

Ekologie v elektroenergetice

Garant předmětu:

Doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Autor textu:

Doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

OBSAH

1	ÚVOD	4
2	ZÁKLADY TEORIE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....	5
2.1	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O ZEMI	6
2.2	GEOSYSTÉMY	6
Z E M Ě :		7
2.3	DEFINICE A ROZDĚLENÍ EKOLOGIE.....	9
2.4	EKOSYSTÉMY A JEJICH ROZDĚLENÍ	10
2.4.1	<i>Fotosyntéza.....</i>	<i>11</i>
2.5	ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	11
3	VLIV TECHNIKY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	11
3.1	BIOSFÉRA A ROZVOJ ENERGETIKY	12
3.2	ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE	12
3.2.1	<i>Rizika energetických technologií.....</i>	<i>13</i>
3.3	VLIV ENERGETIKY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	15
3.4	VLIV VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	16
3.4.1	<i>Znečišťující látky</i>	<i>16</i>
3.4.2	<i>Imise</i>	<i>18</i>
3.4.3	<i>Emise</i>	<i>18</i>
3.4.4	<i>Vliv zařízení pro přenos vysokého a velmi vysokého napětí na okolí.....</i>	<i>29</i>
3.5	HLUK A OCHRANA PŘED HLUKEM	30
3.5.1	<i>Akustické charakteristiky hluku.....</i>	<i>31</i>
3.5.2	<i>Intenzita zvuku</i>	<i>31</i>
3.5.3	<i>Rušivý vliv hluku na člověka.....</i>	<i>33</i>
3.5.4	<i>Hluk v elektrárnách</i>	<i>34</i>
3.5.5	<i>Přípustné hodnoty hluku.....</i>	<i>35</i>
3.5.6	<i>Šíření hluku.....</i>	<i>36</i>
3.6	IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ	37
3.7	OPATŘENÍ PROTI ZNEČIŠŤOVÁNÍ OVZDUŠÍ	37
3.7.1	<i>Odlučování popílku</i>	<i>37</i>
3.7.2	<i>Odsiřování spalín</i>	<i>39</i>
3.7.3	<i>Snižování oxidů dusíku</i>	<i>43</i>
3.8	JADERNÉ ELEKTRÁRNY A JEJICH VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	45
3.8.1	<i>Radioaktivní odpad jeho zpracování a ukládání</i>	<i>46</i>
3.8.2	<i>Vznik a druhy radioaktivních odpadů.....</i>	<i>49</i>
3.8.3	<i>Zpracování radioaktivních reaktorových odpadů</i>	<i>51</i>
3.8.4	<i>Skladování kapalných a pevných radioaktivních odpadů</i>	<i>51</i>
3.8.5	<i>Konečné zneškodnění radioaktivních odpadů</i>	<i>53</i>
3.8.6	<i>Kontaminace zařízení a prostorů jaderné elektrárny.....</i>	<i>54</i>
3.8.7	<i>Dekontaminace zařízení a prostorů jaderné elektrárny.....</i>	<i>55</i>

Seznam obrázků

OBRÁZEK 2.1:	ROZMEZÍ PŘIZPŮSOBIVOSTI ORGANIZMU	6
OBRÁZEK 3.1:	ZÁVISLOST CELKOVÉHO RIZIKA NA NÁKLADECH ZA BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ	14
OBRÁZEK 3.2:	KONCENTRACE PRACHU NA ÚZEMÍ ČR	17
OBRÁZEK 3.3:	KONCENTRACE OXIDU SIŘIČITÉHO V ČR (STAV 1993)	19
OBRÁZEK 3.4:	VÝVOJ EMISÍ A.S. ČEZ	20
OBRÁZEK 3.5:	ODLUČOVÁKY POPÍLKU: A) MECHANICKÝ, B) ELEKTROSTATICKÝ	38
OBRÁZEK 3.6:	SCHÉMA POLOSUCHÉ METODY ODSÍŘOVÁNÍ	40
OBRÁZEK 3.7:	SCHÉMA MOKRÉ METODY ODSÍŘENÍ SPALIN	41
OBRÁZEK 3.8:	ŘEZ ROZPRAŠOVACÍ KOMOROU	42
OBRÁZEK 3.9:	VZNIK OXIDŮ DUSÍKU PŘI SPALOVÁNÍ UHELNÉHO PRÁŠKU	43
OBRÁZEK 3.10:	PRŮBĚH NO_x A CO V ZÁVISLOSTI NA PŘEBYTČU VZDUCHU	44
OBRÁZEK 3.11:	PRINCIP REDUKČNÍ METODY S KATALYZÁTOREM	45
OBRÁZEK 3.12:	ZDROJE JADERNÉHO ODPADU	46
OBRÁZEK 3.13:	ROZDĚLENÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ PODLE DRUHU	46
OBRÁZEK 3.14:	KONTEJNER NA PŘEPRAVU A SKLADOVÁNÍ VYHOŘELÉHO PALIVA	48
OBRÁZEK 3.15:	FINSKÝ MOKRÝ MEZISKLAD	49
OBRÁZEK 3.16:	SCHÉMA POVRCHOVÉHO ÚLOŽIŠTĚ NÍZKO A STŘEDNĚAKTIVNÍCH ODPADŮ	50
OBRÁZEK 3.17:	SUCHÝ MEZISKLAD VYHOŘELÉHO PALIVA V JĚ DUKOVANY	52

Seznam tabulek

TABULKA 2.1:	CHEMICKÉ SLOŽENÍ ZEMĚ	6
TABULKA 3.1:	ODHAD ÚČINKŮ VÝROBY ELEKTŘINY NA LIDSKÉ ZDRAVÍ (1GWROK)	15
TABULKA 3.2:	HODNOTY PRŮMĚRNÉ MĚRNÉ AKTIVITY ELEKTRÁRENSKÉHO POPÍLKU	17
TABULKA 3.3:	IMISNÍ LIMITY V ČR	18
TABULKA 3.4:	PRŮMĚRNÉ MNOŽSTVÍ PLYNNÝCH PRODUKTŮ ZE SPÁLENÉHO PALIVA	21
TABULKA 3.5:	VELMI VYSOKÉ NAPĚTÍ A PROVOZNÍ VZDÁLENOSTI	30
TABULKA 3.6:	HLADINY HLUKU V BLÍZKOSTI STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ V ELEKTRÁRNÁCH	34
TABULKA 3.7:	ZASTOUPENÍ RADIONUKLIDŮ NA VNITŘNÍM POVRCHU ZAŘÍZENÍ JEBO	56
TABULKA 3.8:	LIMITNÍ HODNOTY ZAMOŘENÍ V AKTIVNÍ ČÁSTI KONTROLOVANÉHO PÁSMU JE	56

Předmět „Ekologie v elektroenergetice“ patří do skupiny volitelných předmětů zařazených do zimního semestru 3. ročníku oboru SEE studijního programu „Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika“. Předmět si klade za cíl seznámit mladé energetiky s vlivem výroby a rozvodu elektrické energie na životní prostředí člověka. Seznamuje se základy teorie ekologie a věnuje se problematice vzniku škodlivých látek v technologických procesech výroby elektrické energie, jejich zachycování a následným zpracováním. Obsah předmětu tak vhodně doplňuje vědomosti získané předchozím studiem, tj. znalosti získané v povinném předmětu „Výroba elektrické energie“.

1 Úvod

Od samého počátku souvisí rozvoj lidstva úzce s jeho schopností získávat energii. Podstatou samotného života je přeměna různých forem energie. Rozvoj lidské společnosti kladl stále větší požadavky na spotřebu energie, zejména energie ze zdrojů nacházejících se v přírodě. Průmyslová revoluce započatá v 19. století odstartovala intenzivní využívání přírodních zdrojů energie, zvláště pak zdrojů neobnovitelných. Stále se zvyšující spotřeba uhlí, ropy a zemního plynu, při jasné viditelnosti konce těchto fosilních zásob, si koncem 20. století vynutila zamyšlení nad tímto, pro lidstvo ne příliš lichotivým, vývojem. Na podzim roku 1987 předložila na 42. zasedání Valného shromáždění OSN komise Brundtlandové svou zprávu "Naše společná budoucnost". V textu této zprávy se poprvé objevil výraz trvale udržitelný rozvoj. Na světových konferencích tak byl vyhlášen program trvale udržitelného rozvoje. Co je myšleno trvale udržitelným rozvojem? Trvale udržitelný rozvoj lidské společnosti je takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachovává možnost uspokojování jejich základní životní potřeby a při tom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystémů. Představa trvale udržitelného rozvoje ovšem zahrnuje určitá omezení vycházejí ze současného stavu energeticky náročné techniky, špatného a kořistnického vztahu lidské společnosti k přírodním zdrojům a ke schopnostem přírody vypořádávat se s vlivy lidských zásahů. Pro globální trvale udržitelný rozvoj je tedy nezbytné, aby bohatší státy přijali životní styl, který odpovídá ekologickým možnostem výroby a spotřeby energie. Předpokladem pro trvale udržitelný rozvoj je také soulad mezi růstem světové populace na jedné straně a možnostmi, které má celý ekosystém země pro její obživu na straně druhé. Trvale udržitelný rozvoj je procesem změn, v němž se využívání zdrojů, zaměření investičního a technického rozvoje i vývoj společnosti uvádějí v soulad se současnými možnostmi i budoucími potřebami lidí.

Má-li se jako lidstvo dál rozvíjet v duchu zásad trvale udržitelného rozvoje a neskončit v pasti ekologické katastrofy je třeba věnovat největší pozornost těmto hlavním společným úkolům:

- ❖ hledání ekologičtějších a energeticky méně náročných průmyslových technologií,
- ❖ omezení růstu lidské populace,
- ❖ zajištění výživy a jejich zdrojů,
- ❖ uchování živých přírodních zdrojů a péče o ně,
- ❖ rozvoj spolehlivých, bezpečných a ekologických zdrojů energie,
- ❖ rozvoj měst a lidských sídel.

Ekologicky únosná energetická strategie má pro trvale udržitelný rozvoj klíčový význam. Rychlost růstu spotřeby energie v poslední době ve světě klesá, ale industrializace, vývoj zemědělství a rychle rostoucí populace v rozvojových zemích budou vyžadovat mnoho energie. Průměrný obyvatel průmyslově vyspělého státu dnes spotřebuje mnohokrát více energie než obyvatel rozvojové země. Uvádí se, že až osmdesátkrát více než obyvatel Afriky jižně od Sahary. Další rozvoj světové energetiky by měl proto zajistit uspokojení vyšších energetických potřeb zejména rozvojovým zemím. Pokud by se spotřeba energie v rozvojových zemích měla dostat na úroveň průmyslových států, znamenalo by to několikanásobně zvýšit současnou světovou výrobu energie. Pokud by zvýšení vycházelo pouze z neobnovitelných fosilních paliv (uhlí, ropa), pak by pravděpodobně ekosystém naší planety takovou zátěž neunesl.

Závěry ekologických konferencí zdůrazňují, že lidstvo je schopno rozvíjet se trvale udržitelným způsobem, ovšem musí zajišťovat své současné potřeby tak, aby tím neomezilo možnosti příštích generací uspokojovat jejich potřeby. Nejsou to však omezení připomínající nějaké zákazy. Spíše připomenutí, že po nás přijdou další generace obyvatel této planety.

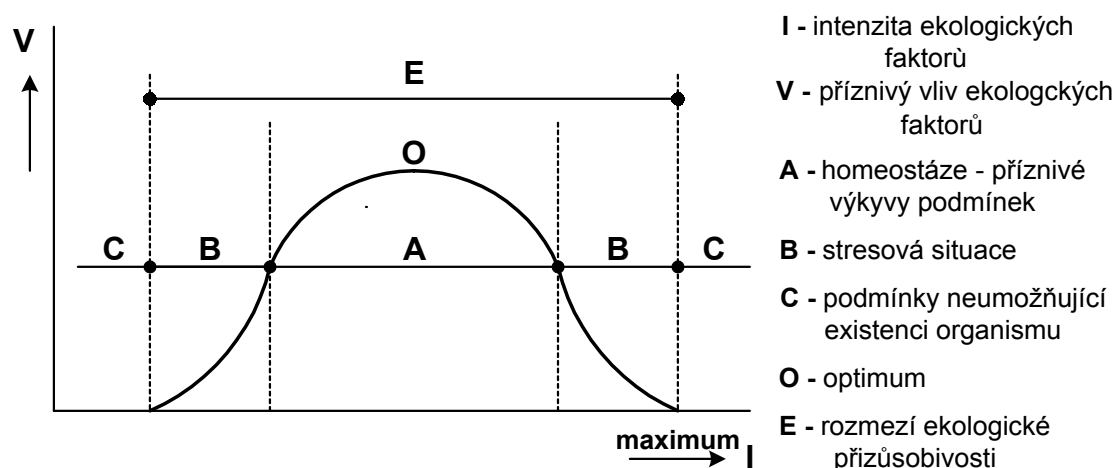
2 Základy teorie životního prostředí

K pochopení hloubky ekologických problémů, a z nich plynoucího nebezpečí pro vše živé na Zemi, je třeba mít na zřeteli, že existují určité zákonitosti mezi živými organismy a prostředím, ve kterém žijí. Tyto základní zákonitosti platí jak pro jednotlivé organismy, tak i pro celé soubory různých organismů. Poznané zákonitosti stanovují objektivní souvislosti, jejichž porušování by se lidstvu nemuselo vyplatit. Zákon přírody je třeba v zájmu celé naší planety tvořivě a odpovědně respektovat. Podmínkou zachování života na Zemi je primární biologická produkce. V přírodě je vytvořen rovnovážný cyklus, který je dán produkcí biomasy až po její následný rozklad na výchozí komponenty. Pro udržení rovnovážného stavu je třeba dodržet alespoň tyto dva základní zákony: [rozman]

Liebigův zákon minima: Organismus může v dané situaci existovat a žít tehdy, pokud má k dispozici látku nezbytné pro vývoj a rozvoj. V rovnovážném stavu je mezním či limitujícím faktorem pro výskyt a život organismu ta nezbytná látka, která je dostupná v kriticky nejmenším množství.

Shalfordův zákon tolerance: Výskyt a úspěšná existence organismu závisí na souboru podmínek. Kvalita a kvantita těchto činitelů určuje hranici, kterou organismus může ještě tolerovat.

Ekologie není, jak by se na první pohled zdálo, novou vědní disciplínou. Její kořeny sahají do počátků bouřlivého průmyslového rozvoje konce minulého a začátku tohoto století. Termín „ekologie“ se poprvé objevil již na počátku druhé poloviny 19. století.



Obrázek 2.1: Rozmezí přizpůsobivosti organismu

2.1 Základní údaje o Zemi

Země je pravděpodobně jedinou z planet sluneční soustavy na níž je život. Země je součástí galaxie Mléčné dráhy. Je to koule na pólech zploštělá, o průměru téměř 13 000 km, otáčející se okolo vlastní osy a současně obíhající okolo Slunce po téměř kruhové dráze se středním poloměrem $149 \cdot 10^6$ km. Vzdálenost Země od Slunce se během roku mění od $147 \cdot 10^6$ do $152 \cdot 10^6$ km.

Země je složena z jádra, pláště a kůry. Jádro je pravděpodobně složeno z železa a niklu v tekutém stavu. Plášť obsahuje horniny bohaté na silikáty hořčíku a železa. Zemská kůra je bohatá na křemík a hořčík a hliník. Směrem k jádru stoupá teplota Země. Na rozhraní zemské kůry a pláště je teplota cca 375°C . Pravděpodobná teplota jádra se udává okolo 3000°C .

Tabulka 2.1: Chemické složení Země

Chemický prvek:	Obsah % hm.	Chemický prvek:	Obsah % hm.	Chemický prvek:	Obsah % hm.
železo	34,63	síra	1,93	mangan	0,22
kyslík	29,53	vápník	1,13	kobalt	0,13
křemík	15,20	hliník	1,09	fosfor	0,10
hořčík	12,70	sodík	0,57	draslík	0,07
nikl	2,39	chrom	0,26	titan	0,05

2.2 Geosystémy

Systémy životního prostředí na Zemi, které lze zkoumat geografickými metodami označujeme jako *geosystémy*, protože jedním z jejich znaků je vazba na zemský povrch. Jsou to systémy komplexní, smíšené, neboť jejich prvky podléhají různým druhům kauzality, se značnou diferenciací v prostoru i čase.

Zjednodušeně si můžeme uspořádání geosystémů znázornit podle následujícího schématu:

Z E M Ě :		
GEOSFÉRA:	BIOSFÉRA:	ANTROPOSFÉRA:
litosféra:	fytosféra	lidská společnost
-pedosféra	zoosféra	artefakty
-hydrosféra	mikroorganosféra	
atmosféra		

GEOSFÉRA je tvořena zemskou kůrou - *litosférou*, která se dále člení na pevniny - *pedosféru* a souhrn všeho vodstva na povrchu Země (i v ovzduší a zemské kůře) - *hydrosféru*, plynný obal Země tvoří *atmosféra*.

Litosféra: celkový povrch Země má 510 mil. km².

Z toho:

- ❖ světové oceány - 362 mil. km², tj. 71%
- ❖ pevniny - 148 mil. km², tj. 29%.
- ❖
- ❖ Plocha pevnin obsahuje přibližně:
- ❖ 30% lesů,
- ❖ 20% polí, luk, pastvin a stepí,
- ❖ 18% horských masivů,
- ❖ 32% pouští, pustin a oblastí stálého ledu a sněhu.
- ❖

Vertikální členění - mocnost zemské kůry:

- ❖ pod pevninami v průměru 35 km,
- ❖ pod oceány 5 až 7 km.

Zemská kůra se skládá ze 3 druhů hornin: vyvřelé, přeměněné, usazené.

Chemické složení litosféry: - je zastoupeno 102 prvků, rozhodujících je 12 prvků, které tvoří 99,4% hmotnosti. Více než 1% hmotnosti mají prvky: O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg (**Tabulka 2.1**).

Pedosféra jako systém vznikla a vzniká půdotvornými procesy v nejsvrchnější části litosféry. Na půdotvorných procesech se podílí litosféra zvětráváním (fyzikální, chemické, biologické) různých hornin, atmosféra a hydrosféra společným působením formou klimatu a dále biosféra vlivem živých i neživých organismů. Někdy se uplatňuje i vliv člověka. Komplexními půdotvornými procesy vznikají různě diferencované genetické půdní typy, u nichž je patrná velká závislost na horizontální dislokaci (od rovníku k pólům) i vertikálním členění (nadmořská výška) zemského povrchu.

Hydrosférou se chápe veškerá voda na Zemi, která není chemicky vázána. Voda je obsažena v litosféře, na povrchu zemské kůry, v atmosféře i v biosféře. Hlavní částí hydrosféry je světový oceán, v němž je soustředěno asi 94% vody. V hydrosféře se uplatňuje

složitý systém oběhu vody, v němž hraje rozhodující úlohu sluneční energie ovlivňující výpar z oceánů i ze souší. Hmotnost hydrosféry se odhaduje na $1,4 \cdot 10^{18}$ tun.

Atmosféra tvoří plynný obal Země. Celková hmotnost atmosféry činí $5,3 \cdot 10^{15}$ t. Hlavními prvky, které tvoří atmosféru, jsou: dusík (75,3% hm), kyslík (23,3% hm), argon (1,28% hm), oxid uhličitý (0,03% hm). Kyslík (O) je základem oxidačních procesů, dýchání a hoření, dusík (N) je nezbytným doplňkem při dýchání vyšších rostlin, živočichů i člověka. Oxid uhličitý (CO_2) je zdrojem asimilace rostlin a uplatňuje se v tepelné bilanci; zadržuje asi 18% tepelného vyzařování Země. Kromě uvedených prvků jsou obsaženy v atmosféře (vzduch) ještě vodní pára (H_2O), stopové prvky (He, Kr, Xe, Ne, H) a různé plyny pocházející z přírodní i lidské činnosti. Atmosféra jako celek se významně podílí na utváření životních podmínek na Zemi, chrání Zemi před dopadajícími meteority, významně omezuje ultrafialové záření, působí na litosféru, uplatňuje se v tepelné bilanci i v koloběhu vody.

Atmosféru lze rozdělit na několik vrstev s odlišnými vlastnostmi:

- ❖ *troposféra* (8 až 16 km),
- ❖ *stratosféra* (11 až 40 km, stálá teplota $-56^\circ C$),
- ❖ *mezosféra* (40 až 80 km, teplota proměnlivá),
- ❖ *termosféra* (80 až 800 km, velmi kolísavá teplota od $-107^\circ C$ až do $+2\,750^\circ C$ ve dne, v noci pokles na $+1500^\circ C$).

Uvnitř *termosféry* - ve výšce 120 až 400 km se vytváří ionizovaná elektricky vodivá *ionosféra*. Při horní hranici stratosféry (ve výšce 20 až 40 km) je vrstva zvaná *ozonosféra*, která je pro život na zemi významná tím, že zadržuje ultrafialové paprsky. Negativní vlivy civilizace zasahují až do těchto vrstev, např. používáním freonů.

Troposféra zahrnuje 90% hmotnosti atmosféry. Zbytek hmotnosti připadá na zbývající vrstvy atmosféry.

BIOSFÉROU rozumíme souhrn všech organismů na Zemi. Významně se uplatňuje v přetváření sluneční energie a v oběhu hmoty. Zahrnuje vše živé na Zemi, tj. rostliny, živočichy a mikroorganismy. Biosféra je oživená část Země v pedosféře, hydrosféře a atmosféře, v nichž jsou podmínky pro různé formy života. Biosféra je nadřazená kategorie pro jednotlivé ekosystémy v celosvětovém měřítku. Hmotnost biosféry se odhaduje na $36 \cdot 10^{10}$ tun, z toho na autotrofní rostliny (tj. takové, které mají schopnost přetvářet anorganické látky na organické) připadá více než 99% hmotnosti. Asi 92% biomasy pevnin je obsaženo v lesích. V chemickém složení organismů dominují kyslík, uhlík a vodík, tyto prvky představují asi 95 % živé hmoty.

Zdroje biosféry (přírodní zdroje) definujeme jako součásti nebo složky přírody, které lidstvo využívá k uspokojování svých životních potřeb. Z hlediska etiky životního prostředí člověka je příroda zdrojem nejen toho, co člověk potřebuje pro svůj holý život, ale i toho, co člověk žádá po stránce psychické, emocionální, intelektuální. Proto se klade takový důraz na kvalitu životního prostředí člověka.

Fytosféra je tvořena rostlinnými společenstvy - *fytoocenózou*. Společenstvo znamená soubor organismů žijících ve společném prostoru ovlivňující se navzájem, zde globálně chápeme na celé Zemi.

Zoosféra je tvořena živočišnými společenstvy - *zoocenózou*. Je přímo či nepřímo závislá na fytosféře.

Mikroorganosféra je tvořena mikroorganismy a jim podobnými soubory (bakterie, viry apod.). V ekosystému se uplatňují významně ve funkci reducentů právě mikroorganismy.

ANTROPOSFÉRA představuje lidskou společnost dohromady s jeho výtvoř - *artefakty*, což jsou vlastně především objekty vytvořené v krajině člověkem (na rozdíl od přírodních výtvoř existujících bez vlivu lidské společnosti).

Lidská společnost ve své civilizované podobě k zajištění své stále náročnější existence využívá a mění přírodu. Svou činností zasahuje do všech geosystémů, zejména však ovlivňuje všechny části geosféry a následně i biosféru. Intenzita vlivu člověka je přímo závislá především na stupni poznání a společenského vývoje, na stupni poznání souvislosti jevů. Působení člověka na ostatní sféry možno zahrnout do pojmu *antropogenní faktor*. Zásahy jsou většinou uvědomělé a řízené, ale i náhodné.

Artefakty - lidská díla (původně jen umělecká díla) jsou výsledkem činností: umění, urbanismu, industrializace, meliorací, hydrotechniky, balneotechniky apod.

2.3 Definice a rozdělení ekologie

Klasická definice pojmu ekologie říká : *Ekologie je nauka o vzájemných vztazích organismů k tomuto prostředí*. Ekologie je tedy věda, která se zabývá zkoumáním vzájemných vztahů mezi organismy a prostředím. Vyhýbá se úzké specializaci ostatních vědních oborů. Ekologická zkoumání vychází z poznatků různých biologických vědních oborů a z poznatků některých dalších vědních oborů. Mají tedy zpravidla mnohooborový, resp. mezioborový charakter. Podle zaměření zkoumání hovoříme např. o oboru ekologie krajiny, ekologie rostlin, ekologie člověka, ekologie globální ap. Někteří autoři označují ekologii jako biologii prostředí. Ekologie je disciplínou, jejíž zásadní hlediska musí platit pro všechny oblasti lidské činnosti. Ekologie člověka, zkoumající vzájemné vztahy mezi člověkem a prostředím, vychází nejen z poznatků přírodních a technických věd, ale i z poznatků věd lékařských a společenských. Respektování ekologických zákonitostí je zásadním předpokladem pro udržitelný rozvoj lidské společnosti.

