících látek, ale také o mnoho zdrojů rozptýlených na velké ploše. Dnes jsou prakticky všechny unikající škodliviny identifikovány, problém spočívá v jejich kvantitativním stanovení a po technické stránce o jejich úplné vyloučení.

Aby bylo množství emisí vzájemně srovnatelné, vyjadřujeme množství unikajících emisí ve vztahu na jednotku výroby tzv. emisním faktorem. V případě koksoven nejčastěji tento faktor vztahujeme na 1 t vyrobeného koksu suchého (cks).

Emisní faktor koksoven (v kg na 1 t cks) se pohybuje na koksovnách ve velmi širokém rozmezí (od 2,0 do 7,0). Emisní faktor okolo 2,0 dosahují nejmodernější koksovny (vybavené účinnými odlučovacími zařízeními), horní hranice pak staré koksovny bez těchto zařízení a moderních technologií.

Emise koksoven dělíme na *tuhé* a *plynné*. Mezi TZL řadíme uhelný a koksový prach.



Mezi plynné emise pak  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$ , vznikající při otápění koksárenských baterií (KB), a emise vznikající při karbonizaci uhlí a zpracování chemických produktů a to: páry dehtu, benzolu, naftalenu, fenolu, pyridinu, kyanovodíku, amoniaku atd. Tyto ZL jsou z hlediska ochrany ŽP velmi nebezpečné a většinou mají toxický charakter. Množství emisí vznikajících při otopu tvoří velkou část emisí, neboť koksova potřeby pro svůj provoz značné množství tepelné energie (cca 50 % vlastního vyrobeného plynu). U hutních koksoven je využíván méněhodnotný vysokopecní plyn, který prakticky neobsahuje sloučeniny síry. Emise  $\text{SO}_2$  jsou tedy závislé na obsahu siřných sloučenin v otopovém plynu. Emise  $\text{NO}_x$  závisí na mnoha činitelích: typu KB, druhu plynu, teplotě topných kanálků, přebytku vzduchu. U koksárenského plynu se pohybují v rozmezí  $300 \div 500 \text{ mg/m}_n^3$  spalin, u směsného plynu  $150 \div 300 \text{ mg/m}_n^3$  spalin.

V souladu s platnou legislativou (nařízení vlády č. 615/2006 Sb., příloha č. 1, část II, bod 1.2) jsou v současnosti na koksovnách sledovány tuhé znečišťující látky (TZL),  $\text{NO}_2$  a PAH (u těchto látek jsou dány pro jednotlivé fáze výroby koksu emisní limity). Dále legislativa uvádí podmínky pro omezení emisí VOC,  $\text{H}_2\text{S}$  a koksárenského plynu do ovzduší. V tabulce 7.1 je uveden celkový přehled znečišťujících látek, včetně míst jejich výskytu u jednotlivých technologických operací při výrobě koksu [3].

**Tab. 7.1** Emise škodlivin na koksovnách a místa jejich vzniku

|                                                                               | OT | OB | VY | NE | HA | US | KS | RO | CH |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1. CO                                                                         | X  | x  | x  | x  | x  |    |    |    |    |
| 2. $\text{H}_2\text{S}$                                                       |    | x  |    | x  | x  |    |    |    | x  |
| 3. $\text{NH}_3$                                                              |    | x  |    | x  | x  |    |    |    | x  |
| 4. HCN                                                                        |    | x  |    | x  |    |    |    |    | x  |
| 5. pyridin*                                                                   |    | x  |    | x  |    |    |    |    | x  |
| 6. fenol*                                                                     |    | x  |    | x  |    |    |    |    | x  |
| 7. benzen*                                                                    |    | x  |    | x  |    |    |    |    | x  |
| 8. toluen*                                                                    |    | x  |    | x  |    |    |    |    | x  |
| 9. xyten <sub>o,m,p</sub> * (1)                                               |    | x  |    | x  |    |    |    |    | x  |
| 10. naftalén a metylieriváty*                                                 |    | x  |    | x  |    |    |    |    | x  |
| 11. benzo(a)pyren*                                                            |    | x  |    | x  |    |    |    |    |    |
| 12. Bifenyly                                                                  |    | x  |    | x  |    |    |    |    |    |
| 13. uhlov. alifatické (2)<br>(alkany, -eny, -iny)                             |    | x  | x  | x  |    |    |    |    |    |
| 14. uhlovodíky aromatické<br>ostatní (polyaromatické<br>a heterocyklické) (3) |    | x  | x  | x  |    |    |    |    |    |
| 15. Prach                                                                     | x  | x  | x  |    | x  | x  | x  |    |    |
| 16. $\text{SO}_2$                                                             | x  | x  |    |    |    |    |    | x  | x  |
| 17. $\text{NO}_x$                                                             | x  | x  |    |    |    |    |    | x  | x  |

|                              |                                                                     |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Legenda:</b>              |                                                                     |
| (1) je zařazen i ethylbenzen | NE netěsnosti - technologická operace koksování uhlí                |
| (2) není zařazen metan       | HA hašení koksu                                                     |
| (3) mimo látky označená*     | US uhelná služba - příprava uhelné vsázky                           |
| OT otop                      | KS koksová služba - třídění koksu                                   |
| OB obsazování KB             | RO rozmrazovna                                                      |
| VY vytlačování koksu z KB    | CH chemie - emise z provozů zpracování surového koksárenského plynu |

Z environmentálního hlediska je zvláště nebezpečná skupina ZL organického původu. Většina z nich má toxický charakter a některé z nich patří mezi prokázané karcinogeny, jako benzo(a)pyren. Z tohoto důvodu je koksovnám připisováno, že jsou hlavním zdrojem těchto nebezpečných emisí. Z posledních sledování u nás (ale i ve světě) se však prokazuje, že koksovny se na znečišťování emisemi PAH (PAU) podílí asi z jedné třetiny, převážnou část tvoří automobilová doprava a zejména spalování méněhodnotných paliv v malých lokálních topeništích ve městech a obcích.

Snižování celkového množství emisí koksoven technickým řešením je možné docílit dvěma způsoby:

- a) Realizací nejmodernějších technologií vybavených účinným zařízením na snižování emisí (nové typy KB, odsíření koksárenského plynu, jednobodové hasicí vozy, dvojokruhové chlazení vod v chemické části koksovny a v budoucnosti pravděpodobně přechodem na velkoobjemové koksárenské reaktory, event. zastřešení celé KB atd.).
- b) Dodatečnou instalací odlučovacích zařízení a technologií na místa s největšími emisemi na stávajících koksovnách. To se týká zejména prашných zdrojů (zařízení při obsazování a vytlačování komor, využití moderních těsných dveří KB, modernizace hasicích věží atd.).

### 7.3.2.2 Odpadní vody

Odpadní vody v koksovnách vznikají zejména při vlastním karbonizačním procesu, v průběhu chlazení a čištění surového koksárenského plynu, při hašení koksu. Odpadní vody z koksoven rozdělujeme na závadné a nezávadné. Mezi závadné patří fenol-čpavkové vody (f-č vody).

Množství vzniklé f-č vody je poměrně veliké a pohybuje se v dosti širokém rozmezí ( $0,12 \div 0,18 \text{ m}^3$  na 1 t vlhké uhelné vsázky). Toto množství je především závislé na obsahu vody v uhelné vsázce a na řadě dalších provozních podmínek. Surová f-č voda vedle jednomocných fenolů obsahuje volný a vázaný čpavek, dehet, kyanidy, sulfokyanidy, sirné sloučeniny a celou řadu dalších anorganických a organických látek.

Její čištění vzhledem k vysokému obsahu fenolů ( $1,2 \div 2,0 \text{ g/l}$ ) a amoniaku ( $1 \div 3 \text{ g/l}$ ) je velmi obtížné, technicky náročné a ekonomicky nákladné.

Odfenolování odpadních f-č vod se na našich koksovnách provádí výhradně extrakcí benzolem (způsobem Pott - Hilgenstock). Tento způsob nepatří mezi moderní způsoby a způsobuje velké potíže při zpracování výsledného produktu - fenolátu sodného.

K čištění odpadních vod obsahujících fenoly je vypracována celá řada metod. Všeobecně můžeme tyto metody rozdělit do dvou základních skupin, na metody exploatační (se získáváním fenolů) a na metody likvidační.

**Skupina exploatačních metod:**

- **extrakční** metody, založené na rozdílné rozpustnosti fenolů mezi vodou a různými organickými rozpouštědly (benzol, butylacetát, diizopropyléter, fenolsolvan, trikresylfosfát atd.),
- **destilační** metody, jsou založeny na rozdílné těkavosti par vody a fenolů,
- **adsorpční** metody, jsou založeny na adsorpci fenolů na aktivních látkách s následnou regenerací.

### Skupina likvidačních metod:

- **adsorpční** metody bez regenerace aktivních látek, obvykle po adsorpci spalitelných látek (uhelné prachy atd.),
- **biologické** metody, jsou v současné době nejvíce rozšířeny a patří mezi nejprogresivnější. V principu probíhá odbourávání fenolů za přítomnosti mikroorganismů a při splnění podmínek umožňujících jejich život a rozvoj (kyslík, teplota, živiny, určitá koncentrace fenolů apod.).

Odstraňování **amoniaku** (amonných iontů) z f-č vod následuje po jejich odfenolování. Z hlediska čištění vod se jedná o jejich odstraňování, z hlediska koksovny o jejich získávání (síran amonný jako hnojivo). Amonné ionty volně vázané (jako uhličitany, sírníky apod.) jsou uvolňovány přímou parou. Po alkalizaci silnější zásadou (vápenné mléko, hydroxid sodný) se rozkládají a uvolňují pevně vázané amonné ionty, vázané na anionty silných kyselin (síran, chloridy apod.).

Odstraňování vysokého obsahu amonných iontů z f-č vod před jejich vypouštěním do recipientů je z hlediska ochrany ŽP velmi důležité. Zvýšený přísun sloučenin dusíku do přírodních vod je nežádoucí z následujících důvodů. Amoniakální dusík má velkou spotřebu kyslíku na biochemickou oxidaci ( $4,57 \text{ g na } 1 \text{ g NH}_4^+$ ). Značně se podílí na eutrofizaci povrchových vod a konečně větší koncentrace dusičnanů v pitné vodě je nežádoucí a nebezpečná pro děti kojeneckého věku (methemoglobinaemie). Biologické odstraňování amoniakálního dusíku spočívá v jeho biochemické oxidaci na dusitany a dusičnany (nitrifikace) a jejich redukci na plynný dusík nebo na  $\text{N}_2\text{O}$  (denitrifikace). Odbourávání amoniakálního dusíku ve vodách v přírodním prostředí je tedy velmi složitým procesem s vážnými následky na stav životního prostředí.

Odfenolované a vyvařené f-č vody obsahují ještě zbytkové znečištění fenolů a není je ještě možné vypouštět do veřejných recipientů a musí být dočišťovány. Vody, které obsahují jen malé množství fenolů, působí nejen toxicky, ale způsobují další nepříjemnosti. Při obsahu  $1 \text{ mg/l}$  páchne maso ryb, při chlorování na pitnou vodu (již při obsahu  $0,1 \text{ mg/l}$ ) vznikají chlórphenoly, které páchnou a dávají vodě odpornou chuť.

Dočišťování se v našich podmínkách provádí následujícími způsoby:

- společné čištění se splaškovými vodami,
- čištění na odvalech báňských hlušín,
- čištění na uhelných kalech.

Dočišťování f-č vod s městskými splašky je jednoduchý a účinný způsob biologické likvidace fenolů. F-č vody před společným čištěním musí vyhovovat určitým podmínkám. Nesmí obsahovat dehtovité látky, jejich teplota nemá překročit  $40^\circ\text{C}$  atd. Koncentrace jednomocných fenolů je dána poměrem ředění a technologií ČOV (obvykle  $100 \div 150 \text{ mg/l}$ ). Někdy jsou tímto způsobem čištěny f-č vody neodfenolované, tedy s vysokým obsahem fenolů.

### 7.3.2.3 Odpady

Koksovny v oblasti vzniku odpadů nepatří mezi problémové podniky. Ve větším množství vznikají pouze odpady záruvzdorného zdiva (šamot, dinas) při opravách koksárenských komor při generálních opravách KB. Šamotový odpad je z části opět využíván při výrobě nových šamotových výrobků. V koksovnách vzniká i nebezpečný odpad

jako dehtovité usazeniny, kyselé dehty atd. Jejich množství není veliké a obvykle jsou tyto odpady recyklovány, přidávány do uhelné vsázky na koksování.

## Literatura (kap. 7)

- [1] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1996. 128 s. ISBN 80-7078-316-8.
- [2] LAPČÍK, Vladimír. Posuzování vlivů povrchové důlní činnosti na životní prostředí. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - TU Ostrava* (recenzovaný vědecký časopis), monografie 15 (Netradiční metody využití ložisek), rok 2005, ročník LI, řada hornicko-geologická, s. 415 - 418. ISBN 80-0920-6, ISSN 0474-8476.
- [3] HERČÍK, Miloslav, LAPČÍK, Vladimír, OBROUČKA, Karel. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1994. 243 s.
- [4] LAPČÍK, Vladimír, BUJOK, Petr. Analysis of Environmental Effects of Intentions within Domain of Surface Mining Activity. In *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr 1690*, Seria: Górnictwo, zeszyt 267. Gliwice, Politechnika Śląska 2005, s. 165-172.
- [5] LAPČÍK, Vladimír. Dokumentace ve smyslu přílohy č. 4 k zákonu č. 100/2001 Sb. na záměr „*Těžba písků Žeravice - Lapač*“. Ostrava, červenec 2004. 70 s., 26 příloh, fotodokumentace (8).
- [6] RYBÁŘ, Radim, KUDELAS, Dušan. *Tradičné zdroje energie I*. Košice: Edičné stre-disko a redakcia AMS, Fakulta BERG Technickej univerzity v Košiciach, 2007. 122 s. ISBN 978-80-8073-799-3.
- [7] LAPČÍK, Vladimír. Posudek k dokumentaci o hodnocení vlivů na životní prostředí ve smyslu přílohy č. 5 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, na záměr „*Hornická činnost v dobývacím prostoru Stráž nad Nežárkou*“. Vypracováno na vyžádání Krajského úřadu Jihočeského kraje. Ostrava, březen 2008. 43 s., fotodokumentace (10), přílohy (2).
- [8] LAPČÍK, Vladimír. Posudek k dokumentaci o hodnocení vlivů na životní prostředí ve smyslu přílohy č. 5 k zákonu č. 100/2001 Sb. na záměr „*Lom Libouš II – sever (Kooperace pro POPD na období 2006 - 2015)*“. Vypracováno na vyžádání Ministerstva životního prostředí v Praze. Ostrava, květen 2005. 81 s., fotodokument. (6), přílohy (9).
- [9] <http://www.env.cz/osv/edice.nsf>
- [10] <http://gis.osu.cz/atlas/zdroje.html>
- [11] LAPČÍK, Vladimír. Posudek k dokumentaci o hodnocení vlivů na životní prostředí „*Zásah do krajiny v katastru Karviná - Staré Město způsobený hlubinnou těžbou uhlí sloje 10a Dolem ČSA pod touto krajinou*“. Vypracováno na vyžádání Okresního úřadu v Karvině v souladu se zákonem č. 244/92 Sb. Ostrava, 1995. 45 s.
- [12] LAPČÍK, Vladimír. Posudek k dokumentaci o hodnocení vlivů na životní prostředí „*Sanace a rekultivace hořícího odvalu Dolu Kateřina v Radvaních v Čechách*“. Zpracováno na vyžádání Ministerstva životního prostředí ČR v souladu se zákonem č. 244/1992 Sb. Ostrava, srpen 1997. 57 s., přílohy, fotodokumentace.
- [13] *The Coal Resource – A Comprehensive Overview of Coal*. Richmond upon Thames: World Coal Institute, 2006.

- 
- [14] MOKRÝ, Jan. *Životní cyklus koksů*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB-TUO, 2009. 48 s., 4 přílohy.
- [15] <http://vyrobazeleza.wz.cz/>
- [16] <http://www.ikaros.cz/node/4449>
- [17] [http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba\\_zeleza.html](http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html)
- [18] <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezo>
- [19] [http://mujweb.atlas.cz/www/ucikrus/ref-zelezo\\_a\\_jeho\\_vyroba.htm](http://mujweb.atlas.cz/www/ucikrus/ref-zelezo_a_jeho_vyroba.htm)

## 8 Vliv energetiky na životní prostředí

Energetika byla na našem území od 19. století založena na využívání uhlí. Pro energetické účely se využívalo zejména hnědé uhlí ze Sokolovské a Severočeské uhelné pánve, což se děje dodnes. Část vyrobené elektřiny pochází z černouhelných zdrojů (především závodní zdroje), dále z vodních a jaderných elektráren a v poslední době také z obnovitelných zdrojů energie (OZE). Od začátku 90. let minulého století se sice podíl tuhých paliv na spotřebovávaných zdrojích energie trvale snižoval, ale v mezinárodním srovnání byl nadále vysoký [1].

Spotřeba elektrické energie na počátku 90. let minulého století zaznamenala propad, od roku 1995 však (pouze s mírným propadem v letech 1997 – 1999) opět roste, přestože je využití elektřiny efektivnější.

Celkový instalovaný výkon elektráren v České republice činil k 31.12.2006 **17 508 MW<sub>e</sub>**, přičemž celková výroba elektřiny v roce 2006 u nás byla 84 361 mil. kWh [6]. V současné době téměř dvě třetiny elektřiny vyrobené v České republice pocházejí z tepelných elektráren spalujících fosilní paliva (65,2 %). Podíl elektřiny vyrobené v jaderných elektrárnách vzrostl v roce 2006 na 30,9 % [6]. Otevření evropského elektroenergetického trhu po roce 2000 umožnilo ČR ve větší míře vyvážet přebytky elektrické energie, a proto k poklesu výroby elektrické energie v uhelných elektrárnách nedochází.

Po roce 2000 došlo k nárůstu spotřeby elektrické energie. Důvodem je především růst české ekonomiky a výstavba nových průmyslových kapacit. V domácnostech roste poptávka po elektrické energii díky vyšší vybavenosti elektrickými spotřebiči (i když moderní elektrické spotřebiče mají lepší energetickou účinnost), rozšířenému využití elektrického vytápění, případně klimatizačních jednotek.

Podíl spotřeby zpracovatelského průmyslu na celkové spotřebě je stále vysoký a dosahuje přibližně 41 % [1]. Největší spotřebu elektrické energie vykazuje v rámci zpracovatelského průmyslu chemický a petrochemický průmysl, výroba kovů, včetně hutního zpracování a výroba nekovových minerálních výrobků.

S růstem vybavenosti domácností elektrickými spotřebiči a celkového komfortu je přirozeně spjat i růst spotřeby elektrické energie v domácnostech, která se v České republice od roku 2000 zvýšila o cca 10 %. Předchozí výrazný nárůst spotřeby elektrické energie v domácnostech do roku 1996 byl významně ovlivněn využíváním elektrických přímotopů k vytápění. V mezinárodním srovnání je spotřeba elektrické energie mírně pod evropským průměrem, dosahuje cca 1,44 MWh/obyvatele.

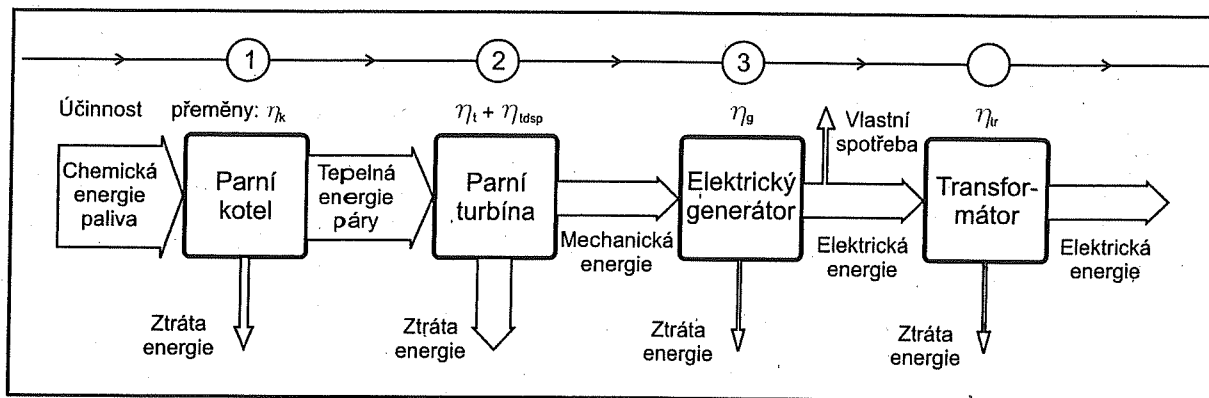
### 8.1 Tepelná energetika

#### 8.1.1 Přeměna energie v tepelné elektrárně

Cesta transformace primární energie paliva v elektrickou energii v kondenzační elektrárně je znázorněna na obr. 8.1 ve schématu technologického celku [2] vzniklého spojením základních energetických zařízení elektrárny. Z vyznačených dílčích ztrát energie na této cestě je patrné, že z chemické energie, přiváděné v palivu, se větší část v systému

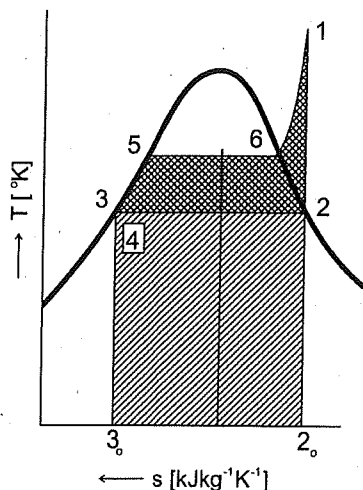
transformace ztrácí a jen menší část vstupuje na prahu elektrárny do dálkového vedení ve formě elektrického proudu o vysokém napětí.

Z obrázku 8.1 vyplývá, že základní technologické zařízení kondenzační elektrárny představují parní kotel, parní turbína a elektrický generátor. Parní kotel plní funkci zařízení, v němž se realizuje přeměna chemické energie paliva v tepelnou energii plamene a spalin i přenos této energie pracovní látky.



Obr. 8.1 Transformace energie v kondenzační elektrárně

Prívod tepla pracovní látky v ideálním kotli probíhá při konstantním tlaku, tedy v T-s diagramu Rankinova-Clausiova oběhu (obr. 8.2) podél izobary 3561. Průběh izobary, podél níž se v kondenzačním oběhu přivádí teplo, zejména poloha jejího koncového bodu (1) v oblasti přehřáté páry, ovlivňuje tepelnou účinnost oběhu, a tudíž celkovou tepelnou účinnost transformace chemické energie paliva v elektrickou energii v kondenzační elektrárně.

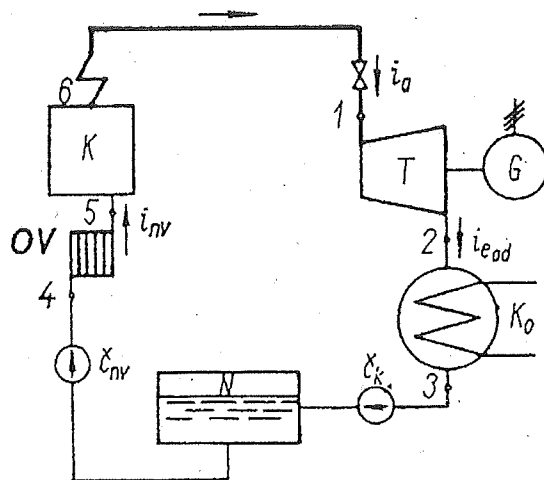


Obr. 8.2 T-s diagram Rankinova-Clausiova oběhu: 3561 – izobarický přívod tepla vodě a páře v parním kotli, 12 – izoentropická expanze páry v parní turbíně, 23 – izobarický odvod tepla páře v kondenzátoru (body 3 a 4 jsou totožné, protože bylo zanedbáno zvýšení entalpie vody v čerpadlech) [3].

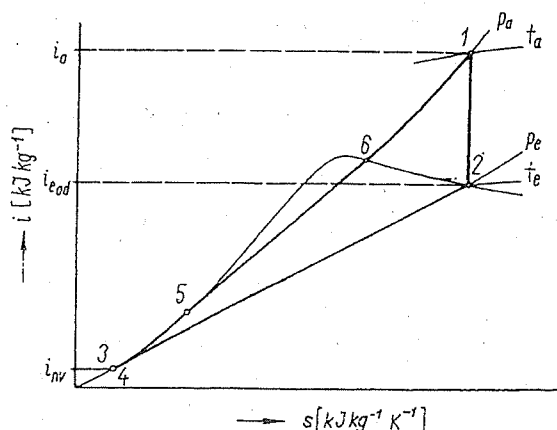
Tento oběh je izobaricko-izoentropický – teplo se přivádí podél izobary. Dle obr. 8.2

vzrůstá tepelná účinnost Rankinova-Clausiova oběhu se zvětšující se entalpií přehřáté páry ( $i_1$ ), která je určována tlakem a teplotou přehřáté páry na výstupu z kotle, tedy maximální teplotou, jíž pracovní látka v oběhu dosahuje.

Zjednodušené schéma kondenzační elektrárny je uvedeno na obrázku 8.3 [3]. Jedná se o uzavřený pracovní okruh strojů spojených potrubím. Na obrázku je naznačen elektrický generátor G, ze kterého se vodiči odebírá elektrická energie. Přehřátá pára z kotle K je vedena do turbíny T, kde pára expanduje na příslušný tlak v kondenzátoru  $K_0$ . Turbína pohání generátor G. Pára se v kondenzátoru sráží na kondenzát. Kondenzační teplo odvádí chladicí voda, která se většinou chladí v chladicích věžích. Kondenzát dopravujeme čerpadlem  $\check{C}_k$  do napájecí nádrže N a z ní napájecím čerpadlem  $\check{C}_{nv}$  přes ohřívač vody OV do kotle K.



**Obr. 8.3** Zjednodušené schéma kondenzační elektrárny: K – kotel, T – turbína, G – generátor,  $K_0$  – kondenzátor,  $\check{C}_k$  – čerpadlo kondenzátu, N – nádrž napájecí vody,  $\check{C}_{nv}$  – čerpadlo napájecí vody, OV – ohřívač vody.



**Obr. 8.4** I-s diagram Rankinova-Clausiova oběhu kondenzační elektrárny

Diagram  $i$ - $s$  Rankinova-Clausiova oběhu [3] kondenzační elektrárny je uveden na obrázku 8.4. Jednotlivé body v diagramu jsou označeny ve schématu na obrázku 8.3. Body 3 a 4 jsou totožné, protože bylo zanedbáno zvýšení entalpie vody v čerpadlech. Přeměnu



tepelné energie páry na mechanickou práci v Rankinově-Clausiově oběhu, ve kterém nejsou uvažovány ztráty, hodnotíme *termickou účinností*  $\eta_t$ :

$$\eta_t = \frac{\text{teplo přeměněné na práci}}{\text{teplo přivedené do kotle}} = \frac{\text{plocha } 123561^*}{\text{plocha } 12030561^*} = \frac{i_a - i_{e,ad}}{i_a - i_{nv}},$$

kde  $i_a$  - je entalpie vstupní (admisní) páry [kJ/kg],

$i_{e,ad}$  - je entalpie páry na výstupu z turbíny při izoentropické expanzi [kJ/kg],

$i_{nv}$  - je entalpie napájecí vody [kJ/kg],

\* - viz obr. 8.2.

## 8.1.2 Parní kotle

**Parní kotel** definujeme jako *zařízení pro výrobu tlakové páry*. K hlavním typům parních kotlů patří kotle elektrárenské a teplárenské, kotle průmyslové, kotle pro vytápění, kotle pro odpadní teplo a kotle pro dopravní účely, zejména kotle lodní a dříve i lokomotivní. *Horkovodní kotel* je řešen obdobně jako kotel pro dodávku syté páry s tím rozdílem, že celá teplosměnná plocha slouží jako ohřívák vody. Samostatnou skupinu představují výměníky tepla jaderných elektráren, které jsou *parními generátory (parogenerátory)*, umístěnými odděleně od jaderného reaktoru [2].

Kotle pro energetické a průmyslové závody mají výkon v rozsahu od několika tun do několika tisíc tun páry hodinu. U velmi velkých kotlů dosahují výkony přes 4 000 tun páry za hod. Parametry páry odpovídají účelu, k němuž je určena. Zatímco u průmyslových kotlů nejnižší tlaky páry bývají kolem 1 MPa a teploty páry kolem 200 °C, dodávají elektrárenské kotle páru o tlaku až 35 MPa a teplotě 600 °C.

U kotle rozlišujeme dvě hlavní části: *spalovací zařízení a parní generátor*.

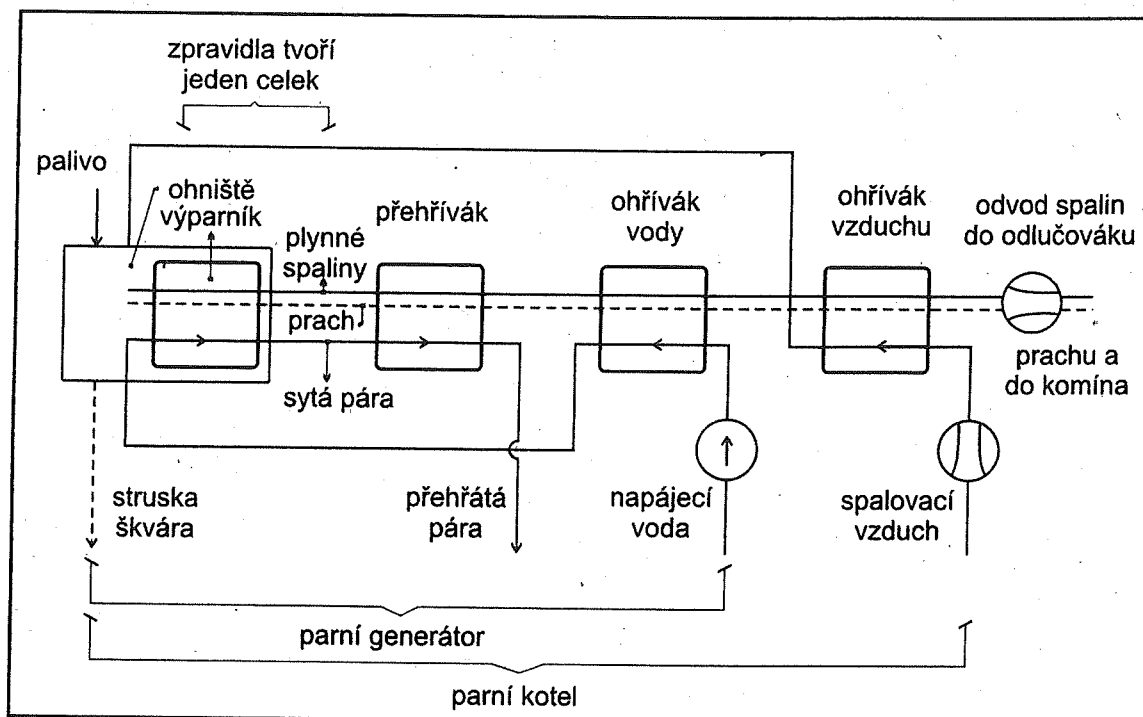
**Spalovací zařízení** se skládá z ohniště, které je určeno pro spalování paliva ve vrstvě nebo v prostoru, a z pomocného zařízení, k němuž patří zařízení pro přípravu paliva ke spalování, ohřívák vzduchu, ventilátory, zařízení k odstraňování tuhých produktů spalování apod.

**Ohniště** je část kotle, kde se spaluje palivo, tedy prostor, v němž se v plameni mění chemická energie paliva v tepelnou energii plamene a spalin.

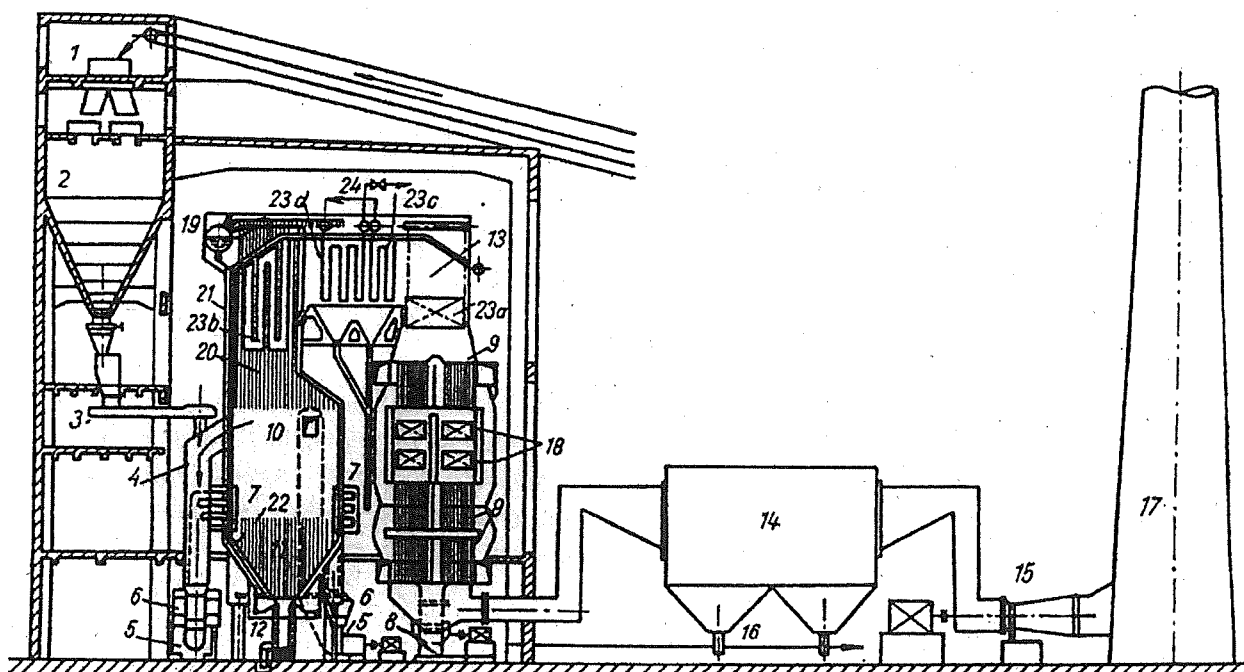
**Parní generátor** je tlaková část kotle, kde se z vody vyrábí pára. Skládá se z *ohříváku vody, výparníku a přehříváku páry*.

**Ohřívák vzduchu** je část spalovacího zařízení, v níž se spalovací vzduch ohřívá na teplotu, odpovídající požadavkům ohniště.

Schéma uspořádání hlavních částí kotle podle umístění v proudu spalin je na obrázku 8.5. V ohříváku vody se napájecí voda ohřívá na teplotu zpravidla blízkou bodu varu, ve výparníku se doohřeje na bod varu a vypařuje se, načež se vznikající mokrá pára po převedení do stavu sytosti vypařením zbytkové vlhkosti v přehříváku přehřívá na konečnou teplotu. Probíhá-li proces výroby páry při tlaku podkritickém, mění se ve výparníku fáze pracovní látky. V nadkritické oblasti ( $p > 22,1$  MPa) zůstává pracovní látka v parním generátoru v jedné fázi, i když se její fyzikální vlastnosti (hustota, měrné teplo, viskozita aj.) přívodem tepla značně mění.



Obr. 8.5 Uspořádání hlavních částí kotle podle umístění v proudu spalin



Obr. 8.6 Schéma bubnového kotle s přirozeným oběhem a granulačním ohništěm na hnědé uhlí:  
 1 - zauhlovací zařízení, 2 - zásobník surového uhlí, 3 - podavač, 4 - sušička, 5 - mlyn, 6 - třídič, 7 - hořák, 8 - vzduchový ventilátor, 9 - ohřívák vzduchu, 10 - ohniště, 11 - granulační výsypka, 12 - odškvárovací zařízení, 13 - konvekční průtah, 14 - odlučovák prachu, odsířovací jednotka, 15 - sací ventilátor, 16 - odpopílkovací zařízení, 17 - komín, 18 - ohřívák vody, 19 - buben, 20 - výparník (trubková stěna ohniště), 21 - spádovky, 22 - varnice, 23 - přehřívák: a - vodorovný, b - deskový, c, d - svislý. Průtok páry: ABC. 24 - hlavní parní uzavěr

Z hlediska přenosu tepelné energie můžeme tedy kotel definovat jako soustavu

výměníků tepla, v nichž se předává tepelná energie plamene a spalin a jednak *pracovní látce*, jednak spalovacímu vzduchu.

Princip funkce parního kotle včetně pomocných zařízení je uveden na obrázku 8.6, na němž je uvedeno schéma bubnového kotle s granulačním ohništěm o jmenovitém výkonu 150 t/h (tlaku přehřáté páry 9 MPa, teplotě přehřáté páry 540 °C a teplotě napájecí vody 225 °C), s přirozeným oběhem vody na vlhké hnědé uhlí. Kromě *jmenovitého výkonu* jsou tedy *základními parametry kotle tlak přehřáté páry, teplota přehřáté páry a teplota napájecí vody*.

### 8.1.2.1 Cesta paliva

Doprava surového uhlí do kotelny obstarává zauhlovací zařízení. Zásobníky surového uhlí jsou buď betonové, nebo z ocelového plechu a jejich výpustní otvory jsou opatřeny uzávěry. Palivo se v zásobníku sesouvá působením tíže a projde otevřeným uzávěrem do podavače, který je odměřuje a podává do mlýna. Ve schématu (obr. 8.6) je naznačen pásový podavač, jenž se pro hnědá uhlí běžně používá. Protože kotel je určen ke spalování hnědého uhlí s velkým obsahem vody, prochází uhlí nejdříve svislou suškou, jež je předražena mlýnu a do níž se nasávají z ohniště spaliny potřebné k sušení surového uhlí a pro dopravu umletého uhlí ve formě prášku do hořáků.

Po výstupu z mlýna proudí směs *uhelného prášku a brýd* (jež se skládají z původního sušícího média a vodní páry, vzniklé vysušením části vody ze surového uhlí) třídícím, který propustí jen dostatečně umleté uhlí, zatímco hrubší frakci (tzv. krupici) vrací zpět do mlýna. Třídíč slouží k regulaci jemnosti mletí prášku podle požadavku ohniště.

Pro přípravu vlhkých hnědých uhlí ke spalování se často používá ventilátorový mlýn, uvedený ve schématu, který si sám nasává sušící médium a vyvodí též přetlak, potřebný k překonání průtokových odporů třídíče, práškového potrubí a hořáku. Při použití jiného typu mlýna musí mít mlecí okruh vlastní mlýnový ventilátor, který zajišťuje dopravu uhelného prášku s nosným médiem, jež spolu tvoří primární směs, do ohniště. Jako sušící a dopravní prostředí může kromě spalin sloužit též ohřátý vzduch nebo jeho směs se spalinami. Každý kotel má několik mlýnů, jejichž počet závisí na hmotnostním průtoku spalovaného uhlí. Pro kotle na méněhodnotné hnědé uhlí pro bloky 200 a 500 MW<sub>e</sub> připravuje prášek až deset velkých mlýnů.

Primární směs se přivádí do práškových hořáků systémem práškových potrubí společně se sekundárním vzduchem, který proudí k hořákové skříni vzduchovým potrubím. Rohové hořáky, znázorněné na obr. 8.6, jsou umístěny v rozích ohniště, jež má ve vodorovném řezu tvar obdélníku. Každý hořák má soustavu samostatných primárních a sekundárních hubic, takže primární směs a sekundární vzduch se směšují až v prostoru ohniště.

### 8.1.2.2 Cesta spalovacího vzduchu

Spalovací vzduch se nasává z prostoru kotelny vzduchovým ventilátorem, který jej protlačuje ohřívákem vzduchu a systémem vzduchového potrubí až do hořáku. Ohřívák vzduchu se skládá z několika dílů, v nichž se vzduch postupně ohřívá až na teplotu požadovanou pro ohniště, a to tak, že je veden několikrát napříč svazkem paralelně uspořádaných svislých trubek, jimiž proudí spaliny.

### 8.1.2.3 Cesta spalin

Ohniště je u moderního kotle stavebně neoddělitelné od parního generátoru, neboť

stěny ohniště jsou tvořeny teplosměnnými plochami tlakového systému kotle. Dolní část ohniště v pásmu kolem hořáků je vyplněna plamenem, jenž je vztlakem vznikajících produktů spalování protažen ve směru k horní zúžené části ohniště, přebírající funkci ochlazovacího prostoru.

Částice uhlénoho prášku se po vstupu do plamene prudce zahřeje vlivem teplotového rázu (rychlosti ohřevu řádově  $10^4$  °C/s), vznítí se a shoří, přičemž celková doba hoření většiny částic není zpravidla delší než 0,5 s. Minerální součásti uhlí procházejí při spalování složitými přeměnami, jejichž hlavním konečným produktem je škvárový (příp. struskový u výtavných ohnišť) nebo popelový prach, unášený z větší části plynnými spaliny z ohniště. Jeho částice jsou v plameni v kapalném nebo plastickém stavu a tuhnou až cestou k výstupu z ohniště. V granulačním ohništi se zachytí jen asi 15 % z popela přivedeného do ohniště. Jsou to hrubší ztuhlé částice škvárového prachu vzniklé koagulací jemnějších částic tekuté škváry v plameni, dále slepené hrudky tvořící se v granulační výsypce a větší kusy škvárových nánosů uvolněných ze stěn ohniště. Zachycená škvára padá z výsypky do odškvárovacího zařízení, které ji hydraulicky dopraví na složiště.

Nejvyšší teploty plamene jsou v oblasti hořáků; pak jeho teplota rychle klesá, neboť je intenzivně ochlazován relativně chladnými stěnami ohniště, a na jeho konci dohořívají už jen spalitelné složky plynných spalin ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ), jež nevyhořely v pásmu vyšších teplot, a zbytek odplyněných částic uhlénoho prášku. V ohništi se předá sáláním z plamene a ze spalin do teplosměnných ploch přibližně polovina tepla přivedeného palivem a ohřátým vzduchem při průměrném tepelném toku  $q_0 = 100$  až  $200 \text{ kW/m}^2$ , takže na konci ohniště mají spaliny teplotu obvykle 950 až  $1\,100$  °C. Tato teplota se udržuje v pásmu, kdy jsou částice prachu již v tuhém stavu, takže nehrozí zanášení trubkové mříže na výstupu z ohniště a vstupní části konvekčního přehříváku.

Na ohniště navazuje konvekční průtah, v němž jsou umístěny výměníky tepla s převažujícím přenosem tepla konvekci. Spaliny proudí postupně přehřívákem páry, vysokoteplotním dílem ohříváku vzduchu, ohřívákem vody a nízkoteplotním dílem ohříváku vzduchu. Hrubší částice prachu, tzv. popílku, se zčásti zachycují ve výsypkách, jednak pod přehřívákem, jednak pod ohřívákem vzduchu na výstupu z kotle. Struskový prach a aerosol tvoří za spolupůsobení některých dalších složek spalin na výhřevných plochách nánosy, jež lze za provozu kotle částečně odstraňovat ofukovači. Po určité provozní periodě je nutné kotel odstavit a vyčistit.

Spalinový trakt kotle, který spaliny opouštějí s teplotou 120 až 150 °C, lze uzavřít spalinovými klapami. Na výstupní přírubu uzávěru je připojeno spalinové potrubí, které spaliny zavádí do odlučovače prachu, kde se prach (popílek) ze spalin odstraní. Spaliny s minimálním zbytkem prachu jdou pak do sacího ventilátoru a komínem vystupují do ovzduší. Popílek z prachových výsypek a z odlučovače se odpopílkovacím zařízením dopravuje obvykle hydraulicky na složiště. Většina kotlů větších výkonů musí být v současnosti vybavena odsiřovacím zařízením. Tzv. primárními denitrifikačními opatřeními jsou snižovány emise  $\text{NO}_x$ .

#### 8.1.2.4 Cesta pracovní látky

Výlučně používanou **pracovní látkou**, která je poměrně dostupná a má přitom vyhovující termodynamické vlastnosti, je po potřebné úpravě v energetických výrobnách **voda**, tj. oxid vodný  $\text{H}_2\text{O}$  v kapalně fázi, obsahující v různé formě některé anorganické a organické látky a plyny. Používání vody přináší však s sebou řadu problémů jak v konstrukci, tak v provozu kotlů a turbín. Do oběhu přiváděná přídavná voda se sice upravuje ze surové vody tak, aby měla normou předepsané chemické a fyzikální vlastnosti, obsahuje však vždy určité, i když v případě použití pro vysokotlaké kotle velmi malé množství solí. K zajištění

spolehlivého a hospodárního provozu turbíny je nutno splnit požadavek, aby kotel dodával přehřátou páru takové jakosti, která zaručí, že na lopátkách turbíny se nebudou tvořit nánosy. Pozn.: *Surová voda*, tj. voda vyskytující se v přírodě, je v podstatě silně zředěný roztok různých solí, plynů, kyselin, zásad a koloidních látek v oxidu vodném  $H_2O$ . Celkový obsah příměsí bývá 0,1 až 4 %.

