

978-80-7080-65-0

**Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
Technická 5, 166 28 Praha 6
Uzávěrka: 10. 8. 2007**

www.vscht.cz





Program 21. letní školy	5
Servis VŠCHT Praha středním školám - hodina moderní chemie	6
Alternativní zdroje energie	7
Perspektivy a problémy výroby energie z biomasy	15
Projekt Green Fuel Cell - příklad výzkumu financovaného EU	25
Využití zemního plynu v dopravě v podmínkách České republiky	30
Alternativní paliva v dopravě a jejich vliv na životní prostředí	39
Mazací oleje v každodenním životě	46
Bioplyn jako zdroj elektrické energie a tepla	53
Energetika v Japonsku	60
Použití vody v nadkritickém stavu v energetice	65
Posuzování průmyslových ekologických rizik	71
Ovlivnění živých objektů toxickými látkami	77
Základní principy stanovení biodegradability organických látek	83
Posuzování životního cyklu – LCA	86
Kvalita a monitoring ovzduší	92
Vliv domácích spalovacích zařízení na kvalitu venkovního ovzduší	98
Decentralizované čištění odpadních vod	104
Seznam účastníků	110
Kontakty	112





Úvodní slovo

Vážení kolegové,

Pravidelně se na tomto místě upínám k počtu ročníků, po které se Letní škola středoškolských učitelů realizuje. Rád, protože původně komorní projekt dnes snese označení tradiční. Především díky Vám.

Letošní jednadvacítka Letní školy nápadně rezonuje s 21. stoletím, jehož podstatnou část máme stále ještě před sebou. Dvacáté první století i témata Letních škol jsou náhledem do budoucnosti. Dnes však nikoliv virtuálním. Ve 21. století se již ocitáme a chemické disciplíny se právě dnes zabývají tématy, jejichž řešení bude nevyhnutelně ovlivňovat lidskou společnost podstatně dříve, než dospějeme na práh roku 2101. Přínejmenším v oblasti zdrojů a využívání energií a v ochraně životního prostředí to platí stoprocentně.

Vědomí souvislostí přítomnosti s budoucností je s plynoucím časem stále intenzivnější. Snad naštěstí pro nás všechny, protože není jen >výzvou<, jak se pravidlo donedávna, protože není jen >závazkem<, jak se tvrdívá dnes, ale protože je >nezbytností<, jak právě lidstvo pomalu zjišťuje. Jako pedagogové jste potenciálními šířiteli takového vědomí souvislostí.

I proto je skvělé, že jste znovu dorazili na Letní školu středoškolských učitelů pořádanou Vysokou školou chemicko-technologickou v Praze. Máme pro Vás hned celou inspirativní paletu výzev, závazků a nezbytností, které spojují naši přítomnost s budoucností.

Vítejte ve světě moderní chemie.

Vlastimil Růžička
rektor

Vážené dámy, vážení pánové
účastníci 21. letní školy pro středoškolské profesory chemie, fyziky a matematiky,

pořadatelem tohoto tradičního setkání organizovaného na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze je v tomto roce Fakulta technologie ochrany prostředí. Výběr témat přednášek, které byly zařazeny do programu 21. letní školy byl pochopitelně ovlivněn vědecko-výzkumným zaměřením fakulty, které určilo i její název, „Technologie pro ochranu životního prostředí“. Autory zařazených přednášek jsou výhradně pracovníci Fakulty technologie ochrany prostředí.

Fakulta sdružuje pět vysokoškolských ústavů, jejichž pedagogická i vědecko-výzkumná činnost je orientována na obory Chemie a technologie ochrany životního prostředí, Technologie vody a Chemie a technologie paliv a prostředí. U prvních dvou oborů je jejich spojení s problematikou ochrany životního na první pohled zřejmé. Pokud se týká posledního ze tří jmenovaných oborů, je možno konstatovat, že chemické a energetické zpracování paliv, tento klíčový obor našeho národního hospodářství stav životního prostředí významným způsobem ovlivňuje a to jak svojí technickou úrovní, tak i kvalitou vyráběných produktů zpracování paliv, především motorových paliv a paliv pro energetiku. Je potřeba zdůraznit, že pokud má být ochrana životního prostředí efektivní a účinná, je třeba, aby byla realizována pokud možno již v rámci provozovaných technologií, což samozřejmě vyžaduje jejich dokonalou znalost.

Při výběru přednášek pro letošní letní školu bylo přihlédnuto ke skutečnosti, že v současné době je velká pozornost věnována problematice alternativních zdrojů energie a jejich využití jak v energetice, tak i jako pohonných hmot v dopravě. Vedle přednášek věnovaných této problematice byly do programu dále zařazeny přednášky orientované na monitoring a hodnocení stavu životního prostředí.

Věříme, že tento sborník pro Vás bude zdrojem informací, které budete moci využít i při práci se studenty Vašich středních škol a že přispěje k rozšíření Vašeho i jejich náhledu na význam a rozsah v současnosti tak aktuální problematiky ochrany životního prostředí.

Gustav Šebor
děkan

Fakulty technologie ochrany prostředí

Václav Janda

proděkan pro pedagogickou činnost
Fakulty technologie ochrany prostředí



Program 21. letní školy



pro středoškolské učitele chemie, fyziky a matematiky, VŠCHT Praha, 22.8. - 24.8.2007

Středa 22.8.	VŠCHT Praha, budova A
12:00 - 14:00	Příjezd účastníků, registrace (posluchárna All)
14:00 - 14:30	Zahájení Letní školy za účasti prorektora pro pedagogiku prof. Ing. S. Labíka, CSc. a děkana FTOP (All)
14.30 - 17:30	Exkurze na pracovištích FTOP
18:00 - 22:00	Společná večeře účastníků Letní školy sponzorovaná partnery VŠCHT Praha (Masarykova kolej ČVUT Praha, Thákurova 1, Praha 6 - Dejvice)
Ubytování pro mimopražské účastníky v areálu kolejí Praha 4 - Kunratice	
16:00 - 18:00 bude mimořádně otevřena prodejna skript v budově B	

Čtvrtek 23.8.	Konferenční centrum VŠCHT Praha, areál kolejí VŠCHT Praha
9:00 - 9:30	Ing. Ivo Jiříček, CSc.: Alternativní zdroje energie
9:30 - 10:00	PhD., Ing. Sergej Skoblja, Ing. Martin Vosecký: Perspektivy a problémy výroby energie z biomasy
10:00 - 10:30	Doc. Ing. Václav Koza, CSc.: Projekt Green Fuel Cell - příklad výzkumu financovaného EU
10:30 - 11:00	Přestávka
11:00 - 11:30	Doc. Ing. Milan Pospíšil, CSc.: Využití zemního plynu v dopravě v podmínkách České republiky
11:30 - 12:00	Prof. Ing. Gustav Šebor, CSc.: Alternativní paliva v dopravě a jejich vliv na životní prostředí
12:00 - 13:00	Oběd
13:00 - 13:30	Ing. Jaroslav Černý, CSc.: Mazací oleje v každodenním životě
13:30 - 14:00	Doc. Ing. Karel Ciahotný, CSc.: Bioplyn jako zdroj elektrické energie a tepla
14:00 - 14:30	Ing. Luděk Jelínek, Ph.D.: Energetika v Japonsku
14:30 - 15:00	Přestávka - občerstvení
15:00 - 15:30	RNDr. Petr Sajdl, CSc.: Použití vody v nadkritickém stavu v energetice
15:30 - 16:00	Doc. Ing. Josef Janků, CSc.: Posuzování průmyslových ekologických rizik
16:00 - ∞	Diskuse účastníků letní školy s prorektorem a zástupci fakult o studiu na VŠCHT Praha; Informace o projektu: hodina moderní chemie (ing. Cerhová); Výukový program z oborů obecné, anorganické a organické chemie a biochemie (RNDr. Vaňková, doc. Smrčková, ing. Dibuzsová, dr. Jirát, prof. Liška, prof. Kodíček)

Pátek 24.8.	Konferenční centrum VŠCHT Praha, areál kolejí VŠCHT Praha
9:00 - 9:30	RNDr. J. Punčochářová, CSc.: Ovlivnění živých objektů toxickými látkami
9:30 - 10:00	Ing. Hana Kujalová, doc. Ing. Vladimír Sýkora, CSc.: Základní principy stanovení biodegradability organických látek
10:00 - 10:30	Ing. Vladimír Kočí, PhD.: Posuzování životního cyklu - LCA
10:30 - 11:00	Přestávka
11:00 - 11:30	Doc. Ing. František Skácel, CSc.: Kvalita a monitoring ovzduší
11:30 - 12:00	Ing. Viktor Tekáč, CSc.: Vliv lokálních topenišť na kvalitu ovzduší
12:00 - 12:30	Doc. Ing. Pavel Jeníček, CSc.: Decentralizované čištění odpadních vod
12:30 - 13:00	Ukončení Letní školy



Servis VŠCHT Praha středním školám

Hodina moderní chemie

Srozumitelný výklad o chemii, jejích nejnovějších trendech a především praktických aplikacích, bez kterých se neobejde náš každodenní život – je projektem, který popularizuje moderní chemické disciplíny a inspiruje k jejich dalšímu studiu.

► **Vítejte ve světě moderní chemie**

- populárně-odborný výklad ▪ soutěž ▪ pokusy a ukázky ▪
- interaktivní zapojení studentů ▪ variabilita programů ▪

► **Rádi budeme s projektem hosty i na Vaší škole**

- je uzpůsoben délce jakékoliv vyučovací hodiny
- lze jej uskutečnit v běžné učebně bez zvláštních nároků na přípravu
- vše co potřebujeme, si vezeme s sebou

www.vscht.cz

Mám zájem o uskutečnění projektu „Hodina moderní chemie“ na naší škole

škola:

kontaktní osoba:

tel.:

fax:

e-mail:

třída/třídy:

ve třídě je k dispozici zatemnění ANO NE (prosím, zaškrtněte)

Poznámky:

Datum:

Podpis:



Ivo Jiříček, Linda Diblíková, Václav Janda

Ústav energetiky, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: Ivo.Jiricek@vscht.cz

1. Obnovitelné zdroje

Pesimistický obraz o vyčerpání či konečnosti zásob fosilních paliv je dostatečně znám. Podle přesných propočtů pracujících obvykle s nepřesnými údaji o geologických zásobách se v několika málo letech dostaneme do bodu představujícího polovinu vyčerpání (mid-term depletion point) zdrojů fosilních uhlovodíkových paliv. Od tohoto bodu bude nabídka fosilních paliv klesat současně s růstem jejich cen. Energetickou krizí naší civilizace, která by byla předznamenáním fáze úpadku, je nutno řešit již dnes včasnou diverzifikací a decentralizací zdrojů energie.

Jednou z cest je rozvoj obnovitelných energií, které jsou jako nefosilní přírodní zdroje charakterizované nevyčerpatelností a šetrností k životnímu prostředí. Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou převážně jaderného původu a k výrobě elektřiny a tepla, jako žádaných nosičů energie, je potřeba dalších transformací, Tab. 1. Tyto zdroje představují na jedné straně ohromný potenciál, na druhé straně se jedná o rozptýlené, nevhodně alokované a obtížně využitelné formy. Zatím obtížně naplňují i požadavky kladené na velkou energetiku (konkurenceschopnost, spolehlivost dodávky, kontinuita výroby, ekonomická návratnost).

Tab. 1 Převážně jaderný původ obnovitelných energií

zdroj primární energie	sekundární energie
jaderná fúze atomů vodíku v jádru slunce	sluneční záření, energie větru, vody, vzduchu, biomasy, bioplynu
radioaktivní rozklad těžkých prvků v zemské kůře	geotermální energie
gravitace a pohyby planet	energie přílivu, odlivu

I přes vládní podpory a konkrétní příklady radikálního snížení nákladů (solární články, větrné turbíny) nelze v blízké budoucnosti (20 let) očekávat řádový růst podílu konkurenceschopných způsobů využití OZE. Samotné soustředění úsilí na nejlevnější řešení pro OZE mohou navíc vést k mnoha konfliktům, zejména v oblastech citlivých z hlediska životního prostředí. Existují například obavy z vizuálního dopadu větrných farem v malebných krajinných scénériích, jejichž důsledkem je pořádání místních referend proti stavbě. Necitlivé umístování a rozvoj obnovitelných zdrojů škodících životnímu prostředí jako jsou velké hydroelektrárny, monokulturní biomasa velkého měřítka a některé geotermální stanice mohou působit škody jak místnímu životnímu prostředí, tak i nadějí na pokračování a rozvíjení veřejné podpory pro obnovitelné zdroje. Přes nevýhody zasluhují obnovitelné zdroje energie více pozornosti, neboť počet instalací v budoucnosti poroste.

Alternativní zdroje energie (AZE) chápané jako alternativa k současným centralizovaným velkým zdrojům spalujících neupravená fosilní paliva či k současným jaderným reaktorům druhé generace nabízejí ještě větší diverzifikaci. Za měřítko se klade optimální technické řešení s vysokou účinností, nízkou emisí skleníkových plynů, vysokým využitím instalované kapacity, užitím zušlechtěných paliv s nižším obsahem uhlíku na jednotku energie a hybridních a integrovaných technologií ve spojení s OZE.



1.1 Přehled obnovitelných zdrojů ve světě

Globální instalovaný výkon obnovitelných zdrojů energie ve světě dosáhl roce 2005 160 000 MW, což představuje asi 4 % instalovaného výkonu všech elektráren. Toto číslo nezahrnuje podíl výroby ve velkých vodních přehradách (činící ve stejném roce 16 %), které se ve statistikách OZE zásadně neuvádí. Z hlediska dopadů na životní prostředí totiž nelze velké vodní elektrárny považovat za šetrné. Podíl na celkové výrobě elektřiny statistiky neuvádí. V důsledku nízkého ročního využití instalovaného výkonu zařízení využívajících čistě obnovitelných zdrojů, Tab. 2, lze podíl odhadnout na méně než 2 %. Vyšší čísla odrážejí lokality s přirozenou koncentrací zdrojů, jako například západní pobřeží Evropy (větrná energie) či sever Afriky (sluneční energie).

Tab. 2 Roční využití instalovaného výkonu K energetických zdrojů

zdroj energie	větrné	sluneční	vodní	biomasa	uhelné	jaderné
K %	15-30	10-40	30-50	40-60	50-80	50-85

Nejrychlejší rozvoj výkonu zaznamenaly celosvětově fotovoltaické panely, dodávající elektřinu vyrobenou ze slunečního záření do sítě. V období 2000 – 2004 zvyšovaly instalovaný výkon o 60 % ročně a dnes pokrývají střechy 400 000 budov, hlavně v Japonsku, Německu a v USA. Druhým nejdynamičtěji se rozvíjející technologií jsou větrné elektrárny, kde meziroční růst činil 28 %. Nejvíce jich funguje v Německu, kde instalovaný výkon v roce 2004 dosáhl téměř 17 000 MW. Výroba biopaliv (etanolu a bionafty) překročila v roce 2004 objem 33 miliard litrů, což je asi 3 % světové spotřeby paliv v dopravě. Největší podíl etanolu v dopravě připadá tradičně na Brazílii, kde jej využívá 44 % vozidel s benzínovým spalovacím motorem. Více jak polovina z 1,7 milionu přímých pracovních míst v oblasti obnovitelných zdrojů (výroba, provoz a údržba) připadá na výrobu biopaliv. Solární kolektory pro ohřev vody využívá celosvětově 40 milionů domácností, z toho nejvíce jich je v Číně. V provozu jsou 2 miliony instalací tepelných čerpadel. Spalováním biomasy se vyrábí pětkrát více tepla než solárními kolektory a tepelnými čerpadly dohromady.

Politické cíle v rozvoji OZE přijalo všech 25 členských států EU, a také mnoho států v USA a v Kanadě. Většina cílů stanovuje podíl OZE na výrobě elektřiny, v horizontu let 2010 – 2012 se pohybují od 5 do 30 %. Prostředkem k naplnění těchto cílů je státní podpora systémem pevných výkupních cen elektřiny z OZE, který do roku 2005 zavedlo již 32 zemí. Díky zlepšujícím se technologiím a rostoucímu měřítku výroby se náklady na produkci energie z obnovitelných zdrojů se snižují. Na straně druhé působí státní podpory životnímu prostředí významné změny, zvláště v oblasti podpory alternativních paliv. Zvýšená produkce monokultur energetických plodin zatěžuje zdroje vody, zvyšuje ceny potravinářské produkce, rekultivaci nových ploch na pěstování potřebných plodin dochází ke ztrátě cenných biotopů.

1.2 Obnovitelné zdroje v ČR

V České republice směřuje vládní podpora na splnění indikativního cíle podílu elektřiny z OZE na hrubé spotřebě elektřiny ve výši 8 % v roce 2010. Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie č. 180/2005 Sb. znamenal pobídku a jistotu ekonomického prostředí pro podnikatele do využití energie větru, slunečního záření, vody, půdy, vzduchu, biomasy, skládkového plynu, kalového plynu, bioplynu a geotermální energie.

Současný stav je odrazem malé nabídky OZE na našem území a realizačního vystřízlivění po počátečním nadšení. Přehled výroby elektřiny za rok 2005 je s pomocí oficiální statistiky MPO z 21.9.2006 uveden v Tab. 3. Podíl OZE na hrubé výrobě elektřiny tak činil 3 % v roce 2005 a 4,5 % v roce 2006. Při započtení pouze malých vodních elektráren (MVE) byla výroba z životnímu prostředí šetrných zdrojů pouze 1,7 % (2005) a 3,2 % (2006). Indikativní cíl pro rok 2005 (5-6 % z OZE) tak nebyl naplněn a málokdo již věří, že je možné v roce 2010 vyrábět 8 % elektřiny. Některé prostředky k dosažení nadsazených cílů, jako spoluspalování biomasy s uhlím, způsobily rozkolísání cen biomasy,

Alternativní zdroje energie

kteřá jinak představuje největší potenciál z OZE v podmínkách ČR. Často protichůdné zájmy výrobců potravin, alternativních motorových paliv, provozovatelů spalovacích zařízení ruku v ruce s daňovými úlevami v okolních státech způsobují, že této suroviny není na českém trhu prozatím dostatek.

Tab. 3 Výroba elektřiny v roce 2005 (MVE – malé vodní elektrárny)

Výroba elektřiny 2005	GWh	%
Uhelné elektrárny	52 137	63,1
Jaderné elektrárny	24 728	29,9
Paroplynové a plynové	2 665	3,2
OZE-Hydroenergetika	2 380 (MVE 1 071)	2,9 (MVE 1,3)
OZE-Biomasa, bioplyn, odpady	731	0,09
OZE-Větrné elektrárny	21	0,03
OZE-Sluneční elektrárny	0,4	0,0005

Přes optimistické scénáře, které počítají do roku 2050 (2100) se stoprocentním zásobením Evropy a ČR z OZE, je nutné zmínit fakt, že nabídka OZE závisí především na geografické poloze každého státu. V České republice je míst přirozené koncentrace OZE v porovnání s nejbližšími sousedy málo; menší počet vhodných lokalit pro stavbu větrných elektráren, omezenější geotermální zdroje, z větší části vyčerpaný potenciál hydroenergetiky. Nepříliš povzbudivě vynívá i bilance nabídky OZE na území ČR pomocí software SimulOZE[1]. Za použití současné techniky je možné pokrýt energetickou potřebu ČR obnovitelnými energiemi pouze do 31% a to ještě za předpokladu, že se ekonomika bude přednostně orientovat na solární architekturu a nízkoenergetické domy.

I při velmi optimistickém růstu instalovaného výkonu obnovitelných zdrojů nebudou tyto schopné pokrýt přírůstky spotřeby, natož výrazně nahradit stávající fosilní a jaderné zdroje. To uvádí i analýza možností obnovitelných zdrojů energie v Evropské unii (Zelená kniha). Přesto je nutná jejich podpora všude tam, kde jejich využitelný potenciál přispívá k energetické soběstačnosti. Soběstačnost ve výrobě energií tak může do budoucna uspokojit pouze široce diverzifikovaný energetický mix, přičemž glorifikace některého zdroje a ztracování jiných není na místě.

1.3 Nejčistší tepelná energie – nevyrobená, ale zachycená z okolí

Nejčistším a zároveň nejlevnějším zdrojem energie bude v našich klimatických podmínkách maximalizace tepelných zisků z okolí. Návratnost investic do cíleného zateplování stávajících budov se bude zvyšovat se růstem cen energií. U nových budov se orientace na solární architekturu a nízkoenergetické domy s vícezdrojovými nízko teplotními vytápěcí systémy (tepelná čerpadla, solární přitápění) stává téměř nutností. Osluněné části budov bude výhodné osazovat průhlednou izolací, která snižuje tepelné ztráty transmisí a reflexí, Obr. 1. Tepelné zisky se v místnosti za zdí projeví po západu slunce s několikahodinovým zpožděním. Bude však nutné vyřešit systém odstínění v případě příchodu vlny veder.

2. Alternativní zdroje na bázi zemního plynu

Proměna evropské elektroenergetiky je pro nejbližší budoucnost plánovaná s použitím zemního plynu. Velké elektrárny budou více nahrazovány menšími, čistšími formami výroby elektrické energie. Ty budou umístěny blíže k zákazníkům, například na okrajích měst či v jednotlivých výrobních podnicích, čímž se postupně sníží potřeba a zatížení přenosových soustav. V nově se rozvíjející jednotné evropské energetické soustavě se plynovody, resp. spolehlivost dodávek plynu stanou pro dodávky energie důležitější než elektrické přenosové sítě. Úloha plynu v budoucnu poroste tak, jak se budou rozšiřovat sítě evropských tranzitních plynovodů do oblastí bohatých na plyn (Severního moře a Rusko). Tyto oblasti představují více než 70 % světových zásob zemního plynu.

Nové kogenerační technologie s krátkou dobou výstavby (12 – 18 měsíců) umožní u některých forem výroby elektřiny ze spalování plynu dosahovat účinnosti 65-75 %, při současném využití tepla až 90 %. Kogenerace vede ke snížení ceny paliva a vytváří nejnižší emise uhlíkatých látek na jednotku výkonu. Cílem je zvýšit podíl kogenerace na dodávkách elektřiny uvnitř EU z 9 % na 18 % do roku 2010. Perspektivní je taktéž použití zemního plynu v palivových člancích, které nabízejí ještě výhodnější poměr vyrobeného proudu ku teple. Články dodávané na trh jsou určeny jako domovní kotelny, vyráběný proud se prodává především do sítě. Využití těchto zařízení je lákavé, například polská vláda zvažuje, zda očekávanou potřebu elektřiny bude krýt výstavbou jaderné elektrárny, nebo pomocí palivových článků.

2.1 Čisté energetické technologie

Moderní uhelné technologie s nadkritickými bloky jsou dnes schopny zajistit výrobu elektřiny s účinností až 50 % (starší 35 %), kdy tlak pracovní látky se pohybuje v rozmezí 25-35 MPa a teploty kolem 600 °C (ultra-kritické výhledově až 700 °C). Stále však existuje problém s oxidem uhličitým jako skleníkovým plynem. I přes pokročilé technologie monoethanolaminové vypírky by náklady na jeho separaci ze spalin pohltily asi 35 % vyrobené energie. Jednodušší separaci nabízí čistá energetická technologie CES [2] (Clean Energy System), používající jako palivo zemní plyn (v budoucnu plánovaná jako vícepalivová), Obr. 2. Ten je spalován spolu s kyslíkem v trubkovém reaktoru. Teplota v reaktoru je řízena množstvím vstříkované vody. Z generátoru paroplynové směsi vystupuje směs vodní páry a oxidu uhličitého, která expanduje v turbíně. V kondenzátoru se obě složky přirozeně oddělí. Oxid uhličitý bude zapotřebí uložit tak, aby spolehlivě setrval v úložišti co nejdéle, minimálně jedno století. K využití se nabízejí vyčerpaná ložiska ropy a zemního plynu, hlubinné zásobníky slané vody a dna oceánů.

2.2 Systémy V2G (Vehicle-To-Grid)

Skloubit nestabilitu výroby elektřiny s akumulační schopností automobilů se podaří až při rozšíření systémů V2G [3]. Rozvodná síť nemá v podstatě žádnou zásobu (s výjimkou malé zásoby v přečerpávacích elektrárnách) takže výroba a rozvod výkonu musí být nepřetržitě upravován tak, aby pokryl nerovnoměrnou poptávku ze strany uživatelů sítě. To je dnes dosahováno připojováním a odstavováním velkých generátorů nebo častou fluktuací jejich výkonu. Na druhé straně představují osobní auta energetické systémy s dostatečně silným zásobníkem, který využívají pouze ze 4 % času pro transport osob. Při provedení aut jako hybridní systémy s elektromotorem a následném připojení na síť mohou až 96 % zbývajících času stabilizovat svoji akumulátorovou kapacitou rozvodnou síť, viz Obr. 3. V budoucnu by účinný palivový článek na palubě či fotovoltaický systém na střeše domu mohl znamenat i kladnou celkovou bilanci vyvedení výkonu do veřejné sítě.

2.3 Integrované a hybridní solární technologie

Dnešní solární energetika, určená pro jižní státy, je založená na principu koncentrace slunečního záření pomocí natáčecích lineárních parabolických zrcadel. Zrcadla soustředí sluneční záření na potrubí nebo nádrže obsahující plyné nebo kapalně médium ohřívané na teplotu kolem 400 °C. Horká pára potom pohání klasické turbíny, napojené na generátory elektřiny. Hybridní solární technologie umožňují pokrývat výpadek solární energie v nočních hodinách rekuperací tepla z akumulátoru a spalováním zemního plynu, čímž se dosáhne konstantní výrobní kapacity. Druhá generace solárních systémů využívá plochých natáčecích zrcadel (heliostatů). Ty koncentrují záření do výměníku, kde se přehřívá vzduch až na teploty 1000 °C.

Dvě konkurenční technologie s jednoduchou (SRC) či dvojitou transformací tepla (ISCC) v plynovém a parovodním oběhu jsou uvedeny na Obr. 4:

1. Solární Rankinův cyklus-SRC (více druhů paliv s vyšším podílem solárního tepla),
2. Integrovaný solární kombinovaný cyklus-ISCC (pouze plyného palivo, ale vyšší účinnost)

3. Evropa má problém – chybí jí energie

Varovné signály z posledních dvou let upozorňují, že v budoucnosti nemůžeme spoléhat na bezproblémové dodávky levné elektřiny, ropy nebo plynu. Míra závislosti EU na dodávkách energie neustále roste. Již nyní dosahuje více jak 50 % veškeré spotřeby a předpokládá se, že do roku 2030 vzroste až na 64 %. V případě některých surovin mnohem více: zemní plyn 84 % a ropa až 93 %. Členské země EU jsou závislé na rozhodnutí velkých korporací typu ruského Transněftu. Rusko navíc stále častěji používá své nerostné bohatství k prosazení svých geopolitických zájmů a dodávky z jiných oblastí ovlivňuje nestabilní geopolitická situace. Energetická politika EU sice existuje, je však rozdrobená a zatím neschopná nabídnout svým občanům přístup k levnější a čistší energii. Česká republika je jako jedna z mála v regionu energeticky soběstačná a ochotná nabídnout občasné přebytky na energetické burze. Tento stav však nebude trvat věčně vzhledem k nedostatečné obnově technologického parku.

4. Alternativní jaderné technologie

Podle Mezinárodní agentury pro energii přibude ve světě k současným 440 jaderným reaktorům během patnácti let skoro 170 nových. Jenom Čína jich plánuje na čtyřicet. Poptávka po uranu, z něhož se vyrábí palivo pro jaderné elektrárny, rychle stoupá. Důvodem mohou být stoupající ceny ropy, plynu či uhlí a také tlak na snižování emisí. Nelze zcela vyloučit ani možný "uranový kartel". I přes určité zpomalení výstavby nových bloků výroba energie z jaderných elektráren roste v důsledku zvyšování výkonu nad původní projektovou mez a zlepšené spolehlivosti provozu [4]. Využitím instalované kapacity, s nárůstem ze 71 % v r. 1990 na 84 % v roce 2002, tak jaderné reaktory představují nejstabilnější zdroj pro pokrytí základního zatížení sítě.

Pro první roky 21. století má jaderná technika připraveny modifikované tlakovodní a varné jaderné reaktory III. generace. Další generace musí prokázat efektivnější využití paliva a musí mít přijatelněji dořešený konec palivového cyklu při plánované životnosti až 60 let.

V rozmezí let 2010 až 2030 dojde k výraznému zdokonalení šesti typů reaktorů:

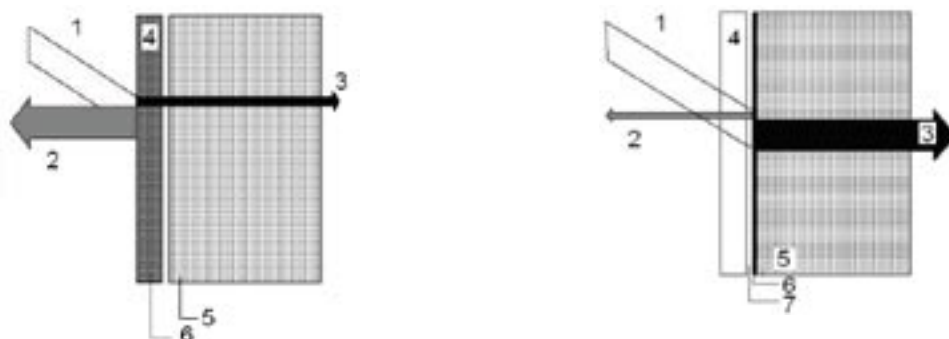
1. rychlý reaktor chlazený tekutým sodíkem (BN -800),
2. rychlý reaktor chlazený tekutým olovem (ATR),
3. rychlý reaktor chlazený plynem,
4. reaktor chlazený tekutou fluoridovou solí,
5. vysokoteplotní reaktor chlazený vodou,
6. vysokoteplotní reaktor chlazený heliem.

Jaderná energetika má ve výhledu i převratné typy reaktorů s podkritickým množstvím paliva, které se budou udržovat v chodu pomocí urychlovačů, Obr. 5. Předpokládá se, že štěpení a transformace by mohly pokračovat, dokud nezmizí všechny dlouhodobé radioaktivní prvky. Radioaktivita zbylého odpadu by pak během pár desítek let poklesla na úroveň materiálů, jež nás běžně obklopují. Tento odpad by tedy nebylo nutné ukládat do hlubinných jaderných úložišť. Celý cyklus včetně úplného zneškodnění paliva by trval zhruba 100 let. Neznamena to ovšem, že se takto lze zbavit veškerého odpadu. Mezi jaderný odpad s dlouhým poločasem rozpadu by patřilo i zařízení primárního okruhu, které by takto zlikvidovat nešlo. Reaktor ATR (advanced transmutation reactor) je koncept s použitím cyklotronu jako zdroje vysoce energetických protonů, ^{232}Th jako paliva, a Pb jako primárního chladiva. Intenzita reakce je tedy zcela regulována výkonem urychlovače a v každém okamžiku je možné reakci zastavit jeho vypnutím bez potřeby regulačních tyčí. Výhodou reaktoru je též možnost spalovat i přebytky plutonia (z válečného arzenálu) či odpad produkovaný současnými reaktory. Vlastní provoz reaktoru spotřebuje jen asi čtvrtinu uvolněné energie, zbytek lze využít na výrobu elektřiny. Zásoby thoria jako paliva se odhadují na tisíce let.

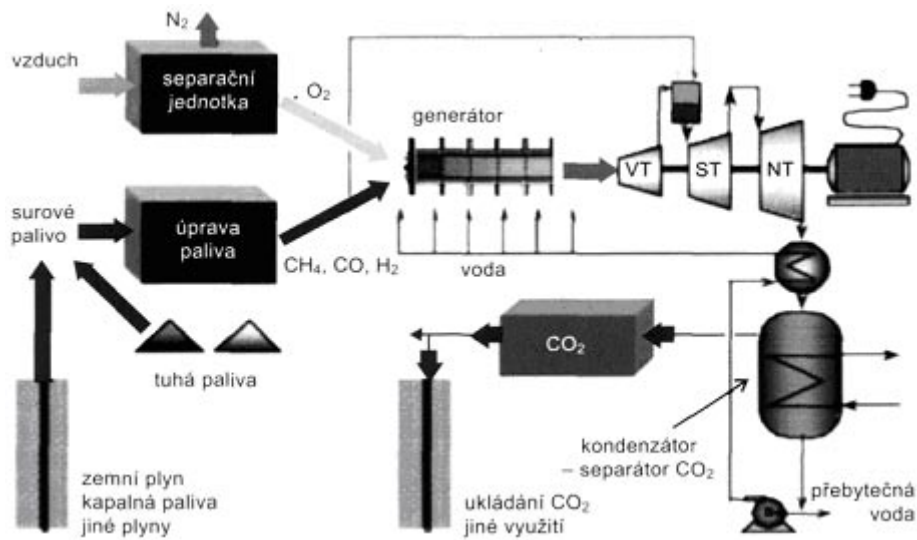
Asi nejdále od praktické realizace je technologie jaderné fúze atomů vodíku bez vzniku vysoce radioaktivních odpadů stejně, jako se to děje ve Slunci. Mezinárodní experimentální reaktor ITER na obr. 5, budovaný ve Francii, má prokázat, jestli je to možné. Všem pochybovačům o smyslu a financování této technologie je třeba neustále připomínat, že při spalování jakkoliv ekologických paliv (biomasy, biolihu, bioplynu, vodíku) se uvolní pouze jedna miliardtina procenta (10^{-9} %) energie ukryté ve hmotě. Jaderným štěpením se využije 0,1% a jadernou fúzí již 1% energie. A abychom nešli do přílišných extrémů. Na technologii anihilace (reakci hmoty a antihmoty), kdy se uvolní 100% energie, bychom si zatím měli nechat zajít chuť.

Literatura

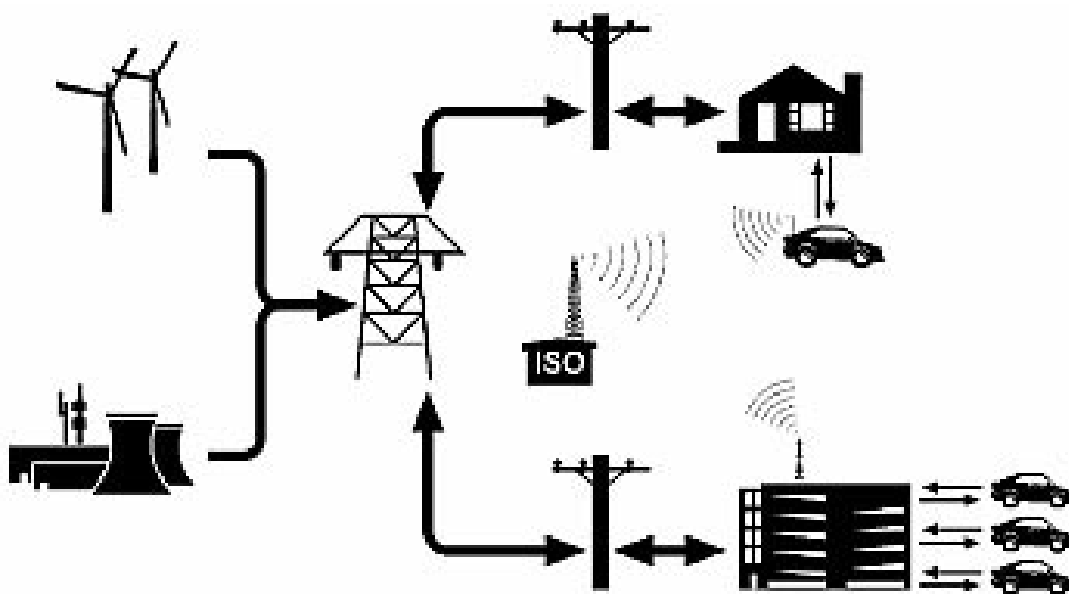
- 1 Štěrbá M.: <http://www.eurosolar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2005010402>, 10.4.2007
- 2 <http://www.cleanenergysystems.com/technology.html>, 2006
3. Willett Kempton, Jasna Tomić; Journal of Power Sources, 144 (1), 280-294, 2005
4. Drábová D.: Vesmír 85, 585-589, 2006



Obr. 1 Tepelné toky při oslunění klasického a průhledného izolačního systému (vpravo), 1-zářivý tok, 2-tepelná ztráta transmisí a reflexí, 3-tepelný zisk, 4-klasická (tmavě) a průhledná izolace, 5-zdivo, 6- větraná mezera (opčně), 7-absorpční vrstva (opčně)

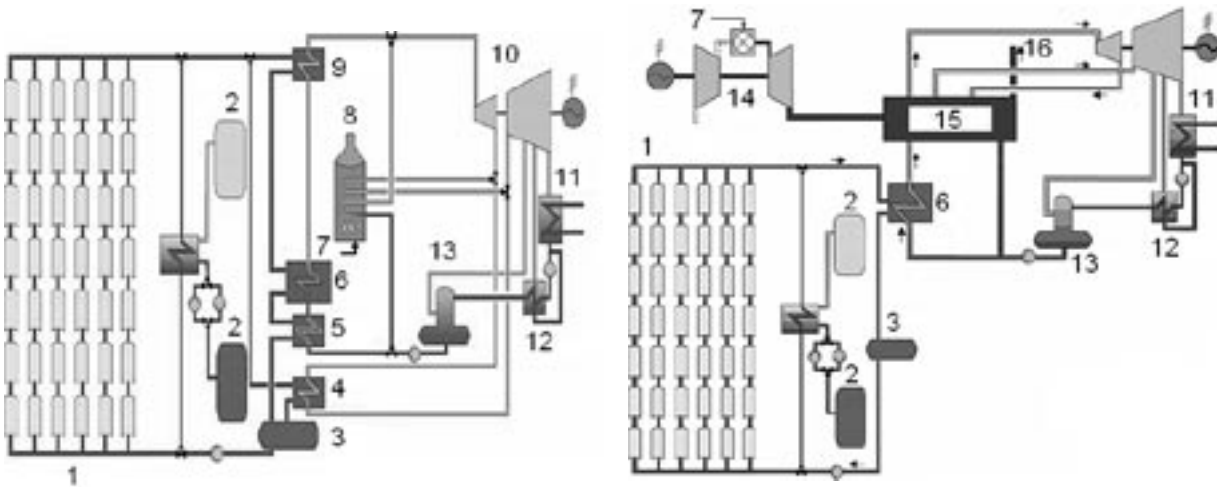


Obr. 2 Systém CCS se zplyňovací jednotkou, generátorem paroplynové směsi a separací CO_2

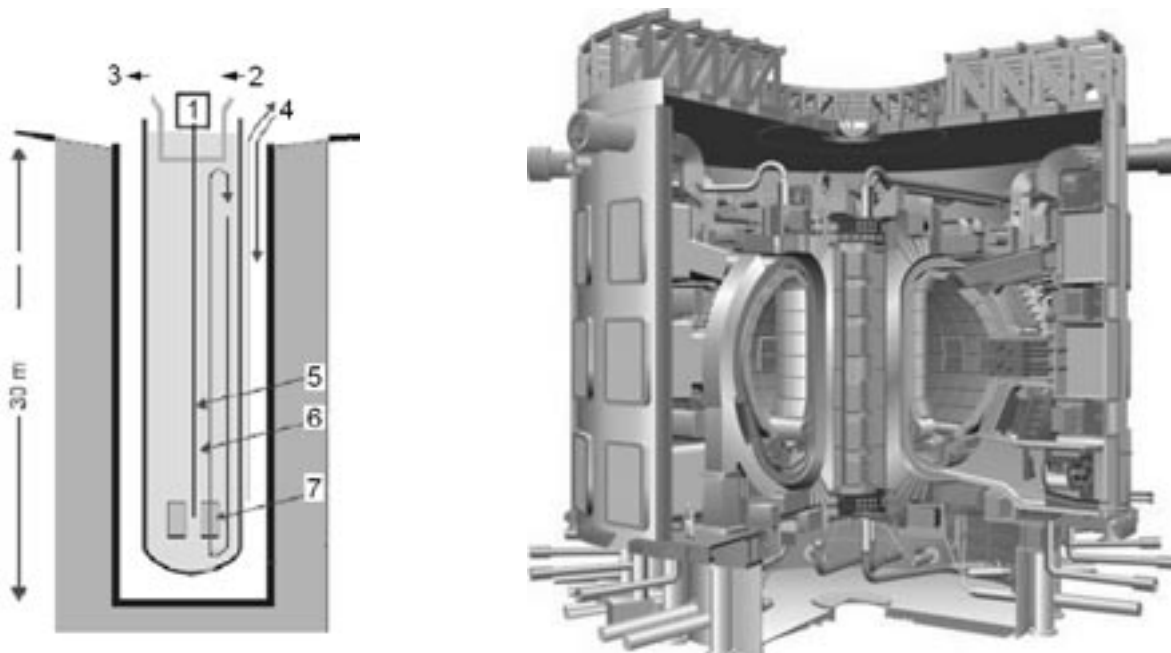


Obr.3 Připojení elektromobilů (vznik akumulční kapacity) je bezdrátově signalizováno do dispečinku rozvodné sítě

Alternativní zdroje energie



Obr. 4 Schéma hybridních solárních systémů SRC a ISCC (vpravo), 1-pole parabolických koncentrátorů, 2-akumulace tepla, 3-expanzní nádoba, 4-přehřívák páry, 5-solární ohřívák vody, 6-výparník, 7-palivo, 8-kotel, 9-přehřívák, 10-panní turbína, 11-kondenzátor, 12-NT ohřívák, 13-deaerátor, 14-plynová turbína, 15-kotel na odpadní teplo, 16-spaliny



Obr. 5 Schéma podkritického ATR reaktoru a řez jaderně fúzním reaktorem ITER (vpravo), 1-protonový urychlovač, 2-sekundární vodní oběh, 3-pára k turbíně, 4-vzduch, 5-kanál protonového svazku, 6-primární oběh roztaveného olova, 7-jádru s thoriovým palivem



Sergej Skoblja

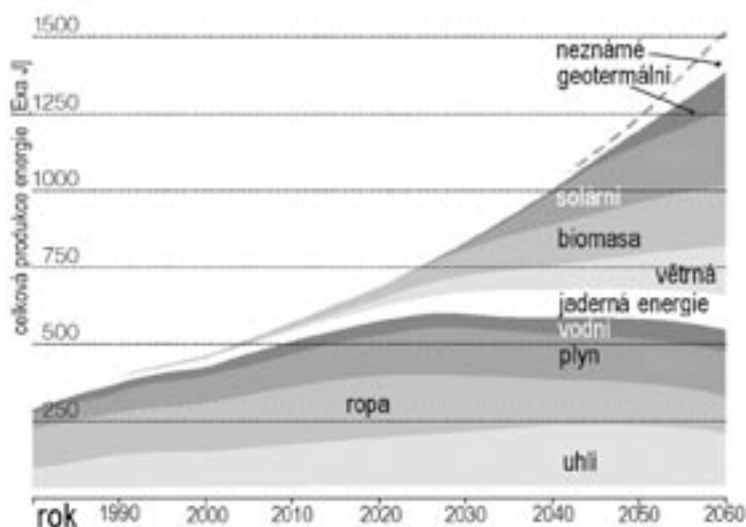
Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha
Technická 5, 166 28 Praha 6
e-mail: skobljas@vscht.cz (skoblik@seznam.cz)

Martin Vosecký

Ústav chemických procesů AVČR, v.v.i.,
Rozvojová 2/135, 165 02 Praha 6-Suchbát
e-mail: vosecky@icpf.cas.cz

1. Úvod

Rozvoj lidské civilizace během posledních sta let probíhal velmi rychlým tempem a byl vždy spojen s produkcí a spotřebou energie. Vývoj a aplikace moderních technologií a inovační činnost v průmyslové výrobě umožnily dosáhnout zvýšení celkové účinnosti výroby a snížení měrné spotřeby energie. Požadavky na množství energie v celosvětovém měřítku přesto stále stoupají a budou stoupat i nadále. Hlavní příčinou je rostoucí populace planety Země, stoupající životní úroveň a s ní i kvalita lidského života.



Obr. 1. Vývoj celosvětové produkce energie

(1 ExaJ = 10^{18} J = 23,885 Mt_{oe}, energetický obsah 1 Mt_{oe} „megatuny ropného ekvivalentu je definován jako 41,868 Petajoulů (1 PJ = 10^{15} J))¹

Dosavadní vývoj ukazuje na stálou převahu fosilních paliv mezi základními zdroji energie (cca 70%). Současné prognózy budoucího vývoje produkce energie se liší v odhadech celkového množství, avšak shodují se v tom, že očekávaný nárůst nemůže být dosažen pouhým zvýšením spotřeby fosilních paliv. Část odborníků se přiklání k optimistickému názoru, že v perspektivě 40 až 50 let lze fosilní paliva částečně nahradit obnovitelnými zdroji energie (OZE). Tato koncepce je podrobně diskutována v tzv. „Bílé knize“, ve které je uveden odhad celosvětové produkce primární energie (obr. 1)¹. Už v r. 2020 by mohlo 20 % celosvětové produkce elektrické energie pocházet z OZE a v r. 2050 celých 50 %. Zda jsou tyto prognózy pravdivé, ukáže jen čas.

Mezi hlavní formy OZE patří: bioenergie, geotermální energie, vodní energie, větrná a sluneční energie. Energie



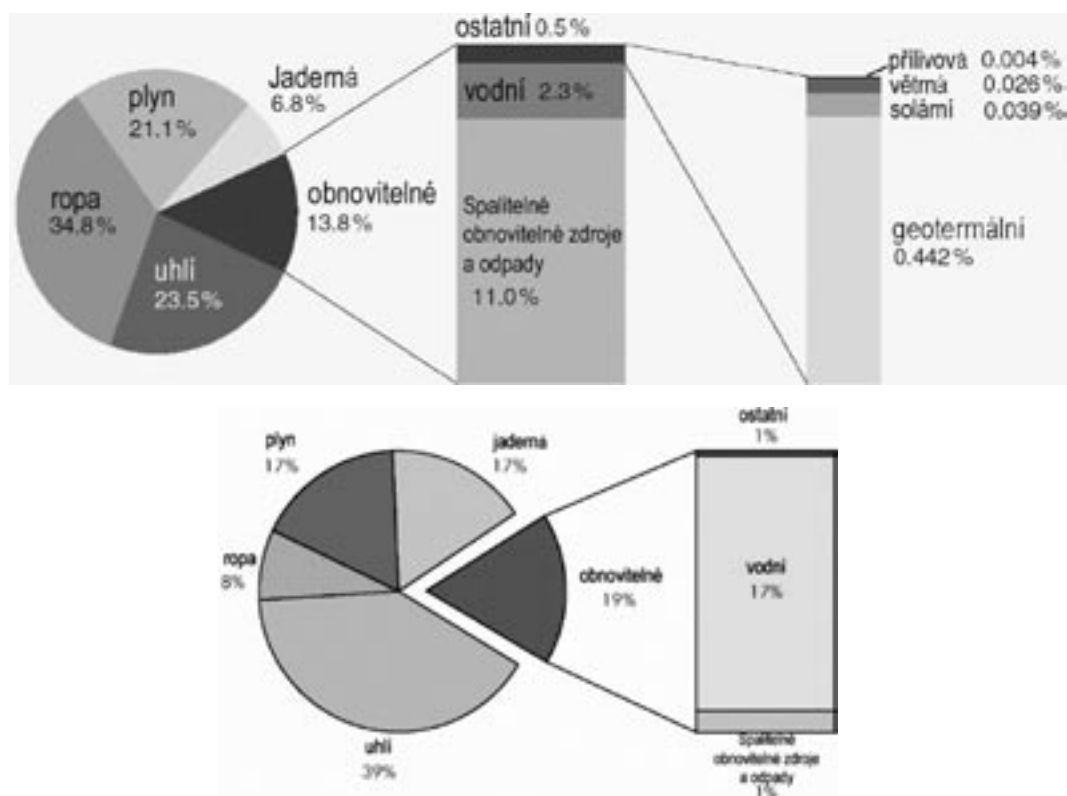
Perspektivy a problémy výroby energie z biomasy

produkovaná různými způsoby z biomasy je nazývána "bioenergií". V důsledku své geografické polohy Česká republika má nízký potenciál vodní, větrné a sluneční energie, proto hlavním zdrojem OZE je v ČR bioenergie zastoupená hlavně biomasou.

2. Využití obnovitelných zdrojů energie

Stupeň současného využití jednotlivých druhů OZE v celosvětové produkci energie je odlišný. V roce 2000 tak činila celková výroba primární energie 9958 Mt_{Oe} (obr. 2)².

Podíl jednotlivých druhů OZE na celosvětové produkci elektrické energie v roce 2000 byl odlišný. Jak je vidět, energie obsažená v biomase se převážně využívala pro výrobu tepla (11 %) a jen z 1 % se podílela na výrobě elektrické energie. Podíl OZE na celkové produkci energie v ČR byl v roce 2002 cca 1,9 %, což bylo pod celosvětovým a celoevropským průměrem. Podíl OZE v EU ve stejném období byl 6 % a měl by v roce 2010 dosáhnout 11 %, hlavním zdrojem je energie biomasy a hydroenergie.



Obr. 2. Podíl OZE na celosvětové produkci energie v roce 2000 (primární – nahoře, elektrická – dole)²

V souladu se Směrnicí 2001/77/ES se ČR zavázala do r. 2010 zvýšit podíl OZE ve výrobě elektrické energie na 8 % a do r. 2030 na 20 %. Biomasa v podmínkách ČR stává se hlavním zdrojem pro splnění těchto závazků. Z výše uvedených údajů lze odvodit tyto závěry:

- biomasa je málo využívána pro výrobu elektrické energie a právě zde se skrývá její značný potenciál,
- nízký podíl ve výrobě elektrické energie ukazuje na existenci objektivních překážek omezujících výrobu elektrické energie ve větším měřítku.

Zjištění těchto překážek a definice problémů spojených s jejich překonáním je hlavním klíčem vedoucím k úspěšné aplikaci biomasy ve výrobě elektrické energie. Hlavní problémy lze shrnout do dvou základních skupin:

- odlišné vlastnosti biomasy ve srovnání s uhlím, mezi které patří nízká plošná hustota zdrojů biomasy, problematic-

ká dostupnost, vysoké náklady spojené se skladováním, manipulací a dopravou zvyšují cenu biopaliv.

- využití obrovského potenciálu biomasy znemožňuje nedostupnost levných technologií vhodných pro efektivní a decentralizovanou výrobu elektrické energie.

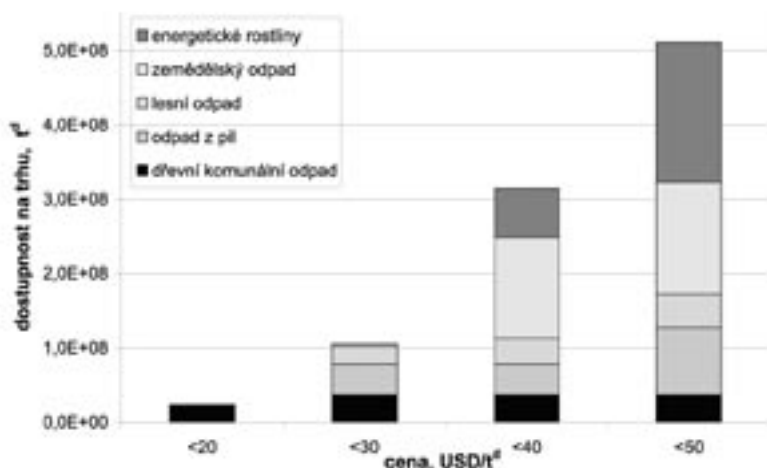
Podstatně komplikovanější je situace v oblasti výroby náhradních kapalných a syntetických paliv z biomasy spojena s nutností stavby velkých zpracovatelských jednotek a zajištěním dostatečného množství vstupní suroviny. Analýze a optimalizaci těchto problémů jsou věnované následující kapitoly.