Ekologii dělíme na :

- ❖ autoekologii
- ❖ synekologii

Autoekologie studuje jednotlivé organismy nebo druhy. Při studiu klade důraz na způsob života a chování organismů nebo druhů v určitých podmínkách v daném životním prostředí.

Synekologie se zabývá studiem skupin organismů, jejich vzájemnými vztahy a vztahy mezi nimi a jejich životním prostředím.

Složky, které vytvářejí prostředí, v němž jednotlivé organismy dočasně nebo trvale žijí, označujeme jako *ekologické faktory*.

Ekologické faktory jsou :

- ❖ klimatické (teplota, vlhkost vzduchu, větry)
- ❖ fyziografické (charakter zemského povrchu)
- ❖ edafické (vliv půdy a její charakter)
- ❖ biotické (živé organismy)

Pozn.: edafon - živá část půdní hmoty sestávající z mikro a makro organismů rostlinných a živočišných.

Prostředí tradičně dělíme na :

- ❖ biotické (živá příroda) - biosféra
- ❖ abiotické (neživá příroda) - geosféra
- ❖ antropogenní (ovlivněné člověkem) - antroposféra

2.4 Ekosystémy a jejich rozdělení

Termínem „ekosystém“ rozumíme prostorové a časové uspořádání, ve kterém jsou integrována životní společenstva. Je tvořen živými organismy a neživým přirozeným prostředím.

Ekosystém je ekologický celek, který je tvořen společenstvem druhů organismů (biocenóza) spolu s příslušnou územní jednotkou se stejnými půdními, klimatickými a tvarovými znaky (ekotopem). Takže můžeme říct, že ekosystém je ekologický celek složený z živých organismů a neživého prostředí.

Podle vnitřního chování ekosystému dělíme ekosystémy na:

autotrofní

heterotrofní

V *autotrofním* systému jsou přetvářeny jednoduché anorganické látky ve složité látky organické pomocí fotosyntézy (systém se živí sám - představiteli jsou rostliny)

Pozn.: Autotrofie - schopnost rostlin přetvářet anorganické látky v organické.

Pro *heterotrofní* ekosystém je charakteristické, že organismy se živí organickými látkami. Tyto organismy nejsou schopny absorbovat z vnějšku světlo pro syntézu živin i jako zdroj energie, takže jejich výživa musí být zajištěna organickými látkami (systém se živí jinými organismy - představiteli tohoto ekosystému jsou živočichové).

Ekosystém (jak již bylo řečeno) je tvořena abiotickou a biotickou částí. Abiotická část označována pojmem biotop (v některé literatuře je označována jako ekotop) je tvořena :

- ❖ *klimatopem* (atmosféra, sluneční záření, srážky ap.),
- ❖ *hydrotopem* (voda v řekách, jezerech, mořích),
- ❖ *edafotopem* (půdou, její živou částí a vlastnostmi),
- ❖ *technotopem* (výsledky lidského činění).

Biotická část ekosystému, která je označována jako biocenóza, je tvořena soubory organismů vytvářejících určitá životní společenstva. Dělíme ji na fytocenózu, tj. rostlinná část, a zoocenózu, což je část živočišná.

Každý ekosystém se řídí specifickými zákonitostmi, jež mu zajišťují existenci a životaschopnost. V časově podmíněné rovnováze je ekosystém udržován autoregulační schopností. Zákonitosti, které udržují ekosystém v rovnováze, tzv. *homeostázi*, jsou složité vztahy *metabolismu* (látkové výměny) a *troficity* (výživa podmíněná tokem energie). Jsou-li tyto zákonitosti zvenčí narušeny, může dojít k narušení rovnováhy ekosystému s dlouhodobými nebo trvalými důsledky, v extrémním případě i k ohrožení existence ekosystému, tj. k *ekologické krizi*.

Bioenergetické přeměny, k nimž v ekosystémech dochází, jsou uskutečňovány biotickou částí ekosystému pomocí potravních řetězců. V souvislosti s nimi rozlišujeme:

- ❖ *producenty* (rostlinstvo)
- ❖ *konzumenty* (živočišstvo)
- ❖ *destruenty* (bakterie, mikroby, houby ap.)

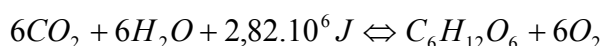
Ekosystém není uzavřený. Je to dynamická, otevřená soustava, která vyžaduje příjem energie. Základním zdrojem energie pro ekosystém je sluneční záření spolu s prvotními surovinami (H₂O, CO₂) a minerálními látkami z půdy.

2.4.1 Fotosyntéza

Nejdůležitější chemickou reakcí na zemi je transformace slunečního záření v chemickou energii tzv. *fotosyntéza*. Dopadající sluneční záření se však mění i na energii tepelnou. Tato přeměna je základem hydrologického cyklu, při němž se obnovují zdroje vody, která spolu s minerálními látkami, oxidem uhličitým obsaženým ve vzduchu a fotosyntézou je základem života.

Při fotosyntéze, tj. asimilaci CO_2 , využívají zelené rostliny sluneční energii pohlcenou *chlorofylem* (zeleným barvivem) k syntéze oxidu uhličitého a vody v organické látky.

Základní rovnici fotosyntézy lze vyjádřit:



Fotosyntézou jsou vytvářeny energeticky bohaté uhlohydráty. Ty pak jsou dalšími syntézami přeměňovány na složité organické sloučeniny živé hmoty všech stupňů. Vzniklé živé hmotě říkáme biomasa. Právě produkce biomasy je základní funkcí ekosystému.

Soubor všech ekosystémů na Zemi vytváří *biosféru*.

2.5 Životní prostředí

Při vyslovení pojmu životní prostředí si většinou představíme životní prostředí člověka. Ve skutečnosti je však pojem životní prostředí chápat obecněji. Životní prostředí člověka je jednou ze součástí životního prostředí. Definice životního prostředí najdeme v literatuře celou řadu. Jednou z nich je:

- ❖ *životní prostředí* je část prostoru, ve kterém se realizuje působení všech vnitřních a vnějších činitelů tak, že je umožněno organismům v tomto prostoru žít, vyvíjet se a rozmnožovat.

Životní prostředí člověka není z hlediska obsahu teoreticky dosud přesně formulováno. Jak uvádí někteří autoři (např. Říha) existuje řada definic od nejstručnějších až po značně obsáhlé.

Vysvětlení OSN z r. 1972 vystihuje nejširší prostorový význam:

- ❖ *životní prostředí člověka* je totálně fyzikální, chemické a biologické prostředí, které je třeba chránit, aby se uchovalo zdravé *globální* prostředí pro přítomné i budoucí generace.

Významnou součástí životního prostředí člověka je pracovní sféra, jež zahrnuje veškerou činnost člověka, kterou je člověk nucen vykonávat za účelem uspokojení potřeb nutných pro svoji existenci. Potřeby člověka se v průběhu vývoje společnosti měnily - především narůstaly, a to co do množství, tak i rozmanitosti.

3 Vliv techniky na životní prostředí

Byl to především rozvoj techniky a průmyslu, který způsobil intenzivní využívání primárních zdrojů energie a s tím související zásahy do geosféry, které se následně negativně projeví v biosféře a tím i v životním prostředí člověka.

3.1 Biosféra a rozvoj energetiky

Vývoj lidstva a technický rozvoj zformoval energetiku do souboru velkých systémů - uhelných, ropných, plynových, tepelných, elektroenergetických a dalších. Analýza vazeb životního prostředí a energetiky musí vycházet ze složitosti a velikosti energetických systémů. Rozbor vzájemného působení energetiky a životního prostředí musí respektovat celou řadu skutečností. Tak například není možné, aby při využívání energetických zdrojů v přírodě nenastaly změny i v samotné přírodě. Je však třeba tyto změny kontrolovat a aktivně regulovat, aby se předešlo vzniku a rozvoji negativních procesů, jež mohou být mnohdy nevratné. Narušit vazby v životním prostředí je mnohdy velmi jednoduché, avšak jejich obnovení může mít charakter dlouhodobého procesu, často s vážnými dopady na biosféru. I když v současné době má narušení přírody více či méně lokální charakter, nemusí však tomu být i do budoucna. Z minulosti víme, že rozvoj energetiky vedl k vážným zásahům do životního prostředí a postupně nabýval globální charakter. Podíl energetiky na celkové devastaci životního prostředí se může potenciálně stále zvyšovat, pokud by se nečinila přiměřená opatření na jeho ochranu.

Z pohledu systémového lze vysledovat, že vazby energetiky a životního prostředí se projevují prostřednictvím vstupů a výstupů energetických systémů. Mezi nejzávažnější vstupy, které mohou narušit životní prostředí patří:

- a) využívání primárních energetických zdrojů,
- b) zábor půdy v souvislosti s těžbou paliv a výstavbou nových zdrojů v elektrizační soustavě,
- c) spotřeba vody pro technologické účely,
- d) spotřeba vzduchu pro spalovací procesy.

3.2 Získávání energie

V získávání energie z přírody pro svoji bezprostřední potřebu má člověk dlouholeté zkušenosti. Především ekonomické a populační aspekty nutí lidstvo hledat při využívání tradičních zdrojů energie nové netradiční zdroje energie a obnovovat využití opomínaných zdrojů (např. vítr apod.). Mezi tradiční zdroje se obvykle řadí:

tuhá fosilní paliva (černé a hnědé uhlí, lignit a rašelina, palivové dřevo), *kapalná fosilní paliva* (ropa a ropné kondenzáty, živičné břidlice, živičné písky, plynná fosilní paliva (zemní plyn ropný a karbonský), *vodní energie*. K tradičním zdrojům dnes někteří autoři přiřazují ještě jaderná paliva pro štěpnou reakci, geotermální energii a energii slapovou (přílivovou). Do skupiny netradičních energetických zdrojů se zařazují: energie sluneční, tepelná energie prostředí, větrná energie, energie vlnění moře, jaderná energie fúzní reakce, druhotné zdroje energie.

Zdroje energie mohou být neobnovitelné a obnovitelné. Neobnovitelné zdroje jsou všechna, paliva fosilní i netradiční, živičné břidlice a písky a štěpné i fúzní materiály pro jaderné elektrárny. Obnovující se energetické zdroje jsou všechny ostatní: energie vodní, solární, energie větru, energie geotermální, slapová a další.

Vzhledem ke způsobu získávání a vlivu na životní prostředí dělíme energetické zdroje na zdroje znečišťující prostředí a tzv. „čisté zdroje“ energie. Mezi „čisté“ zdroje zařazujeme zejména energii vodní, sluneční, slapovou, geotermální, tepelnou energii prostředí.

Vývoj spotřeby jednotlivých druhů primární energie se v posledních desetiletích značně mění. Přibývá podílu kapalných a hlavně plyných paliv.

Hodnotíme-li dosavadní způsoby získávání energie v ekologických souvislostech je třeba povšimnout si několika skutečností:

- a) Prakticky veškerou tepelnou a elektrickou energii člověk dosud získával a získává spalováním fosilních zásob paliv. Tato praxe bude pokračovat i v dalším období a povede v poměrně blízké budoucnosti k úplnému vyčerpání těchto zdrojů energie (podle dnešních znalostí zásob). Je zde otázka, zda se lidská společnost dostatečně rychle a úspěšně dovede přeorientovat na získávání energie z jiných zdrojů.
- b) Získávání energie spalováním paliv je poměrně jednoduché, avšak obvykle si neuvědomujeme poměrně malou účinnost při využívání energie tímto způsobem. Podíl energie dodané ke spotřebiteli z celkové energie získané z ložiska fosilního paliva je menší než 15%. Při vlastním využívání energie nastávají další ztráty, takže celkový efekt získaný pálením organických uloženin milióny let starých, je nepatrný. Na druhé straně však uvolněná a vlastně vyplývaná energie se přeměňuje na teplo, které odchází do okolního prostředí a posléze je vyzářeno do vesmírného prostoru.
- c) Na povrchu Země nám z této činnosti zůstávají nespalitelné zbytky ve formě škváry, popela a popílku, dále plynné produkty jako oxid siřičitý, oxidy dusíku, které postupně zamořují celou přízemní vrstvu atmosféry a značné množství oxidu uhličitého, jehož koncentrace v atmosféře se také postupně zvětšuje, a zatím nedokážeme s jistotou předvídat jakými následky nás vedle skleníkového efektu ještě překvapí.
- d) Vlastní těžba energetických surovin, především uhlí zanechává na reliéfu krajiny výrazné stopy a způsobuje narušení životního prostředí i ve svém značně rozlehlém okolí.

Bilance, hodnotící zásoby a kapacity zdrojů energie na straně jedné a rychlost a způsoby jejich využívání na straně druhé, staví člověku na začátku 21. století před oči neradostnou perspektivu dalšího vývoje lidské společnosti. Bez energie je další vývoj a dokonce existence člověka nepředstavitelná. Pozornost je obrácena jednak na získávání energie z tzv. netradičních zdrojů, jednak na intenzivnější využívání obnovitelných zdrojů energie, avšak i na účelnější využívání energie, která je k dispozici.

Rozvoj jaderné energetiky, která měla po roce 2000 převzít rozhodující úlohu v energetické bilanci vyspělých zemí již několik let stagnuje i přes to, že zásoby jaderného paliva jsou podstatně rozsáhlejší než zásoby fosilních paliv. Konají se přípravné práce k rozšířenému využívání energie geotermální a energie slapové, u nichž se na základě dlouhodobých výzkumů a provozních zkoušek ukazuje lepší možnost využití než u energie sluneční. Využívání sluneční energie se ukazuje jako efektivní v subtropickém a tropickém pásmu, kdežto v mírném klimatickém pásmu se její využití v širokém měřítku nepředpokládá. Větší pozornost se soustřeďuje opět na využívání energie tekoucích vod a to i v zemích, kde energetický výkon vodních toků není příliš velký. Jako efektivní se ukazují i menší vodní díla a přečerpávací vodní elektrárny, které v energetické soustavě plní úlohu akumulátorů elektrické energie.

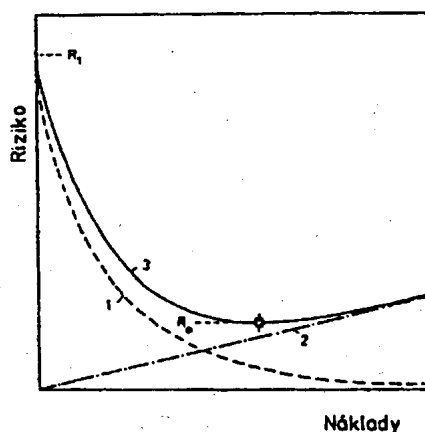
V lepším využití existujících zdrojů energie jsou k dispozici významné rezervy. Úpravou chladících procesů je možné část vydané energie na chlazení získat zpět ve formě tepla. Velká pozornost se v současné době věnuje získávání energie z biomasy, a to jak v menších provozech u rozptýlených zdrojů, tak i formou velkých projektů, především v zemích s naprostým nedostatkem tradičních zdrojů energie.

3.2.1 Rizika energetických technologií

Součástí vlivů průmyslové činnosti jsou i zdravotní rizika plynoucí z této činnosti. Zdravotní rizika plynoucí z provozu energetických zařízení, zvláště jaderných elektráren,

vystoupila do popředí zájmu široké veřejnosti zejména po poslední havárii v Černobylu. Není to však pouze jaderná energetika, která sebou při provozu přináší jistá zdravotní rizika. Je třeba se zamyslet nad technologiemi ovlivňujícími tvorbu skleníkových plynů nad používáním plynů podporujících růst ozónové díry v horních vrstvách atmosféry, nad kyselými dešti i nad haváriemi obřích ropných tankerů. Za všemi haváriemi stojí zpravidla lidské selhání. Řada událostí demonstruje jedinečnou schopnost člověka ničit svoje vlastní životní prostředí.

Hodnocení vlivu různých energetických systémů na životní prostředí je možné z krátkodobého hlediska (vliv na fyzikální stav biosféry a atmosféry, nemocnost, úmrtnost apod.) nebo z hlediska dlouhodobého. Nejdále pokročily metody vyhodnocení rizika ohrožení zdraví zaměstnanců i veřejnosti. Pod pojmem riziko rozumíme počet poškození zdraví nebo úmrtí za určité časově omezené období (obvykle 1 rok) vztažený k celkovému počtu osob, které se zúčastnily statistického šetření. Protože vlastně každá lidská činnost je provázena jistým rizikem (i když odpočíváme nebo tak zvané „neděláme nic“), nemůžeme požadovat po průmyslovém zařízení nulové riziko nebo absolutní bezpečnost. Člověk řadu vysokých rizik podstupuje dobrovolně, zejména u tzv. zájmových činností (automobilismus, různé sporty apod.). Rizika z průmyslové činnosti tzv. „vnucená“ rizika však akceptuje podstatně menší. V průmyslové činnosti, do níž počítáme i energetiku, akceptuje společnost riziko úmrtí řádu 10^{-7} , tj. úmrtí jedné osoby z 10 milionů osob za rok. To je podstatně méně než počet úmrtí v důsledku přírodních katastrof.



Obrázek 3.1: Závislost celkového rizika na nákladech za bezpečnostní zařízení

Jednou z možností snižování rizika jakéhokoliv druhu pod žádoucí úroveň je zavádění doplňkových bezpečnostních zařízení. U kterékoliv technologie lze zvýšit bezpečnost, otázka je, jaké prostředky na zvýšení bezpečnosti je účelné vynakládat. Prostředky vynakládané na zvýšení bezpečnosti nějakého zařízení, či na ochranu životního prostředí, by měly být úměrné očekávanému efektu. Zdá se, že určitým kritériem by mohlo být právě riziko ve výši 10^{-7} na osobu a rok. Menší rizika lze akceptovat a finanční prostředky by měly být vynakládány především do těch průmyslových odvětví, která takto nízké riziko nedosahují.

V této souvislosti je užitečné znovu zdůraznit, že riziko lze snižovat, ale nelze jej z průmyslové činnosti zcela vyloučit. Výdaje na bezpečnostní zařízení snižující riziko se obecně řídí známým zákonem exponenciálního poklesu. Relativně vysoké riziko můžeme podstatně snížit s poměrně malými náklady. Čím je však riziko nižší, tím více stoupají náklady na jeho snížení. Při podrobnějším rozboru vztahu mezi náklady a rizikem je však třeba vzít v úvahu také riziko, které přináší zvyšování nákladů na bezpečnost zařízení. Jestliže předpokládáme, že riziko plynoucí z výroby bezpečnostního zařízení je přímo úměrné nákladům na toto zařízení (vyjádřené přímkou 2), pak celkové riziko bude dáno součtem

obou křivek podle obrázku (**Obrázek 3.1**) a výsledná křivka bude vykazovat určité minimum. Další zvyšování nákladů na bezpečnostní zařízení za toto minimum ve skutečnosti znamená zvyšování celkového rizika.

Tabulka 3.1: Odhad účinků výroby elektřiny na lidské zdraví (1Gwrok)

Typ elektrárny	Počet ztracených pracovních dní úrazem	Úmrtí
uhelná	1500 - 1800	6 – 27
na kapalná paliva	2 - 3	1 – 7
plynová	2	0,17
jaderná	6	0,06
sluneční	75 - 90	0,6

Zhodnotit rozdíly mezi jednotlivými energetickými technologiemi a to jak z hlediska jejich rizika, tak i z hlediska jejich přínosů je velmi obtížné. Lidé mají nejrůznější měřítka ovlivňovaná psychologickými aspekty, ale i sociálně politickými faktory. V posuzování přijatelnosti energetické technologie je prvním krokem kvantitativní vyjádření rizika. Kvantitativně vyjádřená rizika je třeba hodnotit a porovnávat. Je třeba uvážit i další důležité aspekty energetických systémů, jako jsou investiční a provozní náklady, nebo spolehlivost dodávky energie. Byla vypracována řada metod umožňujících objektivizovat jednotlivá individuální hodnocení jako podklad pro optimální rozhodování v oblasti energetiky. Součástí celého procesu je i kontrola rizika.

Metody odhadu jednotlivých rizik se neustále zdokonalují a současně narůstá potřebná báze statistických dat, takže odhady rizik jsou stále přesnější. Odhady rizik tak umožňují orientovat se v otázkách rizik jednotlivých primárních zdrojů energie a ukazují, která část palivového cyklu představuje největší ohrožení.

3.3 Vliv energetiky na životní prostředí

Provedeme-li analýzu výstupů z technologických procesů v energetice, dojdeme k následujícím vlivům tohoto odvětví na životní prostředí. K základním patří vlivy:

- a) fyzikální a chemické
- b) biologické
- c) ekonomické
- d) estetické aj.

ad a) Fyzikální a chemické vlivy mají svůj původ v rozptylu pevných, plyných, příp. i kapalných, emisí v ovzduší, ve vodě i v půdě, v působení různých polí (elektromagnetické, elektrostatické, tepelné aj.). Nejvíce je životní prostředí zatěžováno využíváním spalovacích procesů pro energetické využití. Spalování fosilních paliv zatěžuje atmosféru popílkem, oxidy spalovaných prvků (síra, dusík, uhlík,...) a karcinogenními látkami, hydrosféru znečištěnými odpadními vodami se zbytky chemikálií a ropných produktů, litosféru především skládkami tuhého odpadu (škvára, popílek) apod.

ad b) Biologické vlivy jsou přímými následky vlivů fyzikálních a chemických a projevují se především ve zhoršeném zdravotním stavu živých organismů. Biologické vlivy narušují normální biologickou rovnováhu příp. reprodukci, a mnohdy vedou ke zkrácení průměrného života živých organismů.

ad c) Ekonomické vlivy se projeví změnou struktury nákladů na vyráběnou energii vlivem dodatečně vyvolaných ekologických investic, dále potřebou nákladů na provoz a údržbu ekologických zařízení, náklady na rekultivaci po těžbě paliva a ploch úložišť škváry a popílku, příp. dalších odpadků. U jaderných elektráren vystupují do popředí náklady na ukládání radioaktivních odpadů, příp. jejich přepracování, a likvidaci jaderných elektráren po jejich dožití.

ad d) Estetické vlivy se týkají především přetváření krajiny v souvislosti s těžbou surovin a následným ukládáním odpadu a s výstavbou výroben elektrické energie.

3.4 Vliv výroby elektrické energie na životní prostředí

Elektroenergetika je pouze součástí celého komplexu lidských činností ovlivňujících životní prostředí, takže k nepříznivým vlivům na životní prostředí je třeba ještě přičíst vlivy z ostatní lidské činnosti a přírodní zdroje znečišťování jako sopečný prach, kouř z lesních požárů, prach a tuhé zbytky, kosmické záření, zbytky rostlinného a mikrobiologického života apod. I přes tuto skutečnost se však energetika podílí na celkovém znečišťování biosféry největší měrou.

Rozsah negativních vlivů na životní prostředí se stanovuje porovnáním skutečných hodnot s přirozeným hodnotami přírodního pozadí.

3.4.1 Znečišťující látky

Při výrobě elektrické energie s použitím technologie spalování tuhých paliv vznikají odpadní látky všech tří skupenství. Do ovzduší přitom odchází ze spalovacího procesu látky tuhé a plynné. Z procesu chlazení páry odchází do ovzduší přes chladicí věže ještě značné množství odpadního tepla (až 60% z tepla dodaného palivem) a chladicí vody ve formě páry.

Hořením uhlí vzniká nejen oxid uhličitý (CO_2) a vodní pára, které do jisté míry životnímu prostředí nevadí, ale vznikají i další oxidy, především oxid siřičitý (SO_2) a oxidy dusíku (NO_x). Ve spalínách se nachází i část chloru a fluoru obsaženého v uhlí, případně rtuť a další škodlivé látky. Plynné emise obsahují rovněž sloučeniny, které vznikly nedokonalým spálením a tepelným rozkladem hořlaviny. Jde především o oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky, aldehydy, ketony apod.

