SVĚT ENERGIE

ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY

ENERGIE Z FOSILNÍCH PALIV

ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY

ENERGIE Z FOSILNÍCH PALIV

OBSAH

Černé poklady • Miloš Zárybnický 7

Energie z pravěku • František Honzák 21

Ve stínu komínů • Milan Polák 35

Tepny civilizace • Ladislav Kačena 45

Vyčištěné megawatty • Bohumil Kašpar 59

Rekultivace surovin • Libor Prokopec 73

ÚVOD

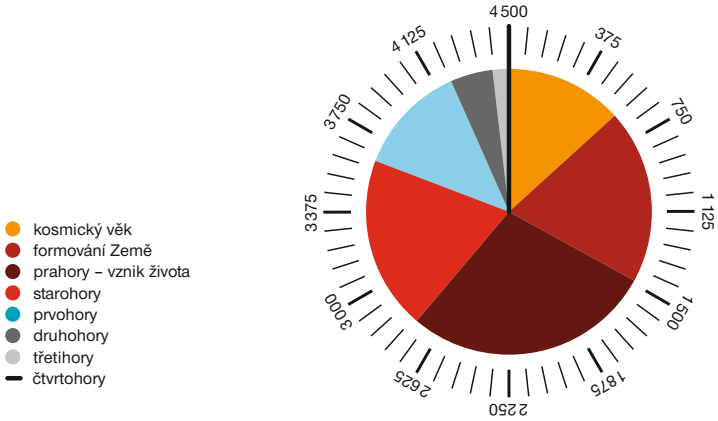
Energetika současné technické civilizace naší planety se opírá především o využívání ložisek uhlí, ropy a zemního plynu. Dominantní složku energetické spotřeby tedy dodnes tvoří fosilní paliva. Celosvětové zásoby uhlí přitom budou podle statistiky British Petroleum vyčerpány za 200 let, zatímco zásoby ropy vystačí na 40 a zemního plynu na 65 let. V současné době se ve světě z uhlí vyrábí více než 44 % veškeré spotřebovávané elektrické energie, v Evropě přibližně jedna třetina. Přestože dnes všichni víme, že spalování uhlí v topeništích či ropy ve spalovacích motorech nepatří k nejekologičtějším způsobům výroby elektrické energie, nemáme pro nejbližší období vhodnější zdroje energie, které by je mohly plně nahradit. Šanci, jak tento problém vyřešit, nabízí pouze využití energie řízené jaderné štěpné reakce či ve vzdálenější době jaderné fúze.

V České republice se uhelné elektrárny podílejí na výrobě elektrické energie z více než 50 %.

ČR nemá primárních energetických zdrojů nazbyt. I když v blízké budoucnosti těžba hnědého uhlí narazí na ekologické limity, je Česká republika v zásobách uhlí soběstačná. Zásoba by měla uspokojit potřebu výroby elektrické energie i v roce 2030. Tedy v době, kdy se předpokládá, že Evropská unie bude až 70 % potřebné energie dovážet.

Výhodou uhelných elektráren je poměrně dobrá možnost regulace výkonu. Najíždění uhelných elektrárenských bloků sice trvá několik hodin, odstavit je však lze téměř okamžitě (i když je to dost neekonomické). Výhodou je i umístění většiny uhelných elektráren přímo v místě těžby uhlí umožňující ušetřit náklady za dopravu paliva. Nevýhodou současných uhelných elektráren je poměrně nízká účinnost výroby kolem 35 %. Moderní tzv. nadkritické uhelné bloky (v České republice se staví první z nich v Ledvicích) však již dosahují účinnosti nad 40 %. Předpokladem dalšího rozvoje uhelných elektráren je schopnost držet krok s dalším vědeckotechnickým pokrokem.

ELE



Geologické hodiny Země

ČERNÉ POKLADY

V 19. století si široké využití parního stroje na železnici a lodích, v cukrovarech, pivovarech a strojírnách vynutilo, že pro výrobu páry bylo místo nedostatkového dřeva stále více využíváno uhlí. Hornictví, které se již od starověku soustřeďovalo hlavně na dobývání rud, soli a jiných surovin, našlo nový směr – těžbu uhlí.

UHLÍ

ZE ŽIVOTOPISU UHLÍ

Dějiny lidstva se obvykle dělí na pravěk, starověk, středověk a novověk. Geologové rozdělili čas dosud vyměřený této planetě podle významných geologických událostí na jednotlivé éry dlouhé mnoho milionů let a ty opět na kratší úseky periody, epochy, věky, doby... Stáří jednotlivých hornin pomáhají vědcům často určovat zkamenělé zbytky rostlin či živočichů, typických pro jednotlivá období.

Pustíme-li se po stopách vzniku uhlí, ale i ropy a zemního plynu, můžeme nejstarší období, prahory a starohory, vynechat. Zaměříme se až na karbon a perm, spadající do geologického „středověku“. Právě tehdy vznikala totiž nejvýznamnější ložiska uhlí.

Horotvorné pochody probíhající v druhohorách změnily velkou část zemského povrchu na mělká a bahnitá moře a jezera. Takřka skleníkové prostředí vyvolávalo bujný vzrůst různých druhů rostlin. Můžeme si o nich udělat celkem věrný obrázek, neboť se nám zachovalo obrovské množství jejich zkamenělin, otisků listů i jiných částí. Máme tedy hodnověrnou představu o lesích s vidličnatě se rozvíjejícími Sigillariemi a Lepidodendry, o porostech kapradí a plavuní a o přesličkách Calamites vyrůstajících z močálů. Většina těchto rostlin se na rozdíl od jejich „potomků“, s kterými se běžně setkáváme dodnes, vyznačovala „obřími“ rozměry.

Vlhké horko a sucho se v tomto světě často střídalo s mohutnými srážkami, které náhle zvyšovaly hladinu jezer i řek a ničily porosty. Na trouchnivějících zbytcích bujně vyrůstala nová generace rostlin. Vznikaly tak obrovské nakupeniny organického materiálu. Když se při dalších horotvorných pohybech dostaly tyto zbytky pod nové vrstvy hornin, vytvořily se ideální podmínky pro vznik uhlí. Rozkladem rostlinných těl bez přístupu kyslíku se za stálého působení tlaku horních vrstev a zmenšování objemu tlející masy hromadil především uhlík.

Proces karbonizace (prouhelnění) trval miliony let. Zjednodušeně lze pak říci, že čím déle trval (v závislosti na tlaku i teplotě), tím kvalitnější uhlí je jeho výsledkem. Při kratší době prouhelňování, nižším tlaku a teplotě asi 150 až 200 °C vznikala rašelina. Ta se časem měnila na hnědé uhlí. Při větším tlaku a teplotách mezi 300 až 500 °C pokračoval proces přeměny na černé uhlí a **antracit**. Vždy se přitom zvětšoval obsah uhlíku a klesalo množství kyslíku. Do vzniklé uhelné hmoty se tak koncentrovala energie přijímaná rostlinami ze země, vody a vzduchu, tj. ve své podstatě energie slunečního záření.

Díky rozličným podmínkám vzniku můžeme dnes rozlišovat i různé typy uhlí s odlišnými chemickými a fyzikálními

Naleziště uhlí a ropy v České republice

Skládka paliva v Elektrárně Dětmarovice

vlastnostmi, např. také s různou výhřevností. Jejich použitelnost ovlivňují i různé negativní příměsi. Například většina našeho hnědého uhlí obsahuje značný **podíl síry**, která se při jeho spalování uvolňuje. Používají se proto různé metody odsiřování, založené na chemických reakcích, při nichž se oxid siřičitý převádí na pevný síran vápenatý, nebo se upravuje samotný proces hoření. Zařízení umožňující vyčištění zplodin hoření od síry jsou velice drahá, řádově skoro stejně jako celá elektrárna.