3. Cena a dostupnost biomasy

V ČR je k dispozici cca 16 mil. m³ dřevní hmoty⁴, 2 mil. tun slámy, cca 1 mil. tun řepkové slámy, potenciál energetických plodin se odhaduje na 40 mil. tun³. Jako palivo je využíváno hlavně dřevo z lesních porostů a odpady z dřevozpracovatelského průmyslu ve formě pilin a štěpky⁵. Intenzivní využívání zbytkového dřeva se projevilo v ČR jeho rostoucí spotřebou a to z 0,9 mil. tun v r. 1996 na 1,5 mil. tun v r. 1999. Je však zřejmé, že dnes tento potenciál je již skoro vyčerpán. Teoretický potenciál energetické biomasy pěstované v ČR lze vypočítat ze střední roční výnosnosti pěstovaných plodin a velikosti volné půdy. V ČR leží ladem asi 0,5 mil. ha půdy. Pro naplnění cílů roku 2010 by stačilo využít asi polovinu této plochy. V horizontu 30 let lze využít až 1,5 mil. ha, tj. asi 35 % podílu zemědělské půdy v ČR. Současný ekonomický potenciál energetické biomasy (r. 2004) se odhaduje na 2 738 tis. tun, dostupný na 9 037 tis. tun, technický na 18 348 tis. tun a teoretický až na 27 385 tis. tun⁴.

Praktická využitelnost tohoto obrovského potenciálu je zásadním způsobem ovlivněna dostupností biomasy a hlavně její cenou. Odpady ze zemědělství a odpadní dřevo ze zpracovatelského průmyslu a lesního hospodářství jsou levné, ale jejich množství jsou omezená. Jejich potenciál je dnes zpravidla vyčerpán, a proto další zvýšení poptávky automaticky vede ke zvýšení ceny. Odhad ceny pěstované biomasy uvádí rozsáhlá studia provedená v USA (obr. 3)⁵. Cenu ovlivňuje jak stav současného využití daného druhu biomasy, tak i náklady spojené s produkcí (pěstování, sklizeň, úprava před použitím a skladování). Proto zdroje biomasy jsou rozděleny do několika kategorií. K levným (<30 USD.t⁻¹) patří nevyužitá a málo hodnotná materiálu: městský dřevní odpad, odpady z lesního hospodářství (mrtvé stromy, zbytky po těžbě, nekvalitní dřevo) a dřevařský odpad nevyužitý k jiným účelům. Na jejich ceně se podílí hlavně náklady spojené s manipulací (těžba, sběr a doprava). Vyšší cena dřevařského odpadu je způsobena jeho současným využitím k výrobě celulózy a jiných dřevních materiálů. Zemědělským odpadem je rostlinná hmota vznikající při pěstování obilnin (v USA zejména pšenice a kukuřice). Do kategorie energetických rostlin jsou zařazeny rychle rostoucí dřeviny (RRD) a traviny (RRT). Právě tyto dvě skupiny jsou hlavními kandidáty na navýšení produkce biomasy nutné pro zvýšení výroby energie a náhradních syntetických paliv.

Obr. 3. Dostupnost biomasy v USA v závislosti na ceně (r. 1999)⁵



Perspektivy a problémy výroby energie z biomasy

Ceny biopaliv dostupných v EU a ČR jsou v důsledku jiných hospodářských podmínek poněkud vyšší, přesto i zde jsou pozorované podobné trendy v jejich vývoji⁶.

Tab. 1 Vybrané energetické rostliny a jejich srovnání s fosilními palivy⁶

Druh rostliny	Cena [1/t ^d]	Q _s [MJ.kg ⁻¹]	Výnosy [t ^d .ha ⁻¹]
Hybridní topol (Populus)	32,9/42,3 USD (U) ² 2200 Kč (C)	18,7-19,2	15(U)1
Vrba (Salix)	31,7/43,9 USD (U) ² 1800–2200 Kč (C)	18,2-19,0 19,5	12(U) 4–5 (S)
Proso prutnaté (Panicum virgatum)	30/402 USD (U)	18,0	10(U) 7,1 (C)
Šťovík energetický (Rumex patientia)	900–1500 Kč (C)	17,8-19,2	21 (C)
Súdánská tráva (S. vulgare var. sudanense)		18,1	10–20 (C)
Sloní tráva (Miscanthus sinensis) ³		18,0	10–18 (C)
Hnědé uhlí	1000–1200 Kč (C) ⁴	14,5-20,0	
Černé uhlí	2400–3600 Kč (C)	>27	

¹ průměrná dlouhodobě pozorovaná hodnota pro Spojené státy americké (U), Českou republiku (C), Švédsko (S)

² extenzivní pěstování v divoké přírodě/intenzivní zemědělství

³ pátý rok po výsadbě

⁴ cena nezahrnuje dovoz a DPH

Cena biomasy závisí na výnosnosti pěstovaných plodin, která je ovlivněna klimatickými podmínkami i způsobem pěstování a proto se údaje uváděné v literatuře často liší. Cena pěstované biomasy je kalkulována na základě teoretických výpočtů, praktické zkušenosti velkokapacitního pěstování energetických rostlin v ČR nejsou zatím dostačující. Vybrané údaje o výnosech nejperspektivnějších energetických rostlin a orientační ceny jsou shrnuty v tab. 1 a jsou vyšší než u fosilních paliv. Cena elektrické energie produkované prostřednictvím dnes známých technologií bude potom vyšší ve srovnání s pevnými fosilními palivy.

Využití biomasy za určitých podmínek však může být přijatelné a to kvůli strategickým a ekologickým aspektům, případně zvýhodněno aplikací vhodných dotací a bonusů. V budoucnu lze bezpochyby očekávat další nárůst ceny fosilních paliv, naopak pěstování energetických rostlin ve velkém je schopno zvýšit výnosnost energetických rostlin a postupně snížit jejich výrobní cenu. Pro budoucí produkci energetického dřeva se nabízí pěstování olší a topolů. Mezi energetické rostliny s velkým potenciálem patří miscanthus (sloní tráva) a žitovec. Miscanthus je energeticky využitelná víceletá travina z východní Asie, která při vysokých teplotách rychle roste. Její výnosy v závislosti na podmínkách se pohybují v rozmezí 15 až 25 tun suché hmoty na jeden hektar osázené plochy ročně.

Kladným příkladem využití biomasy je rozvoj evropského trhu s palivovými peletami a briketami na bázi biomasy. Jejich ceny jsou vyšší než u výrobků z fosilních paliv, přesto zájem o jejich využití v lokálních topeništích stoupá, zvláště ve státech EU. Cena pelet v roce 2003 se pohybují mezi 110 (ČR) až 210 (Švédsko) €/tunu a celková kapacita trhu dosáhla 3 mil. tun⁷.

4. Výroba energie z biomasy

Jak bylo zmíněno výše, obrovský potenciál biomasy (obr. 2) je málo využit pro produkci elektrické energie. Kritickou otázkou použití biomasy ve velkých zdrojích je nízká plošná hustota zdrojů samotné biomasy. Hlavní objektivní překážkou je nedostupnost vhodných technologií pro decentralizovanou výrobu elektrické energie z biomasy. Produkce

Perspektivy a problémy výroby energie z biomasy

elektrické energie pomocí parní turbíny je v malých zařízeních neekonomická vzhledem k relativně vysokým investičním nákladům na jednotku produkovaného výkonu. Proto spalování v malých a středních zdrojích je zpravidla omezeno pouze na výrobu tepla. Vyrobené teplo sice lze přímo transformovat pomocí Stirlingova motoru nebo plynové turbíny s uzavřeným cyklem na mechanickou práci, avšak pořizovací cena a účinnost těchto zařízení v současnosti není pro praktické uplatnění přijatelná.

Tab. 2. Přehled technologií vhodných pro výrobu elektrické energie z biomasy^{3,6}

Technologie	Stav vývoje *	Výkon [MW _e]	η_e [%]
Parní stroj	K	0,2-2,0	10-12
Parní turbína	K	0,5-240	15-40
Organický Rankinův cyklus	D,K	0,3-1,5	10-12
Šroubový parní stroj	D	0,02-1,0	10-12
Stirlingův motor ^{**}	D	<0,1	18-25
Pl. turbína s uzavřeným cyklem ^{**}	V	0,1-240	18-30
Spalovací motor	D	0,1-2,0	27-31
Spalovací plynová turbína	K	0,1-240	18-30
Mikroturbína	V	<0,1	15-25
Paroplynový cyklus (IGCC)	D	>10	40-55
Palivový článek	V	0,02-2,0	25-40
	D	0,3-30 ^{***}	40-60

* stav vývoje: V- výzkum a vývoj, D- demonstrační jednotky, K- konečné využívání

** lze využít různých zdrojů tepla

*** vysokoteplotní palivové články MCFC typu

5. Spalování biomasy a výroba energie

Klasické spalování v kombinaci s parní turbínou u velkých jednotek nemůže dosáhnout účinnosti srovnatelné se spalováním fosilních paliv kvůli nižším teplotám v kotli a menšímu přehřátí vodní páry na teplosměnných plochách. Vysoký obsah alkalických kovů v kombinaci s přítomností chloridů u některých druhů biomasy znamená zvýšené nebezpečí tvorby úsad, které vedou ke korozi v ohništi a na teplosměnných plochách. Vysoký obsah prchavé hořlaviny vyžaduje speciální úpravu spalovacího prostoru a seřízení primárního a sekundárního vzduchu. Špatná konstrukce a nevhodné podmínky spalovacího procesu mohou vést ke zvýšení emisí některých škodlivin (CO, VOC, polyaromatické uhlovodíky, PCDD/F).

Biomasa je přesto často spalována společně s uhlím ve stávajících elektrárenských kotlích, kdy při obsahu do 20 % hm. příznivě ovlivňuje emise, snižuje obsah síry ve spalinách a nemá negativní účinky na průběh spalovacího procesu. Spalování samotné biomasy v malých kotlích využívající lokální zdroje přesto patřilo a bude nadále patřit k nejužívanějším aplikacím OZE v praxi. V současné době prožívá vývoj a výroba těchto zařízení opravdový boom. Pro optimální průběh spalování je nutné současně regulovat intenzitu přidávání paliva a jeho promíchávání se spalovacím vzduchem, dobu zdržení a dodržovat správnou spalovací teplotu procesu. Z hlediska optimalizace celého procesu se jeví jako velice perspektivní spalování různých biopaliv ve formě pelet o průměru 6 až 12 a délce 15 až 30 mm. Jejich spalování v automatických kotlích do 50 kW se svou pohodlností srovná s vytápěním ZP a v důsledku jeho vysokých cen už dnes je i cenově přijatelné.

K výrobě elektrické energie z tepla spalin se využívají objemové stroje, které mění termickou energii páry na mechanickou energii točivého pohybu. Účinnost velkých parních turbin dosahuje až 43 %, u menších velikostí se snižuje a u 5 MW zařízení klesá na necelých 20 %. Parní motory vznikly rozvojem parního stroje a dnes existují v pístovém a nebo šroubovém provedení. Účinnost parních motorů je srovnatelná s parními turbinami avšak jejich výrobní cena

je menší. Místo vodní páry lze použít i jiné pracovní medium. V případě nízkovroucích organických kapalin mluvíme o organickém Rankinově oběhu (ORC), použitelném pro nízkopotenciálové teplo, ale bohužel také s nízkou účinností. Druhou variantou je turbína s uzavřeným heliovým oběhem pracující při vyšších teplotách a tím pádem i s vyšší účinností^{6,12}. Obě varianty jsou dražšími alternativami klasické parní turbíny^{6,12}.

Velice zajímavým konvertorem tepla na mechanickou práci použitelným u malých spalovacích zdrojů je Stirlingův motor. Princip jeho funkce spočívá ve využití objemové práce ohříváného pracovního media. Stirlingův motor má zpravidla dva pracovní prostory, mezi nimi cirkuluje plynné medium. Chlazení a ohřev jednotlivých částí se provádí přímým ohříváním a chlazením komor. Jako pracovní plyn se nejprve používal obyčejný vzduch, nejlepších vlastností a účinnosti, které nemá ani hélium, se však dosahuje při užití vodíku. Pracovní plyn je dnes v motoru pod tlakem 15 až 20 MPa. Mezi ohříváčem a chladičem je obvykle zařazen ještě regenerátor akumulující teplo plynu procházejícího z ohříváče do chladiče nebo naopak. Energetická účinnost závisí stejně jako u každého tepelného stroje na rozdílu pracovních teplot a u výkonu 1 až 25 kW pohybuje v rozmezí 25 až 33 %. Dalšími výhodami jsou tichý chod, vysoká životnost či minimální možnost poruchy. A však podobné motory jsou podstatně dražší a dnes se vyrábějí jen pro speciální použití a v malých počtech. Český výrobce kogeneračních jednotek, firma TEDOM v současné době pracuje na vývoji 10 kW motoru pro mikrokogenerační jednotky s mechanickou účinností okolo 25 %¹¹.

Přehled dnes známých technologických postupů vhodných pro výrobu elektrické energie z biomasy je uveden v tab. 2. V první části tabulky jsou uvedeny pouze spalovací technologie, v druhé části pak technologie využívající plynná paliva. Větší možnosti se otevírají v případě transformace energie biomasy do jiné, lépe využitelné formy, tj. kapalných nebo plyných paliv. Procesy termochemické konverze (pyrolýza, zplyňování) patří mezi hlavní postupy tvorby plyných a kapalných paliv.

6. Pyrolýza biomasy

Pyrolýza je endotermický rozklad organických látek na nízkomolekulární sloučeniny a uhlíkatý zbytek, který se provádí za nepřítomnosti vzduchu. Z biomasy se uvolňuje prchavá hořlavina (až 80 % původní hmoty) tvořená směsí primárních produktů pyrolýzy, převážně termicky labilních kyslíkatých látek. Po jejich rychlém ochlazení vzniká tzv. pyrolýzní olej o výhřevnosti 20 – 28 MJ.kg⁻¹, který představuje viskózní, páchnoucí a nestabilní emulzi obsahující 75 – 80 % polárních organických látek a vodu (až 20 %). Výtěžek jednotlivých produktů závisí na rychlosti ohřevu, teplotě pyrolýzy a době zdržení plyných produktů v oblasti vysokých teplot. Podle souhrnu těchto faktorů rozlišujeme rychlou a pomalou pyrolýzu¹³.

Olej je vhodný jak pro přímé spalování v kotlích místo topných olejů tak i pro spalování společně s naftou v upravených stacionárních vznětových motorech a spalovacích turbínách. Bohužel nízká kvalita a stabilita pyrolýzního oleje, vysoký obsah vody, uhlíku a anorganických složek znemožňuje jeho přímé použití v jakosti náhradních kapalných paliv a vyžaduje jeho úpravu a další chemické zpracování. Optimálního výtěžku pyrolýzního oleje je dosaženo v rozmezí teplot 500 až 520 °C, při rychlosti ohřevu několik tisíc stupňů za vteřinu a době zdržení v oblasti vysokých teplot menší než 1 s. Při zvýšení teploty nebo kontaktní doby se ve větší míře uplatňují sekundární pyrolýzní procesy, narůstá podíl pevných a plyných produktů. Rychlou pyrolýzu lze provádět v různých jednotkách, mezi nejvíce používanými zařízeními patří různé typy pyrolýzních reaktorů s fluidní vrstvou, reaktory s rotující deskou nebo kónusem, pískový reaktor s dvěma rychle rotujícími šneky, cyklónový reaktor¹³. Princip všech těchto zařízení spočívá v realizaci rychlého ohřevu částic biomasy, následného oddělení plyných pyrolýzních produktů, jejich odvodu z horké oblasti a následného ochlazení vzniklých olejů. Produkovaný pyrolýzní zbytek se zpravidla spaluje, teplo se používá pro energetické zajištění pyrolýzy¹³.

Produktem pomalé pyrolýzy je hořlavý plyn obsahující přiměřené množství kapalných podílů a uhlíkatý zbytek, jehož podíl je větší než v případě rychlé pyrolýzy. V současné době má hlavní použití bezesporu uhlíkatý zbytek, neboli dobře známe dřevné uhlí. Produkovaný hořlavý plyn se spotřebuje přímo v procesu a to pro výrobu potřebné energie¹².

Perspektivy a problémy výroby energie z biomasy

Rychlá pyrolýza je pravděpodobně nejperspektivnějším směrem v oblasti transformace energie z biomasy a to ze dvou hlavních důvodů:

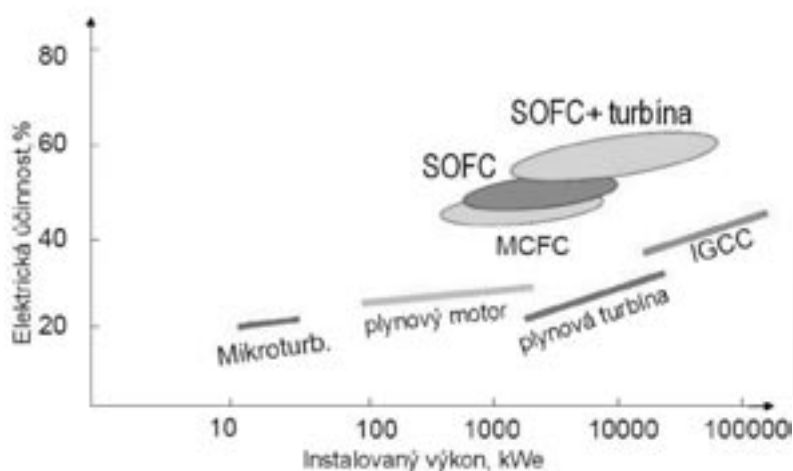
- Prvním je zakoncentrování energie z málo kvalitních paliv (sláma, rychlé rostoucí traviny, odpady ze zemědělské výroby) do formy pyrolýzního oleje (paliva) vhodného k dopravě a k dalšímu zpracování ve velkých zpracovatelských jednotkách na kvalitnější plynná a kapalná paliva.
- Druhou výhodou je možnost stavby modulárních mobilních zařízení na výrobu tohoto oleje přímo v místě produkce vhodných biomateriálů a tím snížení celkových nákladů na výrobu pyrolýzního oleje.

7. Zplyňování

Zplyňování, neboli termochemická konverze pevného, případně kapalného paliva, prostřednictvím zplyňovacího média je vhodným zdrojem hořlavého plynu, použitelného pro spalování v plynových motorech, spalovacích turbínách napojených na elektrické generátory a nebo palivových článcích (PČ) přímo vyrábějících elektrickou energii. Použití PČ umožňuje zvýšit účinnost výroby elektrické energie nad hodnotu limitovanou Carnotovým cyklem (obr. 4), což se jeví nejperspektivnějším směrem výroby elektrické energie u středních a malých zdrojů.

Složení plynu produkovaného zplyňováním značně závisí na typu generátoru, použitém zplyňovacím médiu (kyslík, oxid uhličitý, vodní pára, případně vodík), a vlastnostech biomasy. Použití kyslíku umožňuje v autotermním reaktoru produkci plynu prostého dusíku o výhřevnosti $10 - 14 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$, proces je značně exotermní, probíhá při vysokých teplotách v důsledku čehož plyn obsahuje minimální množství dehtu. Ve směsi s kyslíkem se používá vodní pára, která jednak snižuje adiabatickou teplotu zplyňování, jednak zvyšuje obsah vodíku v plynu. Jelikož produkce kyslíku vyžaduje značné náklady na stavbu a provoz kyslíkárny, provádí se zplyňování kyslíkem s vodní parou hlavně u velkých jednotek a nebo v místech, kde je dostupné značné množství levného kyslíku. Podobných výsledků lze však dosáhnout při alotermním zplyňování (teplo do generátoru se přivádí z externího zdroje) vodní parou, proces je značně energeticky náročný a vyžaduje stálý přísun energie, proto je nutno použít technicky vyspělejšího zařízení zajišťujícího přívod potřebného tepla například prostřednictvím materiálu fluidního lože cirkulujícím mezi zplyňovacím a spalovacím fluidním reaktorem. Zplyňování biomasy vodíkem ($800 \text{ }^\circ\text{C}$, 30 bar) umožňuje produkci plynu s velkým obsahem CH_4 . Po čištění a dodatečné methanizaci na vhodných katalyzátorech tento plyn lze použít jako náhradu zemního plynu ve stávajících plynárenských sítích. Složení může být znatelně ovlivněno typem použitého zařízení a podmínkami jeho provozu. V praxi se jako zplyňovací médium používá vzduch kdy vzniká nízkovýhřevný plyn naředitelný dusíkem, vhodný pouze pro výrobu tepla a energie⁶.

Obr. 4. Účinnost produkce elektrické energie z biomasy po jejím zplyňování pomocí moderních postupů⁸ (MCFC-PČ s roztaveným uhlíčanem, SOFC-PČ s pevným elektrolytem, IGCC-kombinovaný paroplynový cyklus).



Zplyňovací generátory lze podle typu použitého reakčního lože rozdělit na reaktory s pevným, fluidním a práškovým ložem. V současné době je známo velké množství experimentálních a poloprovozních zařízení používajících generátory různých typů. Plyn použitý dále jen pro spalování v plynových hořácích se převážně vyrábí v protiproudových generátorech málo citlivých na kvalitu paliva a obsah vlhkosti. Pro větší aplikace a proměnlivé složení použité biomasy jsou lépe adaptovány fluidní generátory se stacionárním nebo cirkulujícím ložem. Souproudý generátor je z hlediska produkce plynu s nízkým obsahem dehtu a prachu vhodným zdrojem plynu pro malou kogenerační jednotku se spalovacím motorem. Účinnost výroby elektrické energie dosahuje skoro 25 %, avšak daný typ generátoru je velice citlivý na formu a kvalitu paliva, což je hlavním důvodem, proč většina dnes provozovaných zařízení i v České republice má při použití nevhodného paliva technologické problémy^{6,12}.

Do zvláštní skupiny lze zařadit dvoustupňové procesy založené na kombinaci různých termochemických procesů a typu reaktorů. Zajímavým příkladem je kombinací pyrolýzy a zplyňování, umožňující produkci plynu prostého dehtu. Takovým zařízením je dvoustupňový generátor Viking vyvinutý na DTU v Dánsku¹⁴. V dávkovacím šneku nepřímo ohříváním spalinami z motoru probíhá pomalá pyrolýza biomasy (600 °C). Uvolněné pyrolýzní produkty (vysoký obsah dehtu) jsou ve druhé části parciálně oxidované vzduchem při teplotě (1100 °C) a vzniklý plyn je dále veden skrz vrstvu uhlíkatého zbytku padajícího ze šneku na rošt. V dolní části reaktoru probíhají heterogenní zplyňovací reakce. Teplota na výstupu plynu s generátoru je 800 °C a obsah dehtu je menší než 25 mg.m⁻³. Po ochlazení plynu v ohříváku vzduchu a filtraci na rukávových filtrech plyn je dále veden do motoru¹⁴.

Další zajímavou kombinací je propojení zplyňovacího reaktoru se stacionární fluidní vrstvou s fluidním reaktorem s cirkulující vrstvou spalující uhlíkatý zbytek z prvního reaktoru. Zplyňování v prvním reaktoru probíhá přehřátou vodní párou, potřebné teplo se přivádí cirkulujícím fluidizujícím médiem z druhého spalovacího reaktoru. Hlavní výhodou je produkce středněvýhřevného plynu prostého dusíku. Stejný princip prostorového rozdělení endotermního zplyňování a exotermního spalování uhlíkatého zbytku používá demonstrační jednotka v Güssingu (Rakousko). Fluidní generátor (8 MW_t) s rychlou vnitřní cirkulací (Fast Internal Circulation Fluidized Bed, FICFB) se skládá ze dvou částí. Zplyňování biomasy vodní parou probíhá ve stacionárním fluidním loži při 850 – 900 °C, vznikající uhlíkatý zbytek se společně s materiálem cirkulující vrstvy odvádí do spalovací části reaktoru (1000 – 1050 °C). Horký materiál cirkulujícího lože oddělený od spalin v cyklonu se vrací sifonem zpět do stacionárního zplyňovacího generátoru. Hlavní výhodou tohoto principu je produkce středněvýhřevného plynu prostého dusíku vhodného pro produkci náhradních plyných a kapalných paliv⁶.

8. Čištění plynu

K nežádoucím komponentám plynu patří výševroucí pyrolýzní produkty, souhrnně nazývané dehty, jemné prachové částice, sloučeniny chloru, síry a alkalické kovy. Nároky na čistotu plynu jsou uvedeny v tab. 3 a stoupají v řadě od spalovacích motorů přes turbíny až k extrémně nízkým hodnotám potřebným pro bezproblémový provoz palivových článků a výrobu náhradních plyných a kapalných paliv. V případě produkce syntezičních kapalných paliv je situace také zkomplikována nutností dodržení optimálního poměru CO k H₂ vhodného pro danou syntézu a je nutno provést odstranění balastních složek (CO₂, H₂O...).

Proto otázka efektivního a levného čištění je "Achillovou patou" zplyňování biomasy a následného použití plynu pro výrobu energie a náhradních paliv.

Perspektivy a problémy výroby energie z biomasy

Tab. 3. Provozní požadavky na obsah nežádoucích látek v plynu pro různá technologická zařízení^{6,8}

Sloučenina	Surový plyn	Spalovací motor	Spalovací turbína	Palivové články ¹	Výroba syntetických paliv
Dehet, [mg.m ⁻³]	100-10000	<100 (50)	<5	< 1	< 1
Prach, [mg.m ⁻³]	1000-10000	<5	<1	< 0,1	< 0,1
H ₂ S, [ppm]	20-200	n.d.	<1	< 0,10 ²	< 0,10
HCl, [ppm]	<100	n.d.	<0,5	< 0,10 ³	< 0,10
Na,K,Li, [ppm] ⁵	30-100	n.d.	<1	n.d.	< 0,10
NH ₃ ⁴ , [mg.m ⁻³]	600-6000	-	-	n.d.	< 10

¹ PČ typu SOFC a MCFC

² celková síra

³ celkový chlor

⁴ zvyšuje emise NO_x,

⁵ uveden hmotnostní obsah

n.d. hodnota není limitována

Obsah nežádoucích látek lze sice snížit volbou vhodného typu reaktoru a optimalizací provozních podmínek. Bohužel kvalita produkovaného plynu po jeho odprášení bude v optimálním případě vyhovovat pouze nárokům spalovacích motorů nebo spalovacích turbin. Proto pro bezproblémové použití vysokoúčinných zařízení pro výrobu elektrické energie je nutno za plynový generátor zařadit systém čištění. Procesy založené na ochlazení produkovaného plynu a následném vypírání/absorpci nežádoucích látek jsou dostatečně účinné, bohužel také značně zvyšují celkovou cenu zařízení, snižují účinnost výroby elektrické energie a produkují nebezpečné pevné a kapalné odpady. Úprava plynu pro syntézu nových paliv jsou procesy všeobecně investičně a provozně náročné a jejich uplatnění má smysl pouze u velkých jednotek a pro plyny neobsahující balastní složky.

Zajímavou alternativou je použití čistících procesů schopných odstranit prach a dehet a případné další nečistoty za vyšších teplot, srovnatelných s teplotou plynu vystupujícího ze zplyňovacího reaktoru, což umožňuje zachování tepelné energie a zajistí přímé využití horkého plynu ve vysokoteplotních PČ a turbínách. Vysokoteplotní procesy jsou založené na postupném odstraňování jednotlivých nežádoucích složek prostřednictvím primární optimalizace chodu generátoru vedoucí ke snížení produkce nežádoucích látek, dále pomocí následné vysokoteplotní filtrace plynu, adsorpce sloučenin síry a chloru. Vysokoteplotní proces má univerzální povahu a je vhodný i pro čištění středně výhřevného plynu vznikajícího zplyňováním biomasy vodní parou a kyslíkem, což umožňuje použití daného plynu pro výrobu náhradních plynných a kapalných paliv^{6,9,10}.

9. Závěr

Biomasa je v podmínkách ČR hlavním alternativním zdrojem energie a má skutečně obrovský potenciál, který je zatím využit jen z malé části. Bohužel nízká plošná hustota zdrojů biomasy a její lokální charakter ji dělá vhodnou hlavně pro výrobu energie v malých a středních zařízeních. Pro použití biomasy ve velkých průmyslových zařízeních, například pro výrobu náhradních kapalných paliv je nutno využít nové zdroje biomasy, založené na pěstování vhodných energetických rostlin na půdách dnes nevyužitých pro pěstování zemědělských plodin.

Bohužel, vyšší cena biomasy a nedostupnost technologií vhodných pro výrobu energie v malých a středních zdrojích dělá tento potenciál stále nevyužitým. Transformace energie obsažené v biomase prostřednictvím rychlé pyrolýzy na kapalné produkty nebo zplyňování na plynné složky umožňuje její lepší využití pro výrobu elektrické energie a produkci náhradních kapalných paliv.

Klíčovou roli v oblasti využití kapalných nebo plynných produktů termochemické konverze biomasy bezesporu hraje následné zpracování nebo úprava těchto produktů. Čištění pomocí klasických nebo nových tzv. horkých metod je nutnou technologií pro jejich následné energetické nebo materiálové využití. Vysokoteplotní metody umožňují provést čištění plynu bez jeho předběžného chlazení snižujícího celkovou účinnost procesu, při čištění nejsou produkovány nebezpečné kapalné odpadní materiály a jejich energie je transformována do plynných složek.

Literatura

1. Aitken W.D.: *Transitioning to a Renewable Energy Future*, ISES, Freiburg, SRN, 2003.
2. *Renewables in Global Energy Supply*, IEA Fact Sheet, IEA, 2002.
3. Noskovič P., Kaminský J.: *Reálné možnosti obnovitelných zdrojů v České republice*, VŠB Ostrava, VEC 2004.
4. *Informace o potenciálu obnovitelných zdrojů v ČR*, dokument MŽP ČR, 2006.
5. Walsh M. J. et al.: *Biomass Feedstock Availability in the United States: 1999 State Level Analysis*, ORNL, Oak Ridge 2000.
6. Skoblja S.: *Úprava složení plynu ze zplyňování biomasy*, Doktorská disertační práce, VŠCHT Praha 2004.
7. Alakangas E.: *The Europeanbioenergy markets and trade of biofuels*, Nordic Bioenergy Conf., October 2005, Trondheim, Norsko.
8. Hofbauer H., *Proceedings of 16th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 2004*, August 2004, Prague, s. 1207 Prague 2004.
9. Hejdová P. et al.: *Proceedings of 7th Conference New Trends in Technology System Operation*, S. Hloch Editor, Přerov, říjen 2005, s. 221.
10. Maršák J., Skoblja S.: *Uplatňování katalyzátorů při odstraňování dehtu ze zplyňování biomasy*, *Chem. Listy*, 96, 813 (2002).
11. *Stirlingův motor TEDOM*, <http://www.stirling.cz/stirlinguv-motor-tedom.html>, staženo 01. 05. 2005.
12. Kaltschmitt M., Hartmann H.: *Energie aus Biomasse*, Springer-Verlag, 2001, ISBN: 3-540-64853-4.
13. Bridgwater A.V., Peacocke G.V.C.: *Fast pyrolysis processes for biomass*, *Organic Geochemistry* 30 (1999) 1479-1493.
14. Henriksen U. et al.: *The design, construction and operation of a 75 kW two-stage gasifier*, *Energy*, 31 (10-11) 1542 (2006).



Václav Koza

Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

email: Vaclav.Koza@vscht.cz

1. Resumé

Článek podává na příkladu jednoho výzkumného projektu, kterého se VŠCHT Praha účastní, konkrétnější informaci o finanční podpoře výzkumu poskytované Evropskou unií. Článek se kromě uvedení odborných výsledků zaměřuje i na organizační záležitosti s projektem spojené.

2. Úvod

Evropská unie velkoryse financuje výzkum formou příspěvků k financování projektů přijatých do tzv. rámcových programů. V současnosti (léto 2007) dobíhají projekty 6. rámcového programu a přijímají se nové projekty do již 7. rámcového programu. Financování z Evropské unie dostává ve sdělovacích prostředcích širokou publicitu, ale informace jsou obvykle poměrně nekonkrétní – není z nich patrné, co je k získání takových prostředků třeba a co se očekává jako protihodnota.

Projekt Green Fuel Cell (dále podle zvyků EU označovaný zkratkou GFC) popsany v tomto sdělení je přijat v rámci 6. rámcového programu a předpokládá se, že poběží tři roky, tj. od 1. 9. 2004 do 31. 8. 2007.

3. Podmínky přijetí projektu

První podmínkou je, že při podávání žádosti o financování projektu se postupuje přesně podle předepsaného administrativního postupu, včetně dodržování termínů. Žádost se podává na uveřejněnou výzvu EU, která obsahuje seznam témat, lhůty, které je nutno dodržet, informativně výši prostředků, které jsou k dispozici, požadovaný minimální počet řešitelů jednoho projektu (velikost konsorcia) a další údaje. V našem případě se projekt začal připravovat na začátku roku 2003 formováním budoucí skupiny řešitelů, tzv. konsorcia.

Další podmínkou je, že navrhovaný projekt musí tématicky zapadat do některého z vypsanych širších témat. Vypsaná širší témata jsou rozdělena do tří bloků a je jich celkem 16, z nich 7 „Priority Thematic Areas“, česky zřejmě „přednostních tématických oblastí“. Naše téma krásně zapadá do okruhu „Sustainable development, global change and development“ neboli „udržitelný rozvoj, globální změna a rozvoj“.

Další podmínkou je, že projekt musí být zorganizován tak, aby se jeho struktura shodovala s některou typovou strukturou předepsanou Evropskou unií. V 6. rámcovém programu EU jsou projekty organizovány formou tzv. „instrumentů“

- Integrated Project
- Network of Excellence
- Specific Targeted Research Project

plus 7 dalších. Je nutno všech 10 typů prostudovat a rozhodnout se, který se nejlépe hodí pro dané téma a předpokládané řešitele.

V případě našeho projektu GFC byl vybrán typ "Specific Targeted Research Project", neboli STREP, česky nejspíš něco jako „specificky zaměřený výzkumný projekt“.



Uvedené tři podmínky jsou absolutní. Nelze je dodržet trochu, jako nelze být trochu těhotná, je nutno jim vyhovět na 100 %. Teprve, když projekt vyhovuje uvedeným třem podmínkám, což vyžaduje úmorné studium spousty předpisů EU a následující úmorné vytváření potřebných dokumentů, může projekt začít konkurovat ostatním podaným projektům a soutěžit s nimi o případné poskytnutí prostředků EU.

Po splnění výše uvedených administrativních podmínek se hlavní podmínkou přijetí projektu k financování stává to, zda si projekt klade opravdu vysoké cíle.

3.1 Politický a osvětový cíl

První takový cíl projektu je spíše politický nebo osvětový. Výzkumný projekt financovaný EU z prostředků 6. rámcového programu je vždy řešen konsorciem institucí, z nichž jedna má rovněž koordinační roli. Považuje se za přednost, když členové konsorcia pocházejí z různých států EU, a když aspoň některý je z nově přistoupivších států. Tento fakt může rozhodovat o přijetí nebo nepřijetí projektu. Očekává se, že mezinárodní spolupráce přispěje k vzájemnému osvojení zkušeností a zejména k přivyknutí členů z nových zemí EU na západní úroveň a na západní zvyklosti.

Náš projekt GFC byl přijat k financování asi s ročním zpožděním proti většině projektů 6. rámcového programu právě teprve, když VŠCHT Praha přistoupila ke konsorciu.

Konsorciem našeho projektu GFC sestává z těchto institucí a podniků:

1) Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, Francie – koordinační pracoviště. Státní výzkumný ústav pro zemědělství v zahraničí, velká instituce, která hledá novou tematiku, např. využití biomasy. Projektu GFC se konkrétně účastní oddělení lesnictví.

2) Thomas Koch Energi A/S, Dánsko. Malá soukromá firma zabývající se výrobou a vývojem zařízení pro ochranu životního prostředí.

3) Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Nizozemí. Státní výzkumný ústav energetiky. Tradičně se zabývá i využitím biomasy a palivovými články.

4) Technical University of Denmark (DTU), Dánsko.

5) Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), Francie. Státní výzkumný ústav, který za podmínek současného odklonu od jaderných zbraní a dokončení programu jaderné energetiky hledá novou tematiku, např. využití biomasy.

6) Institute of Chemical Technology (VŠCHT Praha), Česká republika

7) FORCE Technology, Dánsko. Soukromá společnost, která se mj. zabývá i energetikou a ochranou životního prostředí.

8) RISO, Norsko. Státní výzkumný ústav zabývající se i technikou palivových článků a čištěním plyných paliv pro ně.

1. 1. 2007 organizačně splynul s dalším členem konsorcia, Technical University of Denmark (DTU).

Je zřejmé, že koordinace tolika institucí z různých zemí a sektorů (školy, výzkumné ústavy, podniky) vyžaduje velké úsilí, a to i v relaci k rozsahu řešeného problému. K běžnému operativnímu řízení přistupuje i to, že za několik let trvání projektu dochází k institucionálním změnám, jako v případě GFC sloučení řešitelů č. 4 a 8.

Předpokládá se, že 8 % nákladů na projekt se spotřebuje na tuto koordinaci. Z celkového času vynaloženého na projekt to však vyžaduje mnohem víc než 8 %.

3.2 Výzkumný cíl

Každý projekt rámcového programu má svůj název a zkratku, v našem případě to je Green Fuel Cell a GFC. Název má "básnický" charakterizovat předmět nebo cíl projektu. Název Green Fuel Cell („zelený palivový článek“) má tak spojit představu palivového článku, který všichni vnímají jako supertechnické náročné zařízení se zelenou, se symbolem udržitelného rozvoje a využití biomasy.

Projekt GFC má za cíl výzkum v oblasti využití biomasy v souvislosti s aplikací vysokoteplotního palivového článku

(High Temperature Fuel Cell – solid oxides fuel cell). Principem je uskutečnění vysokoteplotního čištění surového plynu ze zplyňování biomasy pro účely palivových článků. Typický palivový článek totiž užívá jako palivo velmi čistý vodík, přičemž další složky v palivu buďto snižují účinnost nebo článek přímo poškozují. Projekt GFC má za cíl připravit přímo z biomasy topný plyn pro palivové články s nejmenšími ztrátami energie biomasy. Tímto způsobem je možno dosáhnout účinnější přeměny energie obsažené ve vstupní surovině na elektrickou v porovnání s klasickým cyklem parní nebo plynové turbíny.

Problém však není nikterak jednoduchý – technické řešení musí sestávat z několika kroků. V prvním kroku se biomasa zplyní v generátoru některým z postupů pyrolýzy nebo zplyňování. Produktem odcházejícím z generátoru je surový plyn, označovaný též jako surový syntézní plyn, surový generátorový plyn, surový energoplyn. Plyn vyrobený tímto způsobem je znečištěn jednak tuhými znečišťujícími látkami, v podstatě sazemi, dále těžšími organickými sloučeninami (dehtem) a konečně anorganickými nečistotami, mezi které patří sulfan, karbonylsulfid, chlorovodík, fluorovodík a případně těkající alkalické kovy nebo soli.

Plynné palivo přiváděné do palivového článku by za ideálních podmínek a za dnešního stupně vývoje mělo sestávat z čistého vodíku, je reálně možné užívat palivo obsahující i oxid uhelnatý, methan, ethan, amoniak jako další využitelné složky a dusík a oxid uhličitý jako inertní složky, které palivo ředí, ale neškodí palivovému článku. Surový plyn z generátoru je tedy třeba upravit na plyn uvedené čistoty, případně vyvinout generátor, který by produkoval plyn co nejbližší uvedeným požadavkům.

Kromě dosažení vysoké čistoty plynu jde i o dosažení co největší energetické účinnosti. Postupy pro čištění surového plynu jsou známy a používány přes sto let, jejich hlavní nevýhodou, kterou má projekt GFC překonat, je to, že se plyn musí pro čištění klasickými postupy ochladit, v některých postupech dokonce pod bod mrazu. Při výrobě plynu z uhlí a při případném využití plynu pro chemické syntézy nepředstavují energetické ztráty chlazením a následným ohřevem plynu podstatnou část původní energie z paliva. V případě zplyňování biomasy je tomu však jinak a čištění plynu klasickými postupy velmi snižuje účinnost celého procesu. Další nevýhodou je, že postupy jsou technologicky náročné a nepřipadají v úvahu pro využití u malých, distribuovaných jednotek.

Pro využití plynu z biomasy v palivových článcích by z hlediska vysoké energetické účinnosti bylo vhodnější plyn z generátoru nechladit, protože odchází o teplotě několika set °C a rovněž uvažovaný palivový článek SOFC vyžaduje palivo předeřáté na obdobnou teplotu.

Projekt tedy sestává po věcné stránce z částí:

1. zplynění biomasy s minimální produkcí sazí, dehtu a anorganických nečistot
2. destrukce dehtu a vyčištění plynu od organických příměsí
3. vyčištění plynu od anorganických příměsí
4. odfiltrování tuhých znečišťujících látek z plynu
5. použití plynu v palivovém článku "solid oxides fuel cell" (SOFC).

VŠCHT Praha získala podíl na projektu týkající se vyčištění plynu od anorganických příměsí (bod 3 výše uvedeného seznamu), zejména od sulfanu, karbonylsulfidu a halogenovodíků. Jde o laboratorní zkoušení adsorbentů za vysokých teplot (400 – 800 °C) a návrh a případnou výrobu a instalaci jednotky čištění plynu o kapacitě postačující pro kompletní pokus od pyrolýzy biomasy až po palivový článek.

Zahraniční partneři se zabývají ostatními částmi. V rámci projektu se tyto jednotlivé prvky měly vyzkoušet v laboratorním (1 m³/h plynu) a malém (do 100 m³/h plynu) měřítku, a pak demonstrovat nepřetržitý chod celého řetězce od biomasy až po elektřinu z palivového článku.

Technické činnosti na projektu se pro účely plánování a koordinace rozdělují do tzv. Work Packages (samozřejmě dále označovaných zkratkou WP, "pracovních balíčků"). V případě GFC bylo těchto odborných balíčků 6, WP2 – WP8 a k nim přibýly ještě WP1 – koordinace a WP8 – ekonomické vyhodnocení navrhovaného procesu od biomasy po elektřinu z palivového článku.

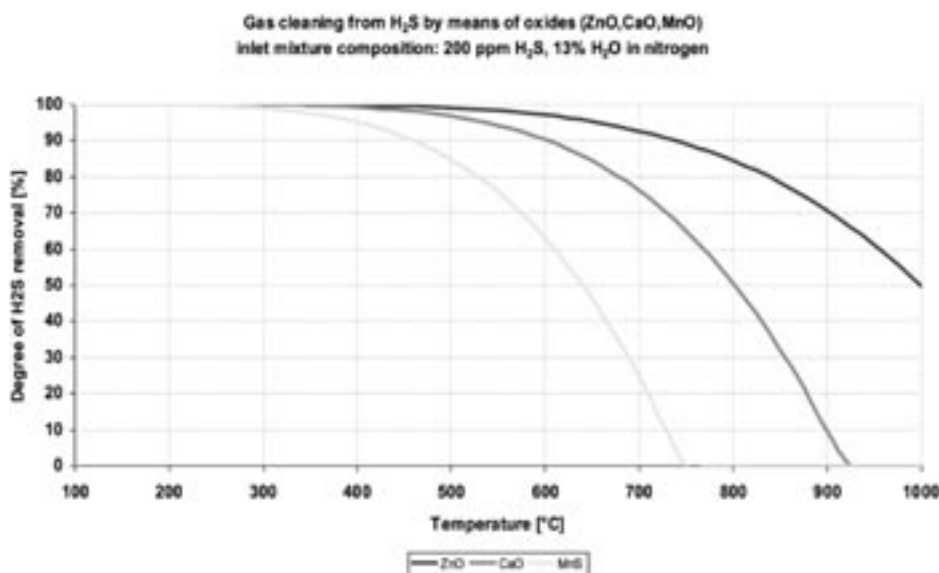
4. Získané prostředky EU a způsob jejich využití

Projekt přijatý k finanční podpoře EU v rámcovém programu běží na základě rozpočtu, který je samozřejmě součástí žádosti a předmětem schválení EU. Typicky, EU očekává, že 50% prostředků poskytnou sami řešitelé a teprve druhých 50% je příspěvek EU.

EU poskytuje prostředky formou záloh, ze kterých se smějí platit jen tzv. uznatelné položky, a naopak některé výdaje EU výslovně z podpory vylučuje. Jedním z vyloučených výdajů je DPH. Nehrazení DPH tvoří podstatnou zátěž pro české řešitele charakteru škol nebo výzkumných ústavů, kteří nemají hospodářskou činnost, na jejímž základě by se jim DPH vracela. Zálohy EU se ročně zúčtovávají a předkládají EU ke schválení. Teprve schválené náklady jsou uhrazeny z poskytnutých prostředků. Může nastat a občas nastává situace, že náklady nejsou uznány, a prostředky EU je nutno vrátit, přičemž naběhlé náklady zůstávají k tíži řešitele.

5. Výsledky VŠCHT Praha

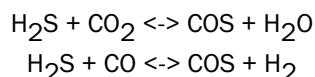
Pro VŠCHT Praha v rámci spolupráce s Commissariat a l'Énergie Atomique vyplynul úkol provést termodynamický výpočet chemických soustav CaO - H₂S / ZnO - H₂S za vysokých teplot (500 - 800 °C). Obrázek ukazuje získané výsledky - procentuální odstranění sulfanu z generátorového plynu v závislosti na teplotě a pro oxid manganatý, vápenatý a zinečnatý jako sorbenty.



Z obrázku je patrné, že oxid zinečnatý pohlcuje téměř 100% sulfanu až do teploty 500 °C, zatímco druhé dva oxidy přestávají sulfan pohlcovat již při nižších teplotách. Závěrem z těchto rovnovážných výpočtů je, že oxid zinečnatý je ze zkoumaných oxidů nejnadějnější pro použití za vysokých teplot.

Další významný bod teoretických výpočtů se týkal odstraňování karbonylsulfidu, které je po chemické stránce mnohem obtížnější, než odstraňování významně kyselého sulfanu.

Propočet rovnováh v systému reakcí

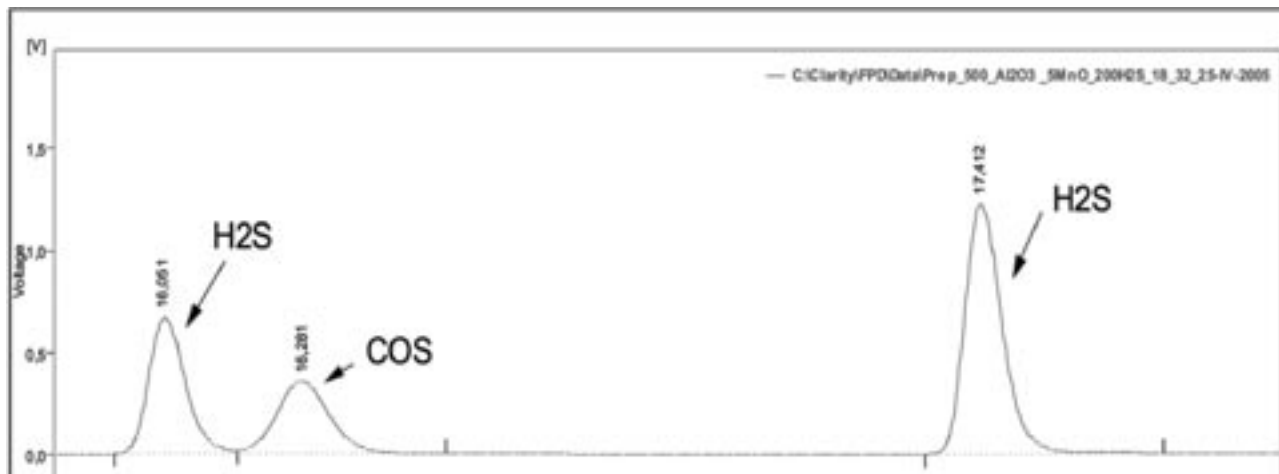


ukázal, že v přítomnosti 14% vody, jak odpovídá složení generátorového plynu, se rovnováha přesunuje k převaze sulfanu nad karbonylsulfidem a že tudíž není třeba speciálně a obtížně odstraňovat karbonylsulfid - ten se za reakčních podmínek přemění na sulfan a sulfan lze odstranit snadno.

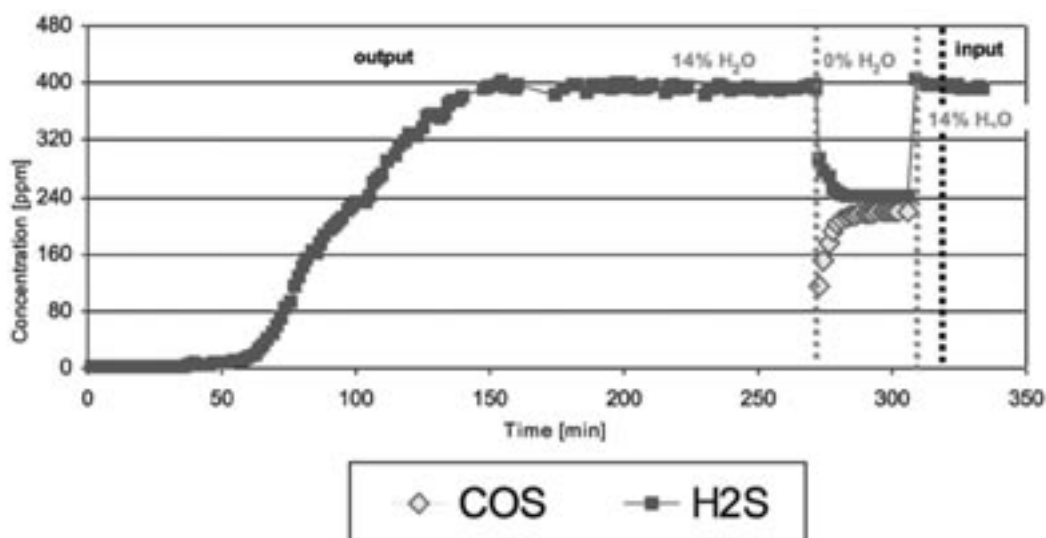
Výsledky výpočtu potvrdil i experiment, kdy do reaktoru na odstraňování příměsí se vpusťel střídavě vlhký a suchý plyn znečištěný sulfanem.

Projekt Green Fuel Cell - příklad výzkumu financovaného EU

Obrázek ukazuje vlevo složení suchého plynu za reaktorem s obsahem sulfanu i karbonsulfidu, vpravo složení vlhkého plynu, ve kterém není karbonsulfid vůbec zjištěn.



Další obrázek ukazuje časový průběh experimentu, při kterém se sulfan měl i odstraňovat.



Obrázek ukazuje koncentrace sulfanu (menší čtverečky) a karbonsulfidu (větší čtverečky postavené na špičku) během pokusu s čištěním plynu od sirných příměsí. Průběh do 270 minut ukazuje vlastní sorpční pokus, kdy se sorbent postupně nasýtil a začal propouštět sirné nečistoty. Po celou dobu pokusu byl plyn vlhký a v něm se indikoval pouze sulfan. Když byl ve 270. minutě zastaven přívod vody do měřeného plynu, okamžitě se ustavila nová rovnováha mezi sirnými sloučeninami a objevila se vysoká koncentrace obtížného karbonsulfidu. Po opětovném přidavku vody v 310. minutě karbonsulfid opět velmi rychle zmizel.

Tento výsledek teoretických výpočtů ověřený experimentem představuje velmi podstatnou novou informaci pro návrh řetězce vysokoteplotního čištění plynu.



Milan Pospíšil, Gustav Šebor

Ústav technologie ropy a alternativních paliv, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: pospisim@vscht.cz

Jan Žákovec

Pražská plynárenská, a.s.