Škodlivé látky, které přišly do ovzduší, podléhají v atmosféře fyzikálním změnám a působením složek vzduchu, slunečního záření a vzájemných interakcí mohou nastat i chemické změny. Tak např. oxid SO_2 siřičitý oxiduje fotolýzou z části na oxid sírový SO_3 podle schématu



Oba oxidy potom ve styku s vodou vytváří kyseliny (siřičitou a sírovou). V atmosféře probíhá i fotolýza oxidu dusičitého NO_2



Následně dalšími reakcemi vzniká z NO a O ozón O_3 . Oxid dusičitý může oxidovat tak dlouho, dokud nezreaguje na kyselinu dusičnou. I nízké koncentrace NO_2 mohou, za určitých podmínek, být příčinou vzniku značného množství ozónu. Hovoříme o tzv. oxidačním smogu. Uvedené oxidy spolu s ozónem, sloučeninami fluoru a dalších halogenidů mají nepříznivý

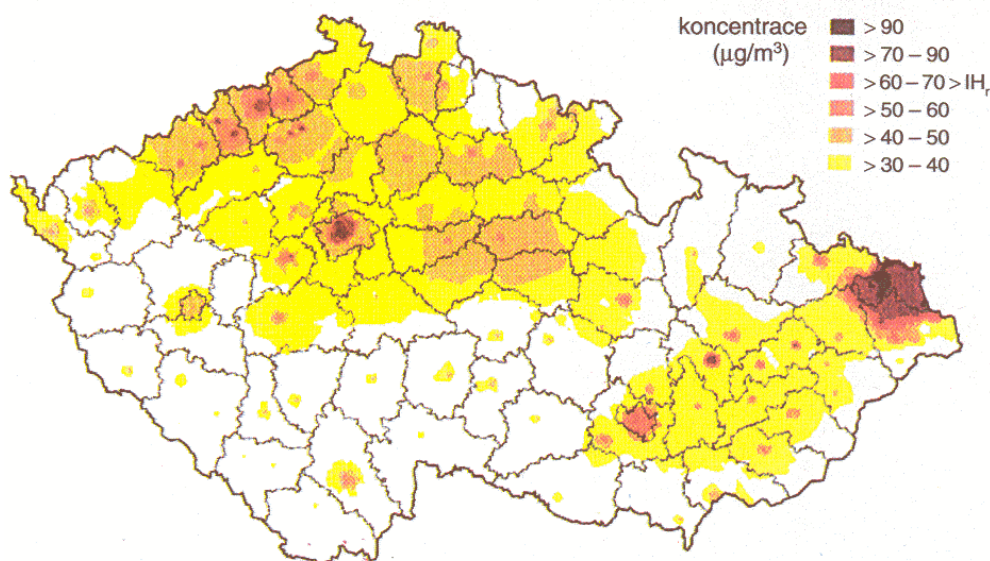
vliv na sliznice a horní cesty dýchací. Jsou rovněž prokázány jejich škodlivé účinky na floru a faunu.

Tabulka 3.2: Hodnoty průměrné měrné aktivity elektrárenského popílku

Radionuklid	^{40}K	^{238}U	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th	^{228}Ra	^{228}Th
Měrná aktivita [Bq/kg]	500	200	200	600	600	200	200	200

Tuhé emise jsou reprezentovány jemným popílkem a látkami, které během spalování přešly do formy par a po ochlazení vytvoří kondenzační aerosol. Jde případně o prvky: arsen, kadmium, olovo, selen a další. Za hlavní škodliviny jsou však považovány zejména oxid siřičitý, oxidy dusíku a tuhé částice (popílek, prach). Jejich koncentrace v ovzduší jsou trvale sledovány.

Přítomnost znečišťujících látek může vést k porušení rovnováhy přírodních procesů. Narušení rovnováhy může být podle povahy a množství imisí, buď krátkodobé nebo dlouhodobé. Krátkodobé poruchy jsou v podstatě vratné změny v procesu samoregulace přírody. Mohou trvat od několika desítek hodin až po desetiletí. Dlouhodobé poruchy vlivem imisí znečišťujících látek jsou takové, kdy nastávají nevratné změny porušením samoregulačních schopností přírody. Tyto nevratné změny není možné mnohdy odstranit ani dodatečným zásahem člověka.



Obrázek 3.2: Koncentrace prachu na území ČR

V souvislosti s imisemi hovoříme obvykle o látkové, tepelné a radiační kapacitě biosféry, což z hlediska nasycení biosféry škodlivými látkami znamená hranici, za kterou vznikají jen nevratné změny. Stanovují se proto *limity znečištění životního prostředí*.

Tyto limity dělíme na:

- ❖ emisní
- ❖ imisní
- ❖ jiné (spadové, teplotní, radioaktivní apod.)

Nejčastějším vyjádřením limitu znečištění životního prostředí je nejvyšší přípustná koncentrace určité znečišťující látky, vyjádřená hmotností této látky v jednotce objemu daného prostředí (obvykle v mg/m^3 nebo $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

V případě látek, které jsou emitovány ze zdroje, jde o nejvyšší přípustnou emisi, vyjádřenou hmotností ze zdroje emitované znečišťující látky za jednotku času (obvykle g/s).

3.4.2 Imise

S ohledem na vliv znečišťujících látek v prostředí na zdraví člověka jsou v ČR stanoveny *imisní limity* škodlivých látek. Pro znečišťující látky v ovzduší je pro každou škodlivou látku stanovena hodnota imisního limitu, a to (kromě dalších):

- ❖ největší přípustná *krátkodobá koncentrace* K_{max} , tj. průměrná půlhodinová koncentrace (střední hodnota koncentrace zjištěná ve vzorcích odebraných na stanoveném místě během 30 minut)
- ❖ největší přípustná *průměrná denní koncentrace* K_d , tj. střední hodnota koncentrace zjištěná na stanoveném místě v časovém úseku 24 hodin.

Přípustné koncentrace jsou obsaženy ve směrnících hygieniků. **Tabulka 3.3** udává hodnoty nejvyšších přípustných koncentrací (NPK) některých škodlivých látek v ovzduší podle hygienických předpisů, přílohy 4.

Tabulka 3.3: Imisní limity v ČR

Znečišťující látka:	Imisní limity [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	K_k	K_d
<i>Oxid siřičitý</i> SO_2	500	150
<i>Oxidy dusíku</i> NO_x	200	100
<i>Oxid uhelnatý</i> CO	5 000	10 000
<i>Poletavý prach</i>	500	150

V souvislosti s přítomností znečišťujících látek v biosféře hovoříme nejčastěji o *emisích*. Pojem emise znamená dodávání znečišťujících látek ze zdroje znečištění do životního prostředí. Imise pak znamená přítomnost znečišťujících látek ve sledovaném prostředí. Vztah mezi emisemi a imisemi je složitý. Je ovlivňován celou řadou faktorů. Např. fyzikálními a chemickými změnami jednotlivých znečišťujících látek v prostředí, meteorologickými podmínkami, tvarem terénu apod.

Vztah mezi emisními a imisními hodnotami v prostoru a čase závisí na rozptylu škodlivých látek v ovzduší. Lze jej určovat pomocí matematických modelů. Matematické modely však obvykle nemohou zahrnout všechny vlivy, a proto je nutné pro přesné vyjádření provádět přímá měření emisí a imisí a získané hodnoty srovnat s vypočtenými.

3.4.3 Emise

Přípustná míra znečištění ovzduší při spalování paliv a při hlavních technologických procesech je dána zákonem č. 35/67 Sb. a zákony a vyhláškami souvisejícími. Ty určují

přípustné *emisní limity* (úlet) pro popílek, oxid siřičitý (SO_2) a dalších dvacet škodlivých látek v závislosti na výkonu zdroje i na výšce komína. Povolený úlet dalších škodlivých látek určuje hygienická služba ČR.

3.4.3.1 Zdroje znečištění ovzduší

Zdroje znečišťování ovzduší jsou v ČR zachyceny v *Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO)*. Registr je rozdělen na čtyři kategorie podle velikosti zdroje znečišťování :

REZZO 1 - *Stabilní průmyslové zdroje* (spalovací zařízení o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a vyjmenované technologie)

REZZO 2 - *Stabilní komunální zdroje* (spalovací zařízení o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW a vyjmenované technologie)

REZZO 3 - *Stabilní lokální zdroje* (spalovací zařízení o tepelném výkonu do 0,2 MW a vyjmenované technologie)

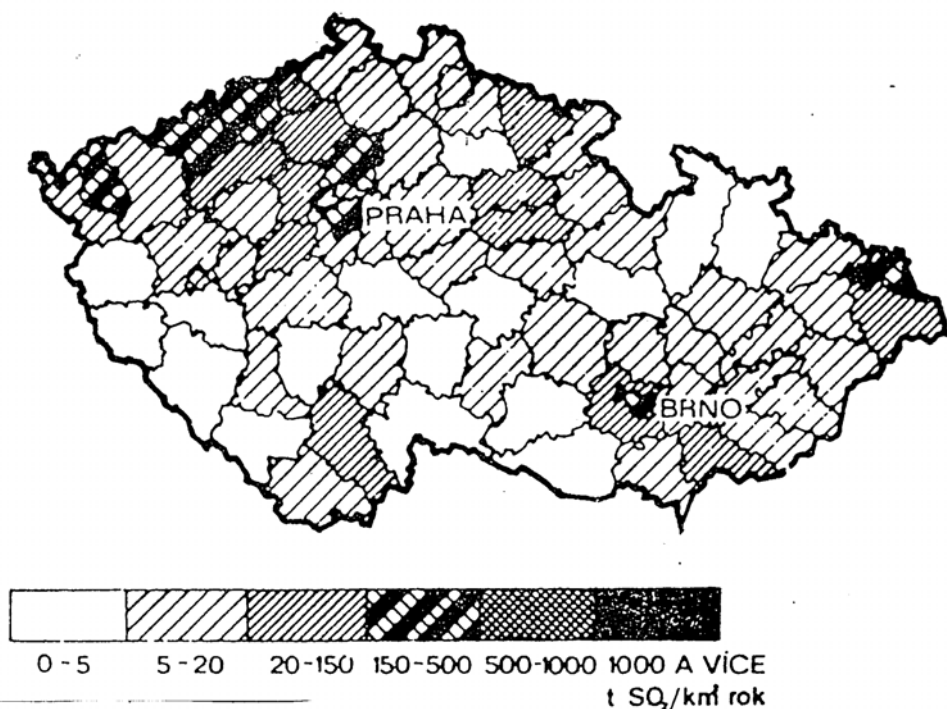
REZZO 4 - *Mobilní zdroje* (motorová vozidla silniční, železniční apod.)

Ochranu čistoty ovzduší lze zajistit dodržáním předepsaných emisních, příp. imisních, limitů.

3.4.3.2 Stanovení velikosti emisí

Emise ze zdroje znečišťování je možné stanovit:

- ❖ *přímým měřením* na zdroji znečištění (trvale nebo periodicky),
- ❖ *výpočtem* z matematické bilance spalovacího procesu.



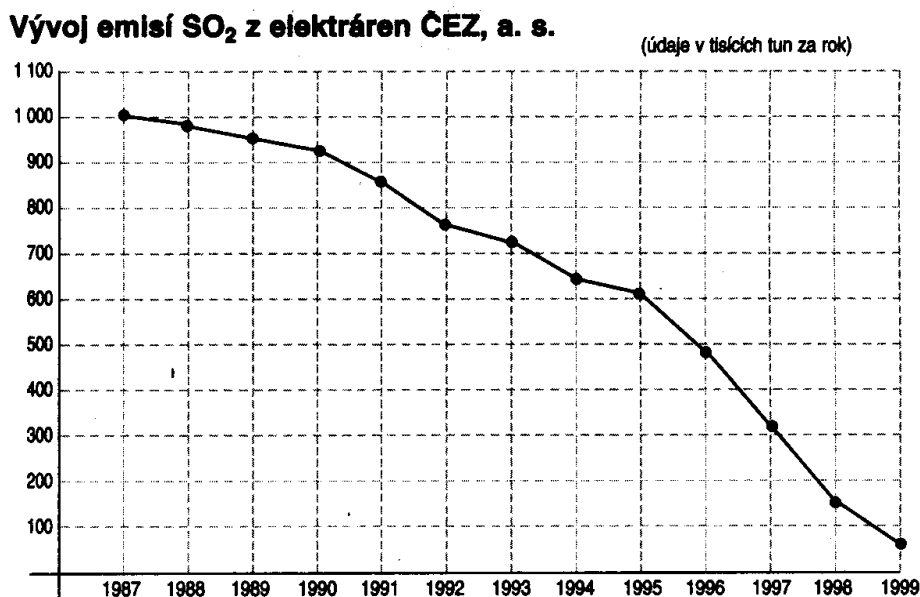
Obrázek 3.3: Koncentrace oxidu siřičitého v ČR (stav 1993)

Obecně platí, že rozhodnutí, zda emise zjišťovat pomocí měření nebo výpočtem v závisí na tom, co poskytuje vzhledem k povaze a uspořádání technologického procesu správnější výsledky.

Přesnější obraz o emisích získáme přímým měřením. Výpočtem získáme průměrné hodnoty emisí za určité období. Vypočtené průměrné hodnoty obvykle nezachycují výkyvy a špičky způsobené různými vlivy.

Emise zjišťované pomocí měření prokazují provozovatelé jednorázovým měřením nebo kontinuálním měřením. Pomocí měření jsou zjišťovány emise jen těch znečišťujících látek, pro něž má daný zdroj znečišťování určeny emisní limity. Toto neplatí pro jmenovitě stanovené zdroje znečišťování.

Odběr vzorků nebo měření se provádí v místě před vyústěním odpadního plynu do ovzduší nebo na jiném místě, jestliže je v něm složení odpadního plynu stejné jako ve vyústění nebo je přesně definováno obsahem srovnávací složky, nejčastěji kyslíku. Vlastní analýza se provádí způsobem a postupy uvedenými v oprávnění k autorizovanému měření emisí. Vybudování měřicího místa a jeho udržování v provozuschopném stavu zajišťuje provozovatel. Jako součást technicko-organizačních opatření musí provozovatel uvést také způsob sledování provozu zdroje a stanovení emisí pro případ výpadku (havárie) kontinuálního měření emisí. Zařízení, která jsou provozována pouze v situaci krajní nouze nebo po dobu v úhrnu nepřekračující 700 hodin v kalendářním roce a jsou pro taková použití předem označena a evidována inspekcí, nemusejí být kontinuálním měřením vybavena, i kdyby jinak takové povinnosti podléhala.



Obrázek 3.4: Vývoj emisí a.s. ČEZ

Jednorázová měření

Jednorázové měření se provádí:

- u velkých zdrojů znečišťování jedenkrát za kalendářní rok, pokud nemají povinnost měřit kontinuálně,
- u středních zdrojů znečišťování po skončení platnosti individuálně stanovených emisních limitů nebo po prvním uvedení do provozu a dále vždy po každé změně paliva nebo suroviny, nebo po každém významném a trvalém zásahu do konstrukce

nebo vybavení zdroje, a to do šesti měsíců od vzniku jedné z výše uvedených skutečností.

Jednorázovým měřením se stanovují emise těch znečišťujících látek, pro něž má daný proces určeny emisní limity. Použité manuální metody pro měření musí být schopny změřit koncentraci znečišťujících látek alespoň ve výši 10% emisního limitu. Přednost při měření mají integrální metody stanovení koncentrací znečišťujících látek. Je-li nezbytné použít bodového odběru vzorku, je třeba počet odebraných vzorků přiměřeně zvýšit.

Při jednorázovém měření manuálními metodami se doporučuje provést nejméně

a) tři jednotlivá měření za obvyklého provozu zdrojů znečišťování s neměnnými provozními podmínkami a nejméně jedno další jednotlivé měření, došlo-li ke změně provozních podmínek pokrývajících alespoň 6 hodin provozu zdroje znečišťování,

b) šest jednotlivých měření u zdrojů znečišťování s proměnlivými provozními podmínkami pokrývajících alespoň 12 hodin provozu zdroje znečišťování,

c) tři jednotlivá měření u zdrojů znečišťování s periodickým, přerušovaným, šaržovým způsobem výroby tak, že každé pokrývá časový interval cyklu nebo šarže, pokud trvá maximálně 4 hodiny, a počátek a konec je zřetelně definován. Trvá-li cyklus více než 4 hodiny, měří se emise průběžně po celou dobu trvání jednoho výrobního cyklu. U zdrojů s opakováním cyklu v intervalu delším než jeden den se měří jeden výrobní cyklus.

Doba odběru dílčích, na sebe navazujících vzorků se přizpůsobí očekávaným koncentracím. Měření se vyhodnotí jako vážený průměr veličin.

Použije-li se k jednorázovému měření přístrojů pro kontinuální měření nebo kontinuálně pracujících přístrojů pro tento účel konstruovaných, činí minimální doba měření:

a) 6 hodin u zdrojů znečišťování s neměnnými provozními podmínkami,

b) 12 hodin u zdrojů znečišťování s proměnlivými provozními podmínkami.

U zdrojů znečišťování s periodickým, přerušovaným nebo šaržovým způsobem výroby se měření provádí po celou dobu trvání cyklu. Trvá-li cyklus nejdéle 4 hodiny, musí jednorázové měření zahrnovat nejméně tři šarže, pokud je možno je provést během jednoho dne. Trvá-li jeden cyklus déle než 4 hodiny, měří se emise průběžně po celou dobu trvání jednoho výrobního cyklu.

Tabulka 3.4: Průměrné množství plyných produktů ze spáleného paliva

Plynný produkt	Uhlí [g/kg]	Topný olej [g/kg]	Zemní plyn [g/kg]
CO ₂	2 950	3 150	2 750
CO	0,05 - 22	0,005 - 0,2	0,07
NO _x	3,5 - 9	4 - 12	3 - 7
SO ₂	17	18	0,01

Výsledky jednorázového měření musí být zpracovány tak, aby je bylo možno porovnat s emisními limity. Schopnost zdroje dodržovat emisní limity je prokázána, pokud je střední hodnota zjištěné koncentrace s připočtením směrodatné odchylky menší než emisní limit. Vyhodnocení jednorázového měření musí též obsahovat emisní faktory a podmínky jejich platnosti odvozené pro jednotlivé konkrétní měřené zařízení nebo technologický proces.

Jednorázové měření přístroji pro kontinuální měření nebo kontinuálně pracujícími přístroji pro tento účel konstruovanými se vyhodnotí jako střední hodnoty za každých 30 minut měření a průměr za celé měření.

Kontinuální měření

Kontinuální měření se provádí na velkých zdrojích znečišťování v těch případech, kdy se emisního limitu dosahuje úpravou technologického řízení výrobního procesu nebo použitím zařízení k čištění odpadního plynu. Kontinuálním měřením se zjišťuje dodržování emisního limitu pouze té znečišťující látky, jejíž roční hmotnostní tok emise překračuje zákonem stanovené hodnoty.

Pokud provozovatel považuje za účelné nebo hospodárné, může v rámci technicko-organizačních opatření navrhnout nahrazení kontinuálního měření jiným kontinuálním způsobem sledování činnosti zařízení k odstraňování znečišťujících látek. Data zjišťovaná kontinuálním měřením nebo jiným kontinuálním způsobem ve smyslu předcházejícího odstavce musí být uschována a chráněna proti pozměňování. Kalibrace měřidel se provádí postupem a ve lhůtách, které jsou předepsány výrobcem, a provádí ji ten, kdo kontinuální měření provozuje. Správnost údajů kontinuálního měření musí být jednou za rok ověřena. Jinak se ověřuje vždy po zásahu do měřicího systému nebo technologického procesu nebo významné změně zpracovávaných surovin.

Z hodnot naměřených v intervalech ne kratších než 1 minuta se podle typu přístroje vypočte střední hodnota koncentrace příslušné znečišťující látky za každých 30 minut měření při stanovených referenčních podmínkách. Za třicetiminutovou střední hodnotu se považuje aritmetický průměr výsledků zaznamenaných měření po dobu nejméně 20 minut sledovaného intervalu. Střední hodnoty se roztřídí pomocí počítače do nejméně 20 tříd, na které je rozdělen interval od nuly do dvojnásobku emisního limitu, a to počínaje prvním dnem kalendářního roku nebo prvním dnem zahájení provozu. Zvlášť se zaznamená překročení 1,2násobku a dvojnásobku emisního limitu. Ze středních hodnot se vypočte průměrná denní střední hodnota koncentrace znečišťující látky a porovná se s hodnotou emisního limitu; překročení se zaznamená.

Hodnoty musí být kdykoliv přístupné, výstupy z nich se zpracovávají denně a souhrnně pak poslední den kalendářního roku. Denní výstupy mohou být vytištěny nebo mohou být ukládány na záložní elektronický nosič. Souhrnný výstup za kalendářní rok musí být vytištěn.
[1]

Při použití kontinuálního měření emisí se emisní limit považuje za dodržený, jestliže jsou v průběhu kalendářního roku současně splněny tyto podmínky:

- a) průměr všech denních středních hodnot je nižší než hodnota emisního limitu,
- b) 95 % všech středních hodnot je nižší než 120 % emisního limitu,
- c) všechny střední hodnoty jsou nižší než dvojnásobek hodnoty emisního limitu.

Při hodnocení dodržení emisního limitu se nepřihlíží k výpadkům kontinuálního měření, nepřekročí-li 5 % celkové provozní doby zdroje znečišťování v kalendářním roce. Do hodnot rozhodných pro posouzení dodržení emisního limitu se nezahrnují údaje zjištěné v době uvádění zařízení zdroje znečišťování do provozu, v době jeho odstavování z provozu nebo při odstraňování jeho poruchy, popřípadě havárie. Délka přípustné doby trvání těchto stavů se řídí návodem k obsluze zpracovaným výrobcem zařízení a musí být uvedena v souboru technicko-organizačních opatření jako závazná součást místního provozního předpisu.

Měření v elektrárnách

V elektrárnách, teplárnách a výtopnách se měřením zjišťují tuhé znečišťující látky, oxid siřičitý, oxidy dusíku s přepočtem na oxid dusičitý, oxid uhelnatý a obsah kyslíku. U zdrojů znečišťování o jmenovitém tepelném výkonu do 150 MW se zjišťují znečišťující látky jednorázovým měřením, při jmenovitém tepelném výkonu vyšším než 150 MW kontinuálním měřením.

U zdrojů spalující plyné nebo kapalné palivo, se neprovádí měření oxidu siřičitého, jestliže dodavatel paliva zaručuje stálý obsah síry v palivu na takové úrovni, aby při spalování nebyl překročen emisní limit. U zdrojů spalujících výlučně plyné palivo se neprovádí měření tuhých znečišťujících látek.

V elektrárnách, teplárnách a výtopnách s kotli o jmenovitém tepelném výkonu 50 MW a vyšším, které spalují tuhá nebo kapalná paliva, se ve spalínách zjišťují jednorázovým měřením emise některých těžkých kovů a perzistentních organických látek (polychlorované bifenyly, polychlorované dibenzodioxiny, polychlorované dibenzofurany, polycyklické aromatické uhlovodíky) vždy po prvním uvedení zdroje do provozu a dále vždy po každé změně paliva nebo po každém významném a trvalém zásahu do konstrukce nebo vybavení zdroje, a to do šesti měsíců od vzniku jedné z výše uvedených skutečností.

Kromě spalovacích procesů ovlivňují ovzduší i další technologické procesy. Znečišťující látky, které tyto procesy produkují, není možné bilančně určit s dostatečnou přesností, proto je nutné jejich přímé měření. Měření se provádí u velkých a významných zdrojů znečištění zpravidla jednorázově, opakovaně s různými časovými intervaly.

U velkých elektráren se tedy provádí trvalá registrační měření emisí tuhých látek, oxidů síry a dusíku. U zdrojů znečištění střední velikosti se provádí jednorázová měření s intervalem měření podle významu zdroje. Emise z malých zdrojů znečištění (kotelny ústředního topení ap.) se vyhodnocují bilančním výpočtem spalovacího procesu.

Emisní faktor

Rychlé orientační výsledky pro zjištění emisí dává výpočet emisí pomocí *emisního faktoru*. Přesnost této metody výpočtu se udává do 60 %. *Emisní faktor* (měrná výrobní emise) shrnuje všechny parametry, které ovlivňují množství emisí do jedné konstanty. Tato konstanta je shodná pro všechny spalovací nebo výrobní procesy stejného druhu. Emisní faktory se stanovují pro jednotlivé znečišťující látky (např. tuhé látky, oxidy dusíku, oxidy síry apod.).