CESTA K UHLÍ

Uhlí nacházíme ve vrstvách nejrůznějších mocností od tloušťky milimetrové až po desítky metrů. Tyto vrstvy jsou uloženy vodorovně (tak vznikaly), ale také v nejrůznějších polohách, jak byly v následných geologických procesech pootočeny či jinak přemístěny. Uhelným vrstvám se obecně říká **sloje**.

Uhelné sloje můžeme dobývat různými způsoby, v základě však rozlišujeme dobývání hlubinné a dobývání **povrchové**, které je výhodnější, pokud se sloje nalézají nehluboko pod dnešním povrchem země.

HLUBINNÉ DOBÝVÁNÍ

Základem pro hlubinné dobývání uhlí je vyhloubení svislé jámy – **šachty** z povrchu až k uhelné sloji. Šachty nemůžeme v krajině přehlédnout – tyčí se totiž nad nimi **těžní věže**.

Šachtou sjíždějí horníci do dolu a vytěžené uhlí se vyváží na povrch. Šachtou se do dolu dopravuje také potřebný materiál a energie – vedou tudy všechna potřebná potrubí i elektrické kabely.

Od šachty se pak razí všechny chodby potřebné k co nejekonomičtějšímu vytěžení ložiska. Jsou to chodby převážně vodorovné a často v několika patrech nad sebou. Svislý rozměr slojí nebo souborů slojí bývá i mnoho desítek metrů.

Vodorovné chodby (říká se jim odborně **horizontální důlní díla**) se označují podle svého účelu. Například tzv. **překopy** vedou „hluchou“ horninou od jámy k uhelné sloji. **Svážné chodby** (jsou raženy pod určitým potřebným úhlem) spojují horizontální chodby jednotlivých pater atd.

Velké uhelné ložisko je při svém dobývání nakonec protkáno složitým systémem chodeb o délce mnoha kilometrů.

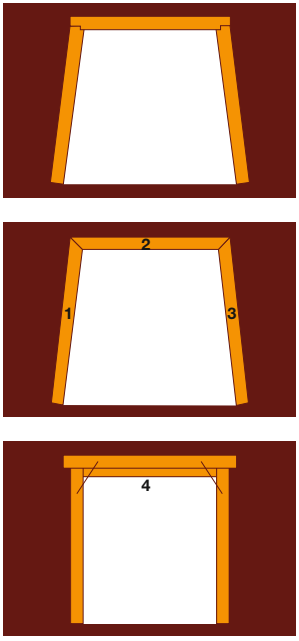
Způsobů vlastního dobývání ze sloje je mnoho. Volba záleží na mnoha okolnostech, většinou na tvaru sloje, vlastnostech (např. pevnosti) uhlí a sousedních hornin. Vždy však musí být při těžbě zabezpečeno několik základních předpokladů. Především je to zabezpečení důlních děl proti zavalení uhlím nebo horninou, větrání dolu a většinou i odvodňování dolu.

VYZTUŽOVÁNÍ

Pokud se důlní díla razí v pevné skalní hornině, není nutno je příliš vyztužovat. Jsou-li však ražena v uhlí či v nesoudržných horninách (a to je u uhelných ložisek takřka vždy), je třeba vyražené chodby a prostory vyztužit, aby odolávaly velkým tlakům vrchních vrstev zvaných **nadloží**. Dnes se pro vyztužování nejdůležitějších chodeb, např. dopravních, které slouží i mnoho desítek let, používá **betonová** (železobetonová) **výztuž**. U krátkodobějších děl poslouží **ocelová výztuž**. Tam, kde se přímo dobývá, jsou stojky na potřebnou výšku nastavitelné – vybavené hydraulikou. Pokud tlak převýší únosnost stojky, ta se nezničí, ale pouze se zmenší (stlačí) její délka.

Geologické útvary

Skupina	Útvar	Doba trvání v mil. let		Celkové stáří v mil. let
čtvrtohory éra člověka	mladší	1	1	1
	starší			
třetihory éra savců	mladší	24	69	25
	starší	45		70
druhohory éra plazů	křída	65	155	135
	jura	45		180
	trias	45		225
prvohory éra obojživelníků, ryb a bezobratlých	perm	45	375	270
	karbon	80		350
	devon	50		400
	silur	40		440
	ordovik	60		500
	kambrium	100		600
starohory, vývoj bezobratlých			1300	600–1900
prahory, vznik života			1600	1900–3500



1 bočnice
2 stropnice
3 postranice
4 rozpěra

Dřevěná výztuž – tůzné typy dveřejí

Dříve se pro vyztužování používalo výhradně dřevo. Dřevěné výztuže byly velmi pracné, spotřebovalo se na ně mnoho cenného dříví a prakticky se jen některé daly při opuštění díla znovu použít. Zkušení horníci je však dlouho postrádali, neboť při zvýšení tlaku nadložních vrstev „varovaly“. Než totiž byly nadložním tlakem zničeny a dílo zavaleno, dřevěné stojky praskotem namáhaného dřeva upozornily havíře, že je nejvýš nutné co nejrychleji utéci.

V **porubech**, tj. v místech, kde se uhlí přímo dobývá, nelze budovat stabilní výztuž, neboť porub stále postupuje dopředu za těženou uhelnou stěnou. Tam se pro ochranu pracovníků používá tzv. **posuvná výztuž**. Je to ocelová hydraulická výztuž s pevnými štíty, chránícími horníky před tlakem i shora padajícími kusy uhlí či horniny. Výztuž se posunuje za postupujícími dobývacími mechanismy. Vydobytý prostor za postupující výztuží se většinou **zakládá**, tzn. vyplňuje horninovým materiálem, nebo úmyslně (řízeně) zavaluje horninami ze stropu.

NÁVŠTĚVA V DOLECH

Před třiceti či padesáti lety vyhlížela asi takto: **„Sjedeme dolů. Důl je několik set metrů hluboký.**

Klec se zastavila na patře. Odtud se rozebíhají velké zděné a elektricky osvětlené chodby na všechny strany. Na zemi jsou koleje, po nichž jezdí malé vlaky s vozíky naplněnými uhlím nebo zpět zase prázdné pro uhlí. Hlavní chodba se dělí a my odbočíme do postranní chodby, která nás zavede na pracoviště. To již není osvětleno elektricky. Rozsvítíme si proto ruční kahany, které jsme dostali na cestu. Proti nám občas zasvítí světlo jiného kahanu a ze tmy zazní srdečné: „Zdař Bůh“, starý pozdrav horníků.

Přicházíme k místu, kde se rubá uhlí. Několik horníků odlamuje uhelnou vrstvu pneumatickými (na stlačený vzduch) sbíječkami a připravuje zásobu, kterou jiní nakládají na běžící pás nebo na vozíky. Aby se stropy neprobořily, podpírají se dřevěnými vzpěrami, které chrání život horníků. Vyrubané části se někdy zasypávají přiváženým kamením – zakládkou nebo se samy zavalují probořováním stropů.“

Od takové těžby z jednotlivých porubů, které promyšleně postupovaly v ložisku aniž by se vzájemně ohrožovaly, se přešlo na frontální přístupy. V délce několika desítek metrů se odebírala celá stěna chodby. Podřezáním stěny dole, ručně při **počvě**, jak říkají havíři, a následným ručním a později strojním sbíjením uhlí směrem k spodnímu

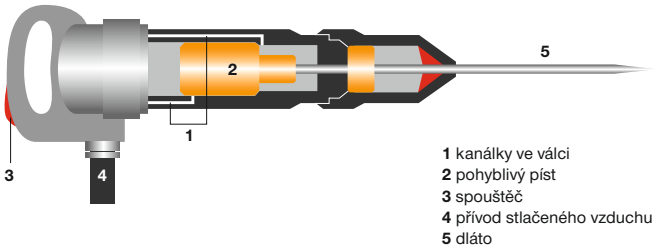


Schéma sbíjecího kladiva

Kombajn ve stěnovém porubu

V okolí Bíliny se dříve těžilo i hlubinně. Při skrývkách v dnešním povrchovém dole se občas objeví i výdřevy starých chodeb.

zářezu.Toto stěnové dobývání se rozvinulo v několik způsobů dalších. Byly vyvinuty **brázdicí stroje**, jejichž ozubené řezací řetězy uhelný pilíř podřezávají. Vznikly **pluhy a škrabáky**. Pak i rubací stroje kombinované s nakládacími **kombajny**. Hoblují stěnu do hloubek i přes 60 cm. Jiné stroje frézují svými otáčejícími se hlavami strop i počvu se záběrem (hloubkou řezu) až 0,8 metru za hodinu najedou i 700 metrů po stěně. Sem tam z jedné strany na druhou. Některé stačí svým záběrem i na sloj o mocnosti (výšce) přes tři metry!