U Plynárny 500, 145 08 Praha 4

e-mail: zakovec@ppas.cz

1. Úvod

Zemní plyn patří mezi nejvíce používané alternativní pohonné hmoty současnosti. Jako motorové palivo je používán převážně stlačený - CNG (Compressed Natural Gas), objevují se ale i projekty na využití zkapalněného zemního plynu LNG (Liquefied Natural Gas). Ve světě jezdí již miliony vozidel na zemní plyn více než 10 let (na počátku roku 2006 jezdilo ve více než 50 zemích světa na zemní plyn 4,6 milionu vozidel). Řada automobilek již nabízí vozidla vyráběná přímo pro pohon zemním plynem. V České republice se zemní plyn jako pohonná hmota začal uplatňovat již od roku 1981. Počátkem 90. let proto patřila Česká republika v plynifikaci dopravy na přední místa ve světě. Poté došlo ke zpomalení slibně se rozvíjejícího programu plynifikace dopravy a před ČR se dostaly a dostávají další evropské země, které s plynifikací dopravy začínaly daleko později. V květnu 2005 česká vláda přijala usnesení, na jehož základě byla dlouhodobě stabilizována spotřební daň na zemní plyn pro dopravní účely na minimální hodnotě až do r. 2020. Toto rozhodnutí zvýšilo konkurenceschopnost zemního plynu v porovnání s konvečními kapalnými motorovými palivy – benzínem a motorovou naftou a představuje dobrý signál pro všechny současné a budoucí uživatele vozidel as pohonem na zemní plyn. Zemní plyn se tímto stal jedním z prioritních alternativních paliv pro dopravu i v ČR.

2. Jsou zásoby zemního plynu dostatečné?

Prokázané zásoby zemního plynu, které jsou ekonomicky těžitelné při současné technické úrovni, dosáhly na konci dvacátého století objemu $1,8 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$ a vydrží při současné těžbě asi do roku 2070. Zhruba 72 % těchto zásob se nachází na pevnině a 28 % v mořských šelfech (mělčinách). Pravděpodobné zásoby, které dosahují až $3,5 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$, jsou zásoby objevené na ložiscích vykazujících velmi vysokou pravděpodobnost, že budou v budoucnosti vytěžitelné za ekonomických a technických podmínek podobných těm, které jsou v současnosti u prokázaných zásob. Tato ložiska však nejsou dosud technicky vybavena. Přesun objemu zásob z této do první uvedené kategorie v důsledku pokračujícího osvojování ložisek je důvodem stále se zvyšujícího objemu prokazatelných zásob zemního plynu a jejich životnosti. Celkové světové zásoby zemního plynu (tj. součet prokázaných a pravděpodobných zásob) jsou tak odhadované na $5,3 \cdot 10^{14} \text{ m}^3$ s předpokládanou životností až 200 let.

Porovnání prokázaných zásob všech tří nejvýznamnějších druhů fosilních paliv (stav k r. 2005) uvádí tab. 1. Z prezentovaných dat je zřejmé, že prokázané zásoby zemního plynu jsou v přepočtu na energetický obsah prakticky srovnatelné se známými zásobami ropy. Nicméně zásoby ropy ani v součtu se zásobami zemního plynu nedosahují

Využití zemního plynu v dopravě v podmínkách České republiky

potenciálu zásob uhlí, které je stále nutno považovat za nejvýznamnější energetický zdroj tohoto století. Důležité si je rovněž připomenout značnou geografickou nevyváženost zdrojů fosilních paliv a jejich spotřeby. V případě zemního plynu i uhlí je pro Evropu i Českou republiku geografické rozdělení obou kategorií zásob vcelku příznivé a to narozdíl od ropy.

Tab. 1: Porovnání známých prokázaných zásob fosilních paliv a jejich předpokládané životnosti

Světadíl	Ropa		Zemní plyn			Uhlí		
	mld t	Životnost (roky)	bil m ³	mld toe	Životnost (roky)	mld t	mld toe	Životnost (roky)
Severní Amerika	7,8	12	7,5	6,7	10	254,4	123,4	231
Stř. a Jižní Amerika	14,8	41	7,0	6,3	52	19,9	9,2	269
Eurasie	19,2	22	64,0	57,6	60	287,1	133,1	241
Střední Východ	101,2	81	72,1	64,9	240	0,4	0,3	399
Afrika	15,2	32	14,4	13,0	88	50,3	33,5	200
Asie a Tichomoří	5,4	14	14,8	13,4	41	296,9	163,2	92
Celý svět	163,6	41	179,9	161,9	65	909,1	462,6	155

Vysvětlivky: $mld\ t = 10^9\ t$; $bil\ m^3 = 10^{12}\ m^3$

toe = tuna olejového (ropného) ekvivalentu – přepočtení hmotnosti paliva na hmotnost ropy ekvivalentního energetického obsahu (1 toe = 42 GJ)

základní přepočty: 1 tis m³ zemního plynu = 0,9 toe; 1 t černého uhlí = 0,67 toe; 1 t hnědého uhlí = 0,33 toe

životnost zásob = podíl množství prokázaných zásob a současné roční těžby

Dále existují potenciální zásoby, tzv. nekonvenční zdroje, zemního plynu. Mezi tyto zdroje patří především pevné hydráty tvořené 20 % metanu s některými vyššími uhlovodíky (etan, propan) a 80 % vody za podmínek vysokých tlaků a nízkých teplot. Hydráty se nacházejí v zemské kůře pod dnem oceánů. Tyto velmi významné zásoby jsou již dlouho známy, problémem je však jejich těžba. V současné době se předpokládá, že teoretické zásoby zemního plynu v podobě hydrátů činí až $2,1 \cdot 10^{16}\ m^3$, přičemž jejich zásoby jenom na severní polokouli jsou několiknásobně vyšší než v současné době těžitelné zásoby zemního plynu v ropných ložiscích na celém světě.

V současné době se ve světě asi 80 % zemního plynu přepravuje plynovody, zbytek tankery jako zkapalněný plyn. Od zdrojů je zemní plyn přepravován dálkovými a tranzitními plynovody. Evropská soustava těchto plynovodů měří více než půl milionu kilometrů. Z tranzitního plynovodu se zemní plyn přepravuje systémem dálkových – velmi vysokotlakých (nad 4 MPa) a vysokotlakých (do 4 MPa), a tzv. distribučních – středotlakých (do 400 kPa) a nízkotlakých (do 5 kPa) plynovodů distribučních společností ke spotřebitelům. Zemní plyn z plynovodní sítě se v plnicích stanicích zemního plynu pomocí kompresoru stlačuje na tlak 20–30 MPa. Stlačený zemní plyn CNG (Compressed Natural Gas) je skladován v tlakových zásobnících a následně plněn do vozidel.

Česká republika nemá žádná významná ložiska zemního plynu. Hlavními dodavateli zemního plynu do České republiky jsou Rusko (cca 75 %) a Norsko. V současné době je složení zemních plynů dodávaných od obou hlavních dodavatelů prakticky shodné (i s ohledem na možnost výměny realizovaných dodávek v rámci tranzitních systémů). Garance dodávek vyplývá z dlouhodobého charakteru jednotlivých dovozních kontraktů. Roční spotřeba zemního plynu v ČR se v posledních letech stabilizovala okolo hranice $9,5 \cdot 10^{11}\ m^3$.

3. Fyzikálně chemické vlastnosti zemního plynu

Z chemického hlediska je zemní plyn směs plyných uhlovodíků s proměnnou příměsí neuhlovodíkových plynů. Jeho charakteristickým znakem je vysoký obsah metanu CH₄. Zemní plyny typu H, které jsou využívány ve většině evropských zemí včetně České republiky, obsahují zpravidla více než 90 % obj. metanu a méně než 5 % obj. nehořlavých látek. Zemní plyn je hořlavý, výbušný plyn, bez barvy, bez zápachu a bez chuti. Je nejedovatý, má zanedbatelné toxické vlastnosti. Je lehčí než vzduch.

Zemní plyn H (high – vysoký energetický obsah) je plyn, jehož spalné teplo H⁰_s (0 °C, 101,325 kPa) leží v rozmezí 40 až 46 MJ.m⁻³ (11,1 až 12,8 kWh.m⁻³). Podíl nehořlavých složek (N₂ + CO₂) je nižší než 5 % obj.

Zemní plyn L (low – nízký energetický obsah) je plyn, jehož spalné teplo H⁰_s (0 °C, 101,325 kPa) leží v rozmezí 33 až 38 MJ.m⁻³ (9,15 až 10,5 kWh.m⁻³). Podíl nehořlavých složek je obvykle vyšší než 10 % obj.

Fyzikálně–chemické vlastnosti zemního plynu distribuovaného v České republice jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti zemního plynu distribuovaného v ČR

Parametr	Rozměr	Hodnota
CH ₄	%	97,99
Vyšší uhlovodíky	%	1,07
CO ₂	%	0,11
N ₂	%	0,83
Celková síra	mg/m ³	0,20
Výhřevnost	MJ/m ³	34,091
Spalné teplo	MJ/m ³ kWh/m ³	37,852 10,514
Hustota	kg/m ³	0,694
Relativní hutnota	-	0,568
Spalovací rychlost, max	cm/s	34
Wobbeho číslo	MJ/m ³	53,6
Meze výbušnosti	%	4,4–15
Bod vzplanutí	°C	152
Bod hoření	°C	650
Teplota vznícení	°C	537–580
Bod tuhnutí	°C	pod -182
Teplota varu	°C	-162
Stechiometrický objem vzduchu ke spalování	m ³	9,51
Stechiometrický objem vlhkých spalin	m ³ /m ³	10,51
Teoretické složení spalin	%	9,53 CO ₂ 18,95 H ₂ O 71,52 N ₂
Max. % CO ₂ v suchých spalinách	%	11,75
Adiabatická spalovací teplota	°C	2 055
Oktanové číslo	-	130

Pozn. Uvedené hodnoty jsou vztaženy na normální podmínky, tlak 101,325 kPa, teplota 15 °C a relativní vlhkost = 0. Hodnoty reálně distribuovaného zemního plynu jsou průměrem dodávek RWE Transgas za I.-III. Q/2005.

Zkapalněný zemní plyn je takřka čistý metan, který je zchlazen na $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ při atmosférickém tlaku. Jedná se o namodralou, bezbarvou kapalinu bez zápachu, nekorozivní a netoxickou. Zkapalněný zemní plyn zaujímá zhruba 600x menší objem než plynný zemní plyn. Hustota LNG je $0,40\text{--}0,42\text{ kg/m}^3$. 1 kg LNG má výhřevnost 54,8 MJ, 1 litr LNG pak 22,2 MJ.

Požadovaná jakost je splněna, odpovídá-li zemní plyn české technické normě ČSN 38 6110 platné od 1.1.1992. Norma platí pro dodávky zemního plynu do rozvodné soustavy a pro dodávky odběratelům ze sítě. Zemní plyn podle této normy obsahuje (% obj.): min. 85 % metanu, může obsahovat až kolem 5 % etanu a 7 % propanu a vyšších uhlovodíků, až 7 % inertních látek a pouze setiny procenta kyslíku. Pokud jde o sirné sloučeniny, norma stanoví max. $7\text{ mg H}_2\text{S/m}^3$ a max. 100 mg/m^3 celkové síry. Zemní plyn dodávaný do sítě musí být zbaven mechanických a kapalných nečistot.

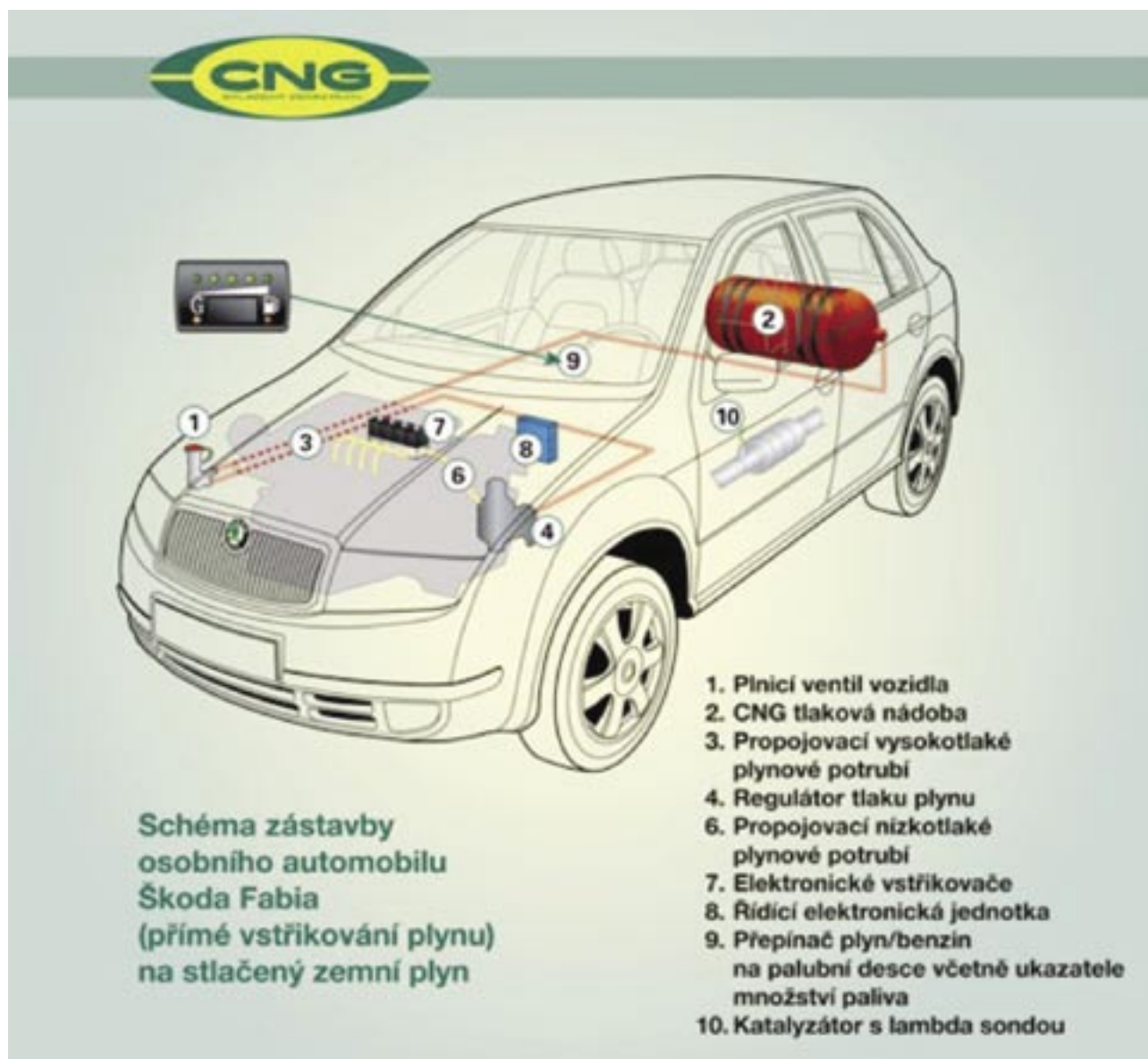
4. Způsoby využití zemního plynu pro pohon motorových vozidel

Zemní plyn může být užíván jako motorové palivo v klasických benzinových i vznětových motorech. Palivo ve vozidle je uskladněno v zásobnících, konstruovaných buď pro stlačený zemní plyn na vysoký tlak (CNG) nebo pro zkapalněný zemní plyn (LNG). Nejvíce je v současné době rozšířen pohon stlačeným zemním plynem (CNG).

Tlakové (20 MPa) plnění vozidel používajících CNG u plnicích stanic se provádí prostřednictvím plnicího ventilu. Palivovou nádrž CNG je plynová tlaková nádoba, většinou ocelová, ale stále více se prosazují i vylehčené nádoby kompozitní. U osobních automobilů bývá tlaková nádoba většinou umístěna v zavazadlovém prostoru vozidla, u autobusů pak v zavazadlovém prostoru nebo na střeše u nízkopodlažních autobusů. Při jízdě se CNG prostřednictvím vysokotlakého plynového potrubí dostává do vysokotlakého regulátoru, kde dochází k redukci tlaku plynu na potřebný provozní tlak. Krokový motorek na základě signálů z řídicí jednotky průběžně upravuje množství plynu do směšovače v optimálním režimu výkonu, spotřeby paliva a množství emisí. Ve směšovači dochází ke smísení paliva – zemního plynu se vzduchem a vytvoření zápalné plynné směsi. Směšovač má stejnou funkci jako karburátor či vstřikování při použití benzínu. Elektronická část plynové zástavby – řídicí jednotka a emulátor (přerušovač vstřiku) slouží k správnému provozu vozidla na zemní plyn, přerušuje vstřikování benzínu a řídí dávkování plynu. U přístrojové desky je umístěn ukazatel množství plynu, u dvoupalivových vozidel včetně přepínače plyn-benzín. Schéma plynové zástavby osobního automobilu přestavěného na alternativní CNG pohon je uvedeno na obr. 1. Kromě možnosti přestavovat existující benzinová vozidla jsou na trhu již vozidla speciálně vyráběná s pohonem na zemní plyn (Fiat, Opel).

Technologie využití zkapalněného zemního plynu (LNG) je zatím stále ve fázi testů, vývoje a optimalizace vhodného vybavení. Nádrže LNG ve vozidlech jsou vybaveny dvouplášťovou nádobou z nerezové oceli o minimální tloušťce 3 mm na vnitřním i vnějším plášti. Mezi oběma plášti je tzv. super-izolace, což je navinutá hliníková folie prokládaná sklovláknitým papírem a odčerpaná na vysoké vakuum. Nádrž je vybavena armaturami pro plnění, regulaci tlaku, odběr LNG do výměníku tepla, měřením hladiny a tlaku. Nádrže jsou konstruovány na tlak 1,6 MPa. Skutečný provozní tlak se řídí potřebou vstřikovacího zařízení motoru a pohybuje se od 0,3 do 1 MPa. Kromě LNG nádob a odpařovače je technologie LNG obdobná jako u CNG vozidel.

Je nesporným faktem, že v obou případech, jak CNG, tak LNG, se jedná o osvědčené technologie, obě mají své výhody a nevýhody. Mezi hlavní výhody LNG oproti CNG patří – větší hustota energie (zvýšení dojezdu vozidla na srovnatelnou úroveň s klasickými pohonnými hmotami), menší objem a hmotnost nádrže pro uskladnění stejného množství plynu, krátká doba plnění srovnatelná s klasickými palivy. Naopak mezi hlavní nevýhody použití LNG pro pohon motorových vozidel patří – nutnost uchovávání plynu za velmi nízkých teplot ($-160\text{ }^{\circ}\text{C}$), samovolný odpar



Obr. 1: Schéma zástavby přestavovaného osobního automobilu na zemní plyn

z nádrže při delší odstavce vozidla, složitější a nákladnější technologie zástavby, jiná technologie plnění vozidel a nová rizika při tankování. Důvodem malého rozšíření LNG v sektoru dopravy je především rozdílná ekonomika přípravy CNG a LNG, a z toho vyplývající cena obou produktů. Zatímco příprava CNG je při již existující husté síti plynovodů relativně jednoduchá, představuje výroba kapalného LNG a jeho infrastruktura složitější technický problém. Problémem zkvalňovacího procesu není jen jeho složitost a energetická náročnost, která se pohybuje od 0,2 – 1,0 kWh/m³, ale rovněž i velká investiční náročnost. Je-li zkvalněný zemní plyn dopravován do Evropy, musí jeho cena (včetně nákladů na jeho zkvalnění) odpovídat ceně plynu dopravovaného dálkovými plynovody. Projekty použití LNG v dopravě lze proto najít pouze v místech jejich velkých distribučních terminálů (Španělsko, Benelux). V roce 2010 díky rozšíření kapacit stávajících zásobníků a vybudování nových terminálů by evropské terminály měly být schopné zajistit dodávku 1,70·10¹¹ m³/rok. V České republice není v současnosti k dispozici žádný zkvalněný zemní plyn, pro případná vozidla využívající LNG by tedy bylo nutné zkvalněný zemní plyn dovézt nebo v České republice vyrobit. V omezeném množství je možný dovoz LNG z Polska z nově vybudované zkvalňovací stanice Odołanow (kapacita 50 tun LNG/den). V současnosti se jedná o nejbližší zdroj LNG pro Českou republiku a potenciální

Využití zemního plynu v dopravě v podmínkách České republiky

zdroj LNG pro případné české pilotní LNG projekty. V krátkém a střednědobém časovém horizontu se použití LNG v ČR nejeví jako vhodný krok, a to nehledě na názor odborníků, že dnes je již zkapalňování a opětovné zplyňování suroviny nákladově i energeticky srovnatelné s dálkovou přepravou plynu potrubím.

Pokud se má uplatnit zemní plyn v segmentu dopravy, zdá se být na českém trhu racionální používat již rozpracovanou technologii CNG a postupným zahušťováním sítě stanic CNG vytvořit dostatečnou rozvětvenou infrastrukturu, která je nezbytnou podmínkou dalšího rozvoje zemního plynu v dopravě. Ostatně tuto cestu rozvoje zemního plynu v dopravě (CNG, nikoli LNG) již realizuje převážná většina evropských zemí.

5. Současné využití zemního plynu v dopravě

Ve světě je zemní plyn pro účely dopravy používán již více než 10 let. Na konci roku 2005 jezdilo ve světě na CNG 4,64 milionů vozidel ve více než 60 zemích. Největší rozšíření zemní plyn našel v Argentině (1,5 mil. vozidel), Brazílii (1,0 mil. vozidel) a Pákistánu (0,7 mil. vozidel). Počet plnicích stanic se blíží 9 tisícům (z toho 36 LNG stanic). Roční celosvětová spotřeba zemního plynu pro pohon vozidel je zhruba $1,2 \cdot 10^{10}$ m³. Pro srovnání, před 5 lety jezdilo ve světě na zemní plyn 1,5 milionu vozidel, počet plnicích stanic se blížil 4 tisícům. Stav počtu vozidel a čerpacích stanic ve světě charakterizuje tab. 3.

Tab. 3: Statistika počtu vozidel s pohonem na zemní plyn a CNG čerpacích stanic – svět (stav 12/2005)

Stát	Počet vozidel (tis.)	CNG stanice
Argentina	1 457	1 452
Brazílie	1 011	1 138
Pákistán	700	766
Itálie	382	521
Indie	222	192
USA	130	1 340
Čína	97	355
Kolumbie	72	168
Ukrajina	67	147
Irán	64	96
Egypt	62	91
Venezuela	44	149
Rusko	42	213
Bangladéš	41	122
Arménie	38	60
Bolívie	36	62
Německo	33	650
Celkem	4 636	8 965

Koncem roku 2005 v Evropě využívalo zemní plyn jako pohonnou hmotu necelých 560 tis. vozidel, počet CNG plnicích stanic přesáhl 2 000 (viz tab. 4). Sériová silniční vozidla na CNG vyrábí v Evropě 13 výrobců automobilů, v USA 30 a v Japonsku pak všechny automobilky. K nejvýznamnějším výrobcům CNG vozidel patří Volvo, VW, Fiat, Opel, Citroen, Peugeot, Ford, Honda, IVECO, Toyota.

Využití zemního plynu v dopravě v podmínkách České republiky

Tab. 4: Statistika počtu vozidel s pohonem na zemní plyn a CNG čerpacích stanic – Evropa (stav prosinec 2005)

Stát	Počet vozidel (tis.)	CNG stanice
Itálie	382 000	521
Ukrajina	67 000	147
Rusko	41 780	213
Německo	33 000	650
Francie	8 400	125
Bulharsko	7 300	11
Bělorusko	5 500	24
Švédsko	5 300	65
Moldávie	4 500	8
Švýcarsko	1 700	61
Celkem	556 645	2 031

Ve světě v současnosti jezdí na LNG cca 1500 vozidel, z toho 1300 v USA a pouze 130 v Evropě. V provozu je celkem 36 LNG stanic, z toho 28 v USA a 8 v Evropě (Velká Británie, Španělsko, Německo). Zkapalněný zemní plyn pronikl i do železniční (USA, SRN) a lodní (LNG trajekt Glutra v Norsku) dopravy.

V České republice se zemní plyn jako pohonná hmota začal uplatňovat již od roku 1981. Počátkem 90. let proto patřila Česká republika v plynofikaci dopravy na přední místa ve světě. Poté došlo ke zpomalení slibně se rozvíjejícího programu plynofikace dopravy a před ČR se dostaly a dostávají další evropské země, které s plynofikací dopravy začínaly daleko později. V současné době zemní plyn jako pohonnou hmotu používá cca 350 vozidel, z toho je přibližně 150 osobních a dodávkových vozidel (především distribuční plynárenské společnosti) a 150 autobusů a to jak městských (Haviřov, Frýdek Místek, Prostějov), tak i meziměstských (ČSAD Bus Ústí nad Labem). Největší provozovatelé plynových vozidel jsou Pražská plynárenská, a.s. (více než 70 vozidel), ČSAD Bus Ústí n/Labem (52 CNG autobusů) a Dopravní podnik Haviřov (42 CNG autobusů). V provozu je celkem 10 veřejných plnicích stanic (dvě v Praze a po jedné v Plzni, Liberci, Českých Budějovicích, Hradci Králové, Horní Suché, Frýdku Místku, Prostějově a Znojmě). Roční prodej CNG v České republice se pohybuje mezi 2 a 3 miliony m³.

6. Podpora využití zemního plynu v České republice

V české legislativě týkající se oblasti využívání alternativních paliv v dopravě existuje soubor zákonů a dalších právních norem a předpisů, u kterých se uskutečnila nebo probíhá harmonizace s právem Evropského společenství. Na základě potřeb plynoucích z praxe dochází současně k novelizaci některých právních norem. Stávající legislativa nebrání rozvoji využití zemního plynu v dopravě. Lze předpokládat, že vhodná legislativa a k ní vytvořené podpůrné programy ze strany státu umožní, v souladu s akčním programem Evropské komise z r. 2001, který do roku 2020 předpokládá 20 %-ní (e.o.) náhradu benzínu a nafty alternativními palivy (z toho 10 % připadá na zemní plyn), větší uplatnění alternativních paliv v dopravě v ČR.

a) Vláda České republiky **usnesením č. 563 z 11.5.2005** schválila „Program podpory alternativních paliv v dopravě – zemní plyn“. Byl stanoven indikativní cíl dosáhnout do roku 2020 podílu spotřeby zemního plynu na celkové spotřebě pohonných hmot v dopravě minimálně 10 % (e.o.) v souladu s COM(2001)370 (Bílá kniha dopravní politiky) a uložen úkol místopředsedovi vlády a ministru financí stabilizovat výši spotřební daně pro stlačený zemní plyn

(CNG) a zkvapalněný zemní plyn (LNG) pro dopravu nejvýše na úrovni minimální spotřební daně stanovené směrnici EU, a to na období do roku 2020. Místopředsedovi vlády a ministru dopravy byl uložen úkol podle možností rozpočtu kapitoly Ministerstva dopravy zachovat systémovou podporu rozvoje obnovy vozidel městské hromadné dopravy a veřejné linkové autobusové dopravy s pohonem na zemní plyn – příspěvek na pořízení autobusů na stlačený zemní plyn i po roce 2007.

b) Dohoda směřující k rozšíření zemního plynu jako alternativního paliva v dopravě, uzavřená mezi státem a plynárenskými společnostmi, vychází z usnesení vlády České republiky č. 563. Dohoda definuje dobrovolné závazky plynárenských společností při výstavbě plnicích stanic na CNG v krátkodobém horizontu, kdy budou vystavěny nejdříve čtyři plnicí stanice zcela v režii plynárenských podniků. Dále bude vystavěno 17 plnicích stanic ve vybraných lokalitách tak, aby byly kopírovány mezinárodní silniční tahy na území ČR. Plynárenské společnosti mimo to zajistí výstavbu CNG plnicí stanice v místě, kde územní samosprávný celek rozhodne o převodu vozového parku městské a příměstské dopravy (nebo jeho části) na zemní plyn a kde to umožní místní technické podmínky sítě. Podmínkou pro výstavbu takové plnicí stanice je minimální počet 4 autobusů nebo vozidel s obdobnou spotřebou zemního plynu, tj. zhruba 100 tisíc m³ v prvním roce s tím, že minimální cílový roční odběr dosáhne 400 tisíc m³ do čtyř let od jejího uvedení do provozu. V dlouhodobém horizontu se počítá s takovým množstvím čerpacích stanic (má jich být 100), aby byl v roce 2020 splněn indikativní cíl pro využití zemního plynu v dopravě. Plynárenské společnosti se v uvedené dohodě mj. zavázaly přispět částkou 0,2 mil Kč na nově pořizované autobusy osobní linkové a městské hromadné dopravy, jež budou poháněny CNG, a to celkem 10 mil Kč/rok za podmínky, že na pořízení těchto autobusů bude poskytován i státní příspěvek.

Z výše uvedeného je velmi dobře patrné, že do využití zemního plynu v dopravě v ČR se ve střednědobém horizontu po r. 2010 vládní poměrně velké naděje, přičemž stav využití zemního plynu v ČR je v současnosti velmi malý. Stlačený zemní plyn (CNG) jako pohonnou hmotu využívá pouze cca 450 vozidel (stav 06/2006), z toho je přibližně 300 osobních a dodávkových vozidel (především distribučních plynárenských společností) a 150 autobusů a to jak městských (Havířov, Liberec, Frýdek Místek, Prostějov), tak i meziměstských (Dopravní podnik ústeckého kraje). Roční prodej CNG jako motorového paliva v České republice v roce 2005 dosáhl zhruba 3 mil m³ (tj. v přepočtu na spotřebu motorové nafty 2 400t). V současnosti (stav 06/2006) je v provozu celkem 11 veřejných CNG plnicích stanic (2 v Praze a po jedné v Plzni, Liberci, Hradci Králové, Českých Budějovicích, Horní Suché, Frýdku Místku, Prostějově, Znojmu a Jeseníku). Možnosti distribuce CNG jsou v porovnání s počtem čerpacích stanic kapalných pohonných hmot (cca 1 800) nebo LPG stanic (cca 750) zcela nedostatečné. Problém plnění vozidel CNG je pro budoucí rozvoj plynofikace silniční dopravy jednou z klíčových otázek, protože bez zabezpečení možnosti plnění zemního plynu nelze stimulovat poptávku po vozidlech.

Pro plynárenství je využití zemního plynu v dopravě jednou z cest zvýšení jeho prodeje. Plynárenské společnosti se v „Dohodě směřující k rozšíření zemního plynu jako alternativního paliva v dopravě“, která byla podepsána v březnu 2006 v Praze, zavázaly:

- vybudovat do 1 roku od podepsání dohody 4 nové CNG stanice (Brno, Ostrava, Ústí nad Labem, Mladá Boleslav – splněno),
- zajistit výstavbu plnicí stanice CNG v místě, kde územně samosprávný celek rozhodne o převodu vozového parku městské a příměstské dopravy (nebo jeho části) na zemní plyn a kde to umožní místní technické podmínky plynárenské sítě. Podmínkou pro výstavbu takové plnicí stanice je minimální počet 4 autobusů nebo vozidel s obdobnou spotřebou zemního plynu, tj. cca 100 tis. m³ v prvním roce. Minimální cílový roční odběr dosáhne 400 tis. m³ do

Využití zemního plynu v dopravě v podmínkách České republiky

čtyř let od jejího uvedení do provozu,

- zajistit do roku 2013 výstavbu 17 CNG stanic podél hlavních silničních tahů přes Českou republiku,
- zajistit do roku 2020 výstavbu 100 CNG plnicích stanic.

Potřebný minimální počet CNG stanic nezbytný pro intenzivnější využití zemního plynu v dopravě je výhledově k roku 2020 odhadován na 250 až 300. Předpokládaný vývoj nárůstu počtu CNG plnicích stanic v ČR shrnuje tab. 5.

Tab. 5: Předpokládaný vývoj počtu CNG stanic v České republice do roku 2020

Rok, období	2006	2007	2008	2009	2010	2011-13	2014-20	Celkem
Plynárenské společnosti	10	6	8	11	15	30	70	150
Ostatní	13	4	5	5	6	17	50	100
Počet CNG stanic celkem	23	33	46	62	83	130	250	

Z hlediska potenciálu trhu je celkový počet automobilů používajících zemní plyn v ČR v roce 2020 odhadován na 230 tisíc, z toho asi 8 tisíc autobusů a těžkých nákladních automobilů. Odhady spotřeby zemního plynu pro pohon vozidel v ČR se pohybují v roce 2020 mezi 700 tis. a 1 100 mil m³ ročně (zpracované studie a analýzy plynárenských společností a Dopravně rozvojového střediska ČR). Toto číslo je i v souladu s vyhlášeným akčním programem Evropské komise, kde se předpokládá 10%-ní podíl (e.o.) zemního plynu celkové spotřebě motorových paliv v ČR. Odhad je založen na vývoji konkurenceschopnosti zemního plynu vůči motorové naftě a benzínu. Pro platnost tohoto předpokladu je nezbytné, aby byla zachována diferenciací spotřební daně na zemní plyn a na konvenční motorová paliva (motorová nafta, benzin) a z toho plynoucí cenové zvýhodnění zemního plynu. Cenu zemního plynu jako pohonné hmoty rovněž pozitivně ovlivní i vzrůstající objem prodeje vzhledem k poklesu jednotkových fixních nákladů na distribuci. Rovněž růst ceny ropy může být jedním z významných stimulů, urychlujících přechod na CNG a zvyšujících potenciál využití zemního plynu v dopravě.

Pokud se týká bioplynu, s ohledem na stav problematiky CNG v dopravě a rovněž i z ekonomických důvodů je vhodnější jej využít v surové nečištěné formě pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Tento způsob využití bioplynu je v ČR ostatně realizován.

7. Použitá literatura

1. Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, studie pro MD ČR, VŠCHT Praha, 2006.

2. www.engva.org ; www.iangv.org ; www.erdgasfahrzeuge.de ; www.cng.cz



Gustav Šebor, Milan Pospíšil

Ústav technologie ropy a alternativních paliv, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: seborg@vscht.cz

1. Úvod

Emise znečišťujících látek do ovzduší působí negativně zejména v přízemní vrstvě, kde silné znečištění má negativní vliv na lidský organismus, ekosystémy i materiály. Působí však také v globálním měřítku na klimatické podmínky Země a na její ozónovou vrstvu. Jedním z významných zdrojů znečištění ovzduší je také silniční doprava. Pohonné hmoty používané v silniční dopravě jsou v současné době vyráběny na bázi fosilních paliv, především ropy.

Stav světových zásob ropy a stále rostoucí požadavky na kvalitu ovzduší jsou příčinou toho, že do popředí zájmu státních orgánů i podnikatelské sféry na celém světě se stále více dostává alternativní pohon motorových vozidel. Vedle klasických kapalných paliv jsou jako alternativní pohonné hmoty v současnosti používána především biopaliva a plynná paliva – zemní plyn a LPG.

Program širšího využití alternativních paliv zahrnuje nejenom jejich použití v dopravě, ale také v energetice při výrobě elektrické energie a tepla. K vytvoření programu pro využívání alternativních paliv vedou státy EU zejména tyto důvody:

- rostoucí celková spotřeba energie včetně energie pro dopravu,
- nedostatečné zásoby ropy v zemích EU,
- obava z rostoucí ceny ropy,
- závislost na dovozu tohoto cenného zdroje fosilního uhlíku, zejména ze zemí Středního Východu, která by v roce 2020 mohla dosáhnout až 70 %,
- rostoucí emise zejména skleníkových plynů (GHG) ohrožující klimatické podmínky,
- závazky na snižování emisí skleníkových plynů (GHG) vyplývající z Kjótského protokolu.

2. Typy alternativních paliv a jejich využití v dopravě

Evropská komise vypracovala a přijala 7.11. 2001 program pro využití alternativních pohonných hmot v dopravě a současně i navrhla tzv. "balíček opatření", jehož realizace by měla splnění tohoto programu zajistit. Program předpokládá, že do roku 2020 by mělo být nahrazeno 20 % motorových paliv vyráběných na bázi ropné suroviny alternativními palivy - biopalivy, zemním plynem a vodíkem. Podíl alternativních paliv je definován na bázi celkového energetického obsahu (e.o.) automobilového benzínu a motorové nafty spotřebovaných pro dopravní účely. Představa komise je uvedena v tab. 1. Z tabulky dále vyplývá, že zvětšování podílu jednotlivých typů alternativních paliv v dopravě by mělo být podle tohoto programu postupně. V prvním období do roku 2010 se počítá především s nárůstem využití biopaliv, bioetanolu a bionafty.

Pro problematiku využití biopaliv v dopravě přijaly Evropský parlament a Evropská rada tzv. Akční plán a dvě směrnice. Jednou z těchto směrnic je směrnice 2003/30/EC o podpoře využívání biopaliv a nebo jiných obnovitelných zdrojů v dopravě a druhou pak směrnice 2003/96/EC týkající se zdanění energetických produktů. Tyto směrnice obsahují regulační a fiskální rámec podpory biopaliv. Směrnice 2003/30/EC vybízí členské země k zajištění minimálního podílu biopaliv a jiných alternativních pohonných paliv na jejich národních trzích a v tomto ohledu stanoví národní indikativní cíle (priority). Jako referenční hodnota pro tyto cíle byla navržena pro r. 2005 hodnota 2 % ního (e.o.) podílu benzínu a motorové nafty spotřebovaných pro dopravní účely v tomto roce. V roce 2010 by mělo být dosaženo hodnoty podílu 5,75 % (e.o.) a do roku 2020 by se měl tento podíl zvětšit na 8 % (e.o.). Směrnice rovněž obsahuje jak definice pojmů biopaliva a biomasa, tak i definice jednotlivých typů biopaliv. Termínem biopaliva jsou míněna kapalná nebo plynná paliva vyrobená z biomasy.

Tab. 1: Zvětšování podílu alternativních paliv na celkové spotřebě motorových paliv v zemích EU do roku 2020

Rok	BIOPALIVA *)	Zemní plyn	Vodík	Celkem
2005	2	-	-	2
2010	6	2	-	8
2015	7	5	2	14
2020	8	10	5	23

*) podíl alternativních paliv je definován na bázi celkového energetického obsahu (e.o.) automobilového benzínu a motorové nafty spotřebovaných pro dopravní účely



V období 2010 až 2020 se pak předpokládá významné využití zemního plynu jako další alternativní pohonné hmoty v dopravě (v roce 2020 by jeho podíl měl činit až 10 % (e.o.) z celkové spotřeby motorových paliv). Zemní plyn je přírodní směs plyných uhlovodíků s převažujícím podílem metanu a proměnlivým množstvím neuhlovodíkových, především inertních, plynů. V dopravě je zemní plyn využíván jednak ve formě stlačeného zemního plynu – CNG (Compressed Natural Gas), tak ve zkapalněné formě LNG (Liquefied Natural Gas). Zemní plyn z plynovodní sítě se pomocí kompresorů v plnicích stanicích stlačuje na tlak 20 až 30 MPa a pod tímto tlakem uskládá v tlakových zásobnících. Z tlakových zásobníků se stlačený zemní plyn (CNG) plní prostřednictvím výdejního stojanu do tlakové nádoby ve vozidle. Zkapalněný zemní plyn (LNG) je prakticky čistý metan, zchlazený na teplotu $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ při atmosférickém tlaku. Zemní plyn je z hlediska emisí skleníkových plynů výhodnější než současná klasická kapalná motorová paliva a biopaliva. Nezbytným předpokladem pro jeho širší využití je však dostatečně široká nabídka vozů na zemní plyn od výrobců a zejména pak vytvoření potřebné infrastruktury. Jedná se zejména o výstavbu dostatečného množství čerpacích stanic pro CNG nebo LNG.

Využití vodíku jako alternativní pohonné hmoty v dopravě ve větší míře se pak očekává až po roce 2020. Je podmíněno dostatečně širokou nabídkou vyráběných vozidel s přijatelnou cenou a vybudováním distribuční sítě pro toto palivo.

Mezi alternativní plynná paliva byla zařazena také směs zkapalněných uhlovodíkových plynů (LPG). LPG je používán jako pohonná hmota v dopravě již několik desítek let. Je relativně levný a jeho ekologické přednosti oproti klasickým kapalným palivům jsou jeho nespornou výhodou. Lze jej získat ze dvou zdrojů a to ze zemního plynu a z ropných rafinerií (z primárního i sekundárního zpracování ropy). Potenciál ropného LPG je limitován světovými zásobami ropy. Naopak očekávané zvýšení těžby zemního plynu a jeho lepší zpracování by mělo zvýšit dostupnost LPG z tohoto zdroje. To by mělo vést i k následnému mírnému zvýšení jeho využití jako pohonné hmoty v dopravě. Výhodou LPG v porovnání s ostatními alternativními plynnými palivy je i dostatečně rozvinutá infrastruktura veřejných čerpacích stanic.

Dalšími typy alternativních paliv, uvažovanými ve střednědobém a dlouhodobém výhledu, jsou syntetická motorová paliva. Takto jsou označovány syntetické uhlovodíky a jejich směsi a některé další látky vyrobené tzv. Fischer – Tropšovou (FT) syntézou na bázi zemního plynu, uhlí nebo biomasy. Jedná se především o motorovou naftu, a dále také metanol a dimetyléter. Metanol může být použit v zážehových i vznětových motorech a dimetyléter pouze ve vznětových motorech.

3. Ekologické aspekty využití alternativních paliv v dopravě

Jako jeden z hlavních argumentů pro používání alternativních motorových paliv jsou uváděny ekologické důvody. Alternativní plynná a kapalná paliva v porovnání s klasickými pohonnými hmotami na ropné bázi – automobilovým benzínem a motorovou naftou obecně představují menší zátěž pro ovzduší jak z hlediska emisí skleníkových (GHG) plynů, tak i dalších anorganických a organických škodlivin obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů - oxidu uhelnatého (CO), oxidu dusíku (NO_x), celkových uhlovodíků (HC), částic (PM) a minoritních organických sloučenin s vysokým rizikovým potenciálem (např. polyaromatické uhlovodíky, aldehydy, alkeny). Výhodou plynných paliv je skutečnost, že v případě jejich úniku nepředstavují zátěž pro vodní zdroje a půdu, výhodou některých alternativních kapalných paliv vyrobených na bázi rostlinných zdrojů – bionafta, bioetanol – je jejich lepší biologická odbouratelnost ve srovnání s klasickými motorovými palivy na ropné bázi.

Při posuzování ekologické výhodnosti použití alternativních paliv ale není možné hodnotit pouze finální fázi jejich spotřeby ve vozidlech, ale celý „životní cyklus“ zahrnující i předcházející fáze produkce zdrojů, výroby paliva a jeho distribuce ke spotřebiteli. Pouze komplexní analýza je objektivní a umožňuje zohlednit skutečnost, že v některých případech může být výrobní fáze natolik ekologicky a energeticky náročná, že je v celkové bilanci zcela negován pozitivní efekt konečné spotřeby paliva ve vozidle (např. vodík). Komplexní posouzení vlivu paliva na životní prostředí (LCA – Life Cycle Assessment) je v současnosti celosvětově předmětem aktivity řady výzkumných pracovišť. Jedná se o problematiku značně složitou vyžadující analýzu velkého množství nejrůznějších vstupních dat z řady odvětví národního hospodářství (zemědělství, těžba surovin, energetika, automobilový průmysl, chemický průmysl, ekonomika).

Za jednu z nejlepších současných komplexních analýz tohoto typu lze považovat studii „Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context“, vypracovanou sdružením EUCAR (the European Council for Automotive R & D), CONCAWE (the Oil Companies' European Association for Environment, Health and Safety in Refining and Distribution) a JRC (the Joint Research Centre of the EU Commission) v r. 2003 a její zpřesnění z r. 2005. Studie přináší analýzu bilance tvorby GHG plynů pro klasická motorová paliva (benzín, motorová nafta), alternativní plynná (CNG, LNG, bioplyn, LPG, stlačený i zkapalněný vodík a DME) a kapalná (etanol, metanol,

ETBE, FAME, FAEE, syntetická motorová nafta vyrobená na bázi zemního plynu, uhlí a biomasy (FT) syntézou) paliva z hlediska různých způsobů jejich výroby a distribuce. Analýza rovněž zohledňuje použití alternativních paliv ve vozidlech s různou úrovní technického řešení spalovacích motorů odpovídající r. 2002 a předpokládanou pro r. 2010, vozidel s hybridními pohony a palivovými články. Studie vyčísluje náklady spojené s produkcí resp. úsporami GHG plynů.

Analýza vlivu na životní prostředí každého hodnoceného paliva je rozdělena na dvě části. První část, tzv. Well to Tank (WTT) „od zdroje do nádrže“, posuzuje energetickou náročnost a emise skleníkových plynů v krocích předcházejících konečné spotřebě pohonné hmoty ve vozidle. Druhá část, tzv. Tank to Wheels (TTW) „z nádrže na kola“, pak bilancuje spotřebu energie a produkci GHG plynů ve fázi konečné spotřeby paliva ve vozidle. Obě části dohromady pak zahrnují celý „životní cyklus“ konkrétní pohonné hmoty, tzv. Well to Wheels (WTW) „od zdroje na kola“.

Následující sloupcové grafy uvedené na obr. 1 – 4 prezentují jednotlivá alternativní motorová paliva, resp. různé surovinové zdroje a způsoby výroby, z hlediska porovnání energetické náročnosti fází „životního cyklu“ předcházejících finální spotřebě paliva ve vozidle (WTT). V grafech jsou uváděny relativní hodnoty WTT energie vztažené na využitelný energetický obsah paliva (TTW). Lze obecně konstatovat, že prakticky u všech alternativních motorových paliv, pouze s výjimkou zemního plynu a LPG, je fáze předcházející konečné spotřebě energeticky velmi náročná. Spotřeba energie ve fázi WTT v lepším případě odpovídá vlastnímu využitelnému energetickému obsahu alternativního paliva (syntetická kapalná paliva, DME, vodík vyrobený ze zemního plynu nebo biomasy), ve většině uváděných variant však využitelný energetický obsah paliva 1,5 až 5-krát překračuje (bioetanol, bionafta, elektrolytický vodík). Potvrzuje se, že energie obsažená v biomase či přírodních zdrojích je velice málo koncentrovaná a větší část využitelného energetického potenciálu obnovitelných zdrojů je nutno rezervovat pro výrobu alternativních paliv a nebude ji možno efektivně využít ve fázi konečné spotřeby.

Grafy dále přinášejí informaci o tom, jaký celkový podíl energie z fosilních zdrojů (WTW_{fos}) připadá na jednotku energie v alternativním palivu spotřebovaném pro pohon vozidla (TTW). Téměř v procesu výroby každého typu alternativního paliva se více či méně spotřebovává energie z neobnovitelných zdrojů. Převážně se jedná o elektrickou energii a motorová paliva v zemědělství a dopravě. Zcela minimální spotřeba energie z neobnovitelných zdrojů je spojena především s využitím odpadní biomasy v kogeneračních jednotkách při společné výrobě elektrické energie a tepla.

Porovnání výrobních nákladů alternativních paliv a produkce GHG plynů v celém procesu výroby, distribuce a spotřeby alternativních paliv ve vzájemných souvislostech je přehledně shrnuto na obr. 5. Z prezentovaných dat zcela jednoznačně vyplývá značná finanční náročnost úspory skleníkových plynů v porovnání s klasickými kapalnými palivy na ropné bázi. Ideální oblast reprezentuje 1. kvadrant, s nižšími emisemi GHG plynů a současně i výrobní cenou paliva nižší než je cena konvenčních motorových paliv. Nejméně vhodnou oblastí je pak 3. kvadrant, v němž emise GHG plynů a současně i výrobní cena paliva vzrůstají. Do 1. kvadrantu lze v současnosti zařadit naprosté minimum alternativních paliv, reálný je pouze zemní plyn. Výroba bioetanolu z odpadní slámy případně termochemická výroba vodíku zplyňováním dřevní hmoty bude v nejbližší budoucnosti stále ještě patřit mezi vývojové technologie s minimální výrobní kapacitou. S postupným nárůstem ceny ropné suroviny se bude posunovat vodorovná osa kříže směrem k vyšším hodnotám a tím se do 1. kvadrantu přesunou i další kapalná a plynná alternativní paliva a významně se tak rozšíří spektrum konkurence schopných pohonných hmot (bioetanol, bionafta, syntetická nafta). Mimo oblast reálného použití v krátkodobém i střednědobém horizontu pravděpodobně zůstane výroba elektrolytického vodíku (3. i 2. kvadrant).

Data uvedená na obr. 6 pak uvádí do souvislosti úsporu oxidu uhličitýho, jako hlavního skleníkového plynu, s navýšením provozních nákladů na ujetí vzdálenosti 100 km v osobním automobilu různé technické úrovně. Z těchto dat je zcela evidentní, že praktické použití palivových článků (body - čtverečky), ať již přímo spalujících vodík či konvenční kapalná paliva prostřednictvím on-board reforméru, je ve střednědobém časovém horizontu (do r. 2020) z ekonomických důvodů jen málo pravděpodobné. Dominantní postavení patří a bude patřit spalovacím motorům. Klíčovou roli v produkci GHG emisí a při spotřebě energií hraje nejen charakter motorového paliva a způsob jeho výroby, ale i účinnost pohonné jednotky ve vozidle.

Dosavadní získané poznatky týkající se ekologických aspektů využití jednotlivých typů alternativních paliv v dopravě lze shrnout do níže uvedených bodů.

Bioetanol a bionafta

- Alternativa využití těchto motorových paliv z obnovitelných zdrojů může přinést významné snížení GHG emisí, ale obecně za cenu vyšší energetické náročnosti.
- Přesun z fosilních k alternativním palivům z obnovitelných zdrojů je v současné době finančně velmi náročný. Snížení GHG emisí má vždy za následek zvýšení nákladů. Avšak vyšší náklady nemusí automaticky znamenat větší snížení GHG emisí.

Zemní plyn a LPG

- Celkové emise skleníkových plynů (WTW) při použití CNG jako motorového paliva vztažené na využitelný energetický obsah jsou menší než odpovídající emise automobilového benzínu a motorové nafty. Pro celkovou bilanci energií a GHG emisí v případě zemního plynu se jako kritické jeví jeho těžba a dálková přeprava. Prodlužování potrubní přepravy ke vzdálenějším ložiskům zemního plynu je spojeno s nárůstem počtu kompresních stanic a tím i vyšší spotřebou energií a vyšší produkcí GHG emisí.
- LPG v porovnání s benzinem a motorovou naftou přináší zcela minimální snížení GHG emisí, mnohem významnější je příspěvek k redukci emisí zdravotně rizikových organických polutantů, zejména u staršího vozového parku. Zdroje LPG jsou úzce svázány se zdroji ropy a zemního plynu, jedná se o motorové palivo především střednědobého horizontu.

Vodík

- V případě vodíku jako alternativního paliva je ekologická výhodnost/nevýhodnost zásadním způsobem ovlivněna zdroji a způsobem jeho výroby. Elektrolýtický vodík, pro jehož výrobu je využita elektrická energie z rozvodné soustavy, představuje z hlediska celkových emisí GHG plynů větší zatížení životního prostředí než vodík vyrobený ze zemního plynu. Při výrobě vodíku ze zemního plynu, lze ovšem dosáhnout celkového snížení GHG emisí pouze v případě použití vyrobeného vodíku v palivových článkách.
- Za perspektivní je považována výroba vodíku, vysokoteplotní elektrolýzou a termochemickým štěpením vody s použitím tepla z vysokoteplotního jaderného reaktoru; vývoji těchto reaktorů je věnována intenzivní pozornost především v USA a Rusku..
- Širší využití palivových článků, ať již přímo spalujících vodík či konvenční kapalná paliva prostřednictvím on-board reforméru, je ve střednědobém časovém horizontu z ekonomických důvodů málo pravděpodobné.
- Při spalování vodíku ve vozidlech vybavených konvenčními spalovacími motory jsou celková spotřebovaná energie a celkové emise GHG plynů vyšší než je tomu u klasických motorových paliv nebo CNG. Z hlediska pořizovací ceny je ovšem spalovací motor výrazně levnější než palivové články.

Syntetická motorová paliva

- Výroba syntetických paliv z fosilních zdrojů – zemního plynu nebo uhlí je efektivní z hlediska snížení GHG emisí ve fázi koncové spotřeby pouze za předpokladu, že se vhodnou technologií podaří zachytit a uskladnit oxid uhličitý vznikající v procesu výroby těchto paliv. Varianta výroby syntetických paliv z biomasy je velmi výhodná z hlediska úspory GHG plynů, ale je stále ještě energeticky velmi náročná a z hlediska výrobních nákladů málo efektivní.
- Syntetická paliva a vodík mají v budoucnosti větší potenciál pro náhradu klasických motorových paliv, benzínu a motorové nafty, než současná konvenční biopaliva (bioetanol, bionafta).