Emisní faktory mohou kromě konstant obsahovat i jednu proměnnou, např. pro emisní faktor tuhých látek je proměnnou obsah nespalitelných látek v palivu apod. Jednotkou měrné výrobní emise (emisního faktoru) je kilogram na tunu spáleného paliva (kg/t), v případě spalování plynu pak kilogram na milion krychlových metrů ($kg/10^6 m^3$).

Stanovení nejvyšší povolené emise pro jednotlivé zdroje znečišťování a jednotlivé škodliviny umožňuje přesné určení zodpovědnosti jednotlivých zdrojů na znečištění dané oblasti. Přesné stanovení emisního limitu je možné pouze na základě kontinuálního měření většího množství zdrojů téže velikostní skupiny nebo téže technologie.

Snižování emisí

U energetických zdrojů je třeba z hlediska jejich negativního vlivu na ovzduší brát v úvahu územně-technická opatření, z nichž nejdůležitější je vhodná lokalita energetické výroby a rozptyl povolených škodlivých emisí.

Zabezpečení dostatečného rozptylu však neřeší problém snižování absolutního množství emisí. Snižování množství emitovaných znečišťujících látek do okolí je nutné provést různými technickými a technologickými opatřeními. Tato opatření je možné rozdělit na :

1. Opatření zabezpečující menší vznik škodlivin v technologickém procesu:

- ❖ změnou kvality spalovaného paliva (např. malý obsah síry apod.),
- ❖ přepracováním tuhého paliva (zplyňování),
- ❖ optimalizací stávajícího spalovacího procesu,
- ❖ změnou technologie spalování (např. fluidní spalování),
- ❖ lepším využitím vyrobené energie (dosáhne se snížení výroby elektrické energie - jak praví jeden ekologický slogan: „Nejčistší energie je nevyrobená!“).

2. Opatření na zachycení škodlivých látek vznikajících při spalovacím procesu (čištění spalin od tuhých látek a od vzniklých oxidů).

Největšího účinku se dosáhne kombinací uvedených opatření.

Znalost emisní i imisní situace je nezbytná pro správnou orientaci prostředků na ochranu ovzduší do nejvíce postižených oblastí státu a pro řešení otázek spojených s dálkovým přenosem škodlivých látek ovzduším přes hranice států.

Rozložení emisí je v ČR velmi nerovnoměrné a sleduje hlavní průmyslové oblasti a velké městské aglomerace (**Obrázek 3.2, Obrázek 3.3**). V těchto oblastech jsou trvale měřeny imisní limity oxidu siřičitého, oxidů dusíku a prachu. Při jejich překročení jsou následně prováděna opatření na jejich snížení. Ve velkých městech, se zvláště v zimě, podílí na překračování imisních limitů ve značné míře lokální topeniště.

3.4.3.3 Emisní limity

Emisní limity rozeznáváme:

- ❖ *obecné*, které jsou platné pro všechny druhy již existujících i nově budovaných zdrojů znečištění ovzduší
- ❖ *specifické*, jež se stanovují pro jednotlivé druhy výrob
- ❖ *individuální*, stanovené pro určitý konkrétní zdroj

3.4.3.4 Obecné emisní limity energetických zdrojů

Obecné emisní limity energetických zdrojů jsou dány zákonem. Seznam látek znečišťujících ovzduší, kategorizace zdrojů znečišťování, limity znečišťování, přípustná tmavost kouře a technické podmínky provozu zdrojů znečišťování je uveden v příloze zákona.

U technologických objektů obsahujících stacionární zařízení ke spalování paliv pro výrobu elektřiny nebo tepla se tímto zákonem stanovují emisní limity podle druhu spalovaného paliva a jmenovitého tepelného výkonu zařízení tak, že samostatným zdrojem znečišťování je:

- a) kotel, pokud je jeho jmenovitý tepelný výkon 50 MW a vyšší,
- b) u kotlů o jmenovitém tepelném výkonu nižším než 50 MW :
 1. kotel, pokud je jediným s tímto tepelným výkonem v kotelně,
 2. skupina kotlů s tímto tepelným výkonem, pokud spalují stejný druh paliva a pokud vypouštějí nebo by s ohledem na uspořádání mohly vypouštět spaliny společným komínem,

3. ze skupiny kotlů s tímto tepelným výkonem kotel, který spaluje jiný druh paliva, než který je spalován v ostatních kotlích,
4. každý z kotlů s tímto tepelným výkonem, pokud nejsou spaliny vypouštěny nebo by nemohly být s ohledem na uspořádání vypouštěny společným komínem.

Kategorizace vybraných zdrojů znečišťování, emisní limity vybraných zdrojů znečišťování označované jako „specifické emisní limity“, přípustná tmavost kouře a technické podmínky provozu vybraných zdrojů znečišťování jsou rovněž uvedeny ve výše citovaném zákoně. Technické podmínky provozu vybraných zdrojů znečišťování, obsahující požadavky na konstrukci a vybavení zařízení a provozování technologického procesu, specifické emisní limity doplňují nebo nahrazují. Pro vybrané zdroje znečišťování platí výhradně specifické emisní limity, přípustná tmavost kouře a technické podmínky jejich provozu uvedené v zákoně.

Pro velké a střední zdroje znečišťování, které nejsou uvedeny mezi vybranými zdroji znečišťování, platí limity a přípustná tmavost kouře podle „všeobecně platných emisních limitů“. Znečišťující látky, pro které budou všeobecně platné emisní limity uplatněny, dohodne provozovatel s Českou inspekcí životního prostředí s ohledem na přiměřenost nákladů na jejich sledování.

Obecně platné emisní limity pro spalovací a vybrané technologie jsou uvedeny v příloze zákona o ovzduší. Ta stanoví pro zařízení ke spalování paliv následující emisní limity podle jmenovitého tepelného výkonu zařízení.

A. Elektrárny, teplárny a výtopny o výkonu větším než 5 MW

1. Spalování tuhých paliv

Obecné podmínky:

Všechny emisní limity uvedené v tomto odstavci platí pro koncentrace přepočtené na suchý plyn při normálních podmínkách 101,32 kPa a 0°C a pro obsah kyslíku ve spalínách ve výši 6 % obj. Odchylně od tohoto ustanovení při spalování dřevního odpadu se koncentrace přepočítávají na obsah kyslíku ve spalínách ve výši 11% obj.

1.1 Emisní limity pro tuhé znečišťující látky

- a) u zařízení na spalování tuhých paliv o tepelném výkonu 50 MW a vyšším nesmí hmotnostní koncentrace tuhých znečišťujících látek v nosném plynu překročit 100 mg/m^3 ,
- b) u zařízení na spalování tuhých paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW až do 50 MW nesmí hmotnostní koncentrace tuhých znečišťujících látek překročit 150 mg/m^3 .

1.2. Emisní limity pro oxid siřičitý

- a) u zařízení na spalování tuhých paliv o tepelném výkonu vyšším než 300 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit 500 mg/m^3 . Není-li možné této hodnoty dosáhnout bez odsíření spalin, musí být koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu omezena tak, že nebude vyšší než 15 % hodnoty bez odsíření,
- b) u zařízení na spalování tuhých paliv o tepelném výkonu vyšším než 50 MW až do 300 MW včetně nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit 1700 mg/m^3 . Není-li možné této hodnoty dosáhnout bez odsíření spalin, musí být koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu omezena tak, že nebude vyšší než 30 % hodnoty bez odsíření,
- c) u zařízení na spalování tuhých paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW až do 50 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit 2500 mg/m^3 .

Poznámka:

Spalovací zařízení může být provozováno i při výpadku zařízení k omezení emisí oxidu siřičitého, nepřekročí-li doba výpadku 96 po sobě následujících hodin a během kalendářního roku celkem 360 hod.

1.3. Emisní limit pro oxidy dusíku

U zařízení na spalování tuhých paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu dusíku v nosném plynu po přepočtu na oxid dusičitý (NO_2) překročit 650 mg/m^3 , pro výtavné kotle 1100 mg/m^3 .

1.4. Emisní limit pro oxid uhelnatý

U zařízení na spalování tuhých paliv o tepelném výkonu 5 MW a vyšším nesmí hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v nosném plynu překročit 250 mg/m^3 .

1.5. Emisní limit pro organické látky

Při spalování kůry, dřeva a dřevního odpadu v zařízeních o tepelném výkonu vyšším než 5 MW nesmí emise sumy organických látek vyjádřených jako C v nosném plynu překročit hodnotu 500 mg/m^3 .

2. Spalování kapalných paliv**Obecné podmínky:**

Všechny emisní limity v tomto odstavci platí pro koncentrace přepočtené na suchý plyn při normálních podmínkách 101,32 kPa a 0°C a pro obsah kyslíku ve spalínách ve výši 3 % obj.

2.1. Emisní limity pro tuhé znečišťující látky

U zařízení na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu 50 MW a vyšším nesmí hmotnostní koncentrace tuhých znečišťujících látek v nosném plynu překročit 50 mg/m^3 , u zařízení na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW až do 50 MW nesmí hmotnostní koncentrace tuhých znečišťujících látek v nosném plynu překročit 100 mg/m^3 .

2.2 Emisní limity pro oxid siřičitý

U zařízení na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu vyšším než 300 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit 500 mg/m^3 . Není-li možné této hodnoty dosáhnout bez odsíření spalín, musí být koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu omezena tak, že nebude vyšší než 15% hodnoty bez odsíření, u zařízení na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW až do 300 MW včetně nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit 1700 mg/m^3 .

Poznámka:

Spalovací zařízení může být provozováno i při výpadku zařízení pro omezování emisí oxidu siřičitého nepřekročí-li doba výpadku 96 po sobě následujících hodin a během kalendářního roku celkem 360 hodin.

2.3. Emisní limit pro oxidy dusíku

U zařízení na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidů dusíku v nosném plynu po přepočtu na oxid dusičitý (NO_2) překročit 450 mg/m^3 .

2.4. Emisní limit pro oxid uhelnatý

U zařízení na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého překročit 175 mg/m^3 .

3. Spalování plyných paliv.**Obecné podmínky:**

Všechny emisní limity v tomto odstavci platí pro koncentrace přepočtené na suchý plyn při normálních podmínkách 101,32 kPa a 0°C a pro obsah kyslíku ve spalínách ve výši 3 % obj.

3.1. Emisní limit pro tuhé znečišťující látky

U zařízení na spalování plyných paliv tepelném výkonu vyšším než 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace tuhých znečišťujících látek v nosném plynu překročit 10 mg/m^3 .

3.2. Emisní limit pro oxid siřičitý

U zařízení na spalování plyných paliv tepelném výkonu vyšším než 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit 35 mg/m^3 .

3.3. Emisní limit pro oxidy dusíku

U zařízení na spalování plyných paliv tepelném výkonu vyšším než 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidů dusíku v nosném plynu po přepočtu na oxid dusičitý (NO_2) překročit 200 mg/m^3 .

3.4. Emisní limit pro oxid uhelnatý

U zařízení na spalování plyných paliv tepelném výkonu vyšším než 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v nosném plynu překročit 100 mg/m^3 .

4. Spalování více druhů paliv

- při spalování více druhů paliv současně v jednom zařízení je emisní limit určen tím druhem paliva, jehož podíl na tepelném příkonu je největší,
- při spalování více druhů paliv v jednom zařízení tak, že je spalován vždy jeden druh paliva platí emisní limit pro daný druh paliva.

5. Spalování fosilních paliv ve fluidních kotlích

Spalování paliva ve fluidních kotlích o tepelném výkonu 5 MW a vyšším ve stacionární nebo cirkulující fluidní vrstvou.

5.1. Emisní limity pro tuhé znečišťující látky.

Hmotnostní koncentrace tuhých látek v nosném plynu nesmí překročit 50 mg/m^3 .

5.2. Emisní limity pro oxid siřičitý

Hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu nesmí překročit hodnotu 500 mg/m^3 . Tam, kde tuto hodnotu nelze docílit, při únosném přídávku alkalicky reagujícího aditiva, nesmí být emise oxidu siřičitého vyšší než 25 % původní koncentrace.

5.3. Emisní limit pro oxidy dusíku

Hmotnostní koncentrace oxidů dusíku v nosném plynu po přepočtu na oxid dusičitý (NO_2) nesmí překročit 400 mg/m^3 .

Obecné podmínky pro provoz zařízení:

Všechny emisní limity uvedené v tomto odstavci platí pro koncentrace přepočtené na suchý plyn (po odečtu vlhkosti) při normálních podmínkách $101,32 \text{ kPa}$ a 0°C a pro obsah kyslíku ve spalínách ve výši 6 % obj.

6. Plynové turbíny

6.1. Emisní limity pro tuhé znečišťující látky

Stupeň tmavosti dýmu podle Bacharachovy stupnice nesmí překročit u plynových turbin s objemovým tokem spalín

- $60000 \text{ m}^3/\text{h}$ a vyšším:
 - při trvalém provozu stupeň zčernání 2
 - při najíždění .stupeň provozu 3 .
- nižším než $60\,000 \text{ m}^3/\text{h}$:
 - při všech provozních stavech stupeň 4

6.2. Emisní limity pro oxid siřičitý

Při použití kapalných paliv obsahujících síru nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit hodnotu 1700 mg/m^3 ..

6.3. Emisní limit pro oxidy dusíku

Hmotnostní koncentrace oxidů dusíku v nosném plynu po přepočtu na oxid dusičitý (NO_2) nesmí překročit u plynových turbín s objemovým tokem: .

- a) 60000 m^3/h a vyšším 300 mg/m^3
- b) nižším než 60 000 m^3/h 350 mg/m^3

6.4. Emisní limit pro oxid uhelnatý

Hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v nosném plynu nesmí překročit 100 mg/m^3

Obecné podmínky pro provoz zařízení:

Všechny emisní limity uvedené v tomto odstavci platí pro koncentrace přepočtené na suchý plyn (po odečtu vlhkosti) při normálních podmínkách 101,32 kPa a 0°C a pro obsah kyslíku ve výši 15 % obj.

7. Integrace kotle s plynovou turbínou

- a) V případě zařazení spalínového kotle bez přitápění za plynovou turbínu, platí pro vystupující spaliny stejné emisní limity jako pro plynovou turbínu při shodných obecných podmínkách pro provoz zařízení.
- c) v případě zařazení spalínového kotle s přitápěním za plynovou turbínu, platí pro vystupující spaliny stejné emisní limity, jako platí pro plynovou turbínu, pokud je pro přitápění použito stejného paliva jako pro plynovou turbínu.

B. Technologické objekty obsahující stacionární zařízení ke spalování palivo jmenovitým tepelným výkonu od 0,2 do 5 MW

Při spalování jiných druhů tuhých a kapalných paliv než jsou paliva fosilní a paliva z nich vyrobená (černé a hnědé uhlí, lignit, rašelina, koks, brikety, palivové dřevo, nafta a topné oleje) musí být dodrženy emisní limity pro spalovny odpadu.

1. Spalování tuhých paliv

1.1. Emisní limity pro tuhé znečišťující látky

U kotlů na spalování tuhých paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace tuhých znečišťujících látek v nosném plynu překročit 250 mg/m^3 .

1.2. Emisní limity pro oxid siřičitý,

U kotlů na spalování tuhých palivo tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit 2500 mg/m^3 .

1.3. Emisní limity pro oxidy dusíku

U kotlů na spalování tuhých palivo tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidů. dusíku v nosném plynu po přepočtu na oxid dusičitý (NO_2) překročit 650 mg/m^3 .

1.4. Emisní limity pro oxid uhelnatý

U kotlů na spalování tuhých palivo tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v nosném plynu překročit 250 mg/m^3 .

Obecné podmínky pro provoz zařízení: .

Všechny emisní limity v tomto odstavci platí pro koncentrace přepočtené na suchý plyn při normálních podmínkách 101,32 kPa a 0°C a pro obsah kyslíku ve spalínách ve výši 6 % obj. Odchylně od tohoto ustanovení při spalování dřevního odpadu se koncentrace přepočítávají na obsah kyslíku ve spalínách ve výši 11% obj.

2. Spalování kapalných paliv

2.1. Emisní limity pro tuhé znečišťující látky

U kotlů na spalování kapalných palivo tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní. koncentrace tuhých látek v nosném plynu překročit 100 mg/m^3 .

2.2. Emisní limity pro oxid siřičitý

U kotlů na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí být spalován topný olej s obsahem síry vyšším než 1 % hm.

2.3. Emisní limit pro oxidy dusíku

U kotlů na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidů dusíku v nosném plynu po přepočtu na oxid dusičitý (NO_2) překročit 500 mg/m^3 .

2.4. Emisní limit pro oxid uhelnatý

U kotlů na spalování kapalných paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace, oxidu uhelnatého překročit 175 mg/m^3 .

Obecné podmínky pro provoz zařízení:

Všechny emisní limity u.vedené v tomto odstavci platí pro koncentrace přepočtené na suchý plyn (po odečtu vlhkosti) při normálních podmínkách $101,32 \text{ kPa}$ a 0°C a pro obsah kyslíku ve spalínách ve výši 3 % obj.

3. Spalování plyných paliv

3.1. Emisní limit pro tuhé znečišťující látky

U kotlů na spalování plyných paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace tuhých látek v nosném plynu překročit 10 mg/m^3 .

3.2. Emisní limit pro oxid siřičitý

U kotlů na spalování plyných paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu siřičitého v nosném plynu překročit 35 mg/m^3 .

3.3. Emisní limit pro oxidy dusíku

U kotlů na spalování plyných paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidů dusíku v nosném plynu po přepočtu na oxid dusičitý (NO_2) překročit 200 mg/m^3 .

3.4. Emisní limit pro oxid uhelnatý

U kotlů na spalování plyných paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW nesmí hmotnostní koncentrace oxidu uhelnatého v nosném plynu překročit 100 mg/m^3 .

Obecné podmínky pro provoz zařízení:

Všechny emisní limity uvedené v odstavci 3. platí pro koncentrace přepočtené na suchý plyn při normálních podmínkách $101,32 \text{ kPa}$ a 0°C a pro obsah kyslíku ve spalínách ve výši 3 % obj.

3.4.4 Vliv zařízení pro přenos vysokého a velmi vysokého napětí na okolí

V okolí zařízení pro přenos vysokého a velmi vysokého napětí se vytváří střídavé elektrické pole o frekvenci 50 Hz. Úroveň intenzity elektrického pole závisí na velikosti přenosového napětí, na výšce fázových vodičů nad zemí a na jejich uspořádání na záhlaví stožárů. Stejně faktory se uplatňují i ve stanicích vysokého a velmi vysokého napětí. Zde přistupuje ještě vliv uspořádání a propojení jednotlivých polí rozvodny. V prostředí, kde se nachází elektrické pole, dochází k elektrické indukci do vodivých a polovodivých objektů, předmětů a osob. Tuto skutečnost je třeba mít na zřeteli při vykonávání prací v bezprostřední blízkosti vedení vysokého a velmi vysokého napětí i při průjezdu nebo průchodu v jejich blízkosti.

Tabulka 3.5: Velmi vysoké napětí a provozní vzdálenosti

Provozní napětí kV	Šířka ochranného pásma m	Bezpečná vzdálenost cm
110	8	140
220	15	240
400	25	400
750	40	700

Úroveň indukovaných proudů je závislá na velikosti intenzity elektrického pole a na velikosti, tvaru a poloze objektů nebo předmětů v elektrickém poli. Pod vedením vysokého a velmi vysokého napětí se nedovoluje přítomnost trvale obydlených objektů v prostoru ochranného pásma vedení. Šířka ochranného pásma se řídí napětím vedení.

Tabulka 3.5)

Otázky přímého vlivu elektrických polí 50 Hz na lidský organismus se řešily v souvislosti s plánovanou výstavbou vedení 750 kV. Na základě zjištěné úrovně intenzity elektrického pole ve stanicích 400 kV se přistoupilo k modelovým pokusům, při nichž se zkoumal účinek elektrických polí o různých intenzitách na osoby. Z výsledků sledování se stanovily základní požadavky na přípustné úrovně intenzity elektrického pole. Tyto požadavky jsou zakotveny v normách.

Přípustné hodnoty intenzity elektrického pole jsou:

- v okolí vedení velmi vysokého napětí 15 kV/m ve výšce 1,8 m nad zemí,
- v prostoru stanic velmi vysokého napětí 15 kV/m ve výšce 1,8 m nad zemí
- pásmo vlivu elektrického pole od zařízení energetického přenosu je definováno jako prostor, ve kterém je intenzita elektrického pole ve výši 1,8 m nad zemí vyšší než 1 kV/m
- přípustná hranice proudů indukovaných do objektů a předmětů nacházejících se v elektrickém poli je, v souladu s bezpečnostními předpisy, 10 mA.

V normě jsou stanoveny také bezpečné vzdálenosti od živých částí pod napětím, které je třeba při výkonu prací v okolí vedení dodržet (částečně souvisí s jevy elektrické indukce). Údaje o přípustných minimálních výškách fázových vodičů nad zemí pro běžné i speciální případy vedení vysokého a velmi vysokého napětí jsou obsaženy rovněž v normách.

3.5 Hluk a ochrana před hlukem

Hluk je jedním z činitelů, které znamenají velkou zatěžující položku na kontě životního prostředí. Míra hluku narůstá úměrně s rozvíjející se materiálně technickou základnou a zvyšující se životní úrovní ve všech státech. Především v sídlištích, průmyslových centrech a v okolí dopravních koridorů dosahuje často kritických hodnot.

Hluk se šíří atmosférou, a k příjemci, tj. k člověku přichází z ovzduší, podobně jako znečišťující exhalace. Znehodnocení prostředí hlukem znamená kontaminaci ovzduší a v některých zemích je v tomto smyslu chápán. Např. v SRN je způsobovaný hluk považován a hodnocen jako jedna z emisí a jsou stanoveny imisní hodnoty hluku.

Hluk vzniká ve sféře pracovní (průmyslové), obytné, rekreační a dopravní. Hluk v pracovním prostředí způsobuje tzv. hlučnost pracovního prostředí a je způsobován především stroji a pracovními mechanismy. Jeho dosah se obvykle omezuje na prostory výrobních provozů nebo závodů a často je omezen uzavřenými prostory. Hlučnost pracovního prostředí se dá zmírnit různými technickými prostředky. Obtížnější situace je v otázce hluku ve volném prostředí, atmosféře, zejména v sídlištích a jejich okolí.

3.5.1 Akustické charakteristiky hluku

Stanovit míru hluku je úkol dosti komplikovaný, neboť fyzikální veličiny, kterými hluk měříme, musíme korigovat zákonitostmi, kterými hluk vnímá lidské ucho a celý lidský organismus. V úvahu se musí vzít jednak amplitudová, jednak kmitočtová závislost. Lidský organismus vnímá hluk v závislosti na jeho intenzitě a kmitočtovém spektru v podstatě třemi formami:

- a) jako zvuk prostřednictvím sluchového orgánu,
- b) jako dotyk či tlak podrážděním hmatových tělísek v pokožce, je-li hluk značně intenzivní,
- c) jako otřes, který je způsoben intenzivním hlukem, jestliže v něm převažují kmitočty pod 16 Hz, lidským uchem zpravidla neslyšitelné.

Sluchový orgán člověka je schopen vnímat zvukové vlny ve frekvenčním pásmu od 20 Hz do 20 000 Hz. Pod spodní hranicí této oblasti je infrazvuk, nad horní hranicí ultrazvuk. Stanovení hranic pásma slyšení není jednoznačné, záleží na individuální dispozici jedinců, na jejich stáří atd. Infrazvuk i ultrazvuk jsou vždy pro člověka neslyšitelné.

Subjektivní vjem hlasitosti roste přibližně podle logaritmického zákona, proto používáme k jeho vyjádření logaritmickou míru jeho fyzikální jednotky. Fyzikálně měříme akustický tlak udávaný v tlakových jednotkách (Pa). Pro technické potřeby stanovujeme tzv. „*hladiny hluku*“. Nejslabší zvuky, které je osoba s průměrným sluchem schopna vnímat, tj. 0 dB, mají akustický tlak asi $2 \cdot 10^{-5}$ Pa při kmitočtu 1000 Hz. Tato hodnota byla stanovena jako vztažná hodnota akustického tlaku a je mezinárodně normována jako prahová jednotka zvuku. Této prahové hodnotě odpovídá srovnávací hodnota pro hladinu intenzity zvuku H (hlasitost), která byla též mezinárodně stanovena intenzitou 10^{-2} W m^{-2} .