VĚTRÁNÍ

Všechna důlní pracoviště musejí být větrána. Jednak samozřejmě proto, aby tam mohli horníci vůbec pracovat, jednak je třeba z dolu odvádět nejrůznější škodlivé či nebezpečné zplodiny, např. po střelné práci.

Nejjednodušší je **přirozené větrání**, kdy z jedné strany (většinou těžní jámou – šachtou) je do dolu vzduch přiváděn a druhou (tzv. **větrnou jámou**) zase odváděn ven. Cirkulaci vzduchu v důlních dílech je většinou třeba pomáhat velkými ventilátory buď na vstupní, nebo výstupní straně.

Přirozený větrný proud prochází všemi průchozími díly a větrá je. V dole je však řada „slepých“ děl, nedokončených chodeb nebo pracovišť, která nemají „východ“. Do nich se čerstvý větrný proud přivádí širokým potrubím, tzv. **lutnami**, pod tlakem.

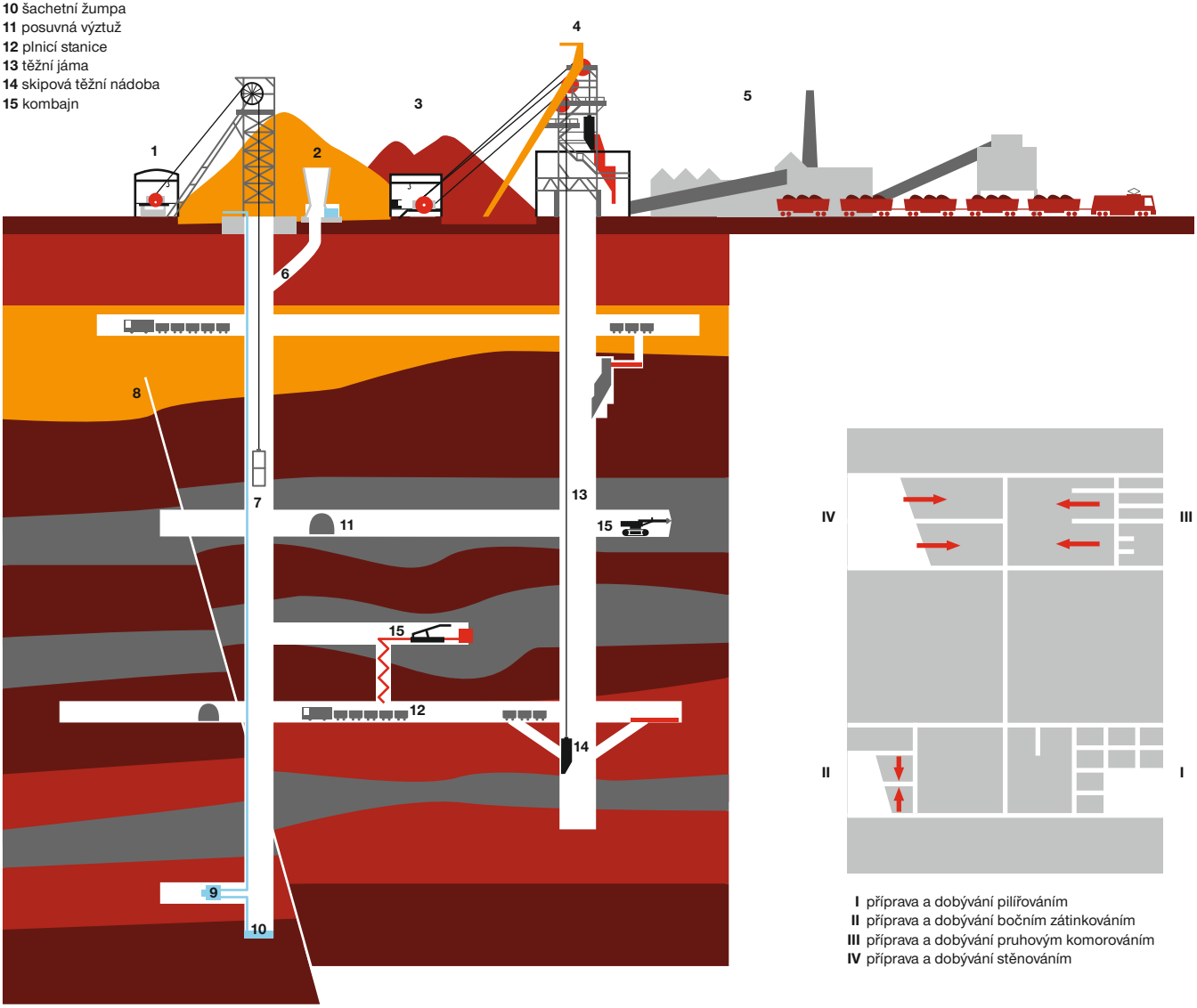
ODVODŇOVÁNÍ

Většina hlubokých dolů trpí přítokem spodních vod. Pro jejich odstranění se hloubí pod úrovní nejspodnějšího patra ještě tzv. **žumpa**, kde se voda z celého dolu soustřeďuje a čerpadly vyčerpává z dolu na povrch. V historii, kdy neexistovala dostatečně výkonná čerpadla, znamenala důlní voda občas takové potíže, že kvůli ní musel být důl i opuštěn.

DOBÝVÁNÍ A DOPRAVA

Dobývat – to znamená rozrušit uhelnou sloj a dopravit uhlí k těžní jámě – můžeme různými způsoby. Kdysi se to dělávalo ručně krumpáčem, lopatou a vozíky taženými koňmi. Později se objevily sbíječky poháněné elektřinou nebo stlačeným vzduchem. V současné době se užívá moderní mechanizace.

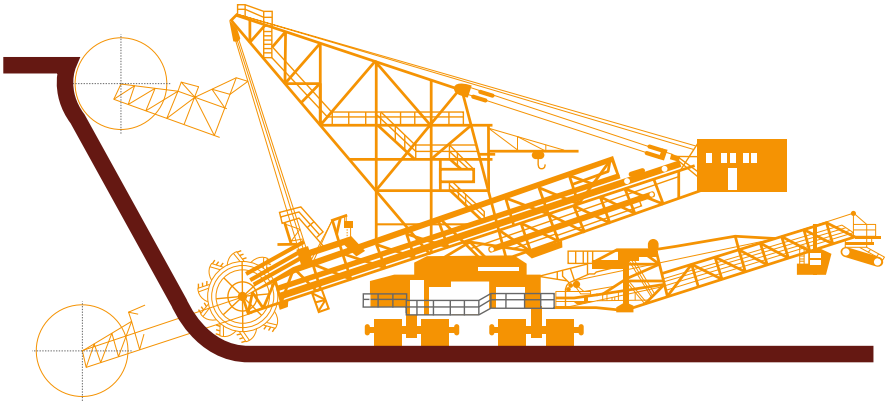
1 strojovna s těžním strojem
2 větrák
3 haldy s hlušinou
4 těžní věž
5 úpravna uhlí
6 větrná jáma
7 jáma pro dopravu havířů
8 zlom uhelných vrstev
9 důlní čerpadlo
10 šachetní žumpa
11 posuvná výztuž
12 plnicí stanice
13 těžní jáma
14 skipová těžní nádoba
15 kombajn