Aby pára vyráběná parním kotlem měla požadovanou jakost a aby chod kotle byl spolehlivý i ekonomický, nesmějí se z kotelní vody dostávat do páry žádné soli, na stěnách kotle se nesmějí tvořit z vody nánosy a nemá docházet ke korozi. Proto musí mít napájecí voda pro určitý druh kotle určité vlastnosti. Potřebná jakost napájecí vody závisí zejména na tlaku vyráběné páry, typu výparníku, hodnotě měrného tepelného toku a druhu ohniště. Nadměrný obsah solí může vyvolat pění vody při varu a přestřik do páry. Určité druhy solí se za určitých podmínek dokonce v páře rozpouštějí. Velký obsah solí v kotelní vodě vede zároveň ke zhoršení prostupu tepla, protože dochází k velkému zahuštění solí v mezní vrstvě. Ze solí tvořících tvrdost vody dokonce vzniká na stěně varnice tvrdý nános (kotelní kámen) s nízkým součinitelem vodivosti tepla (50 až 100krát nižším než u oceli). Tím se zhorší prostup tepla, což na jedné straně vede ke snížení tepelné účinnosti kotle a na druhé straně ke zvýšení teploty stěny výhřevné plochy.

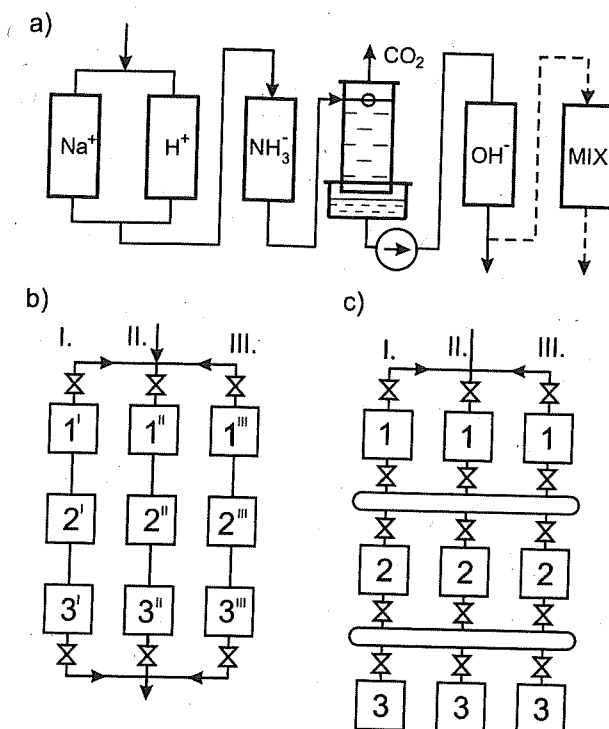
### Úprava vody

Při úpravě vody jsou nejdříve **mechanicky** (hrubé česle, jemné česle, popř. pevná nebo pohyblivá síta) z vody odstraňovány hrubé suspenze. Jemná suspenze se odstraňuje **filtrací** v tlakových filtrech (také je možno použít sedimentační nádrže). Nejjemnější frakce mechanických nečistot, jako je zákal vody (mechanické nečistoty o velikosti  $10^{-4}$  až  $10^{-7}$  mm), organické prachy rostlinného a živočišného původu apod., se odstraňují **čířením vody a filtrací**.

Tvrdost vody je způsobena rozpuštěnými solemi vápníku  $Ca^{2+}$  a hořčíku  $Mg^{2+}$ . Podle aniontů solí (např.  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ) se rozlišuje tvrdost *přechodná* (hydrokarbonátová) a *trvalá* (karbonátová, síranová, hydroxylová, chloridová apod.). Hydrokarbonátová a karbonátová tvrdost se od ostatních druhů tvrdosti odlišují tím, že kromě tvorby vodního a kotelního kamene se částečně rozkládají a vzniká oxid uhličitý. Voda zbavená mechanických nečistot (viz výše) se proto **měkčí**, aby se z ní odstranily vápenaté a hořečnaté soli. K měkčení se používá buď *srážecích reakcí*, jimiž se rozpustné soli  $Ca^{2+}$  a  $Mg^{2+}$  převedou na nerozpustné částice nebo kal, a ty se pak oddělí sedimentací a filtrací, nebo se kationty tvořící tvrdost zachycují v **měnících iontů – katexech**.

Voda změkčená sodíkovým katexem se dále **deionizuje** (odstranění bikarbonátu Na) v deionizační stanici, která se skládá z paralelně nebo sériově řazených katexů, sodíkového a vodíkového ( $H_2M$ ), z odvětrací věže na odstranění  $CO_2$  a ze slabě bazického anexu –  $NH_3$ . Následuje **desilikace vody** (odstranění  $SiO_2$ ), která se dnes provádí výhradně výměnou aniontů v **silně bazickém anexu**  $OH^-$ .

**Demineralizace vody:** U kotlů **průtočných** (viz rozdělení dále), které *nelze odluhovat* a u nichž všechny soli z napájecí vody zůstanou v trubkách výparníku, resp. přechodníku, a dále u kotlů na vysoké tlaky, je třeba napájecí vodu zbavit téměř všech minerálů do koncentrací řádu 10 až 100  $\mu g/l$ . Takto upravená voda se získává demineralizací. Schéma *demineralizační stanice* je na obr. 8.7. Je to v podstatě deionizační stanice, doplněná silně bazickým anexem a někdy též směsným filtrem (Mix-bed), což jsou promíchaná zrna H-katexu s OH-anexem. Směsný filtr účinně odstraňuje poslední stopy solí.



Obr. 8.7 Schéma demineralizační stanice: a – schéma, b – uspořádání linkové, c – okružní

**Odplynění napájecí vody** představuje jedno z neúčinnějších protikorozních opatření k ochraně parního kotle a příslušných částí okruhu. Z plynů, které se do vody dostávají ze vzduchu, jsou pro ocel nebezpečné oxid uhličitý a kyslík. Protikorozní ochranná vrstvička je vytvářena oxidy železa s průměrným složením  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Takto upravená napájecí voda, přiváděná napájecím potrubím od napáječky a procházející zpravidla ještě vysokotlakými regeneračními ohříváky, vstupuje do kotle napájecí hlavou, kterou tvoří uzavírací orgán (ventil nebo šoupátko) a zpětný orgán (ventil nebo klapka). Průtok napájecí vody, jejíž vstupní teplota se u vysokotlakých kotlů pohybuje převážně od 220 do 250 °C, se řídí regulačním ventilem, ovládaným automatickou regulací napájení.

V kotli voda protéká nejprve *ohřívákem vody* a po ohřátí obvykle na teplotu blízkou bodu varu se potrubím převede do kotlového bubnu. U kotle s přirozeným oběhem vody je ohřívák vody (tzv. ekonomizér) jedinou průtlakovou částí kotle (průtok vody až do bubnu zajišťuje napáječka) a tvořen hustým horizontálním trubkovým svazkem z trubek malého průměru (28 až 38 mm).

*Kotlový buben* je válcová nádoba o vnitřním průměru, který u velkých kotlů dosahuje 1 500 až 1 800 mm, a délce přesahující šířku bloku kotle (až 20 metrů), v níž se automatickou regulací udržuje hladina vody ve stálé výši (obvykle v ose bubnu). Napájecí voda se uvnitř bubnu rozvádí zpravidla po celé jeho délce – např. napájecím korytem s velkým počtem malých vstupních otvorů, které je vedeno nad hladinou vody, takže ještě před smíšením s vodním obsahem bubnu se napájecí voda ohřívá v přímém kontaktu s párou na bod varu.

*Výparník* tvoří stěny ohniště, přičemž každá stěna je samostatným celkem jak po stránce funkční, tak po stránce konstrukční. Jsou to *trubkové stěny* (trubkovnice), složené

z paralelně vedených trubek (*varnic*) o průměru obvykle 60 až 76 mm, které jsou dole připojeny k patní komoře a nahoře jsou zavedeny do bubnu. Na vnější straně nesou obezdívku z žáruvzdorného a tepelně izolačního materiálu s oplechováním.

Do výparníku se přivádí kotelní voda soustavou spádových trubek (spádovek), spojujících buben s patními komorami a stejně jako buben nejsou otápěny, neboť jsou umístěny na vnější straně ohniště. Varnicemi, které jsou intenzivně ohřívány teplem přijatým z plamene a ze spalín, proudí voda vzhůru a částečně se vypařuje. Vzniklá směs vody a páry, jež obsahuje obvykle kolem 20 % páry, se vrací do bubnu, čímž je okruh přirozeného oběhu vody kotlem uzavřen.

Ze směsi vystupující z varnic se v bubnu pára oddělí a zavede do přehříváku, zatímco voda se smísí opět s vodou v bubnu a pokračuje v oběhu. Obsah solí v kotelní vodě je podstatně větší než obsah solí v napájecí vodě, protože voda obíhající v okruhu výparníku je vypařováním zahuštěna. Aby se obsah solí v kotelní vodě udržel v požadovaných mezích a zajistily se předpoklady pro dosažení čistoty vyráběné páry, část vody zahuštěné solemi se z bubnu **odluhuje** (tj. trvale se vypouští). Hmotnostní průtok odluhu se obvykle rovná 0,5 až 1 % jmenovitého výkonu kotle.

V *přehříváku* se sytá pára přehřívá na konečnou teplotu, přičemž její průtok je vyvozen rozdílem tlaků v bubnu a za přehřívákem. Přehřívák páry se skládá zpravidla z několika samostatných stupňů, vyrobených z trubek. Přehřívák kotle na obrázku 8.6 (viz výše) má čtyři stupně, jejichž značení je ve schématu vyznačeno. Konečná teplota přehřáté páry, která dosahuje u vysokotlakých kotlů 540 až 570 °C, se reguluje automaticky, např. vstříkovacími chladiči, zařazenými mezi stupni, příp. za poslední stupeň přehříváku.

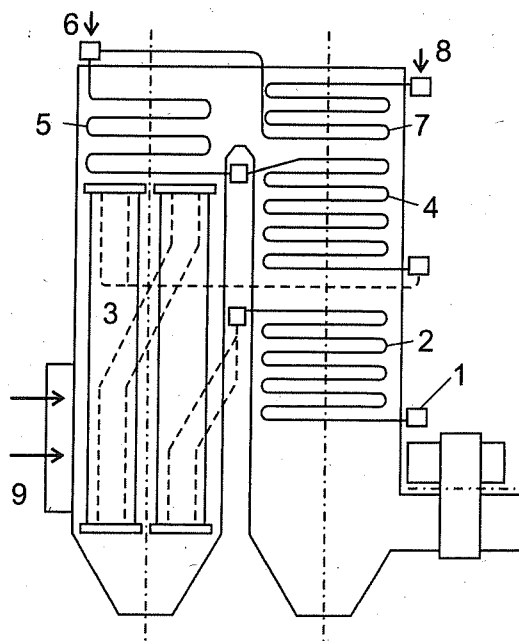
### 8.1.3 Typy parních kotlů

Parní kotle lze z historického hlediska rozdělit následovně:

1. Podle provedení vlastního kotle na [3]:
  - a) **Kotle plamencové** pro malé výkony a nízké tlaky. Mohou být jednoplamencové, dvouplamencové nebo i tříplamencové. Tyto kotle sestávaly z válcového tělesa, ve kterém byl uložen jeden nebo více plamenců z vlnitého kotlářského plechu;
  - b) **Kotle žárotrubné**. Sestávaly z válcového tělesa, ve kterém byl uložen jeden nebo dva svazky trubek, kterými proudily spaliny do zadní části kotle. Žárotrubné kotle ve spojení s plamencovými vytvářely kotle kombinované (představitelem byl dvouplamencový kotel Tischbeinův se dvěma svazky žárových trubek);
  - c) **Kotle vodotrubné**. Sestávají z jednoho nebo více bubnů spojených svazky trubek. V trubkách obíhá voda a okolo trubek proudí spaliny. Svazky trubek jsou v průtazích kotle, přičemž jejich uložení je buď šikmé, nebo svislé;
  - d) **Kotle sálavé**. Mají poměrně vysokou spalovací komoru, půdorysně čtyřhranného tvaru. Stěny spalovací komory jsou vyloženy svislými varnými trubkami (*varnicemi*), ve kterých obíhá voda kotle. Teplo vzniklé spalováním paliva sálá na trubkové stěny, kterými přestupuje do vody.
2. Podle provedení spalovacího zařízení rozdělujeme parní kotle na:
  - a) **Kotle roštové**, s pevným nebo mechanickým roštem;
  - b) **Kotle práškové**. Tyto kotle mají buď *granulační komoru*, ve které změknuvší škvára ve spodní části komory v místě granulačního roštu ztuhne (granuluje) a v tomto stavu odchází z kotle, nebo *výtavnou komoru*, ve které se struska taví a tekutá kontinuálně odchází výtakovým otvorem z kotle ven (většinou padá do žlabu s vodou, takže se na jejím povrchu vytváří sklovitá vrstva). Jsou zde

zařazeny i kotle *cyklónové*. Palivo zde spolu s intenzivním proudem vzduchu vchází do spalovacího prostoru (cyklónu), ve kterém se na spirálovité dráze rychle spaluje. Struska odchází z cyklónu v tekutém stavu. V uvedených kotlích je tedy spalován uhelný prášek (viz výše kapitola 8.1.2.1);

- c) **Kotle fluidní.** Charakteristickým rysem spalování ve fluidní vrstvě je podstatně delší doba zdržení paliva v ohništi s tím, že částice paliva mají větší rozměry, než je tomu u práškových kotlů [4]. V současné době se využívá jak atmosférického, tak přetlakového fluidního spalování paliv.
3. Podle použitého paliva rozeznáváme kotle pro spalování **pevných** (především černé a hnědé uhlí, příp. lignit), **kapalných** (např. těžké topné oleje) a **plynných paliv** (zemní či jiný plyn včetně odpadních plynů z technologií).
4. Podle použitého tlaku rozdělujeme kotle na:
  - a) **Kotle s tlakem podkritickým.** Kotle s podkritickým tlakem rozdělujeme na *nízkotlaké* (s tlakem do 1,6 MPa), *středotlaké* (s tlakem od 1,6 do 4,9 MPa), *vysokotlaké* (s tlakem od 4,9 do 12,8 MPa) a *velmi vysokotlaké* (s tlakem od 12,8 do 22,1 MPa);
  - b) **Kotle s tlakem nadkritickým.** Kotle s nadkritickým tlakem mají tlak nad 22,1 MPa.
5. Podle vodního oběhu jsou:
  - a) **Kotle s přirozeným vodním oběhem;**
  - b) **Kotle s nuceným vodním oběhem,** u kterých je voda tlačena oběhovým čerpadlem systémem varných trubek (varnic). Např. se jedná o kotle La Mont a Löffler;
  - c) **Průtočné kotle,** u kterých je voda protlačována paralelně řazenými trubkami, ve kterých se voda *postupně ohřívá, odpařuje a přehřívá* (kotle Benson – viz obr. 8.8, Sulzer, Ramzin).



**Obr. 8.8** Schéma Bensonova průtočného kotle: 1 – vstup napájecí vody, 2 – ohřívák vody, 3 – výparník, 4 – přechodník, 5 – přehřívák, 6 – vstřikovací regulátor, 7 – přehřívák, 8 – výstup páry, 9 – hořáky



6. Podle vodního obsahu se kotle dělí na:
  - a) **Kotle s velkým vodním obsahem** (kotle plamencové, žárotrubné a kombinované);
  - b) **Kotle s malým vodním obsahem** (kotle strmotrubné a sálavé).
7. Kotle speciální:
  - a) **S nepřímou výrobou páry;**
  - b) **S přetlakovým ohništěm;**
  - c) **Kotle na odpadní teplo**, ve kterých se využívá odpadní teplo z různých technologických procesů na výrobu páry;
  - d) **Elektrické kotle**, vytápěné elektrickým proudem.

### 8.1.4 Působení tepelné energetiky na životní prostředí

I přes provedená opatření zatěžuje tepelná energetika významně životní prostředí znečišťujícími látkami, zejména oxidy síry, oxidy dusíku a tuhými znečišťujícími látkami a také oxidem uhličitým, který se podílí na ovlivňování klimatu.

Působení na jednotlivé složky životního prostředí lze hodnotit následovně:

#### 8.1.4.1 Emise

Skutečnost, že uhlí představuje velmi významnou část naší energetické základny spolu s jeho převážně nízkou kvalitou (převládá hnědé uhlí s výhřevností mezi 9 až 14 MJ/kg, přičemž převažuje spotřeba uhlí kolem spodní hranice výhřevnosti) a značným podílem balastních složek (obsah síry, popela a vody), způsobuje značné environmentální problémy [5].

V této souvislosti je si nutno uvědomit, že například spálením 1 tuny uhlí s obsahem 3 % síry se bez odsiřovacího zařízení vyprodukuje 60 kg SO<sub>2</sub>. Vedle oxidů síry vznikají při spalování tuhých paliv další druhy škodlivin a to prach, oxidy uhlíku a oxidy dusíku.

Pokud se týká obsahu pevných částic, tj. prachu, v odcházejících spalínách, pak jeho množství a vlastnosti budou záviset jednak na druhu použitého paliva (obsahu prchavých látek, vlhkosti a popela, mineralogického složení popela, spékavosti, stupni rozdrobení apod.), jednak na podmínkách spalování (druhu spalovacího zařízení, teplotě spalování, součiniteli přebytku vzduchu, podmínkách proudění spalin apod.). Snížení emisí prachových částic je možné dodržováním určitého ustáleného režimu spalování a vhodnou volbou odprašovacího zařízení s důrazem na podstatné zvýšení účinnosti zachycení tuhých částic.

Spalování všech druhů fosilních paliv je dále zdrojem znečištění ovzduší oxidy uhlíku, které se nepříznivě projevují svým vlivem na zadržování slunečního záření při zemském povrchu (skleníkový jev).

V důsledku vysokých teplot v ohništích i nezbytnosti spalování nízkovýhřevných paliv se zvýšenými hodnotami součinitelů přebytku vzduchu dochází rovněž k oxidaci dusíku za vzniku oxidů dusíku NO<sub>x</sub>. Množství vzniklého oxidu přitom závisí významně na teplotě spalování (viz tabulka 8.1 [5]).

Tab. 8.1 Závislost koncentrace NO<sub>x</sub> ve spalínách na teplotě spalování

| Teplota [°C]                                       | 20  | 427  | 527 | 1 538 | 1 640 | 1 760 | 1 870  |
|----------------------------------------------------|-----|------|-----|-------|-------|-------|--------|
| Koncentrace NO <sub>x</sub> , [mg/m <sup>3</sup> ] | 123 | 36,9 | 246 | 3 200 | 5 000 | 9 500 | 16 000 |

Vzhledem k tomu, že reakce okysličování dusíku je reakcí vratnou, při klesajících teplotách může dojít ke zpětnému rozpadu vytvořených oxidů dusíku na původní složky. Při jejich vzniku i rozkladu hraje důležitou úlohu i rychlost procesu a poměr obsahu kyslíku a dusíku v plynné směsi. Uvedené je důvodem značné složitosti děje a nemožnosti jeho přesného teoretického vyčíslení. V současnosti se proto více využívá matematicko-statistických hodnot.

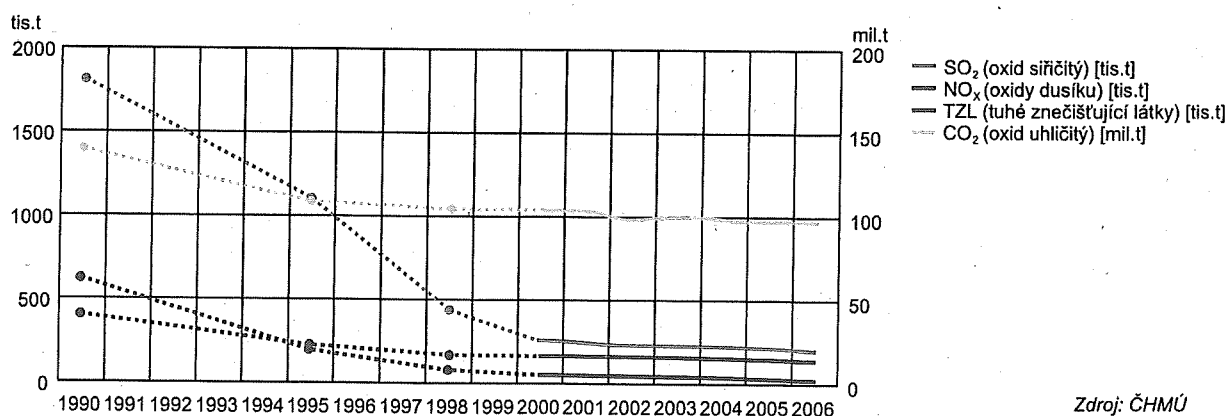
Před rokem 1990 bylo snížení dopadů energetiky na životní prostředí řešeno především výstavbou vysokých komínů a instalací filtrů na tuhé emise, z dnešního hlediska s neadekvátní účinností, které měly zajistit snížení koncentrace tuhých emisí v okolí elektráren. Výše poplatků za znečišťování ovzduší byla extrémně nízká a závisela na výšce komína. Vedle emisí sloučenin síry rostly se zvyšující se výrobou elektřiny také tuhé emise znečišťujících látek. Důsledkem bylo např. odumírání lesů v Krušných horách, Jizerských horách, Krkonoších apod. Docházelo k příhraničnímu znečištění, typickým reprezentantem byl „Černý trojúhelník“ v severních Čechách. Na konci 80. let se stacionární energetické zdroje podílely na celkových emisích  $\text{SO}_2$  97 %, na emisích  $\text{NO}_x$  76 % a na emisích tuhých látek cca 96 % [1].

Po roce 1990 prošla energetika významnými změnami, spojenými se snižováním jejího vlivu na životní prostředí. Znečišťování ovzduší se výrazně snížilo odstavením zastaralých elektrárenských provozů a instalací účinných zařízení k zachycování škodlivin emitovaných do ovzduší, zvláště pak oxidů síry.

Zákon č. 309/1991 Sb., o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami, zavedl přísné emisní limity. Termín pro dosažení limitů byl stanoven k 31.12.1998.

Zákon ovlivnil rozhodnutí ČEZ, a.s. odstavit v průběhu let 1991 – 1998 celkem 2 030  $\text{MW}_e$  výkonu v hnědouhelných elektrárnách a rekonstruovat dalších 6 400  $\text{MW}_e$  výkonu, což přineslo významné snížení sledovaných emisí. Kotle jednotlivých elektráren byly postupně odstaveny a modernizovány, probíhala také výstavba odsiřovacích zařízení s cílem snížit emise  $\text{SO}_2$ , které spolu s  $\text{NO}_x$  způsobují acidifikaci.

V letech 1990 až 2006 se v ČR významně snížily emise  $\text{SO}_2$  z energetických zařízení na 12 %, emise tuhých znečišťujících látek (TZL) na 7 %, emise  $\text{NO}_x$  na 30,8 % a emise  $\text{CO}_2$  na 74,1 % (k roku 1990) - viz graf 8.1 [1].



Graf 8.1 Vývoj emisí z energetiky v ČR

Na celkové produkci emisí oxidu siřičitého v ČR se energetika podílí cca 63 % a v případě emisí oxidů dusíku činí její podíl 31,5 % (rok 2006). Vyšší podíl na emisích oxidů dusíku má pouze doprava.

Hodnocení škodlivosti jednotlivých typů emisí prochází změnami. V současnosti se klade důraz na CO<sub>2</sub> a ostatní skleníkové plyny všeobecně, jejichž zvýšené koncentrace v ovzduší působí na změnu klimatu. Vzhledem k tomu, že energetika je v ČR z velké části založena na spalování fosilních paliv, je podíl tohoto sektoru na celkových emisích skleníkových plynů převažující.

#### 8.1.4.2 Odpadní vody

Energetika se významně podílí na odběrech vody. Užitková voda je odebírána především z povrchových vod. Podzemní užitková a pitná voda je odebírána zejména pro osobní spotřebu zaměstnanců. Podíl povrchových vod odebraných pro účely energetiky představuje více než 50 % celkového odběru vody (u odběru podzemních vod je tento podíl necelé 1 %).

Odebraná užitková voda je využívána jednak pro účely technologické a pro chlazení technologických agregátů, jednak pro účely odlučování škodlivin z plynné fáze, dopravu popílku a pro skladování (zneškodňování) popílku v tzv. odkalištích. Pro čištění těchto odpadních vod se používají v zásadě stejné postupy a zařízení jako při čištění odpadních vod z odkališť upraven uhlí, či při čištění ostatních průmyslových odpadních vod.

Znečištění vypouštěných odpadních vod, včetně tepelného znečištění, nepřesahuje hodnoty stanovené ve vodoprávních rozhodnutích pro jednotlivé elektrárny.

#### 8.1.4.3 Odpady

Skutečnost, že uhlí představuje velmi významnou část naší energetické základny se projevuje také v oblasti odpadů. Odkaliště elektráren a tepláren zaujímají celkovou plochu kolem 2 000 ha zemědělské a lesní půdy.

Tuhé odpady z energetického průmyslu mají zcela jiný charakter než z většiny ostatních průmyslových odvětví, jak co do složení, tak i způsobu zneškodňování a možností využití. Hlavní druhy odpadů z energetického průmyslu jsou ze všech typů výroby energie (tepelné elektrárny, teplárny, kotelny) shodné, tj. popel, popílek a škvára, resp. struska [5, 31].

Nepříznivé vlivy popílku jsou chemické a zejména mechanické. Z chemických vlivů je to především jeho sklon k cementování. U vod vzrůstá působením popílku jejich tvrdost a alkalita. Z mechanických účinků je to hlavně vysoká brusnost zrníček popela, které vyvolávají často oční záněty. Částice o velikosti  $0,2 \div 5 \mu\text{m}$  pronikají do plic a při vyšším obsahu SiO<sub>2</sub> způsobují zaprášení plic (silikózu).

Také rostlinné kultury trpí zanášením nadměrným množstvím popílku. Některé rostliny sice stačí zpracovat roční vrstvu popílku  $2 \div 5 \text{ mm}$  vysokou (tj.  $1\,500 \div 400 \text{ t/km}^2$ ), většina rostlin však pod vrstvou popílku hyne, ovocné stromy mají nižší výnosy, zelenina a píče posypané popílkem jsou nepoživatelné. Zrníčka větší než  $5 \mu\text{m}$  znečišťují okolí do značné vzdálenosti od zdrojů.

Hlavní použití popílku je ve stavebnictví, kde lze popílek využívat jak v průmyslové výrobě stavebních hmot, tak i ve stavební výrobě (stavební práce na stavbách). V podmínkách našeho stavebnictví se dosud plně nedaří prosazovat vlhčené popílky a popel do zemních prací jako náhradu za přírodní těžké kamenivo při budování hutněných zásypů a násypů.

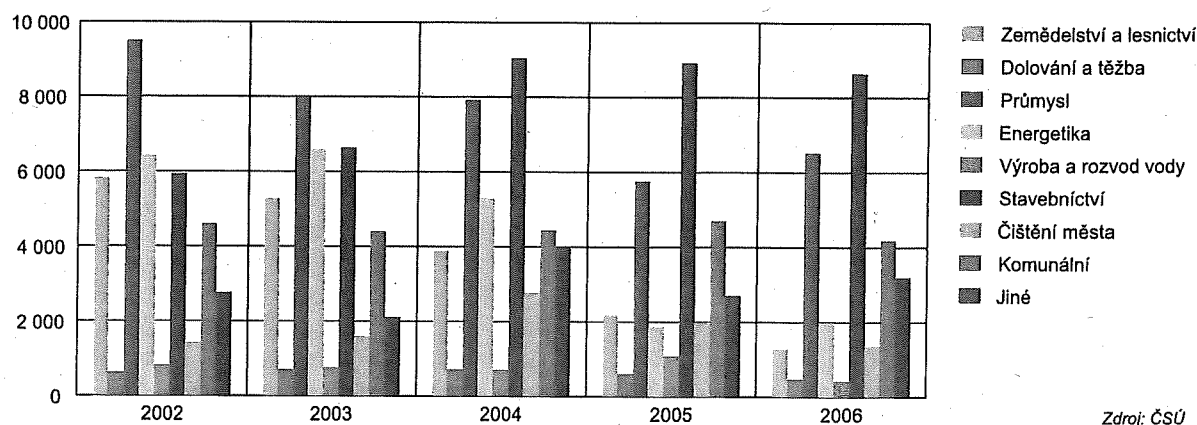
Technicky nejrozšířenějším způsobem využívání popílku je jeho zpracování při výrobě pórobetonu, kde kapacita jeho výroby již plně kryje potřeby našeho stavebnictví. Nadějná je i možnost využívání popílku v cihlářské výrobě. Popílek a struska zde slouží jako

ostřivo, které zlepšuje podmínky při sušení a příznivě ovlivňuje i jakost konečného výrobku.

Největší rezervy v oblasti výroby stavebních hmot jsou v rozšíření použití popílku k výrobě cementu. V řadě průmyslových zemí již jeho využívání představuje významný ekonomický přínos, u nás zatím není příliš rozšířeno. V současné době se rozvíjí využití popílku jako částečné náhrady cementu při výrobě betonu. Přídavkem 50 kg kvalitního popílku na 1 m<sup>3</sup> betonové směsi lze dosáhnout úspory až 20 kg cementu třídy 250. Obecně je stupeň využívání popílku u nás zatím velmi malý. V současné době se u nás využívá ve stavebnictví, zemědělství a rekultivacích a při získávání cenných surovin méně než 7 % z celkového množství.

Škvára a struska se běžně používá jako stavební materiál u nás i v zahraničí po mnoho let. U nás je provozu několik závodů postupně zpracovávajících staré haldy škváry, které se tvořily po desítky let, k přípravě betonových směsí pro různé druhy škvárového betonu a to k výrobě výplňových, izolačních nebo nosných betonových prvků. Škvára a struska je rovněž vhodná pro terénní a silniční úpravy, v železničním stavitelství a v průmyslu stavebních hmot k výrobě tvárnic a stavebních dílců.

Energetika patřila historicky u nás vždy mezi významné producenty odpadů, což souvisí zejména se skladbou prvotních energetických zdrojů (PEZ). Proto také produkce odpadů z energetiky v průběhu 90. let přibližně odpovídala produkci elektrické energie v elektrárnách spalujících hnědé uhlí. Zvýšení této produkce přineslo odsíření elektráren. Odpady z odsířování spalin jsou postupně certifikovány jako produkty, nejčastěji pro oblast stavebnictví. Zejména z tohoto důvodu v roce 2005 klesla produkce odpadů z energetiky na polovinu produkce roku 2004. Zatímco v roce 2002 se energetika na celkové produkci odpadů podílela více než 20 %, v roce 2005 byl její podíl již méně než 10 % celkové produkce veškerých odpadů. Údaje o produkci odpadů z energetiky a srovnání s produkcí dalších odvětví udává graf 8.2 [1].



Zdroj: ČSÚ

Graf 8.2 Produkce odpadů z energetiky a srovnání s ostatními odvětvími (tis. tun)

### 8.1.5 Technologie pro snižování plynných emisí z energetiky

Nejzávažnějšími plynnými emisemi z tepelných elektráren jsou oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>) a oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), které lze zachycovat pomocí desulfurizačních a denitrifikačních zařízení. V současnosti se klade důraz také na skleníkové plyny, zejména oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>).

### 8.1.5.1 Odsiřování

Odsiřování spalin je dnes jediným (ve velkém měřítku užívaným) postupem snižování emisí síry z energetiky. Je možno zde zařadit celou řadu metod, které spočívají na nejrozličnějších chemických či fyzikálně-chemických principech.

Používané metody lze rozdělit na [4]:

- **regenerativní** - aktivní látka cirkuluje mezi absorpcí nebo adsorpcí a regenerací:
  - výhody: malá spotřeba aktivní látky, která se do procesu dodává pouze na krytí ztrát. Velmi výhodný je produkt odsíření, jímž je ve všech případech čistý oxid siřičitý,
  - nevýhody: větší složitost technologického zařízení.
- **neregenerativní** - aktivní látka po reakci s oxidem siřičitým proces opouští jako produkt odsíření:
  - výhody: menší složitost technologického zařízení,
  - nevýhody: velká spotřeba aktivní látky, problémy s uplatněním produktu odsíření (nejedná se o čistý oxid siřičitý).

Dále je možno rozdělit používané desulfurizační metody na:

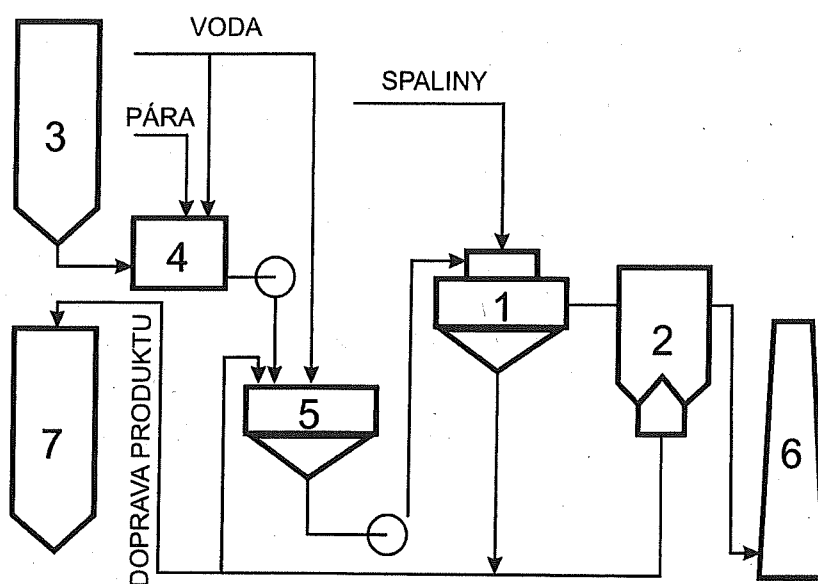
- **procesy mokré** - spaliny přicházejí do kontaktu s vodním roztokem nebo suspenzí aktivní látky:
  - výhody: velká účinnost odsiřování spalin,
  - nevýhody: nízká teplota odsířených spalin, které je nutno přehřívat, vyšší investiční náklady.
- **procesy suché** - během těchto procesů teplota spalin neklesá pod rosný bod vody:
  - výhody: vysoká teplota spalin po odsíření, které není nutno přehřívat za účelem rozptýlu do atmosféry, malá investiční náročnost,
  - nevýhody: malá účinnost odsíření (mimo použití u fluidních ohnišť nevyhovuje současným požadavkům), zvýšené nároky na některé technologické části (elektrofiltry), problémy s produktem odsíření.

#### Metody suché [4]

1. **Suchá aditivní vápencová metoda.** Princip suché aditivní vápencové metody spočívá v dávkování jemně mletého vápence, příp. dolomitu do spalovacího prostoru (jemnost mletí v obou případech by měla být pod 60  $\mu\text{m}$ ). Zde dochází k vázání oxidů síry na vápenatý (dolomitový) kationt. Při obvyklém 1,5 až dvojnásobku oproti stechiometrii se účinnost pohybuje kolem 30 %, výjimečně lze dosáhnout 40 až 50 %.
2. **Fluidní spalování s přídavkem vápence.** Charakteristickým rysem fluidního spalování je podstatně delší doba zdržení paliva a tím i aditiva v horké zóně a též nižší teplota hoření (800 ÷ 850 °C). Zejména dlouhá doba zdržení má příznivý vliv na stupeň zreagování vápence. Při optimálním mletí a přebytku proti stechiometrii kolem 1,5 až 2,2 činí účinnost odsíření 85 ÷ 95 %.
3. **Rozprašovací absorpce** (obr. 8.9) představuje přechod od suché aditivní metody k metodám mokrým: Jejím principem je nastříkávání vápenného mléka do horkých

spalin, během kterého dochází k absorpci oxidu siřičitého a částečně k oxidaci na síran vápenatý a současně k odpaření vody, takže v následně zařazeném elektroodlučovači se zachycuje směs síranu a siřičitanu vápenatého s popílkem a současně s nezreagovaným CaO. Při aplikaci 1,8 násobku stechiometrie se udává až 80 % odsíření (prakticky bývá však většinou nižší).

4. **Proces Bergbau - Forschung** je založen na sorpci oxidu siřičitého na aktivním koksu, jehož katalytickým působením současně probíhá oxidace kyslíkem přítomným ve spalínách na oxid sírový, který spolu s vlhkostí vytváří kyselinu sírovou. Celá metoda je velmi komplikovaná a náročná na energii a spotřebu aktivního koksu. Problémy jsou i s korozí. Proces byl před lety realizován pouze na úrovni malé referenční jednotky v SRN.



**Obr. 8.9** Schéma rozprašovací absorpce: 1 – rozprašovací sušárna, 2 – elektrofiltr, 3 – zásobník CaO, 4 – hašení vápna, 5 – mísicí nádrž, 6 – nástřík. nádrž, 7 – zásobník produktu

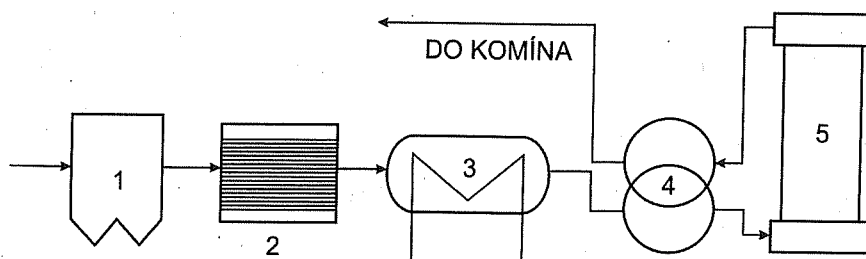
Vzhledem k nízké účinnosti odsíření (max. kolem 80 %) jsou již dnes z hlediska legislativních požadavků uvedené **suché** metody **nevyhovující**. Důležitou roli rovněž sehrává nevyřešené využití produktu odsíření. Toto je zvláště palčivé u rozprašovací absorpce, kde je využití směsi síranu a siřičitanu vápenatého, vápna a popílku zvláště problematické, i když účinnost odsíření je poměrně vysoká. Uvedené výhrady se ovšem **netýkají fluidního spalování** s přidavkem vápence, které je perspektivní, a počet zařízení neustále roste [32, 33]. Skupina ČEZ, a.s. např. v současné době provozuje devět fluidních kotlů – viz dále tabulka 8.2 [10].

### Katalytické metody

Katalytické metody by bylo možno zařadit mezi suché metody odsíření, ale pro svoji specifiku jsou zařazeny raději odděleně. Jedná se o následující metody [4]:

1. **Metoda Cat-ox.**
2. **Proces Kyioura.**
3. **Proces Chiyoda.**
4. **Metoda Haldor-Topsøe.**

Společným znakem těchto metod je katalytická oxidace oxidu siřičitého na sírový a jeho následné odstranění ze spalín ve formě kyseliny sírové nebo síranu (vápenatého či amonného). Takto přesně pracují **procesy Cat-ox a Kyioura** (obr. 8.10), kde dochází k oxidaci  $\text{SO}_2$  při teplotě  $450^\circ\text{C}$  na vanadovém katalyzátoru. Horké, dokonale odprášené spaliny se z elektroodlučovače vedou přímo do katalytického reaktoru. Odtud se vedou do ekonomizéru a ohřívače vzduchu, za nímž mají teplotu  $230^\circ\text{C}$ . Pak vstupují do absorberu, kde se  $\text{SO}_3$  vypírá horkou kyselinou sírovou (proces Cat-ox), která se ze dna absorberu odvádí, chladí a recirkuluje. Mlha kyseliny se zachycuje ve speciálním odlučovači, produkovaná  $\text{H}_2\text{SO}_4$  má koncentraci až 85 %. Spaliny odcházejí s teplotou kolem  $100^\circ\text{C}$ . U procesu Kyioura se po ochlazení na  $240^\circ\text{C}$  přivádí amoniak, který s plynným  $\text{SO}_3$  a mlhou kyseliny sírové vytváří síran amonný, jenž se odlučuje v elektroodlučovači.



Obr. 8.10 Schéma procesu Cat-ox: 1 – elektrofiltr, 2 – katalytický reaktor, 3 – ekonomizér, 4 – regavo (ohřívač vzduchu), 5 – absorber

Výhodou obou metod (Cat-ox i Kyioura) je poměrná jednoduchost zařízení a nižší provozní náklady při účinnosti odsíření kolem 90 %. Nevýhodou je vysoká náročnost na materiály a zejména nutnost dokonalého odprášení spalín, poněvadž popílek má negativní vliv na životnost katalyzátoru. U procesu Kyioura je problematické uplatnění síranu amonného.

U **procesu Chiyoda** se spaliny nejprve ochladí vodou za současného odloučení popílku. V dalším stupni se vypírá oxid siřičitý zředěnou kyselinou sírovou. Vzniklý roztok kyseliny siřičité se oxiduje vzduchem v kapalně fázi na železném katalyzátoru na kyselinu sírovou, která se neutralizuje vápencem na sádrovec. Jedná se o proces s vysokou účinností odsíření (97 %), technologie je jednoduchá. Nevýhodou je omezená životnost katalyzátoru při spalování uhlí, náročnost na materiály a potřeba čistého vápence.

**Metoda Haldor-Topsøe** využívá klasické katalytické oxidace oxidu siřičitého na oxid sírový. Rozdíl je v dalším zpracování, které je založeno na speciálním režimu chlazení (teplota leží mezi rosným bodem vody a kyseliny sírové). Metoda je poměrně jednoduchá, umožňuje získávat koncentrovanou kyselinu sírovou (94%). Potíže mohou působit pouze vysoké nároky na materiál.

#### Metody mokré [4]

1. Vápno - vápencové metody (např. proces Saarberg - Hölter - Lurgi),
2. Magnezitová metoda,
3. Metoda Wellman – Lord,
4. Proces Walther.

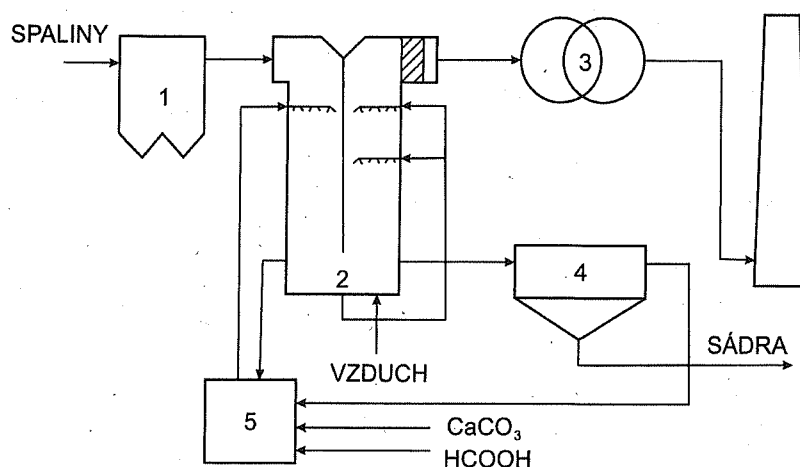
V průběhu vývoje bylo navrženo množství různých způsobů desulfurizace spalín, z nichž převážnou část lze zařadit do skupiny metod mokréch.

Mokré vápno-vápencové metody představující další vývojový stupeň aditivní metody. Celá technologie prošla složitým vývojem, který se rozdělil do dvou směrů podle praktické potřeby dvou hlavních protagonistů tohoto vývoje - Spojených států a Japonska. Zatímco v Japonsku, které má nedostatek přírodního sádrovce, byl vývoj veden směrem k získání technicky využitelného sádrovce jako produktu odsíření, ve Spojených státech byla preferována technologie produkující odpadní kal, tj. směs siřičitanu a síranu vápenatého a nezreagovaného  $\text{CaO}$ . Tento kal byl po předchozím odstranění ve vodě rozpustných látek deponován. Problémy s touto tzv. fixací kalu nakonec vedly ke sjednocení obou trendů, tj. k produkci sádrovce.

Samotná metoda spočívá v absorpci  $\text{SO}_2$  v suspenzi vápence ( $\text{CaCO}_3$ ) nebo vápna ( $\text{CaO}$ ). Odpadním produktem je zmíněný síran vápenatý dihydrát (*energosađrovec*). Účinnost odsíření u dnes používaných zařízení se pohybuje od 94 % [10].

Jednotlivé vápno-vápencové metody se od sebe liší většinou pouze v detailech - aditivem (používá se při oxidaci siřičitanu na síran - používají se aditiva anorganická a organická), způsobem vedení plynu a kapaliny v absorbér, způsobem dělení síranu a siřičitanu, způsobem odvodňování sádrovce a pod.

Jako příklad vápencové metody je možno uvést **proces Saarberg - Hölder - Lurgi** (obr. 8.11). Charakteristickými rysy tohoto procesu jsou použití kyseliny mravenčí jako aditiva a speciální konstrukce absorbér, spočívající v kombinaci souprroudé a protiproudé absorpce.



**Obr. 8.11** Schéma procesu Saarberg - Hölder - Lurgi: 1 - elektrofiltr, 2 - absorbér, 3 - regenerační výměník (spaliny - spaliny), 4 - filtrace a zpracování sádrovce, 5 - příprava roztoku,

Jako surovina se v současné době používá prakticky výhradně vápenec, který proti vápnu kromě ceny má ještě výhodu v nižším pH roztoku. Při použití vápna má totiž prací roztok pH kolem 7,5 a to vede ke srážení siřičitanu a špatné oxidaci na síran. Vápenec se používá jemně mletý (90 % pod 60  $\mu\text{m}$ ), mele se za mokra v kulových mlýnech. Jeho spotřeba je většinou jen nepatrně vyšší než odpovídá stechiometrii (1,03 až 1,07).