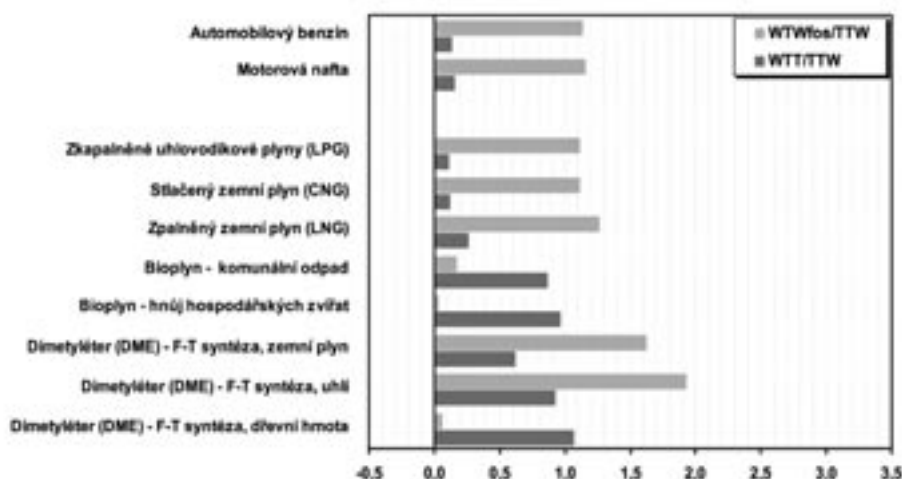
Závěrem lze konstatovat, že neexistuje jednoduchá cesta, která by v blízké budoucnosti umožnila zajistit dostatečné množství „nízkouhlíkatého“ paliva. Na trhu bude figurovat široké spektrum alternativních paliv v kombinaci řady výrobních technologií. Z důvodů přiměřených nákladů se po přechodnou dobu v případech, kdy je to možné, jeví jako pravděpodobné využívání směsí konvenčních a alternativních motorových paliv.

4. Použitá literatura

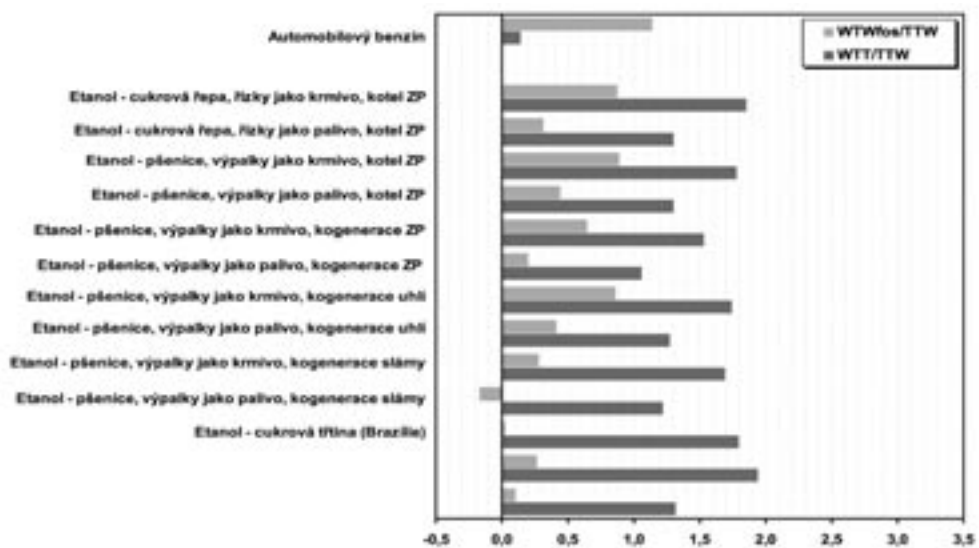
1. Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.: Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, studie pro MD ČR, VŠCHT Praha, 2006.
2. Joseph H., Jr.: Long term experience from dedicated & flex fuel ethanol vehicles in Brazil, Clean Vehicles and Fuels Symposium, Stockholm, 9. listopad 2005.
3. Gielen D., Unander F.: Alternative Fuels: An Energy Technology Perspective, IEA/ETO Working Paper, Paříž, březen 2005.
4. Egebäck K.E., Henke M., Rehlund B., Wallin M.: Stockholm University, Report no. MTC 5407- 05-2005, „Blending of ethanol in gasoline for spark ignition engines“, Stockholm (2005).
5. Worldwatch Institute for the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BEMLV), Agency for Technical Cooperation (GTZ), Agency of Renewable Resources (FNR): Biofuels for transport – Global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century, Washington, červen 2006.
6. Pridmore A., Bristow A.: The role of hydrogen in powering road transport, Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 19, duben 2002.

Alternativní paliva v dopravě a jejich vliv na životní prostředí

7. Quirin M., Gärtner S.O., Penny M., Reinhardt G.A.: CO₂ mitigation through biofuels in the transport sector, Report of Institut for Energy and Environmental Research, Heidelberg, srpen 2004.
8. International Energy Agency: Biofuels for Transport, An International Perspective, s. 11, (2004).
9. Tzimas E., Soria A., Peteves S.D.: The introduction of alternative fuels in the European transport sector: techno – economic barriers and perspectives, Technical Report EUR 21173, Luxembourg 2004.
10. International Energy Agency: Biofuels for Transport, An International Perspective, s. 111, (2004).
11. Jonk G.: European Bureau background paper on the use of biofuels for transport, Brusel, březen 2002.
12. Edwards R., Griesemann J.C., Larivé J.F., Mahieu V.: Well to Wheel nalysis of future automotive duele and powertrains in the European kontext, Well to Wheel Report, Brusel, únor 2004.
13. Edwards R., Larivé J.F., Mahieu V., Rouveirrolles P.: Well to wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Well to Wheels Report, Brusel, prosinec 2005.
14. Federal and California Exhaust and Evaporative Emission Standards for Light-Duty Vehicles and Light-Duty Trucks, US EPA 420-B-00-001, February 2000.
15. Schulte-Braucks R: European Vehicle European Vehicle Emissions Regulations, ENGVA Conference, Brussels, 26 April 2006. (http://ec.europa.eu/enterprise/automotive/speeches_presentations/brussels26042006.pdf)
16. Barnitt R., Eudy L.: Overview of Advanced Technology Transportation, 2005 Udate, NREL Report DOE/GO-102005-2117, srpen 2005.
17. Gielen D., Unander F.: Alternative Fuels: An Energy Technology Perspective, IEA/ETO Working Paper, Paříž, březen 2005.

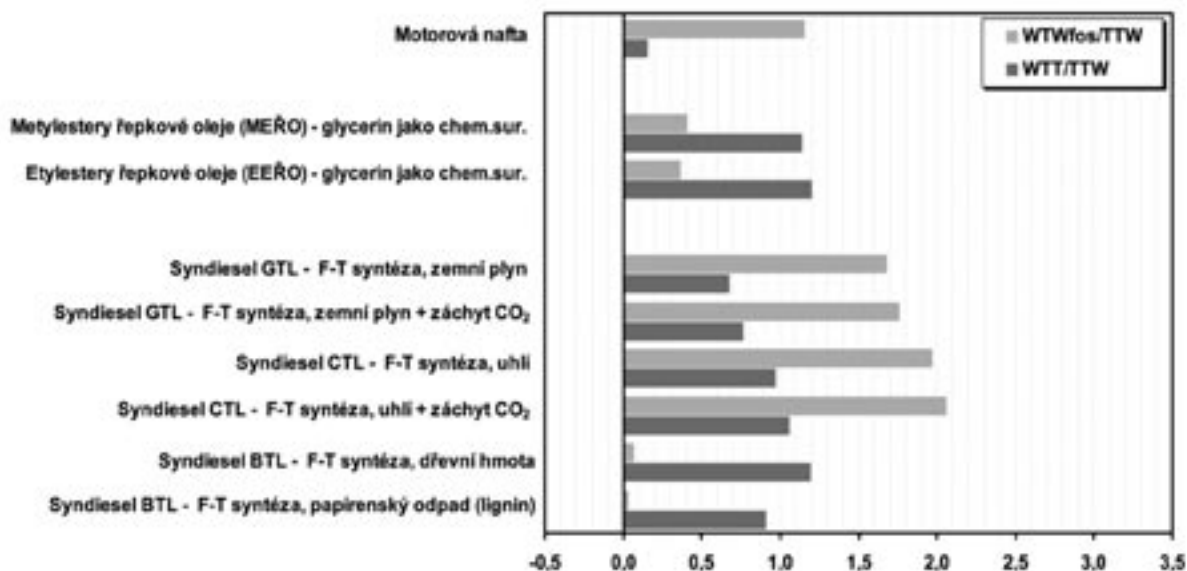


Obr. 1: Relativní porovnání vybraných alternativních paliv a způsobů jejich výroby z hlediska relativní spotřeby energie ve fázi jejich výroby a distribuce (WTT) a celkové spotřeby energie z fosilních zdrojů (WTW_{fos}) – vztaheno na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW)

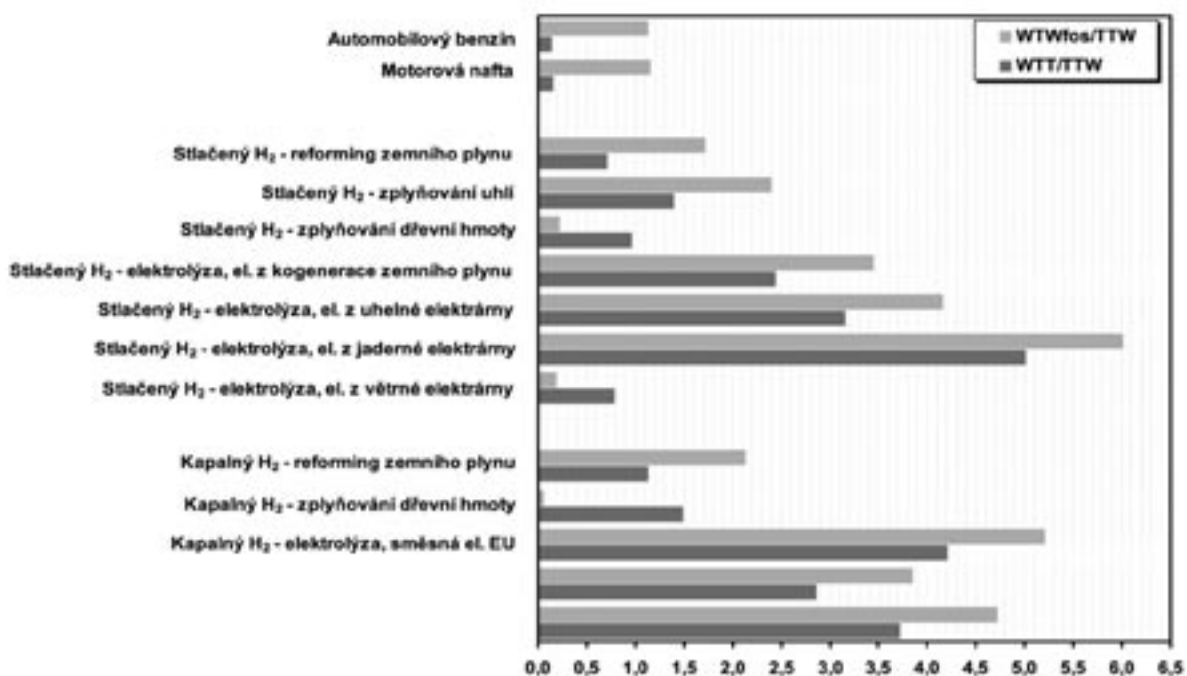


Obr. 2: Relativní porovnání vybraných alternativních paliv a způsobů jejich výroby z hlediska relativní spotřeby energie ve fázi jejich výroby a distribuce (WTT) a celkové spotřeby energie z fosilních zdrojů (WTW_{fos}) – vztaheno na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW)

Alternativní paliva v dopravě a jejich vliv na životní prostředí

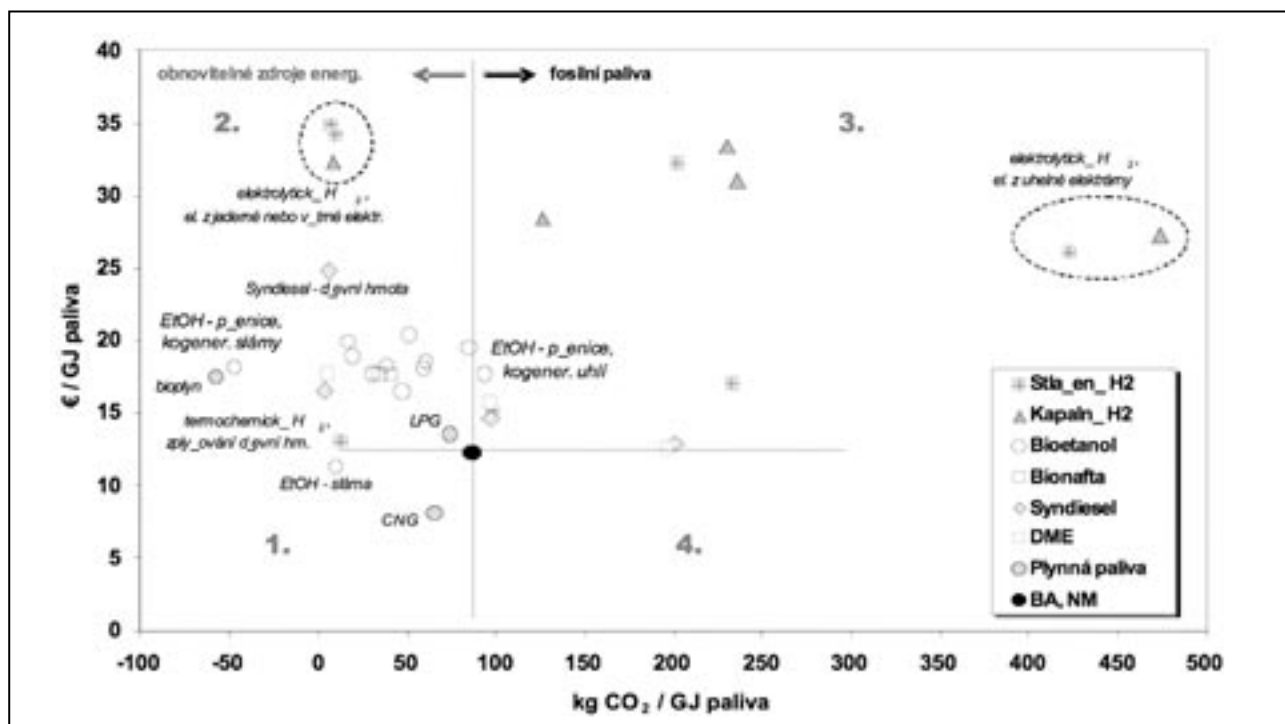


Obr. 3: Relativní porovnání vybraných alternativních paliv a způsobů jejich výroby z hlediska relativní spotřeby energie ve fázi jejich výroby a distribuce (WTT) a celkové spotřeby energie z fosilních zdrojů (WTT_{fos}) – vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW)

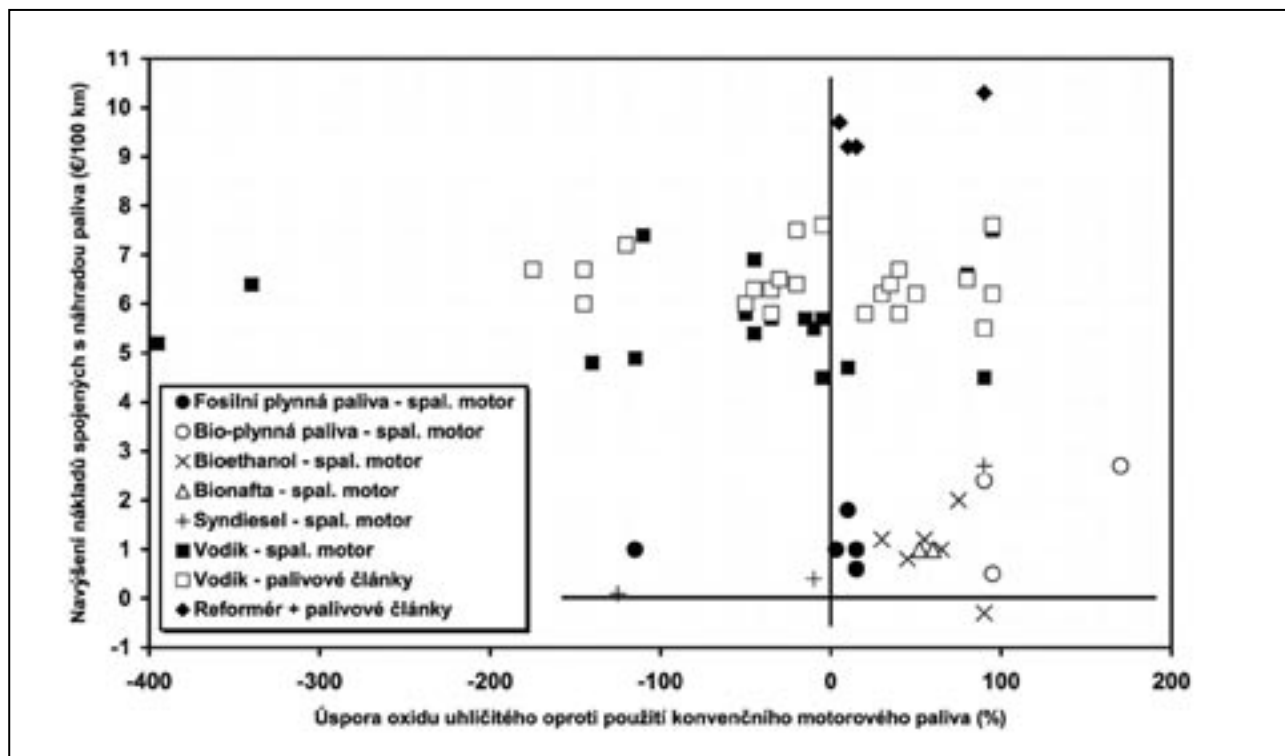


Obr. 4: Relativní porovnání vybraných alternativních paliv a způsobů jejich výroby z hlediska relativní spotřeby energie ve fázi jejich výroby a distribuce (WTT) a celkové spotřeby energie z fosilních zdrojů (WTT_{fos}) – vztaženo na využitelný obsah energie při spotřebě (TTW)

Alternativní paliva v dopravě a jejich vliv na životní prostředí



Obr. 5: Porovnání výrobní ceny alternativních paliv a emisí GHG plynů při jejich použití jako motorových paliv (situace odpovídající ceně ropy 60 USD/bbl)



Obr. 6: Porovnání alternativních paliv z hlediska navýšení provozních nákladů a úspory GHG plynů při jejich spotřebě v motorových vozidlech různé technické úrovně



Jaroslav Černý

Ústav technologie ropy a alternativních paliv, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: jaroslav.cerny@vscht.cz

1. ÚVOD

Na každém kroku se dnes setkáváme s přístroji, zařízeními, stroji a motory, kde se navzájem pohybují dvě plochy. Mezi těmito plochami vzniká tření, které je třeba minimalizovat. Snižování tření dvou ploch je úkolem skupiny přípravků, které se nazývají obecně maziva. Kromě snižování tření mají tato maziva často za úkol také odvádět z třecího uzlu teplo, které se třením vyvíjí, a tím i třecí plochy chladit.

Většina maziv se dnes vyrábí z ropy, další maziva mohou být i syntetická či biologického původu. Z hlediska konkrétních aplikací je často rozhodující viskozita oleje, laicky řečeno to, jak je olej hustý či řídký. Pro některé aplikace musí mít olej velmi nízkou viskozitu, na druhém konci jsou aplikace, které vyžadují použití plastických maziv (tuků) s velmi vysokou viskozitou. V určitých aplikacích může být mazacím médiem i plyn, jindy voda či pevná látka. Některé pevné látky mají díky své struktuře velmi dobré mazací schopnosti – např. grafit, molyka, teflon a další.

V následujícím textu je stručně podán přehled výroby či získávání mazacích olejů, přehled hlavních druhů maziv používaných v motorismu a průmyslu a některé jejich vlastnosti, které jsou zodpovědné nejen za kvalitu oleje a kvalitu mazání, ale i za životnost oleje.

2. ZÁKLADNÍ POJMY

Nejprve si řekněme, co to je mazivo, tedy většinou mazací olej. Ten se skládá ze základového oleje a z přísad (aditiv), které dávají hotovému mazacímu oleji žádoucí vlastnosti. Přísady jsou dnes obsaženy téměř ve všech mazacích olejích, samotné základové oleje by bez nich nemohly vykonávat svou funkci v požadované kvalitě.

Základové oleje mohou být ropné (minerální) nebo syntetické. Ropných olejů je dnes celá řada a vyrábějí se v různých stupních kvality. Ty nejkvalitnější jsou dnes natolik kvalitní, že není žádný významný rozdíl mezi těmito nejkvalitnějšími ropnými oleji a syntetickými oleji. Oba dva typy olejů mohou zabezpečit naprosto shodnou výkonnost a kvalitu oleje.

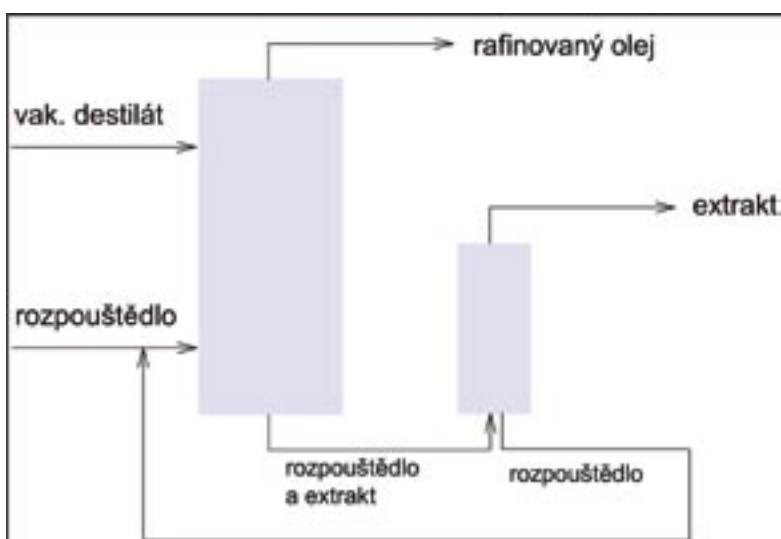
3. VÝROBA ZÁKLADOVÝCH OLEJŮ

Základové oleje se vždy vyrábějí ve třech technologických krocích. Prvním krokem je rafinace ropné suroviny, druhým krokem je odparafinování oleje a třetím je dorafinování oleje tak, aby měl nejen dobré vlastnosti, ale působil důvěryhodně i na pohled. Měřítkem kvality základového oleje je především viskozitní index (vyjadřuje závislost viskozity na teplotě), obsah síry a obsah nasycených uhlovodíků. Čím je základový olej kvalitnější, tím má vyšší viskozitní index (menší závislost na teplotě), větší obsah nasycených uhlovodíků a nižší obsah síry.

3.1 Rafinace

Rafinace ropné suroviny je nejdůležitějším krokem, který většinou určuje kvalitu hotového oleje. Nejstarším a stále

nejobvyklejším způsobem rafinace je extrakce ropné suroviny (vakuového destilátu) vhodným rozpouštědlem. Jako rozpouštědla se většinou používá furfural nebo N-metylpyrolidon, ve starších procesech se využíval i fenol či kresol. Extrakční rozpouštědlo má takové vlastnosti, že je schopné z ropné suroviny odstranit většinu látek, které v olejích nepotřebujeme a jsou tam nežádoucí. Cílem je odstranit hlavně pryskyřičnaté látky, které obsahují síru a dusík. Tyto látky by v oleji vytvářely nežádoucí úsady a kaly a na horkých dílech stroje či motoru by se vytvářely tvrdé lakovité nánosy. Olejům vyrobeným extrakční rafinací se říká rozpouštědlové rafináty. Těchto základových olejů se stále vyrábí největší množství a tvoří přibližně 65% všech vyrobených olejů. Extrakční rozpouštědlo se regeneruje destilací a znovu se používá k extrakci. Extrakt oddělený od rozpouštědla se využívá většinou v gumárenském průmyslu, např. k měkčení pneumatik. Extrakční rafinační proces je levný jak investičně, tak i provozně. Schéma procesu je na obr. 1.



Obr. 1 Schema extrakční rafinace olejů

Dalším a modernějším způsobem rafinace je hydrokrakování. Jedná se o proces, který probíhá přibližně při 400 °C a při vysokém tlaku vodíku. Dochází při něm k přeargánování ropných molekul a hydrogenaci dvojných vazeb a aromatických jader. Hydrokrakováním a hydrogenací jsou odstraněny také téměř všechny nežádoucí prvky – především síra a dusík. Produktem hydrokrakování jsou velmi kvalitní základové oleje s téměř nulovým obsahem síry a dusíku a s velmi nízkým obsahem aromatických uhlovodíků. Proces je velmi flexibilní a požadovanou

hloubku rafinace lze získat vhodnou volbou reakčních podmínek. Nevýhodou procesu jsou vyšší investiční a provozní náklady a ekonomicky se vyplatí pouze jednotky s větší kapacitou. Rafinerie také musí mít k dispozici zdroj vodíku pro hydrogenaci. Často se pro výrobu hydrokrakových olejů používají zbytky z hydrokrakování vakuových ropných destilátů s cílem vyrobit palivo (naftu). Po oddestilování naftových destilátů se získává velmi kvalitní olejová surovina, kterou již není třeba dále rafinovat.

3.2 Odparafinování

Dalším stupněm výroby základových olejů je odparafinování. Každý ropný olej, který prošel pouze prvním stupněm výroby – rafinací – obsahuje poměrně velké množství parafinů, které způsobují, že olej je za normální teploty téměř tuhý. Takové oleje jsou v praxi velmi často nepoužitelné, zejména v případech, kdy stroj či motor je vystaven nízkým teplotám. Motor v automobilu vybavený takovým olejem bychom ani nenastartovali. Oleje se proto musí tuhých parafinů zbavit. To se dnes provádí dvěma způsoby.

Tradiční je postup nazývaný rozpouštědlové odparafinování. Při něm je rafinovaný olej smíchán s rozpouštědlem, které jednak rozpouští olej i parafiny (toluen) a jednak při nízkých teplotách podporuje krystalizaci parafinů (metylylketon – MEK). Směs MEK s toluenem je přibližně v poměru 90:10. Olej a parafiny rozpuštěné ve směsném rozpouštědle se podchlazují a vykrytalizovaný parafin je odfiltrován. Pokud požadujeme od hotového základového oleje, aby měl bod tuhnutí např. -15 °C, musíme celou směs ochladit a filtrovat alespoň při teplotě -25 °C, tj. pracovat při teplotě o 10 °C nižší, než je požadovaný bod tuhnutí hotového základového oleje. Kromě odparafinovaného oleje je produktem tohoto procesu tuhý parafin, který po oddělení od oleje musí projít ještě dalším dočištěním. Využíváný je zejména v obalové technice.

Mazací oleje v každodenním životě

Druhým a velmi moderním postupem je hydroizomerace parafinů. Tento postup je velmi podobný hydrokrakovacímu procesu, ale probíhá za nižší teploty, při nižší tlaku vodíku a na speciálním katalyzátoru. Díky katalyzátoru je proces účinný převážně právě pro parafiny, které se selektivně izomerují na izoalkany. Izoalkany mají velmi dobré nízkoteplotní vlastnosti a s tuhnutím nemají žádné problémy, kromě toho izoalkany zvyšují i viskozitní index. Nevýhodou procesu je, že nelze získat pevný parafin a také to, že k procesu je potřeba zdroj vodíku.

3.3 Dorafinace

Závěrečným stupněm výroby základových olejů je dorafinace. V tomto stupni dochází k odstranění zbytkových nečistot oleje a zlepšuje se i barva oleje. Čím je olej světlejší, tím je zákazník lépe akceptován, i když barva oleje nemusí korespondovat s kvalitou oleje. Dorafinace může být prováděna opět hydrogenačně, kdy závěrečná hydrogenace oleje je velmi jemná, aby už nedocházelo ke štěpení uhlovodíků. Další možnost je dorafinace extrakčním rozpouštědlem. Nejjednodušším způsobem dorafinace je adsorpce nečistot na aktivní hlince. Tomuto způsobu dorafinace se také říká „horký kontakt“, protože proces spočívá v rozmíchání hlinky v teplém oleji a filtrace hlinky s adsorbovanými nečistotami.

Během celé výroby základových olejů musí být do technologie zařazena také destilace. Při hydrogenační rafinaci se destilací odstraňují lehké produkty hydrokrakování a ty se míchají do motorových paliv. Vakuovou destilací vyrobených rafinovaných olejů se získávají různé destilační řezy základových olejů, z nichž se pak vyrábějí mazací oleje s různou viskozitou.

3.4 Rozdělení a kvalita základových olejů

Základové oleje se podle kvality rozdělují do pěti skupin. Ropné oleje tvoří první tři skupiny. Rozdíl mezi nimi je v obsahu síry a nasycených uhlovodíků (alkanů) a v hodnotě viskozitního indexu. Rozmezí těchto hodnot pro jednotlivé skupiny je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1 Rozdělení základových olejů podle API (American Petroleum Institute)

Skupina	Nasycené uhlov. (% hm.)	Síra (% hm.)	Viskozitní index	Typ oleje
I	pod 90	nad 0.03	80-120	rozp. rafináty
II	nad 90	pod 0.03	80-120	hydrokrakové oleje
III	nad 90	pod 0.03	nad 120	hydrokrakové oleje
IV	PAO			
V	Ostatní syntetické oleje			

Do skupiny I se zařazují především rozpouštědlové rafináty, protože tímto rafinačním procesem nelze dokonale odstranit sírné a aromatické sloučeniny. Obsah síry v těchto olejích se pohybuje mezi 0,1-0,6% hm., obsah nasycených uhlovodíků mezi 65-80% hm. Viskozitní index těchto olejů bývá 90-105. Další rafinace již není z ekonomického hlediska únosná. Z olejů skupiny I se vyrábějí především průmyslové oleje a motorové oleje pro nákladní i osobní vozidla.

Oleje skupiny II a III se již vyrábějí hydrokrakovým způsobem. Oleje skupiny II se používají především pro výrobu průmyslových i automobilových olejů. Oleje skupiny III se používají především pro výrobu moderních motorových olejů určených pro nové motory osobních automobilů. Slouží jako náhrada syntetických olejů – polyalfaolefinů (PAO). Základové oleje skupiny III lze vyrobit v kvalitě, která plně odpovídá kvalitě PAO. Jejich viskozitní index dosahuje hodnot i přes 130, obsah nasycených uhlovodíků může dosáhnout téměř 100%. To znamená, že tyto oleje neobsahují téměř žádné aromatické a tím méně sírné či dusíkaté látky. Oleje skupiny III se také někdy nazývají VHVI oleje

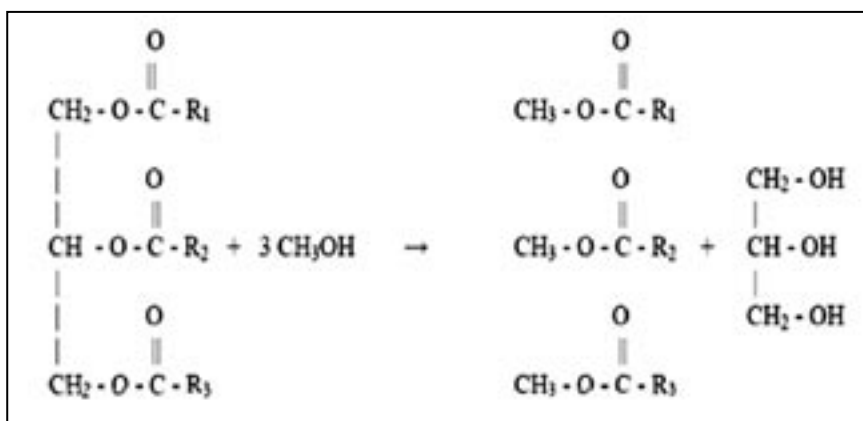
(z angl. Very High Viscosity Index). Jejich jedinou nevýhodou ve srovnání se syntetickým PAO jsou horší nízkoteplotní vlastnosti. Tento nedostatek však lze účinně odstranit pomocí přísad (depresantů) do mazacího oleje.

Do skupiny IV je zařazen pouze jeden typ oleje – syntetické PAO. V dnešních formulacích motorových olejů se používají většinou pouze v přídavcích na zlepšení nízkoteplotních vlastností olejů. PAO se vyrábí z plynného ethylenu dvoustupňovou syntézou. Produkt je dále také destilován a hydrogenován k odstranění zbytkových dvojných vazeb. Do skupiny V se zařazují všechny ostatní syntetické oleje. Neznámější jsou esterové oleje, které se používají i v motorových olejích zejména pro zlepšení rozpustnosti přísad v kvalitních olejích skupiny III. Z dalších syntetických olejů lze vyjmenovat např. oleje polyglykolové, polyeterové, silikonové, alkylbenzeny a další.

4. ROSTLINNÉ OLEJE

Popularita rostlinných, příp. jiných biologicky odbouratelných, mazacích olejů se rozšiřuje zejména v poslední době díky stále sílícímu úsilí za udržení či zlepšení čistoty a stavu přírody. Rostlinné oleje jsou produkty některých olejonosných rostlin. Oleje jsou z takových rostlin získávány lisováním a extrakcí. K neznámější rostlinným olejům patří v našem podnebním pásmu především řepkový, sojový a slunečnicový olej. Na světě je však nejrozšířenější, a také nejlevnější, palmový olej, který se i k nám dováží pro průmyslové potravinářské účely. Využití rostlinných olejů jako průmyslových maziv je však zatím velmi omezené. V posledních letech se z rostlinných olejů vyrábí i bionafta reesterifikací s methanolem či ethanolem. Rozsah tohoto způsobu využití rostlinných olejů bude stále narůstat.

Po chemické stránce jsou rostlinné oleje estery glycerinu a různých nenasyčených kyselin s délkou uhlíkatého řetězce 16-18 atomů uhlíku (obr. 2). Z jedné molekuly oleje lze reesterifikací např. methanolem získat tři molekuly methylesteru rostlinného oleje. Při výrobě bionafty vzniká také odpadní glycerin, jehož využití je velmi problematické a jeho množství se bude stále zvyšovat tak, jak se bude zvyšovat produkce bionafty.



Obr. 2 Chemická reakce reesterifikace rostlinného oleje metanolem při výrobě bionafty (R_1, R_2, R_3 – uhlovodíkové řetězce nenasyčených mastných kyselin)

Rostlinné oleje mají vynikající mazivostní vlastnosti. Jejich velkou nevýhodou je však velmi špatná oxidační a termická stabilita. Příčinou této špatné stability je přítomnost dvojných vazeb v uhlíkatém řetězci,

které velmi snadno reagují s kyslíkem a za zvýšené teploty také podléhají polymeračním reakcím. Produktem takových přeměn v olejích je tvorba lepivých pryskyřic. V této souvislosti si vzpomeňme, jak vypadají téměř v každé domácnosti pánve na smažení. I přes velkou péči hospodyněk dochází časem k usazování olejových pryskyřic na stěnách pánve a ty časem vypadají velmi nevábně.

Oxidační a termická nestabilita biologických olejů je velmi závažným důvodem, proč dosud nenašly větší uplatnění v průmyslových aplikacích. Oleje v průmyslových zařízeních nebo v motorech pracují často při vysokých teplotách a jsou vystaveny účinkům vzduchu. Pokud pracují při nižších teplotách, používají se olejové náplně po dlouhou dobu, třeba několik roků. V takových podmínkách by snadno podléhaly oxidaci a polymeračním změnám. Životnost olejů a zejména životnost strojů by proto byla velmi nízká.

Rostlinné oleje a podobná nestabilní maziva se proto mohou používat na tzv. ztrátové mazání. To jsou aplikace, kdy olej použitý na mazání neobíhá uvnitř mazaného soustrojí či systému, ale po vykonání mazací funkce uniká do okolí. Typickým příkladem je mazání lišty řetězové pily, kdy olej z řetězu pily je rozstříkáván do okolí a končí v půdě.

V případech, kdy je potřeba mazat v náročných podmínkách a současně hrozí únik oleje do okolí, tam se používají jiné odbouratelné oleje. Vysokou biologickou odbouratelnost vykazují esterové oleje. Také PAO či ropné oleje skupiny III s vysokým obsahem nasycených uhlovodíků mají odbouratelnost na přijatelné úrovni. V přírodě se velmi špatně odbourávají zejména aromatické uhlovodíky obsažené v ropných olejích skupiny I a také některé syntetické uhlovodíky (alkylbenzeny, silikonové oleje, apod.).

5. VÝROBA MAZACÍCH OLEJŮ

Všechny mazací oleje se vyrábí aditivací základových olejů, tj. mícháním vhodných přísad do základových olejů. Protože jednou z nejdůležitějších vlastností mazacích olejů je viskozita, je nejprve nutné připravit základový olej s vhodnou viskozitou. Ten se získá volbou jednoho vhodného základového oleje nebo smícháním několika základových olejů s různou viskozitou. K takto vybranému základovému oleji nebo směsi olejů se pak přimíchávají přísady – aditiva. Aditiva v oleji zabezpečují jak jeho kvalitu, tj. kvalitní mazání, tak i dlouhou životnost oleje. Podle druhu mazacího oleje a způsobu použití se volí také vhodná aditiva. Jejich stručný přehled je dále uveden.

5.1 Mazivostní a protioděrové přísady

Mazivostní přísady snižují tření dvou povrchů v případě, kdy na třecí plochy je vyvíjen tlak a olejový film může být vytlačen (obr. 3). Přísady zabezpečují, že nedochází k přímému kontaktu dvou povrchů, snižují tak tření a působí proti odírání nerovností na třecím povrchu. Mazání zabezpečí tenký film vytvořený z molekul přísady, které se elektrostatickými silami uchyťí na povrchu třecích dílů. Jako mazivostní a protioděrové přísady lze použít sloučeniny fosforu a síry, např. organické bezpopelné fosfáty či sulfidy, velmi účinné jsou dithiofosfáty zinku používané v motorových a dalších olejích.

5.2 Antioxidační přísady

Přítomnost vzduchu a jeho kontakt s olejem bude vždy způsobovat oxidaci a zkracovat tak životnost oleje. K oxidaci dochází vždy a při všech teplotách. Při nižších teplotách je oxidace pomalejší, při vyšších rychlejší. Udává se, že zvýšení teploty o 10 stupňů přinese dvojnásobnou rychlost oxidace oleje. Jako antioxidanty se používají některé fenoly a amíny, pro vyšší teploty jsou velmi účinné dithiofosfáty zinku, které tak kromě mazivosti dodávají oleji i antioxidační vlastnosti.

5.3 Detergenty a disperzanty

To jsou přísady, bez nichž si dnes řadu olejů ani nedovedeme představit. Tyto přísady udržují mazaný systém v čistotě (detergenty), uvolňují nečistoty ulpělé na mazaných površích a disperzanty pak tyto nečistoty udržují ve vznosu a nedovolí jim usadit se. Stejně tak se



Obr. 3 Třecí povrchy.

A – olejový mazací film mezi povrchy

B – suché tření, olejový film vytlačen

do vznosu dostanou prachové částice či saze, které pronikly do oleje buďto z okolí či ze spáleného paliva v motorech. Detergenty a disperzanty jsou nutné především tam, kde dochází k oxidační a tepelné degradaci oleje a hrozí tvorba tvrdých nerozpustných úsad na mazaných površích či zvýšená koncentrace mechanických nečistot v oleji vlivem znečištěného pracovního prostředí. Jako detergenty působí především sulfonáty či salicyláty vápníku nebo hořčíku, jako disperzanty především polymerní sukcinimidy.

5.4 Modifikátory viskozity

Tyto přísady jednak upravují viskozitu oleje na požadovanou hodnotu a jednak zvyšují hodnotu viskozitního indexu. Používají se zejména tam, kde olej pracuje při velkých teplotních rozdílech. Typické je to pro různé motory, kde je olej při startu studený, při provozní teplotě teplý a na exponovaných místech motoru může dosahovat teplotu až 250 °C i více. A při těchto podmínkách olej musí vždy zajišťovat spolehlivé mazání. Zvýšení viskozitního indexu díky modifikátorům viskozity přinese i menší změny viskozity s teplotou. Jako modifikátory viskozity slouží především kopolymery olefinů, styrenu, polymetakryláty a další.

5.5 Protipěnovací přísady

Mazací olej nesmí vytvářet přílišné množství pěny. V takovém případě by byly problémy s čerpáním a cirkulací oleje v mazaném systému. Jako protipěnovací přísady se používají silikonové oleje ve velmi malé koncentraci.

5.6 Depresanty

Jedná se o přísady zlepšující vlastnosti oleje při nízkých teplotách, snižují bod tuhnutí. Při nízkých teplotách z ropných olejů vypadávají pevné parafiny, jejich krystaly postupně narůstají, až celý olej ztuhne. Depresanty nedovolí nárůst krystalů parafinů, ty zůstávají velmi malé a olej aditivovaný depresanty ztuhne až při podstatně nižší teplotě než olej neaditivovaný. Depresanty se používají tam, kde je potřeba, aby olej pracoval při velmi nízkých teplotách, např. pro spolehlivý start studeného motoru v zimním období. Jako depresanty slouží především polymetakryláty. Nízkoteplotní vlastnosti jsou zásadním způsobem ovlivněny přítomností a účinností modifikátorů viskozity.

6. PRŮMYSLOVÉ APLIKACE MAZACÍCH OLEJŮ

S nutností mazání určitých dílů či součástí přijde do styku každý člověk. Nejjednodušší případy lze nalézt v každé domácnosti – zámek, panty u dveří, řetěz na jízdním kole. Se složitějšími případy se lze také setkat poměrně často. Každý motorista ví, že v automobilu se musí čas od času vyměnit motorový olej. V průmyslové oblasti je možností použití mazacích olejů nespočetně mnoho a každý systém vyžaduje specifické vlastnosti olejů.

Velmi důležitá je viskozita oleje. Představme si např. kluzné ložisko, kde se hřídel otáčí v ložisku. Použití vhodného oleje je velmi závislé na rychlosti otáčení. Při vysokých otáčkách hřídele je nutné použít málo viskózní olej, který se bude přivádět tryskou přímo na mazané místo. Při použití příliš viskózního oleje by takové ložisko kladlo velmi vysoký odpor a vznikaly by velké mechanické ztráty, pokud by vůbec stroj pracoval. Při velmi nízkých otáčkách by se naopak žádný olej v mazaném místě neudržel, otekla by. V takových případech je nutné použít mazací tuky. To jsou mazací oleje zpevněné ztužovadly, např. stearáty vápníku, hliníku, lithia apod.

Také další vlastnosti olejů jsou velmi důležité. Představme si stacionární motor dnes tolik oblíbených průmyslových kogeneračních jednotek, které dovedou současně vyrábět elektřinu a teplo. Volba motorového oleje zde závisí na použitém palivu. Jiný olej je potřeba použít v případech použití zemního plynu, nafty či bioplynu. Zemní plyn je nejčistší palivo a na olej jsou jiné požadavky než při použití bioplynu, který je naopak pro pohon motoru velmi problematický. Spaliny ze spalování bioplynu jsou velmi agresivní, kyselé a netěsnostmi motoru tyto spaliny přecházejí také do motorového oleje. Olej proto musí obsahovat látky, které jsou schopny neutralizovat kyselé zplodiny spalování

Mazací oleje v každodenním životě

bioplynu či podobných paliv.

Čistota oleje je v některých případech zásadní vlastnost. Velmi citlivé na čistotu oleje jsou hydraulické systémy. Pro ně dokonce byly zavedeny a jsou normovány tzv. kódy čistoty. Ty vyjadřují počet mechanických částic nečistot v určitém objemu oleje, přičemž se ještě rozlišuje velikost těchto částic.

V kompresorech se někdy používají speciální syntetické oleje. To se děje především v případech, kdy by čerpaný plyn či kapalina mohla jakýmkoliv způsobem interagovat s mazacím olejem.

Transformátorové a izolační oleje jsou zase velmi citlivé k obsahu vody v oleji. Vlhkost v oleji by mohla ohrozit samotnou funkci oleje – izolační vlastnosti by byly velmi špatné.

V převodových soustrojích se na kontaktech ozubených kol vyskytují velmi vysoké tlaky, které jsou doprovázeny místními vysokými teplotami. Tyto podmínky vyžadují speciální aditivaci – díky možnosti rozkladu oleje při vysokých teplotách v místech kontaktu je nutné používat bezpopelné mazivostní přísady. Tvorba popela v kontaktních místech by mohla mít stejný efekt jako písek mezi ozubenými koly. Pro převodové oleje je také velmi důležité zachování si určité úrovně viskozity. Snížená hodnota viskozity by mohla zvýšit opotřebení převodovky a ohrozit její životnost.

Velmi náročné na mazivostní vlastnosti jsou řezné oleje či obráběcí kapaliny. Nároky jsou tak vysoké, že je nutné používat nejúčinnější mazivostní přísady jaké známe, tj. chlorované parafiny či chlorované étery. Bohužel, tyto látky jsou velmi stabilní a jen ztěží biologicky odbouratelné. Problémy jsou také při jejich likvidaci či při spalování. Spalováním chlorovaných látek se tvoří jedovaté dioxiny. Tomu lze zamezit spalováním při velmi vysokých teplotách. V každém případě je likvidace chlorovaných látek velmi obtížná. Pro případy, kdy hrozí kontaminace životního prostředí (odpadní vody či půdy) byly v poslední době vyvinuty řezné oleje bez obsahu chlóru.

To je několik příkladů, jak určité průmyslové aplikace a specifika mazaných systémů ovlivňují výběr vhodného mazacího oleje a jeho složení dané výrobcem. Takových aplikací je velmi mnoho. Je třeba říci, že typ mazacího oleje je vždy určen a předepsán výrobcem průmyslového zařízení či stroje. Mazací olej se stává konstrukčním prvkem stroje. Při použití nevhodného maziva takový stroj ani nemusí spolehlivě fungovat nebo alespoň se může velmi zásadně změnit životnost stroje či se dramaticky zvýší četnost odstávek stroje, výpadků výroby apod. Správné použití maziva tak má v průmyslu vždy dalekosáhlé ekonomické dopady.



Karel Ciahotný

Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: Karel.Ciahotny@vscht.cz

1. Úvod

Bioplyn patří k obnovitelným zdrojům energie, jejichž důležitost a popularita v poslední době velmi stoupá. Je produkován anaerobním mikrobiálním rozkladem organické hmoty. Tato technologie se začala významně uplatňovat koncem minulého století při tzv. stabilizaci čistírenských kalů na čistírnách odpadních vod. Její hromadné zavádění v podmínkách České republiky umožnilo na jedné straně podstatně snížit produkci čistírenských kalů a na druhé straně použít vyrobený bioplyn ke krytí významné části energetických potřeb ČOV. Dalším důležitým zdrojem bioplynu jsou skládky komunálních odpadů, kde je produkován plyn označován jako tzv. skládkový plyn.

K významnému zvyšování produkce bioplynu dochází v současné době v zemědělství, kdy jsou k výrobě bioplynu využívány různé zemědělské odpady a také část nadprodukce zemědělských plodin. Výroba bioplynu je nyní podporována ze strukturálních fondů EU dotacemi poskytovanými na stavbu bioplynových stanic. K dalšímu rozšiřování výroby bioplynu napomáhají i vysoké ceny za výkup el. energie vyrobené z obnovitelných zdrojů, které činí v současné době 4,50 Kč/kWh.

2. Složení a vlastnosti bioplynu

Hlavními složkami bioplynu produkovaného anaerobním rozkladem organické hmoty v bioreaktorech jsou methan a oxid uhličitý. Jejich obsah je v určitých mezích proměnlivý a závisí na složení organické hmoty použité k fermentaci [1]. Obsah methanu se obvykle pohybuje v rozmezí 60 - 65 % obj., CO₂ pak tvoří největší část zbytku do 100 %. Kromě těchto dvou majoritních složek obsahuje bioplyn řadu dalších minoritních látek v koncentracích řádově nižších, které však mohou působit problémy při následném využití bioplynu. K takovým minoritním složkám patří zejména sulfan a siloxany. Bioplyn produkován anaerobním rozkladem organické hmoty na skládkách odpadů (tzv. skládkový plyn) často obsahuje také chlorované a fluorované uhlovodíky pocházející z různých odpadů obsahujících tyto látky (např. nadouvadla v PUR pěněch, rozpouštědla, tmely a lepidla s obsahem chlorovaných uhlovodíků, apod.). Bioplyn a skládkový plyn obvykle bývá nasycen vodní parou do rovnovážného stavu odpovídajícího jeho teplotě. Z obsahu majoritních složek bioplynu se dají odvodit také jeho vlastnosti důležité pro následné energetické využití [2]:

- výhřevnost: cca 21,5 - 23 MJ/m³ podle obsahu methanu
- zápalná teplota: cca 700 °C
- rozsah výbušných koncentrací ve směsi se vzduchem: 6 - 12 % obj.

3. Výroba bioplynu v České republice

Dle průzkumu provedeného v roce 2004 [3] byl v této době v ČR produkován bioplyn v následujících technologických systémech:

- zpracování čistírenského kalu na ČOV (42 % celkové produkce)



- skládky tuhých komunálních odpadů (53 % celkové produkce)
- zemědělské bioplynové jednotky (5 % celkové produkce)

Od této doby však došlo k určitému posunu ve prospěch zemědělských jednotek vlivem příznivé dotační politiky EU a zajímavé ceny za výkup el. energie vyrobené z bioplynu. Celková roční produkce bioplynu v ČR v této době (rok 2004) je odhadována na asi 300 mil. m³. Potenciál dalšího zvyšování produkce bioplynu ze skládek komunálních odpadů je prakticky vyčerpán a v budoucnu je možné očekávat spíše pokles výroby skládkového plynu v důsledku poklesu produkce skládkového plynu na současných skládkách a omezení produkce bioplynu na nových skládkách vlivem významného poklesu organického podílu ve skládkovaném odpadu. Stejně tak další nárůst produkce bioplynu na čistírnách odpadních vod již nebude významný, jelikož většina velkých čistíren má již zaveden anaerobní rozklad čistírenského kalu. Jedinou oblastí, kde je možné očekávat významný nárůst produkce bioplynu, jsou zemědělské bioplynové stanice. Očekává se, že produkce bioplynu v těchto stanicích vzroste až na desetinásobek současného stavu [3].

Jako surovina pro zemědělské bioplynové stanice připadají v úvahu nejrůznější odpady ze zemědělské živočišné výroby (hnůj, kejda a další odpady), odpady z rostlinné výroby (sláma, pokrutiny a další rostlinný odpad), seče trav a náletových rostlin, zbytky nezkrmených siláží a senáží, hmota energetických rostlin (*Miscanthus*, *Amaranthus*, *Rumex* a další rostliny), odpady z výroby řepkového oleje, pěstování a zpracování cukrovky, odpady z kvasného a potravinářského průmyslu a další organické odpady [3].