Celkový pohled na důl v řezu

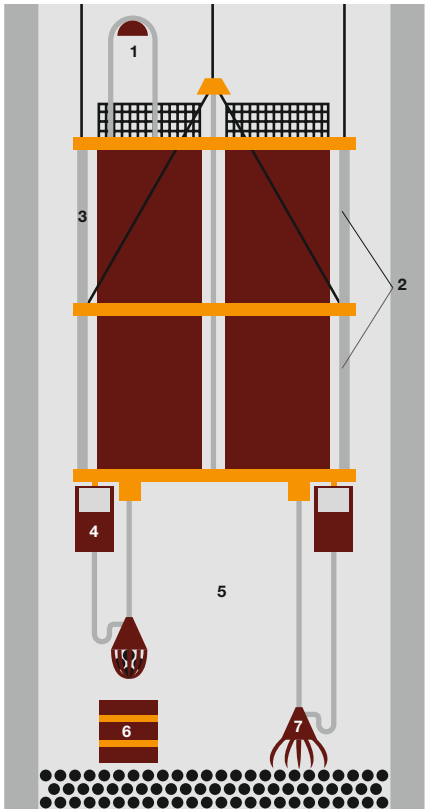
I příprava a dobývání pilířováním
II příprava a dobývání bočním zátinkováním
III příprava a dobývání pruhovým komorováním
IV příprava a dobývání stěnováním

Různé způsoby dobývání uhelné sloje



1 rám okovů s ochrannou stříškou
2 plošiny
3 pneumatické rozpěry
4 kabiny pro obsluhu
5 ochranný štít
6 okov
7 pneumatické nakladače

Kolesové rýpadlo K 800 má výkon okolo 5000 m³ sypané zeminy za hodinu, korečkové rýpadlo má obdobný teoretický výkon mezi 700–1000 m³. Do lžíce lopatkového rýpadla se vejde přes 3 m³ odebírané zeminy (skrývky) nebo uhlí.



Hloubení hlavní jámy při otvírání hlubinného dolu

Připravený, chodbami ohraničený blok uhlí se rozrušuje například uhelnými pluhy nebo brázdičkami. Rozpojené uhlí se pak jinými stroji – nakládači – sype na dopravní pás a ten je odváží do vozíků na dopravních chodbách. Plné vozíky vyváží těžní klec na povrch. Někdy vedou dopravní pásy až k těžní jámě. Svůj náklad tam vysypou do speciálních velkých nádob (celé zařízení se jmenuje **skip**), kterými je vyvážen na povrch.

VRTÁNÍ A STŘELNÉ PRÁCE

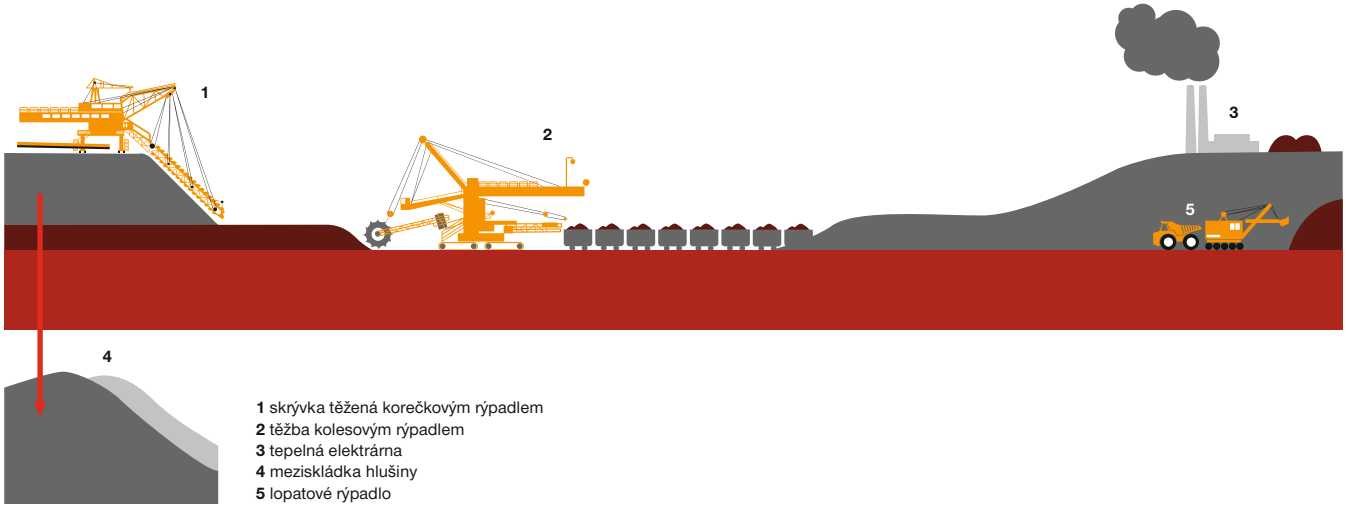
Vynález střelného prachu z Číny se nejprve uplatnil ve 14. a 15. století v evropském válečnictví. Při něm horníci bývali nasazováni při různých podkopových pracích k překonání hradeb a jistě poznali vůni i účinky střelného prachu. Teprve tyrolský horník **Kašpar Weindl** se pokusil za úředního dohledu 8. ledna 1627 o „mírový“ odstřel horniny. Bylo to v Báňské Štiavnici a je o tom písemná zmínka. Vynález se rychle rozšířil. Horníci ručně vrtali (vysekávali) jen díry pro nálože místo předchozí a pomalé celoplošné ubírky horniny želízkem a mlátkem.

Dlátem asi palcového průměru se vybíjely díry až 40 cm hluboké, ty se do poloviny naplnily střelným prachem a utěsnily kolíkem nebo jílovou ucpávkou. Ucpávkou procházelo stéblo, také naplněné střelným prachem. Po zapálení iniciovalo (přivedlo k výbuchu) vlastní nálož. Vrty pro střelnou práci se později, též namáhavě, vyvrtávaly ručně nebozezem, pak i strojně.

Abychom se dostali k uhelné sloji, musíme často prorazit dlouhé chodby v okolních horninách, které jsou zpravidla mnohem tvrdší než uhlí, takže nemůžeme použít dobývací stroje.

V takovém případě se většinou také používají **střelné práce**. Do horniny se navrtají dostatečně dlouhé díry (vrty), nabijí se trhavinou a odpálí. Rozmělněná hornina se z dolu vyveze a uloží na **odval**. Nebo se na jiném místě v dole použije do vyrubaných prostorů.

Ruční vrtání se dnes používá jen výjimečně, existují pojízdné vrtací stroje schopné vrtat několik vrtů najednou bez velké námahy pro obsluhu.



Velkolomy na těžbu hnědého uhlí v severozápadních Čechách – v mosteckém a sokolovském revíru – od roku 1945 do roku 1990 téměř zcela nahradily hlubinný způsob dobývání

Využití trhavin nesmírně ulehčilo těžkou práci havířů. Do značné míry se stalo v hornictví významným mezníkem.

ZAKLÁDÁNÍ

Při hlubinné těžbě nelze vyrubat beze zbytku celou sloj, která je často velice rozsáhlá. Aby se důlní díla nezavalila (přestože jsou opatřena výztuží), je třeba nechávat tzv. **ochranné pilíře**, uhelné bloky, které podpírají nadložní vrstvy. Ještě důležitější je to v hustě obydlených krajinách, kde v důsledku vzniku velkých podzemních prostor poklesává často krajina na povrchu, budovy praskají a boří se, vznikají bezodtokové kotliny zaplňované přitékající vodou.

Ke zmírnění těchto negativních účinků se vytěžené prostory znovu naplňují tzv. **zakládkou**. Na potřebná místa se buď zafoukává, nebo zaplavuje vodou. Už z toho je zřejmé, že zakládka musí být speciálně upravená, velmi jemná hornina (např. písek ap.). V poslední době se s velkým úspěchem na zafoukávání dolů používají odpady z uhelné energetiky – speciálně upravené směsi popílku, strusky a dalších zbytků po spalování v uhelných elektrárnách.