Kromě vápence se spotřebovává část aditiva, které se ztrácí z části pracího roztoku, odtahovaného s krystaly sádrovce. U jednotky 200  $\text{MW}_e$  se např. počítá s úbytkem cca 60 kg kyseliny mravenčí ( $\text{HCOOH}$ ) za hodinu - proces SHL.

Procesní voda se spotřebovává především při odparu roztoku v absorbér, část odchází s odtahovanými krystaly jako voda volná a krystalická. Pro jednotku 200  $\text{MW}_e$  se počítá 70



m<sup>3</sup>/h i více.

Produkovaný sádrovec (síran vápenatý dihydrát) se nejprve zbaví větší části roztoku v usazováku nebo nověji v hydrocyklónu, odkud se přivádí na vakuový filtr nebo do odstředivek. Zde se ještě promyje vodou na zbytkový obsah chloridů pod 100 mg/kg a konečně dosuší na obsah volné vody ve výši cca 10 %. Konečný produkt se jako tzv. energosádrovec dále suší, případně briketuje.

Většina elektrárenských bloků, provozovaných Skupinou ČEZ, a.s., je dnes odsiřována mokrou vápno-vápencovou metodou (viz tabulka 8.2 [10]). Dále jsou provozovány fluidní kotle a pouze dva práškové kotle po 110 MW<sub>e</sub> jsou odsiřovány polosuchou metodou (rozprašovací absorpce), přičemž se připravuje výměna této technologie za vápno-vápencovou metodu. Během deseti let, od roku 1993 do roku 2003, došlo po výstavbě a uvedení odsíření na všech elektrárnách Skupiny ČEZ, a.s. ke snížení emisí oxidu siřičitého z původního množství 719 149 tun na 58 346 tun (z 2,3281 kg SO<sub>2</sub>/GJ na 0,1886 kg SO<sub>2</sub>/GJ) [10].

**Tab. 8.2** Instalovaná odsíření kouřových plynů z kotlů Skupiny ČEZ

| Elektrárna             | Bloky                                  | Metoda                                  |
|------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Elektrárna Dětmorovice | 4 x 200 MW                             | mokrá vápencová                         |
| Elektrárna Hodonín     | 50 MW, 55 MW                           | fluidní spalování                       |
| Elektrárna Chvaletice  | 4 x 200 MW                             | mokrá vápencová                         |
| Elektrárna Ledvice     | 3 x 110 MW                             | 2 x polosuchá metoda<br>1 fluidní kotel |
| Elektrárna Mělník II   | 2 x 110 MW                             | mokrá vápencová                         |
| Elektrárna Mělník III  | 500 MW                                 | mokrá vápencová                         |
| Elektrárna Počerady    | 5 x 200 MW                             | mokrá vápencová                         |
| Elektrárna Poříčí II   | 3 x 55 MW                              | fluidní spalování                       |
| Elektrárna Pruněřov I  | 4 x 110 MW                             | mokrá vápencová                         |
| Elektrárna Pruněřov II | 5 x 210 MW                             | mokrá vápencová                         |
| Elektrárna Tisová I    | 2 kotle pro 3 x 57 MW +<br>1 x 12,8 MW | fluidní spalování                       |
| Elektrárna Tisová II   | 112 MW                                 | mokrá vápencová                         |
| Elektrárna Tušimice II | 4 x 200 MW                             | mokrá vápencová                         |

**Magnezitová metoda** představuje na rozdíl od vápno-vápencových metod ve své základní variantě proces regenerativní. Principem je absorpce oxidu siřičitého do suspenze oxidu hořečnatého (MgO).

Při regeneraci se krystaly siřičitanu hořečnatého tepelně rozkládají na oxid hořečnatý, který se vrací do procesu, nebo na elementární síru. Rozklad se provádí při teplotách nad 800 °C v redukční atmosféře, ve které se oxidací siřičitanu vzniklý síran hořečnatý redukuje rovněž na SO<sub>2</sub> a MgO.

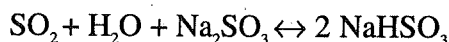
Nevýhodou metody je potřeba velmi kvalitního magnezitu a velká energetická náročnost. Jako výhodu lze uvést spolehlivost, účinnost odsíření přes 90 % a bezodpadovost. Přestože bylo ve světě realizováno několik úspěšně pracujících jednotek, a proces má, resp. mělo ve svém výrobním programu několik světových firem, nenašel tento proces příliš široké uplatnění v energetice. Výjimku představuje čištění menších objemů sirnatých spalin, vznikajících např. při zpracování ropy s vyšším obsahem síry.

Rozdíly mezi technologiemi jednotlivých firem byly vcelku zanedbatelné a lze je rozdělit do dvou skupin - proces GESI (General Engineers Environmental Services) a UEaC

(United Engineers and Constructors). Liší se kromě detailů hlavně v různém způsobu provedení kalcinace (ve fluidní nebo rotační peci).

Přibližně na principu UEaC byl projektován i způsob NIIOGAZ, který byl podle dokumentace z bývalého SSSR postaven pro jednotku 200 MW<sub>e</sub> v naší elektrárně Tušimice II. Pro různé provozní problémy a nedokonalost technických řešení se však toto zařízení nepodařilo uvést plně do provozu. Následně bylo ve studené rezervě a poté demontováno. Odsiřovací zařízení na tomto principu se pro energetické účely již mnoho let nestaví (viz též výše).

Princip **metody Wellman - Lord** je velmi jednoduchý a lze jej popsat rovnicí:



Reakce je zvratná a za vyšší teploty probíhá opačným směrem, což je principem regenerace pracího roztoku, která se provádí v odparce, z níž odchází SO<sub>2</sub> o koncentraci 80 až 90 % a krystalický siřičitan sodný. Nežádoucí vedlejší reakcí je oxidace na síran, který je nutno z roztoku získávat krystalizací a vzniklé ztráty sodného iontu krýt přidavkem hydroxidu sodného nebo sody.

Podstatou **procesu Walther** je mokrá amoniakální vypírka, jejímž produktem je síran amonný. Produkt odsíření sestává převážně ze síranu amonného, malého množství dusičnanu a dalších amonných solí. V určitém období se uvažovalo o použití tohoto produktu jako méně hodnotného hnojiva, což je dnes z hlediska environmentální legislativy nepřijatelné. Realizace čpavkových metod v masovém měřítku by měla za následek produkci takového množství síranu amonného, pro které by nebylo možno nalézt uplatnění. V poslední době získala tato metoda poněkud na významu v souvislosti s jejím doplněním o denitrifikační stupeň.

### 8.1.5.2 Denitrifikace

Zatímco emise oxidů síry jsou již po dlouhou dobu přísně sledovány, a technická řešení jejich omezování dosáhla vysoký stupeň dokonalosti, emise oxidů dusíku stály dlouho na okraji zájmu. Teprve s odhalením jejich škodlivosti (je srovnatelná, ale spíše vyšší než u oxidů síry) došlo k intenzivnímu výzkumu mechanismu jejich tvorby a možností snižování jejich emisí.

Při spalovacích pochodech se tvoří oxidy dusíku v zásadě třemi základními mechanismy [4]:

- oxidací dusíku ze spalovacího vzduchu za vysoké teploty (tzv. **vysokoteplotní NO<sub>x</sub>**),
- oxidací chemicky vázaného dusíku v palivu (tzv. **palivové NO<sub>x</sub>**),
- z chemicky vázaného dusíku radikálovými reakcemi na rozhraní plamene (tzv. **promptní NO<sub>x</sub>**).

Při všech těchto mechanismech vzniká oxid dusnatý (NO), který pak při přítomnosti kyslíku dále oxiduje na NO<sub>2</sub>. Rychlost této oxidace je úměrná koncentraci NO a při relativně nízkých koncentracích ve spalínách je velmi pomalá, takže na celkovém obsahu NO<sub>x</sub> ve spalínách se NO<sub>2</sub> podílí nejvýše 10 %.

*Vysokoteplotní NO<sub>x</sub>* závisí hlavně na teplotě a dále na koncentraci kyslíku a době zdržení v horké zóně. Z tohoto poznání vyplývají také základní směry **omezování tvorby NO<sub>x</sub>** během spalovacího procesu:

- **snížení teploty hoření,**

- snížení lokální koncentrace kyslíku,
- zkrácení doby zdržení v pásmu vysoké teploty.

Palivové  $\text{NO}_x$  vznikají oxidací dusíku chemicky vázaného v palivu. Procento nezreagovaného dusíku roste s rostoucím obsahem dusíku v palivu a při spalování uhlí se pohybuje mezi 10 až 25 %.

Promptní  $\text{NO}_x$  představují vlastně jen určitou formu  $\text{NO}_x$  palivových, tvoří se radikálovými reakcemi na okraji plamene a jejich podíl na celkovém obsahu  $\text{NO}_x$  je zanedbatelný.

Pokud jde o spalování kapalných paliv, pro tvorbu vysokoteplotních  $\text{NO}_x$  platí stejné závěry. Palivové  $\text{NO}_x$  se projevují výrazněji pouze u těžších frakcí (TTO nebo mazut), kde se dusíkaté sloučeniny vyskytují ve větší míře. Při spalování plynu vzhledem k úplné absenci dusíkatých sloučenin se celý problém redukuje na tvorbu vysokoteplotních  $\text{NO}_x$ .

#### **Snížování emisí $\text{NO}_x$ úpravou spalovacího procesu (tzv. primární opatření)**

Tato opatření vycházejí plně z výše uvedených poznatků o mechanismu tvorby  $\text{NO}_x$ . Ve světle těchto zkušeností je zřejmé, že na tvorbu  $\text{NO}_x$  má vliv již samotný typ spalovacího zařízení a způsob jeho provozování, dále pak některá následná opatření, která jsou významná zejména u stávajících zařízení [4].

Vždy platí, že tato primární opatření ke snížení  $\text{NO}_x$  jsou podstatně levnější než následná denitrifikace spalin (sekundární opatření). Proto byla primární opatření uplatněna v 90. letech v rámci naší energetiky.

Jak již bylo uvedeno, je pro tvorbu  $\text{NO}_x$  významný již samotný typ topeniště, jeho konstrukce a stav. Podle klesajících emisí  $\text{NO}_x$  lze uhelné kotle seřadit takto (jedná se o zařízení *bez použití denitrifikačních metod*):

- výtavné (1 600 až 2 800 mg/m<sup>3</sup>),
- granulační se stěnovými hořáky (1 000 až 1 700 mg/m<sup>3</sup>),
- granulační s tangenciálními hořáky (800 až 1 200 mg/m<sup>3</sup>),
- fluidní (do 800 mg/m<sup>3</sup>, ale většinou se jedná o mnohem nižší hodnoty).

Rozhodující vliv u těchto topenišť má teplota hoření, která je nejvyšší u výtavných kotlů, a rychlost uvolňování tepla v zóně hoření, která je nejnižší u fluidních kotlů.

V případě spalování s nízkým přebytkem vzduchu (dosáhne se snížení teploty plamene) a při snížení předehřevu spalovaného vzduchu jde o nenáročné zásahy nevyžadující žádné úpravy na zařízení. Efekty těchto zásahů nejsou příliš velké a provází je nevýhody, jako snížení tepelné účinnosti, ztráty nedopalem či problémy hoření. Navíc u velkých elektrárenských kotlů, které mají spalovací poměr optimalizován, nejdou použít vůbec. Tyto problémy nejsou tak významné při spalování plynu, pro které je tento způsob vhodnější.

Nestechiometrické spalování představuje dávkování spalovaného vzduchu ve dvou úrovních. V první fázi proběhne spalování za nedostatku vzduchu, a tudíž při nízké teplotě, v druhé fázi se zbytek paliva a zplodiny nedokonalého spalování spálí v relativním přebytku vzduchu. Dá se říci, že tento způsob je podstatou speciálních hořáků na nízký obsah  $\text{NO}_x$ , a lze jej s určitými úpravami realizovat na mnoha stávajících zařízeních (pokud tak již nebylo učiněno).

### Denitrifikační metody (sekundární opatření)

Tyto metody lze rozdělit opět na suché (včetně metod katalytických) a na metody mokré.

**Suché denitrifikační metody:**

1. **Selektivní katalytická redukce (SCR),**
2. **Selektivní nekatalytická redukce,**
3. **Redukce  $\text{NO}_x$  na aktivním koksu,**
4. **Radiační metoda.**
5. **Proces  $\text{NO}_x$  out.**

Ze všech uvedených *suchých* denitrifikačních metod je nejrozšířenější selektivní katalytická redukce (SCR). Princip této metody spočívá v reakci  $\text{NO}_x$  s plynným čpavkem, který je k tomuto účelu do spalín dávkován, na dusík. Reakce probíhá při teplotách nad  $300^\circ\text{C}$  na katalyzátoru. Čpavek se přidává v malém přebytku proti stechiometrii. (Pozn.: Metoda SCR se v miniaturizované podobě dnes používá také pro denitrifikaci spalín vznětových motorů u automobilů – viz dále kap. 9).

Ostatní metody - selektivní nekatalytická redukce i mokré procesy - nejsou zatím schopné konkurovat.

Význam však nabývají postupně procesy současného odstraňování síry a dusíku (už u normálních odsiřovacích procesů se předpokládá snížení emisí  $\text{NO}_x$  o 30 %).

Při aplikaci *mokrých* způsobů odstraňování  $\text{NO}_x$  hraje důležitou roli rozdílný charakter obou oxidů. NO se chová jako inertní plyn, tzn. že nemá snahu přecházet do roztoku. Naproti tomu  $\text{NO}_2$  je reaktivní a ve vodě dobře rozpustný. Vzhledem k výrazně převyšujícímu podílu NO ve spalínách je proto nutné použít takové postupy, při nichž je NO převeden na  $\text{NO}_2$ , nebo kde se využívá schopnosti NO vytvářet komplexní soli.

**Přehled mokrých denitrifikačních metod:**

1. **Proces Saarberg - Hölder – Lurgi,**
2. **Kombinovaný způsob Walther,**
3. **Proces Chiyoda 102 Thoroughbred,**
4. **Proces CIBA - Geigy.**

Závěrem je nutno konstatovat, že ve smyslu environmentálních požadavků je třeba vyžadovat zejména co nejvyšší účinnost příslušné metody. Dále zde hraje důležitou roli nezávadnost odpadních produktů, včetně odpadní vody. Jinak bychom totiž přenesli otázku znečišťování z ovzduší do půdy a vody, což je nepřijatelné. Významnou roli hraje také otázka uplatnění produktů.

#### 8.1.5.3 Redukce oxidu uhličitého

Redukce významného skleníkového plynu  $\text{CO}_2$  v oblasti energetiky spočívá především ve zvyšování tepelné účinnosti energetických procesů. V zemích OECD pracují uhelné tepelné elektrárny s účinností cca 38 % [8]. Nové *nadkritické*, resp. *superkritické* tepelné elektrárny (pracují s nadkritickou teplotou a nadkritickým tlakem páry - nad  $22,1\text{ MPa}$ ) dosahují tepelné účinnosti 43 až 45 %. *Ultrasuperkritické* (ultrakritické) mohou dosáhnout účinnosti i více než 50 %. Ve světě pracuje přes 400 superkritických (nadkritických) tepelných elektráren [9].

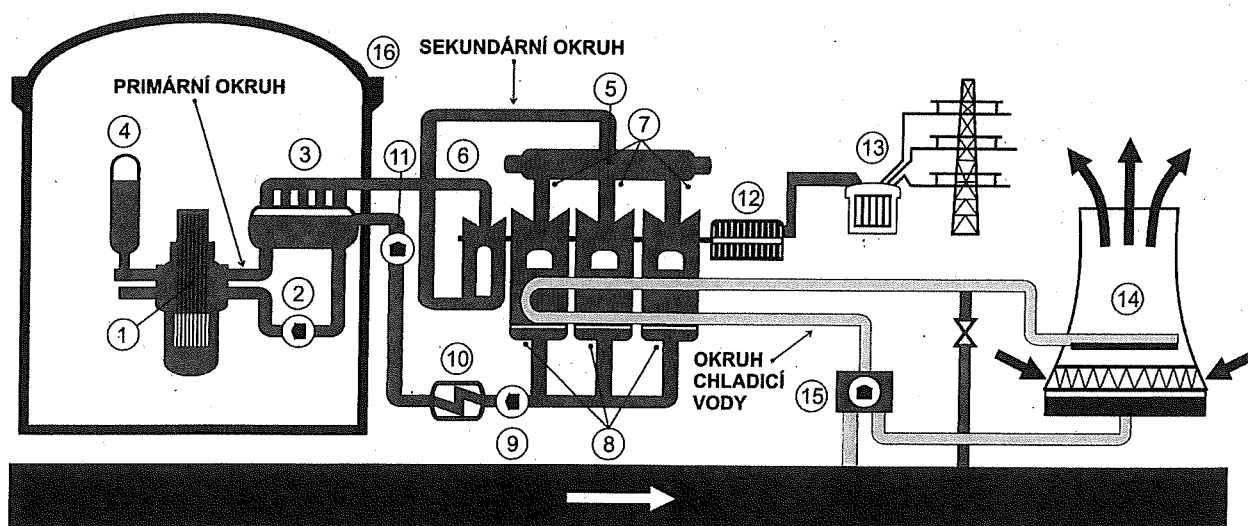
## 8.2 Jaderná energetika

Celkový instalovaný výkon jaderných elektráren činil k 31.12.2006 v České republice **3 760 MW<sub>e</sub>**, což je **21,5 %** z celkového instalovaného výkonu u nás (17 508 MW<sub>e</sub>) [6]. Nicméně podíl elektřiny vyrobené v jaderných elektrárnách činil v roce 2006 cca **30,9 %** (26 047 mil. kWh) [6]. Z uvedených údajů je zřejmé, že jaderná energetika hraje v České republice ve výrobě elektrické energie významnou roli.

### 8.2.1 Jaderná elektrárna

Ve světě pracuje cca 440 jaderných energetických bloků. V České republice pracují čtyři tlakovodní reaktory typu VVER - 440 v Dukovanech a dva tlakovodní reaktory typu VVER - 1000 v Temelíně.

Jaderná elektrárna se skládá z hlavního výrobního bloku, chladicích věží a dalších pomocných provozů (čisticí stanice chladicí vody, hospodářství s čerstvým a vyhořelým palivem, diesलगregát atd.). Hlavní výrobní blok v sobě ukrývá **primární** a **sekundární okruh** (obr. 8.12) [12].



**Obr. 8.12** Hlavní výrobní blok jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem (JE Temelín): 1 – reaktor, 2 – hlavní cirkulační čerpadlo, 3 – parogenerátor, 4 – kompenzátor, 5 – separátor – přehřívák, 6 – vysokotlaký díl turbíny, 7 – nízkotlaký díl turbíny, 8 – kondenzátor, 9 – čerpadlo kondenzátu, 10 – regenerace, 11 – napájecí čerpadlo, 12 – elektrický generátor, 13 – transformátor, 14 – chladicí věž, 15 – čerpací stanice, 16 – ochranná obálka (kontejnment)

**Primární okruh** je u jaderných elektráren s tlakovodními reaktory (PWR - pressurized water reactor) zpravidla celý uložen v ochranné obálce - kontejnmentu z předpjatého betonu. Skládá se z vlastního reaktoru, bazénu vyhořelého paliva, kompenzátoru objemu, parogenerátorů a hlavních cirkulačních (oběhových) čerpadel (obr. 8.13). V parogenerátoru se pomocí chladicí vody primárního chladicího okruhu ohřívá voda sekundárního okruhu a mění se na páru (obr. 8.14).

Chladicí voda z kondenzátorů se vede do **chladicích věží**, kde se z výšky asi 15 m rozstříkuje a chladí protitahem proudícího vzduchu.

### 8.2.1.1 Jaderné reaktory

Existuje mnoho různých typů jaderných reaktorů. Nejrozšířenějším typem jsou tlakovodní reaktory (PWR - pressurized water reactor), které představují 2/3 všech jaderných reaktorů na světě. Tyto reaktory pracují také v jaderných elektrárnách Dukovany a Temelín.

**Přehled hlavních typů jaderných reaktorů:**

1. **Lehkovodní reaktory (LWR)** – obr. 8.15:
  - **tlakovodní reaktory (PWR),**
  - **varné reaktory (BWR),**
2. **Těžkovodní reaktory (HWR),**
3. **Vysokoteplotní plynem chlazené a grafitem moderované reaktory (HTGR)** – obr. 8.16,
4. **Grafitem moderované a lehkou vodou chlazené varné reaktory (LWGR)** - (např. RBMK – 1000),
5. **Rychlé množivé reaktory (FBR)** – obr. 8.17.

Tepelná účinnost jaderných elektráren s různými typy reaktorů je uvedena v tabulce 8.3.

**Tab. 8.3** Tepelná účinnost elektráren s různými reaktory

| Typ reaktoru                                        | Tepelná účinnost [%] |
|-----------------------------------------------------|----------------------|
| Těžkovodní reaktor                                  | 29                   |
| Lehkovodní reaktor                                  | 32 ÷ 34              |
| Rychlý množivý reaktor chlazený sodíkem nebo heliem | 42 ÷ 44              |
| Vysokoteplotní reaktor                              | 39 ÷ 41              |

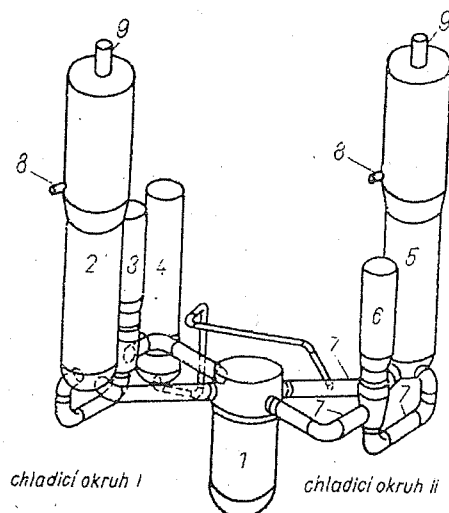
#### **Lehkovodní reaktory (LWR):**

Do této skupiny jaderných energetických reaktorů se zahrnují reaktory používající obyčejnou lehkou vodu (upravenou však pro energetické účely – viz výše kap. 8.1.2.4) ve funkcích **moderátoru a chladiva**.

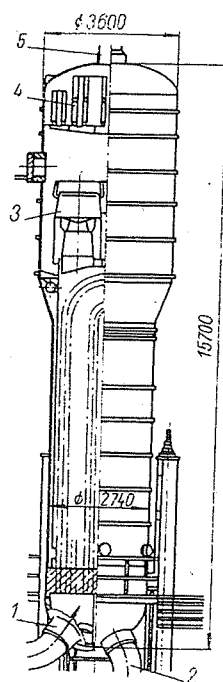
Podle konstrukce, režimu provozu a parametrů chladiva se tyto reaktory dělí na:

- **tlakovodní (Pressurized Water Reactors - PWR)**, kde je chladivo pod tak velkým tlakem, že se v prostoru aktivní zóny reaktoru pára tvořit nemůže,
- **varné (Boiling Water Reactors - BWR)**, kde dochází k tvorbě páry přímo při průchodu páry aktivní zónou reaktoru. Parogenerátory zde nejsou používány, nicméně bezpečnost reaktoru je nutně nižší (pára pohánějící turbínu prochází přímo aktivní zónou reaktoru).

Schematické znázornění tlakovodního a varného lehkovodního reaktoru je uvedeno na obrázku 8.15.

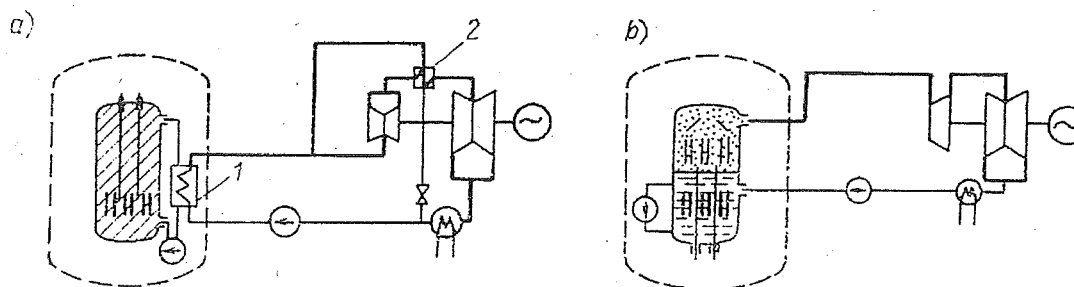


**Obr. 8.13** Uspořádání primárního okruhu se dvěma parogenerátory: 1 – tlaková nádoba reaktoru, 2 – parogenerátor I, 3 – oběhové čerpadlo I, 4 – tlaková nádrž, 5 – parogenerátor II, 6 – oběhové čerpadlo II, 7 – tlakovodní potrubí, 8 – přívod napájecí vody, 9 – výstup páry [2]  
Pozn.: Uvedené uspořádání se svislými parogenerátory je charakteristické pro primární okruhy firmy Westinghouse.



**Obr. 8.14** Parogenerátor pro jadernou elektrárnu s tlakovodním reaktorem: 1 – přívod tlakové vody z reaktoru, 2 – odvod tlakové vody do reaktoru, 3 – odstředivé odlučovače vlhkosti, 4 – ža-  
luziové odlučovače vlhkosti, 5 – výstup páry [2]

**Sekundární okruh** vede páru z parogenerátoru do turbíny, která pohání elektrický generátor. Pára odcházející z turbíny se chladí v kondenzátorech prostřednictvím **třetího chladicího okruhu**. Elektrické napětí je vyvedeno od generátoru přes transformátor do elektrické přenosové sítě (obr. 8.12).



**Obr. 8.15** Lehkovodní reaktory (LWR): a – tlakovodní reaktor s parní turbínou v sekundárním okruhu, b – varný reaktor s přímým parním okruhem (parogenerátor odpadá), 1 – parogenerátor, 2 – přehřívák páry [2]

Popišme si dále tlakovodní reaktor (PWR), který je používán v jaderné elektrárně Temelín (jedná se o modifikovaný **reaktor VVER - 1000**).

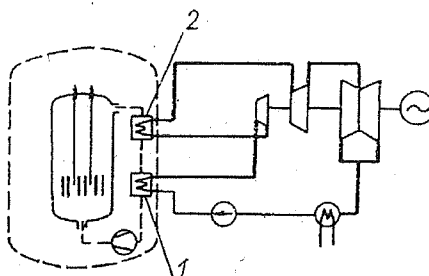
Palivem je oxid urančitý ( $\text{UO}_2$ ) ve formě tabletek seřazených do palivových proutků. Proutky tvořené zavařenými trubkami ze zirkoniové slitiny tvoří palivovou kazetu. Vsázka paliva v reaktoru má hmotnost cca 92 tuny a jednou ročně se vymění asi 1/4 až 1/3 vyhořelého paliva za čerstvé.

V palivu dochází ke štěpné reakci. Jádra atomu uranu se štěpí pomalým neutronem na dvě lehčí jádra a dva nebo tři další neutrony. Štěpné úlomky odlétají velkou rychlostí a díky jejich kinetické energii se ohřívá chladivo. Vylétající neutrony jsou rychlé, a proto aby mohly rozštěpit další jádra uranu, musí být zpomaleny tzv. **moderátorem**, což je voda.

Průběh štěpné reakce se řídí tzv. **regulačními tyčemi**. Tyče obsahují látku, která pohlcuje neutrony, tzv. *absorbátor* (bór, kadmium). Pomocí zasouvání a vysouvání tyčí se řídí počet volných neutronů, které se účastní dalších štěpných reakcí. Řetězová štěpná reakce se tak dá zpomalit, nebo úplně zastavit.

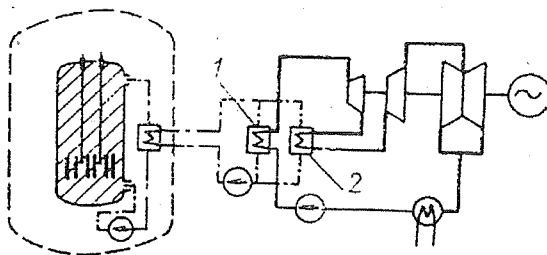
**Chladivem i moderátorem** zároveň je u tlakovodních reaktorů obyčejná, lehká voda (upravená pro energetické účely – demineralizovaná voda). Je udržována pod tlakem cca 15,7 MPa a její teplota při výstupu z reaktoru se pohybuje kolem 320 °C (reaktor JE Temelín).

Reaktor je tvořen tlakovou nádobou se silnými stěnami (200 mm) z nerezové oceli. Má hmotnost 800 tun a rozměry: výška 10,9 m, průměr 4,5 m. I s nadstavbou, kterou tvoří regulační tyče a jejich pohony, je celý reaktor vysoký asi 20 m. **Aktivní zóna**, v níž jsou umístěny palivové kazety, má výšku 3 m a průměr 3,5 m.



**Obr. 8.16** Reaktor chlazený  $\text{CO}_2$  s parní turbínou v sekundárním okruhu (HTGR): 1 – parogenerátor, 2 – přehřívák páry [2]





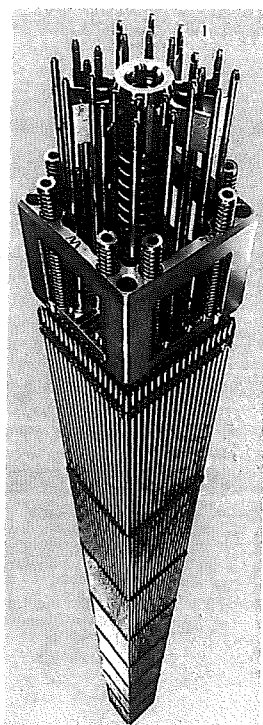
**Obr. 8.17** Rychlý množivý reaktor chlazený sodíkem se sodíkovým sekundárním okruhem a s parní turbínou v terciárním okruhu (FBR): 1 – parogenerátor, 2 – přehřívák páry [2]

### 8.2.1.2 Jaderný palivový cyklus

Uran se těží buď v hlubinných nebo povrchových dolech klasickou technikou, nebo chemicky tak, že se vyluhuje z hornin kyselinou.

V chemických úpravách se ruda rozemele a třídí, louží se kyselinou. Extrahované sloučeniny uranu se srážejí a suší. Vzniká uranový koncentrát  $U_3O_8$  s obsahem přírodního uranu alespoň 65 %, kterému se pro intenzivní žlutou barvu říká **žlutý koláč**.

Následuje rafinace a obohacování uranu izotopem  $^{235}U$ , aby se jeho obsah zvýšil z přírodních 0,7 % na 2,5 % až 4 % (pro tlakovodní reaktory v JE Temelín je doporučeno obohacení 3,7 %). Obohacený uran ve formě oxidu uraničitého se lisuje do tablet. Tablety se spékají za vysokých teplot a vkládají se do trubek ze zirkoniové slitiny. Zavařením těchto trubek vznikají **palivové proutky**. Svazek takových palivových proutků tvoří **palivovou kazetu** (někdy se používá také názvu *palivový článek* či *palivový soubor* – viz obr. 8.18).



**Obr. 8.18** Palivová kazeta tlakovodního reaktoru s regulačními tyčemi (nahore - 1) [34]

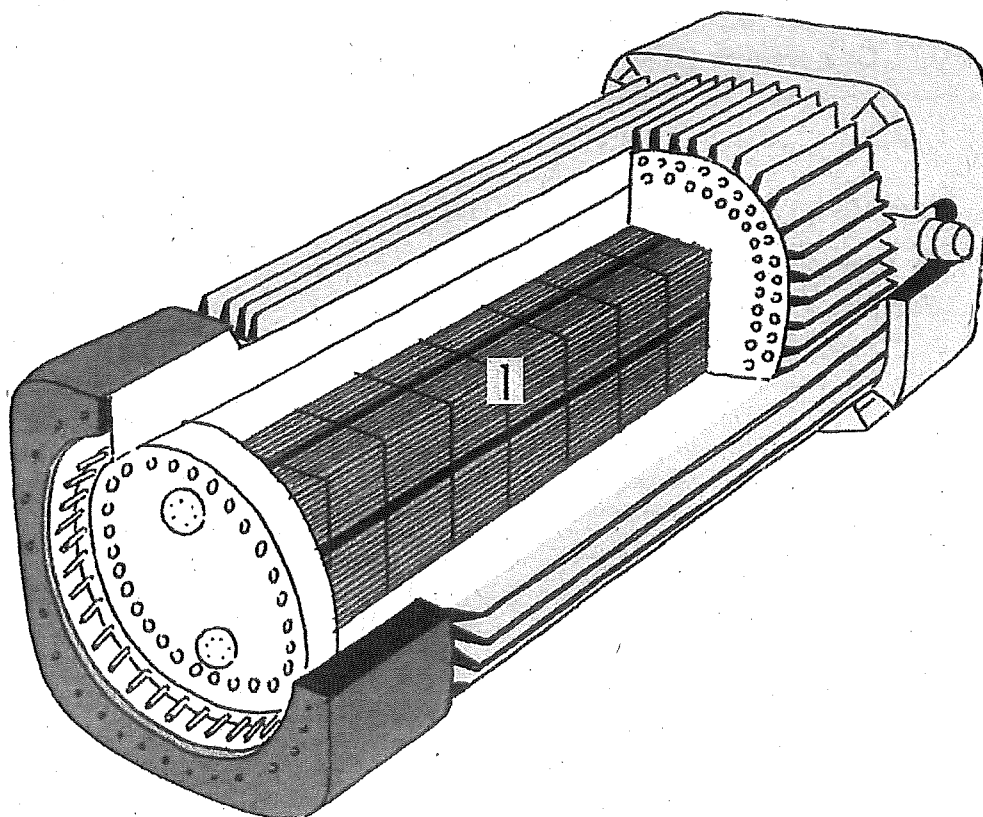
V reaktoru jaderné elektrárny probíhá v palivu řízená řetězová štěpná reakce. Palivo „vyhořívá“ - spotřebovává se uran, uvolňuje se energie a vznikají štěpné produkty.

Po vynětí z reaktoru odpočívá vyhořelé palivo několik let u reaktoru ve speciálním **bazénu**, kde ve vodě chladne a ztrácí část své radioaktivity. Pak se přesune do **meziskladu**. Zde odpočívá dalších několik desítek let. Některé země vyhořelé palivo **přepracovávají** a získávají tak z něho další palivo. Zbytky po přepracování se uloží jako odpad. Jiným způsobem likvidace vyhořelého paliva je jeho **konečné uložení** v tvrdých krystalických horninách nebo solných ložiscích hluboko pod zemí.

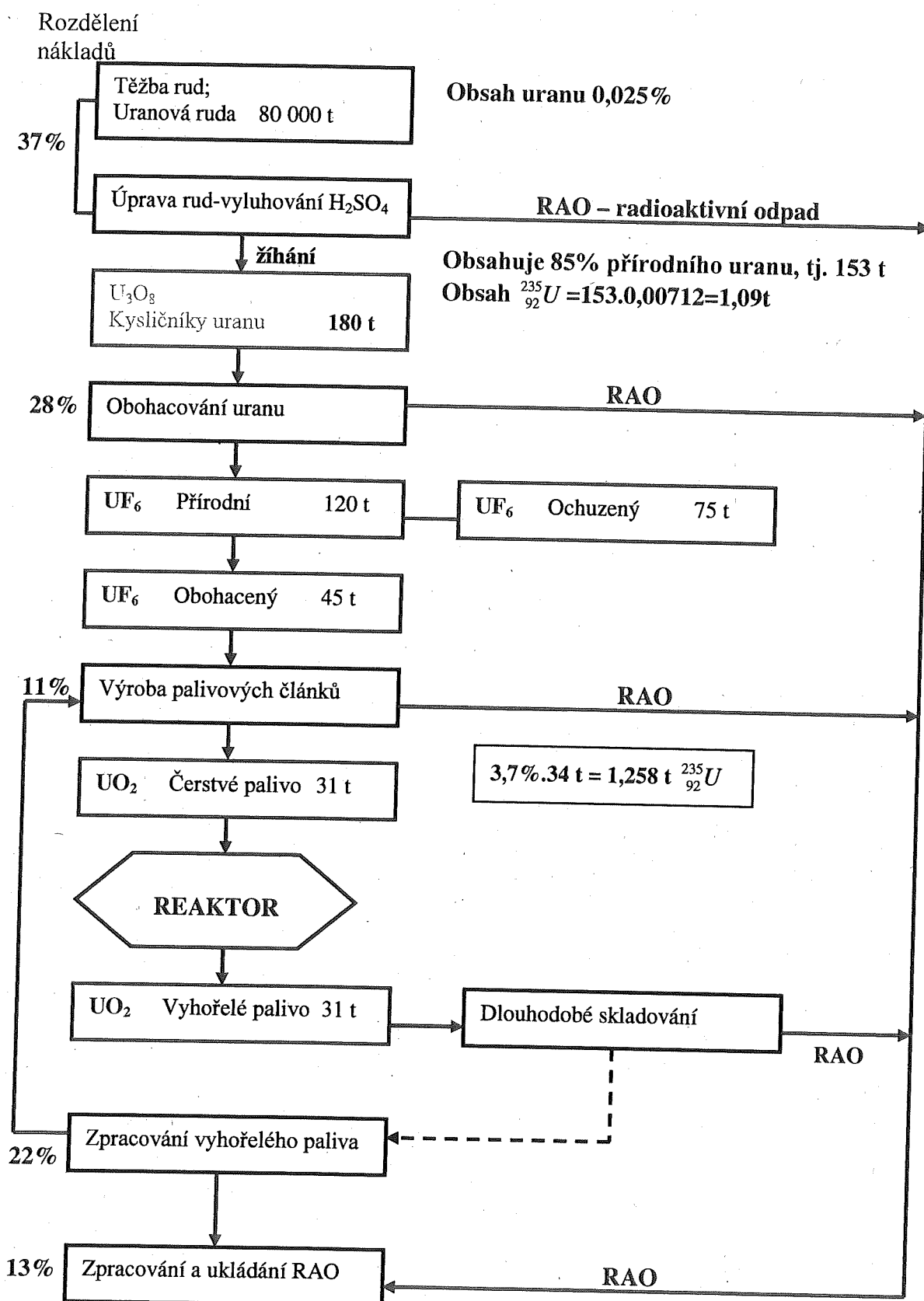
Jaderný palivový cyklus s tokem hmot pro roční provoz lehkovodního reaktoru (1000 MW<sub>e</sub>) je uveden na obrázku 8.20.

### 8.2.1.3 Hospodaření s vyhořelým palivem

Jaderné palivo v aktivní zóně vyhořívá 3 až 4 roky. Každý rok se část nahradí novým palivem a méně vyhořelé palivo se přestěhuje do středu aktivní zóny, kde je vyhořívání intenzivnější. Při **vyměňování paliva** se odstraní víko reaktoru, nad reaktor se umístí speciální nadstavba a celý prostor se zaplní vodou, která slouží jako stínění proti záření. Speciálním zavážecím strojem se pak vyjmou vyhořelé palivové články a pod vodou přemístí do bazénu poblíž reaktoru. Zde vyhořelé palivo odpočívá několik let (zpravidla 4 ÷ 5 let, tuto dobu je možno výrazně prodloužit). Postupně chladne a ztrácí radioaktivitu.

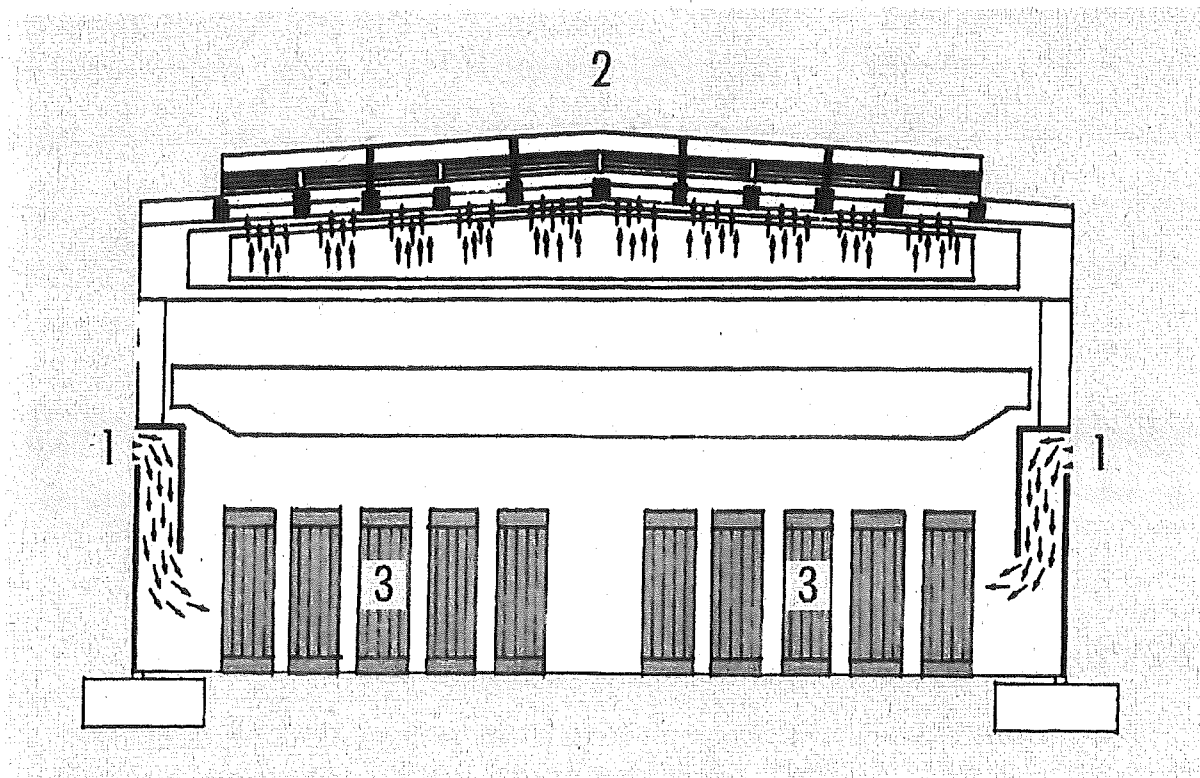


Obr. 8.19 Kontejner typu Castor pro přepravu vyhořelého paliva (1) [35]



**Obr. 8.20** Jaderný palivový cyklus s tokem hmot pro roční provoz lehkovodního reaktoru (1000 MW<sub>e</sub>)

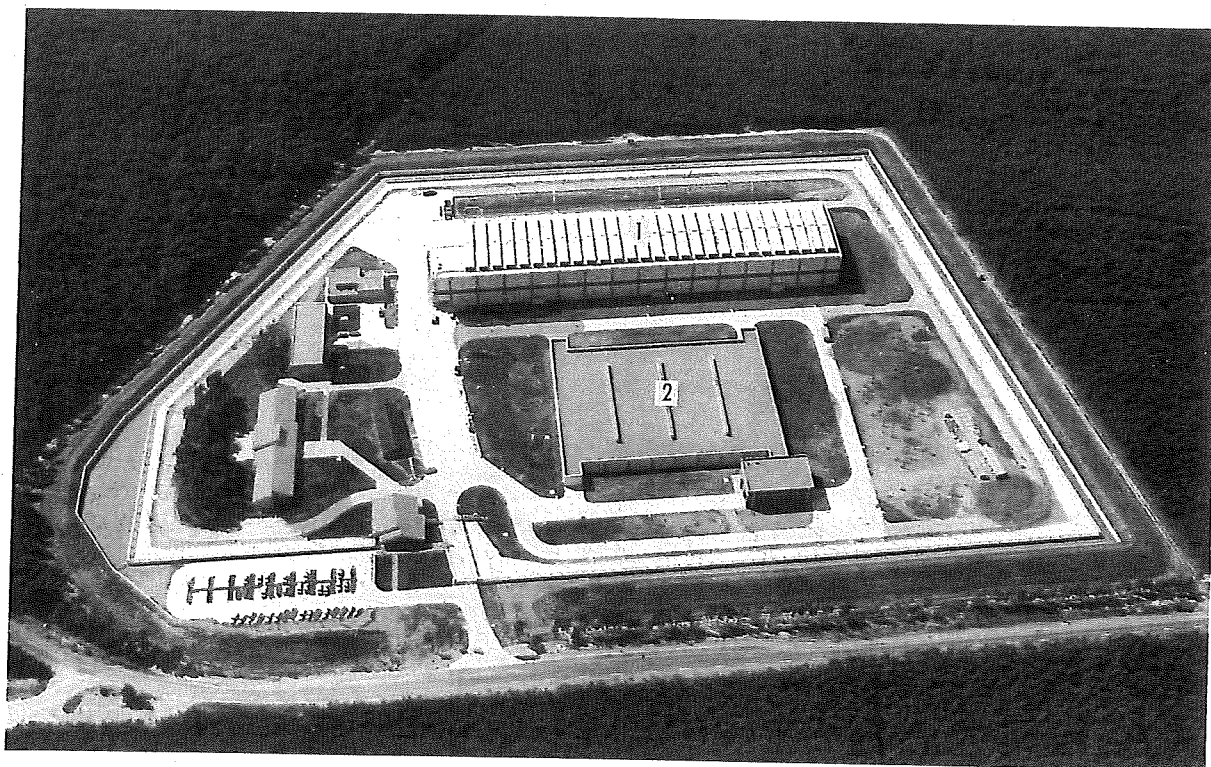
Po uplynutí této doby se vyhořelé palivo (stále pod vodou) přemístí do speciálních **kontejnerů** (obr. 8.19) a ty se převezou do meziskladu. **Mezisklady** mohou být *mokré* (palivo je uloženo pod vodou, která ho chladí a stíní; je to podobné uspořádání, jaké je v bazénu vyhořelého paliva u reaktoru), nebo *suché* (chladicím médiem je vzduch – obr. 8.21). Mezisklad může být nadzemní (obr. 8.22) nebo podzemní, nebo mohou kontejnery stát na volném prostranství. V meziskladu odpočívá vyhořelé palivo asi 40 let. Z meziskladu lze palivo kdykoliv vyzvednout a odvézt, např. k přepracování nebo trvalému uložení.