3.5.2 Intenzita zvuku

Podle hladin intenzity zvuku hodnotíme hlasitost, tj. intenzitu sluchového vjemu číslem, které je úměrné subjektivnímu hodnocení normálními osobami. Za konstantní přírůstek hladiny intenzity dH se považuje konstantní poměr mezi změnou intenzity dI a intenzitou základní I , tedy:

$$dH = \frac{dI}{I} = \text{konst} = C \quad (3.3)$$

Protože rozsah v praxi se vyskytujících intenzit zvuku je příliš značný, používá se pro odstupňování „*hladin*“ logaritmického zákona, tzn. že hladiny označujeme čísly, jež jsou logaritmy skutečných hodnot (intenzity tlaku)

$$H = C \cdot \log \frac{I_1}{I_0} \quad [\text{B}] \quad (3.4)$$

Za jednotkový stupeň hladiny intenzity byl zvolen takový vnímavý rozdíl, když intenzita I_1 je desetkrát větší než vztažná intenzita I_0 . V tomto případě je konstanta C rovna 1. Jednotka hladiny takto definovaná se nazývá *bel* (B). Prakticky se užívá jednotky desetkrát menší, tedy *decibel* (dB). Předcházející vzorec pro intenzitu hluku má potom tvar:

$$H = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \quad [\text{dB}] \quad (3.5)$$

Hladina akustického tlaku je definována obdobně jako intenzita zvuku:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (3.6)$$

kde p – je změřený akustický tlak, p_0 – je vztažná hodnota akustického tlaku.

3.5.2.1 Měření hluku

Mezi základní druhy přístrojů patří zvukoměry, analyzátory pro měření spektra hluku, zapisovací přístroje, přístroje pro magnetický záznam zvuku atd. Pro měření hladin akustického tlaku se obvykle používá zvukoměr, v němž se zvuk převádí na elektrické vlnění. Měření nerespektuje různou vnímavost lidského ucha k různým kmitočtům stejné intenzity nebo amplitudy, a proto pro přiblížení měřených veličin vlastnostem lidského ucha se do měřicího procesu zařazují tzv. váhové filtry, které kmitočtovou charakteristiku modifikují podle vybraných křivek stejné hlasitosti. Mezinárodními úmluvami byly vybrány tři kmitočtové charakteristické průběhy a označeny písmeny A, B a C. Označení použitého váhového filtru se připsá ke zjištěné hodnotě hladiny zvuku do závorek. Např. 40dB(A).

Podle účelu se provádí více druhů měření hluku, a to:

- měření hluku strojů a technologických zařízení, které má poskytovat zákazníkům a projektantům údaje charakterizující zdroje hluku. Výsledky se uvádějí buď v hladinách akustického výkonu L_{wp} , nebo v hladinách zvuku L_p v definovaném místě. Pro tyto metody měření existují normy;
- měření hluku prostředí, tj. měření v místech nebo prostorech, kde člověk pracuje, odpočívá, cestuje atd. Výsledky se uvádějí v hladinách zvuku L_p , příp. v ekvivalentních hladinách L_{peq} , jež respektují hlukovou expozici i tiché intervaly během daného časového úseku.
- měření poskytující technické informace např. o vydatnosti jednotlivých dílčích zdrojů a o cestách šíření zvukových vln. Tato měření se případ od případu liší a poskytují podklady konstruktérům pro navrhování protihlukových úprav.

3.5.2.2 Sluchový vjem

Zvuk člověk vnímá jako buď jako příjemný, melodický nebo jako hluk. Hlukem označujeme takové zvuky, které jsou pro něho nežádoucí a které ho obtěžují svými nepříjemnými, rušivými nebo škodlivými účinky. Pro někoho může být za určité situace jindy přijatelný zvuk hlukem. Záleží tedy na okamžitém vztahu osoby k vnímanému zvuku. Změnu hladiny zvuku o 10 dB (A) vnímá lidské ucho přibližně jako zdvojnásobení hluku.

Subjektivní reakce na některé charakteristiky zvuku jsou tyto: objektivním jevům jako jsou amplituda, tlak a intenzita zvuku odpovídá subjektivní vjem hlasitost, frekvenci odpovídá

výška zvuku a objektivnímu jevu spektrální distribuce zvukové energie odpovídá subjektivní vjem barva zvuku.

V pásmu slyšitelnosti je člověk schopen velmi dobře si zapamatovat a rozeznávat spektrální složení, tj. barvu zvuku určitých zdrojů. Kromě toho je lidské ucho obzvláště citlivé na tzv. čisté tóny, jejichž spektrální charakteristika je prakticky redukována na jedinou frekvenci, a dále na kmitočty harmonické. Čisté tóny v přírodě neexistují, všechny jsou zabarveny přítomností dalších kmitočtů, které vydávají zdroje současně s tóny základními. Ve většině případů vzniká celé spektrum kmitočtů, které v případě, že nezní harmonicky, označujeme jako hluk nebo šum. U hlubokých zvuků (např. u transformátorů) převládají ve spektru složky s nízkými kmitočty. U hluku vysokotónového charakteru (např. u pojistných ventilů) vynikají složky vyšších frekvencí.

V běžném životě nás obklopuje hluk kombinovaný, složený z hluků vydávaných mnoha zdroji, tzn. komplexní hluk, člověk má schopnost rozlišovat různé prvky komplexního hluku a vybírat ty zvuky, které ho zajímají. Hluky, které jsou pro člověka důležité, to jsou ty, které podávají nějakou podstatnou informaci, tzv. signály, musí být výraznější než komplexní hluk. Aby byl splněn požadavek srozumitelnosti signálu, musí signál převyšovat hladinu akustického tlaku komplexního hluku o 10 dB. V praxi nelze vždy tento požadavek realizovat. Není možné zvýraznit signál nad hladinu hluku, která je již velmi vysoká. V takovém případě dosáhneme srozumitelnosti pouze za cenu pocitu únavy a obtěžování sluchových orgánů, v krajním případě i za cenu jejich poškození.

3.5.3 Rušivý vliv hluku na člověka

Krajní hodnota, kdy při běžných frekvencích v pásmu lidské řeči začíná docházet k pocitu obtěžování hlukem, je v praxi udávána přibližně 85dB. Je-li člověk delší dobu vystaven nadměrnému hluku nad hodnotu 90 dB, ztrácí dočasně sluchovou ostrost a cítí se ohlušen. Při následném pobytu v tichém prostředí tento úkaz po určité době mizí. Sluchový orgán se regeneruje. Regenerační schopnost sluchových buněk má však svoje meze. Dlouhodobé působení nadměrného hluku vysiluje sluchové orgány a postupně může vyvolat nedoslýchavost a hluchotu. V počátečních fázích dochází k bolestem hlavy a k průběžnému hučení v uších pouze několik hodin po působení hluku. Později tyto projevy trvají déle, až dochází k trvalému poškození sluchu. V každodenním životě je člověk vystaven hluku o intenzitě 80 až 85 dB, hlavně ve městech. Hluk působí nepříznivě i na další orgány, jako jsou cévní, srdeční, zažívací a endokrinní, a především na centrální nervový systém.

Stupeň dráždivosti hluku závisí na jeho fyzikálních vlastnostech. Hluky se složkami o vysokých kmitočtech dráždí více než hluky nízkofrekvenční. Obzvláště nepříjemné a škodlivé jsou hluky, jejichž kmitočet a intenzita se neustále mění.

Hluk má velmi nepříznivý vliv na produktivitu práce. Člověk totiž spotřebuje velké množství energie na obranu proti hluku, jeho nervová soustava je neustále napjatá. Produktivita práce je hluku přímo závislá ve smyslu kvantitativním i kvalitativním. Bylo zjištěno, že ve velmi hlučných průmyslových provozech dochází k poklesu produktivity práce až o 60%. Přibližně při 130 dB se sluchový vjem mění v bolest a hrozí okamžité poškození sluchového orgánu. Hluky o vysokých hladinách (100 dB a vyšších) nevnímá člověk už jenom uchem, ale i lebeční kostí, a proto je zapotřebí při dlouhodobějším působení takového hluku chránit celou hlavu protihlukovými kuklami.

Škodlivé působení však nevykazují pouze hluky o velké intenzitě. Také hluky poměrně malé intenzity, jaké si člověk prakticky ani neuvědomuje, unavují při dlouhodobém působení

nervový systém, vyvolávají změny funkce nervových buněk přijímajících zvuk a celkové změny funkce a stavu centrální nervové soustavy.

Podle lékařských pozorování bylo zjištěno rušivé působení hluku o vyšších hladinách takto:

do 65 dB (A)	prakticky bez škodlivého účinku, kromě osob se zvláště citlivou dispozicí k přijímání hluku, zejména při jeho dlouhodobém působení. V tomto případě se projeví vlivem na vyšší nervovou činnost. Z těchto důvodů se požaduje, aby pracovní duševních a vědeckých pracovníků měly maximální hladinu hluku pod touto hranicí.
nad 65 dB (A)	způsobuje při dlouhodobém působení narušování vyšší nervové činnosti zejména u frekvencí nad 1500 Hz.
od 70 dB (A)	působí nepříznivě přímo na sluchové orgány. Při delším působení dochází k omezení vnímání v oblasti vyšších kmitočtů.
nad 90 dB (A)	vyvolává při delším působení únavu mozkové kůry a zhoršuje její funkci. Porušuje základní zákony fyziologického odpočinku a rytmus činnosti orgánů. Vyvolává značné změny v odolnosti cév a v jejich pružnosti, což se projevuje též ve větší náchylnosti k infarktům myokardu
110 až 120 dB (A)	začíná způsobovat hmatový efekt a zvuk začínáme vnímat jako tlak,
okolo 130 dB (A)	způsobuje bolestivé stavy a narušení sluchového orgánu
140 až 150 dB (A)	má za následek prudké překrvení sluchového orgánu a případně přímo krvácení.
160 dB (A)	příčina úplného zničení sluchového orgánu

3.5.4 Hluk v elektrárnách

V energetických provozech se vyskytuje řada zdrojů hluku. Z rozboru příčin hluku vyplývá, že více než 90 % zdrojů hluku tvoří rotační, dopravní a další technologická zařízení. V podstatě lze říci, že akustická energie vzniká:

- kmitáním částí strojních konstrukcí
- v důsledku nestacionárního proudění plynného nebo kapalného média.

V elektárnách jsou to turbíny, generátory, budiče, turbonapáječky, čerpadla kondenzátu, olejové hospodářství a ventilátory. Hluková emise pocházející z technologického zařízení záleží na stavu a stáří zařízení, na provozních parametrech apod. Hlukové poměry v místech obsluhy záleží na prostoru strojovny, na konstrukci a umístění velínu apod.

Tabulka 3.6: Hladiny hluku v blízkosti strojního zařízení v elektrárnách

Stroj	L_p [dB]
turbíny	89 až 97
generátory	90 až 97

budiče	90 až 95
kondenzátní čerpadla	94 až 97
vývěvy	92 až 97
turbonapáječky	90 až 97
velíny	54 až 62

Z tabulky je patrné, že jednotlivá strojní zařízení elektráren se hladinami hluku příliš neliší. Téměř u všech se hladiny hluku pohybují zhruba v rozmezí 90 až 100 dB. Protihlukové úpravy v elektrárnách se zpravidla nezaměřují na snižování hlukové emise jednotlivých dílčích zdrojů hluku, ale především na krytování turbogenerátorů a jejich příslušenství a na přemístění obsluhy do zvukově izolovaných prostorů - velínů. Při občasných pochůzkách ve strojovně a při opravách je možné použít sluchátkové chrániče. Zvukoizolační kryty jsou konstrukce s vysokým stupněm neprůzvučnosti. U velkých jednotek, kde se obsluha stroje občas pohybuje uvnitř krytu, je nutné dbát na vyložení vnitřku krytu pohltivým materiálem. Zvukoizolační kabiny a velíny vyžadují rovněž speciální protihlukové úpravy. Týká se to dveří a oken (dvojitá až trojitá) a všech spojovacích otvorů mezi velínem a strojovnou pro přívod kabelů, ovládacích mechanismů apod. Doporučuje se vnitřní vyložení stěn pohltivými obklady.

Ventilátory musí být opatřeny absorpčními tlumiči zvuku na straně sání (případně výtlačku), aby jejich hluk neobtěžoval okolí.

3.5.5 Přípustné hodnoty hluku

Posuzování hluku v životním prostředí upravuje vyhláška č. 13/1977 Sb.: Ochrana zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací a dále hygienické předpisy MZd č. 41 až 44, svazek 37 z roku 1977. Předpisy vycházejí ze současných znalostí o škodlivosti hluku a stanovují nejvyšší přípustné hodnoty pro různé prostředí a podmínky. Podmínky respektují druh vykonávané činnosti, povahu hluku, jeho trvání a další okolnosti.

3.5.5.1 Hluk na pracovišti

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina hluku pro osmihodinovou pracovní dobu (všechny druhy hluku) se stanoví součtem *základní hladiny* hluku 85 dB (A), a *korekce* podle vykonávané činnosti. Korekce na impulsní hluk (s počtem impulsů menším než 20 za sekundu) se provádí podle doby trvání od 1 s do 4 hod. V rozsahu + 45 až 0 dB.

3.5.5.2 Hluk v obytných stavbách

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina hluku uvnitř budov, pro hluky pronikající zvenčí a hluky šířící se ze zdrojů uvnitř, se stanoví součtem *základní hladiny* 40 dB (A) a *korekce* přihlížející k využití prostoru.

3.5.5.3 Hluk ve venkovním prostoru

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina hluku *ve venkovním prostoru* (s výjimkou impulsního hluku) se stanoví součtem *základní hladiny* 50 dB (A) a *korekce* přihlížející k místním podmínkám a denní době v rozsahu - 10 až + 20 dB (od přírodních rezervací až výrobní zóny).

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina hluku *leteckého provozu* se stanoví *základní hladinou* 65 dB (A) a *korekce*, přihlížející k místním podmínkám a denní době, v rozsahu *od -20 do +10 dB*.

Nejvyšší přípustná maximální hladina hluku vnitřního hluku *dopravních prostředků* je stanovena na 80 dB (A), vyjma dálkové hromadné dopravy osob, kde je korekce -5 dB.

3.5.6 Šíření hluku

Rychlost šíření hluku, v podstatě rychlost postupu vlnění v v plynném prostředí, je v daném prostředí konstantní a je vyjádřena vztahem:

$$v = \sqrt{\kappa \cdot \frac{b_0}{\rho_0} \cdot (1 + \gamma \cdot t)} \quad (3.7)$$

kde

κ - je poměr měrných tepel za stálého tlaku a stálého objemu c_p/c_v , který pro vzduch činí

$\kappa=1,405$,

b_0 - normální barometrický tlak $b_0=1013,25$ hPa,

ρ_0 - hustota plynu za normálních podmínek,

γ - koeficient tepelné roztažnosti pro plyny je $\gamma=0,003665$,

t - teplota vzduchu ve °C.

Šíření hluku v přízemní vrstvě atmosféry závisí na mnoha obecných a specifických faktorech prostředí. Obecní činitelé jsou dáni vlastnostmi atmosféry, za specifické považujeme vliv povrchu, tj. působení budov, zeleně, povrchu půdy, konfigurace území a ostatních útvarů, které jsou v cestě zvukových vln. V souvislosti se šířením hluku do prostoru nastává jeho zeslabení, k němuž jednotlivé faktory přispívají různým způsobem. Zajímá nás hlavně změna intenzity hluku v prostředí okolo zdroje hluku.

3.5.6.1 Vliv vzdálenosti a drsnosti povrchu

Ve stejnorodé atmosféře se celkové množství energie vlnění rozšiřuje do sférického prostoru. Intenzita hluku se zmenšuje následkem distribuce úměrně čtverci vzdálenosti od zdroje. Při tom je energie vlnění částečně pohlcována vzduchovou vrstvou.

Snížení hladiny akustického tlaku vlivem sférické distribuce v případě bodového zdroje je možno vyjádřit pomocí dříve uvedených vztahů pro váhový filtr (A): []

$$L_2 = L_1 - 25 \cdot \log \frac{l_2}{l_1} \quad [\text{dB}] \quad (3.8)$$

kde L_2 je hladina akustického tlaku v bodě 2 ve vzdálenosti l_2 od zdroje hluku,

L_1 je hladina akustického tlaku v bodě 1 ve vzdálenosti l_1 od zdroje hluku.

Z předchozího vztahu lze odvodit, že při každém zdvojnásobení vzdálenosti od zdroje poklesne hladina akustického tlaku o 6 dB. Jestliže zdroj hluku není bodový, tzv. lineární, tj. zdroj, v němž jednotlivé body vzruchu jsou od sebe vzdáleny v pravidelných intervalech menších 20 m, např. vlak, platí vztah pro váhový filtr (A):

$$L_2 = L_1 - 10 \cdot \log \frac{l_2}{l_1} \quad [\text{dB}] \quad (3.9)$$

Je-li povrch, nad kterým se hluk šíří, drsný (tráva, oraniště, keře, stromy apod.), snižuje se hladina akustického tlaku podle typu povrchu o určitou hodnotu. Naopak hladké povrchy (asfaltové nebo betonové plochy, ale i vodní plochy) dokáží vlivem odrazu hladinu

akustického tlaku i zvýšit. Pro jednoduché praktické výpočty zavádíme do základního vztahu (3.8) koeficient K_t vyjadřující vliv povrchu terénu:

$$L_2 = L_1 - K_t \cdot 25 \cdot \log \frac{l_2}{l_1} \quad [\text{dB}] \quad (3.10)$$

Koeficient K_t má např. hodnotu: pro trávník - 1,1; pro neporostlý terén - 1,0; asfalt - 0,9 atd. Na rychlost šíření hluku má však vliv i teplota vzduchu, vítr a malý vliv má i mlha.

3.6 Ionizační záření

Ionizační záření je úzce spjata s radioaktivní přeměnou, s níž se setkáváme u nestabilních izotopů některých prvků. Při radioaktivní přeměně (rozpadu) těchto prvků vzniká radioaktivní záření, které nelze ovlivnit ani fyzikálně, ani chemicky, či jinak. Radioaktivní přeměna závisí pouze na vnitřním stavu jádra. Záření se může projevovat jako přímo ionizující nebo nepřímo ionizující. Přímě ionizující jsou nabitě částice (α , β a další), které mají dostatečnou energii, aby vyvolaly ionizaci - děj, při kterém se změnou náboje elektronového obalu atomu vznikají ionty. Mezi nepřímě ionizující patří např. neutrony nebo fotony, které mohou vyvolat ionizaci tím, že uvolní částice přímo ionizující nebo vyvolají jadernou přeměnu provázenou emisí přímo ionizujících částic.

V přírodě se vyskytují kromě stabilních nuklidů i nuklidy radioaktivní (nestabilní), které jsou zdrojem přirozeného radioaktivního pozadí. Jejich radioaktivita je způsobena složitou stavbou jádra atomu. Existují nuklidy, které jsou považovány za stabilní, avšak ve skutečnosti jsou velmi slabě radioaktivní a přeměňují se za velmi dlouhou dobu. Kromě toho přichází na Zemi kosmické záření, které spolupodílí na vytváření přírodního pozadí.

Alfa záření (α) je tvořeno stejnými částicemi jako jádro helia a má kladný elektrický náboj. Je vyzařováno např. těžkými prvky (U, Th, Ra) nebo radonem ap.

Beta záření (β) je proud elektronů (záporný náboj, β^-) nebo pozitronů (kladný náboj, β^+) a provází řadu přeměn přírodních a umělých radionuklidů.

Gama záření (γ) je krátkovlnné elektromagnetické záření, které vysílá řada nestabilních jader při své radioaktivní přeměně.

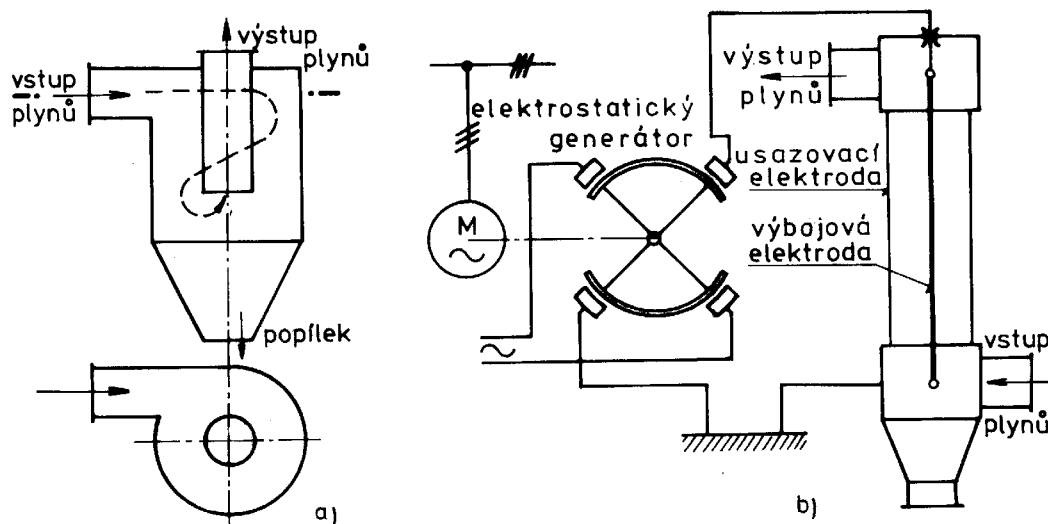
3.7 Opatření proti znečišťování ovzduší

I když na látky, které vznikají nebo se uvolňují při spalovacím procesu, pohlížíme jako na škodliviny, mohou některé z nich sloužit jako sekundární suroviny. Popílek se využívá v některých lokalitách na výrobu tvárnice, oxid siřičitý lze využít na výrobu kyseliny sírové nebo sádry apod. Pro sekundární využití je však třeba tyto látky zachytit dříve než se dostanou do životního prostředí.

3.7.1 Odlučování popílku

Koncentrace popílku ve spalínách kolísá ve velmi širokém rozmezí v závislosti na zrnitosti spalovaného paliva a typu topeniště kotle. U roštových kotlů je obvykle koncentrace

2 až 10 g/m³, u práškových kotlů 10 až 50 g/m³. Kolísá rovněž i granulometrické složení tuhých exhalací. U roštových kotlů může být až 50 % částic menších než 50 až 120 μm a 10 % menších než 10 až 30 μm. Jemnější popílek odchází z práškových topenišť. Jeho granulometrické složení závisí na jemnosti mletí. U granulačních kotlů až 50 % částic může být menších než 5 až 25 μm a 10 % částic menších než 2 až 5 μm. U výtavných kotlů je popílek zpravidla ještě jemnější, avšak jeho koncentrace je obvykle menší než u granulačních.



Obrázek 3.5: Odlučovačky popílků: a) mechanický, b) elektrostatický

Základním opatřením proti znečišťování ovzduší je odstraňování pevných částic ze spalin. K odstranění popílků ze spalin lze použít odlučovačů pracujících na různých principech působení. Jemné částice mohou být ze spalin odstraňovány působením síly:

- gravitační,
- odstředivé,
- elektrostatické.

Konstrukce suchých mechanických odlučovačů je založena na využití gravitační a odstředivé síly, tj. na rozdílu mezi setrvačností částice popílků a setrvačností plynu. Nejznámější z nich jsou cyklonové odlučovačky (**Obrázek 3.5a**). Jejich účinnost bývá od 60 do 80 % v závislosti na velikosti částic. Pro zlepšení provozních vlastností a účinnosti se cyklonové odlučovačky sestavují do baterií (multicyklony). K mechanickému suchému odlučování popílků se používá i žaluziových odlučovačů, které pracují na principu odloučení pevných částic vlivem jejich setrvačnosti při změně přímočarého směru toku plynu pomocí žaluzií. Jejich účinnost je do 75 %.

Kromě suchých odlučovačů existují různé konstrukce mokřích mechanických odlučovačů. Pracují na principu zvlhčování popílků, který tím zvětší svoji hmotnost i objem, čímž se zlepši podmínky pro jeho odloučení vlivem setrvačných sil. Mechanické odlučovače jsou vhodné pro kotle menších výkonů, např. roštové, a pro spaliny, které obsahují hrubší částice. Částice pod 5 μm nejsou mechanické odlučovače schopny zachytit.

Nejrozšířenějšími a nejvýhodnějšími odlučovačky v elektrárnách jsou elektrostatické odlučovačky (elektrofiltry - **Obrázek 3.5b**). Jejich výhodou je vysoká odlučivost a možnost zachycení i nejmenších frakcí pod 10-5 μm. Elektrostatické odlučovače jsou konstrukčně řešeny jako vertikální komory nebo trubky. V komoře je výbojová a usazovací elektroda.