POVRCHOVÉ DOBÝVÁNÍ

V místech, kde jsou uhelné sloje nehluboko pod povrchem (mohou to být i desítky metrů), je výhodnější dobývat je nikoliv hlubinným způsobem, ale přímo z povrchu.

V takovém případě je nutné odvést veškeré nadložní horniny pokrývající uhlí a uložit je někde v blízkosti na tzv. **výsypku**. Při obrovských množstvích přemisťované zeminy, rozsáhlém a hlubokém uhelném lomu, není pak divu, že oblast povrchového dobývání získává vzhled bezútěšné měsíční krajiny.

Povrchové dobývání je však levnější a ekonomičtější. Dá se jím vytěžit také takřka 100 % uhelných zásob, což je při hlubinné těžbě nesplnitelný sen. Pokud se při těžbě postupuje uvážlivě a citlivě, nemusejí být konečné škody ani příliš vysoké. Jámy po vybraném uhlí se dají částečně zase zasypat a využít případně jako vodní nádrže. Cenná ornice z nadložních vrstev nad slojí se může převézt na jiné místo. Zbylé výsypky se dají rekultivovat, aby sloužily jako sady, vinohrady nebo třeba jako lyžařské svahy.

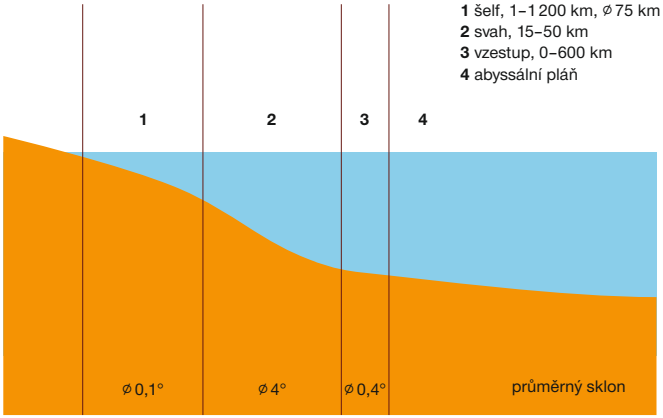
SKRÝVKA, TĚŽBA A DOPRAVA

Pod pojmem **skrývka** se rozumí odstranění nadložních vrstev horniny nad uhelnou slojí a jejich doprava na co nejbližší místo, kde by nepřekážely těžbě. Provádí se lopatovými, kolesovými nebo korečkovými rýpadly s co nejvyšším výkonem. Pro dopravu se vesměs používají široké pásové dopravníky, často o délce několika kilometrů.

K nejmohutnějším zařízením pro těžbu skrývky patří technologické celky, skládající se z obřích kráčejících **korečkových rýpadel**, spojených s **pásovým mostem** dopravujícím horninu od rýpadla.

Po odstranění nadloží se uhlí dobývá rovněž rýpadly. Ta jej nakládají přímo v jámě uhelného lomu buď na velkokapacitní nákladní automobily, nebo do železničních vagónů na provizorním kolejišti.

I když se i uhelné lomy musejí odvodňovat a některé zvláště hluboké lomy se musejí



Schematický náčrt mořského dna

i uměle větrat, je těžba mnohem jednodušší než hlubinná. Je náročná na dobrou organizaci, neboť se většinou pracuje v nepřetržitém plynulém pracovním cyklu.

ROPA

Ropa je světležlutá až takřka černá kapalina o hustotě 0,73, ale i přes 1,00 kg/m^3. Tvoří ji směs plynných, kapalných i pevných uhlovodíků. Obsahuje 80 až 85 % uhlíku,10 až 15 % vodíku, 4 až 7 % síry a něco málo dusíku.

Ložiska ropy se vyskytují v hloubkách až několika stovek metrů, většinou mezi dvěma nepropustnými vrstvami okolních hornin a velmi často spolu se zemním plynem.

Vznik ložisek ropy není dosud objasněn tak jednoznačně, jako je tomu u uhelných slojí. Nejrozšířenější hypotéza tvrdí, že ropa vznikla rozkladem obrovského množství odumřelých drobných organismů (živočichů) za příznivých podmínek – pod značným tlakem, za určité teploty a bez přístupu vzduchu.

Uhlovodíky však mohou vznikat i ve spodních vrstvách zemského pláště anorganicky, být transportovány podél poruch a zlomů do mělčích vrstev a tam se připojovat k ropným ložiskům. Anorganický původ ropy předpovídal už Mendělejev. Podle něj ropa vznikla působením přehřáté páry na karbidy těžkých kovů v zemském plášti. Svědčí o tom jak úniky metanu ze zemského nitra v některých oblastech, tak i nedávné experimenty vědců z Washingtonu a Stockholmu. Vědci zkoumali vzorky metanu, zahřívali ho laserem v diamantové komůrce na teploty přes 1 000 °C a vystavovali tlakům vyšším než 2 GPa (dvacetitisícinásobek atmosférického tlaku), což jsou podmínky simulující hlubiny zemského pláště. Dokázali spektroskopicky, že v komůrce vznikaly nasycené uhlovodíky etan, propan a butan a molekulární vodík a grafit.

Ropa v hlavních světových ložiskách pochází z hornin vzniklých ve dvou obdobích: mezi ordovikem a devonem (před 510-355 miliony let) a od jury do křídy (před 205-65 miliony let).

HISTORIE

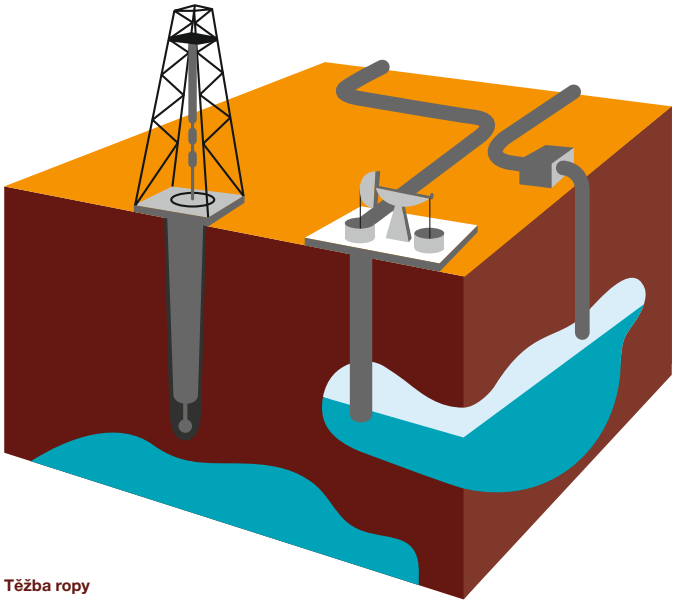
Ropa byla známa a pod různými názvy využívána již od starověku. Podle řeckých i římských historiků v 7. století př. Kr. Asyřané a později i Peršané ji těžili ze studní a rozdělovali na různé frakce. Rozlišovali dokonce ropu světlou od tmavé. Světlé říkali „nafata“, což značilo „prosakující kapalina“. Číňané ropu destilovali snad od 11. století před Kristem. Už v té době prý uměli vrtat do hloubek až 1000 m.

V Evropě známe ropu přinejmenším od 16. století. Její destilace byla zkoušena asi od roku 1605. Výsledkem byla mazadla pro nápravy kol, olej do lamp i základ do lakýrnických prostředků.

Prvenství mezi objeviteli ropy v Evropě se přiznává polskému lékaři **I. Lukasiewiczovi**. Ten roku 1854 zahájil v Bóbrce u Krosna těžbu a ve stejnou dobu založil i první rafinerii u Jasla. Podle jeho příkladu vznikla pak řada dalších těžebních zařízení. Roku 1909 představovala těžba z karpatských ložisek přes 2 miliony tun ročně, což bylo 5,2 % světové produkce.