**Obr. 8.21** Suchý mezisklad RAO (příčný řez skladovací halou): 1 – přívod vzduchu, 2 – odvod vzduchu, 3 – kontejner typu Castor [36]

Novou metodou, jak naložit s vyhořelým palivem je **technologie ADTT** (Accelerator Driven Transmutation Technology). Pomocí silného lineárního urychlovače se tříštivou reakcí vyrobí množství neutronů, kterými se pak štěpí jaderné zbytky v reaktoru. Přitom vzniknou buď prvky s krátkým poločasem rozpadu, nebo dokonce prvky neradioaktivní. Zároveň se vyvíjí velké množství tepla, které lze využít opět pro výrobu elektřiny.

**Trvalá úložiště** jsou připravována v hluboko položených podzemních prostorách určených speciálně k tomuto účelu, výjimečně v podzemních solných dolech (u nás nejsou k dispozici). Několikanásobné bezpečnostní bariéry brání styku vyhořelého paliva s okolním prostředím. Jsou to zejména obaly a schránky, v nichž je palivo umístěno, speciální těsnicí materiály a zejména vlastnosti horniny, v níž je úložiště vybudováno.



**Obr. 8.22** Suchý mezisklad vyhořelého paliva v Gorleben (Německo): 1 – hala pro skladování vyhořelého paliva, 2 – hala pro skladování upraveného středně a máloaktivního jaderného odpadu [36]

## 8.2.2 Působení jaderné energetiky na životní prostředí

Vliv jaderné elektrárny na životní prostředí je především spojen s bezpečností jejího provozu a s produkcí a následným nakládáním s různými druhy radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva [18]. Nicméně ani související tepelné znečištění není možno bagatelizovat.

### 8.2.2.1 Radioaktivní odpady z palivového cyklu jaderných elektráren

Typy vznikajících radioaktivních odpadů (RAO) u palivového cyklu jaderných elektráren jsou patrné z obrázku 8.20.

V uranových rudách je uran v radioaktivní rovnováze s radionuklidy své rozpadové řady [5]. Pokud je ruda v původním stavu, jsou možnosti kontaminace životního prostředí velmi omezené a projevují se významněji jen existencí radioaktivních minerálních vod, které ovšem nejsou považovány za odpad. Hornickým zásahem do přirozené struktury ložiska dochází k uvolnění především části radonu, který jednak kontaminuje ovzduší (zejména přímo v dole), jednak je zdrojem tvorby radioaktivních povlaků, jejichž základem je radium D ( $^{210}\text{Pb}$ ). Vytěžená hlušina, která samozřejmě obsahuje i jistý podíl uranu, však není zdrojem významných problémů.

K výraznému narušení minerální struktury a tím i k uvolnění radioaktivních komponent rudy dochází až v dalším stadiu zpracování rudy, které probíhá zpravidla v tzv. chemických úpravách. Uran je loužen z jemně rozemletých rud karbonátovými nebo kyselými roztoky. Většina radionuklidů zůstává v tzv. louženci, který je ukládán

na odkalištích. Louženec má charakter vysloveně radioaktivního odpadu a tomu musí odpovídat lokalizace, konstrukce a pomocné vybavení odkališť jejich monitorovací a zabezpečovací systém. Také nebilanční vody musí být dekontaminovány. V současné době je riziko z těchto odpadů hodnoceno jako vyšší než riziko, jehož zdrojem jsou odpady z provozu jaderných elektráren.

RAO z výroby palivových materiálů a jaderného paliva prakticky nemají význam (u nás se jaderné palivo nevyrábí). Odpady, pokud vznikají, jsou téměř beze zbytku recyklovány, takže příslušné technologie lze považovat za bezodpadové. Pokud se týká odpadů z provozu jaderných elektráren, pak zdrojem radioaktivní kontaminace těchto odpadů jsou dva. *Prvním* jsou nehermetičnosti palivových článků, které umožňují průnik produktů štěpení do aktivní zóny reaktoru, ze které se pak dostávají nejprve do chladiva primárního okruhu a s ním pak i do dalších míst. Únikovými cestami jsou tzv. organizované úniky (záměrně odebírané části objemu chladiva, nutné pro regulaci obsahu bóru v chladivu), dále neorganizované úniky (různými netěsnostmi), dekontaminační roztoky, používané před revizemi a opravami, a konečně měniče iontů z ionexové smyčky primárního okruhu.

*Druhým* zdrojem kontaminantů je vysoký neutronový tok v aktivní zóně, který je příčinou neutronové aktivace materiálů v této zóně. Vzniklé radionuklidy přecházejí zčásti do chladiva a s ním pak i dále.

Při dekontaminaci povrchů, kontaminovaných zejména při neorganizovaných únicích chladiva a také při zpracování vzorků chladiva, vznikají různé typy kapalných i pevných odpadů. Kapalně odpady jsou shromažďovány cestou samotného kanalizačního systému a před dočasným uskladňováním v nerezových nádržích zahušťovány na odparce.

Koncentráty kapalných RAO jsou nejvýznamnějším typem RAO z provozu jaderných elektráren. Jejich základními makrokomponentami jsou soli kyseliny borité (z chladiva) a dusičnany (z elučních roztoků iontových stanic a z dekontaminačních roztoků); dále obsahují různé komponenty dekontaminačních roztoků (např. kyselinu citronovou).

Roční produkce kapalného koncentrátu se např. v jaderné elektrárně Dukovany pohybuje kolem  $150 \text{ m}^3$  na jeden  $440 \text{ MW}_e$  blok při středním obsahu solí  $200 \text{ kg/m}^3$ , kyseliny borité  $80 \text{ kg/m}^3$  a měrné aktivitě pod  $5 \cdot 10^9 \text{ Bq/m}^3$ .

Dalším typem odpadů, s nimiž se setkáváme při provozu jaderných elektráren, jsou plynné radioaktivní odpady, uvolňované jako plynné štěpné produkty; tyto jsou vedeny vzduchotechnickými systémy na tzv. zpožďovací kolony. Jsou to sorpční kolony, jejichž účelem je zpomalit průchod radioaktivních plynů tak, aby jejich radioaktivita poklesla pod povolenou aktivitu plyných výpustí. Účinnost těchto systémů je dostatečná a jejich životnost je delší než životnost elektrárny. Prochází jedine tritium, které je rovněž součástí plyných odpadů, ale jeho množství jsou tak malá, že dosahují jen zlomku povolených výpustí.

Pro vyhořelé palivo není k dispozici okamžité racionální využití. Dříve nebo později se však bude muset zpracovat, protože obsahuje příliš cenné komponenty, zejména nevyužitý štěpný materiál a štěpný materiál sekundární.

Palivo bude po přechodném uskladnění (viz výše), jehož účelem je nutný pokles radioaktivity k usnadnění manipulace, zřejmě odesíláno k přepracování do zahraničí. Je však nutné počítat s tím, že spolu se separovanými cennými složkami budou do ČR vraceny i zpracované (vitřifikované) odpady. Bude proto nutné postavit pro ně také trvalé úložiště (vhodná lokalita je neustále na našem území hledána).

### 8.2.2.2 Radioaktivní odpady z anomálních stavů a z likvidace jaderných elektráren

U každé jaderné elektrárny nutno uvažovat se stavem, kdy dochází k její likvidaci. V tomto případě musí být provedeno množství dekontaminačních prací, většinou s použitím drastičtějších prostředků, než při běžném provozu elektrárny (tzv. tvrdá dekontaminace). I tak zůstane zúžené množství zejména kovového odpadu, který nelze dostatečně dekontaminovat a je nutné jej považovat za odpad radioaktivní [5].

Druhým typem situací, při nichž mohou vznikat RAO jiného složení, jiných aktivit a v jiných množstvích, než při normálním provozu jaderné elektrárny, jsou různé anomální provozní události. Jejich charakter je proměnný od drobných provozních poruch až po maximální projektovou havárii. S menšími poruchami musí každá jaderná elektrárna počítat; RAO, které při nich vznikají, se svým charakterem obvykle příliš neliší od běžných provozních odpadů. Druhým extrémem, sice velmi málo pravděpodobným, ale povinně uvažovaným v projektu, je maximální projektová havárie. Byla by následkem úplné ztráty chladiva a projektový odhad množství a aktivity následně vzniklých RAO může být např. až 1 000 m<sup>3</sup> kapalných RAO o solnosti řádu 10 kg/m<sup>3</sup> a měrné aktivitě, přesahující měrnou aktivitu koncentráту z běžného provozu až o několik řádů. Elektrárna musí být vybavena i pro zneškodnění takových odpadů.

Dlouhodobá strategie České republiky v oblasti odpadů z jaderné energetiky je formulována v dokumentu Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem (usnesení vlády č. 487 ze dne 15.5.2002).

Vyhořelé jaderné palivo je v současné době skladováno v tzv. meziskladech (mezisklad vyhořelého jaderného paliva v jaderné elektrárně Dukovany a nová výstavba meziskladu probíhá v jaderné elektrárně Temelín).

Dozor nad bezpečným ukládáním radioaktivního odpadu v souladu s požadavky na ochranu člověka a životního prostředí před nežádoucími vlivy těchto dopadů má Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO), která byla zřízena na základě atomového zákona.

Atomový zákon č. 18/1997 Sb. upravuje legislativní podmínky týkající se jaderné energie a ionizujícího záření v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné chemické a biologické ochrany vykonává Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

### 8.2.2.3 Tepelné znečištění

Tepelnou účinnost elektrárny definujeme jako poměr vyrobené elektrické energie k množství tepla, vyrobeného v reaktoru jaderné elektrárny nebo ve spalovacím zařízení klasické elektrárny na fosilní paliva. Teplo, které se nepromění v elektrickou energii, představuje z hlediska výroby elektrické energie odpad, který je třeba vhodnými metodami dále využívat nebo rozptylovat [37]. Tepelná účinnost nejmodernějších klasických elektráren, spalujících fosilní paliva, je kolem 40 %, v průměru však je o několik procent nižší (účinnost obnovených bloků elektráren Tušimice II a Pruněrov má činit 38 %). Představu o tepelné účinnosti a množství odpadového tepla, produkovaného jadernými elektrárnami s reaktory různých typů, dává tab. 8.3 (viz výše kap. 8.2.1.1). Tepelná účinnost současných elektráren s lehkovodními a těžkovodními reaktory je tedy nižší než účinnost klasických elektráren. Podstatné zvýšení účinnosti elektráren není možno očekávat ani v blízké budoucnosti (odhaduje se zvýšení na maximálně 45 %), a proto je třeba počítat při dalším zvyšování výkonů energetiky s problémem odpadového tepla.

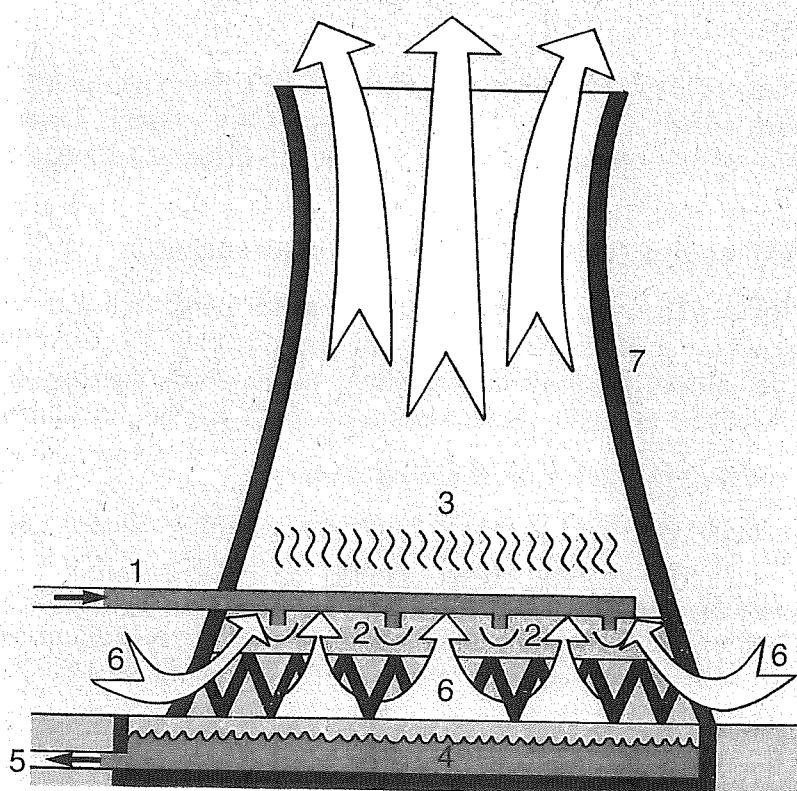
**Odpadové teplo** se stává aktuálním problémem v posledních letech, hlavně



v souvislosti s rozvojem jaderné energetiky. Souvisí to s nižší účinností jaderných elektráren a s průměrně vyšší produkcí odpadového tepla a dále s tím, že podle současných tendencí jsou do jednotlivých lokalit soustřeďovány velké jaderné kapacity a odpovídající množství odpadového tepla.

Poměrně nízká účinnost při výrobě elektrické energie je silným podnětem při rozvíjení metod využití odpadového tepla. Praktické možnosti využití odpadového tepla jsou však ztížené poměrně nízkou tepelnou úrovní odpadového tepla z dnešních kondenzačních elektráren (v rozpětí  $25 \div 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Tradiční způsoby využití tepla (topení, ohřívání) jsou nevhodné. Je nutno hledat nové způsoby využití anebo dodatečně ohřívát chladicí médium na vyšší teplotu. První způsob je investičně náročný a druhý představuje zásah do ekonomiky elektrárny coby výrobce elektrické energie. Využití odpadového tepla proto zůstává složitým technicko-ekonomickým problémem a při současných a budoucích elektrárenských kapacitách je nutno spíše počítat s rozptylováním odpadového tepla do okolí.

Prakticky všechno odpadové teplo se uvolňuje při chlazení kondenzátorů elektrárny. Nejekonomičtější způsobem chlazení je chlazení průtočné a rozptylování odpadového tepla do vodních zdrojů. Voda chladicí kondenzátory se odebírá z velkých přirozených nebo umělých vodních zdrojů (jezera, řeky) a ohřátá se vrací do těchto zdrojů zpět. Pro ilustraci je možno uvést, že elektrárna s elektrickým výkonem 1000 MW, s tepelnou účinností 33 % a s průtokovým chlazením při spotřebě  $50\text{ m}^3/\text{s}$  chladicí vody zvýší teplotu této vody asi o  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ohřívání vody je vážným zásahem do ekologických systémů v přírodních vodních zdrojích. Je proto zřejmé, že použití průtokového chlazení je limitováno kapacitou vodních zdrojů a požadavkem na udržení ekologické stability v nich.



**Obr. 8.23** Chladicí věž: 1 - přítok chladicí vody z kondenzátoru, 2 - rozvod chladicí vody, 3 - odlučovač kapek, 4 - jímka chladicí věže, 5 - odtok chladicí vody do kondenzátoru, 6 - proud vzduchu, 7 - stěna chladicí věže [38]



Druhým možným způsobem chlazení kondenzátorů je rozptylování odpadového tepla do atmosféry. Kondenzátor je chlazený vodou, ohřátá voda se ochlazuje vzduchem v chladicí věži (obr. 8.23) a vrací se ke kondenzátoru. V současné světové praxi jsou převládajícím typem mokré chladicí věže s přirozeným tahem nebo s ventilátory.

Chladicí věže jaderných elektráren mohou jako mohutné zdroje odpadového tepla ovlivňovat energetickou bilanci v atmosféře v lokálním měřítku a při větší koncentraci chladicích věží i v územním měřítku. Mokré chladicí věže emitují do atmosféry kromě teplého vzduchu i vodní páru a vodní kapičky. Např. průměrné množství vody, které je odpařeno nebo vypuštěno z chladicích věží dvou bloků jaderné elektrárny Dukovany o celkovém výkonu 880 MW<sub>e</sub>, je asi 0,6 m<sup>3</sup>/s. Tato relativně velká množství vody jsou nositelem tepelné energie ve formě latentního tepla vypařování. Při fázových přechodech emitované vody se toto teplo uvolňuje nebo spotřebuje a významně ovlivňuje chování vlečky teplého vzduchu a vodní páry.

Lokální klimatické efekty mokrých chladicích věží jsou dále závislé na druhu a výšce chladicí věže [37]. Věže s ventilátory jsou obvykle nižší než věže s přirozeným tahem, což významně ovlivňuje intenzitu efektů na zemském povrchu.

Potenciální efekty spojené s uvolňováním odpadového tepla a vody z mokrých chladicích věží do atmosféry lze rozdělit do několika skupin:

#### **Tvoření přízemní mlhy v okolí chladicích věží**

Přízemní mlha se může vytvářet při trvalejším dotyku viditelné vlečky kondenzovaných vodních par s povrchem země nebo při dostatečném zvýšení vlhkosti v přízemní vrstvě atmosféry v důsledku disperze vodních par směrem od středu vlečky vodních par k povrchu.

Modelové studie ukázaly, že dotyk viditelné vlečky s povrchem přichází v úvahu jen při nízkých chladicích věžích. Od výšky 80 m ho lze prakticky vyloučit. Dosažení podmínek pro kondenzaci vodní páry v blízkosti povrchu v důsledku disperze se může vyskytnout jen v blízkosti věží.

#### **Vytváření viditelné vlečky vodních par a její stínicí účinek**

Viditelná vlečka, která vzniká při kondenzaci vodní páry, více a nebo méně odráží sluneční záření a redukuje jeho intenzitu na zastíněném povrchu. Výsledný efekt zeslabení slunečního záření je závislý na velkém komplexu údajů. Podle některých zahraničních propočtů nepřesáhne snížení intenzity slunečního záření 2 ÷ 3 % jeho původní hodnoty.

#### **Zvyšování množství srážek v okolí chladicí věže**

Vertikální vzduchový proud v chladicí věži unáší drobné neodpařené kapky vody. Za příznivých podmínek mohou tyto kapky dopadat na zemský povrch v blízkosti věže. Unášení kapek podstatně omezuje odlučovače kapek (viz pozice 3, obr. 8.23), jimiž jsou vybaveny moderní věže. Podle zahraničních odhadů a měření je maximum umělých srážek ve vzdálenosti 2 ÷ 4násobku výšky chladicí věže a nepřesahuje hodnotu 10 ÷ 20 mm ročně.

#### **Unášení a usazování chemických sloučenin v okolí**

Neodpařené unášené kapky obsahují sloučeniny a nečistoty, které obsahuje chladicí voda. Při usazování kapek v okolí znečišťují tyto látky zemský povrch. Je zřejmé, že deponovaná množství budou přímo úměrná sumárnímu množství umělých srážek.

### Tvoření námrazy

Při dotyku vlečky vodních par s povrchem anebo při spadu unášených kapek na zemský povrch může dojít při záporných teplotách k tvorbě námrazy. Vysoká zařízení v okolí chladicích věží mohou být zasažena viditelnou vlečkou s větší pravděpodobností i ve větší vzdálenosti od chladicí věže.

### Zvýšení teploty v okolí

Při slabé horizontální výměně v atmosféře může teplo uvolněné chladicí věží způsobit vzrůst teploty v jejím blízkém okolí. Podle zahraničních zkušeností zvýšení teploty v přízemní vrstvě nepřesahuje běžnou přesnost měření teploty v meteorologii (tj. 0,2 °C).

### Synergické efekty

Radioaktivní exhaláty vypouštěné komínem jaderné elektrárny se při vhodném směru větru dostávají k objektům chladicích věží. Na exhaláty mohou působit tyto efekty:

- aerodynamické srážení vlečky exhalátů v závětrí chladicí věže,
- interakce radioaktivních exhalátů, kondenzátů a vodních kapek a vymývání radioaktivních exhalátů z vlečky na povrch,
- zvýšení efektivní výšky vlečky radioaktivních exhalátů v důsledku tepelné emise chladicí věže.

Prvé dva efekty působí na zvýšení radiačních dávek, třetí efekt způsobuje jejich snížení.

### Ovlivňování regionálních klimatických poměrů

Na dosavadních zařízeních nebylo ovlivňování regionálních klimatických poměrů jednoznačně prokázáno. Předpokládá se však, že analogicky jako teplo, produkované velkými populačními centry, může i teplo z chladicích věží spolupůsobit v určitých situacích při iniciaci regionálních jevů (bouřka, ledovec, nárazový vítr). Dle japonských předpokladů je tepelná emise 8 000 MW z bodového zdroje, kterým mohou být např. chladicí věže velkých jaderných či tepelných elektráren v určité lokalitě, hraniční emisí, způsobující značné ovlivnění regionálních klimatických poměrů.

## 8.3 Obnovitelné zdroje energie

Úloha obnovitelných zdrojů (OZE) aktuálně vzrůstá. Podpora využití OZE je ustanovena zejména v zákonu č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektrické energie z OZE, a je prováděna především podporu výkupních cen elektrické energie z OZE. Z dostupných údajů je patrné, že v posledních 10 letech nastal nejvyšší poměrný nárůst výroby elektřiny z OZE v kategorii využití biomasy (nárůst o 142 %) a u elektrické energie pocházející z vodních elektráren (o 43 %). Zvyšování podílu energie produkované z OZE je důležitým nástrojem minimalizace negativních vlivů energetiky na životní prostředí.

V roce 2006 produkce elektrické energie i tepla z obnovitelných zdrojů energie vzrostla následovně:

- Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů se podílela na tuzemské *hrubé spotřebě* elektřiny 4,9 %.
- Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů se podílela na celkové tuzemské *hrubé výrobě* elektřiny 4,2 %.

Množství energie z OZE zaznamenalo v roce 2006 nárůst o 10 %. Přitom výroba elektrické energie z OZE meziročně vzrostla o 12,3 % a dosáhla produkce 3,5 TWh.

Hlavní oblastí využití OZE však zůstává výroba tepelné energie. Produkce tepelné energie z OZE vzrostla v roce 2006 o 3,3 % a dosáhla produkce 47 PJ.

V současnosti jsou v České republice nejvyužívanějšími obnovitelnými zdroji energie (OZE) vodní energie a energie biomasy (zejména dřevní).

Menší objem výroby elektřiny z OZE v roce 2003 byl způsoben poškozením většiny větších vodních elektráren povodní v srpnu 2002 a velkým suchem.

Produkce elektřiny z větrných elektráren dosáhla v roce 2005 49 GWh s meziročním zvýšením o 130 %. I přes zvýšení produkce avšak podíl větrné dosáhl v roce 2006 pouze 1,4 % na celkové produkce energie z OZE a 0,05 % na hrubé domácí spotřebě elektřiny.

V roce 2005 pokryla výroba elektrické energie z OZE 4,5 % hrubé domácí spotřeby elektřiny, v roce 2006 pak stoupl podíl na 4,9 %, což znamená oproti roku 2005 navýšení o 0,4 %.

Využití obnovitelných zdrojů k výrobě elektrické energie se zvyšuje relativně pomalu. Indikativní cíl Státní energetické koncepce pro rok 2005, kdy bylo plánováno 5 ÷ 6 % OZE na hrubé spotřebě elektřiny, naplněn nebyl. Česká republika se jako členský stát Evropské unie zavázala ke zvýšení výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Indikativní cíl jako závazek vůči EU byl stanoven ve výši 8 % podílu na hrubé spotřebě elektřiny v roce 2010. V roce 2012 bychom měli získávat z obnovitelných zdrojů alespoň 12 % el. energie.

V roce 2005 byl přijat zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů [23]. Ten vytváří pro využití OZE takové podmínky, které mají pro elektřinu vyrobenou z těchto zdrojů zajistit místo na trhu. Cena elektřiny by dle tohoto zákona měla být stanovena tak, aby se investice do dodaného obnovitelného zdroje, včetně přiměřeného zisku, do určité doby vrátily (15 až 20 roků).

V podílu OZE na celkové spotřebě elektrické energie se Česká republika řadí mezi státy EU s nízkým podílem. Problémem je malá dostupnost potenciálu OZE v ČR, kde nejsou tak velké možnosti pro vodní elektrárny, jako např. v Norsku a Rakousku, a pro větrné elektrárny, jako např. v Německu. Ve využití biomasy je však potenciál srovnatelný s ostatními zeměmi střední Evropy.

Největší podíl na výrobě tepelné energie z OZE má v ČR pevná biomasa, ostatní OZE se na výrobě tepla podílejí daleko menší měrou. Rozhodujícím faktorem při odhadu výroby tepla z OZE je spotřeba biomasy v domácnostech. Teplo vyrobené z biologicky rozložitelné části spalovaných komunálních odpadů (BRKO) se podílí 28 % na celkové výrobě tepla z OZE. Dosud velmi malý význam (cca 1,1 %) má výroba tepla z bioplynu. K získání energie je také možno využít spalování odpadů v zařízeních, která mají souhlas příslušného krajského úřadu k zneškodňování odpadu s využitím získané energie. V tomto případě se jedná o druhotný zdroj tepla.

### 8.3.1 Vodní elektrárny

Specifičnost využívání vodní energie vyžaduje použití turbín nejrozličnějších typů, výkonů, rozměrů a konstrukcí podle konkrétních hydrologických a morfologických podmínek místa instalace [16]. Velký počet typů vodních turbín používaných v rozličných variantách

konstrukčního a projekčního řešení vyžaduje jednotnou základní terminologii, jejíž obsahový význam umožňuje přesnou klasifikaci a začlenění stroje.

### Členění vodních elektráren podle výkonu

- Od 100 MW<sub>e</sub> - velké elektrárny.
- Do 100 MW<sub>e</sub> - střední elektrárny.
- Do 10 MW<sub>e</sub> - horní výkonová hranice pro malé vodní elektrárny (MVE).
- Do 1 MW<sub>e</sub> - MVE průmyslové, veřejné, závodní.
- Do 100 kW<sub>e</sub> - MVE drobné.
- Do 35 kW<sub>e</sub> - mikrozdroje (starší verze).
- Do 2 kW<sub>e</sub> - mobilní zdroje.

### Uspořádání vodních elektráren

- *Průtočné elektrárny* (říční) – jsou umístěny v přímém kontaktu s vodním tokem. Podle dispozice mohou být břehové, nebo pilířové, vždy v kontaktu s tělesem jezu.
- *Derivační elektrárny* – umístěné na uměle vytvořeném kanálu, kterým se po určitém úseku derivace vrací voda do původního toku. U tohoto typu mohou být derivace vytvořeny otevřeným kanálem, nebo v uzavřeném potrubí jako tlakové, nebo s volnou hladinou.
- *Akumulační elektrárny* (přehradové) – využívají vodní nádrže pro akumulační (přerušovaný) špičkový provoz (viz dále obr. 8.27).
- *Přečerpávací elektrárny* – reverzní, nebo třístrojové (čerpadlo, turbína, generátor).
- *Vyrovňovací elektrárny* – k vyrovnávání odtoků z akumulační elektrárny.

### Typy vodních elektráren podle druhu zapojení

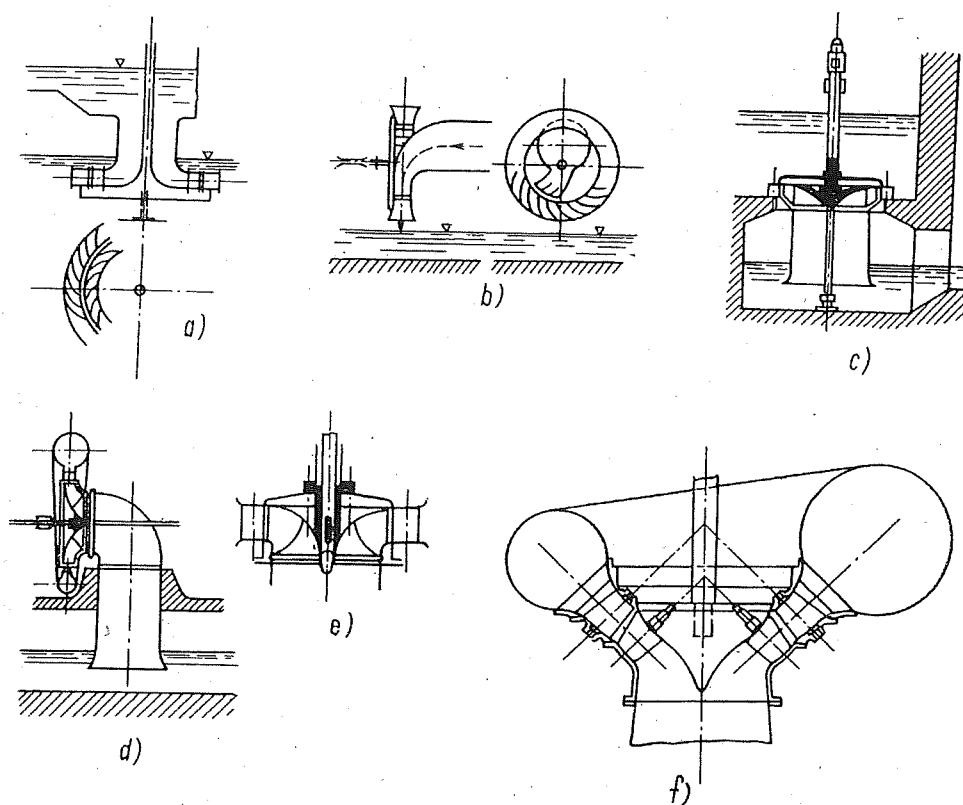
- samostatné - nezávislé na veřejné rozvodné síti, předávající výrobu do samostatné, vydělené sítě pro vlastní využití,
- zapojené - pracující paralelně s veřejnou energetickou sítí, s dodávkou energie pro energetický distribuční (rozvodný) podnik.

#### 8.3.1.1 Rozdělení vodních turbín

Vodní turbíny jsou poháněny pohybovou energií vody. Voda protéká nejdříve pevnými rozváděcími kanály, v nichž se buď celá tlaková energie, nebo jen její určitá část, mění v energii pohybovou. Voda vytékající v jistém úhlu z rozváděcích kanálů vtéká do obráceně zakřivených oběžných kanálů, v nichž tlakem proudu na zakřivené lopatky působí točení oběžného kola [3].

Mění-li se celá tlaková energie vody v rozváděcích kanálech v energii pohybovou, vytéká z nich voda rychlostí  $c = \sqrt{2gH}$  za nulového hydrostatického přetlaku. Proto se při průtoku vody následujícími oběžnými kanály tlak vody nemění, takže tlak vody při výtoku z oběžného kola je stejný jako při vtoku. Proto tyto turbíny nazýváme *rovnotlaké* (příp. *stejnотlaké*). Rychlost vody proudící po lopatce (relativní) má stejnou velikost od vtoku do kola až k výtoku, neboť zde není přetlak, který by vodu urychloval. Relativní rychlost mění pouze směr, což je způsobeno zakřivením lopatky.

Mění-li se v rozváděcích kanálech pouze část tlakové energie v pohybovou, má voda při výtoku z rozváděcích kanálů ještě zbývající tlakovou energii. Při průtoku následujícími oběžnými kanály se tato zbývající tlaková energie mění v pohybovou, takže hydrostatického tlaku vody od vtoku do oběžných kanálů k výtoku ubývá; naopak relativní rychlost po lopatce se směrem k výtoku zvětšuje. Absolutní rychlost je v obou případech při výtoku z oběžného kola menší než při vtoku, neboť voda odevzdala svou energii oběžnému kolu. Poněvadž u těchto druhů turbín voda protéká oběžnými kanály za přetlaku, nazýváme je *přetlakové*.

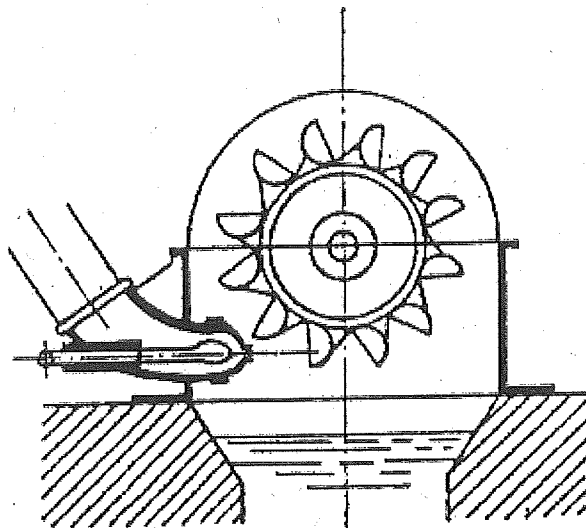


Obr. 8.24 Turbíny radiální (a ÷ c), radiaxiální (d ÷ e - Francisovy), diagonální (f - Dériazova)

Rovnotlaké turbíny se označují také jako *akční* a přetlakové jako *reakční*.

Kromě uvedeného zásadního rozdělení se rozlišují vodní turbíny též podle směru, kterým přitéká a odtéká voda z oběžného kola vzhledem k hřídeli turbíny, přičemž se však nepřihlíží k otáčení vody kolem hřídele. Protéká-li voda oběžným kolem rovnoběžně s osou hřídele, nazýváme turbínu *turbínou axiální*. Protéká-li voda kolmo ke hřídeli, nazýváme turbínu *turbínou radiální* (obr. 8.24, a÷c). Mění-li voda směr proudění v prostoru oběžného kola z radiálního na axiální, nazýváme takovou turbínu *turbínou radiaxiální* (obr. 8.24, d÷e). Radiální turbína může mít rozváděcí kolo buď vně kola oběžného, takže voda teče směrem dostředivým a turbínu nazýváme *centripetální*, resp. s vnějším vtokem nebo je rozváděcí kolo uvnitř oběžného kola, kdy mluvíme o turbíně *centrifugální* neboli s vnitřním vtokem. Voda může též protékat rozváděcím i oběžným kolem šikmým ke hřídeli; taková turbína se nazývá *kuželová* nebo *diagonální* (obr. 8.24, f). Na obr. 8.25 je naznačena turbína *tangenciální*, u níž voda na oběžné kolo přitéká jako volný paprsek ve směru tečny k oběžnému kolu.

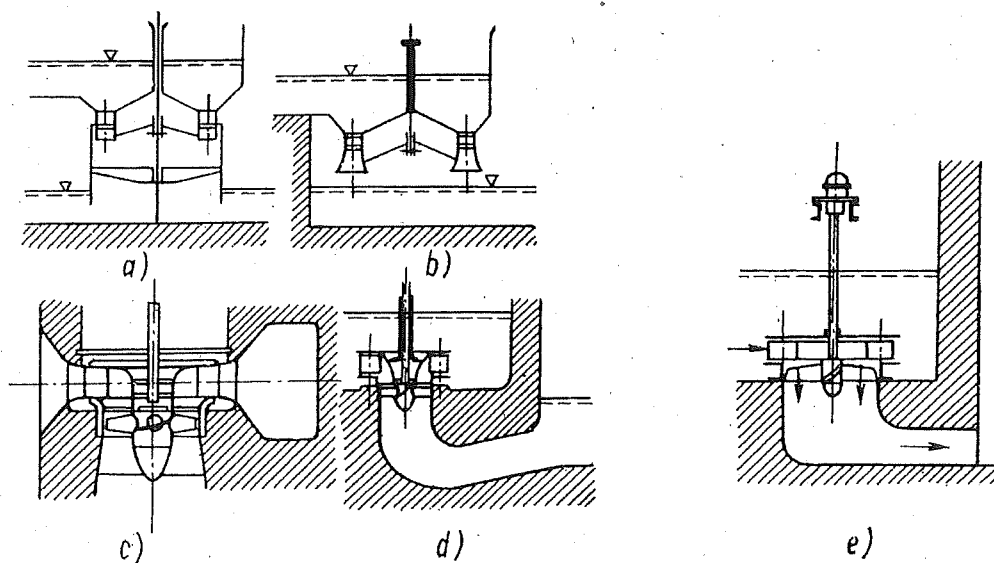
Pokud jde o polohu hřídele, mohou mít veškeré uvedené druhy turbín hřídel vodorovný nebo svislý. Vtéká-li voda do oběžného kola na celém obvodu, jde o *turbínu s plným vtokem*, vtéká-li jen na část obvodu, jde o *turbínu s částečným vtokem* neboli *turbínu parciální*. Částečný vtok se volí jen u rovnotlakých turbín; přetlakové turbíny by v tomto případě měly příliš špatnou účinnost.



Obr. 8.25 Turbína tangenciální (Peltonova)

Dnes se používají převážně jen turbíny těchto systémů:

- *Turbína Francisova* (původně z roku 1849), což je radiální nebo radiaxiální turbína přetlaková, centripetální (obr. 8.24, d ÷ e).
- *Turbína Peltonova* (z roku 1880), tangenciální stejnotlaká turbína parciální (obr. 8.25).
- *Turbína propelerová a Kaplanova* (z roku 1919), přetlaková axiální s radiálním rozvodným kolem, přičemž Kaplanova turbína má natáčivé oběžné lopatky (obr. 8.26.).
- *Turbína Dériazova* (z roku 1955), diagonální, s natáčivými lopatkami oběžného kola.
- Méně rozšířené jsou turbíny *Bánkiho*, *Reiffensteinova* a *Kviatkovského*, hodící se jen pro malé výkony.



Obr. 8.26 Turbíny axiální (c - e - Kaplanovy)

### 8.3.1.2 Vztahy mezi spádem, průtokem, výkonem a účinností vodních turbín

Klesne-li množství vody o hmotnosti 1 kg o  $H$  metrů tak, že dospěje do spodní polohy nulovou rychlostí, vyková přitom toto množství vody práci  $g \text{ [N]} \cdot H \text{ [m]} = gH \text{ [J]}$ . Protéká-li každou sekundu množství vody  $Q \text{ [m}^3/\text{s]}$ , pak při výškovém rozdílu  $H \text{ [m]}$  ve smyslu zemské tíže je za každou sekundu vykonána práce, neboli odevzdán výkon  $P_t \text{ [W]}$ :

$$P_t = \rho g Q H \quad [\text{W} = \text{kg m}^2/\text{s}^3],$$

kde  $\rho$  je *měrná hmotnost vody*  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,  $g$  je *tíhové zrychlení*  $[\text{m}/\text{s}^2]$ ,  $Q \text{ [m}^3/\text{s}]$  u turbín nazýváme krátce *průtok* a  $H \text{ [m]}$  *spád*. Největší průtok, který je vůbec turbína schopna propustit, se nazývá *hltnost*.

Tento výkon  $P_t$ , který nazýváme *teoretický*, neobdržíme z vodního motoru celý, protože přeměna hydraulické energie v mechanickou je spojena se ztrátami. *Efektivní výkon* na spojce motoru, který označíme  $P_{ef}$ , bude menší než  $P_t$ , takže platí

$$P_{ef} = \eta P_t$$

kde  $\eta$  je koeficient  $< 1$ , nazývaný *účinnost*. Efektivní výkon pak bude:

$$P_{ef} = \rho g Q H \cdot \eta,$$

kde  $\rho = 1\,000 \text{ kg m}^{-3}$  a dělíme-li výraz 1 000, získáme

$$P_t = \rho g Q H / 1000 \quad [\text{kW}].$$

Efektivní výkon pak je

$$P_{ef} = \rho g Q H \cdot \eta / 1000 \quad [\text{kW}].$$

Účinnost  $\eta$  je celkovou účinností vodního motoru a pro turbínu je asi 0,8 až 0,9 podle druhu a velikosti stroje (větší turbíny mají větší účinnost) a mění se se zatížením.

### 8.3.1.3 Vliv vodních elektráren na životní prostředí

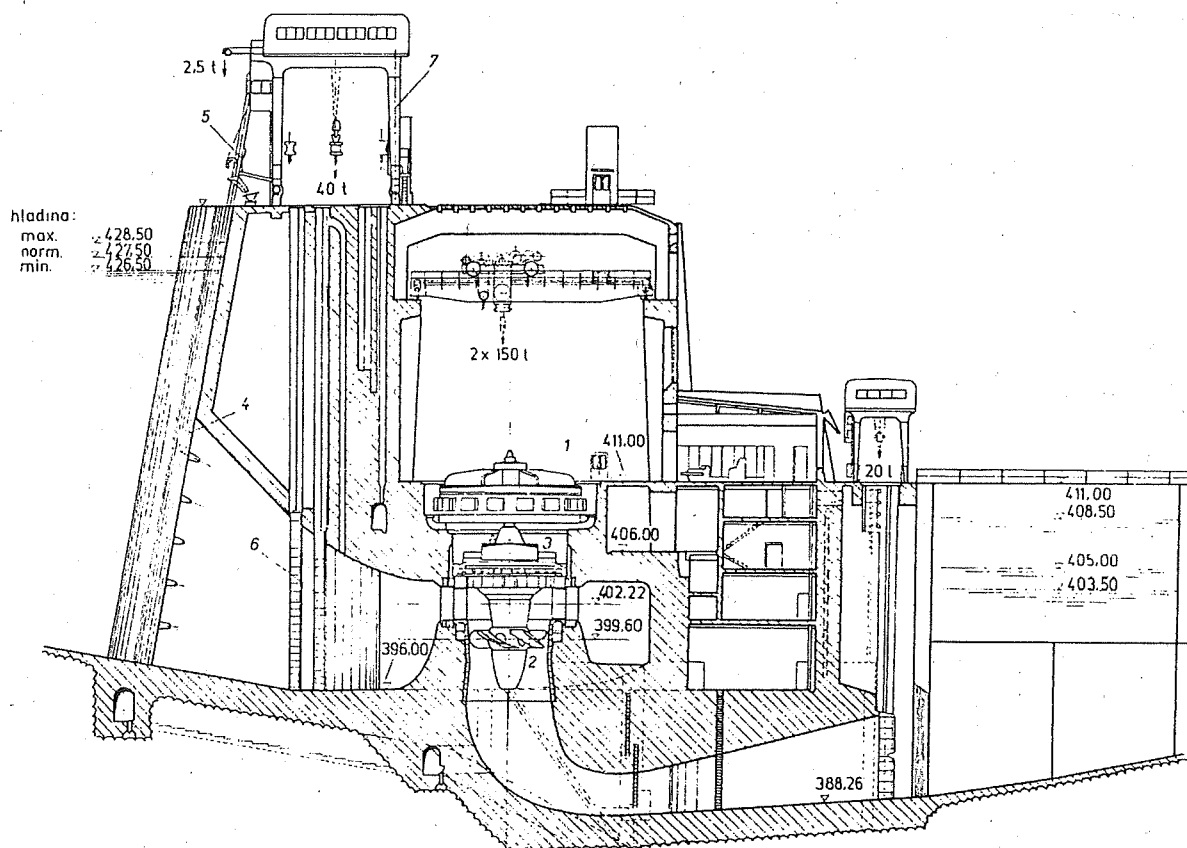
Ekologické aspekty lze členit na lokální a globální. Lokální aspekty, jako je vliv toku, nebo vodní nádrže na faunu a flóru v dané lokalitě, ovlivňování režimu podzemních vod, kvality povrchových vod atd., jsou neopomenutelné. Za dominantní lze však považovat aspekty globální, které u hydroenergetických děl vyplývají z výhod využívání vodní energie v porovnání s jinými technicky dosažitelnými energetickými zdroji, jimiž jsou u nás především tepelné a jaderné elektrárny. Uvedme alespoň některé z nich.

**Vodní elektrárny – představují čistý zdroj energie, neboť [16]:**

- neznečišťují ovzduší kouřem, oxidy síry a dusíku, těžkými kovy atp.,
- nedevastují a neznečišťují krajinu (těžba uhlí, uranu, jejich doprava),
- neznečišťují povrchové ani podzemní vody (těžba uranu, uhlí),
- jsou bezodpadové (popílek, radioaktivní odpad),
- jsou nezávislé na importu surovin ze zahraničí (ropa, plyn, uhlí, obohacený uran),
- jsou pro široké oblasti vysoce bezpečné,
- neničí trvale přírodní prostředí (trvalý zábor půdy), pouze jej transformují (vytvářením

vodních ploch),

- pružným pokrýváním spotřeby a schopností akumulace energie zvyšují efektivnost elektrizační soustavy,
- vysokým stupněm automatizace přispívají k vyrovnávání změn na tocích a do určité míry i napomáhají při odvádění velkých vod,
- vytvářejí nové možnosti pro revitalizaci dotčeného prostředí – prokysličováním vodního toku.



**Obr. 8.27** Řez vodní elektrárnou: 1 – alternátor, 2 – Kaplanova turbína, 3 – závěsné ložisko na víku turbíny, 4 – česle, 5 – čistící stroj, 6 – stavidla, 7 – portálový jeřáb

Za hlavní pozitivní environmentální aspekt vodních elektráren lze označit skutečnost, že každá kilowathodina vyrobená v této elektrárně ušetří přibližně 1 kg uhlí v tepelné elektrárně. Vodní elektrárny v tomto smyslu v České republice ročně nahrazují asi 3 mil. tun hnědého energetického uhlí, přičemž toto množství by mohlo být při plném využití hydroenergetického potenciálu naší republiky téměř dvojnásobné.