4. Využití vyráběného bioplynu

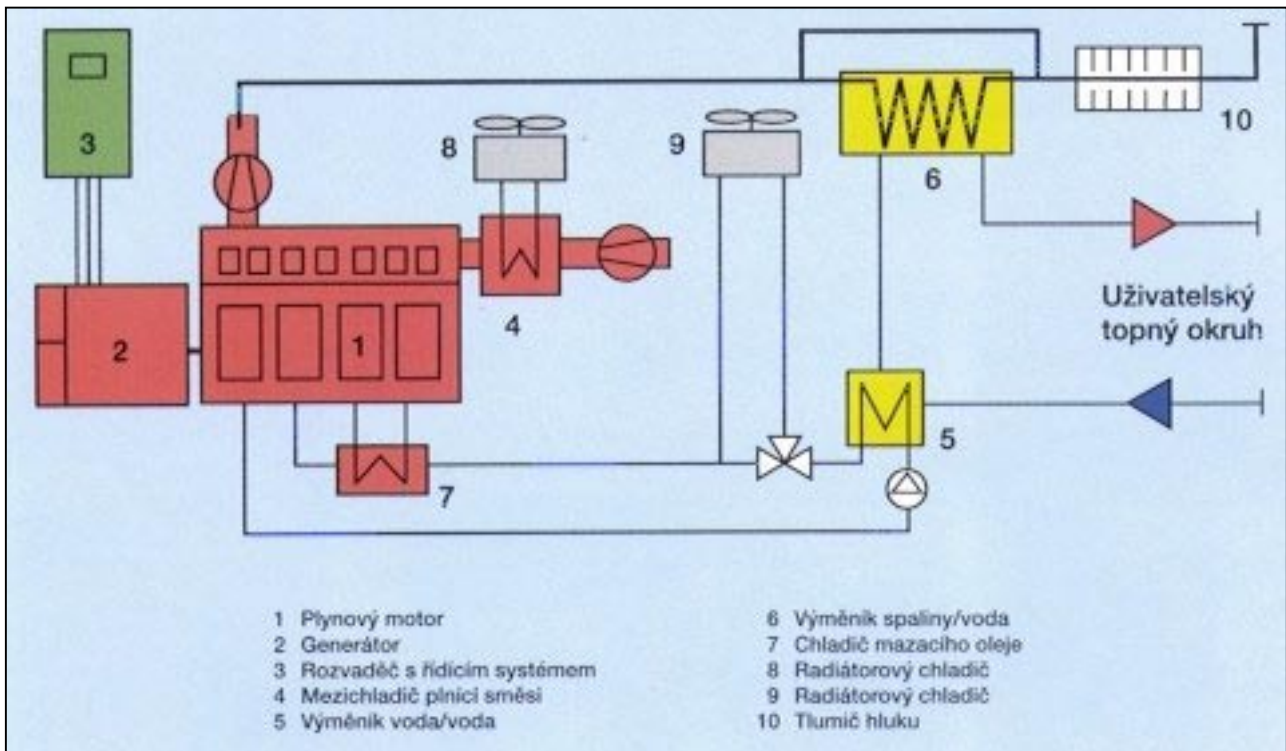
Bioplyn vyráběný v bioplynových stanicích se využívá především v tzv. kogeneračních jednotkách k výrobě tepla a elektrické energie. Jednodušší, avšak ekonomicky méně výhodnou variantou je využití bioplynu pouze k výrobě tepla jeho spalováním v plynových kotlích. Současné velmi příznivé ceny za výkup el. energie z obnovitelných zdrojů motivují všechny provozovatele bioplynových stanic k využití co největšího podílu bioplynu právě k výrobě el. energie.

V kogenerační jednotce se bioplyn spaluje v motoru, který pohání alternátor vyrábějící elektrickou energii dodávanou do rozvodné sítě nebo spotřebovanou přímo na místě produkce. Teplo z chlazení motoru a zbytkové teplo ze spalin odváděných do ovzduší se pak využívá k výrobě technologického tepla používaného k vytápění fermentačních reaktorů a vytápění objektů v zimním období, či výrobě chladu v létě. Účinnost výroby el. energie z bioplynu činí asi 32 %, tzn. že z 1 m³ bioplynu je možné vyrobit až 2 kWh el. energie. Další zhruba dvojnásobek energie je pak možné získat v podobě tepla. Ztráty tepla (zbytkové teplo ve spalinách) činí asi 10 %.

V kogeneračních jednotkách v ČR pracují jednak starší motory Liaz (jedná se o upravené naftové motory vyráběné pro nákladní automobily) jednak modernější plynové motory VKS Hořovice používané v kogeneračních jednotkách TEDOM, či motory zahraničních výrobců (např. MAN, Jenbacher, Waukesha). Schématické uspořádání kogenerační jednotky s pístovým motorem je znázorněno na obr. 1 [4].

Úplné využití tepla produkovaného kogenerační jednotkou může působit problémy zejména v letních měsících, kdy je omezena spotřeba tepla pro otop objektů a produkované teplo se spotřebovává pouze pro ohřev fermentačních nádrží. Modernějším řešením je proto tzv. trigenerace, kde je produkované teplo možné využívat buď k vytápění, nebo k výrobě chladu v letních měsících. V tomto technologickém uspořádání je do tepelného okruhu zařazeno také absorpční chladicí zařízení sloužící k výrobě chladu pro klimatizace, či chladu využívaného k jiným účelům. Schématické uspořádání trigenerace je znázorněno na obr. 2 [5].

Bioplyn jako zdroj elektrické energie a tepla



Obr. 1 Schématické uspořádání kogenerační jednotky s pístovým motorem

Množství elektrické energie vyrobené v kogeneračních jednotkách v ČR činilo v roce 2004 asi 160 GWh, což odpovídá asi 18 MW průměrně trvale předávaného elektrického výkonu. Maximální výkon instalovaný v podobě kogeneračních jednotek provozovaných na bioplyn však v dané době odpovídal asi 33 MW elektrického výkonu, z čehož vychází využitelnost kogeneračních jednotek na bioplyn asi 55 % [3]. Kogenerační jednotky provozované na skládkách komunálních odpadů vykazovaly vyšší stupeň využití, než jednotky provozované na ČOV.

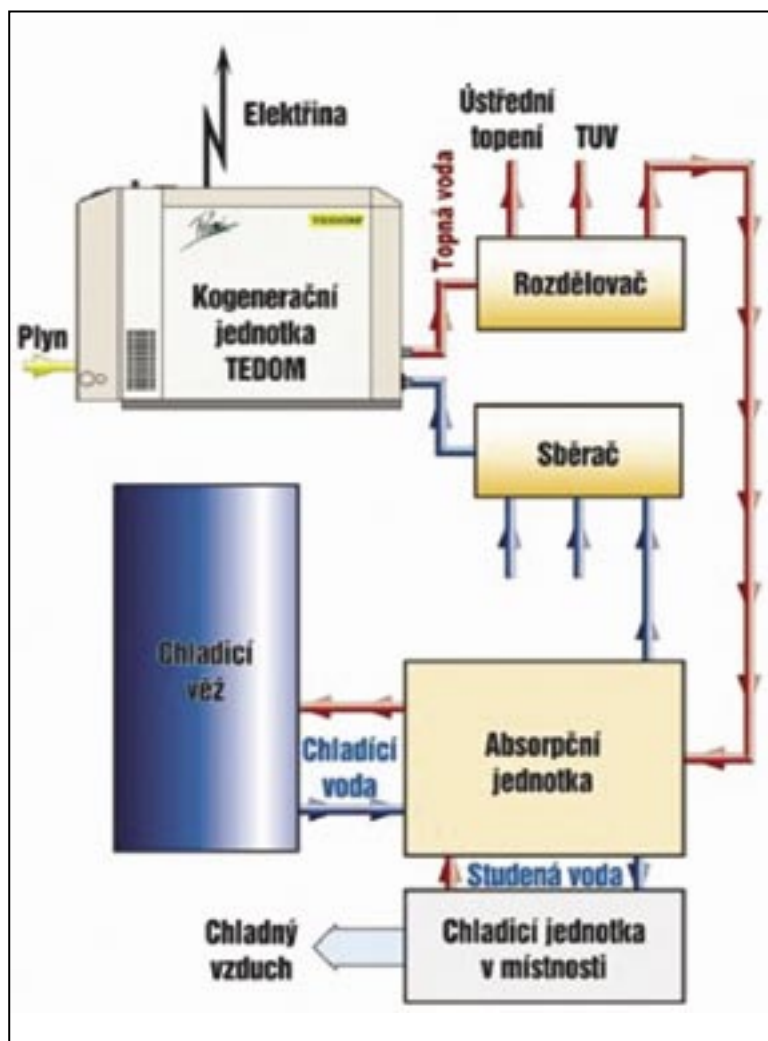
Moderním způsobem využití bioplynu je jeho spalování v mikroturbínách. Tato technologie byla v podmínkách ČR poprvé úspěšně odzkoušena při spalování bioplynu na ÚČOV Praha v říjnu 2006 [6]. Jednalo se o mikrotubínu C30 vyrobenou společností Capstone (USA) o max. elektrickém výkonu 30 kW [7]. Mikroturbíny vykazují ve srovnání s klasickými pístovými motory následující výhody [8]:

- nižší vyžadovaná provozní údržbová péče
- dobrá regulovatelnost výkonu ve velkém rozsahu
- možnost záměny paliva pouhým softwarovým přednastavením
- nižší emise znečišťujících látek ve spalinách
- menší hmotnost a rozměry
- menší vibrace a hluk
- menší citlivost na některé minoritní složky bioplynu

Naproti tomu klasické kogenerační pístové motory vykazují ve srovnání s mikroturbínami tyto výhody [8]:

- vyšší podíl vyrobené el. energie
- větší provozní zkušenosti
- větší znalost údržby motorů
- znalost této techniky mezi projektanty a dodavateli kogenerací

Bioplyn jako zdroj elektrické energie a tepla



Obr. 2 Schématické uspořádání trigenerace

Schématické uspořádání kogenerační jednotky s malou spalovací turbínou je na obr. 3 [8].

5. Problémy při výrobě elektrické energie a tepla z bioplynu

Při spalování bioplynu v kogeneračních jednotkách mohou vznikat technické problémy způsobené vysokým obsahem některých minoritních složek v bioplynu. K problematickým složkám patří především sulfan, siloxany a halogenované uhlovodíky.

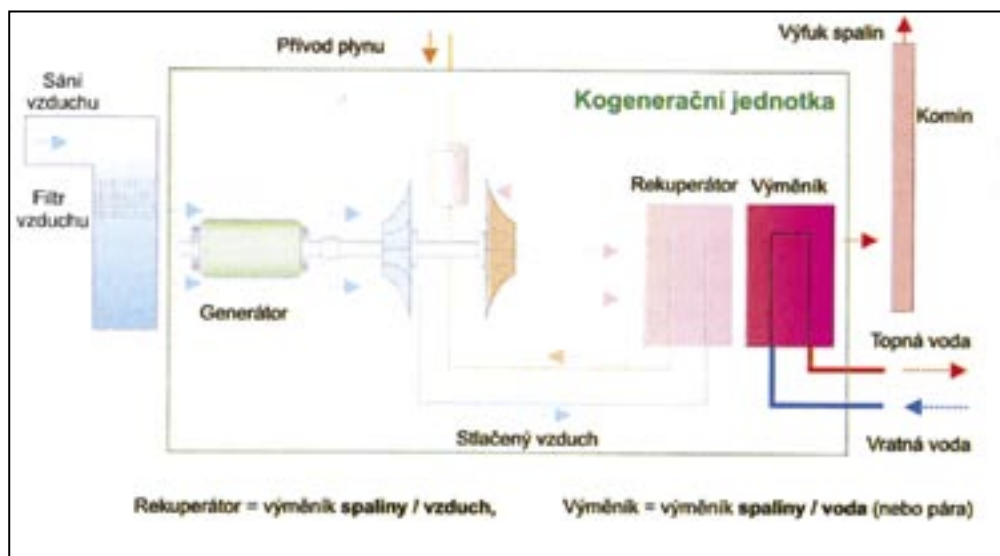
Sulfan vzniká přeměnou sirných látek obsažených ve fermentované hmotě, přičemž je jedno, zda se jedná o anorganicky či organicky vázanou síru. Je znám případ z ČOV Kralupy, která zpracovává společně splaškové městské odpadní vody a průmyslové odpadní vody společnosti Kaučuk předčištěné v podnikové čistírně. Na ČOV tak v pravidelných intervalech několik dnů přitékají průmyslové odpadní vody s vysokým obsahem síranů pocházející z polymerace styrénu. To

se projevuje enormním zvýšením obsahu sulfanu v plynu z hodnot pohybujících se ve stovkách mg/m^3 na hodnoty pohybující se řádově v $\text{g H}_2\text{S}/\text{m}^3$ bioplynu. Obsah sulfanu v bioplynu produkovaném při vyhnívání čistírenských kalů ze splaškových vod se obvykle pohybuje v desítkách až stovkách mg/m^3 , v bioplynu ze zemědělských odpadů (např. z kejdy) však může dosahovat hodnot až $8 \text{ g}/\text{m}^3$. Nejhorší jsou některé odpady z potravinářského průmyslu (např. z droždářen), při jejichž fermentaci koncentrace sulfanu v bioplynu překračují hodnoty $10 \text{ g}/\text{m}^3$.

Spalováním sulfanu vzniká oxid siřičitý, který se následně oxiduje na oxid sírový vytvářející s vodní parou kyselinu sírovou. Ta korozně napadá některé části motoru kogenerační jednotky a spalínový trakt, kterým jsou spaliny odváděny do ovzduší. Dochází např. k nadměrné korozi kontaktů zapalovacích svíček ve válcích motoru, koroznímu napadání těsnění klikové hřídele motoru a nadměrnému opotřebení mazacího oleje, čímž se podstatně zkracuje interval jeho výměny. Běžný interval výměny mazacího oleje se pohybuje v rozsahu od 400 do 1 200 provozních hodin, přičemž je nutné používat speciální oleje pro plynové motory a sirnatá paliva [9]. Při spalování bioplynu s vyšším obsahem sulfanu překračujícím koncentrace $0,5 \text{ g}/\text{m}^3$ je proto výhodné bioplyn před použitím odsířit, čímž se podstatně prodlouží interval výměny mazacího oleje, omezí technické problémy způsobené nadměrnou korozi některých částí zařízení a zároveň i sníží emise oxidů síry do ovzduší. Např. na ČOV Kralupy bylo nutné měnit motorový olej a zapalovací svíčky zhruba jednou týdně, po zavedení odsíření bioplynu se interval výměny prodloužil na déle, než 6 měsíců.

Další problematickou složkou bioplynu jsou siloxany [10]. Siloxany se vyskytují především v bioplynu produkovaném

Bioplyn jako zdroj elektrické energie a tepla



Obr. 3 Schématické uspořádání kogenerace se spalovací turbínou

na velkých ČOV, kde se dostávají do fermentovaného substrátu především z avivážních prostředků používaných při praní v domácnostech. Dalším zdrojem organicky vázaného křemíku v bioplynu mohou být různé silikonové mazací oleje a zbytky silikonových tmelů, které se mohou rovněž dostat až na ČOV. Do skládkového plynu se organické sloučeniny křemíku dostávají ze silikonových tmelů, past a olejů, které se nacházejí v odpadech deponovaných na skládce. Dalším zdrojem organicky vázaného křemíku v bioplynu mohou být kosmetické a farmaceutické přípravky, které se rovněž mohou spolu s ostatními odpady dostat na skládku. Koncentrace organokovových sloučenin křemíku v bioplynu se pohybují pouze v desítkách mg/m^3 [10], avšak i tyto koncentrace působí technické potíže při spalování bioplynu v motoru kogenerační jednotky. Dochází k oxidaci organokřemičitých sloučenin na SiO_2 , který se vylučuje na plochách pístů a ventilů motoru kogenerační jednotky a vytváří tak viditelné nápeky. Po určité době provozu tak může dojít k zadření a zničení motoru. Na obr. 4 je znázorněn píst motoru kogenerační jednotky ÚČOV Praha po cca. 5000 hodinách provozu [10].

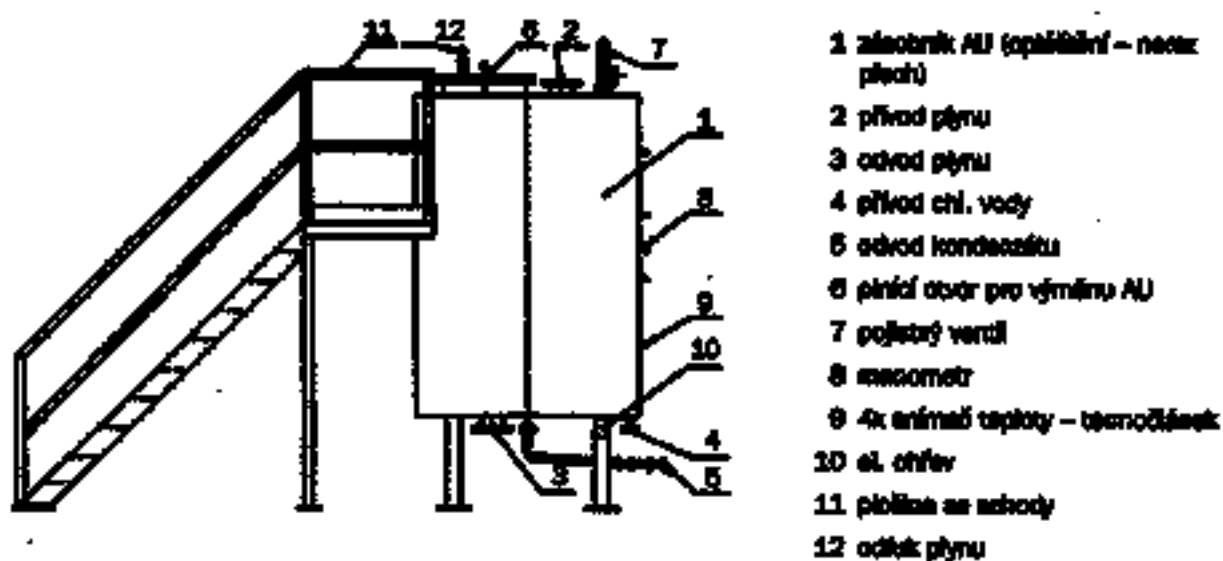


Obr. 4 Nápeky SiO_2 na stěně pístu motoru po cca. 5000 hod. provozu a nový píst

Poslední skupinu problematických minoritních složek v bioplynu tvoří halogenované uhlovodíky, které se vyskytují především ve skládkovém plynu. Tyto látky pocházejí opět z různých odpadů, které se dostanou na skládku. Mohou to být např. freony používané v minulosti jako hnací prostředky do sprejů a jako nadouvadla při výrobě polyuretanových pěn, různé agropřípravky používané k ochraně rostlin před škůdci, barvy, tmely, ředidla a rozpouštědla obsahující chlorované uhlovodíky. Obsah organicky vázaného chlóru ve skládkovém plynu se pohybuje řádově v desítkách mg/m^3 bioplynu, u starších skládek to mohou být až stovky $\text{mg Cl}/\text{m}^3$ bioplynu [1]. Chlór bývá nejčastěji přítomen v podobě dichlormethanu, vinylchloridu, trichlorethylenu a perchlorethylenu. Fluor se pak často objevuje v podobě chlorfluormethanu, chlordifluormethanu, dichlorfluormethanu a dichlordifluormethanu [1]. Spalováním halogenuhlovodíků vznikají kyselina chlorovodíková a fluorovodíková, které korozně napadají spalínový trakt jednotky a působí také snížení životnosti mazacího oleje. Dalším problémem při spalování skládkového plynu obsahujícího chlór a fluor může být tvorba vysoce toxických PCDD a PCDF ve spalínách. V bioplynu produkovaném anaerobním rozkladem čistírenských kalů nebo zemědělských odpadů se halogenované uhlovodíky v technicky významných koncentracích nevyskytují.

6. Technologie čištění bioplynu vyvíjené na VŠCHT Praha

Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší VŠCHT Praha se již dlouhou dobu zabývá vývojem různých technologií čištění plynů. V minulých letech zde byla vyvinuta také technologie čištění bioplynu od sulfanu pracující na principu chemisorpce sulfanu na speciálním impregnovaném aktivním uhlí [11]. Tato technologie chráněná užitným vzorem [12] byla ve spolupráci s firmou KS Klima-Service Dobříš provozně zavedena k odsíření bioplynu produkovaného na čtyřech ČOV v ČR. Jedná se o ČOV Znojmo, Prostějov, Kroměříž a Kralupy nad Vltavou. První odsířovací jednotka na ČOV Znojmo je v provozu od roku 1999 a za celou dobu provozu odsíření se nevyskytly žádné technické potíže. Adsorbent byl v jednotce vyměněn za nový v roce 2004. Také ostatní odsířovací jednotky uvedené do provozu v dalších letech pracují bez problémů. Schéma adsorbéru Suloff vyvinutého k odsíření bioplynu a dodávaného firmou KS Klima-Service Dobříš je na obr. 5 [13].



Obr. 5 Schématické znázornění adsorbéru Suloff používaného k odsířování bioplynu

Další výzkumné práce v oblasti čištění bioplynu probíhají v současné době ve spolupráci s ÚČOV Praha při řešení problematiky měření koncentrací siloxanů v bioplynu a návrhu vhodného čistícího zařízení pro odstraňování siloxanů z bioplynu. Již proběhly laboratorní a poloprovozní testy řady adsorpčních materiálů pro záchyt siloxanů z bioplynu a v současné době probíhá jejich vyhodnocení. Poté bude nejhodnější adsorbent otestován v pilotním adsorbéru v provozních podmínkách za použití bioplynu z ÚČOV a výsledky těchto testů pak budou sloužit k návrhu provozního adsorpčního zařízení pro odstraňování siloxanů z bioplynu.

7. Závěr

Bioplyn je palivem, které zastává mezi obnovitelnými zdroji energie stále významnější pozici. Další nárůst výroby bioplynu v podmínkách ČR se předpokládá zejména v oblasti zemědělských bioplynových stanic. Rozvoj těchto stanic je v současné době významně podporován dotační politikou EU.

Vyrobený bioplyn se využívá k výrobě tepla a elektrické energie, případně ještě i chladu v letním období. Ekonomicky nejvýhodnější je v současné době výroba elektrické energie z důvodu vysoké výkupní ceny pro el. energii z obnovitelných zdrojů.

K výrobě elektrické energie a tepla se používají klasické kogenerační jednotky se spalovacími pístovými motory nebo moderní jednotky s mikroturbínami. Mikroturbíny poskytují vyšší komfort pro obsluhu, jsou méně náročné na údržbu, produkují méně emisí znečišťujících látek, méně hluku a méně vibrací, než klasické spalovací motory. Jejich nevýhodou je však o něco nižší produkce el. energie ve srovnání s klasickými motory, což je způsobeno nutností komprese bioplynu před spalováním na tlak asi 3 bary.

Před použitím v kogenerační jednotce je žádoucí vyrobený bioplyn vyčistit především od sulfanu a dále od siloxanů. Zařízení pro odsiřování bioplynu bylo v minulosti vyvinuto na Ústavu plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší a bylo úspěšně zavedeno do provozní praxe. Na vývoji zařízení pro odstraňování siloxanů z bioplynu ústav v současné době intenzivně pracuje.

Seznam použité literatury

1. Straka F. a kolektiv: Bioplyn, II. rozšířené vydání, GAS s.r.o., 2006
2. Víglaský J., Langová N., Geffert P.: Technologია bioplynu - silný článek v biologickom polnohospodárstve; Bioplyn 2006, 1. díl, České Budějovice, říjen 2006
3. Straka F., Kunčarová M.: Možnosti využití bioplynu; Bioplyn 2006, 2. díl, České Budějovice, říjen 2006
4. <http://www.motorgas.cz/index.php?lang=0&disp=kogenerace> (10. 5. 2007)
5. <http://kogenerace.tedom.cz/magazin-04-1-co-to-je-trigenerace.html> (10. 5. 2007)
6. Šurovský J.: Pozvánka na prezentaci mikroturbínu na ÚČOV Praha, Instalace Praha s.r.o., říjen 2006
7. <http://www.capstoneturbine.com/> (10. 5. 2007)
8. Šurovský J.: Mikroturbína - energetická revoluce pro 21. století; Instalace Praha, 2003
9. Urban J., Študlar Z.: Praktické zkušenosti s přípravou projektů bioplynových stanic v ČR; Bioplyn 2006, 1. díl, České Budějovice, říjen 2006
10. Vodrážka S., Ciahotný K., Brandejsová E.: Stanovení siloxanů v bioplynu a možnosti jejich odstraňování; Bioplyn 2007, České Budějovice, duben 2007
11. Ciahotný K.: Provozní zkušenosti s odsiřováním bioplynu pomocí speciálního aktivního uhlí; Bioplyn 2006, 3. díl, České Budějovice, říjen 2006
12. Ciahotný K.: Adsorpční materiál pro odstraňování sulfanu z plynů; Užité vzor č. 10081, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, červen 2000
13. http://www.ksklimaservice.cz/?page=p190_cz (10. 5. 2007)



Luděk Jelínek

Ústav energetiky, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

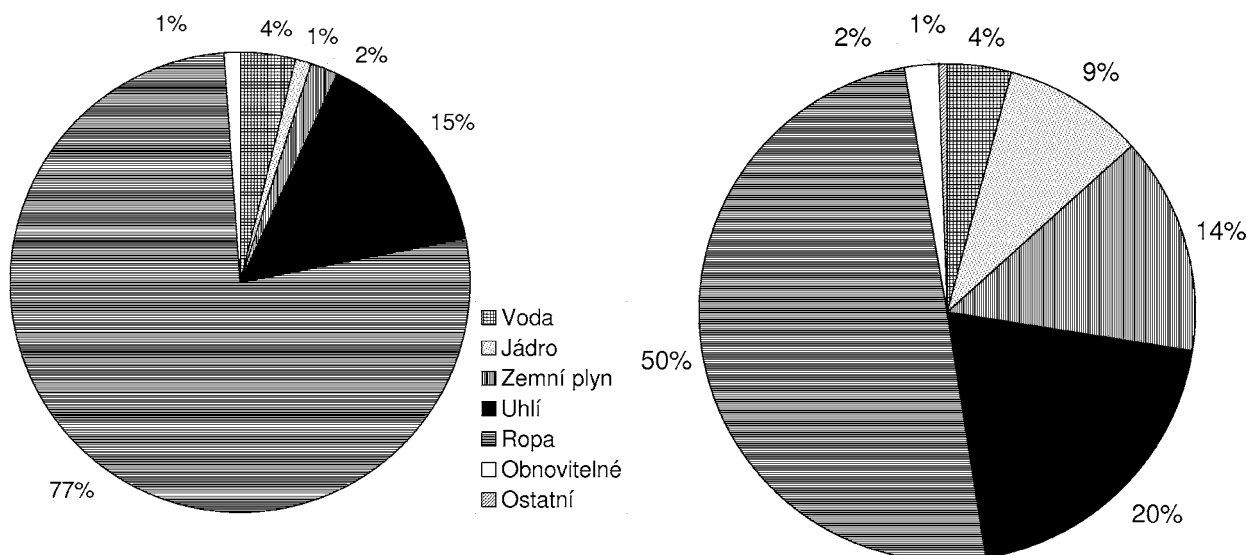
e-mail: ludek.jelinek@vscht.cz

Ač je Japonsko vzdálená země s odlišnou kulturou, jeho energetická politika je v mnohém poučná. Ukazuje, jak je možné rozvíjet energetiku v průmyslové zemi, která je silně závislá na dovozu paliv a surovin. I u nás je v souvislosti s omezenými zásobami uhlí a regulací jeho těžby nutné pomýšlet na budoucnost v širších souvislostech. Bohužel v současné době České Republice velmi chybí jasně formulovaná energetická politika zejména ve vztahu k budoucímu využití jaderné energie a podpoře rozvoje alternativních zdrojů energie.

Japonsku naopak tato jasně formulovaná politika nechybí. Tato země se i přes tragické zkušenosti z druhé světové války nebojí vsadit na mírové využití jaderné energie. Je to nezbytný kompromis vzhledem k velké závislosti na importovaných palivech (ropa, uhlí, zemní plyn). Energetická soběstačnost Japonska se pohybuje okolo 16% a pokud neuvažujeme jadernou energetiku klesne toto číslo jen na 4%. Japonsko proto také investuje do rozvoje obnovitelných zdrojů (v Japonsku nazývaných „nové zdroje“) energie jako je solární energie, větrná energie, spalování biomasy a získávání energie z oceánů (OTEC).

1. Zdroje energie

Podíl jednotlivých zdrojů výroby energií v Japonsku ukazují obrázky 1 a 2. Jak je vidět, energetická závislost na ropě klesla za posledních 30 let ze 77 na 50%, ale i tak jde o vysoké číslo.



Obrázek 1: Podíl jednotlivých zdrojů na výrobě energie v roce 1973

Obrázek 2: Podíl jednotlivých zdrojů na výrobě energie v roce 2003

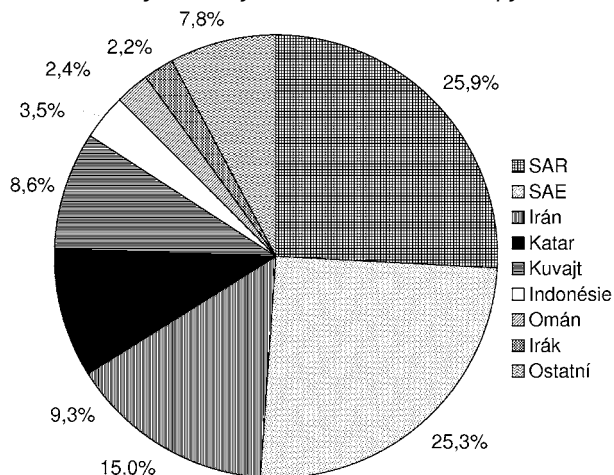
Situace v dovozu ropy, která je stále hlavním zdrojem energie není příliš příznivá. Jak ukazuje obrázek 3, je většina ropy dovážena ze Saudské Arábie (SAR) a Spojených Arabských Emirátů (SAE), nemalý podíl pak také z Iránu a Kataru. Nestabilita v této oblasti by pak mohla mít katastrofální dopad na japonskou energetiku.

Druhým nejvýznamnějším zdrojem energie je uhlí. Zde je situace příznivější. Uhlí je dováženo od stabilních partnerů

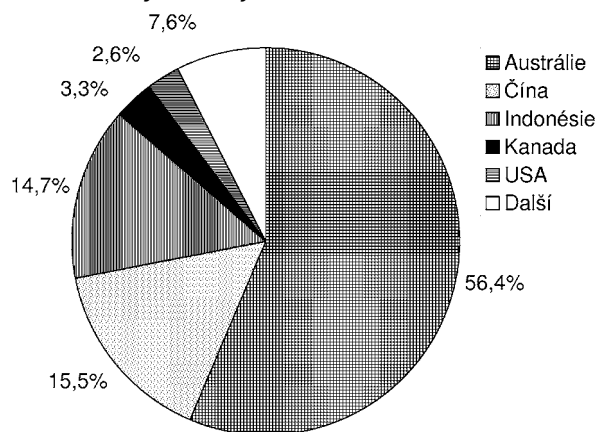
Energetika v Japonsku

z regionu, jejichž podíl ukazuje obrázek 4, a jeho dodávky tak nejsou ohroženy měnící se politickou situací. Hlavní podíl (56,5%) je dovážen z Austrálie, jejíž vztahy s Japonskem jsou na velmi dobré úrovni.

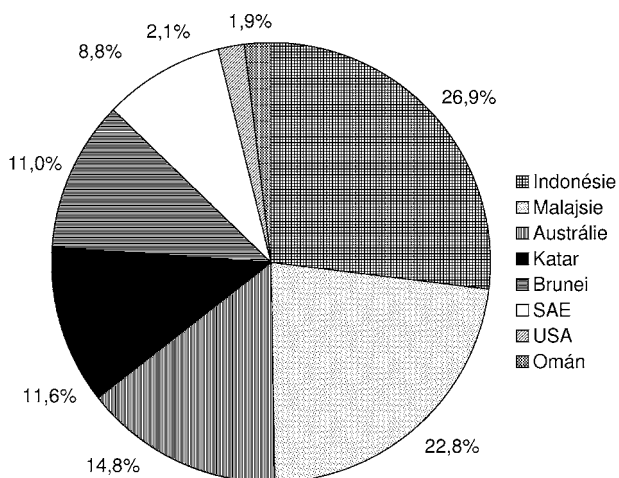
Obr. 3: Podíl jednotlivých zemí na dovozu ropy



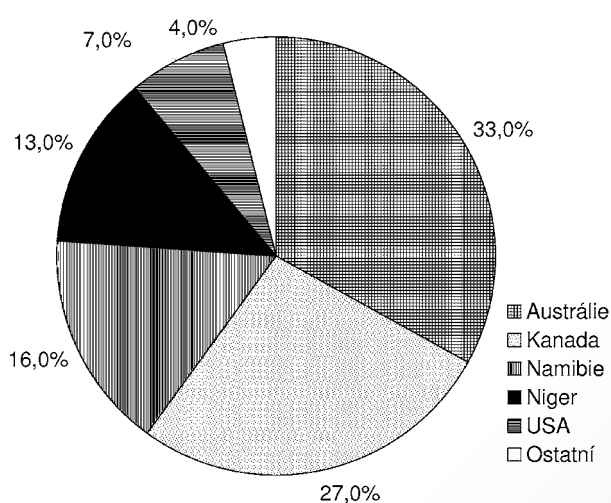
Obr. 4: Podíl jednotlivých zemí na dovozu uhlí



Obr. 5: Podíl jednotlivých zemí na dovozu uranu

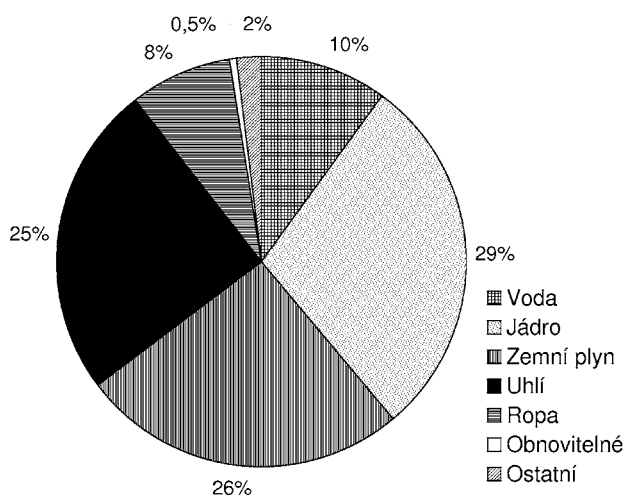


Obr. 6: Podíl jednotlivých zemí na dovozu zemního plynu



Zemní plyn (Obr. 5) je dovážen ze sousedních zemí, s kterými má Japonsko dobré vztahy. Jeho podíl na celkové výrobě energie není tak významný, přesto by výpadky v dodávkách mohly znamenat problémy.

Nejpříznivější situace je pak u dovozu uranu (Obr. 6), ten je z převážné většiny dovážen ze stabilních demokracií Austrálie a Kanady. Vzhledem k jeho malému objemu také není problém pružně zareagovat na případné výpadky v dodávkách.



Obrázek 7: Podíl jednotlivých zdrojů na výrobě elektrické energie v roce 2004

Z hlediska soběstačnosti je poněkud lepší situace ve výrobě elektrické energie. Tam je podíl vlastních zdrojů vyšší. Jak ukazuje obrázek 7, na výrobě elektrické energie se již fosilní zdroje podílí jen 50% a 29% procent je tvořeno jadernou energetikou. Ale i tak je podíl energie generované z dovážených surovin převládající.

2. Klasická energetika – fosilní paliva

Japonsko si uvědomuje, že masivní využívání dovážených fosilních paliv je pro něj značně nevýhodné. Poučilo se z ropných krizí a snaží se v oblasti fosilních paliv orientovat na zemní plyn a ekologičtější metody spalování uhlí. V této oblasti však není velký prostor pro další rozvoj, pomineme-li technologii fluidního spalování uhlí, která však ekologické problémy řeší jen částečně.

3. Jaderná energetika

Jaderná energetika v Japonsku by se dala s trochou nadsázky, jak bude dále vysvětleno, zařadit do skupiny obnovitelných zdrojů. Japonsko má propracovaný systém přepracování vyhořelého jaderného paliva. Na světě je jen několik zemí, jejichž technologická vyspělost umožňuje vyhořelé palivo zpracovávat. Jedním z 6-ti míst na světě je nový závod v Rokkasho. Vyhořelé palivo má Japonsko velké zásoby, protože v současné době je tam v provozu 55 lehkovodních reaktorů. V Japonsku je i největší jaderná elektrárna na světě Kashiwazaki v prefektuře Niigata která má výkon skoro 8000 MWe (čtyřnásobek Temelína). Při přepracování dochází k dělení složek vyhořelého paliva do skupin různé využitelnosti a nebezpečnosti. Díky tomu by se dalo hovořit o jaderném palivu jako o částečně obnovitelném zdroji energie, neboť po přepracování je možné jistou část znovu použít jako palivo. Zároveň se usnadňuje další ukládání vyhořelého paliva protože dochází k oddělení generátorů tepla.

Při přepracování vyhořelého paliva se používá v prvním kroku technologie PUREX (Plutonium and Uranium Recovery by EXtraction). Vyhořelé jaderné palivo se nejprve rozpustí v kyselině dusičné a potom se z něj pomocí tri-n-butyl fosfátu extrahuje uran a plutonium.

Do budoucna se počítá s maximálním uzavřením palivového cyklu tak, aby bylo možné využívat plně uran a plutonium získané z vyhořelého paliva a minimalizovat vznikající množství odpadu. Počítá se s výrobou paliva MOX (Mixed OXide), které je směsí plutonia a uranu (přírodního, získaného z vyhořelého paliva, nebo i ochuzeného). MOX palivo se chová podobně jako klasické palivo pro lehkovodní reaktory na bázi nízko-obohaceného uranu.

4. Obnovitelné zdroje

Vodní elektrárny

Vodní elektrárny mají zatím, stejně jako u nás, vedoucí postavení mezi obnovitelnými zdroji energie. Podíl vodních elektráren na výrobě elektrické energie je srovnatelný s ČR. Tvoří 10% výroby elektrické energie a 95% energie z obnovitelných zdrojů. Pro jejich další rozvoj však není příliš mnoho prostoru a tak se nepředpokládá významný nárůst jejich podílu.

Větrná energie

Využití větrné energie v Japonsku v poslední době prudce stoupá. V roce 2001 byl instalovaný výkon již asi 144 MW. V Japonsku, jako ostrovním státě, je situace ve využití větrné energie díky častým rušivým jevům v atmosféře složitější než ve vnitrozemských státech využívajících větrnou energii jako je například Německo.

Fotovoltaika

Japonsko je spolu s Německem jednou ze dvou vedoucích zemí na poli využití solární energie. Na výrobě článků se podílí zejména společnosti Kyocera a Sharp. Ač je zatím návratnost investic do fotovoltaických článků v řádech desítek let, je stavěno mnoho fotovoltaických elektráren. Instalovaný výkon je v současnosti asi 1400 MW. Neustálý výzkum v této oblasti dává naději, že se podaří postupně snižovat náklady a zvyšovat jejich účinnost.

Spalování biomasy

Spalování biomasy se v Japonsku postupně rozvíjí. Spíše než biomasa z rostlin, jako v evropských zemích, hraje zatím prim spalování komunálního odpadu. V Japonsku se odpad velice pečlivě třídí a spalitelný odpad se využívá jako cenný zdroj energie. V tomto je Japonsko dále než evropské země, které odpad bez užitku skládkují.

Geotermální energie

Japonsko je země ležící na místě na zlomu tří tektonických desek. To sebou kromě četných zemětřesení přináší i aktivní vulkanickou činnost. Všechno má ale i své výhody. Japonci využívají nejen horké prameny k tradiční koupeli, ale i geotermální energii k vytápění. Geotermální energie tvoří více než 1% energie z obnovitelných zdrojů.

Energie moře

Kromě výzkumu využití energie vln a přílivových elektráren zkouší Japonsko využívat i rozdíl teplot povrchové a hlubinné vrstvy oceánu. Nově vyvinutá technologie OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) je založena na podobném principu jako většina elektráren. Pracovní médium se převede na páru (v kotli nebo v tepelném výměníku), která pohání turbínu. Pára se po průchodu turbínou ochladí, kondenzuje v kondenzátoru a je napájecím čerpadlem znovu přiváděna do kotle nebo výměníku. V klasické energetice, kde se jako pracovní médium používá voda se tento cyklus nazývá Clausius-Rankinův. V technologii OTEC se jako pracovní médium používá roztok amoniaku ve vodě. Jako zdroj tepla pak slouží teplá povrchová mořská voda a k chlazení kondenzátoru se používá chladná hlubinná voda. Celý cyklus se nazývá Ueharův cyklus a vychází z Kalinůva cyklu. S touto technologií se počítá i v řešení energetických problémů méně rozvinutých sousedů Japonska.

5. Výhled do budoucna

V budoucnu se očekává velký rozvoj obnovitelných zdrojů energie. Japonsko má propracovaný systém podpory, kterým se chce do roku 2010 pokusit zvýšit podíl obnovitelných zdrojů (nepočítaje vodní a geotermální energii) na více než dvojnásobek oproti roku 2000. Japonská vláda si však uvědomuje, že snižování emisí CO₂, k nimž se zavázalo nebude možno dosáhnout bez přispění jaderné energetiky. To bude mimo jiné znamenat výstavbu asi deseti nových jaderných bloků. Nové reaktory budou schopny plně používat palivo MOX, stávající reaktory by pak měly do roku 2010 přejít na toto palivo z jedné třetiny.

Obnovitelné zdroje energie a jaderná energetika nejsou, jak si mnozí lidé myslí, nesmiřitelní rivalové. Jen jejich společný rozvoj umožňuje vymanit se ze závislosti na fosilních palivech, snižovat emise CO₂ a další dopady klasické energetiky na životní prostředí.

6. Reference

[1] Energy in Japan 2006, <http://www.enecho.meti.go.jp/english/index.htm> (5/2007)

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_production_in_Japan (5/2007)

[3] M. Holba, Systémy podpor využívání obnovitelných zdrojů energie (IV) "Energetická politika Japonska", <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3028> (1/2006)

[4] M. Holba, Získávání energie z oceánů: technologie OTEC, <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2514>



Petr Sajdl

Ústav energetiky, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha

e-mail: petr.sajdl@vscht.cz

V současné době je vedena diskuse o možnostech uplatnění vyšších parametrů vody a páry v technologických procesech. Zároveň jsou v tomto směru prováděny výzkumné práce, které mají v některých případech ověřit tyto možnosti, v jiných případech se již jedná o vývoj materiálů s vhodnými vlastnostmi, které by měly i za daných podmínek dostatečnou životnost.

Jedná se zejména o energetiku a zpracování odpadů, kde užití vody ve stavu nad kritickým bodem může přinést významné efekty. Pro tento stav vody se začal používat název superkritická, což pochází z překladu anglického Super Critical Water (SCW).

V energetice by to znamenalo zvýšit užívané tlaky v klasické energetice a u jaderných jednotek zvýšit proti současnému stavu (320°C a 15.6 MPa – typické hodnoty na výstupu z tlakovodního reaktoru) jak tlak tak i teplotu na výstupu z reaktoru.

Generation IV je nová generace jaderných energetických systémů, která by měla být k dispozici na trhu do roku 2030 a která nabídne významná zlepšení k dosažení náročných cílů definovaných v širokých oblastech trvale udržitelného rozvoje, bezpečnosti, spolehlivosti a ekonomiky. Kromě některých jiných typů počítá také s reaktorem na parametrech SCW.

V oblasti zpracování odpadů se jedná o využití oxidace ve vodě za superkritických podmínek (SuperCritical Water Oxidation - SCWO). To ekonomicky připadá v úvahu u takových organických odpadů, které není možné z ekologických důvodů spalovat. Je pak nutno používat jiné technologie, z nichž v posledních letech se jeví jako perspektivní právě termický rozklad a oxidace organických odpadů ve vodě za vysokých teplot a tlaků. [1]

Používá se buď voda za tzv. subkritických podmínek (v rozmezí teplot 200 - 370 °C) - Subcritical Water Oxidation nebo voda ve stavu po překročení kritických parametrů (teplota nad 374 °C a tlak nad 22.14 MPa) - Supercritical Water Oxidation (SCWO). Za přítomnosti oxidačních látek (kyslík, H₂O₂) dochází k rychlému rozkladu organických látek ve vodě na ekologicky nezávadné látky jako jsou oxid uhličitý, voda a dusík za současného vzniku různých anorganických kyselin (chlorovodíková, sírová, fosforečná), které lze již dobře likvidovat [1].

1. Vlastnosti vody za sub a superkritických podmínek

Voda při 20 °C je klasické polární rozpouštědlo, které je charakterizováno

- silným dipólmomentem
- vysokou dielektrickou konstantou
- vysokou hustotou
- vysokou rozpustností iontových sloučenin
- nízkou rozpustností organických sloučenin
- nízkou rozpustností plynů.

V subkritické oblasti 200 – 370 °C se postupně mění vlastnosti vody. Především se snižuje dielektrická konstanta, ale disociační konstanta má ještě poměrně vysokou hodnotu, zvyšuje se rozpustnost plynů a rozpustnost iontových sloučenin zůstává vysoká. Vlastnosti vody nad kritickými parametry, tj. nad teplotou 374 °C a tlakem 22.4 MPa se mění a voda se chová jako nepolární rozpouštědlo. Tento stav vody se označuje jako superkritická voda



Použití vody v nadkritickém stavu v energetice

nebo jako voda ve fluidním stavu resp. hustý nepolární plyn. V závislosti na teplotě v rozmezí 400 - 650 °C a tlaku 24 - 38 MPa dochází ke změnám fyzikálních a chemických vlastností vody v porovnání s vlastnostmi vody při 20 °C (viz tab. 1) a především se

- snižuje dielektrická konstanta z 80 na 1 - 3
- snižuje se měrná hmotnost na 100 - 200 kg/m³
- snižuje se disociační konstanta z 10⁻¹⁴ na 10⁻²⁰
- dochází k úplné rozpustnosti plynů jako je kyslík, oxid uhličitý, dusík, metan
- nastává vysoká rozpustnost organických látek
- výrazně klesá rozpustnost iontových sloučenin pod 100 mg/l
- dochází k precipitaci iontových sloučenin

Graf závislosti některých veličin na teplotě je na Obr.1.

V energetice použití těchto parametrů přináší zvýšení účinnosti nad 40%, u jaderných jednotek vyvíjených v rámci prací na Generation IV je uvažovaná účinnost na 48%. Zavedení SCW technologie v budoucnu je svázáno s řešením materiálové problematiky, a to zejména řešení životnosti materiálů v těchto podmínkách.

Metoda termického rozkladu nebezpečných organických látek v superkritické vodě při teplotách 400 - 600 °C a tlaku 24 - 38 MPa je velice účinná a ekologicky nezávadná. Jedním z problémů, kterému je věnována velká pozornost je také materiálové řešení reaktorů, neboť vznikající kyseliny jako jsou chlorovodíková, sírová a fosforečná za těchto podmínek jsou vysoce agresivní. Je proto nutno používat vysokolegované materiály na bázi Ni, např. INCONEL 625. Korozní odolnost materiálů v podmínkách superkritické vody je rozhodující pro průmyslové využití metody SCWO [1]. Výběr materiálů, které jsou perspektivní pro použití v technologiích SCW je uveden v tab.2.

Tab. 1. Fyzikální a chemické vlastnosti vody při různých stavech [1]

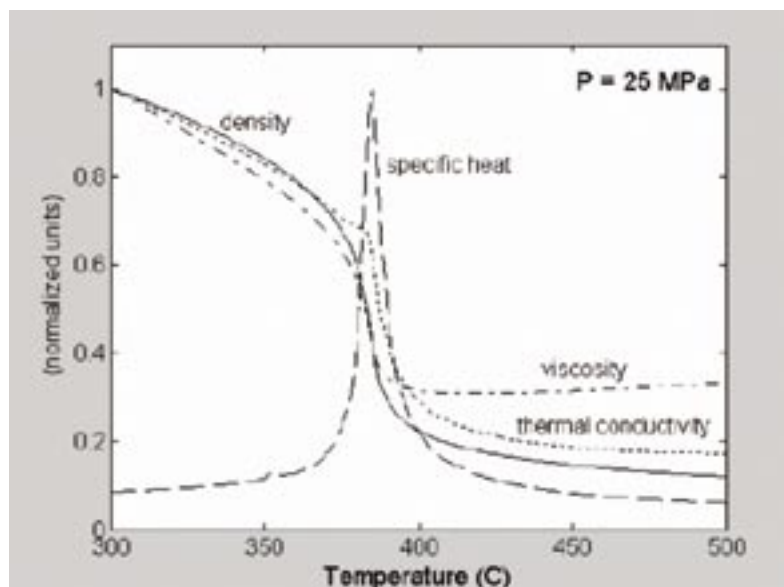
	20 °C	subkritická voda	superkritická voda
teplota	nízká	až do 370 °C	nad 374 °C
hustota	vysoká 1 000 kg/m ³	poměrně vysoká 700 kg/m ³ při 320 °C	nízká 100 kg/m ³ při 450 °C
dielektrická konstanta	vysoká okolo 80	střední cca 21.5 při 300 °C	nízká cca 2.2 při 400 °C
disociační konstanta	střední cca 10 ⁻¹⁴	zvýšená 10 ⁻¹¹ při 300 °C	nízká 10 ⁻²⁰ při 400 °C
rozpustnost iontů	vysoká	vysoká	velmi nízká
rozpustnost kyslíku	nízká 9,08 mg/l	zvýšená asi 7 000 mg/l při 315 °C a 13.8 MPa	zcela rozpustný

Tab. 2. Označení, směrné chemické složení a oblasti použití ocelí a slitin, které připadají v úvahu pro použití v SCW aplikacích [1]

Číslo slitiny	EN	Označení	Tvar	SLOŽENÍ	POUŽITÍ
1	1.4404	AISI 316 L	trubka	03CR18NI13MO3	KOROZIVZDORNÁ OCEĽ

Použití vody v nadkritickém stavu v energetice

2		HR 160	trubka	05NiCo29Cr28Si3Fe2	odolný proti oxidaci do 1200 °C, odolný proti prostředí s S, Cl, F
3	2.4889	45 TM	plech	08Ni45Cr27Fe23Si3	žárovzdornost na vzduchu do 1000 °C, vynikající odolnost v oxidačním, redukčním prostředí a v prostředích obsahujících dusík a síru
4	2.4832	6219 Si	plech	03NiCr20Mo9Fe3	žárovzdorný, odolný 0.2% HCl + 0.8% S do 500 – 700 °C
5	2.4602	Inconel 622 Hastelloy C 22 NICROFER 5621hMoW	trubka	01NiCr21Mo14Fe4W3	odolný proti pittingu, štěrbinové korozi, SCC,
6		INCONEL 686	trubka	<u>02NiCr21Mo16W4Fe2Ti</u>	odolný proti pittingu, štěrbinové korozi, SCC,
7	2.4604	B 10 – NICROFER 6224	plech	<u>01NiMo24Cr9Fe6</u>	odolný v redukujících kyselinách jako je HCl
8	2.4605	NICROFER 5923hMo alloy 59	plech	<u>02NiCr23Mo16Fe1</u>	výborná odolnost v oxidačních a redukčních podmínkách, vynikající odolnost proti pittingu a štěrbinové korozi a koroznímu praskání
9	2.4856	NICROFER 6020 hMo alloy 625	plech	02NiCr23Mo10Fe3Nb3.5	výborná odolnost proti pittingu, štěrbinové korozi a koroznímu praskání za napětí, vysoká odolnost proti minerálním a organickým kyselinám, použitelné do teploty 450 °C
10	1.4563	SAN 28	trubka	02Cr27Ni31Mo3Cu1	výborná odolnost proti pittingu, štěrbinové korozi a koroznímu praskání za napětí v oxid. prostředích



Obr. 1. Závislost hustoty, viskozity, tepelné vodivosti a měrného tepla na teplotě pro tlak 25 MPa v oblasti přechodu do superkritických podmínek [2]

2. Jaderné reaktory s parametry SCW

Jaderné reaktory zatím prošly poměrně složitým vývojem od prvních experimentálních až po v současné době nejrozšířenější tlakovodní jednotky (viz Obr.2). Tyto jednotky ještě řadu let ponесou hlavní díl výkonu jaderných elektráren. Nicméně další vývoj směřuje k jednotkám s lepšími ekonomickými parametry.