Roku 1857 navrtal ropu **G. C. Hugens** v Lüneburských rovinách ve Wietze, kde je dnes naftařské muzeum. V téže době v Rumunsku vybírali ropu tryskající samovolně ze země lopatami bez vrtání.

V USA bylo první ložisko otevřeno již v srpnu 1853. Stalo se tak v Pensylvánii vrtem hlubokým 22 metrů. Než byly položeny první trubky ropovodu, dopravovala se vytěžená ropa k železnici v soudcích nesených mezky. Od roku 1860 se začala ropa



Těžba ropy

objevovat běžně na trhu. Využívala se ke svícení i k topení. Pensylvánská a kanadská ropa se prodávala dokonce i v lékárnách v malých lahvičkách, neboť se jí přičítaly léčivé vlastnosti.

SPOTŘEBA

Strmý vzrůst spotřeby ropy zaznamenáváme na počátku 20. století v souvislosti s rozvojem automobilismu a s potřebou benzínu. Začíná se s těžbou v Mexiku, v arktických oblastech i na Předním východě.

Od poloviny 20. století světová těžba stále stoupá, v porovnání se stavem před 2. světovou válkou přímo neuvěřitelně:

- 1937 – 297,5 mil. tun
- 1950 – 523,3 mil. tun
- 1960 – 1053,7 mil. tun
- 1970 – 2336,2 mil. tun
- 1990 – 3100,0 mil. tun

Přehledy světové těžby ropy a její ceny se od minulého století často udávají v barelech, někdy též v galonech. Barel je 159 litrů, galon 3,785 litrů. Barel obsahuje 42 galonů. V letech 1856 až 1860 bylo vytěženo 521 000 barelů, v období 1876–1880 to bylo již 98 841 tisíc barelů. K roku 1920 byl roční průměr asi 542 916 tisíc barelů.

TĚŽBA

Ropná ložiska se otevírají a těží **hlubinnými vrty**, z nichž ropa bud sama vyvěrá, někdy dokonce tryská do mnohametrové výše, nebo se čerpá. V případě samovolného výtoku se pochopitelně z ústí vrtu musí jímat a bezpečně odvádět. Při čerpání lze většinou využívat tlaku plynů, shromážděných ve svrchní části ložiska, pod nepropustnou vrstvou hornin.

Vrty hloubené pro těžbu ropy procházejí nejrůznějšími horninami o různé tvrdosti a soudržnosti. Aby se jejich stěny nezavalovaly a vrt tak nebyl porušen, zabezpečují se stěny vrtu ocelovými rourami – **pažnicemi**. Pažnice jsou do vrtu spouštěny již v průběhu vrtání – vrtné nářadí jimi prochází. Po

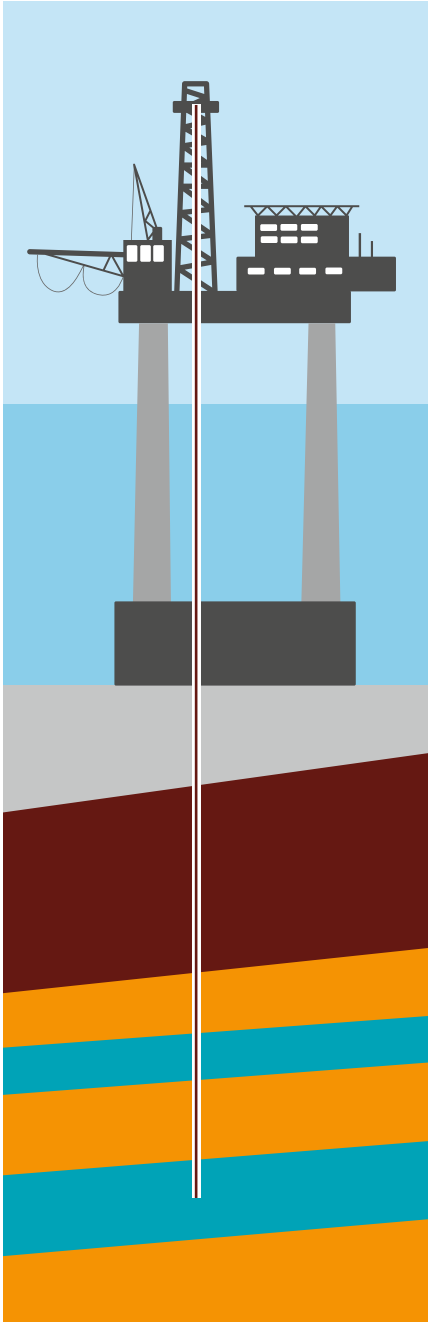


Schéma těžby ropy z mořského dna

Zásobník plynu – Příbram (Zdroj: RWE Transgas, a. s.)

dokončení vrtu se na jejich nejsvrchnější části připojuje jímací zařízení.

VRTÁNÍ

Nejjednodušší a také často používaný způsob se nazývá **– vrtání nárazové**. Vrtným nářadím je v tomto případě **dláto** upevněné na **vrtném soutyčí**, které tvoří ocelové trubky spojované závity. Vždy když se hloubka o určitý úsek zvětší, přišroubuje se na vrtné soutyčí další díl. Délka vrtného soutyčí se vždy rovná hloubce vrtu – což může být i několik set metrů.

Vlastní vrtání probíhá tak, že se vrtné soutyčí s dlátem nadzvedne a prudce spustí na dno vrtu. Dláto přitom „odloupne“ svým ostřím kus horniny. Před dalším nárazem se soutyčí i s dlátem pootočí, takže dopadá na jiné místo dna vrtu: Dříve se při nárazovém vrtání zavěšovalo dláto na lano. Aby úder byl účinnější, bylo zatěžováno závažím. Při **otáčivém** (rotačním) **vrtání** se místo dláta používají tzv. **vrtné korunky**, většinou osázené průmyslovými diamanty, aby měly co největší tvrdost. Vrtný stroj otáčí soutyčím s korunkou a ta horninu na dně vrtu obrušuje a rozmělňuje.

Vrtat můžeme buď za sucha, nebo s tzv. **výplachem**. Výplach je kapalina o vysoké hustotě, která chladí vrtný nástroj a také brání zavalení dosud nezapažených částí vrtu. Do vrtu se z povrchu vhání a zase odčerpává. Tímto způsobem se odstraňuje ze dna vrtu rozdrcená hornina a vrt se tak plynule čistí. U vrtání za sucha se drť musí vynášet vzhůru zvláštní válcovou nádobou s odklápěcím dnem.

TĚŽBA Z MOŘSKÉHO DNA

Mnohé pobřežní státy využívají pro těžbu ropy ložiska nacházející se v tzv. **šelfu**, tj. v příbřežní části mořského dna, svažující se zvolna od čáry pobřeží.

Jen v Severním moři, poblíž Anglie či Norska je už dnes těženo na 50 ložisek,

Rozvod plynu – Lanžhot (Zdroj: RWE Transgas, a. s.)

Rozvod plynu – Dolní Dunajovice (Zdroj: RWE Transgas, a. s.)

jejichž zásoby se odhadují nejméně na 2 miliardy tun ropy a 1500 miliard krychlových metrů zemního plynu. Ropa i plyn se tu těží (z hloubek až 180 metrů) z vrtných plošin umístěných v moři. Jde o technicky velice náročnou operaci ve velmi nepříznivých klimatických podmínkách. Náklady na přípravné práce i provoz jsou vysoké. Těžní plošiny vyžadují neustálou údržbu, prováděnou z velké části hloubkovými potápěči. Při prudkých bouřích, a ty nejsou v těchto končinách nijak neobvyklé, dochází občas i k překocení či potopení věže nebo k jiným haváriím, které ohrožují zdraví i životy posádek těchto těžních plošin.