Jiná je ovšem situace při budování velkých vodních děl. Umístění takovýchto staveb znamená velkoplošné zásahy do krajinného rázu, které jsou bohužel nevratné. V našich krajinných podmínkách je např. velmi těžké umístit i nové přečerpávací vodní elektrárny, které jsou jinak z energetického hlediska optimální. Je nutno si uvědomit, že stávající environmentální legislativa by s největší pravděpodobností vůbec neumožnila např. výstavbu přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně, která znamenala závažný zásah do krajinného rázu přímo v Chráněné krajinné oblasti Jeseníky.



Provoz vodních elektráren nemá zásadně negativní vliv na životní prostředí. U velkých vodních nádrží nicméně dochází k většímu výparu vody, což často vede ke klimatickým změnám v dané oblasti.

#### 8.3.1.4 Malé vodní elektrárny a jejich vliv na životní prostředí

Jak již bylo uvedeno výše, dělíme *malé vodní elektrárny* na drobné MVE (s výkonem do 100 kW<sub>e</sub>) a na průmyslové, veřejné a závodní MVE (do 1 MW<sub>e</sub>), přičemž horní výkonová hranice pro malé vodní elektrárny činí 10 MW<sub>e</sub>.

Dalo by se říci, že malá vodní elektrárna, pokud je správně provozována dle příslušné legislativy, by neměla životnímu prostředí škodit, naopak přispívá nejen výrobou čisté energie, ale i tím, že čistí a provzdušňuje vodu a často pomáhá k celkové revitalizaci lokality.

Nicméně i v těchto případech je třeba při návrhu, realizaci a zejména v provozu respektovat příslušná environmentální hlediska a kritéria, aby se odstranily nebo minimalizovaly negativní vlivy na některé rostlinné a živočišné druhy v konkrétní lokalitě (např. omezení kolísání hladiny v rybníku). V každém případě je nutné návrh MVE předem konzultovat s příslušnými odborníky, a to již ve stadiu výběru lokality a návrhu hlavních parametrů.

Je velká škoda, že ani v posledních letech nebyly obnoveny všechny malé vodní elektrárny na našich řekách, které byly v minulosti úspěšně provozovány a posléze (nejčastěji po roce 1950) uzavřeny. Většinou je k dispozici stavební část (v různě zachovalém stavu) a strojní vybavení chybí. Je však nutno zdůraznit, že stavební část malé vodní elektrárny většinou představuje 9/10 nákladů z celkového investičního nákladu na výstavbu malé vodní elektrárny. Obnova malých vodních elektráren pochopitelně nemůže v žádném případě zajistit rozhodující část výroby elektrické energie u nás, nicméně je to energie naprosto čistá, jak již bylo uvedeno výše, která může být při nízkých provozních nákladech dodávána po velmi dlouhou dobu.

Při hodnocení vlivů malých vodních elektráren na životní prostředí jsou většinou diskutovány následující faktory:

1. kontaminace vody ropnými produkty,
2. ovlivnění hydrologie vodního toku,
3. hluk - akustické projevy provozu,
4. dopad na faunu a flóru říčního prostředí,
5. vliv realizace stavby na dotčené prostředí.

#### Kontaminace vody ropnými produkty

Do přímého kontaktu s říční vodou přichází vždy určitá část technologie MVE. Touto částí bývá hlavně vodní turbína a její některé technologické příslušenství (ložiska, čepy hřídele, táhla, uzávěry, servopohony, chladiče apod.). Škodit může i technologie v nepřímém kontaktu s říční vodou (generátory, regulátory, transformátory, čisticí stroje česlí apod.).

Turbosoustrojí stejně jako převážná většina ostatní technologie jsou v zájmu své funkčnosti odkázány na mazání svých pohyblivých částí. Jak již bylo předesláno, jedná se hlavně o závěsná a vodící turbinová ložiska, čepy a táhla rozváděcích lopat a jiná technologická příslušenství, kde je nutné používat maziva. Je zřejmé, že v některých případech jde stále ještě o olejové náplně a maziva z ropných produktů. Ke kontaminaci vody potom může dojít buď technickou závadou na zařízení, nebo nevhodnou manipulací.

Z těchto důvodů by bylo vhodné požadovat po provozovatelích posouzení, nebo atest technické nezávadnosti, zvláště při uvádění nové technologie do provozu, nebo po větších opravách, repasích a rekonstrukcích. Dále je nutné vybírat vhodný druh maziv a usilovat o zavádění maziv ekologicky nezávadných, na bázi rostlinných olejů (v současné době se k mazání používá ještě asi u 40 % MVE ropných maziv). Kde je to technicky možné používat samomazná ložiska.

### **Ovlivnění hydrologie vodního toku**

Jedná se převážně o důsledné dodržování sjednaného množství vody, které pro provoz MVE určuje vodoprávní řízení. Zde může dojít ke škodám při vysoušení přelivných hran jezů a u derivovaných úseků toku také k úhynu ryb a jiné fauny. Na druhé straně vznikají škody zaplavením dotčeného území nesprávnou manipulací, špatně nastavenou hladinovou regulací, nebo při odvádění velkých vod. Zde se dá hovořit o škodách způsobených technologií, přičemž sama turbína bývá až druhořadým faktorem. Škodit potom může pouze majitel (provozovatel) nevhodnou manipulací. Stává se, že ve snaze o maximální výrobu nerespektuje sjednané množství vody – jedná se tudíž pouze o lidský faktor. Tomu se dá zabránit důslednější kontrolou provozu MVE vodoprávními orgány.

Zkušenosti však opravňují k závěru, že pokud je MVE správně provozována podle příslušných směrnic a zákonů, nemůže škodit, naopak přispívá pozitivně k životnímu prostředí nejen výrobou čisté energie, ale i tím že čistí a provzdušňuje vodu a často napomáhá k celkové revitalizaci lokality.

### **Hluk - akustické projevy provozu**

Turbosoustrojí i s veškerým příslušenstvím se vždy může více či méně projevovat hlučností, chvěním a vibracemi. U převodovek, generátorů a čerpadel bývají příčinou hluku převážně ložiska, převodová soukolí a ventily. Podobný projev může také vycházet od stavební části, tj. hlavně tělesa jezu, jezové náplavky, jalových přepadů, rybích přechodů apod. Zde se také někdy vyskytují i spory končící soudním řízením. U turbosoustrojí má vliv na hlučnost především jeho technický stav. Hlučnost často způsobuje nesprávně sestavené převodové soukolí, nebo jeho opotřebení. U starých vodních děl bývá zdrojem hluku převod z vertikálního na horizontální hřídel, tzv. palečné soukolí. U Kaplanových turbín se zvýšená hladina hluku projevuje při špatně nastavené vazbě mezi rozváděcím a oběžným kolem. Hluk způsobuje také příliš nízká dolní hladina vody pod turbínou, vznikající v souvislosti s výtokem od turbínové savky. Nepříjemný bývá také hluk způsobený přechodovými stavy u turbíny, tj. při rozběhu nebo při odstavení turbíny.

Akustický projev MVE je nutno kontrolovat (měřením hluku) a omezovat na přijatelnou míru. Pokud již nelze hluk omezit pod přípustnou mez optimalizací technologie, je nutno instalovat protihlukové bariéry.

### **Dopad na faunu a flóru říčního prostředí**

Projevuje se hlavně deficitem kyslíku ve vodě, který je způsoben při stavbě vodního díla, nebo provozem MVE. Na deficit kyslíku v říčním toku, který se často projevuje v blízkosti vodních elektráren, má vliv:

- Odběr vody turbínami ze spodních vrstev pod hladinou toku nebo nádrže, tj. vzdálených od hladiny, která absorbuje kyslík z atmosféry.
- Tlak pod hladinou, který v důsledku zvyšující se hodnoty (s hloubkou) snižuje rozpustnost kyslíku.

- Teplota vody.
- Rychlost proudění vody.
- Biologické pochody u dna nádrže před MVE.

Charakteristickým jevem, který se projevuje s větší nebo menší intenzitou u všech nově budovaných vodních děl, jsou právě biologické pochody u dna nádrže a na částech břehů, které se dostaly pod zátopovou úroveň hladiny. Jsou umocňovány zatopenou vyhnívající flórou. Proces vyhnívání břehů potom může probíhat i několik roků, často kulminuje mezi druhým až čtvrtým rokem po zatopení. Vzhledem k tomu, že ostatní uvedené vlivy působí i déle, je třeba přistoupit k řešení tohoto problému vždy co nejdříve, nejlépe již v souvislosti s projektovou dokumentací MVE. Řešení je možné pomocí aerace – zavzdušňováním toku pod MVE.

### Vliv realizace stavby na dotčené prostředí

Projevuje se někdy již při zpřístupnění stavby budováním komunikací, inženýrských sítí a případně jejich přeložek. Tím mohou být ovlivněny povrchové i podzemní vody. Zde je opět hlavním činitelem lidský faktor. Předjetí škodám, případně ekologickým haváriím, musí řešit projekt již od geologického průzkumu a přípravy staveniště.

## 8.3.2 Větrné elektrárny

K *malým větrným elektrárnám* (VTE) lze zařadit turbíny s nominálním výkonem menším než 60 kW a průměrem vrtulí do 16 m. Nejvýznamnější kategorií jsou malé VTE s nominálním výkonem do 10 kW, které převládají v katalogových nabídkách výrobců. Tuto skupinu lze rozdělit do dvou podskupin [16].

Jednak se jedná o mikro zdroje s výkonem zhruba do 2 až 2,5 kW, jejichž nabídka co do počtu výrobců je největší. Jedná se o malé VTE s průměrem vrtulí od 0,5 do 3 m, které jsou výhradně určeny pro dobíjení baterií. Takto akumulovaná energie může sloužit k napájení komunikačních systémů, radiových a televizních přijímačů, ledniček a dalších elektrických spotřebičů a k osvětlení. Širokého uplatnění dosáhly malé VTE na námořních jachtách jako zdroj energie pro radiostanice, navigační systémy, udržování kapacity startovacích baterií a osvětlení. Tato zařízení obvykle pracují se stejnosměrným napětím  $12 \div 24$  V.

Druhou podskupinou kategorie malých VTE jsou zařízení s nominálním výkonem v rozsahu 2,5 až 10 kW. Jedná se o stroje s průměrem vrtulí od 3 do 8 m, které obdobně jako stroje předcházející skupiny pracují v ostrovním režimu (nejsou připojeny do sítě). Tato zařízení mají obvykle výstupní napětí 48 až 220 V a jsou nabízena pro účely vytápění či temperování domů, pro ohřev vody, případně pro pohon motorů. Analýzou, která byla publikována v roce 2002 [17], bylo prokázáno, že výroba elektrické energie těmito zdroji pro potřeby rodinných domů či malých hospodářských provozů, které je možno připojit do rozvodné sítě, je nerentabilní. Ekonomicky je odůvodnitelná pouze v místech bez možnosti připojení do sítě a to s průměrnou roční rychlostí větru alespoň 4,5 m/s ve výšce 10 m. Výroba elektrické energie malými VTE za účelem prodeje rozvodným závodům v důsledku výrazně vyšších měrných nákladů (až o několik desítek procent) není ekonomická.

Dřívější kategorie velkých VTE se díky rostoucím rozměrům vrtulí nových VTE rozdělila na dvě kategorie a to na *střední větrné elektrárny* s průměrem vrtulí od 16 do 45 m a nominálním výkonem v rozsahu 60 ÷ 750 kW a *velké větrné elektrárny* s průměrem vrtulí od 45 do 128 m a nominálním výkonem turbín od 750 do 6400 kW. Největší VTE s nominálním

výkonem nad 3 000 kW jsou většinou zařízení určená pro umístění v moři (offshore). Sporadická je nabídka výrobců VTE s nominálním výkonem do 300 kW, málo výrobců nabízí VTE s výkony v rozsahu 300 ÷ 750 kW. Zcela největší nabídka výrobků je v rozsahu výkonů 1 500 až 3 000 kW. V souladu s touto skutečností je i největší počet VTE v této kategorii (40 %) ze všech VTE postavených v Německu do konce r. 2005 a vyrábějících 66 % energie z roční produkce všech VTE v Německu. Průměrný výkon všech VTE vybudovaných v r. 2005 v Německu byl 1723 kW [27].

### 8.3.2.1 Technické řešení větrných elektráren

#### Vrtule větrných elektráren

Vedle meteorologických parametrů závisí výkon odebraný proudícím vzduchu na velikosti plochy vrtule VTE a hodnotě součinitele výkonu (viz dále kap. 8.3.2.2). Z tohoto důvodu jsou vrtule zásadní částí celého zařízení VTE a prodělaly za posledních 30 let až překvapivý vývoj co do velikosti, aerodynamických charakteristik a režimu práce. Např. v Německu bylo v roce 2004 90 % VTE s průměrem vrtulí větším než 60 m. Sériově vyráběné VTE měly trojlisté vrtule, většinou regulaci motoru systémem „pitch“ a měly proměnlivý počet otáček. Zvětšující se rozměry vrtulí kladou vysoké nároky na konstrukci a použité materiály, aby byla zajištěna provozní spolehlivost. Na rozměrově velkých vrtulích vznikají značná zatížení např. v momentech, kdy velká hmota listů vrtule je zabržděna přestavením listů do praporové polohy. Nepříznivě na životnost materiálu listů velkých vrtulí vedle malorozměrné turbulence působí případné velké vertikální gradienty rychlosti větru, které v extrémních případech mohou dosahovat až 10 m/s na 100 m [16].

Aby zvyšování rychlosti větru, které vede ke zvyšování výkonu, nezpůsobilo poškození generátoru, musí být vhodným způsobem snížen výkon dodávaný vrtulí. K tomuto účelu se používají různé způsoby regulace výkonu vrtule, charakteristické pro jednotlivé typy VTE. V podstatě se jedná o tři způsoby regulace:

- a) regulace odtržením proudu na listech vrtule s konstantním úhlem nastavení listů, tzv. regulace „stall“,
- b) regulace přestavováním listů vrtule na větší úhly nastavení a tím snížení vztlakové síly a výkonu, tzv. regulace „pitch“,
- c) regulace přestavováním listů vrtule na menší úhly nastavení a tím snížení vztlakové síly, zvýšení odporu a pokles výkonu, tzv. regulace „active stall“.

Turbíny regulované režimem „stall“ jsou konstrukčně jednodušší než turbíny s režimem „pitch“, protože nemají technický systém měnící nastavení listů rotoru. V porovnání s „pitch“ regulovanými větrnými turbínami má regulace výkonu „stall“ principiálně následující výhody:

- jednoduchá konstrukce.
- nenáročná údržba s ohledem na menší počet pohyblivých částí.
- vysoká spolehlivost regulace výkonu.

Nevýhodou tohoto způsobu regulace je skutečnost, že výkon vrtule při vysokých rychlostech větru klesá, a tím klesá i její účinnost, což je v případech, kdy je energie větru největší. Další nevýhodou je nutnost jemného nastavení listů, často až po zkušebním provozu v konkrétní lokalitě. Nevýhodou je dále *neschopnost vrtule samostatně startovat*, což se realizuje *elektrickým motorem*. V současné době režim regulace „stall“ výrobci nabízejí u VTE s nominálním výkonem zhruba do 1000 kW, pouze výjimečně u výkonů větších.

„Pitch“ regulace představuje aktivní systém, který pracuje se vstupním signálem o výkonu generátoru. Vždy, když je překročen nominální výkon generátoru, změní listy rotoru úhel nastavení vůči natékajícímu proudění, čímž dojde ke zmenšení hnacích aerodynamických sil a zmenšení využití výkonu turbíny. Pro všechny rychlosti větru větší než „nominální“ rychlost, která je nutná pro dosažení jmenovitého výkonu, se nastaví úhel náběhu tak, aby turbína dávala právě tento výkon. Větrné elektrárny s „pitch“ regulací jsou více sofistikované než turbíny se „stall“ regulací, protože nastavení listů rotoru se mění průběžně. „Pitch“ regulace má následující výhody:

- dovoluje aktivní kontrolu výkonu v celém rozsahu rychlosti větru,
- zajišťuje vyšší produkci energie ve stejných podmínkách vůči „stall“ regulaci,
- jednoduchý start rotoru turbíny změnou nastavení úhlu náběhu,
- nepotřebuje silné brzdy pro náhlé zastavení rotoru,
- snižuje zatížení listů rotoru při zvýšení rychlosti větru nad „nominální rychlost“,
- výhodná poloha rotorových listů s ohledem na nízké zatížení v případech extrémních rychlostí větru.

Nevýhodou této regulace je složitější a výrazně dražší vrtulová hlava, která musí přenášet velké síly působící na listy a přitom ještě zaručovat možnost natáčení listu kolem podélné osy listu.

Regulace typu „active stall“ je v počátečních režimech shodná s předchozím typem regulace „pitch“. Liší se jen v posledním režimu, kdy udržování konstantního výkonu není docilováno zvětšením úhlu nastavení listů, ale zmenšováním tohoto úhlu. V tomto režimu jde o řízení odtržení na listech, proto „active stall“. Výhodou této regulace oproti předcházející je menší citlivost na znečištění povrchu na náběžných hranách listů (hmyz).

### **Větrné elektrárny s převodovkou a bez převodovky**

Vedle tradiční technologie s mechanickou převodovkou, zajišťující převod nízké rychlosti rotoru na mnohem vyšší rotační rychlost konvenčních generátorů, se začaly vyrábět větrné elektrárny bezpřevodkové [16]. Doposud se oba typy větrných elektráren úspěšně uplatňují na mezinárodním trhu. Z předních výrobců je představitelem bezpřevodkové technologie společnost Enercon. Oba typy mají své výhody i nevýhody. Rozhodnutí, zda vyrábět větrné elektrárny bez nebo s převodovkou, je často věcí filozofie jednotlivých výrobců, přičemž velký význam má tradice značky, vývojové cíle a ekonomická analýza.

Bezpřevodkové řešení je založeno na využití nízkorychlostních multipólových generátorů, které však mají velké rozměry, což může způsobit jisté problémy v transportu, zejména v megawattové třídě. Na druhé straně se významně sníží počet strojních částí. Není potřebná rozměrově velká převodková skříň, odpadají spojovací prvky, je zmenšený počet rotujících prvků, zjednodušila se gondola a konec konců je jednodušší údržba. Jak při „stall“, tak při elektricky řízené „pitch“ regulaci a při elektricky řízeném systému natáčení gondoly není zapotřebí hydraulických olejů, což je nesporná výhoda pro provoz i údržbu. Argument, že speciální generátory, vyráběné jen pro větrné elektrárny v malých sériích, jsou drahé ve srovnání s klasickými generátory, není ve skutečnosti na místě. Se vzrůstajícím výkonem a velikostí větrných elektráren se klasické generátory a převodovky vyrábějí rovněž v malých počtech, což znamená, že výhoda nižší ceny s ohledem na sériovou výrobu není pravděpodobná.

Tradiční konstrukce větrných elektráren vychází z využití hnacího hřídele, ložisek, převodovek a spojek. Všechny tyto části jsou principiálně normální strojní součástky, které mohou být dodávány specializovanými výrobci. To může garantovat vysokou kvalitu výrobků

při nízkých cenách a možnost výměny dodavatele subkomponentů s cílem zvýšit kvalitu nebo snížit cenu. Se současnými výrobními standardy převodovek nepředstavuje hluk způsobený převodovkou důvod ke konstrukci větrných elektráren bez převodovek. V současnosti jsou převodovky schopné dosáhnout dvaceti let životnosti, přičemž výměna mazacího oleje nemusí být častá. Celé soustrojí uvnitř gondoly je rozděleno na kompaktní části, které i v megawattové třídě dovolují snadný transport a montáž na stanovišti.

### Stožáry větrných elektráren

Jak vyplývá z firemních nabídek, jsou nejrozšířenější stožáry (věže) větrných elektráren v podobě mírně kónických ocelových tubusů. Se zvětšováním výkonu turbín se zvyšují stožáry, a to v současné době na 100 až 120 m. Z toho důvodu se v nabídce některých dodavatelů objevily pro výšky nad 100 m stožáry betonové (např. Enercon 4,5 MW u Magdeburgu) a věže v podobě příhradové konstrukce [16]. Příhradové stožáry bývají nepříznivě hodnoceny pro svůj „neestetický“ vzhled a řada ochranářů jim dala cejch, že poškozují ráz krajiny. Této kritice oponují jiní, kteří tvrdí, že příhradové stožáry v krajině mají vůči tubusovým následující přednosti:

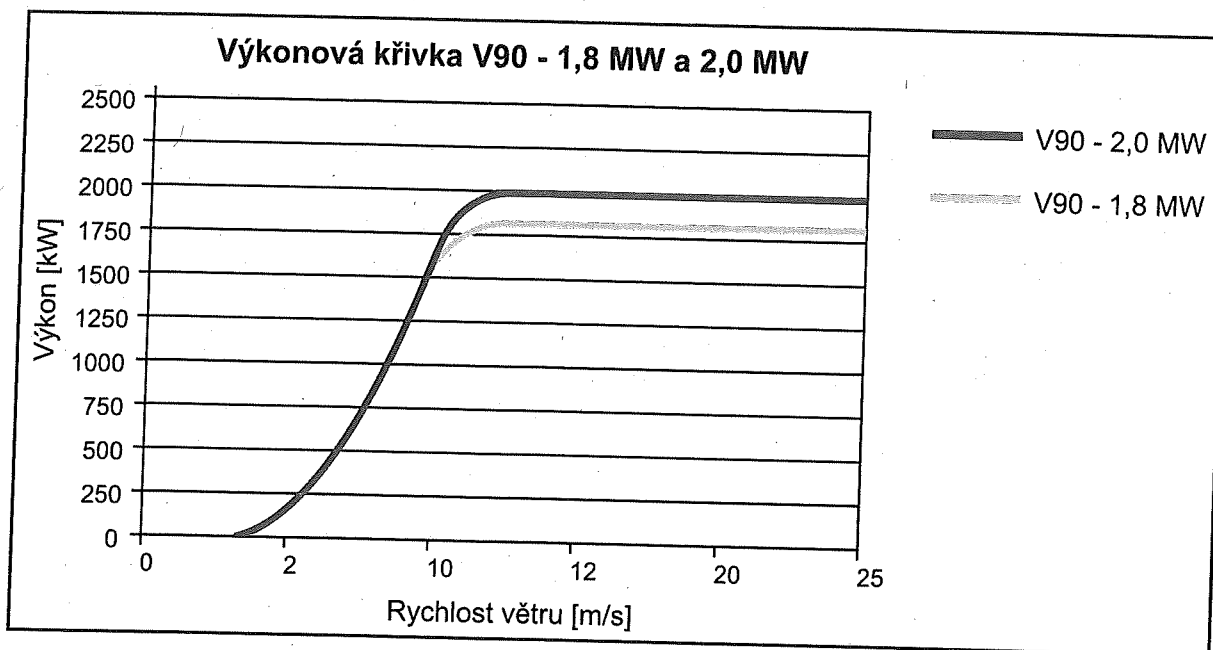
- transparentnost, která způsobuje, že příhradové stožáry zvláště při pohledu z větší dálky lépe splývají s krajinou,
- nepatrná reflexe dopadajícího světla,
- vhodnost zasazení do určitého rázu krajiny jako je např. lesní prostředí,
- začlenění do krajiny, kde jsou již instalovány stavby tohoto charakteru (např. stožáry elektrického vedení).

Další předností příhradových věží oproti tubusovým je výrazně menší spotřeba oceli, což vede k tomu, že při stejných nákladech lze postavit příhradový stožár o 20 % vyšší než tubusový. Např. firma Nordex nabízí ocelový stožár o výšce 100 m s hmotností 319 t a příhradový stožár výšky 105 m s hmotností 185 t. Firma Fuhrländer nabízí dokonce příhradový stožár s výškou 160 m (hmotnost 350 t). Montáž příhradového stožáru i doprava jeho dílů je jednodušší, což je významná přednost při stavbě větrných elektráren v horských podmínkách. Při povrchové úpravě příhradového stožáru pozinkováním v ohni je zaručena životnost 40 let, čímž odpadá nátěr, který je nutný na ocelových tubusových stožárech.

### Větrná elektrárna Vestas V90 – 2,0 MW

Dále je popsána větrná elektrárna společnosti Vestas Wind Systems A/S, typ Vestas V90 - 2,0 MW, která je typickým představitelem skupiny větrných elektráren s převodovkou (mechanická energie je od rotoru přenášena hlavním hřídelem přes převodovku na generátor). Tyto elektrárny jsou produkovány ve velkém měřítku a v současnosti jsou stavěny jak v zemích Evropské unie, tak mimo ni (v USA, Mexiku, Austrálii atd.). Je nutno dodat, že větrné elektrárny ostatních výrobců s převodovkami se v základních parametrech výrazně neodlišují od strojů společnosti Vestas, která nicméně patří k výrobcům s největšími zkušenostmi v oboru.

Větrná elektrárna Vestas V90-2,0 MW má délku lopatky rotoru 45 m (průměr rotoru je 90 m - viz obr. 8.28 a 8.29). Jde o pomaloběžný stroj s otáčkami v rozmezí  $9 \div 14,9$  ot./min. Zapínací rychlost větru je 2,5 m/s, nominální rychlost větru je 13 m/s (viz graf 8.3), vypínací (maximální) rychlost větru je 21 m/s. Po překročení této rychlosti dojde k automatickému zabrzdění a odstavení stroje.



Graf 8.3 Výkonová křivka větrné elektrárny (Vestas V90) [29, 30]

Větrná elektrárna je regulována natáčením listů (regulace „pitch“) pomocí zařízení OptiTip® firmy Vestas s aktivním směřováním rotoru po větru. Pomocí zařízení OptiTip® jsou úhly nastavení listů rotoru stále regulovány, takže je úhel nastavení listů vždy optimálně přizpůsoben příslušným větrným podmínkám. Tímto je optimalizována výroba energie a minimalizován vývoj hluku.

Listy rotoru (obr. 8.29) jsou vyrobeny z epoxidové pryskyřice vyztužené skelným vláknem (laminát). Každý list rotoru se skládá ze dvou polovin, které jsou slepeny s nosným profilem. Zvláštní ocelové vložky k ukotvení spojují listy rotoru s ložiskem listu rotoru. V případě, kdy je to požadováno, může být dodána technologie s vyhřívanými listy rotoru.

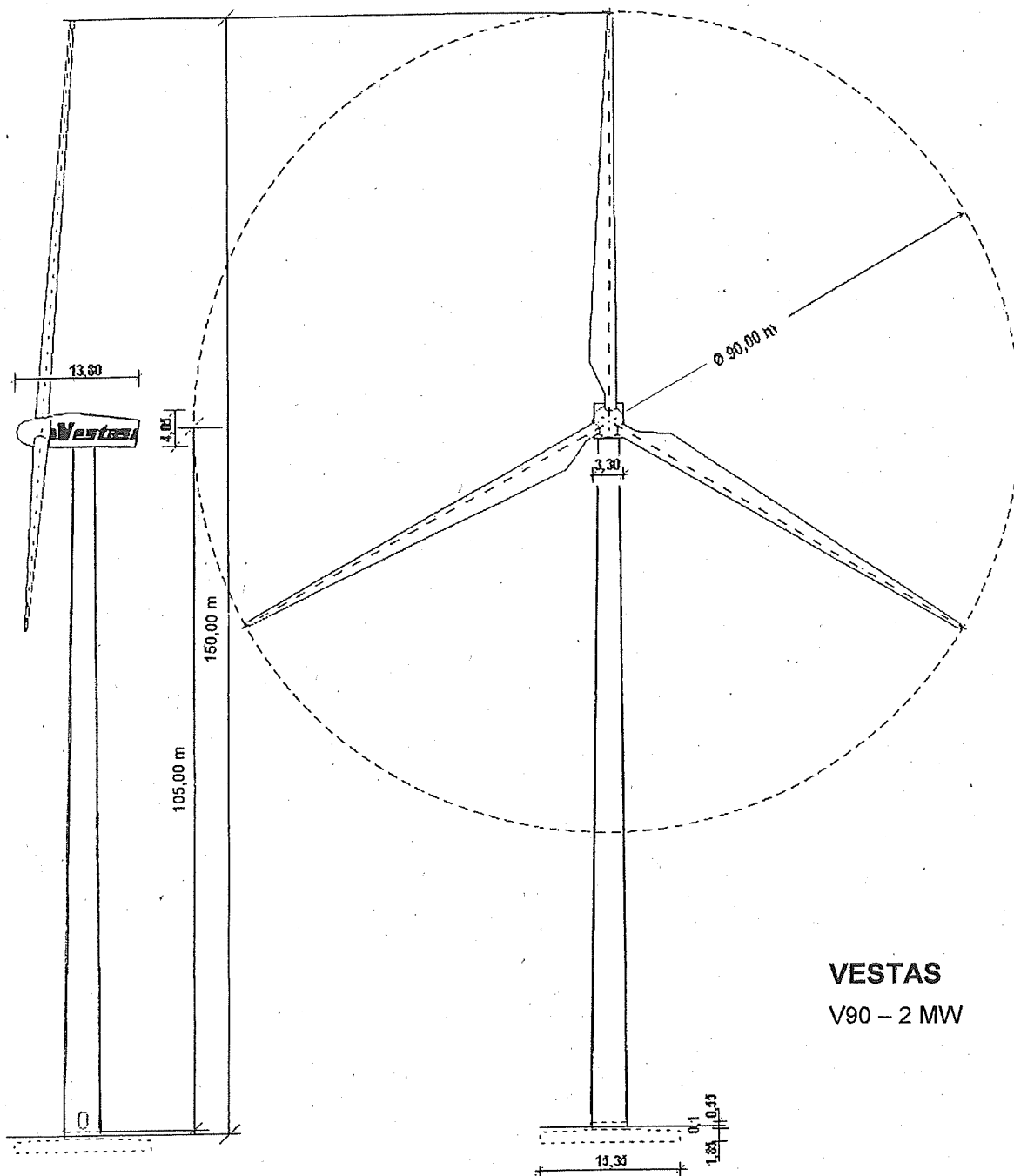
Hlavní segmenty strojovny a rotorové hlavy jsou uvedeny na obr. 8.31. Mechanická energie je od rotoru přenášena hlavním hřídelem přes převod na generátor. Převodovka je kombinovaná s planetovým a čelním ozubením. Přenos výkonu z převodovky na generátor se uskutečňuje pomocí kompozitní spojky nevyžadující údržbu. Generátor je speciální čtyřpólový, asynchronní s vinutým rotorem.

Brzdění větrné elektrárny je prováděno nastavením listů rotoru do praporu. Parkovací kotoučová brzda se nalézá na vysokorychlostním hřídeli převodu.

Veškeré funkce větrné elektrárny jsou kontrolovány a řízeny řídicími jednotkami založenými na bázi mikroprocesorů. Tento systém řízení provozu je umístěn v gondole. Změny úhlu nastavení listů rotoru jsou aktivovány přes momentové rameno hydraulickým systémem, který umožňuje listům rotoru rotovat axiálně o 95°.

Čtyři elektricky poháněné převodovky se starají o směřování gondoly po větru otáčením pastorků, které zasahují do zubů velkého otočného věnce, který je upevněn na vrcholu věže. Ložiskový systém směřování po větru je systém kluzného ložiska se zabudovanou frikčí a samosvornou funkcí.

Kryt gondoly (obr. 8.31) vyrobený z plastu vyztuženého skelným vláknem chrání veškeré komponenty uvnitř gondoly před deštěm, sněhem, prachem, slunečním zářením atd. Centrálně umístěný otvor umožňuje ke gondole přístup z věže. Uvnitř gondoly je umístěn údržbový jeřáb.



Obr. 8.28 Větrný generátor firmy Vestas – celkový pohled

Kuželová ocelová trubková věž (tubus) je vysoká buď 105 metrů, nebo 80 metrů (obr. 8.28 a 8.29). Průměr pozemní příruby je 4,15 m (obr. 8.30), průměr vrcholové příruby pak 2,3 m. Je dodávána s povrchovou úpravou v zelenošedé barvě. Věž je zakotvena do základu ve formě železobetonové desky o průměru cca 16 m, výšky 1,9 m (na základové spáře v hloubce 3 m). Základ je uložen pod terénem a překryt zeminou o mocnosti cca 1 metr.

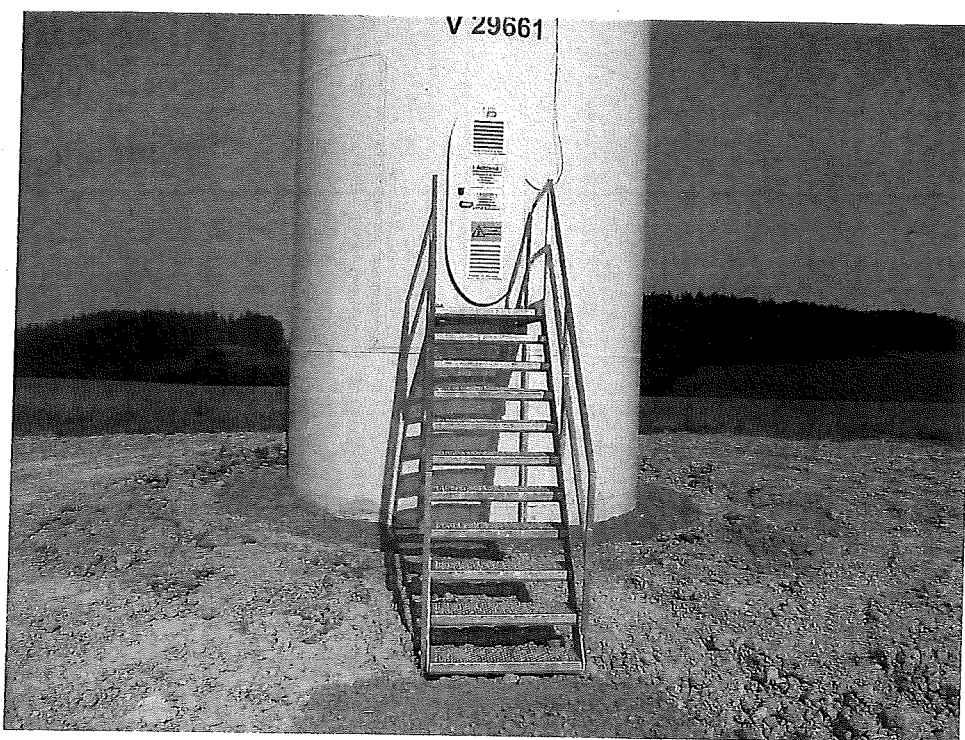




**Obr. 8.29** Pohled na rotor, gondolu a horní část stožáru větrné elektrárny Vestas

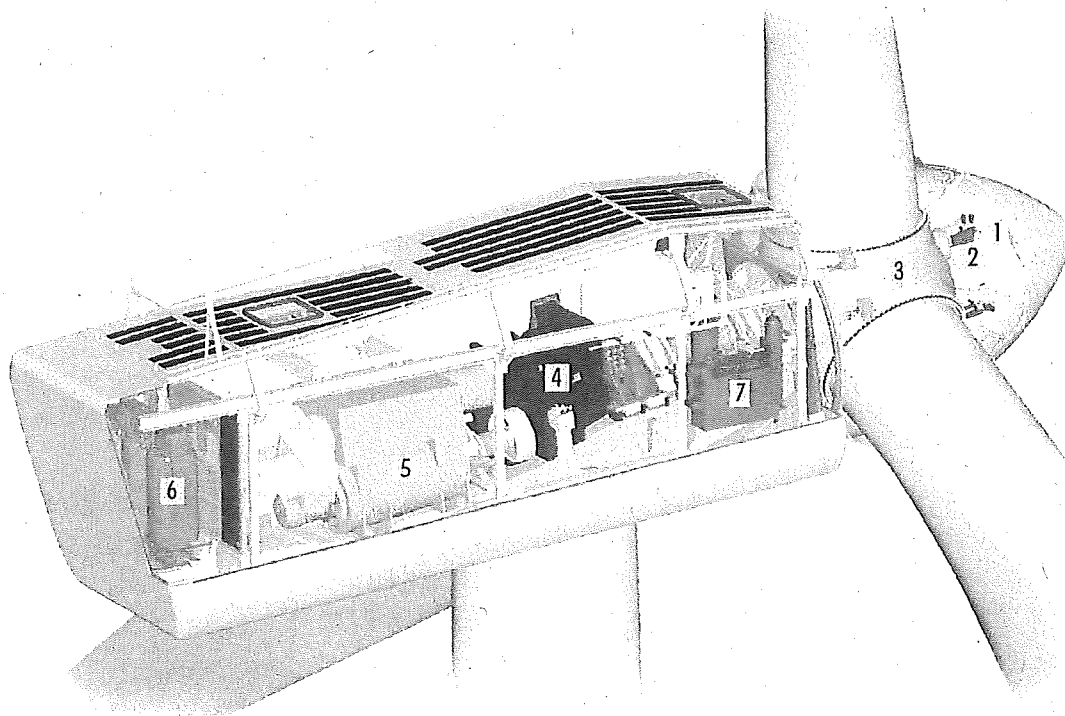
Celková hmotnost technologické části větrné elektrárny (bez základu) činí 331 tun (gondola 68 t, rotor 38 t, stožár 225 t).

Větrná elektrárna je konstruována pro teploty okolí od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Mimo této teplotní oblasti musí být provedeno speciální opatření.



**Obr. 8.30** Pohled na uložení stožáru větrné elektrárny na základové desce [30]

Vedle věže větrné elektrárny je umístěna kontejnerová betonová trafostanice (většinou se staví jedna trafostanice pro tři stroje). Transformátor je olejový, dvouvíntový v kontejnerovém provedení. Převod je z 690 V na 34 kV, nominální výkon je 1,6 MVA. Někteří výrobci umísťují trafostanice přímo do věže větrné elektrárny.



**Obr. 8.31** Pohled na gondolu větrné elektrárny: 1 – řízení listů rotoru, 2 – válec regulace „pitch“, 3 – rotorová hlava, 4 – převodovka, 5 – generátor, 6 – transformátor, 7 – hydraulická jednotka [29]

### 8.3.2.2 Výpočet výkonu větrné elektrárny

#### Energie větru

Pod pojmem hustota výkonu větru  $P$  (wind power density) rozumíme výkon, který by bylo možno získat stoprocentním využitím kinetické energie větru proudícího jednotkovou plochou kolmou na směr proudění. Lze ho určit podle vztahu

$$P = \frac{u^3}{2} \cdot \rho$$

Hustota výkonu větru proudícího plochou  $S$  [m<sup>2</sup>] kolmou na směr proudění je určena vztahem

$$P_s = \frac{u^3}{2} \cdot \rho \cdot S$$

Výkon odebraný proudícímu vzduchu rotorem turbíny  $P_s$  je určen vztahem

$$P_s = \frac{u^3}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot c_p \quad [W]$$

kde  $u$  .... rychlost větru (m/s),  
 $\rho$  .... měrná hmotnost vzduchu ( $\text{kg/m}^3$ ),  
 $S$  .... plocha rotoru ( $\text{m}^2$ ),  
 $c_p$  ... součinitel výkonu (-), který je závislý na tom, v jaké míře rotor snižuje rychlost protékajícího vzduchu; souč. výkonu má teoretické maximum  $c_{p\max} = 0,593$ .

### Elektrický výkon větrné elektrárny

Elektrický ( $P_{el}$ ) výkon vypočteme z následujícího vztahu:

$$P_{el} = 0,30 \div 0,35 P_s \quad [W]$$

Závislost výkonu větru na hustotě vzduchu je v reálné atmosféře vyjádřena funkcí nadmořské výšky a dále je funkcí neperiodického střídání teplých a studených vzduchových hmot [16]. Orientačně lze říci, vezme-li se za základ výkon větrné elektrárny v úrovni hladiny moře, že ve výšce 500 m bude výkon nižší o 5 %, ve výšce 800 m o 7 % a ve výšce 1200 m o 11 %.

Výkon, který může produkovat větrná turbína, udává výkonová křivka (viz výše graf 8.3), která je základní indikací každého typu větrné elektrárny.

Z uvedených vztahů vyplývá, že výkon větrné elektrárny je závislý mimořádně citlivě na rychlosti větru. Je zřejmé, že i chyby určení rychlosti větru při hodnocení větrného potenciálu se z toho důvodu mohou nepříznivě promítnout do výsledku.

Ze zákona je provozovatel rozvodné sítě povinen odebírat elektrickou energii vyrobenou větrnou elektrárnou se sazbou, stanovenou dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu [42]. Výkupní cena elektřiny dodané do sítě je dle tohoto rozhodnutí pro větrné elektrárny uvedené do provozu po 1. lednu 2010 2,23 Kč/kWh (platí i pro rok 2011). V roce 2009 to bylo 2,34 Kč/kWh, v roce 2008 2,55 Kč/kWh, v roce 2007 2,62 Kč/kWh a v roce 2006 pak 2,67 Kč/kWh.

### 8.3.2.3 Vliv větrných elektráren na životní prostředí

Při posuzování vlivů záměrů z oblasti větrné energetiky na životní prostředí je nutno sledovat zejména následující faktory [19]:

1. hluk,
2. vlivy na krajinný ráz,
3. vlivy na tahové cesty a hnízdění ptáků, vlivy na faunu, flóru a ekosystémy,
4. stroboskopický efekt,
5. vlivy na půdu a povrchové a podzemní vody,

## 6. ostatní vlivy.

### Hluk

Při provozu větrné elektrárny vznikají dva druhy hluku. Jde o **mechanický hluk**, jehož zdrojem je strojovna (generátor včetně ventilátoru, převodovka, natáčecí mechanismy, event. i brzda). Množství hluku emitované do okolí závisí nejen na kvalitě provedení jednotlivých částí (např. ozubená kola převodovky) i celku, ale také na uložení a kapotáži celého soustrojí. Současné sériově vyráběné větrné elektrárny mají všechny uvedené parametry optimalizovány. Až na malé odchylky při natáčení gondoly je to zvuk ustálený.

Určité zvukové rázy vznikají mjéním listů vrtule kolem stojanu VTE. V minulosti se u některých větrných elektráren objevovaly vibrace stojanu, s čímž se moderní technologie vyrovnala [16]. Dále jde o **aerodynamický hluk**, který vzniká interakcí proudícího vzduchu s povrchem listů rotoru a uvolňováním vzdušných vírů za hranou listů. Jeho frekvenční spektrum je velmi vyrovnané a klesá se vzrůstající frekvencí. Aerodynamický hluk je snižován modernějšími konstrukcemi listů vrtule, případně variantností typů rotorů, kdy za cenu snížení hlukové emise se mírně sníží i výkon generátoru.

Hluk se šíří od bodového zdroje v závislosti na směru a rychlosti proudění vzduchu, v závislosti na intenzitě vertikálního promíchávání vzduchu (pod teplotní inverzí je zamezen přenos hluku ve vertikálním směru), na tvaru zemského povrchu, na existenci překážek pro šíření hluku. Hluk šířící se od bodového zdroje se utlumuje se vzrůstající vzdáleností. Ve zjednodušené verzi řešení se uvažuje úbytek akustického tlaku s logaritmem vzdálenosti jako funkce rychlosti větru. Většinou se tato zjednodušená verze výpočtu (tedy bez vlivu směrové růžice, tvaru reliéfu, zvrstvení teploty atd.) používá v modelových výpočtech pro určení izofonového pole v okolí větrné elektrárny.