Princip elektrostatických odlučováků je založen na ionizaci plynu, jehož ionty a elektrony předávají náboje částicím popílku, které jsou v kouřových plynech rozptýleny. Nabité částice popílku se přitahují k opačně nabitým elektrodám a usazují se na nich. Ionizace vzniká v odlučováku při doutnavém výboji v nerovnoměrném poli vysokého napětí mezi 50 až 70 kV. Usazovací elektrody bývají zavěšeny, aby mohl být usazený popílek v pravidelných intervalech mechanicky odstraňován oklepávacím zařízením, příp. ofukovacím zařízením, nebo v případě mokřých odlučováků se elektrody oplachují vodou. Účinnost elektrofiltrů je přes 99 %, za předpokladu jejich pravidelného čištění.

V poslední době se s rozvojem odsiřovacích jednotek používají k odstranění pevných částic z plynů stále více filtry. K filtraci se používá několik vrstev porézního materiálu, jimiž plyn protéká malou rychlostí. Pevné částice se zachycují v pórech filtrační vrstvy. Po zanešení filtrační vrstvy se filtr buď regeneruje nebo se nahradí novou filtrační vrstvou. Regenerace se provádí zpětným profukováním nebo mechanickým ořepáváním. Používané textilie jsou buď vpichované nebo tkané. Vhodnost použití materiálu filtru je dána teplotou filtrovaného plynu. Např. bavlněná textilie - 80°C, vlněná plst - 110°C, nylon, perlon, orlon - 170°C, skleněná vlákna - 260°C. Vlastnosti filtračních látek ovlivňují ekonomii a účinnost filtrace. Účinnost filtrace je až 99,9%.

3.7.2 Odsiřování spalin

Různých způsobů odstraňování nebezpečných oxidů síry ze spalin byla ve světě navržena celá řada (více jak 100 metod). Pouze některé z nich však byly realizované v průmyslovém měřítku a našly uplatnění v energetice. Nejčastěji citovanou plynnou škodlivinou je oxid siřičitý.

Známé metody odsíření spalin jsou založeny na principu dodání vhodných přísad, které s oxidem siřičitým reagují a takto vzniklé sloučeniny jsou zachycovány. Přísadami mohou být: vápenec, dolomit, hořčík, čpavek atd. V dosud instalovaných odsiřovacích zařízeních převládají procesy používající jako přísadu vápenec či vápno. Tyto metody odsíření lze rozdělit na:

- ❖ suché
- ❖ polosuché
- ❖ mokré

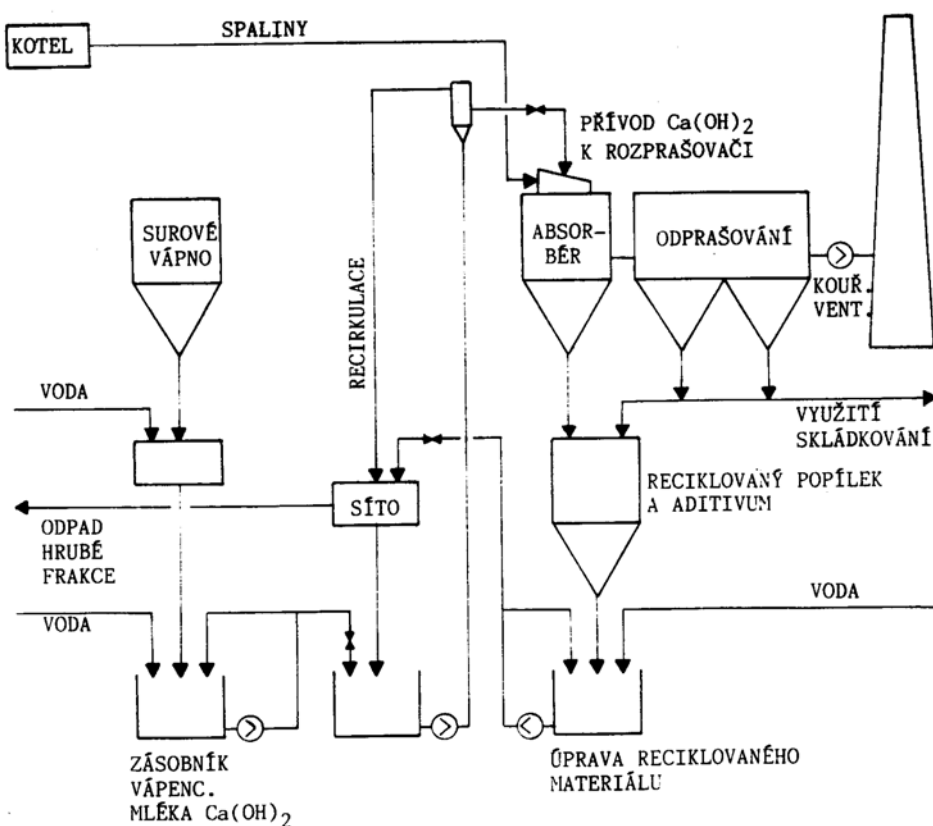
3.7.2.1 Suchá aditivní metoda

K nejjednodušším patří suchá aditivní vápencová metoda. Konstrukční řešení je jednoduché a sestává v podstatě ze zásobníku mletého vápence a z dávkovacího zařízení. Dávkovací zařízení přidává mletý vápenec buď přímo do uhelného prášku, nebo vápenný prach pneumaticky rozprašuje do vybrané části kotelního prostoru.

Ve spalovací komoře reaguje vápenec se vzniklým oxidem siřičitým (dochází k adsorbci oxidu siřičitého na pevný sorbent - vápenec) a výsledkem je reakční produkt, což je směs siřičitanu a síranu vápenatého spolu s nezreagovaným aditivem (vápencem). Vzniklé látky jsou spolu s popílkiem unášeny spalinami do elektrických odlučováků, kde jsou zachyceny. Účinnost odsíření při použití tohoto procesu se udává v rozmezí od 40 do 60%. Jako aditiva se může použít: nehašené vápno (CaO), vápenec (CaCO_3), dolomitický vápenec ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) apod.

3.7.2.2 Polosuchá metoda

Vyšší účinnosti odsíření se dosahuje polosuchou metodou odsíření. Zjednodušené schéma polosuchého odsířování spalín ukazuje následující obrázek.



Obrázek 3.6: Schéma polosuché metody odsířování

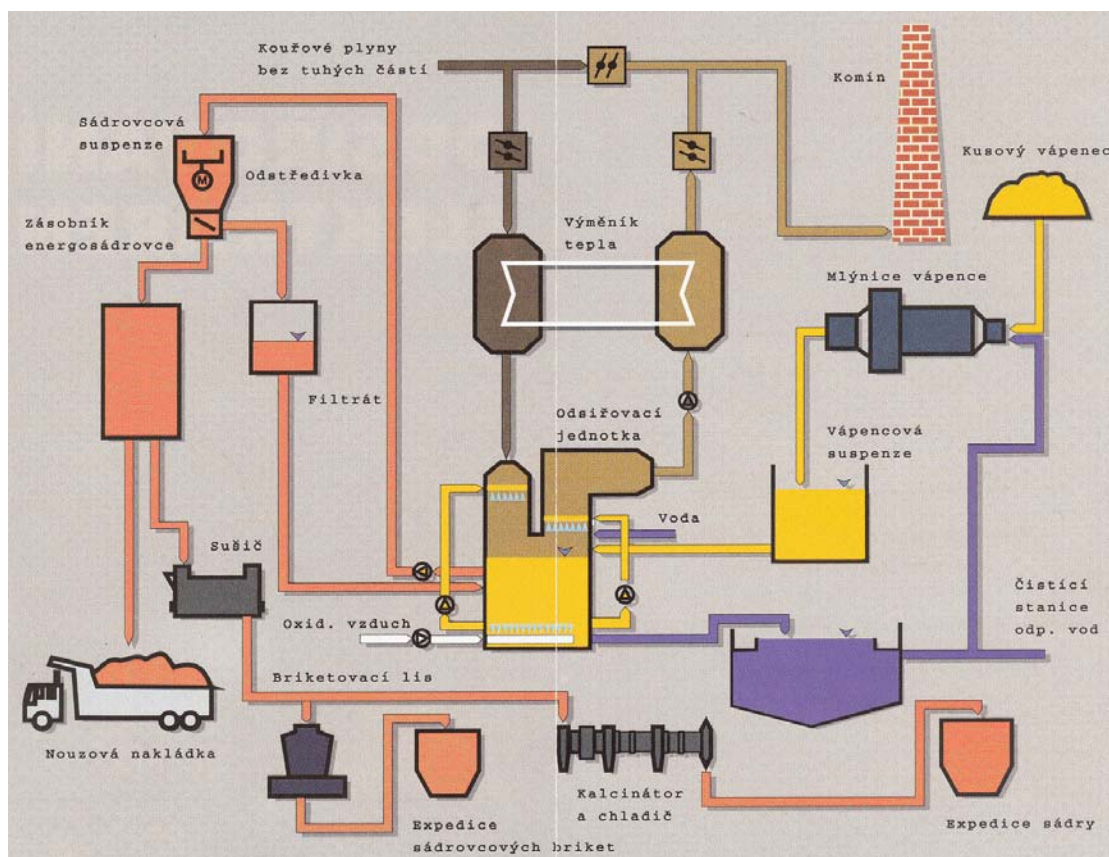
Princip této metody spočívá v tom, že spaliny zbavené v elektrofiltrech pevných částic jsou přivedeny do rozprašovací komory, v níž je rozstříkována alkalická absorpční suspenze na kapičky velikosti 20 až 400 μm . Absorpční suspenze je tvořena směsí vody a hašeného vápna $\text{Ca}(\text{OH})_2$. V komoře dojde při styku spalín s rozpuštěným vápenným mlékem k vazbě oxidu siřičitého na vápno a k odpaření vody, tím se vytvoří suchý sypký produkt. Ten je unášen spaliny do látkových filtrů, kde se od nich oddělí. Dodatečné využití vápna je zajištěno recirkulací části zachyceného sypkého produktu do zásobníku vápenného mléka. Po smíchání s čerstvým vápnem odchází do rozprašovací komory. Produktem reakce jsou síran a siřičitan vápenatý s malým podílem nezreagovaného vápna, jež mají velmi omezenou využitelnost. Metoda kladé značné nároky na textilní filtry, ve kterých jsou produkty reakce zachycovány. Zachycený produkt odsíření lze využít ve stavebnictví. S ohledem na odstranění produktů reakce odsíření ze spalín se jeví příznivěji vápnové a vápencové metody v mokřém provedení.

3.7.2.3 Mokrá metoda

Navržené metody mokré vypírky spalín používají:

- alkalické absorpční látky (např. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH apod.),
- alkalické horniny (např. CaCO_3 , $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$),
- jiné alkalické látky (např. NH_3 aj.).

Mokrý vápencová vypírka je v současné době nejrozšířenější metoda odsiřování spalín. Na tomto principu jsou odsiřovány téměř všechny elektrárny a.s. ČEZ. Princip mokré vápencové metody lze vysvětlit zjednodušeně podle následujícího obrázku.



Obrázek 3.7: Schéma mokré metody odsiřování spalín

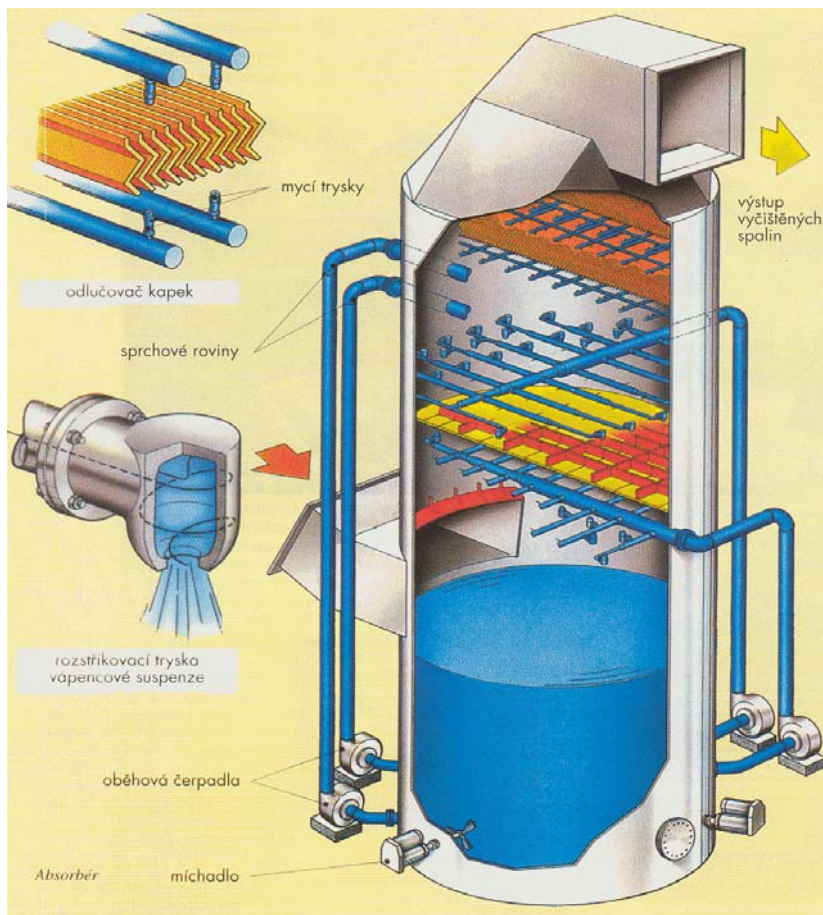
Spaliny po odstranění pevných částic v elektrofiltrech a po ochlazení na teplotu nižší než 100°C přicházejí do vypírací kolony (pračky). Procházejí vodní mlhou a dochází k reakci oxidů síry s vypírací suspenzí. Poté vstupují spaliny spolu s částí vypírací suspenze do odlučovače kapek. V odlučovači kapek dojde k odloučení vypírací suspenze a na ni vázaného oxidu siřičitého. Vyčištěné spaliny se po výstupu z pračky ohřívají v tepelném výměníku nad teplotu rosného bodu a odcházejí do komína. Ohřev spalín se provádí tepelným výměníkem mezi teplým nevyčištěným plynem a studeným vyčištěným buď regenerativním (GAVO) nebo trubkovým (EKOAVO).

Nasycená vypírací suspenze zachycená ve spodní části vypírací kolony, natéká do oxidátoru, profukovaného vzduchem. Část z oxidované suspenze se zavádí do hydrocyklonu. V něm se krystaly síranu vápenatého zahustí a natékají na pásový filtr, kde dojde k jejich odvodnění. Odvodněný síran vápenatý odchází do skladovacího zásobníku.

Kapalina z hydrocyklonu a odlučovače kapek je zaváděna jako nástřik do horní části vypírací komory (absorbéru). Tekutá část z pásového filtru je vrácena do oxidátoru. Hlavní část suspenze z oxidátoru natéká do cirkulačního zásobníku, kde se upraví přídatkem vápna nebo vápence a odchází do absorbéru. Odpadní voda z mokré vápencové vypírky je zpracovávána na energosádru.

Pro větší jednotky jsou vyvinuty modifikované mokré vápencové metody, které mají zvýšit účinnost reakce. Provádí se to v podstatě dvěma způsoby. První způsob řešení využívá k dosažení cíle úpravu původního vypíracího roztoku přísadou alkalií, jejichž siřičitany a

sírany jsou ve vodě rozpustné (alkálie, čpavek, hořečnaté soli), případně přísadou takových kyselin, které udrží za daných podmínek část vápna v roztoku (kyselina benzeová ap.). Za nejperspektivnější se považují metody používající jako vypírací roztok chlorid vápenatý. Tento princip používají japonská firma Kobe-Steel a německé Deutsche Babcock a Uhde. Druhý způsob řešení zvyšuje účinnost čištění spalin zařazením několika samostatně pracujících vypíracích okruhů za sebou.



Obrázek 3.8: Řez rozprašovací komorou

Vápence, které obsahují určitý podíl oxidu hořečnatého se nazývají dolomitické (dolomit). Tento typ vápence je pro uvedené vápencové metody nevhodný, protože hořčík v síranové formě odchází do odpadních vod. Jedinou metodou, kde obsah oxidu hořečnatého nevádí je postup rakouské fy RCE. Tento postup má dvě části: v první se oxid siřičitý vypírá ze spalin suspenzí oxidu hořečnatého tak, že produktem reakce je roztok síranu hořečnatého. Ten se v druhé části sráží recyklovaným chloridem vápenatým. Vzniklá sraženina síranu vápenatého je jedním z reakčních produktů. Roztok chloridu hořečnatého se dále sráží vápenným mlékem. Roztok chloridu vápenatého se recykluje a sraženina hydrátu hořečnatého se po odvodnění a promytí vrací do první části procesu k vypírání oxidu siřičitého ze spalin. Důležitou okolností je, že se magnezitová (hořčíková) složka dolomitů převádí do regenerovaného MgO .

Z dalších metod odsiřování spalin je zajímavá regenerativní metoda magnezitová. Spaliny po vyčištění tuhých látek v elektrofiltrech mohou obsahovat maximálně 50 mg/m^3 popílku. Před vstupem do absorbéru se částečně ochladí a zvlhčí nástřikem vody. V absorbéru jsou zkrápěny vypírací suspenzí, která obsahuje oxid hořečnatý. Při vypírce se oxid siřičitý ze

spalin váže na oxid hořečnatý a vzniká reakční produkt siřičitan hořečnatý ve formě jemného kalu. Kapkový únos se zachycuje v horní části kolony lamelovým odlučovačem. Vytvořené krystalky se oddělí v usazováku sedimentací a nastříkují se do fluidní sušárny, v ní se zbaví vlhkosti i krystalické vody. Ze sušárny odchází do fluidní pece, kde se při teplotě 900 až 950°C tepelně rozloží na oxid siřičitý a oxid hořečnatý. oxid siřičitý se odebírá pro výrobu kyseliny sírové a oxid hořečnatý se vrací zpět do absorpčního okruhu.

Jiná regenerativní metoda zachycování oxidu siřičitého je založena na použití louhu, resp. uhličitanu, sodného. Postup je obdobný jako u magnezitové metody. Další metodou, která stojí za zmínku, je vypírka spalin čpavkovou vodou. Např. metoda Walther používá k odsíření dvojistou vypírku ve čpavkové vodě. Výsledným produktem odsíření je síran amonný, který se používá jako umělé hnojivo.

3.7.3 Snižování oxidů dusíku

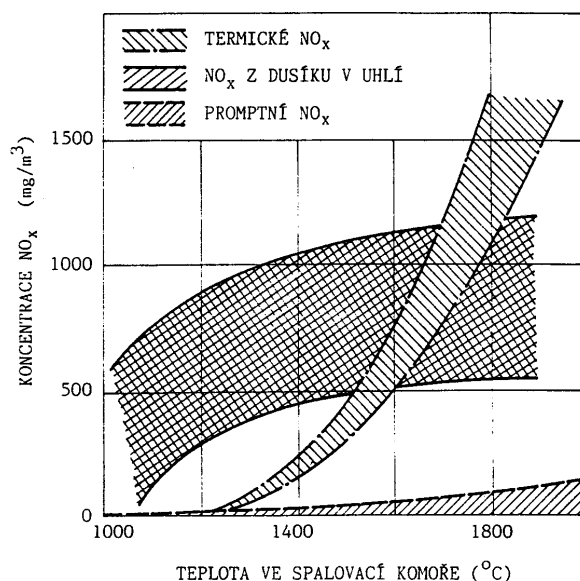
K odstraňování oxidů dusíku ze spalin lze přistoupit buď na straně spalovacího procesu (primární opatření) nebo na straně spalin (sekundární opatření). Opatření primární spočívají v optimalizaci a řízení spalovacího procesu s minimální emisí NO_x . Sekundární opatření spočívají v čištění spalin.

3.7.3.1 Primární opatření

Primární opatření vychází ze znalosti mechanismu vzniku oxidů dusíku. Podle něho dělíme oxidy dusíku na:

- ❖ termické (NO vzniká za vysokých teplot nad 1300°C oxidací vzdušného dusíku),
- ❖ palivové (vznik NO je dán chemickým složením spalovaného paliva a režimem spalování, tvoří největší část oxidů),
- ❖ promptní (NO vzniká v oblasti bohaté směsi, při spalování paliv hraje podružnou úlohu).

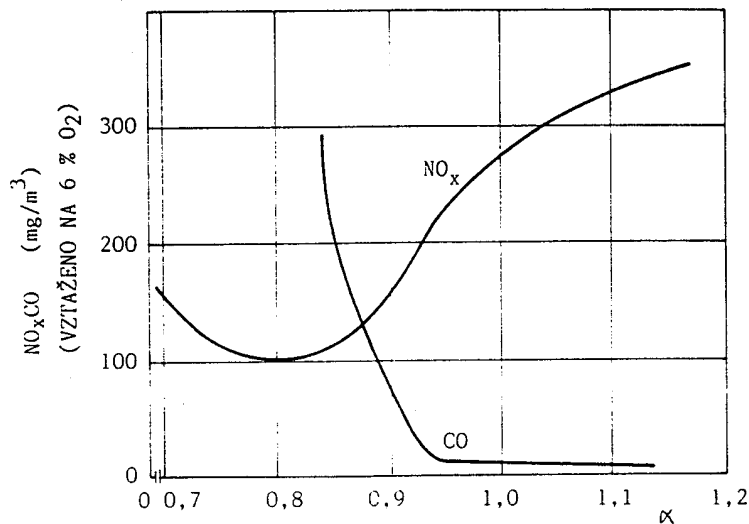
U uhelných kotlů se primární opatření týkají řízení vzduchového režimu a režimu spalování. Základním řešením je snížení přebytku vzduchu na nejnižší možnou hodnotu s ohledem na složení paliva, přítomnost nespáleného uhlíku v tuhých zbytcích a množství oxidu uhelnatého (CO). Dalším prostředkem je recirkulace spalin. Použité množství spalin je limitováno stejnými podmínkami jako snížení přebytku vzduchu.



Obrázek 3.9: Vznik oxidů dusíku při spalování uhelného prášku

Obecná opatření spočívají ve:

- ❖ snížení efektivní spalovací teploty,
- ❖ snížení parciálního tlaku kyslíku,
- ❖ zkrácení doby setrvání spalin v oblasti vysokých teplot,
- ❖ ovlivnění podmínek odplynění tuhých paliv,
- ❖ zpomalení směšování paliva a vzduchu.



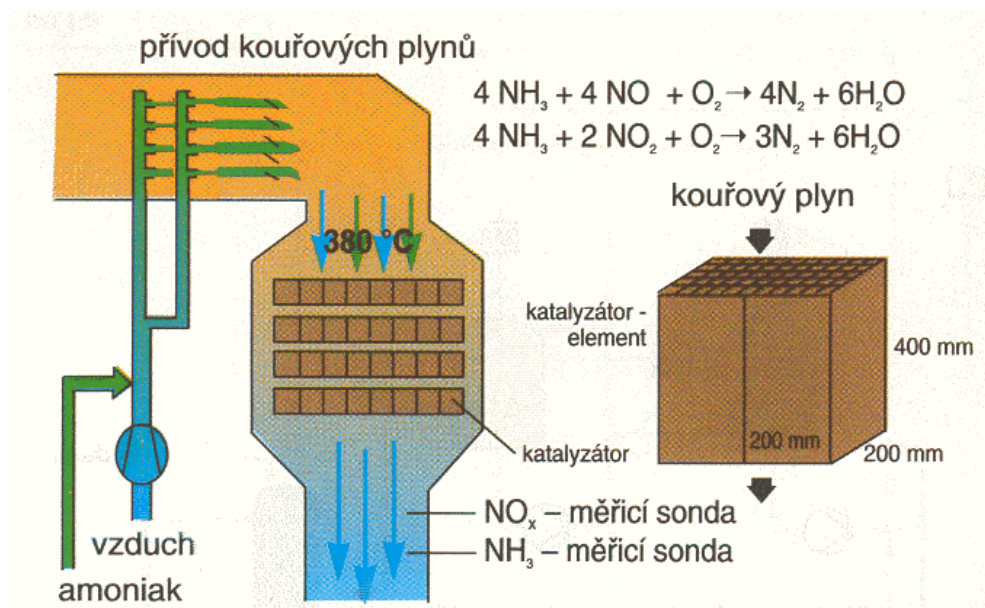
Obrázek 3.10: Průběh NO_x a CO v závislosti na přebytku vzduchu

3.7.3.2 Sekundární opatření

Hlavní částí emisí označovaných jako NO_x je NO. Sekundární opatření jsou proto zaměřena na chemické vázání NO. V praxi se uplatnily dva způsoby odbourání NO:

- redukční
- oxidační

Redukční metody spočívají v redukování NO pomocí čpavku NH_3 na dusík N_2 . Redukce může probíhat bez katalyzátoru nebo s katalyzátorem.