Použití vody v nadkritickém stavu v energetice

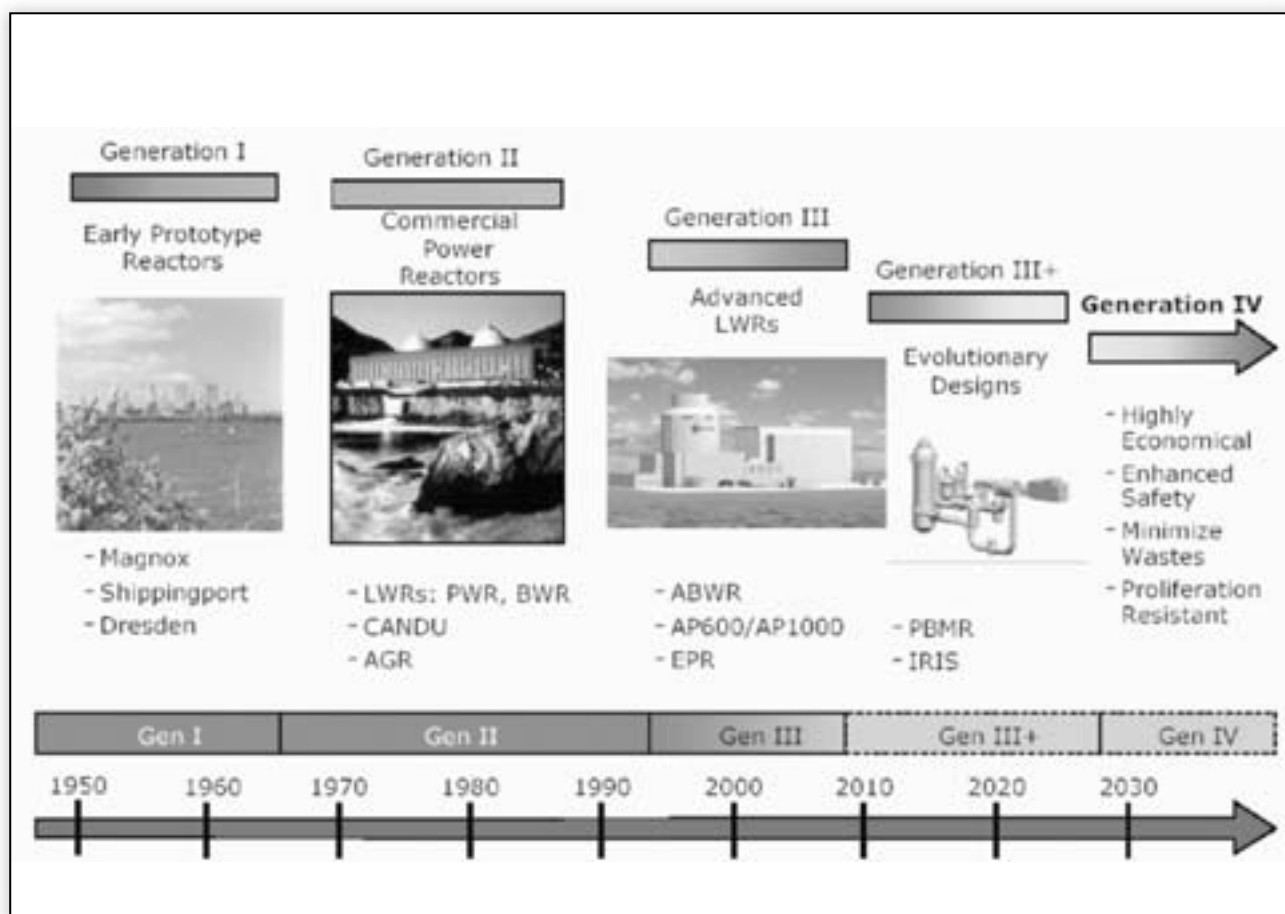
kými parametry, kde se uplatní pravděpodobně i reaktory SCW.

Reaktor pracující za podmínek SCW se konstrukčně podobá reaktoru tlakovodnímu. Jednalo by se o silnostěnnou tlakovou nádobu propojenou potrubím s turbínou a napájením z napájecích nádrží. Návrhy těchto reaktorů předpokládají, že systém bude napojen na turbínu přímo, bez dalšího výměníku, který by odděloval okruh reaktoru od turbíny. Jedná se o významné zjednodušení konstrukce jednotky, kde však bude třeba počítat s aktivitou na turbíně.

Vlastní turbína se předpokládá, že bude třístupňová (Obr.4) na rozdíl od současných systémů JE, kde se uplatňuje dvoustupňový systém, tj. jeden vysokotlaký stupeň a většinou dva nebo více identických nízkotlakých stupňů. Vysokotlaký stupeň je řešen jako jednoproudový zatímco další stupně jsou dvouproudové. Proti současnému stavu se zvýší nároky na materiály, řízení a regulaci, což bude vyrovnáno významně lepšími ekonomickými parametry.

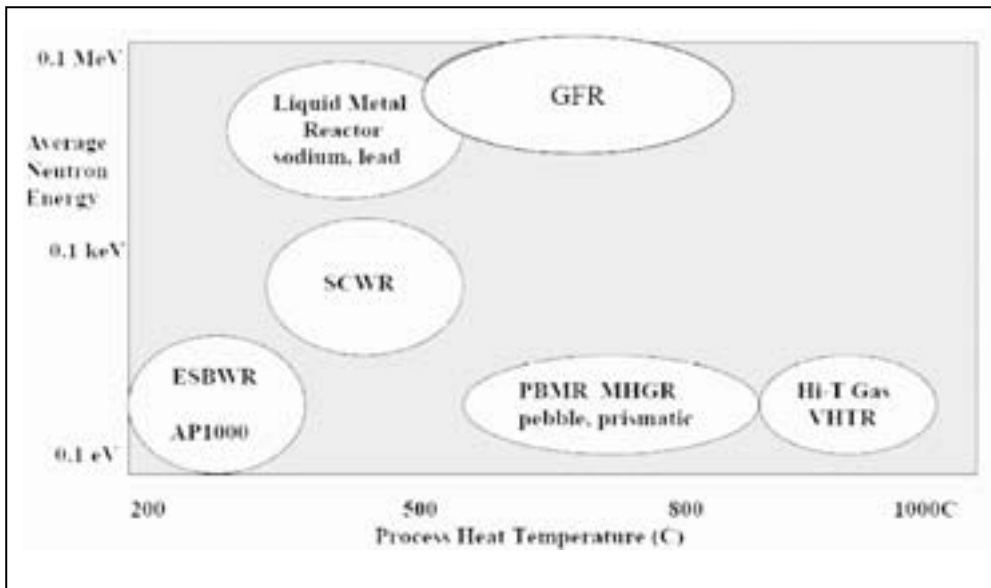
V oblasti bezpečnosti se počítá s výrazným zlepšením jak pasivní bezpečnosti tak i aktivních prvků. Současné projekty pokročilých reaktorů počítají v případě maximální projektové nehody s tím, že systém nebude vyžadovat aktivní zásah po dobu 24 hodin a přitom zůstane bezpečný.

Přehled dvou základních parametrů dalších uvažovaných technologií ukazuje Obr.3. Pracovní teplota aktivní zóny a průměrná energie neutronů, které způsobují další štěpení, vymezuje další charakteristiky reaktorů. Ve spodní části jsou reaktory s moderátory pracující na tzv. tepelných neutronech, v horní části jsou reaktory tzv. rychlé, které pracují se spektrem neutronů s podstatně vyššími energiemi. U superkritických reaktorů se počítá s moderačními účinky vody, které jsou ale podstatně menší v případě superkritického stavu než u tlakové vody.

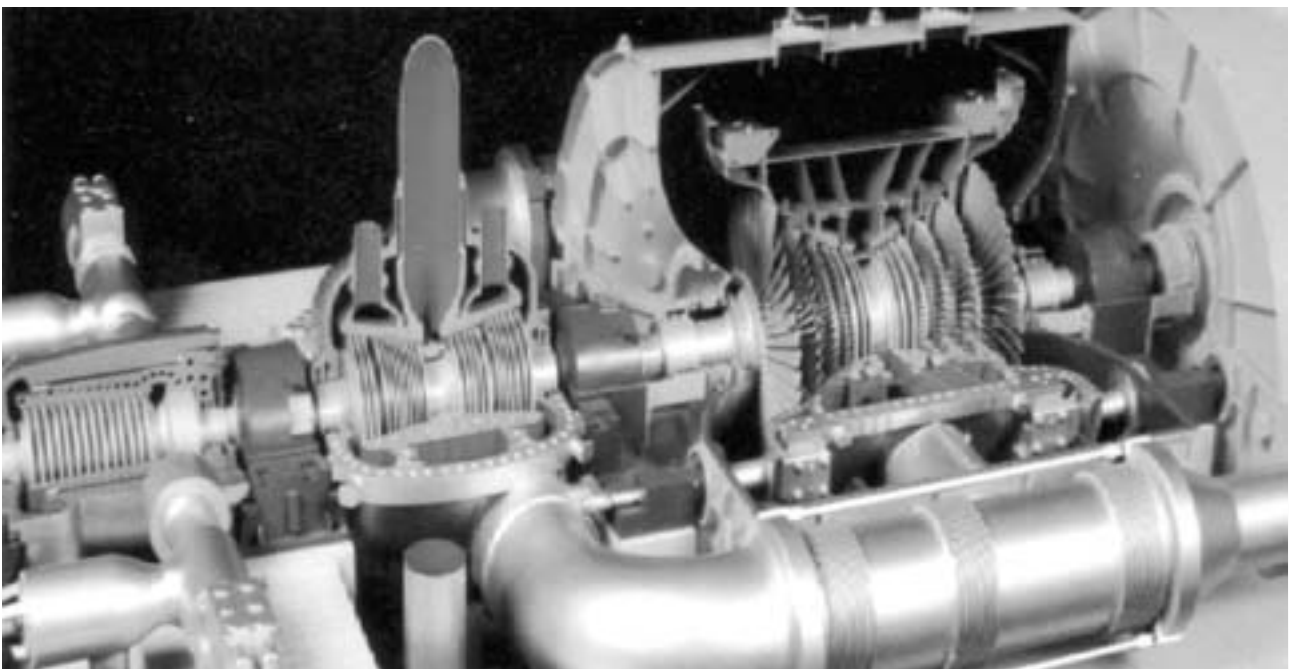


Obr. 2. Předpoklad dalšího technologického vývoje jaderných bloků pro další desetiletí [2]

Použití vody v nadkritickém stavu v energetice



Obr. 3 Mapa parametrů uvažovaných reaktorů [2]

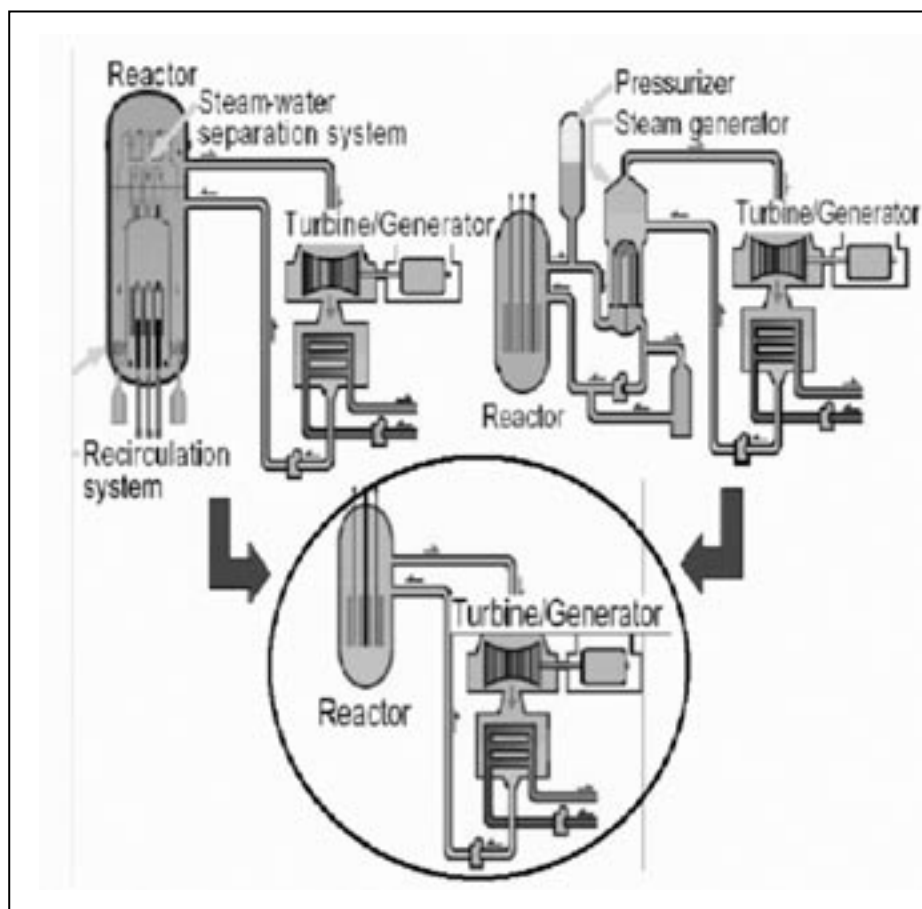


Obr. 4 Řez trojstupňovou turbinou na SCW - konstrukce Siemens, vlevo vysokotlaký stupeň, uprostřed středotlaký dvouproudový stupeň a vpravo jeden ze dvou nízkotlakých stupňů [2]

3. Závěr

S postupným vyčerpáváním zásob ropy a se zvyšujícím se důrazem na řešení nebezpečí skleníkového efektu dojde k posílení zájmu o jaderné zdroje energie, které neprodukují oxid uhličitý, které by byly bezpečné, byl by zvládnutý celý palivový cyklus, tj. produkovaly by minimum vysoce aktivních odpadů a jejichž ekonomické parametry by byly plně konkurenceschopné. Jednou z řady možností se jeví užití bloků s reaktory pracujícími s vodou v nadkritickém stavu. Výzkumné a vývojové práce se soustřeďují na řešení aktivní zóny, na materiálovou problematiku a konstrukci turbin. S nasazením těchto bloků do komerčního provozu se počítá někdy kolem roku 2030.

Použití vody v nadkritickém stavu v energetice



Obr. 5 Porovnání konstrukce jednotek s reaktory PWR, BWR a SCWR [2]

[1] Sajdl P., Brenner O., Cizner J.: Závěrečná zpráva grantu GA ČR: VŠCHT Praha, 2007.

[2] Hejzlar P.: Pokrok ve vývoji reaktorů čtvrté generace a program globálního partnerství v jaderné energetice, přednáška ze semináře ČNS a centra výzkumu Řež, prosinec 2006, Řež u Prahy.



Josef Janků

Ústav chemie ochrany prostředí, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: Josef.Janku@vscht.cz

1. ÚVOD

Všeobecně se uznává, že katastrofy jakéhokoliv původu – živelné (přírodní), válečné (antropogenní) nebo průmyslové (antropogenní) - mají dopad na životní prostředí v regionálním či globálním měřítku. K živelním pohromám dochází po celou dobu existence naší planety a věda zatím nepokročila do takového stádia, kdy by byla schopna přírodní katastrofy zcela pochopit, předvídat je a efektivně jim zabránit. Jak uvádí Program EU 18/05/2006 ze Strاسبourgu, živelné pohromy v EU podle údajů OSN od roku 1980 zapříčinily smrt 65 000 lidí a způsobily ztráty ve výši 124,2 miliardy EUR. Jen v roce 2002 po povodních v srpnu přišlo o život 70 lidí.

S válečnými katastrofami se seznamujeme již od prvních písemných záznamů, které především opěvují vítězná tažení vojevůdců, zničená města, potopená loďstva a počty padlých.

K průmyslovým haváriím dochází teprve až s rozvojem průmyslové činnosti člověka, teprve když začal využívat přírodní zákony. I když experti tvrdí, že se všem haváriím v průmyslu dá předejít, přesto jsou natolik realističtí, že připravují opatření a havarijní plány pro případ nežádoucích událostí. Jako příklad můžeme uvést zákon 59/2006 Sb. o prevenci závažných havárií, zákon 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému, zákon 76/2002 Sb. o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC), zákon o chemických látkách a další.

U stávajícího principu ochrany životního prostředí převažuje princip kontroly a řízení, které vedou pouze k nápravným opatřením prostřednictvím tzv. koncových technologií (filtry, odsíření,...). Tyto technologie převádějí znečištění z jedné složky životního prostředí do druhé a pro svůj provoz potřebují další zdroje energie.

Do budoucna však nevystačíme jen se znalostí dopadů znečištění na životní prostředí a informacemi o opatřeních na jejich omezování v jednotlivých složkách životního prostředí, ale budeme potřebovat analýzu výrobních procesů samotných. Proto dnes v integrované prevenci a omezování znečištění životního prostředí (viz Zákon 76/02 Sb. IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control) můžeme zaznamenat významný posun od zaměření výhradně na výstupy výroby (znečištění) k zaměření na vstupy do výroby a efektivnost jejich využívání. S tím přímo souvisí analýza rizika a ochrana zdraví zaměstnanců. Je nutné si uvědomit, že každá lidská činnost přináší určité riziko, a že nulové riziko neexistuje.

Právo na bezpečnou a zdravotně nezávadnou práci je obsaženo v řadě významných mezinárodních dokumentů a je detailně zakotveno v právním řádu všech vyspělých zemí.

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci vyplývá ze Zákoníku práce. V §101 bodu 1 se praví: "Zaměstnavatel je povinen zajistit bezpečnost a ochranu zdraví zaměstnanců při práci s ohledem na rizika možného ohrožení jejich života a zdraví, která se týkají výkonu práce (dále jen "rizika")".

V bodu 2 téhož paragrafu se říká: „Péče o bezpečnost a ochranu zdraví při práci uložená zaměstnavateli podle odstavce 1 nebo zvláštními právními předpisy je nedílnou a rovnocennou součástí pracovních povinností vedoucích zaměstnanců na všech stupních řízení v rozsahu pracovních míst, která zastávají“.

2. ANALÝZA RIZIKA

Analýza rizika, a to nejen ekologického, je dnes běžným ekonomickým nástrojem při rozhodování o složitých průmyslových projektech.



Posuzování průmyslových ekologických rizik

Podíváme-li se na chemický průmysl, který jen v Evropské unii představuje 31 000 chemických podniků, které zaměstnávají cca 2 000 000 zaměstnanců (v ČR je třetím největším průmyslem a zaměstnává 100 000 lidí), tak každá chemická výrobní či výzkumná jednotka (laboratoř, provoz nebo závod) představuje pro své nejbližší okolí kombinaci mnoha různých ohrožení (hazard), ze kterých vyplývají určitá rizika (risk). Ta můžeme rozdělit na ohrožení mechanického a chemického původu.

Chemická nebezpečí zahrnují ohrožení požárem, explozí, chemickou reakcí nebo toxicitou chemických látek. Největší ohrožení v chemickém průmyslu netvoří, jak by se mohlo předpokládat, chemické látky, nýbrž úrazy způsobené mechanickými faktory.

Dojde-li však k havárii v průběhu chemického procesu, může způsobit energetický či toxický potenciál v něm nahromaděný ohromné škody. Přehled vybraných největších havárií z našeho století a počet jejich obětí je zpracován v následující tabulce.

rok	událost	místo	oběti /zranění
1921	exploze chemické továrny	Oppau, Německo	561
1947	exploze lodi přepravující hnojivo	Texas City, USA	562
1956	výbuch vagónu s dynamitem	Cali, Kolumbie	1100
1974	výbuch v chemické továrně	Flixborough, Anglie	28
1976	únik chemikálie (dioxinu)	Soveso Itálie	?
1979	nehoda v továrně na biologické zbraně	Novosibirsk, SSSR	300
1983	únik toxického plynu	Bhópál, Indie	2500 / 2.10 ⁵
1984	výbuch zkapalněného zemního plynu	Mexico City, Mexiko	452
1986	výbuch jaderného reaktoru	Černobyl, Ukrajina	? (20 000)
2001	21.9.- výbuch 300t NH ₄ NO ₃ v tov. AZF	Toulouse, Francie	29 / 2442
2005	výbuch ropného terminálu	Hempstead - VB	0/42

2.1 Povaha nežádoucích událostí v chemickém průmyslu

Nehody v chemickém průmyslu mají svoji specifiku. Je proto důležité studovat záznamy těchto případů nehod za účelem předvídání jejich výskytu. Nejčastěji se setkáváme s požárem, který je těsně následován explozemi a výrony toxických plynů nebo par. Přehled typů, pravděpodobnosti vzniku a následků těchto nežádoucích událostí je v následující tabulce.

typ havárie	pravděpodobnost	smrtné nebezpečí	ekonomický potenciál. ztrát
požár	vysoká	malé	střední
exploze	střední	střední	vysoký
výrony tox. plynů	malá	vysoké	střední

Seřadíme-li tyto havárie podle počtu smrtelných úrazů, pak je pořadí přesně opačné, neboť toxicita plyných výronů představuje největší smrtelné nebezpečí.

Ekonomické ztráty jsou odpovídajícím způsobem vyšší pro nehody, při nichž dojde k explozi. Nejhorší typy explozí jsou exploze nekontrolovatelného mraku výbušných par.

2.2 Názvosloví

Bezpečnost (Safety) je předcházení nehodám identifikací nebezpečí (ohrožení) a jeho odstranění použitím odpovídajících procesů a technologií.

Riziko (zařízení, provozu, podniku) je definováno jako míra ekonomické ztráty, újmy na lidském zdraví, škody na majetku, zařízení nebo na životním prostředí, vyjádřená pomocí **pravděpodobnosti** či **četnosti** nehody (Frequency) a velikosti **následků**.

Nebezpečí, (syn. **ohrožení, zdroj rizika**) (Hazard) je chemická nebo fyzikální podmínka, která má potenciál způsobit škodu lidem, škodu na majetku nebo životním prostředí (toxicita, těkavost, hořlavost, tlak, teplota...).

Nehodu (Incident) definujeme jako ztrátu kontroly nad materiálem nebo energií.

2.3 Systematický přístup ke zvyšování bezpečnosti

Důvody analýzy rizika vyplývají z nutnosti snižování ekonomických ztrát podniků a omezení nepříznivých vlivů na člověka a životní prostředí. Motivy máme dva a to:

- úsilí o zlepšení technicko-ekonomických charakteristik podniku
- požadavky veřejnosti nebo státních orgánů

Jednotlivé kroky systematického přístupu ke zvyšování bezpečnosti (snižování rizika) chemického zařízení jsou:

1. Identifikace zdrojů rizika (ohrožení lidí, majetku, životního prostředí)
2. Identifikace bezpečnostních funkcí zařízení
3. Pokrytí všech bezpečnostních funkcí ve všech fázích života zařízení opatřeními zajišťujícími bezpečnost
4. Identifikace nejslabších opatření zajišťujících bezpečnost
5. Vyvažování opatření zajišťujících bezpečnost

2.4 Nehodovost a statistika ztrát

Počty havárií a statistika ztrát jsou důležitým měřítkem bezpečnosti a efektivity procesu. Pro vyhodnocení údajů o nehodách a ztrátách se používá ve světě mnoho metod. Neexistuje však universální jednoduchá metoda, která by byla schopna brát v úvahu všechny požadované aspekty. Jsou však tři systémy, které jsou obecně uznávané. Jsou to systémy OSHA, FAFR (Fatal Accident Frequency Range) nebo FAR (Fatal Accident Rate) a Fatality Rate (Deaths per Person per Year). Všechny tyto metody udávají počet případů nebo úmrtí, vztažený na určitý počet osob během určité doby.

OSHA index četnosti výskytu nehod (OSHA Incidence Rate) je založen na vyhodnocení statistiky nehod pro 100 pracovníků za rok.

FAFR udává počet smrtelných úrazů na 1000 pracovníků průmyslového odvětví za celoživotní aktivní pracovní činnost (50 let).

Statistika nehodovosti různých odvětví průmyslu v GB a USA

Průmyslový obor	FAR (GB)	FAFR (USA)
chemický průmysl	3,5	3
ocelářství	8	8
hornictví	40	31
stavebnictví	57	67
zemědělství		10
doprava		11
celkově průmysl	4	5

Posuzování průmyslových ekologických rizik

Fatality Rate (Četnost úmrtí) udává poměr smrtelných úrazů za rok vztažený na celkový počet osob ve zkoumaném procesu.

činnost	Fatality Rate
pobyt doma (včetně dětí a důchodců)	$0,8 \cdot 10^{-5}$ ($0,2 \cdot 10^{-5}$)
jízda autobusem do práce	$1,5 \cdot 10^{-5}$
jízda automobilem do práce	$17 \cdot 10^{-5}$
jízda motocyklem do práce	$1320 \cdot 10^{-5}$
kouření 20 cigaret denně	$500 \cdot 10^{-5}$
15 let prožitých s kuřákem	$10 \cdot 10^{-5}$
výlet na kole 1 500 km	$10 \cdot 10^{-5}$
procestování automobilem 45 000 km	$10 \cdot 10^{-5}$
roční práce v bezpečném prům. odvětví	$10 \cdot 10^{-5}$

Pravděpodobnost úmrtí neovlivnitelnými nehodami

příčina	Pravděpodobnost
usmrcení při dopravních nehodách	1300×10^{-7}
při požárech	150×10^{-7}
usmrcení bleskem	1×10^{-7}
usmrcení pádem meteoritu	6×10^{-11}

Jaká je tedy přijatelná míra rizika? Bylo těžké se dohodnout na nějaké hodnotě, protože je mnoho faktorů, které musíme brát v úvahu. Nakonec se došlo k takovým hodnotám přijatelného rizika (Risk acceptance), které jsou stejného řádu jako rizika se kterými musíme žít to jest

$$10^{-4}$$

Poznali jsme, že chemický průmysl je velmi bezpečný. Tak proč se takové úsilí věnuje bezpečností práce? Souvisí to se značným naakumulovaným energetickým a toxickým potenciálem, který může způsobit ohromné ekonomické ztráty, poškození životního prostředí a hromadná úmrtí (tragedie Bhopál, Soveso, Černobyl a pod.). Je totiž v lidské povaze zakořeněno, že havárie, při níž dojde k většímu počtu úmrtí je větší tragedie než velký počet havárií s menším počtem ztracených životů v každé z nich. Také ztráty na jeden incident se neustále zvyšují. Můžeme říci, že celkové ztráty při nehodách narůstají každých deset let na dvojnásobek.

3. METODOLOGIE HODNOCENÍ RIZIKA V CHEMICKÉM PRŮMYSLU

Metodologie hodnocení rizika představuje souhrn mnoha dílčích metodik pomocí nichž hledá odpovědi a nabízí postupy jak nalézt odpovědi na následující otázky:

1. Co se může pokazit?
2. Jaké jsou možné příčiny?

3. Jaké budou následky?

4. Jak je to pravděpodobné?

Jednotlivé dílčí metodiky představují rozsáhlou množinu různých technik. Řada technik má mnoho variant. Není snadné zvolit nejvhodnější metodiku. Výběr je ovlivňován:

- cílem analýzy (druh požadovaných výsledků)
- typem analýzy (opakovaná, nová, speciální,..)
- dostupnými informacemi
- charakteristikou analyzovaného procesu (složitost, typ operací, nebezpečí látek,..)
- zkušeností a znalostí procesu
- náklady na analýzu

4. ZÁKON 59/2006 Sb., O PREVENCI ZÁVAŽNÝCH HAVÁRIÍ

způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky připravilo MŽP a zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství.

Stanoví systém prevence závažných havárií pro objekty a zařízení, v nichž je umístěna vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek s cílem snížit pravděpodobnost vzniku a omezit následky závažných havárií na zdraví a životy lidí, hospodářská zvířata, životní prostředí a majetek v objektech a zařízeních a v jejich okolí.

Zákon definuje **závažnou havárii** jako mimořádnou, částečně nebo zcela neovladatelnou, časově a prostorově ohraničenou událost (závažný únik, požár, výbuch), která vznikla nebo jejíž vznik bezprostředně hrozí v souvislosti s užíváním objektu nebo zařízení, v němž je nebezpečná látka vyráběna, zpracovávána, používána, přepravována nebo skladována.

Z této definice vyplývá pro provozovatele takovýchto zařízení povinnost:

- zpracovat seznam nebezpečných látek umístěných v objektu,
- zařadit objekt nebo zařízení do příslušné skupiny (A nebo B),
- zpracovat bezpečnostní program,
- provést analýzu a zhodnocení rizik,
- uzavřít pojištění o odpovědnosti za škody vzniklé v důsledku závažné havárie,
- vypracovat havarijní plány (vnitřní a vnější).

5. INTEGROVANÁ PREVENCE A OMEZOVÁNÍ ZNEČIŠTĚNÍ (INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL – IPPC)

V září roku 1996 byla přijata Evropskou unií směrnice týkající se integrované prevence a omezování znečištění v oblastech, které jsou vymezeny v příloze č. 1 této směrnice. V ČR byl přijat v roce 2002 jako **zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění** a vstoupil v platnost od 1. ledna roku 2003. Rok 2004 byl pro IPPC a využívání nejlepších dostupných technik v tomto procesu významný i tím, že se Evropské fórum IPPC poprvé ve své historii sešlo mimo Brusel v Brně, v České republice.

Aplikace směrnice IPPC předpokládá vypracování referenčních dokumentů (BREF – Bat REferences document) s cílem definovat nejlepší dostupnou techniku tzv. BAT – (Best Available Techniques).

K přípravě těchto referenčních dokumentů (BREF) byla zřízena Evropská kancelář IPPC ve španělské Seville (EIPPCB= European IPPC Bureau). Podklady pro BREF připravují technické pracovní skupiny (TWG – Technical Working Groups), jejichž členy jsou význační odborníci z oboru a zástupci exekutivy EU.

Evropská kancelář IPPC předkládá vypracované referenční dokumenty Foru IPPC se sídlem v Bruselu, které je řídicím orgánem pro přijímání a schvalování těchto dokumentů.

5.1 Základní charakteristiky směrnice IPPC a BAT

Směrnice IPPC představuje nový přístup k ochraně životního prostředí. Jejím smyslem je dosáhnout vysoké úrovně ochrany životního prostředí jako celku, tj. neposuzovat odděleně dopad činnosti na jednotlivé složky ŽP, ale najít optimální řešení možných vlivů činnosti na kvalitu ŽP a lidského zdraví. Pro realizaci integrované ochrany ŽP je nutné sledovat nejen produkované znečištění, ale identifikovat i příčiny jeho vzniku a v maximální možné míře předcházet vzniku znečištění přímo ve výrobních technologiích. V integrované ochraně životního prostředí můžeme zaznamenat významný posun od zaměření výhradně na výstupy výroby (znečištění) k zaměření na vstupy do výroby a efektivnost jejich využívání.

5.2 Časový harmonogram zavádění směrnice IPPC v ČR

Praktické kroky v ČR byly zahájeny již v r. 1997, kdy byly zpracovány přípravné studie porovnávající stav české legislativy ve vztahu k požadavkům směrnice 96/91 EU. **Zákon č.76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění (zákon o IPPC)** pro nová zařízení začal platit od 1.1.2003. Pro stávající zařízení by měl platit pro českou republiku odklad 10 let, tj. do roku 2012. V praxi to znamená, že povolovací proces musí postoupit do tohoto roku více než 1300 již existujících velkých a středních průmyslových a zemědělských podniků. Vyhláška č. 554/2002 Sb., obsahuje vzor žádosti o povolení provozu zařízení.



Jana Punčochářová

Ústav chemie ochrany prostředí FTOP, VŠCHT Praha

Technická 5, Praha 6

e-mail: jana.puncocharova@vscht.cz

Poznámka: Následující písemný materiál volně navazuje na text „Vliv toxických látek na lidský organismus“, který byl součástí sborníku přednášek pro 19. Letní školu středoškolských učitelů pořádanou VŠCHT Praha ve dnech 24. – 26. 8. 2005

1. Úvod

Látky, které lze ozřejmit v živých organismech, lze v zásadě rozlišit na *látky endogenní* a *látky exogenní*. Látky endogenní jsou cíleně tvořeny samotným organismem a patří mezi ně stavební součásti tělesných struktur, metabolity zajišťující nejrůznější funkce organismu i odpadní produkty metabolických procesů. Látky exogenní jsou přijímané živými objekty z okolního prostředí a mohou organismu sloužit či jej poškozovat, případně mohou být ukládány do specifických částí živých těl a zůstat po dlouhou dobu neaktivní, nebo mohou být z organismu v určitém časovém horizontu beze změny vyloučeny.

Prospěšnými exogenními látkami jsou především součásti potravin, které organismus potřebuje jako zdroj energie, stavební materiál nebo biokatalyzátory, které si není schopen sám vyrobit. Příkladem takových prospěšných exogenních látek mohou být např. vitamíny, minerální látky, stopové esenciální kovy, některé látky enzymatického charakteru atd.

Ostatní exogenní látky, které organismus nepotřebuje k plnění svých funkcí, jsou zpravidla označovány jako látky cizorodé neboli xenobiotika (z řečtiny *xenos*=cizí). Je nutno dodat, že v průběhu doby došlo k posunu obsahu slova „xenobiotikum“. Dříve byly tímto termínem důsledně označovány látky organismu kvalitativně cizí, které v něm nemohou vznikat; nyní jsou jako xenobiotika označovány i látky v organismu přirozeně existující, ale v důsledku jejich příjmu z okolí v něm přítomné v nadbytečném, a proto často škodlivém množství. Pro člověka může být takovým xenobiotikem i destilovaná voda. Destilovaná voda je prostá solí a její příjem snižuje proto salinitu extracelulární tělní tekutiny. Za těchto okolností mají buňky tendenci osmoticky nasávat vodu z okolí, aby se původně vyšší koncentrace solí uvnitř buňky vyrovnala s koncentrací solí vně buněčné membrány. Masivní konzumace destilované vody by tak mohla vést k nabobtnání buněk trávicího traktu, jež by mohlo být příčinou destrukce buněčných membrán z výše uvedeného důvodu enormně zvětšených buněk.

Cizorodé látky mohou být biogenního původu, může se tedy jednat o přírodní látky pocházející z jiných živých objektů, nebo synteticky vyrobené sloučeniny. Většina cizorodých látek se zapojuje do biochemických dějů v organismech, zasahuje tedy do metabolických procesů a ovlivňuje jejich kvalitu, může měnit biologické struktury (např. permeabilitu buněčných membrán) a tím způsobovat posun jejich funkcí. Studium změn, které jsou vyvolány interakcemi specifických buněk s cizorodými látkami, je jedním z nejdůležitějších úkolů současného vědeckého bádání.

Působení biologického objektu a cizorodé látky je vzájemné. Látka působí na organismus tj. vyvolává kladný či záporný (toxický) účinek, ale i biologický objekt působí zpětně na cizorodou látku a chemicky ji přeměňuje, proběhne její biotransformace. Účinek pak může být vyvolán i metabolitem původní chemikálie. Přestože je všeobecně známo, že živé objekty mají zakódovaný silný pud sebezáchovy, nejsou výjimečné případy, kdy látka biotransformuje intoxikačně, to znamená, že vznikající metabolity mají vyšší toxicitu než látka původní. Příkladem může být methanol, jehož vysoká toxicita je dána jeho postupně se tvořícími metabolity – formaldehydem a kyselinou mravenčí.



Ovlivnění živých objektů toxickými látkami

Osud látky v organismu má několik zásadních etap – obvykle se dělí do čtyřech fází:

- ° vstup – absorpce
- ° přenos – distribuce
- ° metabolické přeměny – biotransformace
- ° vylučování – exkrece

2. Způsob vstupu xenobiotika do organismu

Cesty vstupu cizorodých látek do organismů jsou různé. Xenobiotika mohou do organismu vstupovat inhalací, požitím nebo přestupem přes kůži. V úvahu přichází i zvláštní, ale zdaleka ne nevýznamný přestup látek oční sliznicí. Další cesty vstupu jsou injekční aplikace např. intravenózní (tj. do žíly), subkutánní (pod kůží), intramuskulární (do svalů), intraperitoneální (do břišní dutiny). Mají význam hlavně v medicíně a v experimentální toxikologii; ale i v přírodě existují varianty tohoto typu vstupu látky do živých objektů – např. včelí štípnutí nebo hadí uštknutí. Vlastní účinek - a to jak jeho charakter, tak rychlost nástupu účinku – je na způsobu vniku xenobiotika do organismu mimořádně závislý.

3. Farmaka s příznivými a škodlivými účinky

Xenobiotika, jejichž vstup do organismu vyvolá změny jeho funkce nebo jeho stavu, lze rovněž označit jako farmaka. Termín „farmakon“ je vlastně synonymem pojmu účinná látka, v řečtině se jím označoval lék, ale také jed. Farmaka tedy potlačují, stimulují nebo modifikují biochemické procesy probíhající v normálním buněčném metabolismu příslušného živého organismu. Podle výsledného efektu lze farmaka rozdělit na ta, jejichž vliv na živý systém je příznivý a ta, která živý systém poškozují. Příkladem prvních jsou léčiva, druhou skupinu tvoří jedy. Hranice mezi látkami s příznivými a škodlivými účinky není ovšem ostrá, každé farmakum je více nebo méně svým způsobem pro biotu zatěžující. To, co rozhoduje o toxicitě farmaka pro daný organismus je především přijatá dávka (tzv. práh toxicity), při které se jeho škodlivé účinky projeví. Proto i starořecké označení „farmakon“ zahrnovalo jak léčivé tak i smrtící látky. V dnešní době jsou jako farmaka označovány hlavně léčebné prostředky.

Vnímavost různých buněčných forem k negativnímu dopadu jednoho určitého farmaka se může velmi lišit. Rozdílné citlivosti různých typů buněk k různým látkám se využívá v chemoterapii; např. určitá látka nepoškozuje buňky lidských tkání, ale je letální pro nižší formy života jako jsou bakterie, viry nebo plísňe. Látka toxická pro určitý organismus může sloužit jako lék, když metabolismus léčeného živého objektu je na tuto látku dostatečně odlišně citlivý ve srovnání s metabolismem původce onemocnění. Vzhledem k tomu, že léčiva jsou ve většině případů „léčivé jedy“, má farmakologie úzký vztah k toxikologii.

4. Účinky jedů a typy toxického účinku

Působení xenobiotik na živý organismus může mít velmi různou podobu vnějších projevů – bolest hlavy, poruchy zažívání různé intenzity, smyslové poruchy (např. rozostřené vidění), dermatitidy (různé typy poškození kůže), poškození nervové soustavy, poškození krevetvorby a další negativní projevy včetně letality (lat. letum=smrt).

Podle mechanismu zásahu živého objektu xenobiotikem, tj. podle způsobu jeho působení, se nejčastěji specifikuje šest typů toxického účinku:

- *přímý toxický účinek* , kdy látka působí fyzikálně–chemicky na kritickém místě organismu

Ovlivnění živých objektů toxickými látkami

- *biochemický účinek*, kdy toxické působení látky startuje po interakci molekuly daného xenobiotika s příslušným receptčním místem; takto aktivizovaná molekula xenobiotika negativně ovlivní nějaký biochemický děj a tím poškodí související životní funkci zasažené buňky
- *imunotoxický účinek*, kdy látka způsobí změny imunitního systému, buď ve smyslu potlačení jeho funkce (snížení imunity), nebo vyvolá jeho hypersenzitivitu (neadekvátní alergická odpověď)
- *mutagenita*, kdy xenobiotikum (velmi často molekuly elektrofilní povahy) způsobí trvalou změnu genetické informace; genetická chyba se pak stává osudem všech dalších replikujících se buněk
- *kancerogenita*, změna genetické informace vedoucí ke zhoubnému nádorovému bujení
- *teratogenita*, kdy xenobiotikum negativně interferuje s normálním vývojem plodu v těle matky; poškození vede k narození jedince většinou s malformacemi (vrozenými odchylkami tvaru) různých částí těla

Otrava (intoxikace) je definována jako poškození životních funkcí organismu v důsledku působení toxické látky. Projeví-li se bezprostředně po jednorázové dávce toxické látky, je hodnocena jako *otrava akutní*. Jedná-li se o poškození zdraví po opakovaných menších dávkách xenobiotika nebo o poškození vyvolaném dlouhodobým stykem s toxickou látkou, jde o *otravu chronickou*.

4.1. Akutní a chronická otrava ethanolem

Je třeba si uvědomit, že účinky akutní a chronické vyvolané stejnou látkou se mohou navzájem velmi lišit. Příkladem může být *působení ethanolu na lidský organismus*.

Akutní otrava lidského organismu ethanolem je charakteristická počátečním euforickým stádiem vyznačující se veselostí, někdy zvýšenou činorodostí a ztrátou zábran následovanou nevolností, bolestmi hlavy a apatií; příčinou narušení (nevolnosti) je tvořící se acetaldehyd, na nějž se ethanol oxidačně biotransformuje; je zajímavé, že biotransformace ethanolu je časově obdivuhodně konstantní a nelze v podstatě urychlit, to znamená, že kocovina trvá v případě konkrétního člověka vždy přibližně stejně dlouho.

Dlouhodobá konzumace alkoholu je příčinou toxikomanie zvané alkoholismus. Tato *chronická otrava* ethanolem má mnohostranný negativní dopad na zdraví člověka:

- Protože se ethanol kumuluje mimo jiné v tukových podílech buněčných membrán, může způsobit narušení jejich funkcí, např. zdeformovat zde lokalizovaná receptorová místa (viz avizovaný text ze sborníku z r. 2005).
- Dlouhodobá konzumace alkoholu vede k útlumu činnosti mozku, která je způsobená jednak ovlivněním receptorů inhibičního neurotransmiteru GABA (kyselina gama-aminomáselná), což ztěžuje komunikaci nervových buněk s mozkem, jednak blokáci receptorů pro glutamát, který je excitačním neurotransmiterem nutným při tvorbě paměťových stop. Nejvíce jsou ovlivněny ty oblasti mozku, kde jsou nejhustější nervová spojení mezi buňkami, tedy kůra mozková (odpovědná za myšlení, úsudek a logické uvažování) a mozeček (centrum mechanismů pohybu). *Testy prokázaly vliv i nepatrných dávek alkoholu na tyto oblasti, např. v momentě, kdy člověk ještě nepociťuje opilost.*
- Dochází k narušení paměti. Konzumace alkoholu má za následek prohloubení mozkového útlumu – člověk usíná, případně má výpadky paměti (tzv. „okna“). Paměť vzniká v části mozku zv. hippocampus (protože tvarem připomíná mořského koníka s tímto latinským jménem) za spoluúčasti excitačního neurotransmiteru – soli kyseliny glutamové. Glutamát se aktivizuje pro svou funkci navázáním na tzv. NMDA-receptory (N-methyl D-aspartát); ethanol tyto receptory blokuje, takže se nemohou tvořit paměťové stopy. NMDA-receptory jsou významné pro tvorbu komunikačního spojení mezi buňkami, proto je konzumace alkoholických nápojů v těhotenství příčinou špatných informací při vývoji plodu. Chroničtí pijáci mají pak silně poškozeny části mozku, které se účastní procesů učení a paměti (hlavně paměti krátkodobé), což vede k demenci s projevy velmi podobnými Alzheimerově chorobě.
- Mezi orgánová poškození patří poškození jaterní tkáně. Je možno popsat tři stádia poškození jater jako následek nadměrného pití alkoholických nápojů: steatózu, alkoholickou hepatitidu a cirhózu. *Steatóza* je stádium, při němž



se v játrech tvoří zvýšený podíl tukové tkáně na úkor funkční tkáně jaterní. Dochází tedy ke ztučnění jater, nemusí se však jednat o změnu trvalou; jestliže je konzumace alkoholu přerušena, játra mají mimořádnou schopnost regenerace. Druhé stádium poškození jater je *alkoholická hepatitida*, vlastně zánět jaterních buněk projevující se jako žloutenka. Nejzávažnějším poškozením jater je *cirhóza*; cirhóza je jednou z fibróz, jde o ireverzibilní, tedy trvalé zajizvení jaterní tkáně. Zajizvená tkáň mění strukturu, z čehož vyplývá omezení přirozené funkčnosti jater.

- Dalším orgánem, jehož činnost je v reakci na expoziční dávky ethanolu negativně postižena, jsou ledviny. Vlivem konzumovaného alkoholu dochází k snížení sekrece antidiuretického hormonu ADH. ADH je uvolňován z mezimozku povellem z hypothalamu (část mozku komunikující s vegetativním nervstvem, které není možno cíleně ovlivnit vůlí) a jeho úkolem je účelově snižovat tvorbu moči, je-li zapotřebí zadržet v těle vodu. Sníží-li ethanol sekreci ADH, tvoří a vylučuje se více moči. Proto je jednou z příčin kocoviny i dehydratace organismu způsobená ztrátami vody.
- S opilstostí jsou často spojeny i poruchy rovnováhy. Centrum rovnováhy je ve středním uchu, ve kterém jsou nervové buňky citlivé na polohu hlavy. Požitý ethanol mění hustotu tekutiny v kanálcích středního ucha. V souvislosti s tím se mění aktivita těchto sensorických buněk a signály o poloze těla, které jsou jimi vysílány do mozku, jsou zmatečné – liší se od informací získávaných zrakem.
- Konzumace ethanolu narušuje charakter zdravého spánku. Člověk pak stráví méně času v hluboce odpočinkových REM-fázích spánku a dříve se probouzí. Výsledkem je obvykle ztráta koncentrace a ospalost během následujícího dne.
- Ethanol je oprávněně řazen k návykovým látkám. Tato látka se z největší části biotransformuje (ve smyslu svého rozkladu) v játrech za spoluúčasti enzymu alkoholdehydrogenázy. Pravidelná konzumace alkoholu vede k tomu, že játra produkují větší množství enzymu, a je tedy zapotřebí větší dávky alkoholu, aby bylo dosaženo stejného pocitu euforie po jeho požití; dostavuje se tedy efekt označovaný jako *tolerance*. *Addikce* (návykovost) na alkohol není zcela bezpečně objasněna, ale existuje řada vysvětlujících hypotetických teorií. Asi nejvíce rozšířený je názor, že návykovost na alkohol je spojena - stejně jako téměř pro všechny ostatní drogy - se změnou koncentrace jednoho z biologicky velmi účinných aminů, *dopaminu*. Ethanol aktivuje mozkové buňky, produkující tento neurotransmitter. Navíc v mozku zřejmě přispívá k produkci molekul strukturně podobných morfinu a je tedy možné, že návyk na alkohol je podobný návyku na morfin či příbuzný heroin.

5. Nespecifický a specifický toxický účinek

Xenobiotikum může na organismus působit buď lokálně, ihned na místě vstupu např. na pokožce, sliznici zažívacího ústrojí nebo zažívacího traktu. V jiném případě může být nejprve v organismu distribuováno (příčemž nejčastějším transportním médiem je krev), dopraveno do určitého *cílového orgánu* či specifické tkáně a teprve pak se toxický efekt realizuje. V tomto případě se jedná o *účinek systémový*.

Podle mechanismu působení xenobiotik jsou jejich účinky rozlišovány na nespecifické a specifické.

Nespecifický toxický účinek

Pokud látka na organismus působí nepříznivě pouhou svou přítomností na určitém místě, aniž by se vázala na receptor či reagovala s cílovými molekulami, jde o účinek nespecifický. Nespecifický účinek je důsledkem prostého fyzikálně-chemického působení chemikálie. Do této skupiny lze zahrnout např. působení kyselin a zásad, tedy poleptání, ale i narkózu nebo pneumokoniózy (poškození plic v důsledku vdechování jemných tuhých částic).

Specifický toxický účinek

Specifický toxický účinek je výsledkem interakce molekuly xenobiotika s odpovídajícím receptorem, která znamená přesně definovaný zásah do určitého biochemického děje. Specifické toxické účinky mají např. látky kancerogenní nebo mutagenní.

Z typů účinků uvedených v kap. 4 je přímý toxický účinek účinkem nespecifickým, ostatních pět typů účinků je řazeno

do kategorie účinků specifických.

Specifický a nespecifický toxický účinek se obecně liší i dávkou xenobiotika, která je vyvolá. Pro vyvolání nespecifického účinku je zapotřebí až o dva řády vyšší dávka než pro vyvolání specifického účinku; organismy jsou tedy mnohem citlivější k toxickým látkám se specifickými toxickými účinky.

6. Rostlinné jedy

Přírodní toxické látky, označované jako *toxiny*, jsou látky biologického původu, tedy produkované různými druhy živých organismů. Jejich přirozenou funkcí je hlavně chránit svého nositele před predátory, nebo slouží k otrávení a následnému uchvácení kořisti.

Rostlinné toxiny byly zřejmě jedny z historicky prvních toxických látek, s nimiž se člověk při svém každodenní existenci mohl setkat a pocítit jejich dramatický dopad na život ať už v pozitivním nebo negativním slova smyslu.

Rostliny jsou nezastupitelnou součástí našeho životního prostředí. Způsobem trofiky patří k producentům, a proto se od nich odvíjí kvalita i kvantita veškerého života na Zemi vůbec. Jsou i pro člověka mnohostranně užitečné; jsou zdrojem výživy i důležitých průmyslových surovin. V jednotlivých částech rostlinných těl (tj. v kořenech, příp. zásobných orgánech, stoncích, listech, květech a plodech) mohou být obsaženy vysoce biologicky účinné látky působící na ostatní organismy jak blahodárně tak zlobně. V pozitivním směru mohou např. posilovat obranné funkce imunitního systému, podporovat normální tělesné funkce nebo vyrovnávat funkce poškozené. Některé rostlinné látky jsou však vysoce toxické; narušují nebo dokonce paralyzují některé centrální tělesné funkce (dýchání, krevní oběh, trávení, vylučování atd.), expozice vůči nim může být i v příčinou smrti postiženého organismu včetně organismu lidského. Ale i v tomto případě platí striktní souvislost mezi *toxickým účinkem a přijatou dávkou jednoho a téhož rostlinného toxinu*. Mezi léčivou a jedovatou rostlinou nemusí existovat žádný podstatný rozdíl. Toxické substance v rostlinách mohou být při správné dávce a použití ve správném kontextu nenahraditelnými léčebnými prostředky; příkladem mohou být vysoce toxické kardioaktivní glykosidy z náprstníku (*Digitalis*), výborně sloužící při léčbě poruch srdečního rytmu. Avšak používání přípravků z jedovatých rostlin v lidovém léčitelství skrývá nebezpečí otravy předávkováním, zvláště dojde-li ke kontaktu s jedinci se zvýšenou vnímavostí vůči xenobiotikům (děti, staří lidé, člověk trpící jinou chorobou) nebo dojde-li k tzv. neočekávané neslučitelnosti se současně vnímanými jinými látkami (léky, složky potravy, kosmetické prostředky). Je důležité si uvědomit, že sama použitá rostlina obsahuje kromě požadované léčebné substance pestré směsí mnoha dalších endogenních chemických látek, které mohou organismu – zvláště při jejím dlouhodobém užívání – škodit.

Obsah určité endogenní látky v těle rostliny je druhovým, geneticky fixovaným znakem. Většina rostlinných jedů vzniká jako produkty látkové výměny rostlin v rámci tzv. sekundárního metabolismu. Rostlinný sekundární metabolismus a jeho produkty jsou obvykle značně specifické pro určité rostlinné taxony (klasifikační jednotky) – jde obvykle o druh, rod nebo čeleď. Zvláště významným taxonem je z tohoto hlediska čeleď (*familia*). Čeleď představuje seskupení rodů a druhů, které obvykle mají velmi podobnou skladbu sekundárních metabolitů, tedy i toxických látek. Tato skutečnost je využitelná pro jisté vymezení výskytu biologicky aktivních látek v rostlinném systému a může urychlit orientaci při hledání příčiny nežádoucího efektu.

Je třeba připomenout, že dvě rostliny téhož druhu nemusí mít vždy naprosto stejný obsah zmíněných sekundárních metabolitů, to znamená, že nemusí být stejně jedovaté. Stupeň jejich toxického působení může být značně ovlivněn růstovým stanovištěm rostliny (např. klimatickou a půdní vlhkostí, obsahem minerálních látek v půdě, mírou slunečního svitu), ale i ročním obdobím, vegetačním stadiem a stářím rostliny.

Rostlinné jedy se do organismu dostávají nejčastěji požitím, ale možným vstupem je někdy i kůže, sliznice nebo vdechování výparů. Vstupy rostlinných metabolitů těmito cestami je nutno spojit např. s inhalačními alergiemi.