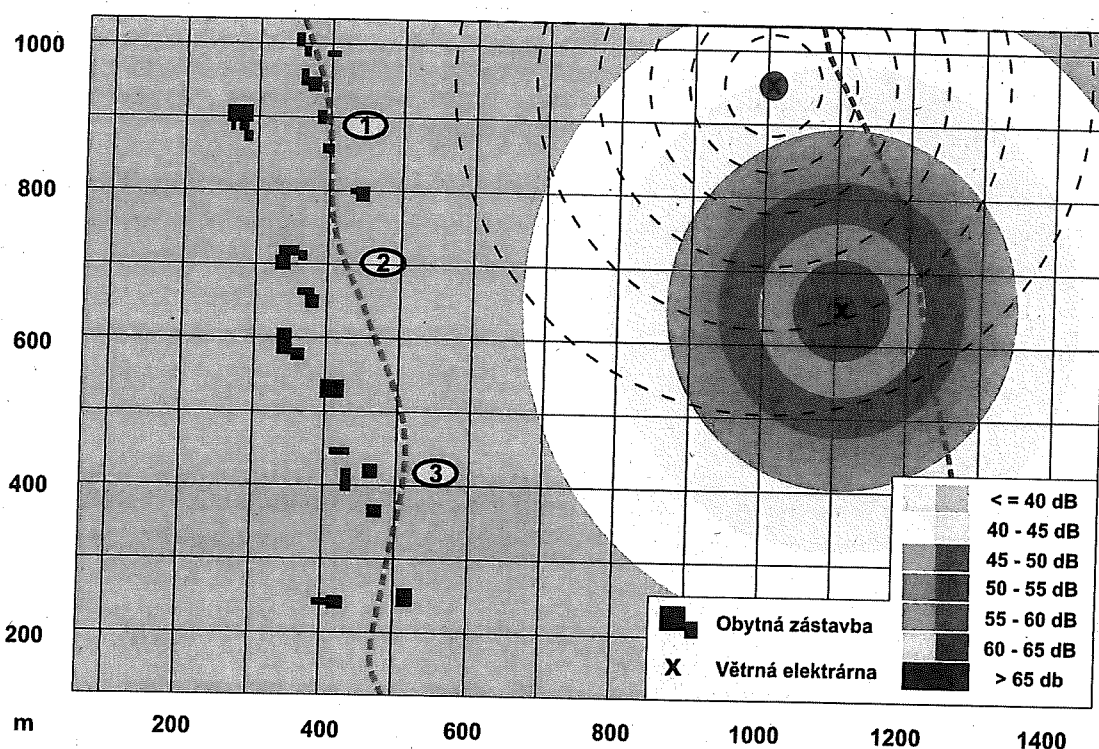
Na sílu vjemu vyvolaného určitým hlukem má velký vliv poměr mezi jeho intenzitou a intenzitou ostatních hluků, které se označují jako **hluk pozadí**. Všeobecně je známo, že hluk vyvolaný vazkým a turbulentním třením vzduchu o drsný zemský povrch dosahuje, zvláště v horských podmínkách, velkých hodnot. Např. při vichřici se v těchto podmínkách stává lidská řeč nesrozumitelnou. Na zkušebním polygonu Dlouhá Louka v Krušných horách bylo provedeno měření, které ukázalo, že při rychlosti větru do 5 m/s byla úroveň hluku pozadí v mezích 30 ÷ 40 dB, ale při rychlosti větru kolem 6 m/s hluk pozadí byl v rozsahu od 33 do 47 dB a při rychlostech větru nad 8 m/s hluk pozadí přesahoval hodnotu 45 dB [16].

Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, určuje nejvyšší přípustnou hladinu akustického tlaku ve venkovním prostoru pro den (06 ÷ 22 hodin) 50 dB a pro noc 40 dB. V tomto nařízení však není zohledněna okolnost, kdy hluk pozadí převyšuje hluk vyvolaný větrnou elektrárnou.

Samotné hodnocení akustické situace je prováděno pomocí hlukové studie, která hodnotí hluk u nejbližší okolní zástavby. Někdy se stává, že není dodržena přípustná ekvivalentní hladina hluku v nejhluchnější hodině v noční době ve venkovním chráněném prostoru. V těchto případech je nutno omezit režim větrných elektráren z vyššího výkonu na výkon nižší, s čímž souvisí i snížení akustického výkonu (např. ze 109,4 dB na 102,0 dB). V některých případech je nutno ovšem přikročit i k vypínání některých strojů v noční době - viz obr. 8.32 [13, 14, 19]. Např. v Německu se uplatňuje doporučení větrnou elektrárnu stavět více než 300 m od jednotlivého domu a více než 500 m od okraje skupiny domů (obec apod.). Ze zkušeností autora monografie nicméně plyne, že minimální vzdálenost větrných elektráren od obytné zástavby by měla být 600 až 700 metrů.

**Dopravní hluk**, vznikající v době výstavby a provozu větrných elektráren, je časově omezen a je většinou méně významný. V období výstavby je nutno zabezpečit odvoz výkopové zeminy o objemu cca 770 m<sup>3</sup> a dovoz betonu o objemu cca 490 m<sup>3</sup> na jeden stroj a dovoz vlastního technologického zařízení [13, 14]. V období provozu se jedná pouze o jednu až dvě cesty dodávkového vozidla týdně.

Vliv dopravního hluku a jeho změny v souvislosti s výstavbou a následně i provozem větrných elektráren se projeví hlavně v denní době v okolí příjezdové komunikace, po které bude doprava probíhat. Jelikož výpočtové body, ke kterým bývá proveden výpočet hluku ze stacionárních zdrojů, jsou často od této komunikace značně vzdáleny, je nutno změny hlukové situace popsat v hlukové studii změnou ekvivalentních hladin hluku v normované vzdálenosti od komunikací (např. 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu).



**Obr. 8.32** Ekvivalentní hladiny hluku – provoz větrných elektráren v noční době.

Pozn.: Větrná elektrárna č. 1 (nahore) je v noční době vypnuta. Kontrolní body hluku – body č. 1, 2 a 3.

### Vlivy na krajinný ráz

Pojem krajinný ráz zavedl do praxe zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Krajinný ráz je v něm definován (§ 12) jako přírodní, kulturní a historická charakteristika určitého místa či oblasti. Krajinný ráz je chráněn před činností snižující jeho estetickou a přírodní hodnotu. Zásahy do krajinného rázu, zejména umísťování a povolování staveb, mohou být prováděny pouze s ohledem na zachování významných krajinných prvků, zvláště chráněných území, kulturních dominant krajiny, harmonického měřítká a vztahů v krajině.

Pokud jde o vliv na krajinný ráz, lze v případě respektování opatření, která řeší zájmy ochrany zdraví před nepříznivými účinky hluku a zájmy ochrany přírody, vliv na krajinný ráz označit za dominantní aspekt související s posuzovaným typem záměru.

Je nesporné, že realizace větrných elektráren představuje nepřehlédnutelný zásah do krajinného rázu. Z hlediska ochrany krajinného rázu je třeba především zjistit, zda-li zamýšlená stavba neleží na území přírodního parku. Ten ze zákona představuje jedno z nejcitlivějších území v ochraně krajinného rázu a stavba větrné elektrárny by na takovém místě neměla být realizována. Přírodní parky představují krajinu, v níž jsou soustředěny významné estetické a přírodní hodnoty a pro její zachování byly zřízeny (dle § 12 odst. 3 zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů). Předmětem jejich ochrany je výhradně ochrana krajinného rázu.

Za účelem posouzení vlivu na krajinný ráz je obvykle za pomoci počítačové animace zpracovávána fotovizualizace větrných elektráren, při které je využito fotografií stávající krajiny – viz obr. 8.33 [39, 54].



Obr. 8.33 Pohled na fotovizualizované větrné elektrárny [39, 54]

Místem krajinného rázu, dotčeného posuzovanými stavbami větrných elektráren (tedy plochy, ze kterých mohou být větrné elektrárny potenciálně vidět), je většinou rozsáhlá oblast. Za místo krajinného rázu, tedy území, které může být zkoumanou stavbou pohledově ovlivněno, je bráno z hlediska dálkových pohledů u okruhu silné viditelnosti 2 až 5 km a u okruhu zřetelné viditelnosti 10 km - dle MP č. 8/2005 (Metodický pokyn MŽP č. 8, částka 6, červen 2005). Z těchto kruhů jsou vyňaty plochy, které jsou zastíněny utvářením georeliéfu.

Poměrně často je vyslovována otázka, zda by nebylo možné vyrobit stejný objem elektrické energie větrnými elektrárnami i při případném snížení jejich věží a zmenšení průměrů rotorů, neboť takto by byl méně ohrožen krajinný ráz. Výpočty je možno provést na základě známých vztahů pro výpočet větrného ( $P_s$ ) a následně elektrického ( $P_{el}$ ) výkonu (viz výše kap. 8.3.2.2).



Z výsledků výpočtů však plyne, že při snížení výšky stožáru větrné elektrárny ze 100 metrů na 70 metrů (při rychlostech větru  $c = 8,5$  m/s a  $c = 6,5$  m/s) a při použití rotoru o průměru 90 metrů by elektrický výkon klesl ze 100 % (výška stožáru 100 m) na 45 % (výška 70 m). Při použití rotoru o průměru 50 metrů (místo 90 m) by elektrický výkon klesl na 31 % (výška stožáru 100 m), resp. na 14 % (70 m) – [13, 14, 19].

Je tedy zřejmé, že při snížení výšky stojanu nebo při zmenšení průměru rotoru větrné elektrárny by došlo ke značné ztrátě na zisku elektrické energie, přičemž by se muselo vybudovat prakticky obdobné zařízení se všemi negativními dopady na životní prostředí (emise hluku, zábor půdy – základy zařízení, přístupové komunikace, energetická infrastruktura atd.) jako při realizaci zařízení větrné elektrárny o výšce stojanu 100 metrů a průměru rotoru 90 metrů. Přitom vliv na krajinný ráz by byl u menších zařízení v podstatě stejný, pouze by tato zařízení vypadala, jako by byla umístěna ve větší vzdálenosti od pozorovatele, než by tomu bylo u zařízení větších (vyšší výška stojanu a větší průměr rotoru).

### **Vlivy na tahové cesty a hnízdění ptáků, vlivy na faunu, flóru a ekosystémy**

Z literatury není znám podstatný negativní vliv větrných elektráren na ptactvo. Z výsledků výzkumu vlivu větrných elektráren na avifaunu v Nizozemí (Winkelman, 1992) vyplývá, že nebyl zaznamenán prokazatelný vliv elektráren na hnízdící ptactvo a ptactvo přilétající do blízkosti elektráren za potravou. Z dlouhodobého pozorování 87.000 ptáků v blízkosti elektráren se ve většině případů (97 %) ptáci vyhnuli elektrárnám zcela, pouze zbytek volil průlet rotorem. Ten končí většinou bez střetu s lopatkou, i když k zásahu dojde, nemusí nutně končit těžkým zraněním nebo smrtí ptáka. Existence tlakového pole před otáčející se lopatkou vytváří bariéru, která často ptáka odpudí.

Zkušenosti z pozorování chování ptáků v blízkosti větrných elektráren jsou i z našeho území. Např. v Krušných horách v blízkosti obce Dlouhá Louka byl v letech 1993 a 1994 (Šťastný et al., 2000) proveden podrobný výzkum hnízdních společenstev ptáků ve třech nejvýznamnějších biotopech (v lese, na louce a v chatové osadě) před výstavbou větrné elektrárny a poté po její výstavbě. Výsledky prezentované ve studii jsou dokladem, že provoz větrné elektrárny významným způsobem neovlivňoval hnízdní společenstva ptáků.

Možná rizika spojená s činností větrných elektráren (především kolize ptáků a netopýrů se zařízením) nejsou na základě podrobných průzkumů větší než ta, která jsou spojena s provozem jiných podobných staveb (vysoké věže, vodiče elektrického napětí, silnice apod.). Navíc lze dodat, že při použití vhodných technických řešení není důvod očekávat ve většině případů výraznější zhoršení stavu území navrhovaného pro stavbu větrných elektráren z hlediska zájmů ochrany přírody.

Nicméně je vhodné, aby větrné elektrárny byly navrhovány mimo významné tahové cesty a hnízdiště ptáků. Tuto skutečnost je možno ověřit zpracováním studie, která zhodnotí vliv navrhovaných větrných elektráren na ptáky a další obratlovce.

Stavby větrných elektráren bývají v drtivé většině případů situovány mimo skladebné části územního systému ekologické stability, mimo plochy s vyšším stupněm ekologické stability, resp. mimo lokality, kde se vyskytují přírodě blízké ekosystémy. Rovněž případný vliv na zvláště chráněná území a biotopy zvláště chráněných druhů živočichů bývá nevýznamný. Za účelem vyloučení nepříznivých vlivů na flóru a faunu je vhodné zpracovat biologické (floristické a faunistické) hodnocení dotčených lokalit.

### Stroboskopický efekt

Stroboskopický jev je děj, kdy otáčející se předměty osvětlované periodicky proměnným světlem se zdánlivě nepohybují. V případě provozu větrných elektráren se však jedná spíše o možný efekt světelných záblesků a zastiňování pohyblivým stínem za slunečního svitu. Světelné záblesky z listů rotoru je možno eliminovat matnou povrchovou úpravou listů rotoru (např. v šedé barvě).

Pokud bychom uvažovali, že se rotor u dnes běžně používaných větrných elektráren pohybuje v rozsahu 8 až 17 otáček za minutu, pak by frekvence záblesků byla na úrovni cca 0,4 Hz až 0,9 Hz. Tedy na úrovni, jež je bezpečně mimo rozsah kmitočtu 5 až 30 Hz, při kterém by mohlo u senzitivních osob v blízkosti větrné elektrárny přicházet v úvahu riziko tzv. fotosenzitivní epilepsie.

Zastiňování pohyblivým stínem může být v případě větrných elektráren reálně pozorováno při optimálních světelných podmínkách v rozsahu do cca 250 až 300 metrů od větrné elektrárny. Ve větších vzdálenostech je již prakticky zanedbatelné. Vzhledem k tomu, že většina posuzovaných větrných elektráren bývá lokalizována ve vzdálenosti nad 500 metrů od obytného území, jeví se tento jev jako nevýznamný.

### Vlivy na půdu a povrchové a podzemní vody

Pro jednu větrnou elektrárnu se běžně počítá se záborem zemědělského půdního fondu v rozsahu 0,10 až 0,13 ha, z čehož vlastní zastavěná plocha pro stroj je v rozsahu cca 256 m<sup>2</sup> [13, 14]. Většinou se jedná o půdy s převážně podprůměrnou produkční schopností, s jen omezenou ochranou. Po ukončení provozu větrných elektráren se ve většině případů předpokládá rekultivace pozemků pro event. zemědělské využití, u zpevněných příjezdů se často předpokládá jejich další využívání pro vjezdy na pozemky z přilehlých komunikací.

V rámci provozu větrných elektráren nevznikají technologické a splaškové odpadní vody. Dešťové vody ze zpevněných ploch příjezdů jsou většinou odváděny gravitačně do okolí a do příkopů.

Vliv na povrchové a podzemní vody se při realizaci těchto záměrů neočekává, avšak je nezbytné zajistit dodržení všech příslušných protihavarijních opatření. Zařízení větrných elektráren neovlivní povrchové vody, ani kvalitu, výšku hladiny a směry proudění podzemních vod a to jak při výstavbě, tak při vlastním provozu. Nicméně je vždy nutno zajistit, aby v rámci výstavby obslužných komunikací i vlastních zařízení větrných elektráren nedošlo ke změně či zhoršení odtokových poměrů a výskytu erozních jevů a zároveň omezit znečištění a vnos zemin do koryt vodotečí v průběhu výstavby na minimum.

### Ostatní vlivy

V rámci zimního provozu může někdy dojít k situaci, kdy odlétá *led*, resp. *ledová tříšť* z lopatek stroje (u většiny větrných elektráren nejsou lopatky vyhřívány). U nových větrných elektráren se počítá s tím, že budou vybaveny signalizačním zařízením, které námrazu včas odhalí a VTE automaticky odstaví. Rovněž se počítá s použitím technických opatření, kterými lze vzniku námrazy účinně zabránit (např. výrobou listů rotoru z takových materiálů, které zabrání ulpívání ledu na lopatkách).

Minimálním opatřením v této oblasti je instalace výstražných tabulí s upozorněním na možné nebezpečí úrazu odlétajícím ledem z lopatek rotoru u cest v dostatečné vzdálenosti od větrných elektráren (cca 250 m).



## Závěr

V České republice je připravována výstavba mnoha větrných elektráren i větrných parků. Nicméně realizace, a to i již schválených staveb, postupuje poměrně pomalu. V České republice byl koncem roku 2006 celkový instalovaný výkon větrných elektráren cca 50 MW [40]. Koncem roku 2009 disponovaly u nás větrné elektrárny celkovým instalovaným výkonem 192,86 MW<sub>e</sub>, k 01.12.2010 pak instalovaným výkonem 212,57 MW<sub>e</sub>, což představuje poměrně malý nárůst výkonu.

Větrné elektrárny s celkovým instalovaným výkonem vyšším než 500 kW<sub>e</sub> nebo s výškou stojanu přesahující 35 metrů jsou zařazeny dle přílohy č. 1 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, v kategorii II (záměry vyžadující zjišťovací řízení), bod 3.2 (záměr je v kompetenci krajských úřadů). Z uvedené skutečnosti plyne, že většina dnes navrhovaných větrných elektráren v České republice musí být podrobena zjišťovacímu řízení.

Součástí oznámení zpracovaného dle přílohy č. 3 k zákonu bývá většinou řada studií. Jedná se o hlukovou studii, posouzení vlivu na krajinný ráz, posouzení vlivu větrných elektráren na ptáky a na další obratlovce, příp. posouzení vlivu záměru na evropsky významné lokality a ptačí oblasti podle §45i zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů. Některá oznámení obsahují i hodnocení zdravotních rizik, která zákon požaduje až při zpracování dokumentace dle přílohy č. 4 k zákonu č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, ve znění pozdějších předpisů.

Přes tyto skutečnosti (oznámení vlastně naplňuje všechny znaky dokumentace) nicméně nebývá v současnosti v drtivé většině případů proces posuzování vlivů v případě větrných elektráren ukončen v rámci zjišťovacího řízení (v tzv. zkráceném řízení), ale je nutno v něm dále pokračovat v plném rozsahu (zpracování dokumentace, zpracování posudku, veřejné projednání), mnohdy i s několikerým doplňováním dokumentace před zpracováním posudku.

Tato situace vyplývá jak z negativního přístupu krajů k větrné energetice, tak z postoje veřejnosti, která je ve většině případů negativně naladěna vůči tomuto obnovitelnému zdroji energie. Nicméně je nutno konstatovat, že připomínky veřejnosti jsou často prezentovány ve velmi obecné rovině a také se neustále opakují některé výtky, které byly již dávno diskutovány a vyvráceny.

Vzhledem k výše zmíněnému vztahu veřejnosti a krajů k větrným elektrárnám, je proces posuzování vlivů na životní prostředí u těchto zařízení zdoluhavý a problematický (ve většině případů je tedy nutno počítat s plným procesem posuzování).

### 8.3.3 Bioplynové stanice

Bioplynová stanice (BPS) je zařízení, kde při rozkladu organických látek (bioodpady, příp. pěstovaná biomasa) vzniká anaerobní fermentací v uzavřených nádržích (fermentorech) bez přístupu kyslíku bioplyn, který je jímán a spalován v místě v kogenerační jednotce s výrobou elektrické energie a tepla [20, 21]. Elektrická energie a teplo jsou tak vyráběny především z organických odpadů, což je vhodný způsob jejich odstraňování. Odpady, které jsou na bioplynových stanicích zpracovávány, jsou zařazeny v drtivé většině případů v kategorii „ostatní“. Výstupním produktem procesu anaerobní fermentace je kromě bioplynu i digestát, což je směs pevného a kapalného fermentačního zbytku, využitelná jako hnojivo v zemědělství. Po autorizované certifikaci digestátu jako hnojivo, není digestát považován za odpad ve smyslu zákona o odpadech. Avšak po najetí bioplynové stanice do doby autorizované certifikace digestátu na hnojivo je nutno respektovat zákon o odpadech

a zejména související legislativu, pojednávající o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

Bioplynové stanice lze podle zpracovávaného substrátu (bioodpady, pěstovaná biomasa) rozdělit na [43]:

- zemědělské,
- čistírenské,
- ostatní.

### Zemědělské BPS

Zemědělské bioplynové stanice jsou takové bioplynové stanice, které zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv, resp. podestýlky. Na těchto bioplynových stanicích není možné zpracovávat odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ani jiné materiály, které spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002, o vedlejších živočišných produktech. Na zemědělských bioplynových stanicích je možno zpracovávat zejména následující materiály:

- *Živočišné suroviny* (kejda prasat, hnůj prasat se stelivem, kejda skotu, hnůj skotu se stelivem, hnůj a stelivo z chovu koní, koz, králíků, drůbeží exkrementy včetně steliva atd.).
- *Rostlinné suroviny* (sláma všech typů obilovin i olejnin, plevy a odpad z čištění obilovin, bramborová nať i slupky z brambor, řepná nať z krmné i cukrové řepy, kukuřičná sláma i jádro kukuřice, travní biomasa nebo seno - senáže, nezkrmitelné rostlinné materiály - siláže, obiloviny, kukuřice atd.).
- *Pěstovaná biomasa* (obiloviny v mléčné zralosti (celé rostliny) čerstvé i silážované, kukuřice ve voskové zralosti (celé rostliny) čerstvá i silážovaná, kukuřice vyzrálá (celé rostliny) čerstvá i silážovaná, krmná kapusta (celé rostliny) čerstvá i silážovaná, „prutová“ biomasa - štěpky anebo řezanka z listnatých dřevin z rychloobrátkových kultur atd.).

### Čistírenské BPS

Čistírenské BPS zpracovávají **pouze** kaly z čistíren odpadních vod a jsou nedílnou součástí čistírny odpadních vod. Technologie anaerobní digesce je využívána za účelem anaerobní stabilizace kalu vznikajícího na čistírnách odpadních vod. Tyto technologie nejsou určeny ke zpracování bioodpadů a k nakládání s odpady, ale slouží pouze jako součást kalového hospodářství ČOV jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda. V případě, že jsou do těchto nádrží na anaerobní vyhnívání přidávány jiné odpady podle zákona o odpadech, jedná se o **ostatní bioplynovou stanici**. Na dané zařízení se pak vztahují všechny požadavky zákona o odpadech a jeho prováděcích předpisů. U bioplynových stanic pracujících pouze v režimu ČOV nejsou požadovány zásobní nádrže na vyhnílý kal. Tyto technologie pracují v režimu čistíren odpadních vod, které mají ve svém provozním řádu zpracovány podmínky nakládání s aktivovaným kalem a anaerobně stabilizovaným kalem (vyhnílým kalem).

### Ostatní BPS

Bioplynové stanice zpracovávající ostatní vstupy mohou zpracovávat bioodpady uvedené v tab. 3 přílohy 2 příslušného metodického pokynu MŽP [43]. Pokud BPS zpracovávají vedlejší živočišné produkty (VŽP), spadají pod Nařízení Evropského parlamentu

a Rady (ES) č. 1774/2002 a musí plnit podmínky v něm stanovené, jako je např. hygienizace odpadů, resp. ostatních vstupních surovin (pasterizace, vysokoteplotní hygienizace).

### 8.3.3.1 Technické řešení bioplynových stanic

Velmi často jsou v našich podmínkách vstupním sortimentem pro bioplynové stanice rostlinné, zeleninové a další odpady. Běžně se jedná o následující odpady: siláže, senáže, slámu, řepkovou slámu, otruby, plevy, odpady ze lnu a konopí, odpad z produkce a zpracování zeleniny, vinné révy atd. Mnohdy je možno předpokládat dodávky rostlinných odpadů z konzerváren, dále dodávky z výroby zeleninových salátů či ze zpracování brambor. Velmi často bývá zpracováván zemědělský tekutý odpad (kejda).

Dále bývají zpracovávány i *ostatní bioodpady* - z velkokapacitních kuchyní (školy, nemocnice atd.), pekáren a mlýnů, cukrovarů a pivovarů. V případě zpracování ostatních bioodpadů musí být realizován stupeň hygienizace, což plyne z platné legislativy [25].

Bioodpad je přivážen do přijímací haly (obr. 8.34). Tento prostor je uzavřen a veškerý odsávaný vzduch z prostoru je veden za účelem odstranění pachů *na biologický filtr* (viz dále obr. 8.39; pozn.: ve schématu na obr. 8.35 není biofiltr uveden). Zde odpad vstupuje do technologie, jak je schématicky znázorněno na obrázku 8.35. Po úpravě odpadů (šnekový drtič) s ohledem na jeho zrnění (příjem odpadů se zrnem < 150 mm, drcení na zrnitost  $20 \div 50$  mm, v případě hygienizace na zrnitost  $\square 12$  mm) a homogenitu a po separaci kovových příměsí je odpad dávkován do dvou přípravných jam (obr. 8.35 - předjímka 1 a 2), kde se přidává potřebné množství vody (je využívána voda - permeát - z úpravy digestátu reverzní osmózou). Do přípravných jam přichází také tekuté odpady, které je nutno hygienizovat.



Obr. 8.34 Přijímací hala bioplynové stanice [21]

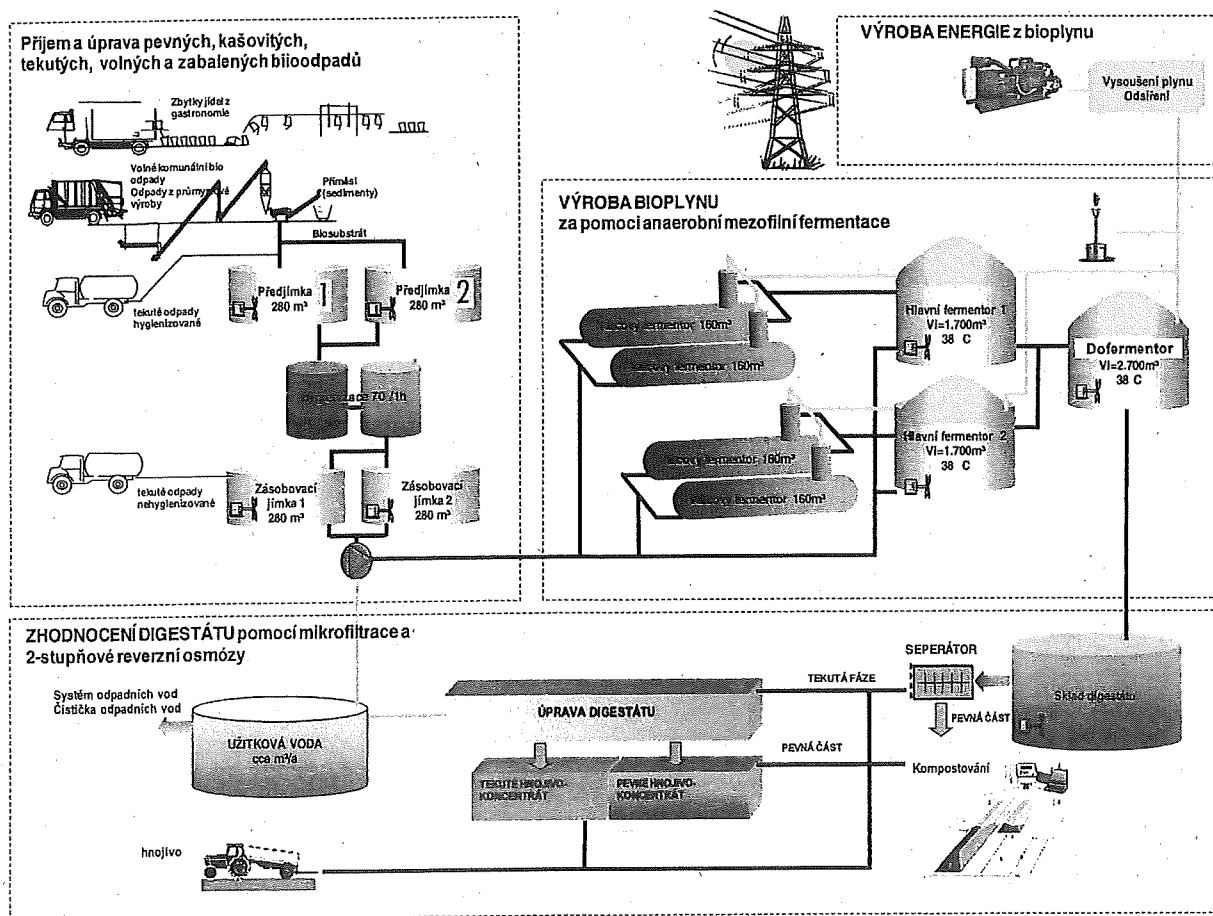
Následuje hygienizace (obr. 8.35), což plyne z platné legislativy (viz část C, bod 2, písmeno b) přílohy č. 2 k vyhlášce č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a dle nařízení ES 1774/2002 - TNP - VO). Hygienizaci je možno

provádět ohřevem na teplotu 70 °C po dobu jedné hodiny. Dalšími možnostmi dle příslušné legislativy [25] je udržování výstupního rekultivačního digestátu při teplotě 70 °C po dobu jedné hodiny nebo kompostování výstupního rekultivačního digestátu.

Biologický odpad dále postupuje do zásobovacích jímek 1 a 2 (viz obr. 8.35), kde je dále upravován jeho pH faktor. Přímou do zásobovacích jímek jsou přiváděny tekuté odpady, které není nutno hygienizovat. Pevné odpady, které není nutno hygienizovat (rostlinné tkáně), je možno po patřičné úpravě velikosti částic zavážet přímo do fermentorů (tato cesta není na obr. 8.35 uvedena).

Odpady jsou dále vedeny do válcových fermentorů ocelové konstrukce (obr. 8.35, 8.36, 8.37). Zde dochází k ohřevu na teplotu 38 °C (tzv. mezofilní pracovní teplota). Všechny fermentory (i betonové – viz dále) jsou vybaveny míchadlem s ohřevem a jsou plynotěsné, takže neovlivňují okolí únikem par ani plynů. Proces dávkování do fermentorů probíhá automaticky v cca dvouhodinových intervalech. Fermentory jsou vybaveny vynášečím zařízením pro sklo a písek, tedy pro látky, které by mohly fermentory značně poškodit.

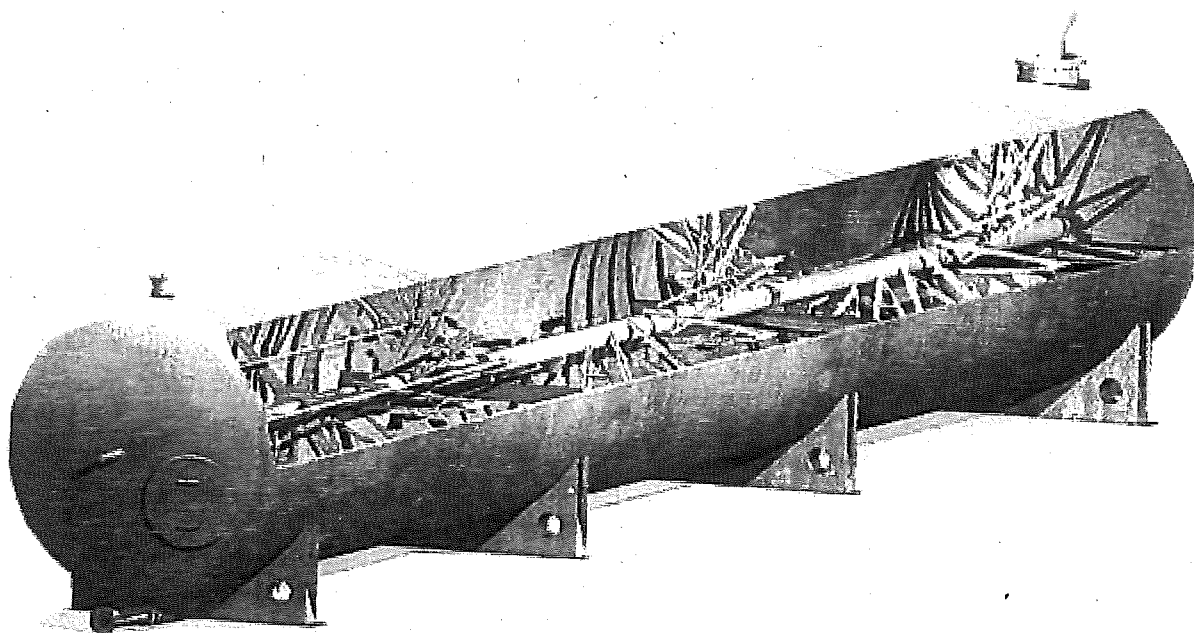
Pozn.: Při anaerobní digestaci bioodpadů je nutno dosáhnout teploty nejméně 55 °C a udržet ji nejméně po dobu 24 hodin bez přerušení, přičemž nezbytná celková doba procesu anaerobní digestace je více než 30 dnů [25]. Dosažení a udržení minimální teploty se nevyžaduje, jsou-li zpracovávaným bioodpadem rostlinné tkáně [25]. Dosažení nižší provozní teploty v reaktoru (fermentoru) než 55 °C nebo kratší doby expozice náplně reaktoru touto teplotou je možné v případě uplatnění hygienizace (viz výše) [25].



Obr. 8.35 Schéma bioplynové stanice [20, 24]

Ve fermentorech probíhá anaerobní proces biologického rozkladu organické hmoty. Je to poměrně složitý proces, kdy při mezofilní teplotě lze za působení různých anaerobních mikroorganismů pozorovat několik stupňů rozkladu - fermentace organické hmoty. Pro zjednodušení lze proces rozdělit do čtyř fází. V první fázi, kterou můžeme nazvat hydrolýza, dochází k rozkladu polymerů organických látek na monomery, což bývá označováno jako hydrolýza. Ve druhé fázi se monomery rozkládají na jednodušší organické látky, zejména organické kyseliny (kapronová, máselná, propionová apod.). Tato fáze je označována jako acidogeneze. Ve třetí fázi se uplatní acetogenní bakterie, které vedou k rozpadu na kyselinu octovou. Tato fáze se nazývá acetogeneze. Ve čtvrté fázi se již uplatňují metanogenní bakterie a vzniká bioplyn. Metanogenní bakterie jsou považovány za jedny z nejstarších živých organismů na naší planetě. Proces fermentace je řízen automaticky, je kontinuální a trvá cca 48 dnů (u zelené hmoty cca 30 dnů).

Rozsah pH potřebný pro život bakterií je v intervalu  $4,5 \div 8$ . Pro potřeby metanogenní fermentace se doporučuje udržovat pH v intervalu  $6,7 \div 7,6$  [16]. Základní podmínkou stability procesu je zabránění proniknutí kyslíku do fermentoru, neboť zpomaluje potřebné reakce. Stejný negativní vliv mají např. vysoké koncentrace amoniaku, antibiotika a kationty  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ .

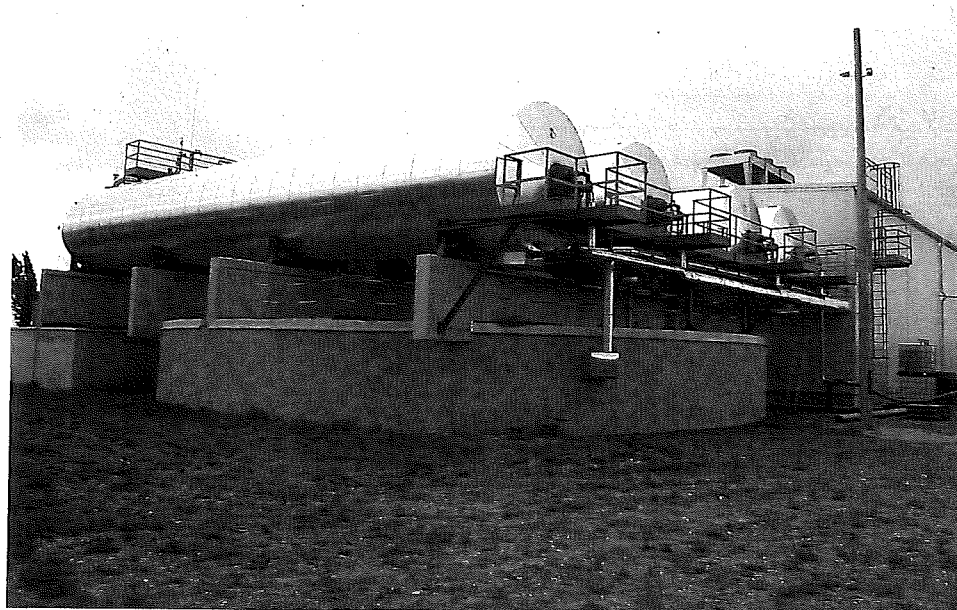


Obr. 8.36 Řez válcovým ocelovým fermentorem [24].

Z ocelových fermentorů je organická hmota i bioplyn veden do dvou hlavních betonových fermentorů (viz obr. 8.35, 8.37). Odtud je organická hmota i bioplyn veden do betonového dofermentoru. Zde proces fermentace končí a bioplyn se odvádí do provozních zásobníků plynu. Každý plynojem je těsněn dvojitou membránou. V některých případech se používá místo plynojemů pouze jímacích vaků (objem cca  $10 \text{ m}^3$ ), které slouží hlavně pro rozjezd kogenerační jednotky po případné poruše zařízení.

Součástí technologie je i odsíření vyrobeného bioplynu, a to před transportem do kogenerační jednotky. Odsíření bioplynu je zajištěno prostřednictvím dmýchadla dávkováním až 3 % čerstvého vzduchu. V čerstvém vzduchu dodané malé množství kyslíku je sirnými bakteriemi spotřebováno k přeměně sulfanu ( $H_2S$ ) v elementární síru. Tím je chráněna kogenerační jednotka před sulfanem a jsou minimalizovány emise oxidů síry do ovzduší.

Fermentační zbytek (digestát) odtéká z dofermentoru do skladu tekutého digestátu (betonová nádrž - obr. 8.35). Kapalná složka digestátu (fugát) může být (po certifikaci) vyvážena na pole jako kapalné hnojivo. Digestát lze však dále upravovat na tuhé hnojivo, což je vždy žádoucí realizovat. Výhody úpravy digestátu na tuhé hnojivo spočívají ve snížení nákladů na dopravovaný objem hnojiv a ve snížení kapacit skladovacích objektů výstupních produktů (ze tří betonových nádrží digestátu stačí pak realizovat pouze jednu - viz obr. 8.35).



**Obr. 8.37** Pohled na válcové ocelové fermentory (nahore) a betonový fermentor (dole) – BPS Zwentendorf (Rakousko) [20].

Úprava digestátu spočívá v jeho odvodnění tlakovým šnekovým separátorem a následnou granulací tuhého podílu. Kal ze šnekového separátoru je veden na nízkotlaké filtrační zařízení, přechodný reaktor a jemný filtr. Za jemným filtrem již následuje dvoustupňová reverzní osmóza k zadržení rozpuštěných látek a iontů (solí). V tomto zařízení jsou membrány, které propouští pouze vodu. Všechny ostatní látky jsou zachyceny. Výstupem je čistá voda a oddělený tekutý koncentrát hnojiva. Vystupující voda (permeát) je pak užitkovou vodou, která se vrací zpět do technologie (k míchání se vstupujícím odpadem v přípravných jámách – předjímka 1 a 2 – viz obr. 8.35).

Kogenerační jednotka je instalována v uzavřené hlukově izolované strojovně haly (obr. 8.38). Jednotka je kompaktního provedení s motorem a generátorem uloženým na pružném základovém rámu. Součástí je i výfukový výměník tepla a tlumič hluku na výfuku. Spaliny jsou odváděny komínem (většinou výšky cca 6 m) nad střechu. Vyrobená elektrická energie je vedena přes blokový VN transformátor, přes měření, ochrany a odpojovače



do distribuční sítě.

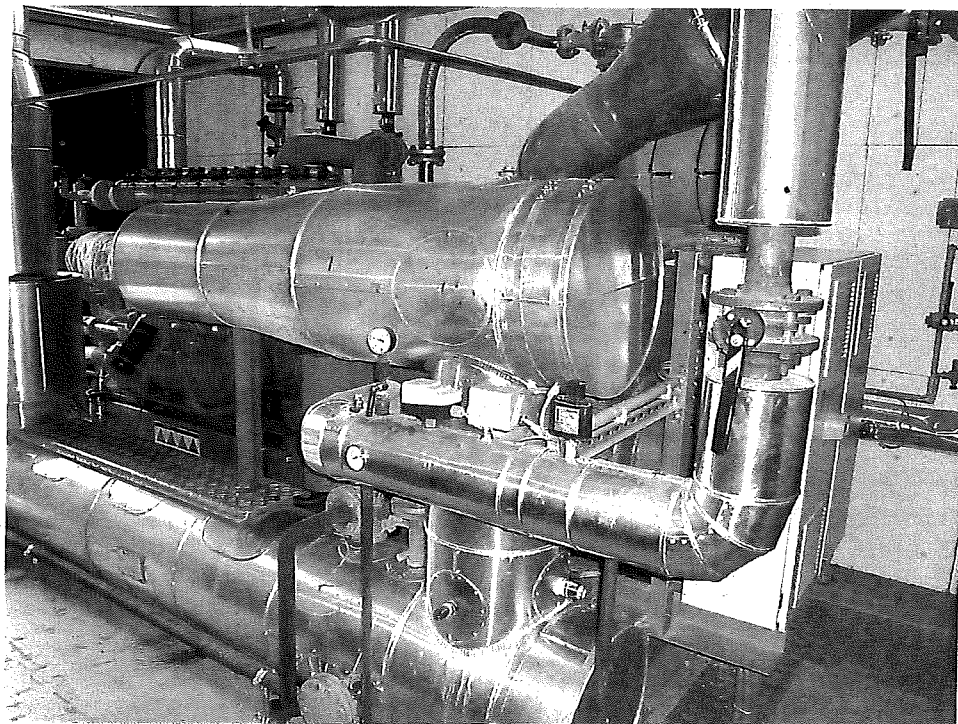
Vyrobené teplo kogenerační jednotky slouží k ohřevu fermentorů a zásobních nádrží bioplynové stanice (cca 20 %), dále k vytápění přejímací haly a hygienizaci odpadů. Vyrobené teplo je možno rovněž využívat k zásobování vedlejších objektů. Přebytky tepla, zejména v letním období, jsou odváděny chladičem, umístěným ve většině případů u haly s kogenerační jednotkou. Perspektivně se předpokládá využití přebytků tepla v letních měsících pro klimatizační účely, sušení řeziva a dřevní štěpky či pro sušení digestátu, produkovaného bioplynovou stanicí.

V kogenerační jednotce bioplynové stanice je spalován bioplyn z anaerobní fermentace o složení, uvedeném v tabulce 8.4. Výhřevnost bioplynu se pohybuje od 19,6 do 25,1 MJ/m<sup>3</sup> [16].

Tab. 8.4 Složení bioplynu

| Složka                           | Podíl objemu (%) |
|----------------------------------|------------------|
| Metan (CH <sub>4</sub> )         | 40 – 80          |
| Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ) | 14 – 55          |
| Dusík (N <sub>2</sub> )          | 0 – 20           |
| Kyslík (O <sub>2</sub> )         | 0 – 2            |
| Vodík (H <sub>2</sub> )          | 0 – 1            |
| Amoniak (NH <sub>3</sub> )       | 0 – 1            |
| Sulfan (H <sub>2</sub> S)        | 0 – 2            |

Jako kompaktní kogenerační jednotky jsou často využívány jednotky firmy Jenbacher (koncern GE - viz obr. 8.38), MAN či Deutz. V zásadě je kogenerační jednotka tvořena spalovacím motorem (má 12 i více válců) a generátorem, vyrábějícím elektrický proud (napětí 0,4 kV a frekvence 50 Hz).



Obr. 8.38 Kogenerační jednotka GE Jenbacher [21]

Např. kogenerační jednotka GE Jenbacher JMS 412 GS-B.LC, která má spotřebu 403 m<sup>3</sup> bioplynu za hodinu a je určena pro spalování bioplynu s obsahem 50 až 65 % metanu, má elektrický výkon 844 kW a tepelný výkon 789 kW (běžně bývá u starších zařízení tepelný výkon větší než elektrický). Celková účinnost kogenerace je 81 %, tepelná účinnost zařízení je 39,1 %, elektrická pak 41,9 % (na obr. 8.38 je uvedena starší kogenerační jednotka o jiných parametrech). Vlastní spotřeba elektrické energie pro provoz bioplynové stanice je cca 5 až 6 % z vyrobené elektrické energie.

Ze zákona je provozovatel rozvodné sítě povinen odebírat elektrickou energii vyrobenou bioplynovou stanicí se sazbou, stanovenou dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu [42]. Výkupní cena elektřiny dodané do sítě dle tohoto rozhodnutí je v současnosti pro BPS dána v rozsahu 3,55 ÷ 4,12 Kč/kWh. Tarif 4,12 Kč/kWh platí pro bioplynové stanice, které zpracovávají biomasu s původem v cíleně pěstovaných energetických plodinách určenou k výrobě bioplynu (kategorie AF1 [44]), tarif 3,55 Kč/kWh pak pro bioplynové stanice, které zpracovávají veškerou jinou biomasu (kategorie AF2).

Uvedená kogenerační jednotka je vhodná pro bioplynovou stanici, která zpracuje cca 30 000 tun bioodpadu za rok.

### 8.3.3.2 Vliv bioplynových stanic na životní prostředí

Při posuzování vlivů záměrů bioplynových stanic na životní prostředí je nutno sledovat zejména následující faktory [22]:

1. vlivy na ovzduší,
2. hluk,
3. vlivy na povrchové a podzemní vody,
4. vlivy na půdu,
5. vlivy na krajinu a krajinný ráz,
6. ostatní vlivy.

#### Vlivy na ovzduší

Hlavním bodovým zdrojem emisí u bioplynové stanice je kogenerační jednotka spalující bioplyn. Množství emisí je v drtivé většině případů zanedbatelné. Za účelem maximálního snížení negativních dopadů na ovzduší bývá instalováno zařízení k odsíření produkovaného bioplynu (viz výše kap. 8.3.3.1). Pro výpočet emisí z provozu kogenerační jednotky je nutno použít emisní limity pro spalovací zdroje - pístové spalovací motory, jejichž stavba či přestavba byla zahájena po 17. květnu 2006 (bod 2.B přílohy č. 4) z nařízení vlády č. 146/2007 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Na základě vyhlášky MŽP č. 13/2009 Sb., o stanovení požadavků na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší, nejsou stanoveny pro plyny obsahy síry v palivu. Emisní limit pro oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>) pro stacionární pístové spalovací motory (z nařízení vlády č. 146/2007 Sb.) není tímto stanoven.

Mezi liniové emisní zdroje patří doprava odpadů do bioplynové stanice a odvoz vyrobeného hnojiva nákladními vozidly (20 ÷ 25 denně) a příjezdy osobních automobilů obsluhy a návštěv (cca 10 denně). Množství emisí z dopravy je zanedbatelné.