ROPA – STRATEGICKÁ SUROVINA

Ropa je dnes bezesporu nejdůležitější energetická surovina. Její dostupnost a cena významně ovlivňuje hospodářství ve vyspělých průmyslových zemích. Proto je například pro Českou republiku přímo životně důležité vybudovat ropovody z různých zemí a z různých zdrojů. Zatím jsme převážně závislí na ropovodu z Ruska. Přerušení tohoto ropovodu, z jakýchkoli důvodů, by znamenalo po vyčerpání zásob obrovské omezení dopravy i průmyslové výroby. Jiným způsobem než ropovody nejsme totiž schopni potřebné množství ropy do našich rafinerií dopravit.

V případě války může přístup ke zdrojům ropy přímo ovlivnit výsledek vojenského střetnutí. Proto jsou všechny ropné oblasti, zvláště v rozvojových zemích, stále ve středu pozornosti velmocí.

Ve světovém obchodě s ropou má významné postavení Organizace zemí vyvážejících ropu OPEC, která sdružuje značnou část zemí s nejvyšší produkcí ropy. Výrazně se to ukázalo v roce 1973, kdy arabské země uvalily na vývoz ropy do USA a Evropy embargo (přestaly tam ropu dovážet). Embargo způsobilo v nejvyspělejších průmyslových zemích světa palivovou krizi a vedlo nakonec až k arabsko-izraelské válce.

Ve svých důsledcích však přinesla ropná krize i pozitivní výsledky. Byly rychle nalezeny četné další ropné oblasti a především se mnohem účinněji začaly hledat nové zdroje energie. Bohatý svět si také uvědomil skutečnou cenu ropy, začal s ní šetřit a během velice krátké doby došlo k výrazným energetickým úsporám.

ZEMNÍ PLYN

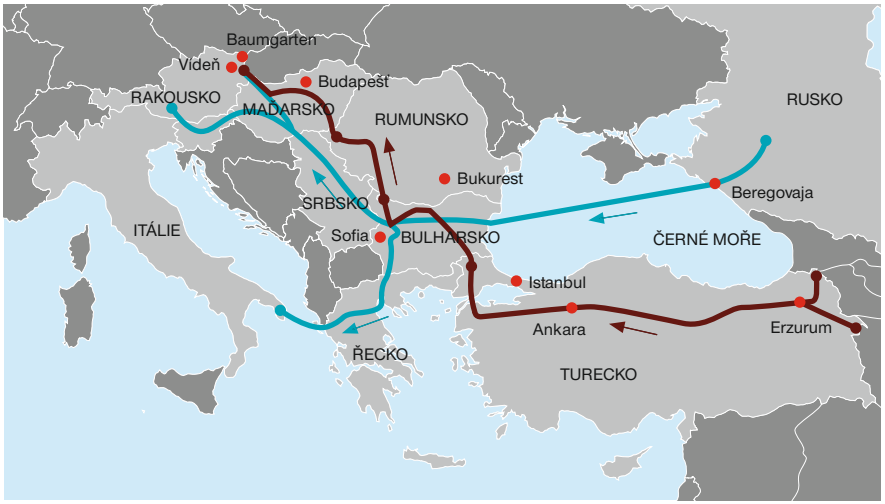
Zemní plyn se na přední místo ve světové energetické bilanci dostal až ve druhé polovině našeho století. V některých zemích se dnes využívá dokonce více než ropa. V současné době stoupá těžba zemního plynu každoročně až o 8 %.

Číňané prý znali a využívali zemní plyn již v 10. století před Kristem.

Od ložisek jej rozváděli bambusovými trubkami až do domácností. Při kultovních obřadech starých Parsů se užíval zemní plyn jako palivo pro posvátný očišťující oheň. Kolem roku 405 to zaznamenal Ktesias, řecký lékař u dvora perského krále.

Ve Spojených státech amerických navrtal roku 1884 **George Westinghouse** zemní plyn 500 m hlubokým vrtem. Zahájil tak období využívání tohoto plynu k ohřívání a svícení. V Evropě začal být plyn z ropných polí využíván rozsáhleji až ve 30. letech 20. století. Například k vyhřívání martinských pecí v polské Stalowe Woli.

V Rumunsku začali pokládat potrubí z oblasti ropných ložisek okolo Ploešti do Bukurešti po trase asi 60 km dlouhé dokonce již v roce 1934.



plánovaná trasa plynovodu South Stream
plánovaná trasa plynovodu Nabucco

Plánované plynovody

Úctyhodné technické výkony si vynutila těžba z ložisek v Severním moři, jak jsme se o ní zmiňovali již v případě těžby ropy ve stejné oblasti.

Přes moře se zemní plyn převáží ve speciálních nádržích, v kapalném stavu při teplotě minus 161°C. Náklady na toto zpracování i dopravu za těchto specifických podmínek jsou pochopitelně značně vysoké.

Pro ložiska na širém moři se často nevyplatí stavět klasické pevné těžební plošiny, navíc čím dále jsou od pobřeží, tím je jejich provoz a údržba dražší. Loď, která navíc po vytěžení ložiska odpluje jinam, je proto podstatně výhodnější a umožní získávat plyn i ze zatím netěžitelných oblastí. Společnost Royal Dutch Shell plánuje stavbu největší lodě světa, dlouhé 480 metrů, široké 75 metrů a vážící 600 000 tun pro těžbu zemního plynu. Plavidlo těchto rozměrů a tonáže by mělo přestát i „desetitisíciletou bouři“, obyčejný hurikán jej ani nerozhoupe.

Loď by měla být nasazena nejprve na ložisku Schell severozápadně od Austrálie. Dodávat by měla kolem 3,5 milionu tun zemního plynu ročně.

Příborské ohníčky

Dodnes můžeme mezi Příborem, Frýdkem Místkem a Českým Těšínem v oblasti naší ostravské černouhelné pánve pozorovat zajímavý přírodní jev. Především večer nebo v noci vás určitě zaujmou třepotavé plamínky vysoké 2 cm, ale i 30 cm, které jako by vycházely z podzemí. Jejich původ není nijak zázračný. Hoří to metan – důlní plyn provázející uhelná ložiska. V místech starých pokusných vrtů nebo i na přirozených puklinách uniká metan do ovzduší a pak už stačí jen nepatrná jiskřička a – „věčný plamínek“ je na světě.

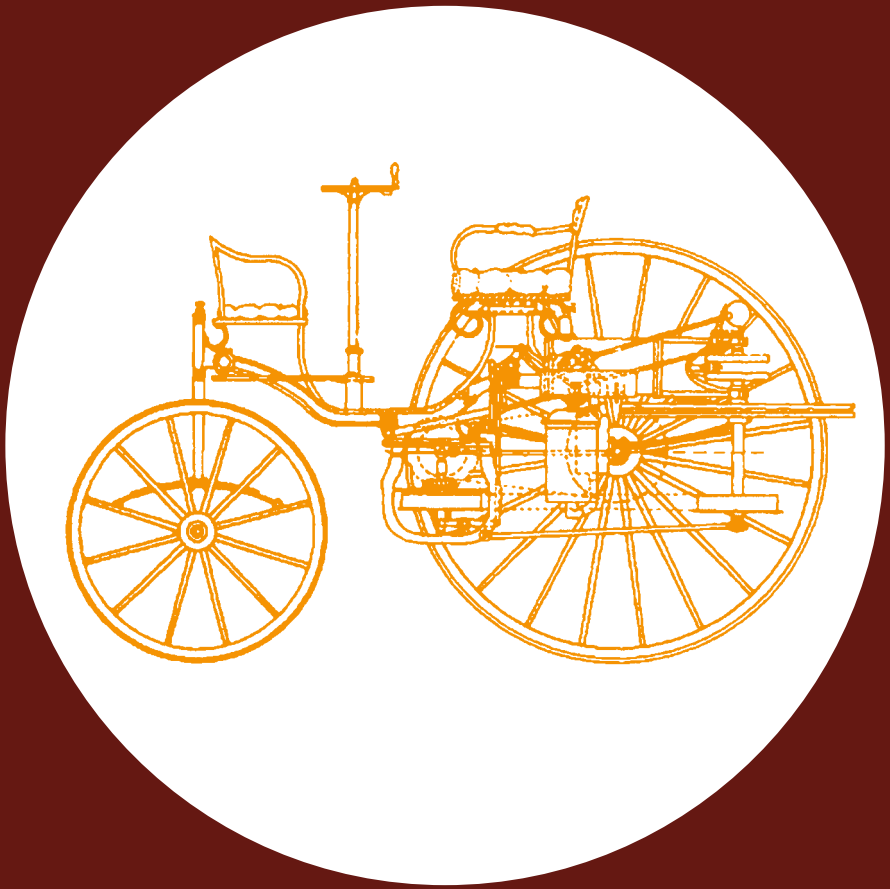
CESTY PLYNU

Největším producentem zemního plynu se v 80. letech staly sibiřské oblasti tehdejšího Sovětského svazu z 630 miliard krychlových metrů plynu ročně pocházely dvě třetiny ze Sibiře.