Moderní metody měření průtoku

Jedovaté látky mohou být v celé rostlině rozloženy rovnoměrně, nebo jsou lokalizovány jen v některých orgánech. Nejčastěji jsou jedovaté kořeny a zásobní orgány rostlin (hlízy, cibule, oddenky), někdy jsou jedovaté i plody nebo listy; zřídka kdy jsou toxické látky obsaženy v květech.

Otravy jedovatými rostlinami se mohou projevit akutně, velmi brzy po vstupu jedu do těla, obvykle za několik minut či hodin. V úvahu však přicházejí i otravy chronické, které se dostavují většinou po dlouhodobé více méně pravidelné aplikaci menších dávek jedu (např. kouření). Zvláště nebezpečné jsou tzv. otravy opožděného a těžkého účinku, kdy se příznaky dostavují s plnou razancí až po delší době, kdy už je jed z podstatné části organismem vstřebán (např. otrava toxickou substancí ocúnu – kolchicinem).



Základní principy stanovení biodegradability organických látek spojené s určením ekologické vhodnosti přípravků spotřební chemie

Vladimír Sýkora, Hana Kujalová

Ústav technologie vody a prostředí, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: vladimir.sykora@vscht.cz; hana.kujalova@vscht.cz

1. Úvod

Výzkum týkající se biodegradability byl především iniciován v padesátých a šedesátých letech minulého století v důsledku záměny mýdla v pracích prostředcích (detergentech) syntetickými tenzidy, které shodou okolností patřily mezi látky biologicky těžko rozložitelné. Důsledky byly z hlediska vodního hospodářství katastrofální. Čistírny odpadních vod některých velkoměst se zahalily do vrstvy pěny, která byla větrem roznášena do okolí a pěna se tvořila i na turbulentních místech toků (např. pod jezy). Tento neudržitelný stav řešily některé státy legislativní cestou (tzv. zákony o detergentech), kdy byly určeny limity pro biologickou rozložitelnost tenzidů používaných v pracích prostředcích. Tento proces byl v podstatě katalyzátorem pro sledování osudu dalších organických látek v prostředí. Základním požadavkem je, aby většina organických látek, které přecházejí do prostředí, ať z průmyslu nebo domácností, podléhala biologickému rozkladu jak na čistírnách odpadních vod, tak i v povrchových vodách. Tomu odpovídá i současná legislativa ČR, kde **požadavky na biologický rozklad** jsou zahrnuty v zákonu o chemických látkách a chemických přípravcích č. 434/2005 Sb. (včetně doprovodných vyhlášek). Každá chemikálie přicházející na trh musí být vybavena bezpečnostním listem, který obsahuje mj. údaje o její biologické rozložitelnosti a toxicitě. Pokud se týká tenzidů, pak požadavky na biodegradabilitu tenzidů jsou zahrnuty v nařízení vlády č. 648/2004 Sb.

2. Testování biodegradability látek

Pro stanovení biologické rozložitelnosti byla vyvinuta řada zkoušek, které do určité míry simulují chování dané látky v povrchových nebo odpadních vodách a na čistírnách odpadních vod, a to za aerobních nebo anaerobních podmínek. Potřeba zkoušení biodegradability v prostředí aerobním i anaerobním spočívá v tom, že některé látky se za aerobních podmínek chovají jinak než za podmínek anaerobních. Aerobní rozklad probíhá např. v povrchových vodách a v aktivačních nádržích na ČOV. Anaerobní rozklad probíhá např. v hlubších vrstvách říčních sedimentů a při anaerobní stabilizaci čistírenských kalů či anaerobním čištění některých průmyslových odpadních vod.

Protože biologická rozložitelnost závisí na celé řadě podmínek, jako je počáteční koncentrace zkoušené látky, koncentrace, druh a adaptace mikrobiálního inokula, toxicita a fyzikálně-chemické vlastnosti (rozpuštěnost, adsorbovatelnost, těkavost), ukázalo se, že biodegradabilitu nelze posuzovat podle jediné zkoušky, která by poskytovala jednoznačné výsledky. Bylo proto vypracováno několik typů testů, které mají simulovat chování dané látky v povrchových vodách nebo na čistírnách odpadních vod, a to jednak při nárazovém zatížení, nebo po delší době kontaktu simulující adaptaci přítomné mikrobiální kultury.



2.1 Aerobní rozložitelnost

Při zkouškách biologické rozložitelnosti je nutno odlišovat tzv. **primární rozklad**, kdy vybranými strukturně-analytickými metodami je indikována taková změna ve struktuře molekuly, která eliminuje škodlivé vlivy zkoušené látky na prostředí, např. pěnivost, toxicitu aj. Avšak od požadavků jen na primární rozklad se postupně upouští, protože z ekologického hlediska by všechny organické látky měly podléhat **úplnému rozkladu** až na oxid uhličitý a vodu. Proto většina zkoušek na biologickou rozložitelnost je založena na stanovení tzv. úplného biologického rozkladu.

2.1.1 Testy snadné rozložitelnosti

Nejméně závadné jsou látky, které se okamžitě rozkládají mikrobiální činností organismů, které jsou běžně přítomné v prostředí (vodě, půdě), aniž by bylo nutné tyto organismy předem adaptovat. V takovém případě se jedná o **látky biologicky snadno rozložitelné**. Pro tento účel byly vypracovány zkoušky na tzv. snadnou biologickou rozložitelnost, které pracují s předem neadaptovaným mikrobiálním inokulem, aby byl ověřen snadný biologický rozklad i při náhlé kontaminaci prostředí zkoušenou látkou.

Je-li látka biologicky snadno rozložitelná, nemůže v podstatě způsobit ekologické problémy, protože mikrobiální činností je rychle a beze zbytku z vodního prostředí eliminována. Avšak i látky, které nejsou snadno biologicky rozložitelné, nemusí být ještě závadné, protože jak v povrchových vodách, tak i na čistírnách odpadních vod probíhá adaptace původně přítomných mikroorganismů, která může být příčinou, že zkoušené látky podléhají po určité době biodegradaci.

2.1.2 Testy potenciální rozložitelnosti

Existuje řada látek, které vyžadují určitou adaptaci mikrobiálního inokula a teprve po dostatečné adaptaci mikrobiální kultury se chovají jako látky v podstatě snadno biologicky rozložitelné, pokud je dodržena dostatečná doba zdržení vody a dostatečné stáří i koncentrace mikrobiálního inokula v systému. Hovoří se o látkách, které jsou **biologicky potenciálně (inherentně) rozložitelné**. Pro tento účel byly vypracovány zkoušky na tzv. potenciální (inherentní) biologickou rozložitelnost. Přistupuje se k nim tehdy, nesplní-li testovaná látka kritéria snadné rozložitelnosti.

2.1.3 Principy metod

Zkoušky na biologickou rozložitelnost byly původně vypracovány v rámci OECD a později unifikovány v rámci norem ISO a EN, které byly převzaty i do naší legislativy jako normy ČSN EN ISO nebo ČSN ISO. Hodnocení biodegradability látek je založeno na následujících principech.

Především jde o **stanovení úbytku rozpuštěného organického uhlíku (DOC)**. Při tomto postupu se stanovuje počáteční a konečná koncentrace organického uhlíku za daných podmínek. Stupeň rozkladu testované látky se vyjadřuje v procentech odstraněného DOC. Za biologicky snadno rozložitelnou látku se považuje látka, která vykazuje úbytek DOC nejméně 70 %. Tento postup má však tu nevýhodu, že jej nelze aplikovat na látky těžké a na látky, které se sorbují na mikrobiálním inokulu. V těchto případech neodpovídá úbytek DOC skutečnému biologickému rozkladu. Nutno dodat, že ani v případě velmi snadno rozložitelných látek, jako jsou např. sacharidy, nelze dosáhnout úbytku DOC 100 %, protože se vždy tvoří malé množství tzv. zbytkových látek již dále biologicky nerozložitelných.

Dále existují tzv. respirometrické metody, které stanovují úplnou biologickou rozložitelnost nepřímo tak, že se sleduje

buď **biochemická spotřeba kyslíku (BSK)**, nebo **produkce oxidu uhličitého**, které doprovázejí biologický rozklad zkoušené látky. Princip obou stanovení vyplývá z tohoto schématu:

zkoušená látka + mikrobiální inokulum + kyslík \rightarrow biomasa + oxid uhličitý

Zkoušená látka při biologickém rozkladu jednak spotřebuje určité množství kyslíku, jednak se uvolní oxid uhličitý. Podle metody se buď měří BSK, nebo se měří produkce oxidu uhličitého. Za biologicky snadno rozložitelnou látku se považuje látka, která vykazuje BSK nebo produkci CO_2 nejméně 60 % teoretického maxima. Teoretická hodnota spotřeby kyslíku nebo teoretická produkce CO_2 na úplný rozklad dané látky se vypočte ze stechiometrického složení zkoušené látky. Poměrně nízká hodnota uvedeného limitu je způsobena tím, že při biologickém rozkladu látky se vždy její část přemění na novou biomasu, takže je skutečná BSK, resp. produkce oxidu uhličitého úměrně nižší oproti teoretické. Vzhledem k tomu, že zkoušky těmito metodami probíhají v uzavřeném systému, nejsou výsledky ovlivněny adsorpcí a do určité míry ani těkavostí zkoušené látky. V posledních letech se dává přednost stanovení snadné biologické rozložitelnosti podle produkce oxidu uhličitého v uzavřeném systému.

2.1.4 Testy používané v praxi

Pro hodnocení snadné rozložitelnosti látek se používá např. *test BSK v uzavřených lahvičkách* (případně v respirometru) nebo *test produkce CO_2* . Tyto metody simulují procesy samočištění probíhající v povrchových vodách.

Jako zkoušky simulující biologické čištění odpadních vod v neprůtočném modelu aktivace (v tzv. SBR reaktoru) slouží např. tzv. *Zahnův-Wellensův test* nebo *SCAS test*. Dále se používá také *simulační zkouška s aktivovaným kalem v průtočném laboratorním modelu aktivace*. Ve jmenovaných případech se většinou zjišťuje průběh úbytku DOC. Protože se pracuje s vysokou koncentrací inokula a za kontinuálního provzdušňování směsi s aktivovaným kalem, nelze tímto způsobem hodnotit biodegradaci látek těkavých nebo silně se sorbujících na aktivovaný kal.

2.2 Anaerobní rozložitelnost

V posledních letech se počíná stále více prosazovat hodnocení biologické rozložitelnosti i za anaerobních podmínek, protože některé aromatické sloučeniny sice podléhají rozkladu za podmínek aerobních, ale za podmínek anaerobních jsou značně stabilní, takže se dlouhodobě hromadí v kalech a sedimentech. Například v sedimentech některých švýcarských jezer se dosud nacházejí zbytkové koncentrace neiontových tenzidů na bázi alkylfenolů, ačkoliv jejich aplikace tam byla již v roce 1986 zakázána.

Pro tyto účely byla vypracována zkouška pro hodnocení úplné anaerobní biologické rozložitelnosti organických látek, tzv. *Metoda stanovení produkce bioplynu*. Při této zkoušce se kal pocházející z anaerobní stabilizace inkubuje v uzavřených lahvích se zkoušenou látkou při teplotě 35 °C po dobu 60 dní. Měří se jednak přírůstek plynu v plynné fázi zkušební lahve vznikající tvorbou CO_2 a CH_4 a jednak obsah anorganického uhlíku v kapalně fázi, který vznikl po absorpci CO_2 z plynné fáze. Výsledky se vyjadřují v procentech odstraněného organického uhlíku.



Vladimír Kočí

Ústav chemie ochrany prostředí, VŠCHT Praha

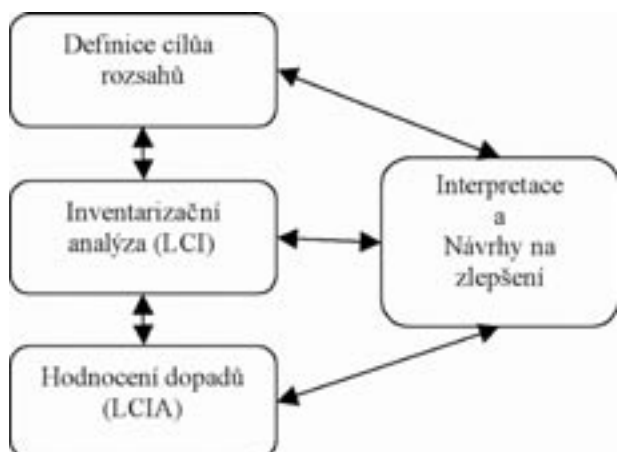
Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: Vladimir.Koci@vscht.cz

1. Úvod do LCA

Posuzování životního cyklu (*Life Cycle Assessment* – dále jen *LCA*) je metoda porovnávání environmentálních dopadů produktů, hmatatelných výrobků či služeb, s ohledem na celý jejich životní cyklus, tak zvaně od kolíčky do hrobu. Uvažovány jsou emise do všech složek životního prostředí během výroby, užívání i likvidace produktu. Zahrnovány jsou rovněž přídatky procesů získávání surovin, výroby materiálů a energie, pomocných procesů, či subprocessů. Metodika LCA se skládá ze 4 hlavních částí: definice cílů a rozsahu, inventarizační analýzy, hodnocení dopadů a interpretace životního cyklu. Přístup LCA je iterativní. Informace zjištěné během rozpracovávání studie mohou ovlivnit vstupní předpoklady a ty následně opět další průběh analýzy. Vzájemné vztahy jednotlivých částí jsou znázorněny na následujícím schématu.

Schéma hodnocení životního cyklu (dle SETAC 1993).



Definice cílů a rozsahu slouží k definování jak velká část životního cyklu produktu bude zahrnuta do hodnocení a k čemu bude hodnocení sloužit. Jsou zde popsána kritéria sloužící k porovnávání systémů a zvolený časový horizont.

Součástí *inventarizace* je popis materiálových a energetických toků v rámci produktového systému a především jeho interakce s okolím, spotřebované suroviny a emise do prostředí. Jsou zde popsány všechny významné procesy a vedlejší toky energie a materiálů.

Podklady zjištěné z inventarizace slouží k *hodnocení dopadů*. Jsou zde vypočítávány *výsledky indikátorů* všech

dopadových kategorií, je vzájemně zhodnocena významnost každé dopadové kategorie *normalizací* a případně i *vážením*. Výsledkem hodnocení dopadů bývá tabelární souhrn všech dopadů.

Interpretace životního cyklu zahrnuje kritické přezkoumání, zjištění citlivosti dat a prezentaci výsledků.

2. Definice cílů a rozsahu

LCA je víceúčelový nástroj kvantifikace environmentálních dopadů produktů, procesů či služeb beroucí v úvahu celý jejich životní cyklus. Primárním úkolem LCA je poskytnout nástroj rozhodování, který ze srovnatelných produktů, procesů či služeb má menší dopady na životní prostředí včetně zdraví člověka.

Na začátku hodnocení LCA je třeba jasně definovat *cíl studie*. Zadání musí obsahovat jasné a jednoznačné stanovění důvodu proč je studie LCA zpracovávána, a dále zamýšlené využití závěrů. V cílech musí být specifikováno, jaké a jak detailní informace se budou vyžadovat, jakému účelu bude studie sloužit a jaká rozhodnutí budou založena na zjištěných výsledcích.

Klíčovou úvahou je, zda výsledky LCA budou využity interně, pro aplikaci uvnitř určité firmy ke zlepšení ekologického chování systému, nebo externě, např. pro ovlivnění strategie státní správy.

Definováním rozsahu se míní především určení *funkce, funkční jednotky a referenčního toku*, dále určení *hranic systému*, postupů *alokace* a z určení postupů pro zajištění kvality vstupních dat. Mělo by zde být určeno, která data a informace budou potřebná pro provedení studie. Pro *hodnocení dopadů* (LCIA), je již na tomto stupni třeba označit použité *kategorie dopadu (klasifikace)* a zajistit, aby data byla kompatibilní s rozsahem fáze *hodnocení dopadů*. Dále je třeba transparentně uvést přijaté předpoklady a omezení, popsat metody kritického zhodnocení a typ a formát výstupu studie.

Rozsah studie je třeba definovat dostatečně podrobně, aby šířka i hloubka analýzy byly v souladu se zaměřením na stanovené cíle studie. Všechny hranice, metodologie, kategorie dat a přijaté předpoklady je třeba stanovit jasně, srozumitelně a viditelně. Tím se rozumí *geografický rozsah studie* (místní, regionální, státní, kontinentální či světový) i doba platnosti studie (životnost výrobku, časový horizont procesů a trvání environmentálních dopadů).

3. Inventarizační analýza

Úkolem inventarizace je shromáždit environmentálně významné informace o procesech identifikovaných během definice cílů a rozsahu a zařazených do produktového systému. Inventarizace nejprve sbírá data o jednotkových procesech, následně provádí inventarizaci vstupů a výstupů celého systému a jeho okolí. Výsledky inventarizace by měly být prezentovány přehlednou formou, kolik a jakých látek z okolního prostředí do systému vstupuje a kolik vystupuje. Tyto podklady slouží následnému hodnocení dopadů. Všechny kroky a operace podílející se na celém životním cyklu výrobku, jež jsou zahrnuty do studie LCA, tvoří jeden celek nazývaný *produktový systém*.

3.1. Produktový systém

I ten nejjednodušší produktový systém vstupuje do většího počtu procesů. Opravdový „život“ produktu začíná při získávání surovin nutných pro jeho výrobu, pokračuje při výrobě materiálů, dále se odvíjí při výrobě vlastního produktu, při jeho užívání spotřebitelem a končí při likvidaci produktu.

Soubor procesů, do kterých produkt vstupuje během celého svého životního cyklu, souborně nazýváme *produktový systém*.

Podobně jako život organismu se skládá ze zrození, vývoje, aktivního života a končí smrtí, zahrnuje životní cyklus produktů tato 4 hlavní stádia:

3.2. Získávání surovin

Úplný životní cyklus produktu začíná získáváním obnovitelných i neobnovitelných surovin a energetických zdrojů z prostředí. Jedná se například o těžbu dřeva nebo ropy či o dolování rud. Do tohoto stádia je zahrnována i doprava surovin z místa jejich získávání do místa dalšího zpracování.

3.3. Výroba

Ve stádiu výroby jsou suroviny přeměňovány na produkt a dopravovány ke spotřebiteli. Samotné stádium výroby se skládá z přeměny surovin na materiály potřebné pro výrobu produktu, z výroby a kompletace vlastního produktu a z jeho balení, které je nutné pro distribuci ke spotřebiteli.

3.4. Užívání produktu

Vyrobený produkt je v tomto stádiu spotřebováván a využíván. Jsou sem zahrnuty energetické a surovinové požadavky na provoz, využití opravy či uskladnění.

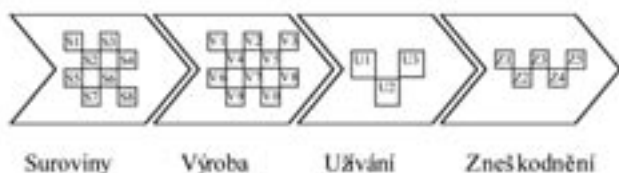
3.5. Odstranění

Když už spotřebitel produkt nepoužívá nastává stádium odstranění. Kromě samotného produktu bývají likvidovány i obaly. Součástí tohoto stádia jsou energetické a materiálové nároky na odstranění, znovuvyužití, případně recyklaci.

3.6. Materiálové a energetické toky

Každý proces musí být popsán jednak vstupy a výstupy, ale také pozicí vzhledem k ostatním procesům. Propojení jednotlivých procesů je realizováno *materiálovými a energetickými toky*, kdy jeden tok je zároveň výstupem z předchozího a vstupem do následného procesu. Je důležité dodržovat návaznost procesů. Jestliže z jednoho procesu vystupuje materiálový výstup, musí ten samý tok na vstupu do dalšího procesu být vyjádřen ve stejných jednotkách.

Stádia životního cyklu produktů skládající se z procesů.



Každý z procesů znázorněných na obrázku malým čtverečkem symbolizuje v hlavním produktovém systému tok materiálů či energie vstupujících do systému. Většina těchto dílčích procesů obsahuje další *vedlejší toky materiálů či energie*, mají své vlastní vstupy a výstupy.

Vedlejší toky energie či materiálů nevstupují přímo do hlavního procesu a nejsou obsaženy ve finálním produktu, ale jsou nezbytné k realizaci dílčího procesu.

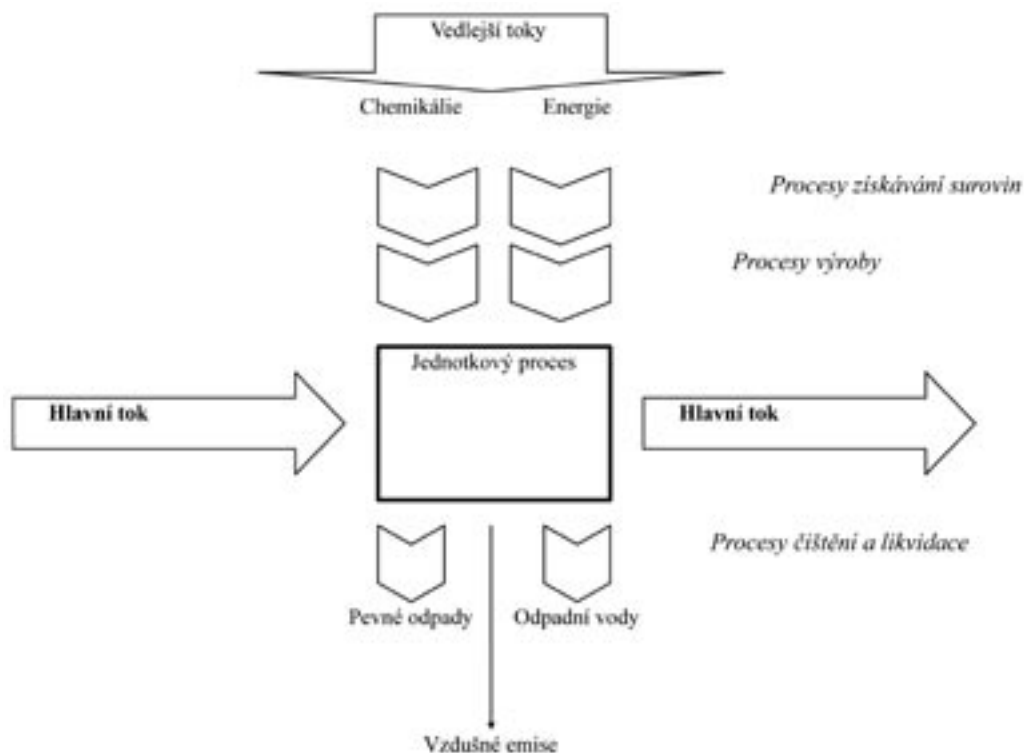
Vedlejšími toky bývají energie a materiály jako je například voda, detergenty, maziva, rozpouštědla atd., vedlejší toky jsou znázorněny na následujícím obrázku.

Příklady vedlejších toků jednotkového procesu (schéma na protější straně)

Energie i vedlejší materiálové toky musí být vyrobeny a pomocné materiály musí být po jejich použití zlikvidovány. Odstraňování je často samostatným procesem. Hlavní i vedlejší materiálové a energetické toky mohou být z environmentálního hlediska stejně významné, proto musí být začleněny do produktového systému.

Elementární toky překračují hranice systému a vyměňují energii nebo materiály s okolním prostředím produktového systému, s životním prostředím. Elementární toky bývají označeny písmenem „T“ (terminal).

Výstupem inventarizace je souhrn všech elementárních toků, které vstupují a vystupují do okolí systému, do okolního životního prostředí, do ovzduší, vody, organismů, čerpání surovin atd. Elementární toky se vyjadřují ve svých množstvích vzhledem k funkční jednotce. Výstupní data je třeba uvádět jak v souhrnné podobě, tak v logických celcích, které jsou schopné odpovídat na otázky typu: Jaké množství skleníkových plynů se uvolňuje z procesu jako celku? Která část životního cyklu produktu přispívá nejvyšší měrou k produkci skleníkových plynů?



4. Hodnocení dopadů

Výstupem z inventarizace je soubor dat shrnující materiálové toky vstupující a vystupující z hranic produktového systému. Zjednodušeně řečeno se jedná o informace, jaká množství jakých látek se dostávají během celého životního cyklu produktu do prostředí a jaká množství přírodních surovin byla spotřebována. Tento soubor dat nazýváme *environmentálním profilem* produktu. Aby mohlo hodnocení životního cyklu napomáhat rozhodování, je třeba výsledky inventarizace vhodně interpretovat. Je třeba určit, který z emisních toků je z hlediska dopadů na životní prostředí významnější. Náplní hodnocení dopadů je přiřazení výsledků z inventarizace jednotlivým kategoriím dopadů. Fáze se označuje jako LCIA – *Life Cycle Impact Assessment*.

4.1. Volba kategorií dopadu

Kategorie dopadu je třída představující problém v životním prostředí, jenž je způsobován lidskou činností a ke kterému lze přiřadit výsledky inventarizace.

Z poměrně široké škály kategorií environmentálních dopadů lze vybrat tři hlavní skupiny: (tabulka na následující straně)

Posuzování životního cyklu – LCA

Skupiny kategorií dopadu

Skupina A: Základní kategorie dopadu.	Úbytek neobnovitelných (abiotických) zdrojů	Jedná se o kategorie, které jsou hodnoceny vesměs ve všech studiích LCA.
	Využívání krajiny (pokles množství využitelné krajiny)	
	Změny klimatu	
	Úbytek stratosférického ozónu	
	Toxicita na člověka	
	Ekotoxicita (sladkovodní, mořská, terestrická)	
	Tvorba foto-oxidačních látek	
	Acidifikace	
Skupina B: Specifické kategorie dopadu	Eutrofizace	Tyto kategorie jsou používány u určitých studií LCA, kde si to vyžádá <i>definice cílů a rozsahu</i> .
	Využívání krajiny (úbytek funkcí krajiny potřebných pro život; úbytek biodiversity)	
	Ekotoxicita (sladkovodní a mořské sedimenty)	
	Ionizační záření	
	Zápach (zapáchající plyny)	
	Hluk	
Skupina C: Další kategorie dopadu.	Odpadní teplo	Tyto kategorie byly použity v některých studiích, dosud však nebyly všeobecně začleněny do studií LCA. V budoucnu lze očekávat jejich další vývoj.
	Ztráty na životech	
	Úbytek obnovitelných (biotických) zdrojů	
	Vysušování (vznik pouští)	
	Zápach (zapáchající kapaliny)	

Zkratky používané pro označení charakterizačních faktorů hlavních kategorií dopadů.

Kategorie dopadu (Č)	Kategorie dopadu (A)	Zkratka charakterizačního faktoru (potenciálu dopadu)	Zkratka výsledku indikátoru kategorie dopadu
Úbytek neobnovitelných a obnovitelných surovin	Abiotic depletion	<i>ADP</i>	<i>AD</i>
	Biotic depletion	<i>BDF (BDP)</i>	<i>BD</i>
Klimatické změny, globální oteplování	Global warming	<i>GWP</i>	<i>GW</i>
Úbytek stratosférického ozónu	Ozone depletion	<i>ODP</i>	<i>OD</i>
Toxicita na člověka	Human toxicity	<i>HTP</i>	<i>HT</i>
Ekotoxicita sladkovodní	Freshwater aquatic ecotoxicity	<i>FAETP</i>	<i>FAET</i>
Ekotoxicita mořská	Marine aquatic ecotoxicity	<i>MAETP</i>	<i>MAET</i>
Ekotoxicita terestrická	Terrestrial ecotoxicity	<i>TETP</i>	<i>TET</i>
Ekotoxicita sladkovodních sedimentů	Freshwater sediment ecotoxicity	<i>FSETP</i>	<i>FSET</i>
Ekotoxicita mořských sedimentů	Marine sediment ecotoxicity	<i>MSETP</i>	<i>MSET</i>
Tvorba foto-oxidačních látek	Photochemical ozone cretion	<i>POCP</i>	<i>POC</i>
Acidifikace, okyselování	Acidification	<i>AP</i>	<i>A</i>
Eutrofizace	Eutrophication	<i>EP</i>	<i>E</i>

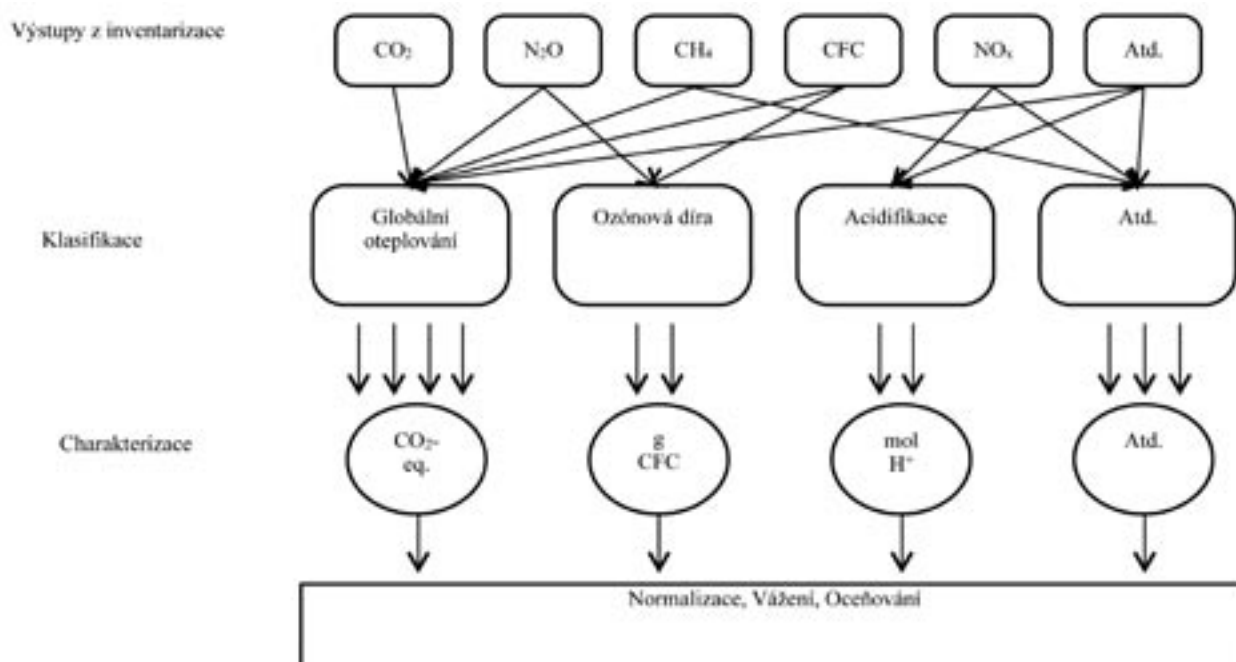
Některé emise mají vliv na více potenciálních dopadů, je třeba je zahrnout v rámci klasifikace k více kategoriím dopadu.

Přirazování emisí v klasifikaci.

5. Interpretace životního cyklu

Interpretace je čtvrtá a závěrečná fáze LCA. Ač je to fáze závěrečná, podílí se iterativním způsobem i na fázích předchozích. Výstupy z interpretace si často vyžádají doplnění nebo změny v předchozích fázích.

Během inventarizační fáze a fáze hodnocení dopadů byly zákonitě provedeny nějaké odhady, předpoklady a rozhodnutí, jak v studii pokračovat. Byla přijata určitá zjednodušení či aproximace. Všechny tyto předpoklady musí být zahrnuty do fáze interpretace a vždy musí být stavěny vedle prezentace výsledků.



Interpretace životního cyklu se skládá z následujících kroků:

- Identifikace významných zjištění.
- Hodnocení.
- Formulace závěrů a doporučení.

6. Závěr

Použití výstupů z LCA studií může být používáno pro různé účely. Je proto nutné ve zprávách informujících o výsledcích studií dodržovat jistá pravidla. S ohledem na příjemce zprávy by měl být typ a formát zprávy definován již ve fázi *definice cílů a rozsahu*. Je třeba v každé zprávě průhledně a dostatečně podrobně s ohledem na čtenáře popsat zjištěné výsledky, použité údaje, metody, předpoklady a omezení. Je nutné, aby čtenář výstupy studie vždy chápal v kontextu *definice cílů a rozsahu* studie. Jestliže mají být výstupy studie předloženy jiným subjektům než je zadavatel a zpracovatel studie, je nutné vytvořit publikovatelnou závěrečnou zprávu. Publikovatelná závěrečná zpráva se pak stává tzv. referenčním dokumentem dostupným jakémukoli zájemci o studii.



Doc. Ing. František Skácel, CSc.

Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha

Technická 5,166 28 Praha 6

e-mail: skacelf@vscht.cz, www.vscht.cz

Kvalita ovzduší je soubor proměnných veličin, které přímo ovlivňují kvalitu našeho života. Průměrný obyvatel „spotřebuje“ denně 20 m³ vzduchu, který je tvořen venkovním, vnitřním a často i pracovním ovzduším. Kritéria kvality venkovního a pracovního ovzduší jsou určeny řadou právních předpisů. Kvalita vnitřního ovzduší je řízena prostřednictvím doporučení například výrobcům konstrukčních materiálů.

Ve všech případech však platí, že kvalita ovzduší není zaručena a ve velké míře ji ovlivňují lidé žijící a působící v bezprostředním okolí v poměrně malém okruhu okolo nás.

Tvar a velikost tohoto území záleží na mnoha faktorech:

- a) meteorologických:
 - směr a rychlost větru;
 - směr a rychlost větru;
 - teplota a vlhkost;
 - intenzita slunečního záření;

- b) charakter zdroje:
 - liniový zdroj - silniční doprava
 - plošný zdroj – např. polnosti a nezpevněné plochy při větrné erozi;
 - stacionární zdroj – např. lokální topeniště, průmyslový podnik, zemědělský chov aj.;
 - proměnný zdroj – např. osoba spalující tabák nebo odpad;

- c) umístění zdroje:
 - výškový zdroj (komín);
 - přízemní zdroj (výfuk motorového vozidla) a celá řada dalších.

Ze všech faktorů ovlivňujících kvalitu života (voda, potrava, ovzduší, záření, hluk) má kromě hlukové zátěže nejvíce lokální charakter právě kvalita ovzduší, jímž se navíc transportuje více jak 80 % všech znečišťujících látek v globální biosféře. Jedná se o složku životního prostředí, která nejdynamičtěji reaguje na probíhající změny funkce, rozsahu a intenzity působících zdrojů znečišťování prostředí a dalších proměnlivých podmínek určujících kvalitu prostředí.

Zdravotní rizika plynoucí ze zhoršené kvality ovzduší tvoří samostatnou kapitolu daleko přesahující rámec tohoto příspěvku. Projevují se nejen akutně (např. při vdechování toxických složek ovzduší jako jsou amoniak, formaldehyd nebo benzen), ale v daleko větší míře chronicky či opožděně (persistentní organické polutanty jako jsou polycyklické aromatické uhlovodíky, polychlorované dibenzodioxiny a dibenzofurany apod.).

Právo na čisté ovzduší je jedním z nezadatelných práv člověka a jeho uplatňování je věcí každého z nás. Ochrana ovzduší je širokým komplexem činností a zásad, které mají obecný i zcela konkrétní charakter. Nezbytným předpokladem účinné ochrany ovzduší jsou znalosti jeho kvality a vůle ke změnám.

Monitoring kvality ovzduší

Cílem monitoringu kvality ovzduší je získání informací o stavu zátěže sledovaného území a trvalý přehled o jeho vývoji pro potřeby plánování a řízení činnosti společnosti. Z hlediska ochrany ovzduší se jedná o pasivní postup – vychází se z výsledků monitorovacích programů bez možnosti ovlivnění jejich cílů.

Kvalita a monitoring ovzduší

K měření kvality ovzduší lze použít celé řady metod:

- pozemní stanoviště s klasickým odběrem vzorku a následnou analýzou;
- pozemní stanoviště vybavená *on-line* analyzátory;
- pozemní stanoviště vybavená pasivními vzorkovacími systémy s následnou analýzou v laboratoři;
- pozemní stanoviště s dálkovým *on-line* měřením složení ovzduší;
- letecké dálkové *on-line* měření složení ovzduší;
- satelitní *on-line* měření složení ovzduší.

V České republice jsou veřejně přístupné výsledky zjišťování kvality ovzduší prováděná prvními dvěma metodami. Garantem tohoto monitoringu ovzduší je Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), který ovšem úzce spolupracuje s dalšími organizacemi – především Státním zdravotním ústavem v Praze a dalšími zdravotními ústavy (dříve orgány hygienické služby). ČEZ a dalšími organizacemi. Z hlediska definovaných cílů integrálního monitoringu mají největší význam výsledky získávané v síti automatizovaného imisního monitoringu (AIM) a ve staniční síti imisního monitoringu kvality ovzduší prováděného pro potřeby Informačního systému kvality ovzduší (ISKO).

Jako příklad takového monitoringu kvality ovzduší lze použít území severozápadních Čech, tedy celé území Ústeckého kraje a přilehlé části Libereckého kraje (okres Česká Lípa) a Středočeského kraje (okresy Mělník, Kladno, Rakovník).

Automatizovaný imisní monitoring (AIM)

V síti automatizovaného imisního monitoringu jsou sledovány oxid siřičitý (SO₂), oxidy dusíku (NO_x), pevné částice frakce aerodynamického průměru menšího než 10 μm (PM₁₀), oxid uhelnatý (CO), ozon (O₃), benzen, toluen a xyleny (BTX) a pevné částice frakce aerodynamického průměru menšího než 2,5 μm (PM_{2,5}). Soubor analytů sledovaných v jednotlivých stanicích AIM není konstantní a časem se mění. Přehled těchto stanic ve sledovaném území je uveden v tabulce I.

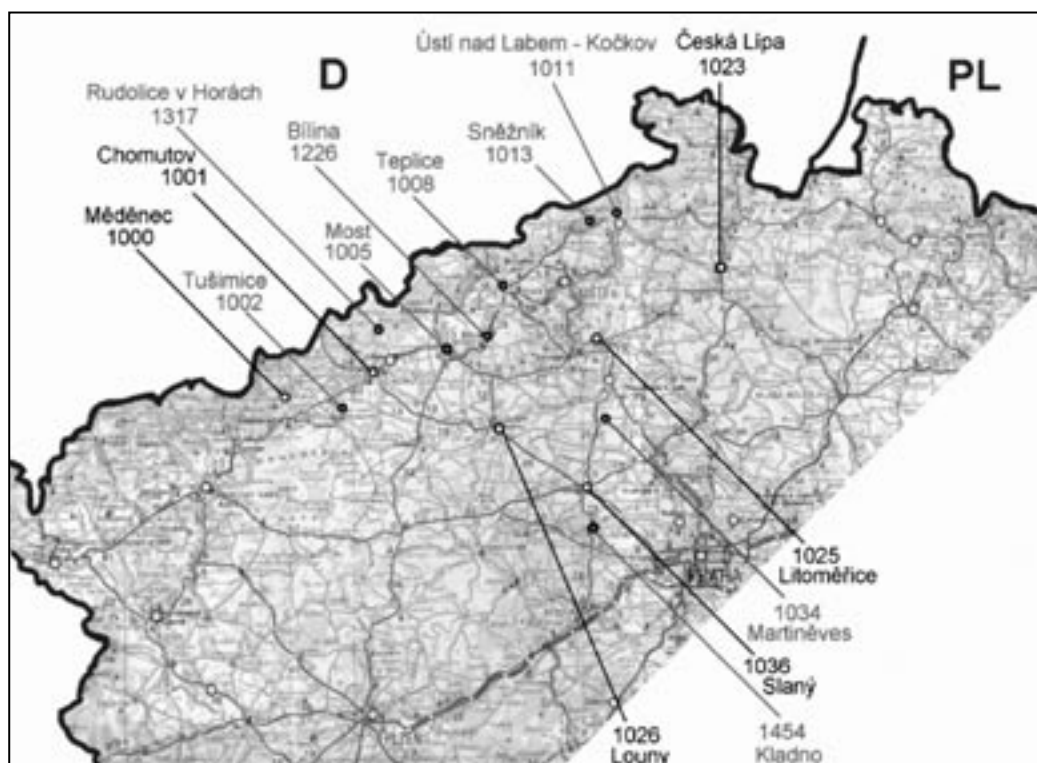
Tabulka I Přehled stanic AIM ve sledované oblasti

Ústecký kraj									
okres	stanice		sledované analyty						
	kód	název	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	CO	O ₃	BTX	PM _{2,5}
Děčín	1013	Sněžník	x	x	x		x		
	1014	Děčín	x	x	x	x			
Ústí nad Labem	1015	Valdek	x	x	x				
	1010	Chabařovice	x	x	x				
	1011	Ústí nad Labem - Kočkov	x	x	x	x	x		x
Teplice	1012	Ústí nad Labem - město	x	x	x	x	x	x	
	1007	Krupka	x	x	x	x			
	1008	Teplice	x	x	x	x	x		x
	1009	Všechlapy	x	x	x	x			
	1226	Bílina	x	x	x	x	x		
	1328	Komáří Vížka	x						
Most	1329	Kostomlaty p. Milešovkou	x						
	1004	Fláje	x	x	x				
	1005	Most	x	x	x	x	x	x	x
	1317	Rudolice v Horách	x	x	x		x	x	x
	1330	Milá	x						

Kvalita a monitoring ovzduší

Chomutov	1351	Blažim	x	x				
	1000	Méděvec	x	x	x	x		
	1001	Chomutov	x	x	x	x		
	1002	Tušimice	x	x	x		x	
	1331	Droužkovice	x					
	1332	Nová Víska u Domašína	x	x				
Litoměřice	1333	Horní Halže	x	x				
	1025	Litoměřice	x	x	x	x		
Louny	1034	Martiněves	x	x	x		x	
	1026	Louny	x	x	x	x		
	1027	Čeradice	x	x	x			
	1028	Nepomyšl	x	x	x			
Liberecký kraj								
Česká Lípa	1023	Česká Lípa	x	x	x	x		
	1024	Blíževedly	x	x	x			
	1036	Břevniště	x	x	x			
Středočeský kraj								
Kladno	1106	Slaný	x	x	x	x		
	1454	Kladno II	x	x	x		x	
	1455	Kladno I	x	x	x			
Mělník	764	Mělník - Pšovka	x	x				
	787	Tišice	x	x				
	788	Libiš	x	x				
	789	Horní Počaply	x	x				
	790	Kralupy nad Vltavou	x	x				
	791	Úžice	x	x				
	792	Veltrusy	x	x				

Pro integrální sledování trendů znečištění SZ Čech bylo vybráno celkem 15 stanic AIM, které jsou v tabulce I označeny. Výběr těchto stanic byl proveden na základě jejich geografické polohy znázorněné na obrázku 1.



Obrázek 1
Umístění souboru stanic AIM pro integrální monitoring trendů znečištění SZ Čech

Kvalita a monitoring ovzduší

Limitní hodnoty sledovaných analytů jsou stanoveny nařízením vlády č. 350/2002 Sb. Poprvé se v této právní normě objevuje kromě antropocentrického hodnocení kvality ovzduší rovněž hodnocení z hlediska vlivu na ekosystémy a vegetaci. (oxid siřičitý, oxidy dusíku, ozon). Toto nařízení bylo nevýznamně novelizováno nařízením vlády č. 60/2004 Sb. Limitní hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka II Limitní hodnoty pro ochranu zdraví, ekosystémů a vegetace (Nařízení vlády 350/2002 Sb.)

Analyt	Doba průměrování	Limitní hodnota [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mez tolerance pro rok 2004	Mez pro posuzování		Termín dosažení limitní hodnoty
				horní	dolní	
SO ₂	1 hod. A)	350, max. 24x za rok	30	-	-	1.1.2005
	24 hod. A)	125, max. 3x za rok	-	75, max. 3x za rok	50, max. 3x za rok	1.9.2002
	rok A)	50	-	-	-	
	zimní období B)	20	-	12	8	
NO ₂	1 hod. A)	200, max. 18 za rok	60	140, max. 18x za rok	100, max. 18x za rok	1.1.2010
	rok A)	40	12	32	26	
	rok B)	30	-	24	19,5	1.9.2002
PM ₁₀	24 hodin A,C)	50, max. 35x za rok	15	30, max 7x za rok	20, max. 7x za rok	1.1.2005
	24 hodin A,D)	50, max. 7 za rok	?	14	10	1.1.2010
	rok A,C)	40	4,8			1.1.2005
	rok A,D)	20	10		1.1.2010	
CO	8 hodin A,E)	10	6	7	5	1.1.2005
ozon	8 hodin A,E)	120 F)	-	120 G)	-	1.1.2010
	AOT40 H)	18000	-	-	-	1.1.2010

Dlouhodobý imisní cíl pro ozon je taková úroveň znečištění ovzduší troposférickým ozonem, pod níž lze na základě současného stavu vědeckého poznání vyloučit přímý škodlivý vliv na zdraví lidí nebo zvířat nebo na životní prostředí

Horní mez pro posuzování úrovně znečištění ovzduší je hodnota koncentrace znečišťující látky, při jejímž dosažení či překročení na určitém území je nutno užívat k posuzování úrovně znečištění ovzduší pouze měření

Dolní mez pro posuzování úrovně znečištění ovzduší je hodnota koncentrace znečišťující látky, pod níž je na určitém území možné užívat k posuzování úrovně znečištění ovzduší pouze modelových výpočtů nebo odborných odhadů

Mez tolerance – její definice v nařízení č. 350/2002 Sb. není obsažena. Mez tolerance se bude od 1.1.2003 snižovat tak, aby dosáhla k termínu dosažení limitní hodnoty nulové hodnoty.

A) Ochrana zdraví lidí
 B) ochrana ekosystémů
 C) Ochrana zdraví lidí v I. etapě (tj. do 1.1.2005)
 D) Ochrana zdraví lidí v II. etapě (tj. do 1.1.2010)
 E) Maximální denní osmihodinový klouzavý průměr
 F) 25 x z průměru za 3 roky - tato úroveň se nazývá cílový imisní limit
 G) Expoziční index AOT40
 H) Tuto úroveň pro ozon nazývá nařízení dlouhodobý imisní cíl

Charakteristickým znakem tohoto právního předpisu jsou tzv. toleranční meze limitních hodnot (sic!). Jedná se o nástroje umožňující překlenout delší časový interval mezi zavedením této právní normy a úplnou implementací (přísnějších) evropských směrnic. Význam tohoto nástroje při celkové kvalitě této právní normy je ovšem více než pochybný.

Kvalita a monitoring ovzduší

Staniční síť imisního monitoringu kvality ovzduší

Ve staniční síti imisního monitoringu kvality ovzduší je sledován rozsáhlý soubor analytů uvedený v tabulce III. Ani v této síti však soubor analytů sledovaných v jednotlivých stanicích není konstantní.

Tabulka III Přehled stanic imisního monitoringu kvality ovzduší ve sledované oblasti

Okres	Stanice			Síť	As	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Sb	V	Zn	BTX	PAH	
	kód	název	typ, provozovatel																	
Ústecký kraj																				
Děčín	576	Děčín	dopravní, ZÚ	-	x		x	x			x	x	x							
Litoměřice	617	Litoměřice	požadové, ZÚ	-		x	x	x	x	x	x	x	x				x			
Most	637	Lovosice	dopravní, ZÚ	-		x	x	x	x	x	x	x	x				x			
	927	Meziboří	požadové, ZÚ	-	x	x	x	x	x		x	x	x					x		
	537	Most	průmyslová, ZÚ požadové, ČHMÚ	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x		
	1005	Most		černý Δ, EAN																x
		1317	Rudolice v H.	požadové, ČHMÚ	-															x
		1412	Rudolice v H.		černý Δ	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Teplice Ústí n.L.	1416	Všechlapy	požadové, ČHMÚ	-	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
	1413	Ústí n.L. - Kočkov		černý Δ	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	1012	Ústí n.L. - město		černý Δ, EAN		Hg														
		1457	Ústí n.L. -Pasteurova	průmyslová, ZÚ	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x
		545	Ústí n.L. - Krásné Březno	požadové, ZÚ	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	
Středočeský kraj																				
Kladno	471	Kladno-Rozdělov	požadové, ZÚ	-	x		x	x			x	x	x							
	472	Kladno-Dubí		-	x		x	x			x	x	x							
	473	Kladno- Kročehlavy		-	x		x	x			x	x	x							
Mělník	465	Mělník	dopravní, ZÚ	-	x		x	x			x	x	x							
BTX - benzen, toluen, o-, m-,p-xylen a ethylbenzen PAH – polycyklické aromatické uhlovodíky černý Δ – součást sítě „černý trojúhelník“ EAN – součást sítě EUROAIRNET																				

Výběr těchto stanic byl proveden na základě jejich geografické polohy znázorněné na obrázku 2.

Limitní hodnoty některých sledovaných analytů jsou stanoveny nařízením vlády č. 350/2002 Sb. – viz tabulka IV.

Tabulka IV Limitní hodnoty pro ochranu zdraví (Nařízení vlády 350/2002 Sb.)

Analyt	Doba průměrování	Limitní hodnota [ng/m ³]	Mez tolerance pro rok 2004	Mez pro posuzování		Termín dosažení limitní hodnoty
				horní	dolní	
As	rok ^{A)}	6	4,5	3,6	2,4	1.1.2010
Cd		5	1	3	2	1.1.2005

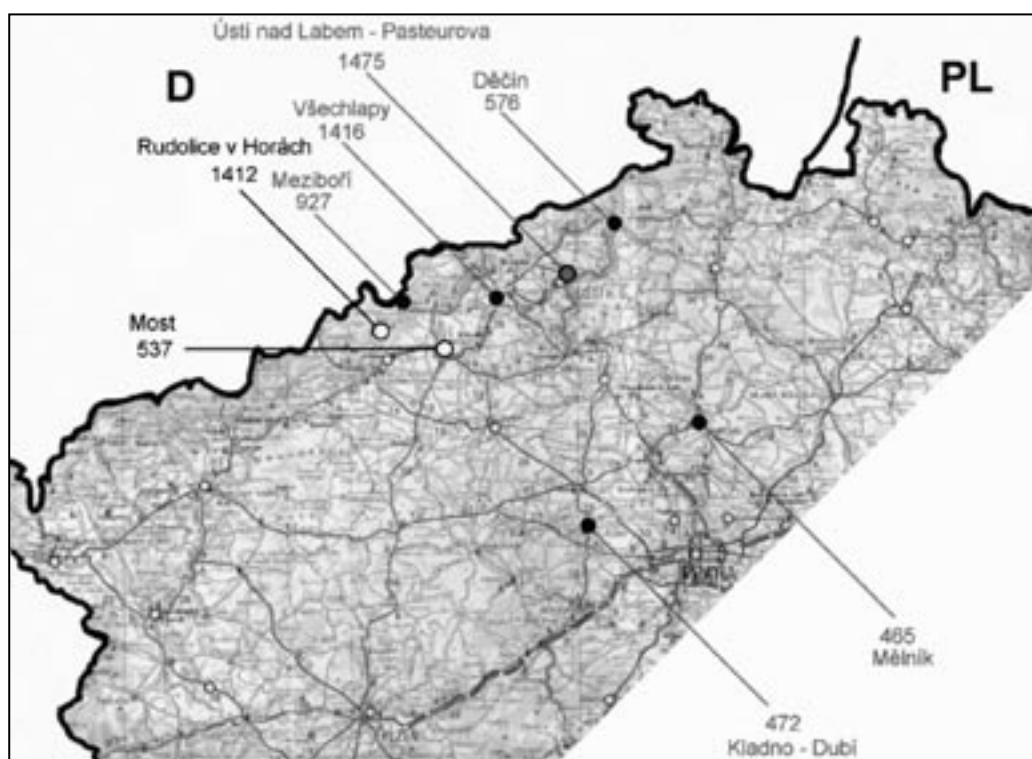
Kvalita a monitoring ovzduší

Ni		20	12	14	10	1.1.2010
Pb		500	100	350	250	1.1.2005
benzen		5 000	3 750	3 500	2 000	1.1.2010
BaP		1	6	0,5	0,25	1.1.2010

Horní mez pro posuzování úrovně znečištění ovzduší je hodnota koncentrace znečišťující látky, při jejímž dosažení či překročení na určitém území je nutno užívat k posuzování úrovně znečištění ovzduší pouze měření. Dolní mez pro posuzování úrovně znečištění ovzduší je hodnota koncentrace znečišťující látky, pod níž je na určitém území možné užívat k posuzování úrovně znečištění ovzduší pouze modelových výpočtů nebo odborných odhadů

Mez tolerance – její definice v nařízení č. 350/2002 Sb. není obsažena. Mez tolerance se bude od 1.1.2003 snižovat tak, aby dosáhla k termínu dosažení limitní hodnoty nulové hodnoty.