Jako jeden z nejproblémovějších vlivů na životní prostředí je u bioplynových stanic hodnocen **zápach**.



Kdyby při anaerobním rozkladu organických látek vznikaly jen majoritní plyny metan, oxid uhličitý, případně vodní pára, k žádným problémům s pachovými emisemi by nedocházelo. Jelikož tomu tak není, objevují se plynné produkty dalších biochemických procesů, které vytvářejí pachovou stopu bioplynu. Jedná se především o sulfan, amoniak a další plyny s negativními pachovými účinky. Rozhodující pro jejich vznik je chemické složení materiálu na vstupu do fermentoru, provozní parametry fermentoru, způsob skladování a zpracování a další manipulace s digestátem. Z toho vyplývá, že různé typy, respektive druhy bioplynových zařízení ohrožují okolí pachovými emisemi různé intenzity.

Problémy se zápachem se většinou vyskytují u *starších stanic* nebo u *novějších bioplynových stanic*, které vznikly pouze rekonstrukcí již existujících zařízení (např. určitých částí zemědělských podniků). Takováto zařízení většinou sestávají pouze z jednoho fermentoru, plynojemu, přečerpávací jímky, skladu digestátu (v mnoha případech se dříve jednalo o kejdomé jímky) a kogenerační jednotky. Chybí hermetizace technologického zařízení a další vybavení k omezování pachových látek (hermetizace dopravních a manipulačních prostředků). Výtěžnost bioplynu je v tomto případě pouze cca 50 %.

Naproti tomu technicky vyspělé bioplynové stanice [20, 21, 24], které pracují s výtěžností bioplynu až 95 %, sestávají většinou z válcových ocelových fermentorů (viz výše obr. 8.35, 8.36 a 8.37), betonových hlavních fermentorů, dofermentorů, plynojemu, skladu digestátu (betonová nádrž, která může být zakryta) a kogenerační jednotky. Kusový organický odpad (tráva a rostlinné zbytky, kejda, odpady jídel a tuků, fekální voda apod.) jsou převáženy do přejímací haly. Tento prostor je uzavřen a odsávaný vzduch z prostoru je veden za účelem odstranění pachů na biologický filtr (viz obr. 8.39).

I u technicky vyspělé bioplynové stanice je nutno dbát na vhodnost materiálu vstupujícího do technologického procesu. Při použití *domovního odpadu* v bioplynové stanici je nutno dodržet následující kritéria pro použitelné a nepoužitelné suroviny [24]:

#### *Použitelné suroviny:*

- posečená tráva, různé divoké byliny,
- listí, zbytky po sklizni, spadlé ovoce, odpady z ovoce a zeleniny,
- zbytky citrusových plodů, banánové slupky,
- zbytky jídla a zkažené potraviny bez obalu, staré zbytky chleba,
- potravinářské tuky a oleje,
- odumřelé pokojové rostliny, řezané květiny, pokojové rostliny (bez květináče a hlíny),
- sedlina kávy a čaje včetně filtrů a papírových sáčků,
- vaječné skořápky, péra, vlasy,
- špinavé papírové utěrky,
- hnůj od drobných zvířat bez podestýlky.

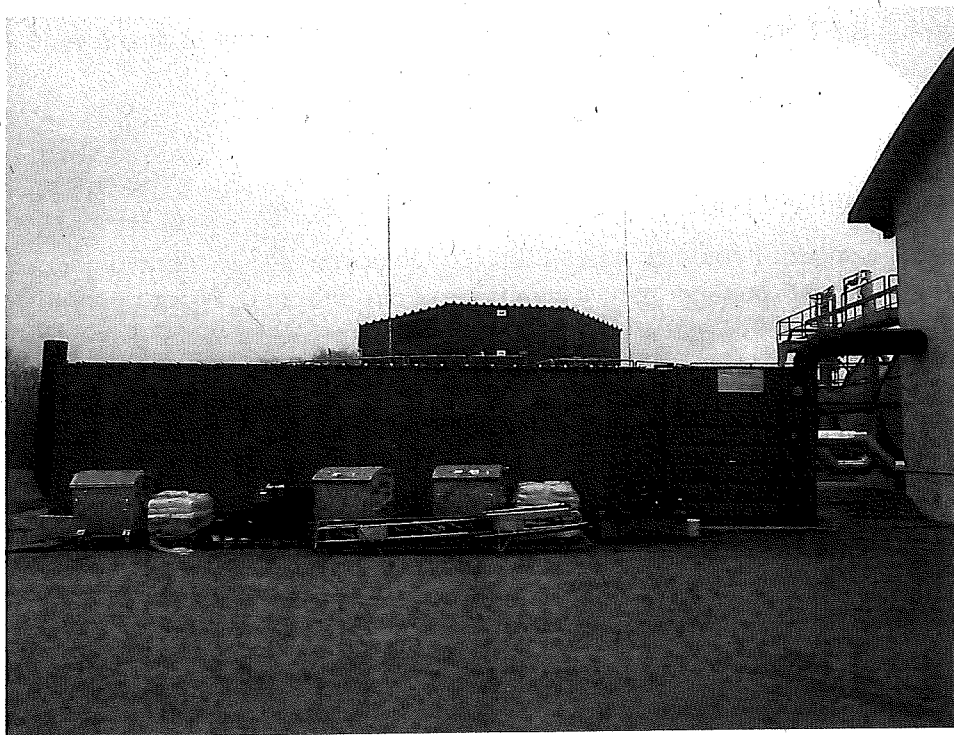
#### *Nepoužitelné suroviny:*

- materiály obsahující lignin - dřevo z pořezu stromů, keřů a křovin, jakož i jiné nezpracované zbytky dřeva, kořeny křoví, piliny, dřevní moučka,
- obaly - vázání, plasty, plastové pytlíky,
- nekompostovatelná podestýlka pro drobná zvířata (kočky, ptáky atd.),
- produkty denní hygieny, pleny, vata, odpadky z koupelny,
- filtry do vysavače, smetí po zametání,
- popel z černého, hnědého a grilovacího uhlí a koksu,
- sklo, kov, plasty, noviny a papír, barevný tisk, textilie, lakované nebo namořené dřevo,
- baterie, chemikálie všeho druhu, laky, zbytky barev, staré oleje, léky.

Problematika pachových emisí se řídí ustanoveními zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. Na tento zákon navazuje vyhláška č. 205/2009 Sb., o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.

Samotné měření pachů je řešeno vyhláškou č. 362/2006 Sb., o způsobu stanovení koncentrace pachových látek, přípustné míry obtěžování zápachem a způsobu jejího zjišťování. Stanovení koncentrace pachových látek se provádí dle § 2 této vyhlášky u stacionárních zdrojů uvedených v příloze k této vyhlášce postupem stanoveným touto vyhláškou a českou technickou normou ČSN EN 13725. Stanovení koncentrace pachových látek se nevztahuje na malé stacionární zdroje. Pach lze měřit následujícími metodami:

- Olfaktometrická metoda (ČSN EN 13725 Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometer),
- Metoda statistického zjišťování a hodnocení obtěžování zápachem (ČSN 83 5030 Účinky a posuzování pachů – Stanovení parametrů obtěžování dotazováním panelového vzorku obyvatel),
- Měření v pachové stopě (ČSN 83 5031 Stanovení pachových látek ve venkovním ovzduší terénním průzkumem),
- Metoda místního šetření na základě statistiky stížností.



Obr. 8.39 Biofiltr [21]

Při stanovení koncentrace pachových látek u stacionárních zdrojů je v současné době nutno se řídit vyhláškou MŽP č. 362/2006 Sb. Tato vyhláška preferuje olfaktometrickou metodu měření pachových emisí.

Vyhodnocení pachové situace (olfaktometrické měření) by mělo být provedeno v rámci zkušebního provozu bioplynové stanice. Je možno konstatovat, že drtivá většina *technicky*

vyspělých bioplynových stanic **není zdrojem výrazného zápachu** do okolí.

### **Hluk**

V případě technologického hluku bioplynové stanice je nutno konstatovat, že jeho hodnocení je prováděno pomocí hlukové studie, která hodnotí hluk u nejbližší okolní zástavby. Vzhledem ke značným vzdálenostem od obytné zástavby, nebývá vliv hluku podstatný.

Ze zdrojů hluku se hlavně jedná o kogenerační jednotku, která ovšem bývá standardně instalována v uzavřené (hlukově izolované) strojovně haly. Jednotka je kompaktního provedení s motorem a generátorem uloženým na pružném základovém rámu. Součástí je i výfukový výměník tepla a tlumič hluku na výfuku.

V bezprostřední blízkosti bioplynové stanice může být problematický hluk, generovaný ventilátory umístěnými na chladičích pro maření tepla a hluk působený dmychadlem, které stlačuje produkovaný bioplyn. U těchto zdrojů je rozhodující jejich situování v rámci areálu BPS ve vztahu k obytné zástavbě (je nutno je umístit tak, aby byla zastíněna). Ostatní zařízení nejsou z hlediska hluku problematická.

Vliv dopravního hluku a jeho změny v souvislosti s výstavbou a následně i provozem bioplynových stanic se projeví hlavně v denní době v okolí příjezdové komunikace, po které bude doprava probíhat. Jelikož výpočtové body, ke kterým bývá proveden výpočet hluku ze stacionárních zdrojů, jsou často od této komunikace značně vzdáleny, je nutno změny hlukové situace popsat v hlukové studii změnou ekvivalentních hladin hluku v normované vzdálenosti od komunikací (např. 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu).

### **Vlivy na povrchové a podzemní vody**

#### *Technologické odpadní vody*

Technologické odpadní vody nevznikají. Po fermentaci se digestát upravuje a užitková odpadní voda (permeát) se použije zpět v technologickém procesu. Případný přebytek je možné kdekoli uplatnit, jelikož po proběhlé dvoustupňové reverzní osmóze kvalita vody vyhovuje ukazatelům pro užitkovou vodu.

#### *Splaškové odpadní vody*

Vznikající splaškové odpadní vody jsou většinou odváděny na vlastní domovní čistírnu odpadních vod. Vyčištěné vody jsou následně odvedeny do vodoteče či kanalizace.

#### *Dešťová voda*

Nekontaminovaná dešťová voda ze střechy haly je odváděna do vodoteče či do dešťové kanalizace.

Realizací výstavby bioplynové stanice by tedy za běžných podmínek nemělo dojít k ohrožení povrchových ani podzemních vod.

### **Vlivy na půdu**

V místech výstavby bioplynových stanic jsou velmi často situovány dosluhující zemědělské objekty, bývalé průmyslové areály nebo je výstavba navržena „na zelené louce“ v rámci nových průmyslových areálů. Ani v posledním uvedeném případě nejde o dramatický zábor půdy, neboť pro výstavbu bioplynové stanice v drtivé většině případů postačuje pozemek s rozlohou do 4 až 5 tis. m<sup>2</sup>.

Produkty bioplynové stanice (hnojivo) navrátí při odpovídajícím zpracování živiny do zemědělských půd. Je tedy možno konstatovat, že provoz bioplynových stanic nemá vliv na půdu (pokud ovšem nedojde k živelnému ukládání nezpracovaného digestátu ve velké vrstvě na zemědělskou půdu, což se bohužel někdy stává).

Horninové prostředí předpokládanou činností nebývá ovlivňováno. Vliv na nerostné surovinové zdroje se rovněž neprojeví.

### **Vlivy na krajinu a krajinný ráz**

Bioplynová stanice nepůsobí většinou rušivě na krajinný ráz, protože bývá velmi často umístěna v lokalitě, kde se již nacházejí zemědělské či průmyslové objekty. V případě samostatné výstavby, např. na vyvýšeném místě, by bylo nutno zpracovat studii hodnocení vlivu na krajinný ráz.

### **Ostatní vlivy**

Mezi ostatní vlivy je možno zařadit např. problematiku pozemků využívaných k aplikaci kapalného i tuhého digestátu, údaje o optimálním, resp. maximálním množství aplikovaného digestátu atd.

Nicméně je nutno zdůraznit, že ve všech případech je nutno preferovat výrobu hnojiva, které je možno realizovat obchodním způsobem, před pouhou aplikací výstupních látek z procesu fermentace na nejbližší okolní pole.

Vlivy na faunu, flóru a územní systém ekologické stability jsou, vzhledem k převažujícímu umístění bioplynových stanic na již využívaných zemědělských lokalitách či v průmyslových zónách, nevýznamné.

### **Závěr**

Jak již bylo uvedeno výše, je zápach u bioplynových stanic jedním z nejproblémovějších vlivů na životní prostředí. Omezit pachové emise u provozovaných i nově realizovaných bioplynových stanic mají za cíl některá připravovaná nebo již schválená legislativní opatření [26]:

- Metodický pokyn MŽP (odboru ochrany ovzduší) k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu,
- Povinná registrace digestátu jako hnojiva (ve smyslu zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů),
- Stanovení limitních hodnot pachových emisí mimo jiné i pro bioplynové stanice,
- Cenová rozhodnutí Energetického regulačního úřadu (ERÚ) zvýhodňující zemědělské bioplynové stanice,
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 362/2006 Sb., o způsobu stanovení koncentrace pachových látek.

Bohužel veřejnost v České republice v drtivé většině případů vnímá téměř automaticky bioplynové stanice jako potenciální zdroj silného zápachu. Je to dáno historickou zkušeností, kdy v minulých letech vznikaly výhradně (většinou rekonstrukcemi) technologicky nedokonalé bioplynové stanice bez hermetizace a dalšího vybavení k omezování pachových látek, což vedlo k vysoké emisi pachů do okolí. Nyní je velmi těžké veřejnost přesvědčit, že existují technologicky vyspělá zařízení, která vedle vysoké výtěžnosti bioplynu zaručují také provoz bez zápachu.

Podle přílohy č. 1 zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění pozdějších předpisů, je možno zařadit záměry bioplynových stanic do kategorie II (záměry vyžadující zjišťovací řízení) do bodu 10.1 (*Zařízení ke skladování, úpravě nebo využívání nebezpečných odpadů; zařízení k fyzikálně-chemické úpravě, energetickému využívání nebo odstraňování ostatních odpadů*). Příslušným úřadem k provedení zjišťovacího řízení, případně celého procesu posuzování vlivů na životní prostředí, je příslušný krajský úřad.

Pokud jmenovitý tepelný výkon zařízení (kogenerační jednotky) bude nad 0,2 MW, je záměr rovněž podlimitním záměrem k bodu 3.1 (*Zařízení ke spalování paliv o jmenovitém tepelném výkonu od 50 do 200 MW*), kategorie II přílohy č. 1 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Příslušným úřadem k provedení posouzení, zda u podlimitního záměru bude vyžadováno zjišťovací řízení, či nikoliv (dle novely č. 216/2007 Sb.), je příslušný krajský úřad, který může v dalších stupních nechat případně záměr podrobit celému procesu posuzování vlivů na životní prostředí. Záměry bioplynových stanic jsou nyní častěji řazeny do této kategorie.

Vzhledem k výše zmíněnému vztahu veřejnosti k bioplynovým stanicím, je proces posuzování vlivů na životní prostředí u těchto zařízení zdoluhavý a problematický. Ve většině případů je nutno počítat s celým procesem posuzování (zpracování oznámení podlimitního záměru, resp. oznámení dle přílohy č. 3a, resp. č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, zjišťovací řízení, zpracování dokumentace, zpracování posudků, veřejné projednání), i když zákon hypoteticky umožňuje zpracovat pouze oznámení podlimitního záměru, resp. podrobit záměr pouze zjišťovacímu řízení a tedy ukončit proces posuzování v tzv. zkráceném řízení, resp. neposuzovat záměr vůbec (podlimitní záměr).

### 8.3.4 Sluneční energie

Na plochu 1 m<sup>2</sup> kolmo ke slunečním paprskům dopadá vně zemské atmosféry během dne zářivý tok, odpovídající výkonu 1 373 W. Hustota tohoto toku je tzv. **solární konstanta** (1,373 kW/m<sup>2</sup>). Celkový výkon vyzařovaný Sluncem činí 3,8·10<sup>26</sup> W. Na Zemi však dopadne jen malá část – asi 180 000 TW (1,8·10<sup>17</sup> W). Z toho 34 % (přibližně 60 000 TW) se *odráží* od atmosféry Země a od mraků (tzv. albedo Země) zpět do meziplanetárního prostoru a 66 % (zhruba 120 000 TW) je *pohlčeno* jak atmosférou (19 %), tak zemským povrchem (47 %). Ze 47 % energie pohlčené zemským povrchem je jedno promile (asi 90 TW) zachyceno *fotosyntézou* [5]. Z této energie zachycené zelenými rostlinami a fytoplanktonem žije celá biosféra. Tato energie však není na všech místech planety Země stejná.

Na povrch území České republiky dopadá sluneční záření s průměrnou intenzitou 800 W/m<sup>2</sup> v závislosti na lokalitě a klimatických podmínkách. Ročně tak dopadne na naše území energie 1 000 ÷ 1 250 kWh/m<sup>2</sup> (průměr pro ČR činí 1 081 kWh/m<sup>2</sup>).

#### 8.3.4.1 Sluneční elektrárny

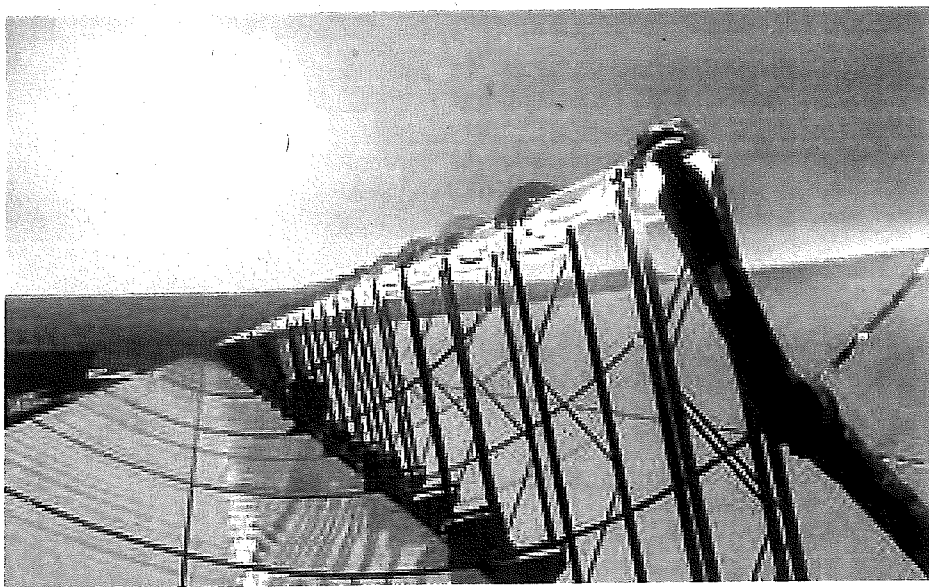
Získávání elektrické energie přímo ze slunečního záření je z hlediska životního prostředí nejčistším a nejšetrnějším způsobem její výroby.

##### Sluneční tepelné elektrárny (termosolární)

Ve sluneční tepelné elektrárně se sluneční záření mění na elektrickou energii ve velkém měřítku. V principu jde o tepelnou elektrárnu, která potřebné teplo získává přímo

ze slunečního záření. Kotel (absorbér) sluneční elektrárny je umístěn na věži v ohnisku velkého fokusačního (ohniskového) sběrače. Sluneční záření se na něj soustřeďuje pomocí mnoha otáčivých rovinných zrcadel - tzv. heliostatů [45]. V kotli se ohřívá např. olej, ve výměníku se získává horká pára, která pak pohání turbínu, turbína pohání generátor a ten vyrábí elektrický proud (termodynamický cyklus).

V poslední době se rozvíjí jiná varianta slunečních tepelných elektráren, u kterých jsou sluneční paprsky soustřeďovány dlouhými ležatými parabolickými zrcadly do válcových skleněných absorbérů (obr. 8.40).



Obr. 8.40 Parabolická zrcadla a skleněné absorbéry [46]

Plášť vakuovaných skleněných absorbérů (každá jednotka má délku 4 m) je tvořen vysoce transparentním a odolným borosilikátovým sklem. Je vysoce odolný proti abrazi a současně umožňuje přenos více než 96 % sluneční energie. Slunečním zářením je ohříván speciální olej až na teplotu 600 °C. Ve výměníku se získává horká pára, která se dále uplatňuje v rámci termodynamického cyklu - pohání turbínu, turbína pohání generátor a ten vyrábí elektrický proud.

Většinou jsou tyto systémy označovány jako CSP (Concentrated Solar Power – usměrněná sluneční energie). Často jsou elektrárny s těmito systémy označovány jako **termosolární**.

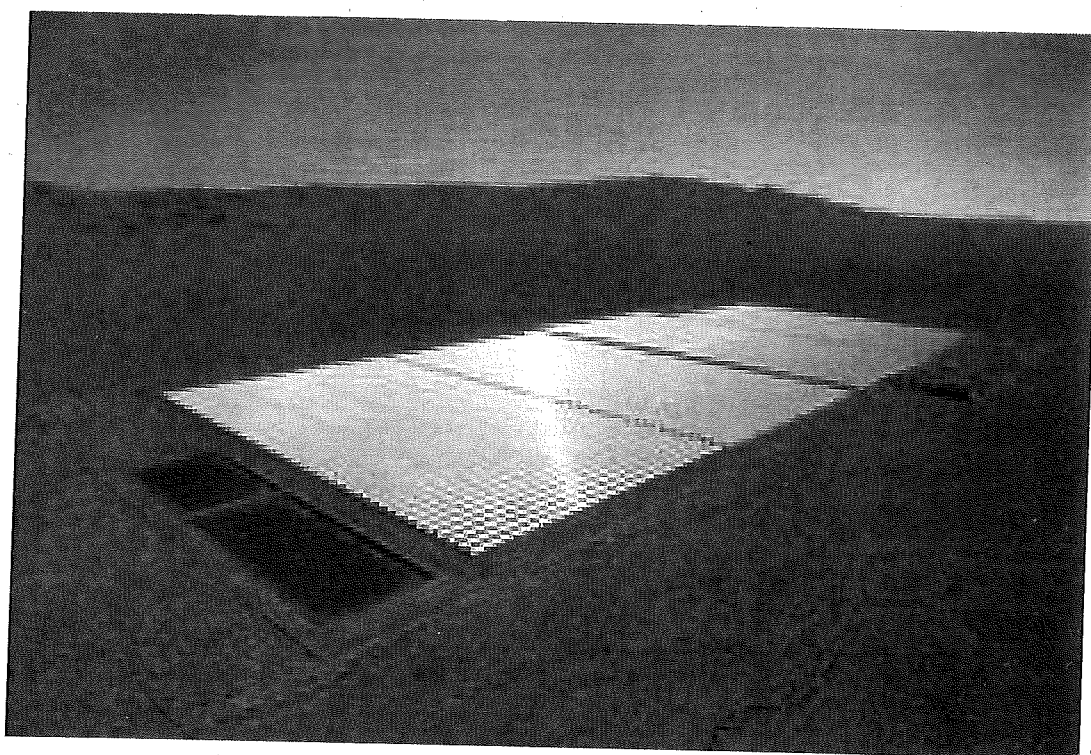
V červnu 2007 byla uvedena do provozu na bázi technologie CSP sluneční elektrárna s instalovaným elektrickým výkonem 64 MW v Boulder City (Nevada, USA – obr. 8.41) a v zimě 2008 s instalovaným elektrickým výkonem 50 MW u města Guadix (Granada, Španělsko) [46]. V pouštních podmínkách Kalifornie nicméně tato zařízení fungují již od poloviny osmdesátých let.

Sluneční elektrárna Guadix (50 MW) má přibližnou odrazovou plochu ležatých parabolických zrcadel 360 000 m<sup>2</sup> a k výrobě páry je využito 15 000 skleněných absorbérů o celkové délce cca 60 km (absorbér má délku 4 m). Celková plocha zařízení činí cca 2 mil. m<sup>2</sup>.

V poslední době je často prezentován projekt Desertec, který vypracovala společnost Desertec Foundation. Tato společnost sdružuje cca dvacet významných německých investorů

(banky, energetické firmy). Projekt předpokládá výstavbu termosolárních (CSP) elektráren na severu Afriky v oblasti Sahary, čímž by měly být částečně řešeny problémy se zásobováním Evropy elektrickou energií. Pokud se projekt uskuteční podle plánu, měl by okolo roku 2050, po dokončení stavby všech bloků, krýt evropskou spotřebu až z 15 %. Další (menší) část elektrické energie by měla krýt spotřebu v severní Africe a na Blízkém východě a měla by být také využita pro výrobu pitné vody. Instalovaný výkon by měl dosáhnout 100 GW, cena projektu by měla být 400 miliard eur [47].

Jistý problém představuje konvenční (střídavá) přenosová síť, která není schopna přenášet velká množství elektrické energie na dlouhé vzdálenosti. Proto se plánuje využít kombinaci tradiční sítě pro distribuci střídavého proudu a vysokonapěťové přenosové sítě stejnosměrného proudu na velké vzdálenosti (HVDC). Hlavní výhodou HVDC je, že nevyzařuje škodlivé elektromagnetické vlny a lze ji vést pod zemí i vodou. Náklady na její zbudování dosahují daleko nižších částek než ty na stavbu elektráren [47].



Obr. 8.41 Termosolární (CSP) elektrárna s instalovaným výkonem 64 MW v Boulder City (USA) [46]

### Palivový článěk

Elektrinu lze získávat ze slunečního záření také prostřednictvím energie chemické tak, že pomocí slunečního záření rozložíme vodu na vodík a kyslík [45]. Tím se původní *energie záření* uskladní jako *energie chemická do obou plynů*. Při slučování obou plynů, tj. při okysličování vodíku, vzniká opět voda. Nahromaděná energie se přitom uvolní buď jako teplo (při hoření), nebo v palivovém článku jako elektrický proud. Palivový článěk je měnič, ve kterém se energie chemická mění v energii elektrickou.

Palivové články budou pravděpodobně - podobně jako jaderné palivo - důležitým zdrojem elektrické energie v budoucnosti. Představují uskladněnou sluneční energii a lze je získávat v neomezeném množství. Účinnost palivových článků je vysoká (až 90 %), naproti



tomu generátory elektráren na fosilní paliva dosahují účinnosti pouze  $35 \div 38 \%$  (viz výše kap. 8.1.5.3).

Provoz palivových článků je absolutně čistý, neboť jejich produktem je voda. Články pracují zcela bezhlučně, jelikož neobsahují žádné pohyblivé části. Pomocí palivových článků lze získávat elektřinu pro domácnost (s výkonem 12 kW). Vyrábějí se však už baterie mnoha palivových článků s výkonem až 13 000 kW (užívají se zejména v astronautice). Palivové články je také možno využít pro pohon vozidel (viz též dále kap. 9.3.3.2).

### Nepřímá přeměna

Nepřímá přeměna při získávání elektrické energie ze sluneční energie je založena na získání tepla pomocí slunečních sběračů. V ohnisku sběračů umístíme termoelektroly, které mění teplo v elektřinu. Termoelektrická přeměna je založena na tzv. Seebeckově jevu (v obvodu ze dvou různých vodičů vzniká elektrický proud, pokud jejich spoje mají různou teplotu). Jednoduché zařízení ze dvou různých vodičů spojených na koncích se nazývá termoelektrický článek. Jeho účinnost závisí na vlastnostech obou kovů, z nichž jsou vodiče vyrobeny, a na rozdílu teplot mezi teplým a studeným spojem. Větší množství termoelektrických článků vhodně spojených se nazývá termoelektrický generátor [45].

### Přímá (fotovoltaická) přeměna

Přímá přeměna využívá fotovoltaického jevu, při kterém se v určité látce působením světla (fotonů) uvolňují elektrony [45]. Tento jev může nastat v některých polovodičích (např. v křemíku, germaniu, sirníku kadmia aj.). **Fotovoltaický článek** je tvořen nejčastěji tenkou destičkou z monokrystalu křemíku, použít lze i polykrystalický materiál. Destička je z jedné strany obohacena atomy trojmocného prvku (např. boru), z druhé strany atomy pětímocného prvku (např. arzenu). Když na destičku dopadnou fotony, záporné elektrony se uvolňují a zbývají kladně nabitě „díry“ (elektrony a díry jsou separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu). Přiložíme-li na obě strany destičky elektrody a spojíme je vodičem, začne protékat elektrický proud. Jeden  $\text{cm}^2$  dává proud okolo 12 mW (miliwattů). Jeden metr čtvereční slunečních článků může dát v letní poledne až 150 W *stejnoseměrného* proudu. Sluneční články se zapojují buď za sebou, abychom dosáhli potřebného napětí (na jednom článku je 0,5 V), nebo vedle sebe tak, abychom získali větší proud. Standardně jsou používány sestavy pro jmenovité stejnosměrné provozní napětí 12 nebo 24 V.

Takto vytvořené sestavy článků v sériovém nebo i sériovo-paralelním řazení jsou hermeticky uzavřeny ve struktuře krycích materiálů výsledného **solárního panelu**. Konstrukce solárních panelů byly přizpůsobeny pro nejrůznější druhy použití. Většina solárních panelů je opatřena předním krycím sklem a solární články jsou zalaminovány do struktury plastových fólií (obr. 8.42). Solární panely mohou mít podobu fasádních skel, střešní krytiny nebo fasádních obkladů. Na solární panely jsou kladeny vysoké nároky ohledně mechanické a klimatické odolnosti tak, aby byla zajištěna dlouhá životnost (teploty, vlhkost, vítr). Krycí materiály musejí mít vysokou optickou a izolační stálost. Předpokládaná životnost panelů je delší než 30 let [16]. Garance výrobců jsou obvykle nastaveny tak, že výkon panelů po 25 letech neklesne pod 80 % výkonu původního [48].

Vývoj solárních článků dospěl k celé řadě rozdílných technologií. Nejvíce propracovanou a stabilizovanou je technologie založená na **krystalickém křemíku**. Základem je plátek s tloušťkou  $0,20 \div 0,3$  mm z křemíku s monokrystalickou nebo multikrystalickou strukturou. Zpravidla se jedná o plátky čtvercového tvaru s rozměry až  $200 \times 200$  mm. Energetická účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii je u současných hromadně vyráběných křemíkových solárních článků 14 až 17 %. Účinnost



u laboratorních vzorků dosahuje až 28 %. Články vynikají vysokou stabilitou výkonu a dlouhou životností (minimálně 30 let). Samotná výroba křemíkových plátek je poměrně dosti energeticky náročná. Nicméně množství energie vložené do výroby solárního panelu je tímto panelem vyrobeno v našich podmínkách do 5 let. Téměř 85 % všech solárních panelů je vyrobeno s křemíkovými krystalickými články.

Významnější postavení na trhu nacházejí i solární panely vyrobené **tenkovrstvou technologií**, označované také jako technologie druhé generace. Solární články včetně jejich propojení jsou vytvořeny přímo na nosné podložce depozicí velmi tenkých vrstev materiálů (jednotky mikrometrů). Nosnou podložkou může být sklo, plastová fólie nebo ocelový plech. Nejpoužívanějším materiálem pro aktivní vrstvy je opět křemík, tentokrát však s amorfni nebo mikrokrytalickou strukturou. Účinnost tenkovrstvých křemíkových panelů je  $7 \div 9 \%$ . Zatím v malých objemech jsou vyráběny tenkovrstvou technologií panely se strukturami CdTe, CIS a CIGS (měď, indium, galium, síra, selen). Účinnost u struktury CdTe je 12 % a struktury CIS dosahují až 15 %. Přestože tenkovrstvé solární panely zatím nedosahují takových účinností jako krystalické křemíkové články a zatím nepřinášejí výraznou cenovou výhodu, jsou tyto struktury příslibem na výrazné snížení ceny fotovoltaiky. Panel s tenkovrstvou strukturou CIS má zhruba poloviční dobu energetické návratnosti (kolem  $2,5 \div 3$  let) vůči klasickému panelu s krystalickým křemíkem [16].

Ve fázi laboratorních testů jsou alternativní technologie (polymery a články s fotocitlivým barvivem), u kterých se očekává výrazně nižší výrobní cena. U solárních článků třetí generace s alternativními technologiemi se pak očekávají velmi vysoké účinnosti při poměrně nízkých nákladech. Tyto technologie jsou však zatím v rané fázi vývoje.

Pro využití elektrické energie ze solárních panelů je potřeba připojit k panelu kromě elektrických spotřebičů další technické prvky – např. akumulátorovou baterii, regulátor dobíjení, napěťový střídač, indikační a měřicí přístroje, případně systém manuálního či automatického natáčení za Sluncem. Sestava fotovoltaických panelů, podpůrných zařízení, spotřebiče a případně dalších prvků se nazývá **fotovoltaický systém**. Množství a skladba prvků fotovoltaického systému závisí na druhu aplikace.

Díky použití polohovacích jednotek je možno zvýšit výstup fotovoltaického systému až o 37 % oproti klasické nepolohované instalaci. Inteligentní řídicí jednotka ve spojení se speciální senzorovou hlavou zajišťuje jak přesné nastavení polohy, tak i maximální využití slunečního záření (i při oblačném počasí). Polohovací jednotka může být řízena pomocí senzorů či manuálně. Polohovací jednotka spotřebovává nízké množství energie a je napájena ze sítě. Z důvodu dostatečné bezpečnosti i při velmi silném větru bývá jednotka zpravidla vybavena senzorem rychlosti větru. V případě rozsáhlých solárních parků jsou polohovací jednotky řízeny a monitorovány centrálním řídicím systémem. Pomocí tohoto nástroje je možné takřka online sledovat stav všech polohovacích jednotek i střídačů. Stačí mít připojení na internet a je tak možno mít solární park kdykoliv pod kontrolou z jakéhokoli místa.

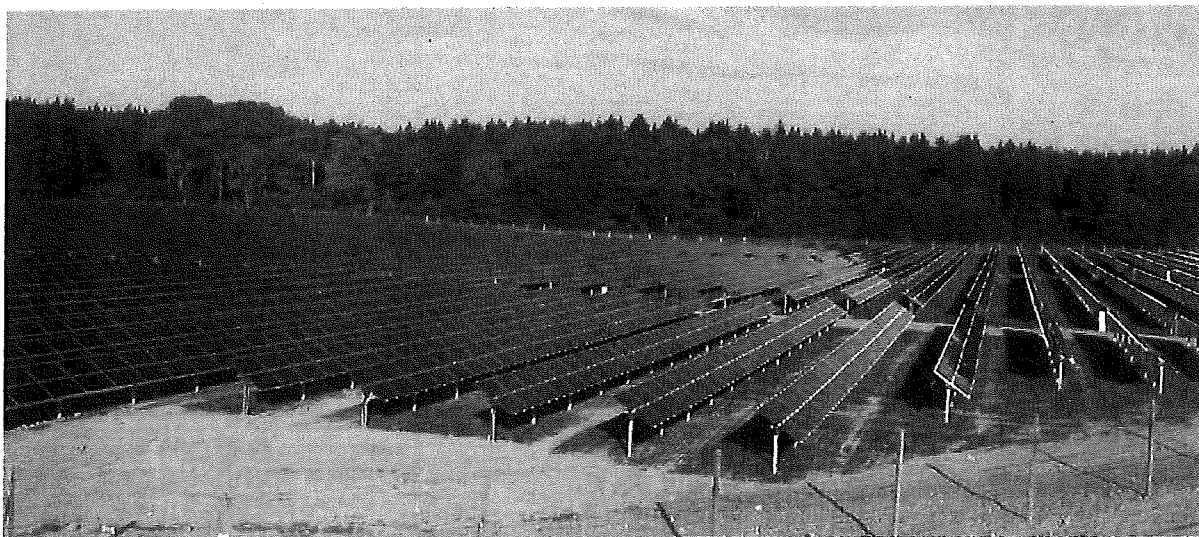
V našich podmínkách je fotovoltaický systém s výkonem 1 kW schopen vyrobit  $900 \div 1\,000$  kWh elektrické energie za rok.

**Systémy nezávislé na rozvodné síti** (grid-off), tzv. **ostrovní systémy** jsou instalovány na místech, kde není účelné budovat elektrickou přípojku. Tedy v případech, kdy jsou náklady na vybudování přípojky srovnatelné s náklady na fotovoltaický systém (od vzdálenosti k rozvodné síti větší než  $500 \div 1\,000$  m). Výkony ostrovních systémů se pohybují v intervalu  $1\text{ W} \div 10\text{ kW}$  špičkového výkonu.

Systémy nezávislé na rozvodné síti lze rozdělit na systémy:

- *s přímým napájením* (připojené elektrické zařízení je funkční pouze po dobu dostatečné intenzity slunečního záření; jedná se o prosté propojení solárního panelu a spotřebiče),
- *s akumulací elektrické energie* (používají se tam, kde je potřeba elektřiny i v době bez slunečního záření - využívají akumulátorových baterií),
- *hybridní ostrovní systémy* (jde o rozšíření systému doplňkovým zdrojem elektřiny, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem - takovým zdrojem může být větrná elektrárna, malá vodní elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka apod.).

**Sít'ové fotovoltaické systémy** (grid-on) se nejvíce uplatňují v oblastech s hustou elektrorozvodnou sítí. Elektrická energie je ze solárních panelů dodávána přes sít'ový střídač do rozvodné sítě. Systémy tohoto typu fungují zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení sít'ového měniče. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti se pohybuje v rozmezí kW až MW. Fotovoltaické panely v případě sít'ových fotovoltaických systémů jsou často integrovány do obvodového pláště budov. Nejrozšířenější jsou v Německu, Japonsku, Spojených státech a ve Španělsku. V České republice je realizováno již více větších systémů tohoto typu.



**Obr. 8.42** Fotovoltaická elektrárna s instalovaným el. výkonem 2,2 MW v Althegnenbergu (Něm.) [49]

Z významných zahraničních instalací v oblasti fotovoltaiky je nutno vzpomenout počín německé společnosti Phoenix Solar AG, která společně s finančním partnerem KGAL uvedla počátkem dubna 2008 do běžného provozu svůj dosud největší solární park, který stojí u města La Solana ve Španělsku (obr. 8.43). Solární elektrárna je umístěna v oblasti Castilla-La Mancha, zhruba 200 km na jih od Madridu.

Její instalovaný elektrický výkon je 6,5 MW a od konce března 2008 napájí ekologickou elektřinou rozvodnou síť společnosti Denisa pro lokální využití. Očekávaný hodinový výkon elektrárny La Solana je 1 580 kilowatthodin. To je umožněno instalací 40 320 skleněných modulů na ploše zhruba 21 hektarů, které by měly zajistit roční energetický zisk ve výši kolem 9,8 milionů kWh. Takové množství elektřiny může využívat cca 11 000 spotřebitelů

La Solany, což je asi 70 % obyvatel tohoto španělského města [50].

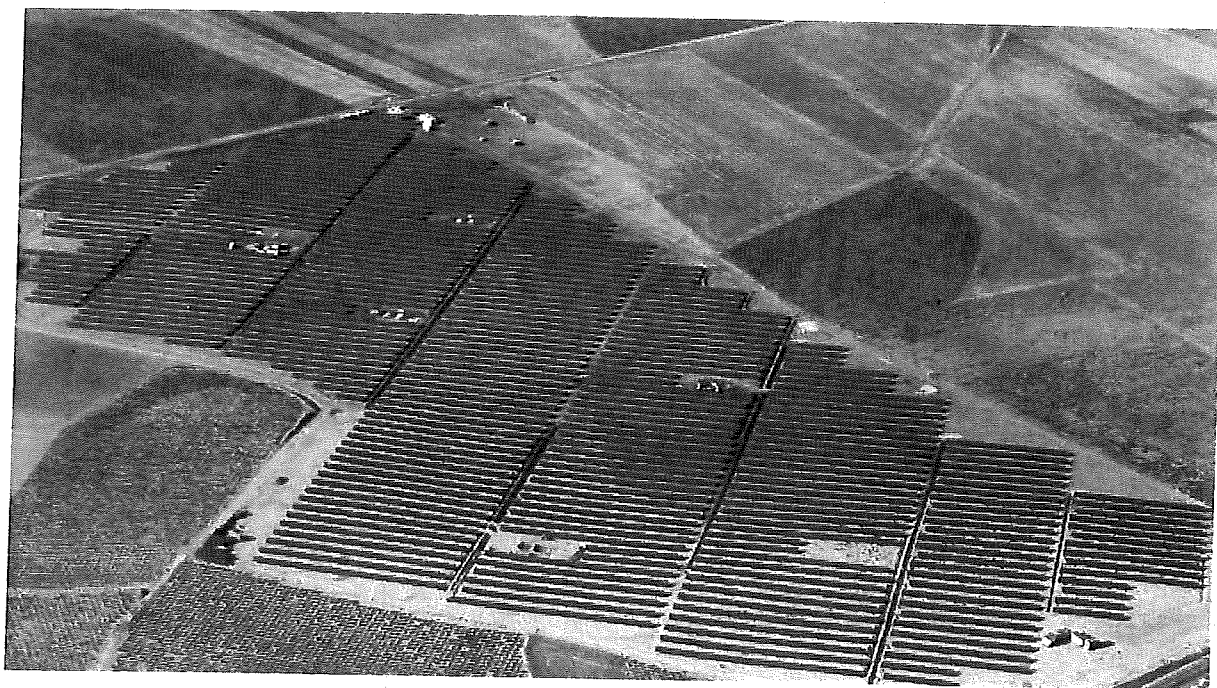
Z významných instalací z nedávné doby v České republice je možno vzpomenout např. fotovoltaickou elektrárnu (FVE) v obci Přimda ze začátku roku 2008 [51]. Investice ve výši 48,5 milionů Kč zahrnuje kromě samotné fotovoltaiky také přípojku, rozvaděč, trafo, oplocení a cenu projektu.

Instalovaný elektrický výkon FVE je 439,65 kW<sub>p</sub>, zastavěná plocha 12 ha. Návratnost projektu je předpokládána v rozmezí 8 ÷ 10 let.

Pro elektrárnu byly použity polykrystalické panely Mitsubishi (typ panelu PV-AD 185MF5,  $P_{\max} = 185 \text{ W}_p$ ,  $V_{oc} = 30,6 \text{ V}$ ,  $I_{sc} = 8,13 \text{ A}$ ,  $V_{mp} = 24,4 \text{ V}$ , váha modulu 17 kg, rozměry 1 658 x 834 mm). Použité střídače od firmy Power One - Aurora PVI-6000-OUTD-DE. Počet instalovaných panelů je 2 376 ks, počet střídačů pak 66 ks.

Tato šumavská oblast vykazuje od roku 1956 dlouhodobým měřením meteorologické stanice na Přimdě v nadmořské výšce 742 m nad mořem následující údaje:

Počet slunečných hodin: v rozmezí od 1 400 ÷ 1 800 hodin/rok, nejnižší úhrn slunečního svitu: 1 258 hodin/rok (rok 1977), nejvyšší úhrn slunečního svitu: 2 106 hodin/rok (rok 2003), nejvyšší měsíční úhrn slunečního svitu: 342 hodin/měsíc (červenec 2006), za poslední dekádu byly dva roky s ročním úhrnem slunečního svitu nad 1 800 hodin.



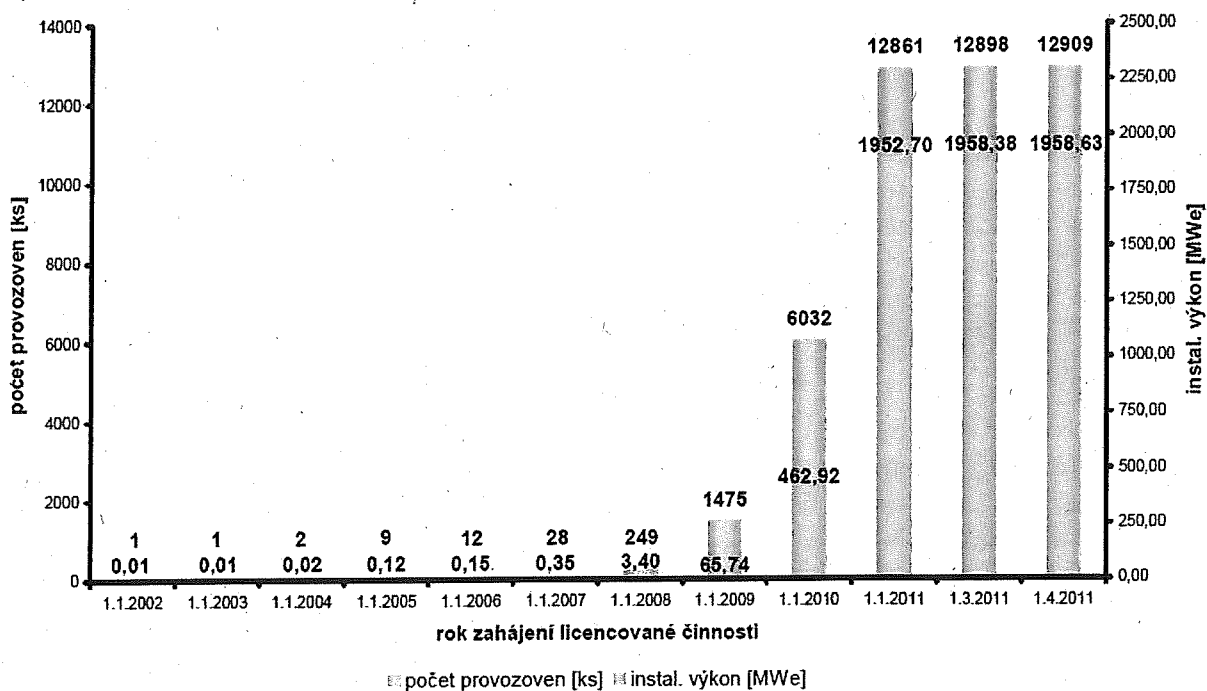
Obr. 8.43 Fotovoltaická elektrárna s instalovaným el. výkonem 6,5 MW v La Solana (Španělsko) [49]

Nicméně v roce 2010 byly na území České republiky realizovány i skutečně velké instalace fotovoltaických zařízení, srovnatelné s obdobnými zařízeními v sousedních státech Evropské unie, byť velká část je v České republice tvořena instalacemi menšími (k 01.01.2011 bylo v České republice celkem 12 861 provozoven).