Obrázek 3.11: Princip redukční metody s katalyzátorem

Oxidační metody pracují na principu oxidace oxidu NO pomocí radikálů nebo ozónu na oxid NO_2 , který je potom pomocí čpavku NH_3 vázán na dusičnany nebo dusitany.

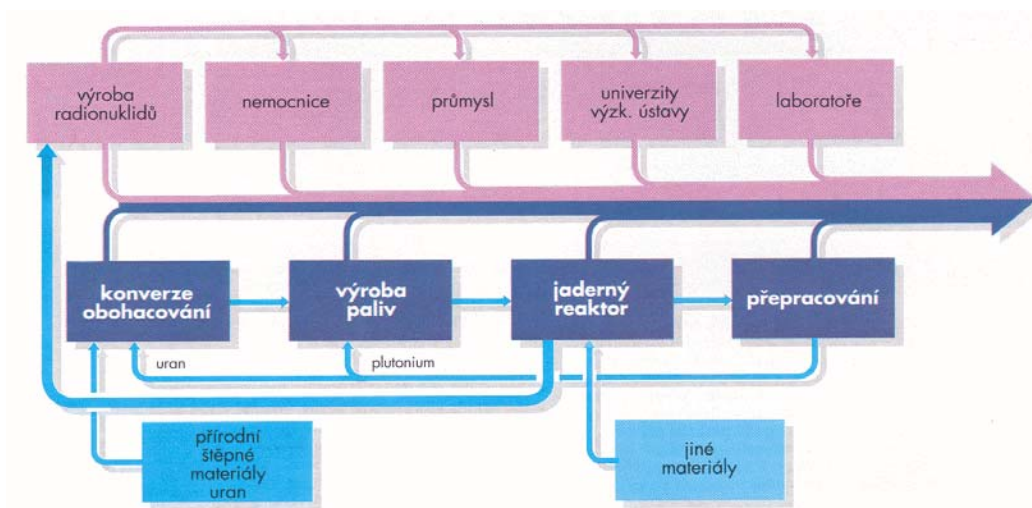
3.8 Jaderné elektrárny a jejich vliv na životní prostředí

Jaderná elektrárna, podobně jako každý průmyslový proces, není pochopitelně bezodpadové zařízení a svou existencí ovlivňuje životní prostředí. Při provozu jaderné elektrárny vznikají a uvolňují se následující látky:

- odpadní teplo,
- radioaktivní látky,
- chemické látky.

Jestliže odpadní teplo a chemické látky se jako odpad vyskytují i u jiných technologických procesů, pak radioaktivní odpadní látky jsou specifickým rysem jaderné energetiky. Radioaktivní odpad je v podstatě nepoužitelný materiál, který obsahuje množství radionuklidů různé aktivity, jejichž vliv na životní prostředí se může projevit i v daleké budoucnosti.

Radioaktivní odpad však nevzniká až při provozu jaderné elektrárny, ale již v průběhu celého palivového cyklu. Vzniká při těžbě rudy, její úpravě a v procesu dalšího zpracování uranu (obohacování, výroba palivových článků ap.). Právě v těchto fázích palivového cyklu vzniká nejvíce radioaktivních odpadů v pevné, kapalné i plynné formě. Přestože podstatná část radioaktivních odpadů je produkována (z hlediska absolutních hodnot aktivit) v přepracovatelských závodech vyhořelého jaderného paliva, představuje jaderná elektrárna významný zdroj radioaktivních odpadů.



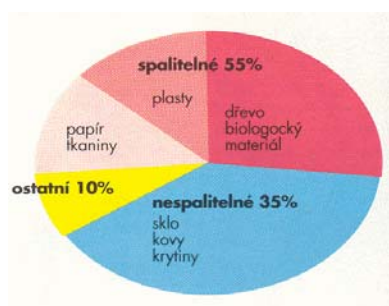
Obrázek 3.12: Zdroje jaderného odpadu

Při provozu jaderných elektráren dochází ke štěpení paliva. Tím se vytváří celá řada radionuklidů s různým poločasem rozpadu přičemž přeměna těchto nestabilních prvků na stabilní je provázána ionizujícím zářením. Ionizující záření může mít charakter záření α , β nebo γ .

I když při vyhoření jaderného paliva nedochází k žádným zjevným změnám na palivových článcích, patří mezi velice nebezpečné odpady. Palivové články jsou vysoce radioaktivní a produkují teplo, které vzniká radioaktivním rozpadem prvků (tzv. odštěpků) obsažených uvnitř článků. Kromě vyhořelého paliva produkují jaderné elektrárny ještě další pevné, kapalné a plynné odpady.

3.8.1 Radioaktivní odpad jeho zpracování a ukládání

Bezpečné využívání jaderné energie je úzce spjato s bezpečným hospodařením s radioaktivními odpady, které vznikají během provozu jaderné energetických zařízení. Zacházení s odpady byla v minulých letech věnována zvýšená pozornost ze strany Mezinárodní agentury pro atomovou energii (MAAE) se sídlem ve Vídni. Tato agentura stanovila rozsáhlý program s cílem poskytnout členským státům pomoc v mnoha ohledech bezpečnosti a techniky, vztahující se k jaderným energetickým reaktorům pracujícím na bázi tepelných neutronů a k souvisejícímu jadernému palivovému cyklu, včetně hledisek zacházení s radioaktivními odpady. Smyslem vydávaných dokumentů je na základě mezinárodních zkušeností poskytnout členským státům širokou poradenskou službu. Vydávané dokumenty mají formu bezpečnostních norem, bezpečnostních příruček a doporučení.



Obrázek 3.13: Rozdělení radioaktivních odpadů podle druhu

Pro oblast zacházení s radioaktivními odpady zpracovává Mezinárodní agentura pro atomovou energii dokumenty ve třech programech :

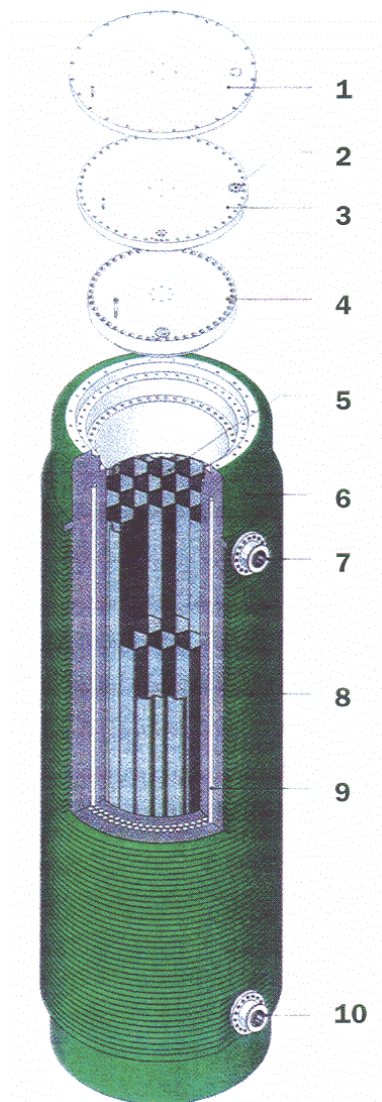
- a) manipulace s odpady a jejich zpracování,
- b) konečné uložení odpadů v podzemí,
- c) hlediska životního prostředí.

Pro každý z těchto tří programů jsou připravovány publikace bezpečnostní řady. V programu „Manipulace s odpady a jejich zpracování“ byla např. vydána bezpečnostní norma č. 69 bezpečnostní řady s názvem „Zacházení s radioaktivními odpady z jaderně energetických zařízení“, jež vymezuje minimální požadavky pro navrhování a provoz staveb, systémů a součástí důležitých pro zacházení s radioaktivními odpady z jaderně energetických zařízení. Kromě tohoto doporučení je vydána celá řada dalších příruček a doporučení.

Výnosy a obecně závazné předpisy o zajištění jaderné bezpečnosti při zacházení s radioaktivními odpady vydávané Státním úřadem pro jadernou bezpečnost, která vykonává státní dozor nad jadernou bezpečností jaderných zařízení v ČR, se opírají jednak o dosavadní výsledky zaváděné do české praxe, jednak o mezinárodní zkušenosti publikované a doporučované Mezinárodní agenturou pro atomovou energii.

Obecné požadavky týkající se radioaktivních odpadů lze stručně vyjádřit :

S radioaktivními odpadními látkami je třeba zacházet takovým způsobem, který zabrání jakékoliv nepříjemné újmě na člověku nebo na životním prostředí, a to jak v současnosti, tak i v budoucnosti, a který minimalizuje jakoukoliv zátěž budoucích generací při uvažování hospodářských a společenských hledisek.



Obrázek 3.14: Kontejner na přepravu a skladování vyhořelého paliva

1-ochranné víko, 2-monitorování tlaku, 3-sekundární víko, 4-primární víko, 5-koš, 6-těleso kontejneru, 7-horní manipulační čepy, 8-žebrování, 9-stínění proti neutronům, 10-dolní manipulační čepy

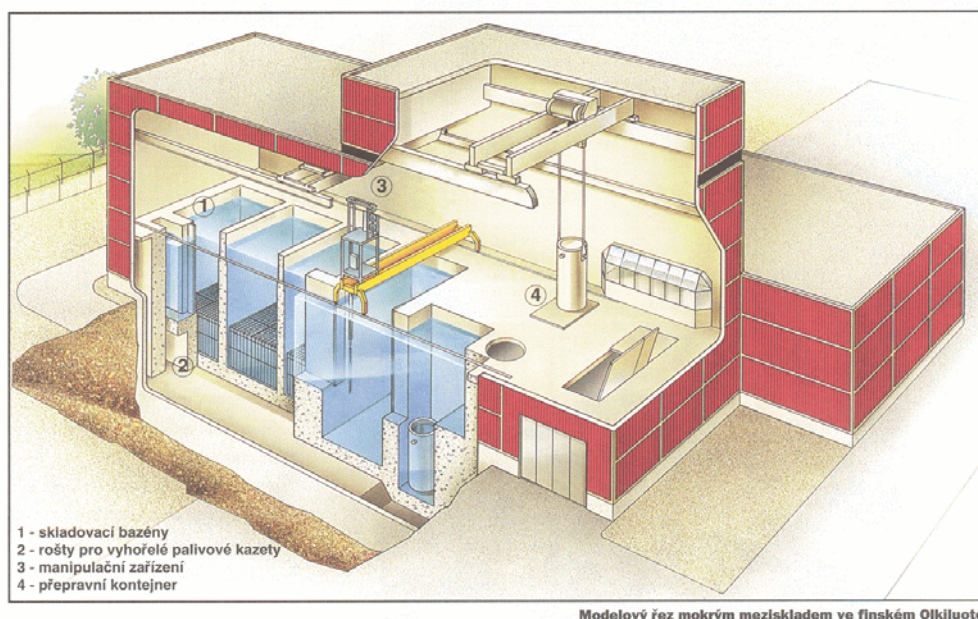
Z uvedeného požadavku plynou obecné požadavky na návrh jaderně energetických zařízení a systémů na zpracování odpadů :

- jaderně energetické zařízení má být navrženo tak, aby vytvářelo co nejméně odpadních zplodin,
- systémy a zařízení na zpracování odpadů musí zajistit bezpečný sběr, úpravu, skladování, dopravu a konečné uložení odpadů tak, aby v každé fázi zpracování bylo vyhověno požadavkům jaderné bezpečnosti,
- provoz zařízení zacházení s odpady musí být v souladu se záměry projektu a oprávněními udělenými orgány dozoru.

Za přípravu a provádění programu zajištění jakosti při zacházení s odpady z jaderně energetického zařízení je odpovědná hospodářská organizace provozující zařízení.

3.8.2 Vznik a druhy radioaktivních odpadů

Jaderné palivo je v reaktoru využíváno po určitou dobu, která je z fyzikálního a ekonomického hlediska optimální. Po tuto dobu dochází v palivu díky probíhající štěpné reakci ke vzniku značného množství radionuklidů (štěpných produktů) a v důsledku dalších jaderných reakcí ke vzniku řady jiných radionuklidů. Štěpné produkty zůstávají, za předpokladu neporušeného pokrytí, uzavřeny v palivových prutech a jen nepatrná část se jich dostává do primárního okruhu jaderné elektrárny. Radionuklidy, které se při provozu zadrží mimo primární okruh jsou nízkoaktivní až středněaktivní provozní reaktorové odpady. Za radioaktivní odpad jsou považovány také všechny materiály, které přišly do styku s aktivními medii.



Obrázek 3.15: Finský mokrý mezisklad

3.8.2.1 Vysoce aktivní odpady

Ve vyhořelém palivu, které se vyjme z reaktoru, je ještě značné množství nerozštěpeného uranu a nově vzniklé plutonium. Kromě těchto použitelných materiálů jsou v palivu vysoce aktivní štěpné produkty a alfa zářiče vzniklé při štěpení paliva. V procesu přepracování se znovu získává uran a plutonium, upravují se do formy použitelné v jaderném reaktoru a odděluje se vysoce aktivní odpad. Vzhledem k vysoké aktivitě, dlouhému poločasu rozpadu a radiotoxicitě odpadu je třeba při jeho zpracování uplatnit zásadní požadavek izolovat jej v takové formě, která by na mimořádně dlouhou dobu zabránila jeho proniknutí do životního prostředí. Tato doba se pohybuje od statisíců do milionů let. Danému požadavku vyhovuje znehybnění vysoce aktivních odpadů fixací do různých materiálů (skla, keramické materiály, syntetické horniny) a jejich trvalé uložení na speciálním místě a řadou inženýrských bezpečnostních bariér.

Pokud se vyhořelé palivo nepřepřacovává, je považováno za vysoce aktivní odpad. Při rozhodování, zda vyhořelé palivo přepřacovávat nebo ho považovat za konečný odpad, hrají roli různá ekonomická a politická hlediska. Značné výzkumné a vývojové kapacity jsou zaměřeny na řešení obou alternativ tak, aby bylo v obou případech dosaženo optimálního zneškodnění radioaktivního odpadu. V současné době je vyhořelé palivo považováno za vysoce radioaktivní odpad.

3.8.2.2 Reaktorový odpad

Radioaktivnímu odpadu, který vznikne a uvolní se mimo technologické okruhy reaktoru za jeho provozu i odstavení říkáme reaktorový odpad. Odpad se může dělit podle skupenství na plyný, kapalný a pevný.

Plynné odpady

V provozu jaderné elektrárny vznikají vedle kapalných a pevných odpadů i odpady plynné. Plynné odpady jsou tvořeny radionuklidy a aerosoly uvolněnými z paliva. Získávají se odsáváním technologických zařízení a provozních místností (šachta reaktoru, místnost parních generátorů apod.). Mezi odpadní plyny patří i vodík vznikající v primárním okruhu.

Kapalné odpady

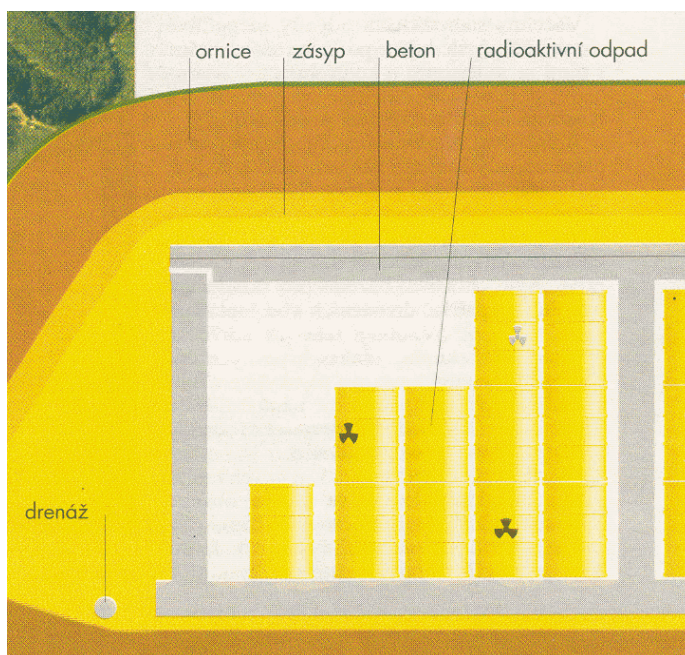
Kapalné odpady jsou reprezentovány různě koncentrovanými aktivními zbytky z procesu čištění technologických a odpadních vod. Např. radioaktivní koncentrát po destilaci, kaly a vodní suspenze nasycených filtračních náplní a ionexů (patří ke kapalným odpadům z hlediska manipulace s nimi), kontaminované kapaliny vznikající při dezaktivacích pracích apod.

Kapalné odpady se dělí na :

- po úpravě znovu použitelné (odpadové vody z dezaktivace, drenáže ze zařízení a potrubních systémů, organizované úniky ap.),
- nepoužitelné, ale vypustitelné (kondenzát z primárního okruhu ap.),
- nepoužitelné a nevypustitelné (vodní suspenze nasycených ionexů a filtrů, kaly, koncentrát z destilačních stanic ap.).

Pevné odpady

Pevné odpady jsou různě kontaminované materiály z provozních, údržbových a revizních činností (papír, textil, ohřev, guma, plastické hmoty, náplně filtrů atd.) a vyřazené aktivované součásti a zařízení primárního okruhu jaderné elektrárny.



Obrázek 3.16: Schéma povrchového úložiště nízkého a středněaktivních odpadů

Pevné radioaktivní odpady lze podle charakteru dělit na: měkké, tvrdé, části zařízení, aerosolové filtry. Z hlediska zpracování se rozlišují na: lisovatelné, spalitelné, nespalitelné a nelisovatelné.

3.8.3 Zpracování radioaktivních reaktorových odpadů

Pod pojmem zpracování odpadu rozumíme takové činnosti, které převádějí radioaktivní odpad do formy vhodné pro dopravu, skladování nebo konečné uložení. Tyto činnosti mohou zahrnovat převedení odpadu do jiné formy, fixaci, balení apod.

3.8.3.1 Metody zpracování radioaktivních odpadů podle jejich skupenství

Pro zpracování odpadů jsou navrženy různé metody zpracování. Pro zpracování kapalných odpadů se používá : odpařování, iontová výměna, chemická úprava.

Odpařování je pro zpracování nízkoaktivních a středněaktivních odpadů nejuniverzálnější metodou. Při použití odparek se dosáhne vysoké dekontaminační účinnosti zhruba o 3 až 6 řádů a požadovaného zkoncentrování kapalného odpadu pro další zpracování (fixaci).

Po iontovou výměnu se používají běžné kolony katexových a anexových filtrů.

Chemické srážení pro redukci aktivity nízkotlakých kapalných odpadů bylo nejčastěji používanou metodou v počátcích rozvoje jaderné energetiky. Dnes je nahrazeno použitím odparek a iontoměničů.

Pevné odpady se zpracovávají podle charakteru materiálu. Používané metody jsou : fragmentace, lisování, spalování.

Fragmentace (dělení) se provádí u těchto odpadů, které mají nevhodné rozměry, pro další trvalé bezpečné uložení. Jde zpravidla o části kontaminovaného technologického zařízení, přístrojové vybavení, armatury, betonové a keramické předměty apod.

Lisováním se dosahuje zmenšení objemu pevných odpadů vhodných k lisování, t.j. filtrační papír, polystyren, textil apod.

Spalování je velmi vhodným způsobem likvidace odpadů, ovšem omezení jen na spalitelné hmoty podstatně omezuje využití této metody v jaderných elektrárnách, protože většina pevných odpadů je zpravidla nespalitelná.

3.8.4 Skladování kapalných a pevných radioaktivních odpadů

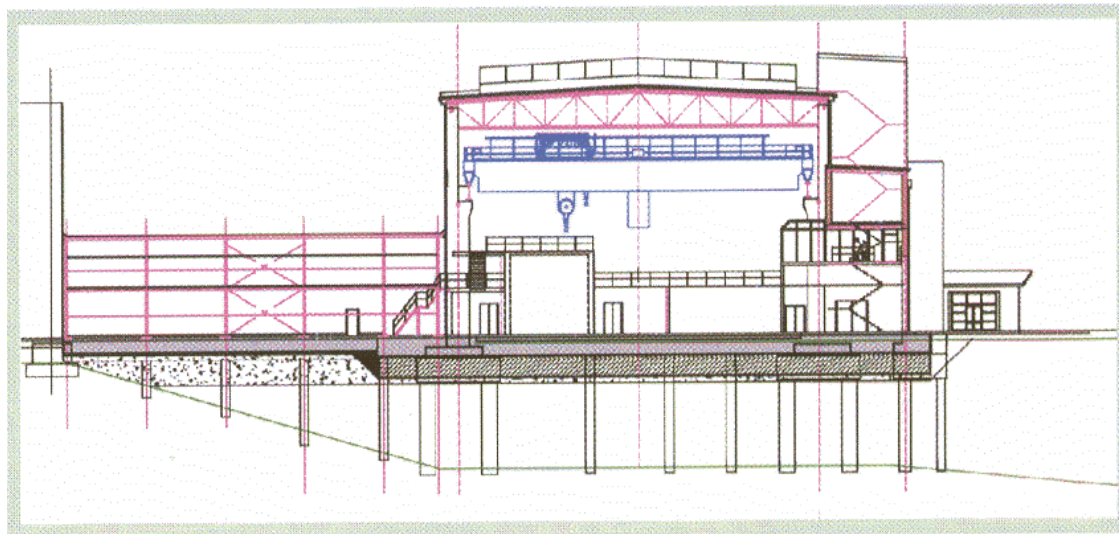
Před konečným zpracováním radioaktivních odpadů se provádí jejich shromažďování (skladování) v tzv. úložišti radioaktivních odpadů. V jaderné elektrárně s bloky VVER-440 jsou systémy skladování umístěny v místnostech (neobslužné prostory) budovy pomocných provozů. Systém slouží ke skladování kapalných radioaktivních odpadů, které vznikají v procesu čištění a úpravy kapalných radioaktivních médií, a ke skladování pevných odpadů z provozu dvou bloků jaderné elektrárny. Z funkčního i provozního hlediska se jedná o dva samostatné celky :

- úložiště kapalných radioaktivních odpadů,
- úložiště pevných radioaktivních odpadů.

Úložiště kapalných radioaktivních odpadů

Úložiště kapalných radioaktivních odpadů zahrnuje ukládání kapalných odpadů znehodnocených ionexů a ukládání zahuštěného koncentrátu. Kromě toho provádí přechistění

aktivních odpadních vod od mechanických nečistot sedimentací a jejich dopravu na další čištění v systému odpadních destilací.



Obrázek 3.17: Suchý mezisklad vyhořelého paliva v JE Dukovany

Systém skladování v elektrárně Dukovany obsahuje pět (4 provozní, 1 rezervní) nádrží aktivního koncentráту (pro skladování koncentráту z odparek systému čištění odpadních vod), nádrž na nízkoaktivní sorbenty (skladuje nízkoaktivní sorbenty z filtrů systému čištění odpadních vod, ze systému skladování vody primárního okruhu, ze systému odluhů parních generátorů a čištění odluhu), nádrž středněaktivních sorbentů (skladuje sorbenty ze systému čištění odpadních vod, přívodu páry a kondenzátu pro vlastní spotřebu, odpouštění a čištění chladiva primárního okruhu, skladování vody primárního okruhu a kontinuálního čištění chladiva), sedimentační nádrž (na sedimentaci mechanických nečistot odpadních vod, proplachových vod a vod prádelních a dezaktivních), havarijní nádrž (slouží jako záskok za nádrž středněaktivních sorbentů a sedimentační nádrž s možností přečerpání těchto nádrží pomocí ejektoru), nádrž přepadu (slouží na shromažďování vod z přepadu obou nádrží sorbentů a sedimentační nádrže), ejektory (zajišťují přečerpání sorbentů z nádrží úložiště navzájem, příp. na další zpracování) a další prvky. V nádrži středněaktivních sorbentů a sedimentační nádrži dochází ke zbytkové radiolýze látek, takže vznikají plyny, které je nutné periodicky přefukovat pomocí dusíku na čistící stanici systému čištění plynů.