A) Ochrana zdraví lidí



Obrázek 2
Umístění souboru stanic staniční sítě imisního monitoringu kvality ovzduší pro integrální monitoring trendů znečištění SZ Čech



Viktor Tekáč

Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha 6

e-mail: tekacv@vscht.cz

1. Úvod

V České republice je v současné době obýváno (trvale i rekreačně) přibližně 3 872 000 bytů, přičemž zhruba 2 816 000 bytů má dodávku tepla zajištěnou z centrálních zdrojů. Zbývajících 1 056 000 bytů získává teplo především spalováním fosilních paliv v individuálních teplovodních kotlích a v lokálních spotřebičích (kamnech a krbech). Podle dostupných statistických údajů¹⁻³ je podíl primárních zdrojů energie spotřebovaných v uvedených 1 056 000 bytech na vytápění a na přípravu teplé užitkové vody relativně malý, tvoří méně než 5 % z celkového množství energie spotřebované v ČR. Detailním prozkoumáním údajů v tabulce 1 navíc zjistíme, že přibližně 60 % tepelné energie vyráběné v uvedených malých zdrojích znečištění ovzduší je získáváno spalováním ušlechtilého paliva – zemního plynu a pouze 35 % tepelné energie je vyráběno spalováním uhelných paliv a biomasy. Zdálo by se tudíž, že vliv posledně uvedených zdrojů na znečištění ovzduší je nevýznamný.

Tabulka 1 Struktura spotřeby vybraných primárních zdrojů energie v roce 2003

Zdroj	Celková spotřeba v ČR PJ/rok A)	Spotřeba domácností pro výrobu tepla PJ/rok A)	Podíl spotřeby domácností pro výrobu tepla na celkové spotřebě v ČR %	Podíl spotřeby zdroje pro výrobu tepla v domácnostech a celkové spotřeby v domácnostech %
Zemní plyn	328,8	73,35	22,3	57,3
Černé uhlí	213,9	4,65	2,2	3,6
Koks	99,0	2,46	2,5	1,9
Hnědé uhlí	968,3	19,13	2,0	14,9
Hnědouhelné brikety	2,9	2,51	86,9	2,0
Elektřina	-	4,79	-	3,7
Propan-butan	-	0,95	-	0,7
Topné oleje	-	0,40	-	0,3
Biomasa včetně dřeva	-	19,50	-	15,2
Ostatní obnovitelné zdroje	-	0,25	-	0,2
Celkem	-	128,0	cca 5	100,0

A) 1 PJ = 10^{15} J

Pokud budeme vliv těchto zdrojů posuzovat podle celkového množství znečišťujících látek emitovaných do ovzduší, pak ve srovnání např. s automobilovou dopravou se skutečně jedná o malé zdroje znečištění. Je však třeba vycházet ze skutečnosti, že více než 700 000 českých domácností používá přibližně 2 miliony kotlů a kamen na uhlí. Jedná se v drtivé většině o technicky zastaralé spotřebiče. K jejich nepříznivému vlivu na zdraví lidí přispívá skutečnost, že tyto spotřebiče bývají instalovány v husté zástavbě, často v oblastech individuální rekreace a výška jejich komínů nepostačuje pro účinný rozptyl znečišťujících látek. Problémem bývá špatný technický stav spotřebičů, způsob jejich provozování a často spalování nevhodných paliv a odpadů. Proto je těmto spotřebičům v poslední době věnována pozornost i ze strany státní správy.



2. Faktory ovlivňující emise znečišťujících látek ze spotřebičů malých výkonů

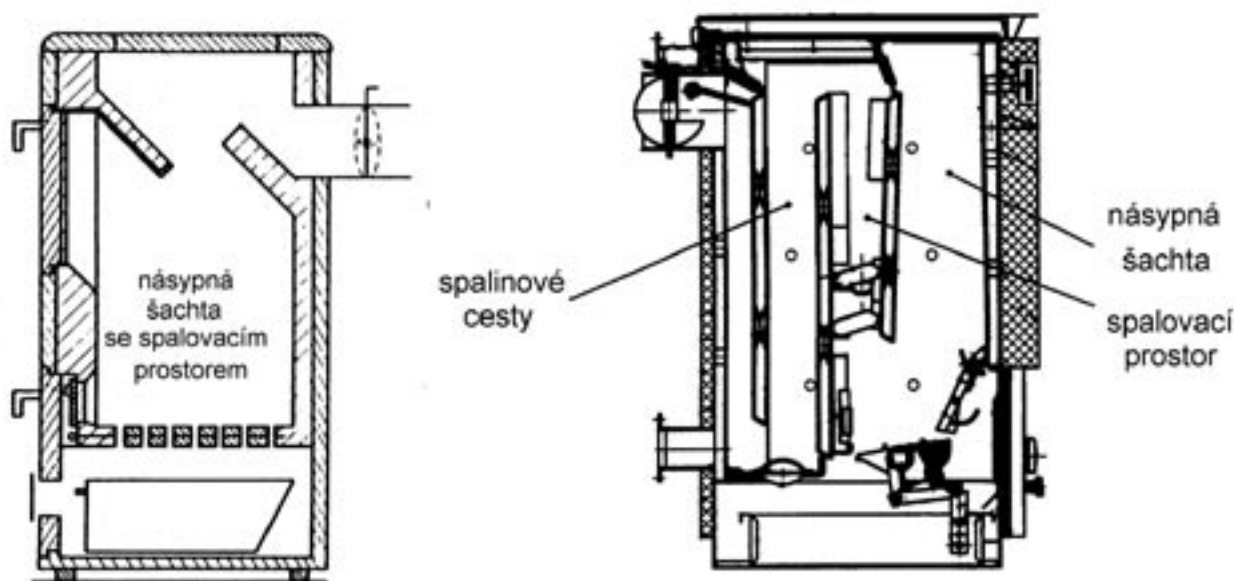
Emise znečišťujících látek vznikající při spalovacích procesech jsou obecně ovlivněny dvěma faktory: chemickým složením paliva a konstrukcí spalovacího zařízení.

Nejpříznivější situace nastává v případě spalování plyných paliv, především zemního plynu. Jeho složení je dlouhodobě stabilní, což umožňuje konstruovat spotřebiče zaručující jak dokonalé spalování (prakticky zanedbatelný obsah CO a nespálených organických látek ve spalínách), tak minimální emise oxidů dusíku. Zemní plyn obsahuje kromě uhlovodíků zanedbatelná množství ostatních sloučenin, takže emise např. oxidů síry, těžkých kovů nebo tuhých látek jsou prakticky neměřitelné. Komplikace zpravidla nastávají při energetickém využití bioplynu, jehož složení je dáno způsobem vzniku (čistírenský, skládkový, ze zpracování kejdy aj.). Podle původu obsahuje sloučeniny síry, dusíku, organokovové sloučeniny těžkých kovů, siloxany aj. Spalování těchto látek často způsobuje vznik nadlimitních množství znečišťujících látek.

Minimální ekologické dopady má i spalování kapalných paliv, které jsou tvořeny především uhlovodíky a dále malým množstvím sírných a dusíkatých látek. Dosažení nízké úrovně znečišťování ovzduší oxidem siřičitým při spalování topných olejů v malých zdrojích je zajištěno vyhláškou č. 357/2002 Sb.⁴, která povoluje maximální obsah síry v kapalném palivu dodávaném obyvatelstvu ve výši 0,1% (hmotnostní zlomek).

U tuhých paliv (uhlí, biomasa) je situace podstatně složitější. Existuje velký počet zdrojů tuhých paliv (domácí výroba nebo těžba, dovoz, individuální výroba paliva jednotlivými uživateli), a proto se jejich vlastnosti včetně elementárního složení mění prakticky s každou novou dodávkou paliva. U komerčně dodávaných paliv jsou základní kvalitativní parametry stanoveny výše uvedenou vyhláškou. Ta pro uhelná paliva určuje pouze tzv. limitní měrnou sírnatost (podíl hmotnosti všech sloučenin síry obsažených v palivu vyjádřených jako elementární síra a výhřevnosti paliva), jejíž hodnota např. pro hnědé uhlí tuzemského původu činí 1,07 g/MJ. Na komerčně dodávané dřevěné brikety a pelety vyhláška klade podstatně přísnější požadavky týkající se jak původu a základních fyzikálních vlastností, tak např. obsahu sloučenin chloru a těžkých kovů. Zvláštností tuhých paliv je skutečnost, že na průběh spalovacího procesu a tudíž i na vznik znečišťujících látek mají zásadní vliv vlhkost paliva a dále jeho granulometrie. Svým základním chemickým složením tuhé palivo determinuje emise oxidů síry, sloučenin chloru, fluoru a těžkých kovů a dále do značné míry perzistentních organických sloučenin a tuhých znečišťujících látek. Konstrukce spotřebiče a způsob jeho provozování jsou určující pro emise oxidu uhelnatého, organických sloučenin, oxidů dusíku a tuhých znečišťujících látek. V českých domácnostech jsou v drtivé většině používány spotřebiče na tuhá paliva, jejichž konstrukce a technické provedení vycházejí z poznatků na úrovni počátku 20. století. Jedná se o tzv. lokální spotřebiče (především kamna a dále krby a krbové vložky) určené přednostně k vytápění jediné místnosti a dále o teplovodní kotle určené k vytápění jednotlivých bytů nebo menších bytových domů. Schématický náčrt obou dominujících typů spotřebičů je uveden na obrázku 1 (na následující straně).

Oba typy uvedených spotřebičů pracují na principu spalování paliva na pevném roštu. Násypná kamna vyžadují manuální obsluhu po celou dobu provozu spotřebiče (periodické dávkování paliva, odstraňování škváry, regulace tepelného výkonu, udržování aerodynamických parametrů palivové vrstvy, ...). U zobrazeného teplovodního kotle jsou některé činnosti do jisté míry automatizovány – jedná se o gravitační doplňování paliva z násypné šachty na rošt a o poloautomatickou regulaci tepelného výkonu prostou regulací množství přisávaného spalovacího vzduchu. Současně vyráběné špičkové roštové kotle jsou vybaveny plynulou automatickou regulací dávkování paliva, pohybu roštu, průtoku nasávaného spalovacího vzduchu, stabilizace tlakového spádu spalínové trasy, stabilizace teplotního pole ve spalovacím prostoru apod. Vedle vysoké účinnosti spalování a přenosu tepla srovnatelnými s nejmodernějšími plynovými kotli se tyto kotle vyznačují maximálním uživatelským komfortem (provoz na 1 naplnění palivem až 1 týden, možnost dálkového zapálení nebo zhasnutí kotle mobilním telefonem a hlavně emisními parametry srovnatelnými s parametry velkých energetických kotlů). S technickými parametry uvedených typů spotřebičů korespondují i jejich prodejní ceny. Cena běžných násypných kamen o výkonu cca 5 kW činí přibližně 6.000,- Kč, cena zobrazené



Obrázek 1 Schéma násypných kamen a teplovodního kotle na tuhá paliva

ho teplovodního kotle o výkonu 24 kW činí průměrně 15.000,- Kč a cena plnoautomatického roštového kotle na tuhá paliva o výkonu 25 kW (české výroby) je přibližně 120.000,- Kč.

Kromě popsaných kotlů na tuhá paliva s roštovými topeništi jsou vyráběny také malé zplyňovací kotle na dřevo a uhlí. Jedná se o nízkoemisní kotle střední cenové kategorie, jejich nevýhodou je nižší uživatelský komfort ve srovnání s plnoautomatickými roštovými kotli (především diskontinuální průběh zplyňovacího procesu) a potřeba paliva určitých fyzikálních parametrů.

3. Emisní charakteristika hlavních druhů tuhých paliv spalovaných v teplovodních kotlích malých výkonů

Z úvodní části příspěvku vyplývá, že emise ze spalování tuhých paliv v domácích spotřebičích zásadním způsobem ovlivňují kvalitu venkovního ovzduší v bezprostředním okolí malého spalovacího zdroje. V současné době nejsou k dispozici žádné věrohodné experimentální emisní údaje umožňující provést kvantifikaci vlivu spalování tuhých paliv ve spotřebičích malých výkonů na životní prostředí. Vyplývá to ze značné experimentální a finanční náročnosti nezbytných měření. Měření emisí z malých zdrojů znečištění ovzduší je po všech stránkách náročnější než měření emisí z velkých energetických spalovacích zdrojů.

Finálním výsledkem jakéhokoliv měření emisí je hmotnostní tok a měrná emise sledované znečišťující látky. Tyto veličiny se stanovují na základě měření složení spalin a jejich průtoku. U středních a velkých spalovacích zdrojů (s jmenovitým tepleným výkonem nad 200 kW) vyznačujících se ustáleným provozním režimem (projevuje se relativně stabilním složením analytické matrice spalin a přijatelným kolísáním hodnot fyzikálních parametrů proudících spalin) lze použít mezinárodních technických norem a standardních emisních analyzátorů a přístrojů. U těchto zdrojů je i nenáročné výsledné matematické zpracování výsledků, kdy lze střední hodnoty měřených veličin určit jako běžné aritmetické průměry časových závislostí. Pro malé spalovací zdroje je charakteristický neustálený průběh spalovacích procesů, které vyžadují kontinuální měření všech chemických a fyzikálních veličin. Matematické zpracování je založeno na řešení soustavy diferenciálních rovnic, pro něž je nutno nalézt správné okrajové podmínky.

Naše pracoviště se dlouhodobě věnuje měření emisních charakteristik všech typů zdrojů znečištění ovzduší. V následujících odstavcích jsou uvedeny některé výsledky ilustrující široké rozmezí hodnot sledovaných emisních veličin.

Vliv domácích spalovacích zařízení na kvalitu venkovního ovzduší

Byla testována 3 paliva běžně dostupná v maloobchodní síti – dřevěné brikety z měkkého dřeva, černé uhlí (v současné době výhradně polského původu) a hnědé uhlí ze severočeského regionu. Spalování všech 3 druhů bylo provedeno v kotli DAKON DOR 24. Jedná se o nejrozšířenější typ teplovodního kotle umožňujícího spalovat veškerá tuhá paliva o předepsané zrnitosti. Pro srovnávací měření emisí ze spalování dřevěných briketek (pelet) byl vybrán teplovodní kotel VERNER A25 jako představitel plně automatického kotle, který byl naše emisní měření seřízen speciálně na spalování pelet z měkkého dřeva. Pro ilustraci jsou dále uvedeny výsledky měření emisí z černouhelné elektrárny při souběžném provozu dvou energetických bloků o celkovém elektrickém výkonu 400 MW. Porovnání je provedeno ve 2 tabulkách. Tabulka 2 uvádí zjištěné hmotnostní koncentrace přepočtené na zákonem stanovené referenční podmínky (suché spaliny za normálních stavových podmínek s daným referenčním obsahem kyslíku). Vzhledem k tomu, že pro malé spalovací zdroje provozované fyzickými osobami (tj. nepodnikatelskými subjekty) nejsou stanoveny žádné exaktní emisní limity, mají uvedené hodnoty spíše formální informativní charakter. Pro všechny provozovatele malých spalovacích zdrojů je zákonem stanovena povinnost „dodržovat přípustnou tmavost kouře a přípustnou míru obtěžování zápachem, a neobtěžovat kouřem a zápachem osoby ve svém okolí a obydlené oblasti“. Pro kvantitativní posouzení vlivu spalovacího zdroje na životní prostředí je vhodnější veličinou měrná emise vypočtená jako podíl hmotnosti znečišťující látky emitované do venkovního ovzduší a příslušného množství vyrobené čisté (užitečné) energie. Vypočtené hodnoty těchto veličin jsou shrnuty v tabulce 3.

Tabulka 2 Hmotnostní koncentrace vybraných znečišťujících látek vznikajících při spalování tuhých paliv v různých spalovacích zařízeních

Zdroj	Palivo (původ)	Tepelný (elektr.) výkon	$\phi(O_2)$ (%)	$\rho_{N,r}(ZL)$ (mg/m ³)					
				CO	SO ₂	NO ₂	TOC	CH ₄	TZL
DAKON DOR 24	Dřevěné brikety	A	6,6	4 210	48	143	340	240	72
		B	8,0	3 390	56	137	560	250	148
	Černé uhlí (Polsko)	A	3,4	6 390	401	309	3 720	700	1 470
		B	6,9	5 940	301	382	2 450	1 410	1 048
	Hnědé uhlí (MUS)	A	2,3	35 000	836	252	18 600	6 700	776
		B	4,4	42 300	461	220	18 100	6 700	5 110
VERNER A25	Dřevěné brikety	22 kW	14,6	222	22	192	24	6	175
Tepelná elektrárna	Černé uhlí (Polsko)	400 MW elektr.	7,1	4,4	146	220	< 1	< 1	12

Vysvětlivky:

A – ustálený maximální provozní výkon kotle

B – ustálený minimální provozní výkon kotle

$\phi(O_2)$ – objemový zlomek kyslíku v suchých spalinách

$\rho_{N,r}(ZL)$ – hmotnostní koncentrace znečišťujících látek za normálních podmínek v suchých spalinách s daným referenčním obsahem kyslíku (11 % pro dřevěné brikety, 6 % pro uhelná paliva)

NO₂ – oxidy dusíku vyjádřené sumárně jako NO₂

TOC – organické sloučeniny bez methanu vyjádřené sumárně jako C

TZL - tuhé znečišťující látky

Vliv domácích spalovacích zařízení na kvalitu venkovního ovzduší

Tabulka 3 Měrné emise vybraných znečišťujících látek vznikajících při spalování tuhých paliv v různých spalovacích zařízeních

Zdroj	Palivo (původ)	Tepelný (elektr.) výkon	Měrné emise (g/kWh)					
			CO	SO ₂	NO ₂	TOC	CH ₄	TZL
DAKON DOR 24	Dřevěné brikety	A	10,7	0,1	0,4	0,8	0,6	0,2
		B	10,8	0,2	0,4	1,8	0,8	0,5
	Černé uhlí (Polsko)	A	10,0	0,6	0,5	5,8	1,1	2,3
		B	14,4	0,7	0,9	5,9	3,4	2,5
	Hnědé uhlí (MUS)	A	109	2,6	0,8	58,3	21,0	2,4
		B	177	1,9	0,9	76,1	28,2	21,5
VERNER A25	Dřevěné brikety	22 kW	0,48	0,05	0,42	0,05	0,02	0,38
Tepelná elektrárna	Černé uhlí (Polsko)	400 MW elektr.	0,016	0,5	0,8	0,004	0,004	0,043

Vysvětlivky: A – ustálený maximální provozní výkon kotle
 B – ustálený minimální provozní výkon kotle
 NO₂ – oxidy dusíku vyjádřené sumárně jako NO₂
 TOC – organické sloučeniny bez methanu vyjádřené sumárně jako C
 TZL - tuhé znečišťující látky

Z údajů uvedených v tabulce 3 lze učinit několik obecných závěrů. Především je zřejmé, že u malých automatických roštových kotlů nejnovější generace je možno dosáhnout emisí srovnatelných s velkými energetickými zdroji. Bylo by tudíž nanejvýš žádoucí, aby v oblastech, kde není a ani v blízké budoucnosti nebude zaveden zemní plyn, byly občanům poskytovány dotace na pořízení kotlů moderní konstrukce umožňující spalování biomasy nebo jiných tuhých paliv. Je to rozhodně účinnější metoda ochrany ovzduší, než politiky uvažované prosté vysoké zdanění tuhých paliv bez současného vypracování již téměř 20 let očekávané nové energetické politiky státu.

Při porovnání emisních údajů pro teplovodní kotel s reálně dosažitelným maximálním výkonem 20 kW s údaji pro 400 MW elektrárenský blok lze učinit například tyto závěry: Pokud by elektřina vyrobená v uvažovaném bloku byla použita k prostému vytápění, byla by schopna zásobovat minimálně 20 000 domácností. Celkové emise do ovzduší by však pro oxid uhelnatý byly 6000krát nižší, pro oxid siřičitý 6krát, pro methan 2500krát a pro tuhé znečišťující látky 250krát nižší než při spalování hnědé uhlí v jednotlivých malých teplovodních kotlích. Při použití například tepelných čerpadel by uvedený blok byl schopen vytápet 60 000 domácností a výsledné znečištění ovzduší by bylo ještě nižší. Tato úvaha samozřejmě nesouží jako model náhrady spotřebičů na tuhá paliva elektrickou energií, protože by si to vyžádalo mimo jiné výstavbu přibližně 10 nových tepelných elektráren. Je spíše míněna jako obhajoba tzv. velké energetiky, která dokáže fosilní paliva jako zatím jediný reálný masový zdroj energie zpracovávat s nejmenšími dopady na životní prostředí.

BIBLIOGRAFIE

1. ENERGO 2004 – Spotřeba energie v domácnostech ČR v roce 2003. ČSÚ, Praha 2005. Dostupné také na <http://www.csu.cz/>, staženo dne 11.5.2007.
2. Sčítání lidu, domů a bytů v roce 2001. ČSÚ, Praha 2003. Dostupné také na <http://www.csu.cz/>, staženo dne 11.5.2007.
3. Statistická ročenka České republiky 2006. ČSÚ, Praha 2007. Dostupné také na <http://www.csu.cz/>, staženo dne 11.5.2007.
4. Vyhláška Ministerstva životního prostředí 357/2002 Sb. ze dne 11. července 2002, *kteřou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší.*



Pavel Jeníček

Ústav technologie vody a prostředí, VŠCHT Praha

Technická 5, 166 28 Praha

e-mail: jenicekp@vscht.cz

1. Úvod

Voda bude ve 21. století jednou z nejdůležitějších tzv. strategických surovin, která bude ovlivňovat stupeň rozvoje, úroveň a kvalitu života v jednotlivých částech světa.

Už dnes jsou všeobecně známa alarmující čísla světové zdravotnické organizace (WHO) říkající, že

- 1,1 miliardy lidí nemá přístup k dostatečně kvalitní pitné vodě
- nedostatek pitné vody zabíjí denně téměř 4500 dětí.

Za tohoto stavu je zřejmé, že účinná péče o zdroje pitných vod, tj. minimalizace jejich znečišťování a jejich co nej hospodárnější využívání je životně důležitým úkolem pro země s nedostatkem vody ale i v globálním rozsahu.

Současné moderní čištění odpadních vod je založené na odvedení vod z urbanizovaného území a jejich centrálním čištění, vysoce účinnými technologiemi. Tento přístup si však mohou dovolit jen vyspělé, ekonomicky silné země, protože jak budování složitěho kanalizačního systému, tak provozování moderních čistíren je vysoce ekonomicky náročné.

Z toho důvodu se stále více začíná mluvit o decentralizovaném čištění odpadních vod, jako o alternativě, která by umožnila zabezpečit alespoň základní úroveň čištění odpadních vod v chudších rozvojových zemích a ve vyspělých zemích by nabídla hospodárnější využívání zatím dostatečných, ale do budoucna limitovaných vodních zdrojů.

Ukazuje se, že existují reálná globální rizika a limitace centralizovaného čištění odpadních vod. Především je třeba zdůraznit, že současné technologie jsou sice vysoce účinné, ale tak technicky a technologicky náročné, že jsou aplikovány jen na cca 5% globálně vznikajících odpadních vod. Za tímto faktem stojí samozřejmě i ekonomické důvody, protože centralizované systémy jsou příliš drahé pro globální rozšíření a to jak investičně tak i provozně. I kdyby vyspělé země tyto technologie zdarma postavily, rozvojové země nebudou schopny dlouhodobě udržet jejich provoz.

2. Centralizované čištění odpadních vod

Moderní centralizované čištění odpadních vod je relativně nová koncepce, která vznikla v době průmyslové revoluce na konci 19. století jako nezbytná reakce na zdravotní problémy, které s sebou nesla rychlá a mohutná koncentrace obyvatelstva ve městech a prudký nárůst produkce splaškových i průmyslových odpadních vod. Toto se nejdříve a nejsilněji projevilo v Anglii, kde se odvádění odpadních vod z velkých měst a brzy nato i jejich čištění ukázalo být nezbytnou podmínkou dalšího rozvoje těchto aglomerací.

Do té doby byla všechna prostá řešení problému odpadních vod založena na decentralizovaném přístupu. S výjimkou některých na svou dobu neuvěřitelně vyspělých a moderních staveb jako byl například rozvinutý vodohospodářský systém královského paláce Knossos na Krétě (1700 př. n. l.) nebo centrální stokový systém pro Řím, budovaný primárně pro odvodnění bažinatých částí města okolo 800 př. n. l.

Základní charakteristiky centralizovaného čištění odpadních vod jsou následující:

- shromažďování odpadních vod
- transport odpadních vod složitým stokovým systémem (např. Praha 3 431 km)
- pro transport znečištění je používána voda – a navíc vysoce kvalitní
- vysoké nařazení vod
- centrální systém čištění
- vysoká účinnost čištění
- bodové vypouštění do prostředí
- minimální využití tzv. nutrientů
- vysoká produkce problematických kalů
- vysoká energetická náročnost
- sofistikované řídicí a kontrolní systémy
- strategická citlivost, například riziko terorismu

3. Decentralizace jako alternativa

Při hledání alternativy k zavedenému centralizovanému konceptu jde tedy především o vyšší míru trvalé udržitelnosti, a tím i potenciálního rozšíření. Nové alternativy musí splňovat řadu zásadních požadavků.

Především musí být nová koncepce levnější. Vzhledem k tomu, že převažující část investičních nákladů v centralizovaných systémech připadá na zabezpečení transportu vod tedy kanalizační (stokovou) síť je zřejmé, že při alespoň částečné zpracování odpadních vod v místě jejich vzniku bude výsledné řešení levnější. Na to navazují i další požadavky na minimální ředění odpadních vod čistou vodou, maximální využití (recyklace) cenných látek.

Vysoce kvalitní voda je z velké části jen transportním médiem pro znečišťující látky a její spotřebu lze snížit technickými zásahy, které nesníží životní komfort (úsporné splachovací systémy WC, úsporné pračky a myčky apod.).

Odpadní vody obsahují celou řadu cenných látek využitelných jako druhotné suroviny, vedle samotné vody jsou to tzv. nutriční prvky (především N a P) využitelné jako součást hnojiv.

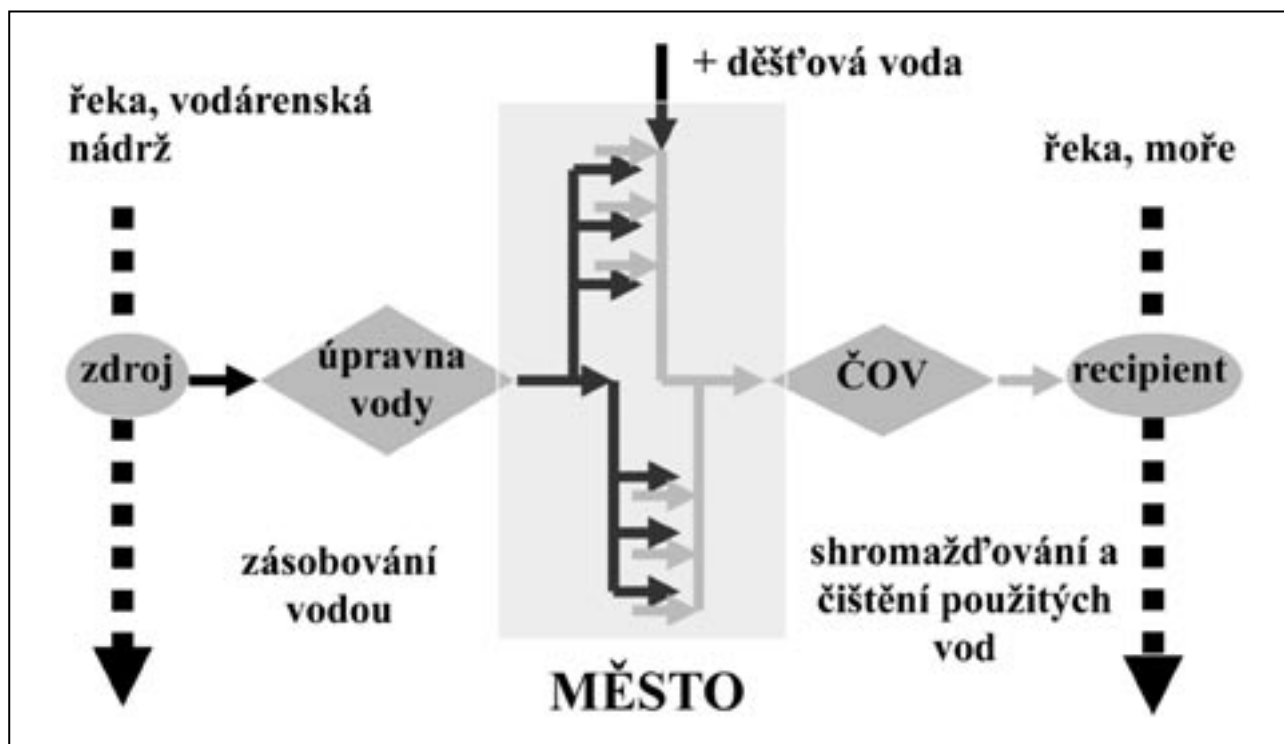
Vše však musí být i při decentralizovaném řešení zabezpečováno čistírenskou technologií, která má dostatečnou účinnost, životnost a robustnost (jednoduchost na obsluhu, bezporuchovost).

Základní charakteristiky decentralizovaného čištění odpadních vod jsou zpravidla následující:

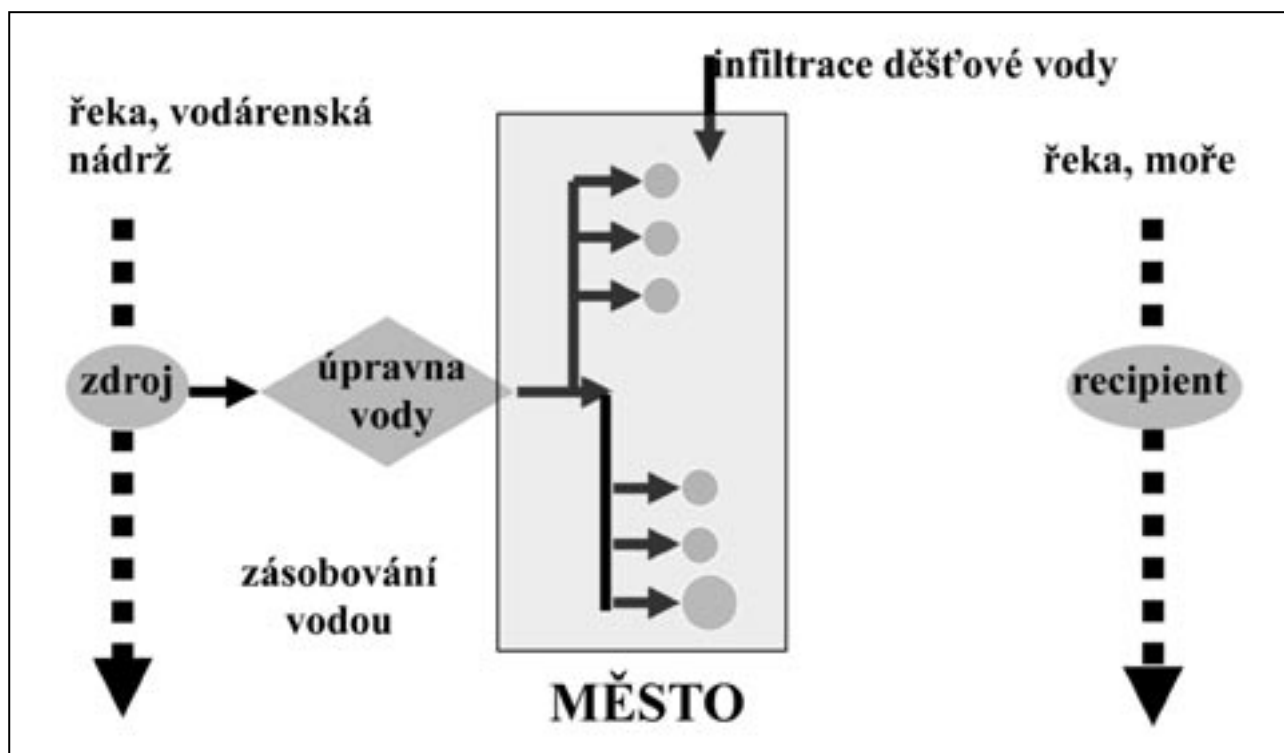
- prevence – minimalizace objemu
- separace vod podle míry znečištění
- oddělené čištění různých proudů vod
- čištění v místě vzniku
- úsporné technologie
- využití a recyklace cenných látek (voda, organické látky, nutrienty)

Principiální rozdíly centralizovaných a decentralizovaných konceptů lze shrnout tabulka 1 a obrázky 1 a 2.

Decentralizované čištění odpadních vod



Obr. 1 - Tradiční centralizovaný systém



Obr. 2 - Příklad decentralizovaného systému

Decentralizované čištění odpadních vod

Kritérium	Centralizované čištění odpadních vod	Decentralizované čištění odpadních vod
Lokalizace	transport na centrální čistírnu	zpracování v místě vzniku
Filosofie	„likvidace“ odpadních vod	recyklace cenných látek
Kontrola kvality vod a rizik	vysoká	nižší
Zainteresování obyvatel	nízké	vyžaduje aktivní přístup obyvatel

4. Separace odpadních vod z domácností

Průměrná spotřeba vody v zemích evropské unie se pohybuje mezi 100 a 160 litry na obyvatele den a z tohoto množství jen menší část potřebujeme jako vysoce kvalitní pitnou vodu. Obvyklou skladbu spotřeby ve Skandinávii (kde je potřeba vody tradičně nadprůměrná) a možnosti úspor uvádí tabulka 2.

Tabulka 2 – Klíčové rozdíly centralizovaných a decentralizovaných konceptů

zdroj	dnešní stav	úsporná opatření	opakované používání
záchod	50	25	0
koupelna	50	25	25
kuchyně	50	25	25
pračka	10	5	2
infiltrace	80	25	0
CELKEM	240	105	52

Odpadní vody z různých zdrojů se významně liší také stupněm znečištění, zatímco vody z koupelen, praček, myček nádobí apod. jsou jen slabě znečištěné, vody ze záchodů tzv. černé vody jsou znečištěné silně a obsahují převážnou část celkového znečištění produkovaného v domácnostech, zejména pokud jde o nutriční prvky – viz obrázek 3 a tabulka 3.

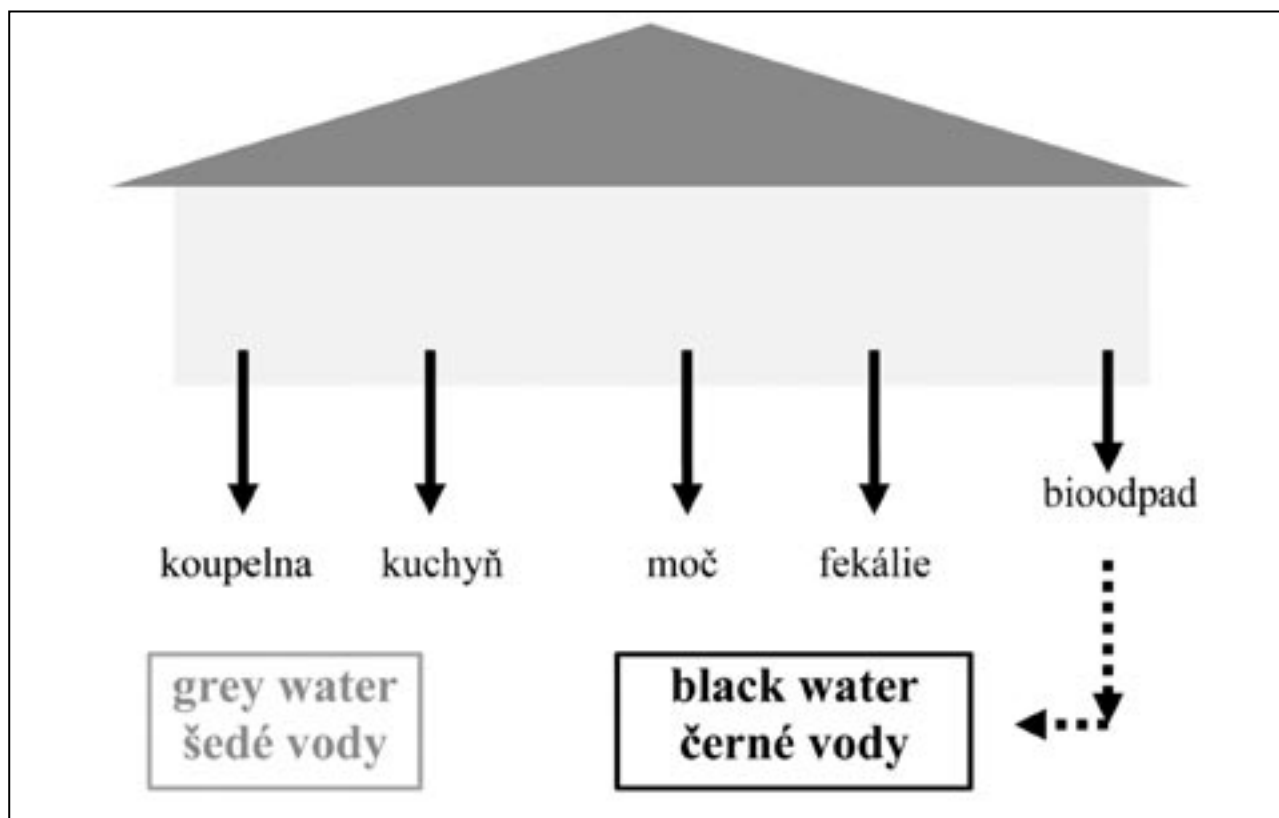
Tabulka 3 – Podíly znečištění v různých vodách z domácnosti (%)

Typ	BSK ₅	N	P	K
klasická	100	100	100	100
černá	41	86	78	81
šedá	59	14	22	19

5. Příklady decentralizovaného čištění odpadních vod

Decentralizované čištění odpadních vod může mít celou řadu forem a variant podle toho jaké jsou hlavní motivy jeho využití. I v současné době se u nás s příklady tohoto typu setkáváme v lokalitách, kde není vybudována centrální kanalizace a čistírna odpadních vod a kde jednotlivé domy řeší čištění odpadních vod nejčastěji septikem nebo domovní čistírnou odpadních vod.

Decentralizované čištění odpadních vod



Obr. 3 – Proudny odpadních vod vznikajících v domácnosti

Do budoucna lze očekávat vývoj nových variant decentralizovaného čištění odpadních vod, které budou akcentovat minimální spotřebu vysoce kvalitní vody a maximální recyklaci a využití odpadních vod i dalších odpadů v místě vzniku a tedy nulové vypouštění vod do recipientů. Příklad takového řešení uvádí schéma na obrázku 4.

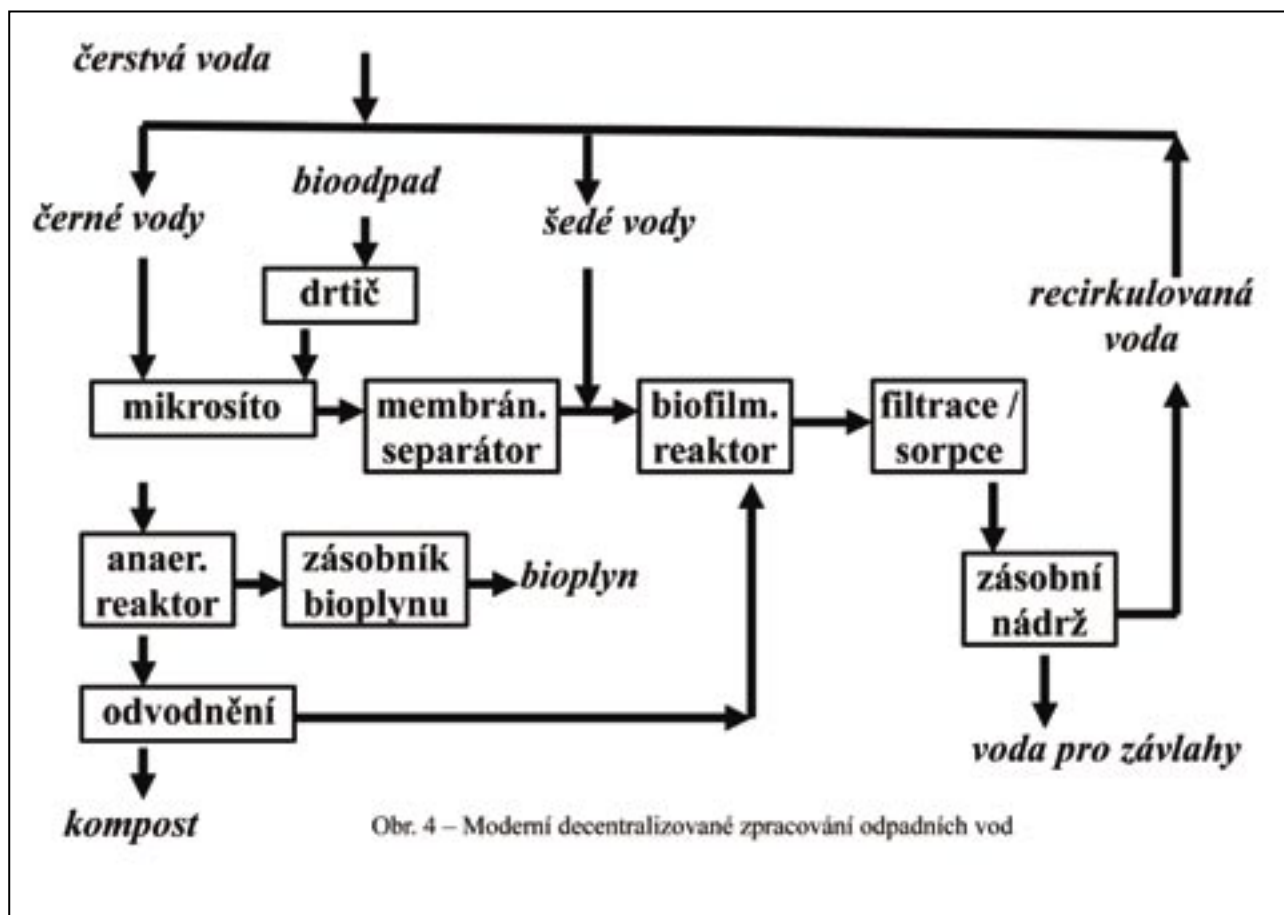
6. Závěr

Decentralizované čištění odpadních vod bude v budoucnu doplňovat někdy i nahrazovat dosud používané centralizované systémy.

Hlavním důvodem pro to je fakt, že decentralizované systémy umožňují hospodárnější využívání vodních zdrojů a jejich opakované používání. Jsou tak schopné zabezpečit obyvatelstvo vodou i za podmínek, kdy jsou zdroje vody kvalitativně i kvantitativně omezené.

Na cestě k širší aplikaci je však třeba vyřešit řadu technických problémů, ale především zabezpečit společenskou informovanost a akceptovatelnost, protože úspěch decentralizovaných systémů je podmíněn aktivním přístupem obyvatel.

Decentralizované čištění odpadních vod



7. Použitá literatura:

- Al-Jayyousi O.R. (2003) Greywater reuse: towards sustainable water management, *Desalination* 156, 181-189.
- Jeníček P. (2007) Decentralizované čištění odpadních vod - přednášky, Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT Praha
- Jönsson H. (2007) Urine separation - Swedish experiences, podle <http://www.mikrob.slu.se/avfall/english/urin.htm>
- Larsen T., Gujer W. (1996) The koncept of sustainable water management. *Water Sci. Technol.* 35(9), 3-10.
- Lens P., Zeman G., Lettinga G. (2001) Decentralised sanitation and reuse, IWA Publishing, London.
- Otherpohl R., Grottker M., Lange J. (1997) Sustainable water and wastewater management in urban areas. *Water Sci. Technol.*, 35(9), 121-133
- Wilderer P. (2004) Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: some thoughts about reasons, means and needs, *Water Sci. Technol.* 49 (7): 8-16 2004



Seznam účastníků

Absolonová	Lenka	Gymnázium Kladno
Adamec	Martin	Pedagogická fakulta UK
Adamus	Tomáš	Matiční gymnázium, Ostrava
Báčovská	Leona	Gymnázium Jeseník
Beránek	Jiří	Gymnázium Rumburk
Březina	Kamil	Gymnázium Z. Wintra, Rakovník
Bubeníčková	Zdeňka	SPŠ stavební, České Budějovice
Čandová	Jana	Gymnázium Trhové Sviny
Částková	Daniela	Gymnázium Sokolov
Drexler	Dušan	Gymnázium a SOŠ ekonomická Mariánské Lázně
Drlíková	Jana	Gymnázium, Zábřeh
Eliášová	Danuše	Gymnázium Frýdlant nad Ostravicí
Englišová	Vladimíra	Gymnázium Kladno
Gajdušková	Hana	SPŠ Nové Město nad Metují
Grimmerová	Věra	Gymnázium Jevíčko
Grinová	Drahomíra	Gymnázium Sedlčany
Hančová	Hana	Gymnázium V. Nováka, Jindřichův Hradec
Hlaváčková	Dagmar	ZŠ Krásovy domky Pelhřimov
Homuta	Jiří	SOU Liběchov
Honsová	Helena	SŠ obchodu, služeb a řemesel a Jazyková škola Tábor
Horký	Richard	Gymnázium Uherské Hradiště
Hrušková	Martina	SPŠ keramická, Bechyně
Chmielová	Jana	Gymnázium Studentská, Havířov-Podlesí
Janichová	Magdalena	První obnovené reálné gymnázium, Praha
Jenišová	Taťána	Gymnázium Frenštát p.Radhoštěm
Jiráková	Lucie	Gymnázium J.Seiferta, Praha
Jirsáková	Jiřina	SPŠ SE, Liberec
Kalenský	Michal	Gymnázium Frýdlant
Kettnerová	Bohumila	Gymnázium Na Zatlance, Praha
Kirschnerová	Eva	SPŠ SE, Liberec
Klimešová	Věra	SPŠ, Hradec Králové
Kočanová	Jana	Gymnázium, Český Krumlov
Koktová	Anna	Gymnázium Jana Palacha, Praha
Kolářová	Jana	SZÚ Praha, Centrum potravin.řetězců v Brně
Koloros	Petr	Gymnázium Pierra de Coubertina, Tábor
Koničková	Andrea	Gymnázium Žatec
Koubová	Jitka	VOŠ a SPŠPT Praha
Kovaříková	Alena	Gymnázium Benešov
Kryštof	Miroslav	Uherské Hradiště-Kunovice
Kubíčková	Blažena	Gymnázium Lad.Jaroše, Holešov
Kureš	Petr	Gymnázium Benešov
Kůrka	Karel	SPŠ keramická, Bechyně
Legátová	Marie	SZŠ a VZŠ 5. května, Praha
Loužecká	Ivana	Gymnázium Arabská, Praha
Lukešová	Eva	SPŠ potravinářské technologie, Praha
Mahnelová	Jiřina	Gymnázium Rumburk
Malinová	Marie	Gymnázium Lad.Jaroše, Holešov
Marešová	Marie	VOŠ a SPŠE Fr.Křížika, Praha
Matějka	Petr	Gymnázium J.Š. Baara, Domažlice
Matušková	Jana	Gymnázium J.V.Jirsíka, České Budějovice



Seznam účastníků



Maxová	Alena	VOŠ a SPŠ potravin.technol., Praha
Musílek	Luboš	SOŠ, SOU řemesel, Kutná Hora
Musílková	Jiřina	SOŠ a SOUT Třemošnice
Načeradská	Alena	Gymnázium Voděradská, Praha
Nezdařilová	Blanka	Gymnázium Uherské Hradiště
Nosková	Zita	SOŠ Kynšperk n.Ohří
Nováková	Dagmar	Gymnázium a SŠ, Jilemnice
Novotná	Eva	SPŠTM Praha
Pátečková	Jindřiška	Gymnázium Jevíčko
Pertlíčková	Alžběta	Gymnázium J.V.Jirsíka, České Budějovice
Petříček	Ivo	SPŠ SE Liberec
Pěničková	Helena	Gymnázium Litoměřická, Praha
Pešatová	Helena	Gymnázium Frýdlant nad Ostravicí
Podivínská	Miroslava	SOŠ, SOU a Učiliště služeb a spol.strav., Uher. Hradiště
Podivínský	Ladislav	SOŠ, SOU a Učiliště služeb a spol.strav., Uher. Hradiště
Pokorná	Daniela	Gymnázium Boskovice
Poutníková	Marie	První obnovené reálné gymnázium, Praha
Rábová	Zuzana	Gymnázium Hranice, Hustopeče n/Bečvou
Řihová	Veronika	Gymnázium J.A.K. a JŠ s PSJZ, Uherský Brod
Scheuerová	Věra	První České gymnázium K.Vary
Slabá	Zdeňka	SPŠ stavební, České Budějovice
Sloup	Radovan	Gymnázium Sušice
Strádalová	Jana	SPŠ sděl.techniky, Praha
Šimek	Pavel	Gymnázium a SOŠ Jaroměř
Šálený	Jiří	Gymnázium Týn nad Vlt.
Šimánková	Ludmila	Gymnázium J.Jungmanna, Litoměřice
Suláková	Miriam	Církevní gymnázium sv.Voršily, Kutná Hora
Sulcová	Renata	Přírodovědecká fakulta UK
Tenčíková	Petra	Gymnázium Studentská, Havířov-Podlesí
Tůmová	Květa	Česko-anglické gymnázium, České Budějovice
Ullrichová	Iva	SPŠ a SOU Hranice
Ulrichová	Alena	Gymnázium, České Budějovice
Vaňková	Věra	Kladno
Vaňková	Zuzana	SPŠ potravinářské technologie, Praha
Vermiřovský	Jan	Matiční gymnázium, Ostrava
Veselá	Lenka	Gymnázium Arabská, Praha
Vlk	Zbyněk	Gymnázium Zábřeh
Vlková	Marie	Havlíčkovo gymnázium, Havlíčkův Brod
Vojáčková	Jitka	Gymnázium Uherské Hradiště
Vokounová	Hana	Sportovní gymnázium Kladno
Vrkočová	Martina	ZŠ Šilheřovice
Vyoralová	Taťána	SPŠ elektrotechnická, Havířov
Vysopalová	Halina	Gymnázium Žatec
Zacharová	Jitka	SZŠ a VOŠZ Kladno
Zimmelová	Anna	SŠPU a VOŠ Hodonín
Zvěřinová	Vladimíra	Gymnázium Voděradská, Praha
Žárská	Renata	Gymnázium Frenštát
Žemličková	Viera	Gymnázium, Jablonec n. Nisou





Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
Technická 5
166 28 Praha 6 – Dejvice
Tel.: 220 441 111
www.vscht.cz

Fakulta chemické technologie
Děkanát fakulty
Tel./fax: 220 443 768
e-mail: studium.fcht@vscht.cz
www.vscht.cz/fcht

Fakulta technologie ochrany prostředí
Děkanát fakulty
Tel./fax: 220 443 276
e-mail: studium.ftop@vscht.cz
www.vscht.cz/ftop

Fakulta potravinářské a biochemické technologie
Děkanát fakulty
Tel./fax: 220 443 890
e-mail: studium.fpbt@vscht.cz
www.vscht.cz/fpbt

Fakulta chemicko-inženýrská
Děkanát fakulty
Tel./fax: 220 443 891
e-mail: studium.fchi@vscht.cz
www.vscht.cz/fchi

Pořádáním 21. ročníku letní školy byla pověřena Fakulta technologie ochrany prostředí.





Poznámky