Největší sluneční elektrárnou v České republice je Ralsko s instalovaným elektrickým výkonem cca 38 MW. Tato elektrárna byla uvedena do provozu v roce 2010 a jejím provozovatelem je společnost ČEZ. Podle odhadů ČEZ by se mělo v Ralsku vyrobit

tolik elektřiny, která pokryje spotřebu 10 000 domácností. **Druhou** největší solární elektrárnou v České republice je **Vepřek**. Tato fotovoltaická elektrárna má výkon **35 MW** a rozprostírá se na ploše o velikosti více než stovky fotbalových hřišť. Do provozu byla uvedena v září 2010. Projekt realizovala společnost DECCI a.s., která patří k největším solárním investorům u nás. **Třetí** největší solární elektrárnou v ČR je **Ševětín**, který patří společnosti ČEZ a má výkon **30 MW**. Tato elektrárna byla rovněž uvedena do provozu v roce 2010 a podle odhadů ČEZ by měla pokrýt spotřebu asi 8 000 domácností [53].

Z výše uvedených skutečností je zřejmé, že solární energetika, založená na fotovoltaické přeměně, se v posledním období v České republice velmi rychle rozvíjí. Na konci března 2009 byly podle statistiky Energetického regulačního úřadu na území České republiky solární fotovoltaické panely s celkovým instalovaným elektrickým výkonem 67,3 MW [41]. Po prudkém, ale v mnoha aspektech problematickém (a nyní již i nežádoucím) růstu instalovaného elektrického výkonu v oblasti fotovoltaických elektráren z 462,92 MW na hodnotu 1 952,70 MW v průběhu roku 2010 (viz graf. 8.4), došlo v prvním čtvrtletí roku 2011 ke stagnaci při uvádění nových fotovoltaických kapacit do provozu.



Graf 8.4 Počet a instalovaný výkon solárních elektráren v ČR [Pramen ERÚ]

Ze zákona je provozovatel rozvodné sítě povinen odebírat elektrickou energii vyrobenou fotovoltaickou elektrárnou se sazbou, stanovenou dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu [42]. Výkupní cena elektřiny dodané do sítě dle tohoto rozhodnutí je v roce 2011 pro fotovoltaické elektrárny s výkonem nad 100 kW 5,5 Kč/kWh. V předchozích letech byla výkupní cena elektrické energie z těchto zdrojů značně vyšší (v roce 2010 např. činila 12,15 Kč/kWh).

#### 8.3.4.2 Vliv slunečních elektráren na životní prostředí

Při posuzování vlivů záměrů z oblasti sluneční energetiky na životní prostředí je nutno

sledovat zejména následující faktory:

1. vlivy na půdu,
2. vlivy na krajinný ráz,
3. hluk,
4. vlivy na faunu, flóru a ekosystémy,
5. vlivy na povrchové a podzemní vody.

### **Vlivy na půdu**

Zábor půdy při výstavbě jak termosolárních (viz výše obr. 8.41), tak fotovoltaických elektráren (viz výše obr. 8.42 a 8.43) je značný. U větších termosolárních elektráren o instalovaném elektrickém výkonu 50 MW činí zábor půdy až 2 mil. m<sup>2</sup>, u středních fotovoltaických elektráren o výkonu 6,5 MW je to cca 210 000 m<sup>2</sup> a u velkých FVE o výkonu 35 MW je zábor roven ploše o velikosti více než stovky fotbalových hřišť. Je zřejmé, že při stejném instalovaném elektrickém výkonu by plochy záboru byly u obou systémů přibližně srovnatelné. Nicméně je nutno poznamenat, že výstavba termosolárních elektráren v našich zeměpisných šířkách nepřichází v úvahu.

Prozatím se větší fotovoltaické elektrárny budují především na vhodném volném pozemku, kterých ale začíná být nedostatek. Dle současné legislativy lze totiž stavbu solární elektrárny v podstatě umístit pouze v ploše, kterou k tomuto účelu vymezí územní plán. Umisťovat fotovoltaické elektrárny dle metodického pokynu Ústavu územního rozvoje je v zastavěném území možné především „v plochách výroby a skladování, v plochách technické infrastruktury a v plochách smíšených výrobních, pokud jsou vymezeny územním plánem. Pokud je FVE takového rozsahu, že je pouze doplňujícím zařízením jiné stavby, je možné ji umístit jako součást této stavby. Může tak být umístěna v plochách bydlení, rekreace, občanského vybavení apod. např. na střechách staveb, splňuje-li především hygienické podmínky“ [48].

Umisťovat FVE v nezastavěném území lze pouze v souladu s územním plánem (viz též výše). Fotovoltaická elektrárna je posuzována jako výrobní zařízení a představuje změnu charakteru nezastavěného území a změnu jeho využívání. O tomto výkladu stavební legislativy lze samozřejmě v mnoha případech diskutovat, nicméně záleží jen na schopnostech investora, zda dokáže pracovníka stavebního úřadu přesvědčit. Stavební zákon pojem fotovoltaika bohužel nezná. Případná změna územního plánu je poměrně dlouhodobá záležitost (až 1,5 roku) a většinu investorů odradí. Nemají jistotu, že se podmínky podnikání ve fotovoltaice nezmění.

### **Vlivy na krajinný ráz**

Malá či středně velká fotovoltaická elektrárna nepůsobí většinou rušivě na krajinný ráz. V určitých specifických případech, např. při výstavbě na vyvýšeném, dobře viditelném místě, či při realizaci velké fotovoltaické elektrárny je vhodné zpracovat studii hodnocení vlivu na krajinný ráz.

U rozsáhlých záměrů termosolárních elektráren by bylo v každém případě vhodné zpracovat hodnocení vlivu na krajinný ráz, které se bude ovšem řídit místně platnou legislativou v zemích, kde jsou tyto elektrárny realizovány (USA, Španělsko).

### **Hluk**

Fotovoltaická elektrárna neprodukuje při provozu žádný hluk.

Vliv dopravního hluku a jeho změny v souvislosti s výstavbou fotovoltaických elektráren se projeví hlavně v denní době v okolí příjezdové komunikace, po které bude doprava probíhat. Jelikož výpočtové body, ke kterým bývá proveden výpočet hluku ze stacionárních zdrojů, jsou často od této komunikace značně vzdáleny, je nutno změny hlukové situace popsat v hlukové studii změnou ekvivalentních hladin hluku v normované vzdálenosti od komunikací (např. 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu).

U termosolárních elektráren, jejichž výstavba ovšem v našich zeměpisných šířkách nepřichází v úvahu, se projeví hlukové emise srovnatelné s emisemi hluku ze strojoven tepelných či jaderných elektráren.

### **Vlivy na faunu, flóru a ekosystémy**

Stavby fotovoltaických elektráren bývají v drtivé většině případů situovány mimo skladebné části územního systému ekologické stability, mimo plochy s vyšším stupněm ekologické stability, resp. mimo lokality, kde se vyskytují přírodě blízké ekosystémy.

Rovněž případný vliv na zvláště chráněná území a biotopy zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů bývá většinou nevýznamný. Za účelem vyloučení nepříznivých vlivů na flóru a faunu je vhodné zpracovat biologické (floristické a faunistické) hodnocení dotčených lokalit. Stavby středních a větších FVE mohou bránit migraci větších i středních živočichů, což by mělo být ve studiích také zhodnoceno.

V případě výskytu zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů je nutno provést jejich záchranný transfer.

### **Vlivy na povrchové a podzemní vody**

Technologické odpadní vody při provozu fotovoltaických elektráren nevznikají. Pokud by vznikaly splaškové odpadní vody (v případě vybudování sociálního zázemí pro obsluhu FVE – většinou nebývá realizováno), byly by odváděny na vlastní domovní čistírnu odpadních vod. Vyčištěné vody by byly poté odvedeny do vodoteče či kanalizace. Nekontaminovaná dešťová voda z areálu FVE je odváděna do vodoteče či do dešťové kanalizace.

Realizací výstavby FVE by tedy za běžných podmínek nemělo dojít k ohrožení povrchových ani podzemních vod.

### **Závěr**

V příloze č. 1 zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění pozdějších předpisů, nejsou záměry z oblasti solární energetiky zařazeny. Proces posuzování vlivů na životní prostředí rovněž nezná pojem fotovoltaika.

Z výše uvedených důvodů nejsou v současnosti v České republice záměry z oblasti solární energetiky podrobovány procesu posuzování vlivů na životní prostředí.

Je možno konstatovat, že realizací a provozem menších solárních energetických zařízení by nemělo dojít k významným negativním dopadům na jednotlivé složky životního prostředí. Jiná je ovšem situace, kdy jsou realizovány střední a velké fotovoltaické elektrárny. V těchto případech by mělo být posouzení vlivů na životní prostředí prováděno, neboť dopad na životní prostředí je značný (velký zábor půdy, vliv na krajinný ráz, omezení migrace živočichů, postupná degradace zemědělského půdního fondu, který leží ladem pod fotovoltaickými panely atd.).

## Literatura (kap. 8)

- [1] VOLAUFOVÁ, Lenka et al. *Hospodářství a životní prostředí v České republice po roce 1989*. Praha: CENIA, 2008. 188 s. ISBN 978-80-85087-67-3.
- [2] ČERNÝ, Václav et al. *Parní kotle a spalovací zařízení*. Praha: SNTL, 1975. 528 s.
- [3] MAYER, Jiří et al. *Energetické stroje*. Praha: SNTL, 1969. 556 s.
- [4] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1996. 128 s. ISBN 80-7078-316-8.
- [5] HERČÍK, Miloslav, LAPČÍK, Vladimír, OBROUČKA, Karel. *Ochrana životního prostředí pro inženýrské studium*. Skriptum. Ostrava: VŠB-TU, 1994. 243 s.
- [6] *Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2007*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2007. 641 s. ISBN 80-7212-472-5.
- [7] VORÁČEK, Vladimír et al. *Rukověť EIA*. Praha: AD VITAM, 1993.
- [8] RYBÁR, Radim, KUDELAS, Dušan. *Tradičné zdroje energie I*. Košice: Edičné stredisko a redakcia AMS, Fakulta BERG Technickej univerzity v Košiciach, 2007. 122 s. ISBN 978-80-8073-799-3.
- [9] *The Coal Resource – A Comprehensive Overview of Coal*. Richmond-upon-Thames: World Coal Institute, 2006.
- [10] *Odsiřování spalin v elektrárnách Skupiny ČEZ*. Praha: TOP Partners, s.r.o., 2006.
- [11] DUCHOŇ, Bedřich, PECHA, Ivo, ŽENÍŠEK, Josef. *Energetika*. Skriptum VŠE v Praze. Praha: SPN, 1982. 303 s.
- [12] MYNÁŘ, Petr. *Jaderná elektrárna Temelín, změny stavby*. Dokumentace o hodnocení vlivů na životní prostředí dle zákona č. 244/1992 Sb. Brno: INVESTprojekt, s.r.o., 2000. 378 s.
- [13] LAPČÍK, Vladimír. Posuzování vlivů větrných elektráren na životní prostředí a související studie. In *SEA/EIA 2007* (sborník přednášek 6. mezinárodní konference, hotel Atom, Ostrava, 17.-18.4.2007). Regionální centrum EIA, s.r.o., duben 2007, s. 64 - 70.
- [14] LAPČÍK, Vladimír. Oznámení ve smyslu přílohy č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb., v platném znění, na záměr „Větrné elektrárny Potštát - Lipná“. Ostrava, říjen 2006. 75 s., 21 příloh, fotodokumentace (10).
- [15] *UN-ECE Task Force Management on By-Products/Residues Containing Heavy Metals and/or Persistent Organic Pollutants*. Status Report compiled by HACKL, A.E., SAMMER, G., WINTER, B. Wien: Umweltbundesamt, 2001.
- [16] Kol. autorů. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice* (II. vydání). Praha: ČEZ, a.s., 2007. 183 s.
- [17] ŠTEKL, Josef et al. *Závěrečná zpráva projektu VaV 320/6/00, subprojekt Větrná energie*. 1. díl a 2. díl. Praha: Ústav fyziky atmosféry AV ČR, 2002. 117 s. a 82 s.
- [18] LAPČÍK, Vladimír. Environmental Impact Assessment for Nuclear and Coal-Fired Power Stations in Czechoslovakia. In *Coal, Energy and Environment*. Carbondale 1992, s. 8.79-8.80.
- [19] LAPČÍK, Vladimír. Posuzování vlivů větrných elektráren na životní prostředí v České republice. In *Acta Montanistica Slovaca*, ročník 13 (2008), číslo 3, s. 381 – 386. BERG,



- Technická univerzita Košice. Recenzovaný časopis. ISSN 1335-1788. Uveden v databázi SCOPUS.
- [20] LAPČÍK, Vladimír. Oznámení ve smyslu přílohy č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, na záměr „*Bioplynová stanice Kostice*“. Ostrava, květen 2009. 82 s., 25 příloh, fotodokumentace (10).
- [21] LAPČÍK, Vladimír. Oznámení ve smyslu přílohy č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, na záměr „*Bioplynová stanice Veřovice*“. Ostrava, květen 2009. 60 s., 29 příloh, fotodokumentace (10).
- [22] LAPČÍK, Vladimír. Posuzování vlivů bioplynových stanic na životní prostředí. In *ALER 2008 – Alternatívne zdroje energie* (sborník mezinárodní konference, Liptovský Ján, 09.-10.10.2008). Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v Žilině, říjen 2008, s. 131 – 139. ISBN 978-80-8070-912-9.
- [23] Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů).
- [24] BAUER, Friedrich. *Prvotní studie – bioplynová stanice Veřovice*. Kemmelbach: Ing. Friedrich Bauer GmbH, červenec 2007. 8 s. + další firemní materiály.
- [25] Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.
- [26] PASTOREK, Z. Bioplyn–užitečný zdroj energie nebo riskantní způsob podnikání. In *Alternativní energie*, 2008, roč. XI, č. 3, s. 26 - 28.
- [27] ENDER, C. *Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland – Stand 30.6.2006*. DEWI Magazin, Nr. 29, 2006, s. 27 - 36.
- [28] [www.cez.cz](http://www.cez.cz)
- [29] [www.vestas.com](http://www.vestas.com)
- [30] LAPČÍK, Vladimír. Oznámení ve smyslu přílohy č. 3 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, na záměr „*Větrné elektrárny Partutovice*“. Ostrava, červenec 2008. 77 s. 17 příloh, fotodokumentace a vizualizace VTE (7).
- [31] LAPČÍK, Vladimír. Posudek k dokumentaci o hodnocení vlivů na životní prostředí „*Rozšíření teplárny Škoda, a.s. Mladá Boleslav*“. Vypracováno na vyžádání Okresního úřadu Mladá Boleslav v souladu se zákonem č. 244/92 Sb. Ostrava, 1993. 37 s.
- [32] LAPČÍK, Vladimír. Dokumentace o hodnocení vlivů na životní prostředí „*Generální oprava kotle K 11 s modernizací a rekonstrukcí na kotel s CFV 160 t/h páry v Tříneckých železárnách, a.s. Třinec*“. Ostrava, 1993. 47 s + přílohy.
- [33] LAPČÍK, Vladimír. Dokumentace o hodnocení vlivů na životní prostředí „*Generální oprava kotle K 12 s modernizací a rekonstrukcí na kotel K 12 N s CFV 160 t/h v teplárně E 3 Energetiky Třinec, a.s.*“. Ostrava, 1994. 82 s.+ přílohy (13).
- [34] KÖRBER, Helmut et al. *Kernenergie (Klar und verständlich)*. Düsseldorf: Kohtes & Klewes Kommunikation GmbH, 1994. 42 s.
- [35] SEIDEL, Jürgen. *Kernenergie: Fragen und Antworten*. Düsseldorf, Wien, New York: ECON Verlag GmbH, 1990. 143 s. ISBN 3-430-18279-4.
- [36] *Zwischenlager Gorleben*. Gorleben: Brennelementlager Gorleben GmbH BLG, 1985. 23 s.
- [37] CHALUPOVÁ, Věra et al. *Životní prostředí*. Skriptum. Praha: ČVUT, 1985. 151 s.



- [38] *Strom aus Philippsburg. Energieerzeugung*. Philippsburg: KKP Informationszentrum, 1996. 35 s.
- [39] LAPČÍK, Vladimír. Dokumentace ve smyslu přílohy č. 4 k zákonu č. 100/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, na záměr „*Větrné elektrárny Jindřichov*“. Ostrava, květen 2011. 93 s., 22 příloh, fotodokumentace (6).
- [40] KOČ, Břetislav. Rekordní rok větrníků v Evropě. In *Alternativní energie*, 2007, roč. X, č. 2, s. 32 - 33.
- [41] ZELENKA, Robert. Solárních elektráren rekordně přibývá. In *E15 – 15 minut pro ekonomiku & byznys*, 2009, č. 380, s. 8.
- [42] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2008 ze dne 18. listopadu 2008, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů, ve znění dalších rozhodnutí.
- [43] Metodický pokyn č. 12 MŽP (sekce ochrany klimatu a ovzduší a sekce technické ochrany ŽP) *K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu*. Věstník MŽP 08/2008, částka 8 - 9, roč. XVIII, s. 1 - 17.
- [44] Vyhláška č. 453/2008 Sb., kterou se mění vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb.
- [45] [www.alternativni-zdroje.cz/slunecni-solarni-elektrarny.htm](http://www.alternativni-zdroje.cz/slunecni-solarni-elektrarny.htm)
- [46] [www.schottssolar.com](http://www.schottssolar.com)
- [47] STÁREK, Václav. Evropskou žízeň po energii může uhasit Sahara. In *E15 – 15 minut pro ekonomiku & byznys*, 2009, č. 408, s. 12 - 13.
- [48] KLIMEK, Petr. Deset dobrých důvodů pro fotovoltaiku. In *Alternativní energie*, 2008, č. 4, s. 20 – 21.
- [49] [www.phoenixsolar.com/SolarPowerPlants/Case\\_Studies/](http://www.phoenixsolar.com/SolarPowerPlants/Case_Studies/)
- [50] KUČERA, Zdeněk. Ze španělské La Solany 6,5 megawattů. In *Alternativní energie*, 2008, č. 2, s. 9.
- [51] KUČERA, Zdeněk, STEJSKAL, Jindřich. Nová FVE Přimda. In *Alternativní energie*, 2008, č. 2, s. 8.
- [52] JANČÍK, Vítězslav. Sluneční elektrárny mají místo na slunci. In *Alternativní energie*, 2008, č. 2, s. 10.
- [53] PONCAROVÁ, Jana. Solární elektrárny: Výkon jako Temelín. Kolik elektřiny vyrobí? [www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/solarni-elektrarny-vykon-jako-temelin-kolik-elektriny-vyrobi.aspx](http://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/solarni-elektrarny-vykon-jako-temelin-kolik-elektriny-vyrobi.aspx)
- [54] MANA, Vladimír. Odborný posudek ve věci posouzení vlivu záměru tří větrných elektráren v lokalitě Jindřichov na krajinný ráz. Podolí: V. Mana, 2011. 31 s.

## 9 Závěr

Výstavba liniových staveb, průmyslových a těžebních technologií a dalších velkých staveb představuje vždy určitý negativní vliv na životní prostředí. Realizací opatření, navržených k prevenci, eliminaci, popř. kompenzaci negativních účinků na životní prostředí, lze tento vliv minimalizovat, avšak nikoliv úplně vyloučit. K určení velikosti a specifikace vlivu jsou v současné době používány legislativně stanovené metodické postupy, kterými je nutno většinu velkých staveb posoudit v době jejich přípravy (před samotným územním řízením a stavebním povolením). Dopad staveb na životní prostředí je hodnocen zejména podle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí (EIA), ve znění pozdějších předpisů. Nicméně je možno uplatnit i další metodiky (např. hodnocení environmentálních rizik, environmentální audit, hodnocení životního cyklu).

Náplní předložené monografie je problematika oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí, která je nyní u nás i ve světě prakticky realizována procesem posuzování vlivů na životní prostředí. Klade si za cíl ucelené zpracování problematiky posuzování vlivů na životní prostředí včetně seznámení se širším odborným základem pro danou oblast.

V úvodních kapitolách monografie (1 až 4) jsou uvedena základní teoretická východiska v oblasti oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí (přírodní a antropogenní faktory, sociální aspekty hodnocení, ekonomické aspekty hodnocení a hodnocení impaktu na životní prostředí). Kapitola 5 je věnována právní úpravě procesu posuzování vlivů na životní prostředí v České republice a v zahraničí (právní úprava formalizuje postupy při oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí).

Kapitola 6 je věnována metodice hodnocení interakcí průmyslu a životního prostředí, která je prakticky demonstrována na posuzování vlivů těžby nerostných surovin a energetiky na životní prostředí (kap. 7 a 8). Tato odvětví byla vybrána jako charakteristická v oblasti těžkého průmyslu z hlediska značného dopadu na životní prostředí.

Monografie předkládá ucelené zpracování dané problematiky s využitím nejnovějších poznatků a zkušeností. Těmto záměrům byl přizpůsoben i výběr podkladových materiálů. Autor monografie čerpal nejen z časopiseckých článků, knih a publikací prezentovaných na konferencích, ale také z oznámení, dokumentací a posudků, které zpracoval jako autorizovaná osoba v rámci posuzování vlivů jednotlivých technologií na životní prostředí.

Monografie je koncipována tak, aby sloužila všem zájemcům o problematiku posuzování vlivů na životní prostředí a zároveň mohla být používána jako zdroj informací vysokoškolskými studenty, zejména technického směru.

## Seznam použitých symbolů a zkratk

|                  |                                                                                             |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| ADTT             | (Accelerator Driven Transmutation Technology) metoda zpracování vyhořelého jaderného paliva |
| AV ČR            | Akademie věd ČR                                                                             |
| BPS              | bioplynová stanice                                                                          |
| BRKO             | biologicky rozložitelný komunální odpad                                                     |
| BWR              | (Boiling Water Reactor) varný reaktor                                                       |
| CH <sub>2</sub>  | (Compressed Hydrogen) stlačený vodík                                                        |
| cks              | suchý koks                                                                                  |
| CL               | cizorodé látky                                                                              |
| CNG              | (Compressed Natural Gas) stlačený zemní plyn                                                |
| CSP              | (Concentrated Solar Power) usměrněná sluneční energie                                       |
| ČEA              | Česká energetická agentura                                                                  |
| ČOV              | čistírna odpadních vod                                                                      |
| ČSÚ              | Český statistický úřad                                                                      |
| EC               | Evropská komise                                                                             |
| EHK EU           | Evropská hospodářská komise Evropské Unie                                                   |
| EIA              | (Environmental Impact Assessment) posuzování vlivů na životní prostředí                     |
| EPA              | (Environmental Protection Agency) Agentura pro ochranu ŽP (USA)                             |
| ERÚ              | Energetický regulační úřad                                                                  |
| ES               | Evropské společenství                                                                       |
| EU               | Evropská unie                                                                               |
| FBR              | (Fast Breeder Reactor) rychlý množivý reaktor                                               |
| f-č              | fenol-čpavkový                                                                              |
| FV               | fotovoltaika                                                                                |
| FVE              | fotovoltaická elektrárna                                                                    |
| FVS              | fotovoltaický systém                                                                        |
| GHG              | (Greenhouse Gases) skleníkové plyny                                                         |
| GWP              | (Global Warming Potential) potenciál globálního oteplování                                  |
| HDP              | hrubý domácí produkt                                                                        |
| HFC              | fluoruhlovodíky                                                                             |
| HND              | hrubý národní důchod                                                                        |
| HTGR             | vysokoteplotní plynem chlazený a grafitem moderovaný reaktor                                |
| HTK              | hrubá třídírna koksu                                                                        |
| HVDC             | (High Voltage Direct Current) stejnosměrný proud o vysokém napětí                           |
| HWR              | (Hard Water Reactor) těžkovodní reaktor                                                     |
| CHKO             | chráněná krajinná oblast                                                                    |
| IAEA             | (International Atomic Energy Agency) Mezinárodní atom. energetická agentura                 |
| IPCC             | (Intergovernmental Panel on Climate Change) Mezivládní panel pro klimatickou změnu          |
| IPPC             | (Integrated Pollution Prevention and Control) integrovaná prevence a omezování znečištění   |
| JTK              | jemná třídírna koksu                                                                        |
| KB               | koksárenská baterie                                                                         |
| KČOV             | komunální čistírna odpadních vod                                                            |
| LC <sub>50</sub> | střední smrtelná koncentrace (pro usmrčení 50 % pokusných zvířat)                           |

|                  |                                                                                                                                |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LD <sub>50</sub> | střední smrtelná dávka (pro usmrcení 50 % pokusných zvířat)                                                                    |
| LH <sub>2</sub>  | (Liquid Hydrogen) zkapalněný vodík                                                                                             |
| LWGR             | grafitem moderovaný a lehkou vodou chlazený varný reaktor (RBMK - 1000)                                                        |
| LWR              | (Light Water Reactor) lehkovodní reaktor – jedná se jak o jaderný reaktor tlakovodní (PWR), tak o jaderný reaktor varný (BWR). |
| MF               | Ministerstvo financí                                                                                                           |
| MPO              | Ministerstvo průmyslu a obchodu                                                                                                |
| MVE              | malá vodní elektrárna (instalovaný výkon do 10 MW)                                                                             |
| MŽP              | Ministerstvo životního prostředí                                                                                               |
| nn               | nízké napětí                                                                                                                   |
| OZE              | obnovitelné zdroje energie                                                                                                     |
| P <sub>ef</sub>  | efektivní výkon vodního motoru na spojce (W)                                                                                   |
| P <sub>el</sub>  | elektrický výkon větrné elektrárny (W)                                                                                         |
| PFC              | perfluorouhlovodíky                                                                                                            |
| PHO              | pásma hygienické ochrany                                                                                                       |
| P <sub>p</sub>   | špičkový (peak) výkon - fotovoltaická elektrárna                                                                               |
| P <sub>s</sub>   | výkon odebraný proudícímu vzduchu rotorem turbíny VTE (W)                                                                      |
| PS PČR           | Poslanecká sněmovna (dolní komora) Parlamentu České republiky                                                                  |
| P <sub>t</sub>   | teoretický výkon vodního motoru (W)                                                                                            |
| PUPFL            | pozemky určené k plnění funkce lesa                                                                                            |
| PVE              | přečerpávací vodní elektrárna                                                                                                  |
| PWR              | (Pressurized Water Reactor) tlakovodní reaktor                                                                                 |
| RAO              | radioaktivní odpad                                                                                                             |
| SCR              | (Selective Catalytic Reduction) selektivní katalytická redukce                                                                 |
| SEA              | (Strategic Environmental Assessment) strategické posuzování vlivů na životní prostředí                                         |
| SEK              | Státní energetická koncepce                                                                                                    |
| SFŽP             | Státní fond životního prostředí                                                                                                |
| SÚJB             | Státní úřad pro jadernou bezpečnost                                                                                            |
| SÚRAO            | Správa úložišť radioaktivních odpadů                                                                                           |
| SZÚ              | Státní zdravotní ústav                                                                                                         |
| TSPEZ            | tuzemská spotřeba palivoenergetických zdrojů                                                                                   |
| ÚSES             | územní systém ekologické stability                                                                                             |
| VaV              | věda a výzkum                                                                                                                  |
| VE               | vodní elektrárna (instalovaný výkon nad 10 MW <sub>e</sub> )                                                                   |
| vn               | vysoké napětí                                                                                                                  |
| VPS              | výtlačný a pěchovací stroj                                                                                                     |
| VTE              | větrná elektrárna                                                                                                              |
| VVER             | tlakovodní reaktor Voroněžského typu                                                                                           |
| vvn              | velmi vysoké napětí                                                                                                            |
| WHO              | (World Health Organization) Světová zdravotnická organizace                                                                    |
| ZL               | znečišťující látky                                                                                                             |
| ZPF              | zemědělský půdní fond                                                                                                          |
| ŽP               | životní prostředí                                                                                                              |

### **Seznam použitých chemických vzorců, značek a zkratk**

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | oxid hlinitý |
|--------------------------------|--------------|

|                                |                                                                                           |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| AOX                            | adsorbovatelné organicky vázané halogeny                                                  |
| Ar                             | argon                                                                                     |
| B(a)P                          | benzo(a)pyren                                                                             |
| BSK <sub>5</sub>               | biochemická spotřeba kyslíku (pětidenní)                                                  |
| BTEX                           | benzen, toluen, etylbenzen, xylen                                                         |
| BTX                            | benzen, toluen, xylen                                                                     |
| Ca                             | vápník                                                                                    |
| CaC <sub>2</sub>               | karbid vápníku                                                                            |
| CaCO <sub>3</sub>              | vápenec                                                                                   |
| CaO                            | oxid vápenatý (pálené vápno)                                                              |
| Ca(OH) <sub>2</sub>            | hydroxid vápenatý (hašené vápno)                                                          |
| CH <sub>4</sub>                | metan                                                                                     |
| C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>  | uhlovodíky (také C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> )                                          |
| CO                             | oxid uhelnatý                                                                             |
| CO <sub>2</sub>                | oxid uhličitý                                                                             |
| CS <sub>2</sub>                | sírouhlík                                                                                 |
| DD                             | dibenzodioxin                                                                             |
| DF                             | dibenzofuran                                                                              |
| EB                             | etylbenzen                                                                                |
| H <sub>2</sub>                 | vodík                                                                                     |
| HCl                            | chlorovodík, kyselina chlorovodíková                                                      |
| HCN                            | kyanovodík                                                                                |
| HCOOH                          | kyselina mravenčí (karboxylová kyselina)                                                  |
| He                             | helium                                                                                    |
| HF                             | fluorovodík, kyselina fluorovodíková                                                      |
| HNO <sub>3</sub>               | kyselina dusičná                                                                          |
| H <sub>2</sub> S               | sulfan (sirovodík)                                                                        |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | kyselina sírová                                                                           |
| CHSK                           | chemická spotřeba kyslíku                                                                 |
| K                              | draslík                                                                                   |
| N <sub>2</sub>                 | dusík                                                                                     |
| NEL                            | nepolární extrahovatelné látky                                                            |
| NH <sub>3</sub>                | amoniak (čpavek)                                                                          |
| NL                             | nerozpuštěné látky                                                                        |
| N <sub>2</sub> O               | oxid dusný (rajský plyn)                                                                  |
| NO                             | oxid dusnatý                                                                              |
| NO <sub>2</sub>                | oxid dusičitý                                                                             |
| NO <sub>x</sub>                | oxidy dusíku                                                                              |
| O <sub>2</sub>                 | kyslík                                                                                    |
| O <sub>3</sub>                 | ozón                                                                                      |
| P                              | fosfor                                                                                    |
| PAH                            | polycyklické aromatické uhlovodíky (také PAU)                                             |
| PCB                            | polychlorované bifenyly                                                                   |
| PCDD                           | polychlorované dibenzodioxiny                                                             |
| PCDF                           | polychlorované dibenzofurany                                                              |
| pH                             | (Potential of Hydrogen) vodíkový exponent – udává, zda je vodní roztok kyselý či zásaditý |

|                       |                                                                       |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| PM <sub>2,5, 10</sub> | frakce polétavého prachu - suspendovaných částic (průměr 2,5 a 10 µm) |
| POPs                  | (Persistent Organic Pollutants) perzistentní organické látky          |
| RAS                   | rozpuštěné anorganické soli                                           |
| PVC                   | polyvinylchlorid                                                      |
| RL                    | rozpuštěné látky                                                      |
| SiC                   | karbid křemíku                                                        |
| SO <sub>2</sub>       | oxid siřičitý                                                         |
| SO <sub>x</sub>       | oxidy síry                                                            |
| TOC                   | celkový organický uhlík                                               |
| VCM                   | vinylchlorid monomer                                                  |
| VOC                   | (Volatile Organic Compounds) těkavé organické látky                   |
| TZL                   | tuhé znečišťující látky                                               |

### Vybrané jednotky

|                             |                                                                                                         |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bq                          | becquerel, jednotka aktivity ionizujícího záření (1 přeměna/1 s)                                        |
| Btu                         | British thermal unit, rovno $1,06 \cdot 10^3$ J                                                         |
| dB                          | decibel, jednotka akustického tlaku                                                                     |
| GJ                          | gigajoule, rovno $10^9$ J                                                                               |
| GW(h)                       | gigawatt(hodina), rovno $10^9$ W(h)                                                                     |
| J                           | joule, jednotka práce                                                                                   |
| kcal                        | kilokalorie, rovno $4,186 \cdot 10^3$ J                                                                 |
| kJ                          | kilojoule, rovno $10^3$ J                                                                               |
| kW(h)                       | kilowatt(hodina), $1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ}$                                                   |
| MJ                          | megajoule, rovno $10^6$ J                                                                               |
| m <sub>n</sub> <sup>3</sup> | metr krychlový za normálních podmínek ( $0^\circ \text{C} = 273,15 \text{ K}$ ; $101\,325 \text{ Pa}$ ) |
| MPa                         | megapascal, rovno $10^6$ Pa                                                                             |
| MW <sub>e</sub>             | megawatt elektrický                                                                                     |
| MW(h)                       | megawatt(hodina), rovno $10^6$ W(h)                                                                     |
| MW <sub>t</sub>             | megawatt tepelný                                                                                        |
| µm                          | mikrometr, rovno $10^{-6}$ m                                                                            |
| PJ                          | petajoule, rovno $10^{15}$ J                                                                            |
| ppm                         | (parts per million) $1 : 10^6$ ( $1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ ; $\text{mg}/\text{kg}$ )                  |
| TJ                          | terajoule, rovno $10^{12}$ J                                                                            |
| TMP                         | tuna měrného paliva ( $29,31 \cdot 10^9 \text{ J/t}$ )                                                  |
| TOE                         | (tons of oil equivalent), ropný ekvivalent ( $42 \cdot 10^9 \text{ J/t}$ )                              |
| TW(h)                       | terawatt(hodina), rovno $10^{12}$ W(h)                                                                  |
| W                           | watt, jednotka výkonu ( $\text{J/s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$ )                          |

## Literatura

Seznam použité literatury je uveden za každou kapitolou (1 až 8). Celkem je uvedeno 120 pramenů.

## Seznam obrázků, tabulek a grafů

### Seznam obrázků

- Obr. 1.1 Obecné schéma jaderné fúze
- Obr. 1.2 Stavba Slunce
- Obr. 1.3 Přehled jednotlivých typů záření plynoucí ze složení a činnosti Slunce
- Obr. 1.4 Dvě třetiny slunečního záření (přibližně 120 000 TW) jsou pohlceny v zemské atmosféře a povrchem Země
- Obr. 1.5 Rozdělení světelné energie při dopadu na planetu Zemi. Dopadající energie 180 000 TW je označena jako 100 %
- Obr. 1.6 Koncentrace oxidu uhličitého (v ppm) v zemské atmosféře od roku 1860 do roku 2000. Vývoj světové populace v letech 1860 až 2000
- Obr. 1.7 Modelová predikce (IPCC) a extrapolace skutečného oteplení pro rok 2100
- Obr. 1.8 Izotopy vodíku
- Obr. 1.9 Teplotní struktura atmosféry
- Obr. 2.1 Diamantový model příčin nemocí
- Obr. 2.2 Projevy civilizačních chorob ve vztahu k noční hluchosti obydlí
- Obr. 4.1 Objasnění rozdílu mezi efektem a impaktem
- Obr. 4.2 Vývojový diagram pro úplný proces predikce a hodnocení impaktu podle H. de Haese a A. Dona (1987)
- Obr. 4.3 Schématické znázornění zkráceného procesu predikce
- Obr. 4.4 Obecně platný vztah mezi výrobou a kvalitou prostředí
- Obr. 4.5 Informativní vztahy mezi indexem kvality prostředí  $y$  a indexem ekonomické aktivity  $z$  v území a v čase  $t$
- Obr. 4.6 Prostor možných transformací vymezený křivkami A, C pro nepřímou a křivkami B, D pro přímou funkční závislost
- Obr. 4.7 Vymezení počátečního a koncového bodu měřítka a transformačního prostoru
- Obr. 4.8 Vymezení počátečního a koncového bodu měřítka a transformačního prostoru - příklad
- Obr. 5.1 Schéma stávajícího procesu posuzování vlivů na ŽP v České republice
- Obr. 5.2 Fáze procesu posuzování vlivů na životní prostředí s uvedením jednotlivých kroků – oznámení, zjišťovací řízení, dokumentace
- Obr. 5.3 Fáze procesu posuzování vlivů na životní prostředí s uvedením jednotlivých kroků – posudek, veřejné projednání, stanovisko]
- Obr. 7.1 Dobývání uhelné sloje stěnováním
- Obr. 7.2 Povrchová těžba uhlí (kolesové a korečkové rýpadlo, pásová doprava uhlí)
- Obr. 7.3 Pohled na technologické zařízení těžebny písku v dobývacím prostoru Novosedly nad Nežárkou. V popředí je vidět již zrekultivované plochy.
- Obr. 7.4 Ochranné zemní valy u obce Černovice (severní Čechy)
- Obr. 7.5 Pohled na koksárenskou baterii (KB) s padesáti koksovacími komorami
- Obr. 7.6 Obsazování koksovací komory
- Obr. 7.7 Pohled na hasicí vůz
- Obr. 8.1 Transformace energie v kondenzační elektrárně
- Obr. 8.2 T-s diagram Rankinova-Clausiova oběhu
- Obr. 8.3 Zjednodušené schéma kondenzační elektrárny
- Obr. 8.4 I-s diagram Rankinova-Clausiova oběhu kondenzační elektrárny
- Obr. 8.5 Uspořádání hlavních částí kotle podle umístění v proudu spalín

- Obr. 8.6** Schéma bubnového kotle s přirozeným oběhem a granulačním ohništěm na hnědé uhlí
- Obr. 8.7** Schéma demineralizační stanice
- Obr. 8.8** Schéma Bensonova průtočného kotle
- Obr. 8.9** Schéma rozprašovací absorpce
- Obr. 8.10** Schéma procesu Cat-ox
- Obr. 8.11** Schéma procesu Saarberg – Hölter – Lurgi
- Obr. 8.12** Hlavní výrobní blok jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem (JE Temelín)
- Obr. 8.13** Uspořádání primárního okruhu se dvěma parogenerátory
- Obr. 8.14** Parogenerátor pro jadernou elektrárnu s tlakovodním reaktorem
- Obr. 8.15** Lehkodvodní reaktory (LWR): a – tlakovodní reaktor, b – varný reaktor
- Obr. 8.16** Reaktor chlazený  $\text{CO}_2$  s parní turbínou v sekundárním okruhu (HTGR)
- Obr. 8.17** Rychlý množivý reaktor chlazený sodíkem (FBR)
- Obr. 8.18** Palivová kazeta tlakovodního reaktoru s regulačními tyčemi
- Obr. 8.19** Kontejner typu Castor pro přepravu vyhořelého paliva
- Obr. 8.20** Jaderný palivový cyklus s tokem hmot pro roční provoz lehkodvod. reaktoru (1000 MW<sub>e</sub>)
- Obr. 8.21** Suchý mezisklad RAO (příčný řez skladovací halou)
- Obr. 8.22** Suchý mezisklad vyhořelého paliva v Gorleben (Německo)
- Obr. 8.23** Chladicí věž
- Obr. 8.24** Turbíny radiální (a - c), radiální (d - e - Francisovy), diagonální (f - Dériazova)
- Obr. 8.25** Turbína tangenciální (Peltonova)
- Obr. 8.26** Turbíny axiální (c - e - Kaplanovy)
- Obr. 8.27** Řez vodní elektrárnou
- Obr. 8.28** Větrný generátor firmy Vestas – celkový pohled
- Obr. 8.29** Pohled na rotor, gondolu a horní část stožáru větrné elektrárny Vestas
- Obr. 8.30** Pohled na uložení stožáru větrné elektrárny na základové desce
- Obr. 8.31** Pohled na gondolu větrné elektrárny
- Obr. 8.32** Ekvivalentní hladiny hluku – provoz větrných elektráren v noční době
- Obr. 8.33** Pohled na fotovizualizované větrné elektrárny
- Obr. 8.34** Přejímací hala bioplynové stanice
- Obr. 8.35** Schéma bioplynové stanice
- Obr. 8.36** Řez válcovým ocelovým fermentorem
- Obr. 8.37** Pohled na válcové ocelové fermentory (nahore) a betonový fermentor (dole) – BPS Zwentendorf (Rakousko)
- Obr. 8.38** Kogenerační jednotka GE Jenbacher
- Obr. 8.39** Biofiltr
- Obr. 8.40** Parabolická zrcadla a skleněné absorbéry
- Obr. 8.41** Termosolární (CSP) elektrárna s instalovaným výkonem 64 MW v Boulder City (USA)
- Obr. 8.42** Fotovoltaická elektrárna s instalovaným el. výkonem 2,2 MW v Altheim (Něm.)
- Obr. 8.43** Fotovoltaická elektrárna s instalovaným el. výkonem 6,5 MW v La Solana (Španělsko)

### Seznam tabulek

- Tab. 1.1** Rozdělení elektromagnetického záření
- Tab. 1.2** Klimatický vývoj od konce poslední doby ledové
- Tab. 1.3** Průměrné složení přirozené atmosféry koncem 50. let
- Tab. 1.4** Hodnota jakostního faktoru
- Tab. 1.5** Světové zásoby nerostných zdrojů
- Tab. 1.6** Tabulka vlivu na zákonná kritéria krajinného rázu
- Tab. 2.1** Vliv vybraných faktorů na předčasnou úmrtnost způsobenou vlivem některých chorob a patologických stavů
- Tab. 2.2** Prokázané nepříznivé účinky hlukové zátěže - den
- Tab. 2.3** Prokázané nepříznivé účinky hlukové zátěže - noc
- Tab. 3.1** Celkové investice na ochranu životního prostředí (v mld. Kčs/Kč, běžné ceny)
- Tab. 4.1** Etapy predikce



- Tab. 4.2** Klasifikace efektů
- Tab. 4.3** Přehled možných aplikací přibližných metod pro překonání kontroverzních otázek měřítka, komplexnosti a nejistoty
- Tab. 4.4** Křížová matice interakcí
- Tab. 4.5** Ekologická typologie transformačních funkcí užítka a jejich vlastnosti
- Tab. 4.6** Hodnocení a typ vyhodnocovací křivky – přímá transformace
- Tab. 4.7** Hodnocení a typ vyhodnocovací křivky – nepřímá transformace
- Tab. 4.8** Katalog kritérií pro posouzení technického, ekonomického a strategického řešení záměru
- Tab. 4.9** Křížová matice interakcí - příklad
- Tab. 4.10** Fullerův trojúhelník - příklad
- Tab. 4.11** TUKP - vstupní údaje - příklad
- Tab. 4.12** TUKP – hodnoty funkce U - příklad
- Tab. 5.1** Odvětvové členění staveb oznámených Ministerstvu životního prostředí (ČR) od účinnosti zákona č. 244/1992 Sb. k 31.12.1999
- Tab. 7.1** Emise škodlivin na koksovárnách a místa jejich vzniku
- Tab. 8.1** Závislost koncentrace  $\text{NO}_x$  ve spalínách na teplotě spalování
- Tab. 8.2** Instalovaná odsíření kouřových plynů z kotlů Skupiny ČEZ
- Tab. 8.3** Tepelná účinnost elektráren s různými reaktory
- Tab. 8.4** Složení bioplynu

### **Seznam grafů**

- Graf 1.1** Vývoj produkce odpadů
- Graf 1.2** Porovnání skladby odpadu dle jednotlivých druhů zástavby, 2000 (%)
- Graf 1.3** Mezinárodní srovnání produkce komunálních odpadů (kg/obyv./rok)
- Graf 3.1** Vývoj HDP a HND, ceny roku 2000 (mld. Kč)
- Graf 3.2** Vývoj HDP na obyvatele, ceny roku 1995 (tis. Kč)
- Graf 3.3** Struktura HDP, stálé ceny roku 1995 (mld. Kč)
- Graf 3.4** Podíl investic na ochranu životního prostředí na celkových hrubých investicích
- Graf 3.5** Podíl investic na ochranu životního prostředí na HDP
- Graf 8.1** Vývoj emisí z energetiky v ČR
- Graf 8.2** Produkce odpadů z energetiky a srovnání s ostatními odvětvími (tis. tun)
- Graf 8.3** Výkonová křivka větrné elektrárny (VESTAS V90)
- Graf 8.4** Počet a instalovaný výkon solárních elektráren v ČR