Úložiště pevných radioaktivních odpadů

Úložiště pevných radioaktivních odpadů je tvořené systémem místností pomocných provozů (šachet) v budově pomocných provozů. Úložiště vytváří potřebnou skladovací kapacitu pro případ, že ještě nebudou v provozu další provozy na zpracování odpadů. Radioaktivní pevný odpad se přiváží z primárního okruhu v kontejneru, lisuje se (pokud to jde) a ukládá se buď do palet a skládá do vrstev nebo volně ukládá na sebe v prostorách úložiště. Kovové palety se po zaplnění uskladní jeřábem do boxu s vnitřní vestavbou, která zajišťuje stabilitu palet. Odpad, který svými rozměry nevyhovuje rozměrům palety se musí upravit fragmentací. Radioaktivní pevný odpad se ukládá do palet z důvodu dalšího možného zpracování, např. zmenšení objemu spalováním nebo zpracování pro konečné uložení. Vzduchotechnické filtry se ukládají do šachet jeřábem na sebe. Úložiště pevných odpadů v budově pomocných provozů slouží jako přechodné úložiště před zpracováním ke konečnému uložení a jako úložiště havarijní.

Produkce odpadů (pevných, kapalných i plyných) úzce souvisí se způsobem provozu a provozními stavy jaderné elektrárny. Předpokládá se, že dva bloky VVER-440 (resp. jeden blok VVER-1000) vyprodukují za rok :

- 300 m³ kapalných odpadů (po fixaci) o aktivitě 10¹² až 10¹³ Bq (koncentrace 10⁵ až 10⁹ Bq/l),
 - 100 m³ pevných odpadů (po objemové redukci) o aktivitě okolo 10⁹ Bq (80% do 10⁷ Bq/m³, maximálně 1% do 10⁹ Bq/m³),
- a je vypouštěno :
- 3 500 m³ odpadních vod o aktivitě maximálně 1,5 · 10¹³ Bq (při objemové aktivitě v odpadním kanále maximálně 3,7 Bq/l štěpných produktů a 10² až 2 · 10⁴ Bq/l tritia),
 - 4 · 10¹² Bq radioaktivních plynů, 3 · 10⁶ Bq jódu, 5 · 10⁴ Bq stroncia a 4 · 10⁸ Bq aerosolů.

3.8.5 Konečné zneškodnění radioaktivních odpadů

S ohledem na charakter a měrnou aktivitu (řádově 10⁵ až 10⁹ Bq/kg) radioaktivních reaktorových odpadů se v podstatě používají dva způsoby jejich zneškodňování :

- řízený rozptyl do životního prostředí,
- izolace od životního prostředí.

Princip řízeného rozptylu radioaktivních odpadů do životního prostředí se uplatňuje u plyných odpadů a u vypustitelných odpadů kapalných. Vypouštěná množství odpadů jsou regulována přísnými hygienickými předpisy, protože cílem je dosáhnout takové koncentrace vypouštěných radionuklidů v ovzduší a ve vodách, která nevyžaduje zvláštního zřetele.

Plynné odpady se nevypouštějí přímo, ale zadržují se ve vymíracích prostorách jaderné elektrárny za účelem vymření krátkodobých aktivit (rozpadnutí na neaktivní nuklidy) a teprve po účinné filtraci se řízeně vypouštějí do atmosféry ventilačním komínem. Tím se docílí takové zředění v atmosféře, že radioaktivní látky se z hlediska koncentrace i množství stanou nezajímavými.

Vypustitelné kapalné odpady se mohou vypustit do vodního toku jen tehdy, pokud jejich aktivita nepřesahuje povolenou hodnotu stanovenou normou. V opačném případě se nejdříve řadí na odpovídající hodnotu a periodicky vypouští do vodního toku.

Druhý způsob zpracování odpadů, tj. izolace od životního prostředí, předpokládá nejdříve úpravy radioaktivních odpadů. Záměrem úprav je odpady zkoncentrovat, objemově zredukovat a upravit do formy, z níž se nemohou uvolňovat. Upravené odpady se uloží do speciálně vybudovaných úložišť a tím se trvale bezpečně izolují od okolí.

Pro zpracování odpadů vznikajících v našich jaderných elektrárnách byl stanoven způsob, který umožňuje bez speciálních předběžných úprav zpracovat většinu typů kapalných nebo pevných odpadů do formy vhodné k uložení. Po zhodnocení různých možností bylo rozhodnuto fixovat kapalně koncentráty do speciálního asfaltu (bitumenu) mísením v rotorové fixační odparce (bitumenizace) nebo je po kalcinaci (sušení) mísit s bitumenem nebo cementem (cementace) a takto fixované plnit do 200 litrových sudů. Filtrační náplně a iontoměničové náplně (sorbenty) se po sušení fixují mísením za tepla do bitumenu a plní do sudů. Pevné odpady se objemově redukují prostým nízkotlakým lisováním do sudů. Tento způsob je možné uplatnit téměř u tří čtvrtin všech vzniklých pevných odpadů. Takto fixované radioaktivní odpady je možné odvézt k trvalému uložení.

Pro trvalé uložení radioaktivních odpadů, u nichž převážnou část aktivity tvoří již po jednom roce radionuklidy s poločasem rozpadu řádově desítky let (např. ⁶⁰C : T_{1/2} = 6 let,

^{90}Sr : $T_{1/2} = 27$ let, ^{137}Cs : $T_{1/2} = 30$ let atd.), je izolace od životního prostředí zajištěna pomocí :

- fixačního materiálu, který zabraňuje radionuklidům volně se pohybovat a uniknout z úložiště,
- řady uměle vybudovaných inženýrských bariér, které mají za úkol působit po co nejdelší dobu jako překážka úniku potenciálně uvolněných radionuklidů do okolí a zabránit vniknutí vody do úložiště,
- okolního prostředí tvořeného vhodným geologickým podložím úložiště.

Souhrn kvalit těchto bariér určuje kvalitu celého systému, jež musí odolávat nepoškozen několik set let. Výběru lokality úložiště je věnována mimořádná pozornost, protože kvalita izolačních schopností geologického podloží výrazně ovlivní ekonomiku celé stavby. Variantní lokality se hodnotí na základě řady kritérií mezi které patří kromě jiných geologické, hydrogeologické, hygienické, ekonomické, dopravní i psychologické aspekty.

V České republice bylo na základě pečlivého výběru, který proběhl v osmdesátých letech, rozhodnuto vybudovat regionální úložiště v blízkosti elektrárny Dukovany. Jedná se o uměle vybudované konstrukce povrchového typu (uložení v mělké zemi podle doporučení MAAE) s vhodným málo propustným geologickým podložím. Vlastními úložnými prostorami jsou železobetonové jímky o rozměrech 6 x 18 m s hloubkou systémem. Nad jímkami pojíždí portálový jeřáb, kterým se zakládají do jímek 200 litrové sudy asi 5 m, stěny a dno jímky jsou izolovány proti vodě a doplněny účinným drenážním s odpadem a zakrývají jímky. Po úplném zaplnění jímky se jímka zakryje izolačním materiálem a zasype vrstvou zeminy.

Během provozu úložiště i po jeho zaplnění se provádí účinná kontrola. Ta spočívá v kontrole drenážních vod a pomocí hydrogeologických vrtů ve sledování povrchové i spodní vody v okolí úložiště.

3.8.6 Kontaminace zařízení a prostorů jaderné elektrárny

Vlivem jaderných reakcí vznikají v aktivní zóně radionuklidy, které se mohou podle jejich původu rozdělit do následujících skupin :

- produkty štěpení jaderného paliva,
- produkty aktivace chladiva a jeho příměsí,
- aktivované korozní produkty,
- produkty aktivace paliva.

Produkty štěpení vznikající při štěpení uranu ^{235}U tepelnými neutrony mají hmotnostní čísla v rozmezí 72 až 161. Nejvíce vzniklých štěpných produktů (více než 90% patří buď do skupiny lehkých produktů (tj. izotopy prvků mezi borem a radiem) nebo do skupiny těžkých produktů (tj. izotopy prvků mezi antimonem a samariem). Produkty štěpení difundují palivem a případnými netěsnostmi pokrytí pronikají do chladiva primárního okruhu. Plynných produktů se dostává do chladiva podstatně více než netěkavých produktů, i když tyto vznikají s velkým výtěžkem. V chladivu se proto setkáme především s radioizotopy jódu a jejich produkty, např. rubidium, stroncium, yttrium, cesium, baryum apod.

Aktivací vody tepelnými a rychlými neutrony vznikají izotopy vodíku, dusíku a kyslíku. Další radionuklidy vznikají aktivací příměsí v chladivu převážně tepelnými neutrony. Většina tritia přítomného ve vodě vzniká reakcí neutronů s bórem. Převládající aktivitou chladiva je aktivita izotopů draslíku a sodíku. Izotopy draslíku vznikají aktivací hydroxidu draselného a izotopy sodíku aktivací sodíku (je ve vodě obsažen jako nečistota) tepelnými neutrony.

Mechanismus aktivace různých korozivních produktů (vznikají koroze kovových konstrukčních materiálů, z nichž jsou zhotoveny komponenty primárního okruhu) je následující :

- aktivace základního materiálu aktivní zóny, uvolnění vzniklých radionuklidů do chladiva a jejich usazení na povrchu primárního okruhu,
- uvolnění neaktivních korozivních produktů z komponentů primárního okruhu do chladiva, při průchodu aktivní zónou dochází k jejich aktivaci a dále se usazují na povrchu zařízení primárního okruhu,
- neaktivní korozivní produkty se uvolní ze zařízení primárního okruhu do chladiva, usadí se na povrchu zařízení aktivní zóny, kde se aktivují, znovu se uvolní a jako radioaktivní se usadí na povrchu primárního okruhu.

V ustáleném provozu reaktoru je aktivita korozivních produktů poměrně nízká. Korozivní produkty vyskytující se v chladivu jsou převážně v nerozpustné formě, pouze radionuklid manganu ^{54}Mn je převážně ve formě iontové, příp. koloidní. Rovněž radionuklidy kobaltu bývají podle chemického režimu v rozpustné formě.

V provozním režimu, ve kterém dochází ke změnám tlaku, teploty, výkonu a složení chladiva, tj. přechodných stavech, dochází ke krátkodobému uvolnění korozivních produktů většinou v nerozpustné formě do chladiva primárního okruhu. Proti ustálenému provozu se při přechodných stavech může zvýšit aktivita až o tři řády.

Většina radioaktivních korozivních produktů je soustředěna na vnitřním povrchu zařízení primárního okruhu. Korozní vrstva na povrchu zařízení primárního okruhu je tvořena jednak ucelenou, nestíratelnou vrstvou, která vzniká při vlastní korozi zařízení, a do níž difundují radionuklidy korozivních produktů přítomné v chladivu v iontové, příp. koloidní formě, jednak stíratelnou vrstvou, která vzniká usazováním disperzních nerozpustných radioaktivních produktů koroze uvolněných do chladiva. Poměr aktivity v těchto vrstvách je různý v jednotlivých částech a zařízení primárního okruhu. Různý je i obsah radionuklidů v závislosti na formě, v jaké se v chladivu nacházejí. Převládající je aktivita izotopu kobaltu ^{58}Co , k ní se přidávají příspěvky od izotopů manganu ^{54}Mn , kobaltu ^{60}Co a stříbra ^{110}Ag především na chladnějších místech primárního okruhu. Po delší době provozu převládá radionuklid kobaltu ^{60}Co .

Produkty aktivace paliva vznikají aktivací uranu tepelnými neutrony a beta rozpadem takto vzniklých produktů. Produktem aktivace paliva je celá řada transuranů. Většina transuranů jsou alfa zářiče (mimo izotopu neptunia ^{239}Np). V případě velkého porušení pokrytí palivových článků dostávají se tyto produkty spolu s palivem do chladiva a usazují se na vnitřním povrchu zařízení primárního okruhu.

3.8.7 Dekontaminace zařízení a prostorů jaderné elektrárny

Na povrchu zařízení primárního okruhu dochází k vytváření vrstvy, jejíž součástí jsou převážně radioaktivní nuklidy korozivních produktů a některé dlouhodobé produkty štěpení. Částečné snížení radioaktivity v primárním okruhu je možné dosáhnout dostatečnou kapacitou úpravy chladiva primárního okruhu a vhodným způsobem této úpravy. Procesu kontaminace zařízení primárního okruhu však není možné zcela zabránit. Radioaktivita vnitřních povrchů zařízení primárního okruhu je limitující při revizích zařízení, při údržbě a opravách jednotlivých součástí primárního okruhu z hlediska radiační bezpečnosti. Pro snížení aktivity zařízení primárního okruhu je třeba zvolit vhodný způsob dekontaminace, zvláště před prací na těchto zařízeních. Převážná část dávkové zátěže obsluhujícího a údržbářského personálu se

vztahuje k činnostem vykonávaným po dobu odstávek reaktoru v blízkosti nebo přímo na kontaminovaných zařízeních jaderné elektrárny. Proto je nutné snižovat radioaktivitu povrchu zařízení dekontaminačními postupy na minimum, jež je únosné z hlediska negativních účinků dekontaminace. Negativními účinky rozumíme např. korozní účinky dekontaminačních látek, ekonomická hlediska, problém zpracování značných objemů kapalných odpadů při dekontaminaci apod. Zastoupení jednotlivých radionuklidů na různých místech a zařízeních primárního okruhu značně kolísá.

Tabulka 3.7: Zastoupení radionuklidů na vnitřním povrchu zařízení JEBO

Zařízení	Obsah radionuklidů [%]				
	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	¹¹⁰ Ag	⁵⁹ Fe
horký kolektor PG3	82,3	7,3	8,3	0,3	1,8
rozvadeč HCC6	79,4	5,6	5,2	8,2	1,4

V tabulce (**Tabulka 3.7**) je uveden příklad složení radionuklidů v parním generátoru a hlavním cirkulačním čerpadle druhého bloku jaderné elektrárny V-1 v Jaslovských Bohunicích zjištěné při odstávce v roce 1982.

Zvláštní problém představuje dekontaminace hermetických prostorů a místností, zejména podlah, a povrchu předmětů, které je třeba vynést z kontrolovaného pásma. Zde jsou dekontaminační postupy určované limitními hodnotami. Limitní hodnoty uvádí maximální přípustné zamoření těchto povrchů. Pokud nejsou na jednotlivých pracovištích určeny vlastní hodnoty, vychází se při stanovení limitních hodnot zamoření z údajů uvedených v předpisu SÚJB. V části kontrolovaného pásma, kde se bezprostředně nemanipuluje s radioaktivitou, platí limitní hodnoty desetkrát nižší.

Tabulka 3.8: Limitní hodnoty zamoření v aktivní části kontrolovaného pásma JE

Druh povrchu	Limitní hodnoty [kBq/m ²]		
	alfa zářiče		beta zářiče
	velmi toxické	ostatní	
pracoviště a zařízení	37	370	370
	3,7	37	37

Pro ilustraci jsou v tabulce (**Tabulka 3.8**) uvedeny maximálně přípustné hodnoty zamoření v aktivní části kontrolovaného pásma.

Ke snížení radioaktivity se používají různé metody dezaktivace. Účinnost dekontaminačních postupů se vyjadřuje buď dekontaminačním faktorem

$$d = \frac{A}{A_d} \quad [- ; \text{Bq, Bq}] \quad (3.11)$$

který je dán poměrem počáteční aktivity dekontaminovaného zařízení A k aktivitě po provedené dekontaminaci A_d nebo procentem odstranění kontaminantu

$$u = \frac{A - A_d}{A} \cdot 100 \quad [- ; \text{Bq, Bq}] \quad (3.12)$$

Aktivita povrchů zařízení a místností (počáteční i konečná) se zjišťuje buď přímo dozimetrickými přístroji nebo nepřímo na základě stěru povrchu zařízení před a po dekontaminaci. Měření dozimetrickými přístroji je objektivnější metoda, ale není možné je

použít při dekontaminaci malých ploch, které jsou součástí velkého zařízení. Druhý postup může vést ke značnému nadhodnocení výsledků dekontaminace, protože stíratelná vrstva korozivních produktů tvoří jen malou část celkové radioaktivity povrchů zařízení.

Při výběru vhodných dezaktivacních metod byla věnována pozornost celé řadě postupů a různým chemickým prostředkům. Dezaktivací postupy se z hlediska způsobu dekontaminace dělí na chemické, elektrochemické, paroemulzní a mechanické.

3.8.7.1 Chemická dekontaminace

Chemická dekontaminace je způsob dezaktivace zařízení, při kterém dochází k chemickému rozpouštění povrchové aktivní vrstvy zařízení, případně se převádí chemickou cestou radioaktivní nuklidy z usazenin do roztoků. Povrchová vrstva na zařízeních primárního okruhu z uhlíkatých ocelí je vytvořena převážně magnetitem Fe_3O_4 . V případě nerezavějících austenitických ocelí je tvořena magnetitem s vysokým obsahem oxidů niklu a chromu.

Na rozpuštění magnetitu je nejvýhodnější použít kyselá činidla. U vysoce legovaných nerezavějících ocelí je nejdříve třeba převést nerozpustné oxidy chromu na rozpustné chromany (provádí se to alkalicky - oxidačním postupem) a potom pomocí kyselých činidel rozpustit oxidy železa a niklu. Pro převedení oxidů chromu na chromany se používá alkalický roztok manganistanu draselného (KMnO_4). Pro rozpuštění oxidů železa a niklu se používá kyselých dekontaminačních roztoků různého složení. Tyto roztoky obsahují anorganické kyseliny (např. fosforečná, dusičná) a organické kyseliny (např. šťavelová, citronová apod.) nebo kyselé soli (např. síran draselný apod.). Další složkou kyselých dekontaminačních roztoků jsou komplexotvorné látky, které zabraňují opětovnému vysrážení korozivních produktů na čištěném povrchu a pomáhají tak čistit korozivní vrstvu. Kromě toho se do roztoků přidávají antikoroziční inhibitory a látky (saponáty, smáčedla apod.), které zaručují zlepšení styku dekontaminačního roztoku s povrchem čištěného zařízení.

Teplota dekontaminačních roztoků se pohybuje v rozmezí od 90 do 95°C. Optimální doba působení na čištěný povrch je okolo jedné hodiny. Prodlužování doby působení kyselých dezaktivacních roztoků nevede k podstatnému zvýšení dekontaminačního faktoru. Rovněž nevede k žádanému výsledku použití jen samotného alkalického oxidačního činidla. K podstatnému zvýšení dekontaminačního faktoru však vede cyklické (střídavé) použití alkalických a kyselých dekontaminačních činidel.

Dekontaminace se provádí ponořením celého zařízení, příp. jeho části, do dekontaminačního roztoku, ostřikováním nebo cirkulačním promýváním nebo v kombinaci s mechanickým čištěním. Pro deaktivaci zařízení cirkulačním promýváním jsou vytvořeny speciální potrubní trasy pro přívod dezaktivacího prostředku.

3.8.7.2 Elektrochemická dekontaminace

Elektrochemická dekontaminace využívá k dekontaminaci povrchu elektrochemické anodické rozpouštění povrchové vrstvy kovu při průchodu stejnosměrného proudu. Elektrolytem při elektrochemické dekontaminaci bývá kyselina šťavelová nebo směs kyseliny fosforečné a sírové. Jsou známy dva pracovní postupy : mokrý a polosuchý.

Při použití mokrého způsobu elektrochemické dekontaminace se čištěné zařízení ponoří celé do elektrolytu. Požadovaná proudová hustota je 1 000 až 2 000 A/m². Doba dezaktivace je v rozmezí 1 až 2 minut. Stejnosměrné napětí v rozsahu 12 až 50 V. Vzdálenost mezi katodou a anodou je přibližně 3 cm.

Polosuchý způsob elektrochemické dekontaminace spočívá v tom, že katoda je pokryta vrstvou plsti nebo skelné tkaniny namočené v elektrolytu. Doba dezaktivace zařízení je v tomto případě 30 až 50 sekund.

Výhodou elektrochemické dekontaminace je její rychlost, vysoká účinnost, malý objem vznikajících radioaktivních odpadů (zvláště při polosuchém způsobu) a zlepšení povrchu zařízení (elektrochemické leštění), na němž pak dochází ke snížení usazování korozivních produktů.

3.8.7.3 Paroemulzní dekontaminace

Paroemulzní dekontaminace spočívá v působení směsi dezaktivacího roztoku a páry pod tlakem 0,8 až 1,2 MPa. Směs páry a dezaktivacího roztoku se na čištěný povrch nanáší speciálním zařízením. Rychlost dekontaminace je asi 1 m²/min. Paroemulzní metoda dekontaminace je vhodná pro dekontaminaci podlah a stěn místností a boxů vnějších ploch a povrchů technologického zařízení a vnitřních povrchů nádrží.

Jako dezaktivací roztok se pro paroemulzní dekontaminaci používá kyseliny šťavelové kombinované s povrchově aktivním přípravkem a hexametafosforečnanem sodným.

3.8.7.4 Mechanická dekontaminace

Mechanická dekontaminace povrchů spočívá ve využití mechanických účinků buď samostatně (seškrabování, broušení, obrábění ap.) nebo ve spojení s chemickým účinkem dezaktivacího roztoku (čištění povrchu hadrami nebo kartáči namočenými v dezaktivací roztoku, dezaktivace ultrazvukem ap.). Dělí se na suché a mokré postupy.

Mezi suché mechanické dekontaminační postupy patří :

a) Vakuové čištění,

Podstatou je odsávání radioaktivního prachu z povrchu čištěného zařízení. Metoda je vhodná především pro suché povrchy a vyžaduje účinnou filtraci odsávané směsi.

b) Nanášení lehce snímatelných laků

Na velkých plochách je možné radioaktivní prach fixovat na snímatelném povlaku, který se při čištění oloupe z čištěné plochy a likviduje jako pevný radioaktivní odpad. Snímatelné laky jsou zhotoveny na bázi polyvinylalkoholů, polyvinylacetátů a latexů.

c) Otryskávání

Metoda spočívá v čištění ploch proudem vzduchu s pískem, kovovou drtí nebo kuličkami kovu, příp. z umělé hmoty, který vysokou rychlostí naráží na čištěný povrch a obrušuje radioaktivní prach. Radioaktivní prach zůstává v obrušné látce a spolu s ní se kontinuálně odsává. Metoda je vhodná pro velké plochy s hrubým povrchem.

d) Obrušování

Obrušování je velmi účinná metoda dekontaminace. Používá se jen pro silně zamořená místa zařízení. Vyžaduje dokonalé odsávání vznikajících radioaktivních pilin a prachu.

Mezi mokré postupy, které využívají účinků mechanického čištění spolu s chemickými, patří :

a) Otryskávání za mokra

Princip je stejný jako u suché metody pouze s tím rozdílem, že místo vzduchem je obrušující látka unášena dekontaminačním roztokem.

b) Dekontaminace ultrazvukem

Dekontaminace ultrazvukem využívá pro čištění lokální zvýšení teploty a tlaku v dekontaminačním činidle při zavedení kmitů o ultrazvukové frekvenci 18 až 22 kHz do kapaliny. Výsledek čištění je podobný jako při mechanickém praní, drhnutí ap.

Seznam použité literatury

- [1] Vyhláška MŽP č. 117/1997 Sb.
- [2] Opatření FVŽP k zákonu 309/1991 Sb.
- [3] Rozman,J.: Životní prostředí. Brno: ES VUT 1987
- [4] Vališ,S.- Dýrová,E.: Životní prostředí. Brno: ES VUT 1989
- [5] Skála,Z.: Ekologie v energetice. Brno: PC-DIR 1994
- [6] Kvasničková,D.: Základy ekologie.Praha: SPN 1991
- [7] Matoušek,A.: Provoz jaderných elektráren. Brno: ES VUT 1988
- [8] Kolektiv: Velká kniha o energii. Praha: LA Consulting Agency 2001
- [9] Tůma,J.- Čermák,J.: Elektroenergetika a životní prostředí. Praha: Vydavatelství ČVUT 1996
- [10] Kepák,F.: Vliv emisí z elektráren na životní prostředí. Energie č. 6/97, str.120
- [11] Marek,J.: Jaderná energie. Praha: ČEZ 2000
- [12] Materiály a.s. ČEZ z cyklu „Energie pro každého“
- [13] Raček,J.: Jaderné reaktory. Brno: PC-DIR 2002
- [14] Kepák,F.: Radioaktivní odpady z jaderných elektráren. Energie č.5,6/98, str.150