Pro spojení našich **plynovodů** se sovětskými se roku 1967 začal stavět plynovod Orenburg. Stal se základní částí „plynové“ magistrály vedoucí od sibiřských ložisek do západní Evropy. Dokáže dopravit 15,5 miliardy krychlových metrů ročně, z toho bylo 2,8 miliardy krychlových metrů určeno pro bývalé Československo. To se stalo významnou křižovatkou mezinárodních plynovodů s délkou soustavy více než 4 000 km a přepravní kapacitou kolem 60 miliard krychlových metrů ročně.

Aby nasytila svůj hlad po zemním plynu, připravuje Evropa horečně nové plynovody. Jedním z projektovaných plynovodů je South Stream. Projekt podporuje ruský plynárenský gigant Gazprom a podílejí se na něm evropské společnosti. South Stream povede pod Černým mořem z přístavu Novorosijsk na bulharské pobřeží a odtud do Itálie, Srbska a Maďarska. Nabucco je název druhého dosud nepostaveného plynovodu, který má za cíl snížit závislost států Evropské unie na ruských dodávkách. Tento plynovod má přivést kaspický plyn do Rakouska přes balkánské státy. Jeho kapacita by měla být 31 miliard kubíků zemního plynu ročně. Jedním z potenciálních dodavatelů plynu prostřednictvím Nabucca má být Írán, který však má zásoby na to, aby z vlastních zdrojů naplnil Nabucco celé.

Zásobník plynu – Háje (Zdroj: RWE Transgas, a. s.)



ENERGIE Z PRAVĚKU

Ložiska uhlí, ropy a zemního plynu jsou obrovské zásobárny zkoncentrované sluneční energie, které se tvořily miliony let. Lidé je využívají k získávání tepla potřebného pro vytápění, vaření, výrobu světla, a také k získávání mechanické energie; ta se uplatnila v parním stroji, turbíně a spalovacích motorech.

UHLÍ

Pod povrchem naší planety leží poklady, které nikdy nebyly shromažďovány do klenotnic mocných, nenašli bychom v nich ani šperky, ani zlaté mince. A přece se i o ně vedly války, umírali pro ně lidé. Jsou to ložiska uhlí, ropy a zemního plynu. O tom, jak tato ložiska vznikla a jak se těží, vyprávíme na jiném místě. Tady si povíme, k čemu nám slouží.

Co lidé oceňují na těch na první pohled nijak zajímavých surovinách? Především to, že v sobě skrývají poměrně snadno uvolnitelnou energii.

Energii skrytou v uhlí uvolníme nejsnáze v podobě tepla. Teplo využíval člověk již od svých prvních krůčků na Zemi. A nejen využíval, bylo pro něj životně nutné. Od okamžiku, kdy ovládl oheň, vykročil na cestu z pralesa do vesmíru.

VYTÁPĚNÍ

Po dlouhá tisíciletí lidem jako jediné palivo sloužilo **dřevo** (nepočítáme-li výjimky, jako např. sušený trus velkých býložravců). Suché větve hořely v pravěkých ohništích, vyschlá polena vyhřívala středověké krby i pece venkovských chalup. Teprve v minulém století se začalo k vytápění běžně užívat i uhlí. Nebylo to totiž zpočátku vůbec jednoduché.

První kamna na uhlí si dal v Praze patentovat Christoph Bergner, povoláním alchymista, roku 1766. Tak dlouho však byl svými sousedy osočován z otravování vzduchu kouřem, až mu topit uhlím tehdejší městská rada zakázala.

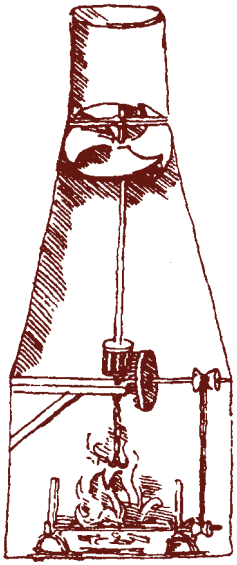
Bergner měl však tvrdou hlavu a topil tak dlouho, až se k němu dostavila komise, aby kamna zapečetila. Zarputilý alchymista komisi vyhnal, a když se vrátila spolu s policejním doprovodem, použil proti strážníkům dokonce pistoli. Nakonec se to obešlo bez krve, ale také bez kamen na uhlí. Pokrok musel ještě chvíli počkat i když z dnešního hlediska se nám rozhodnutí pražských radních jeví spíše jako moudré než zpátečnické – dnes bychom řekli „ekologické“.

Od Bergnerových časů mnoho vody neuplynulo, přesto se lidé naučili topit nejen uhlím, ale i produkty z ropy a také plynem. Obyčejná kamna nahradilo ústřední a dálkové vytápění.

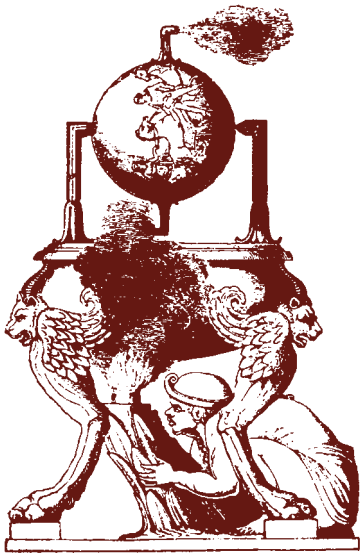
ÚSTŘEDNÍ A DÁLKOVÉ TOPENÍ

Abychom dali zadost rčení „nic nového pod sluncem“, musíme poznamenat, že ústřední topení užívali ve svých palácích a především lázních již staří Římané před více než dvěma tisíci lety. Nejen však staří Římané či jiné vyspělé starověké civilizace v Malé Asii, Indii a jinde. Teplovzdušné vytápění bývalo ve středověku i na Pražském hradě (topilo se v něm samozřejmě výhradně dřevem).

Moderní doba začala pro ústřední **vytápění** nejprve používat horkou **páru**. Tou byly vytápěny už v 17. století například skleníky v Anglii. Horká voda se pro přenos tepla začala používat až asi o 100 let později. K opravdovému rozmachu ústředního vytápění nepřispělo ani tak používání uhlí (i když bez něj by to nešlo, topit dřívím v mnoha



Rožeň Leonarda da Vinci



Aeolipile

velkých kotelnách by asi naše lesy nepřežily), jako spíše vynález žebrových radiátorů.

Dnes se i ústřední topení ukazují jako málo ekonomická. Mnohem úspornější je dálkové vytápění celých sídlišť nebo měst. Topení uhlím je poměrně jednoduché a laciné, velmi však znečišťuje ovzduší. Pokud nezvolíme jiný zdroj (produkty ropy, zemní plyn, jadernou teplárnu), musíme použít buď nákladná zařízení pro zachycení zplodin hoření, nebo nějaký typ velmi dokonalého spalování. Například v ohništích s tzv. fluidním spalováním se spaluje uhlí umleté na jemný prášek vznášející se v proudu vzduchu. Shoří dokonale, bez kouře a dýmu.

HRÁTKY S TEPLEM

Už ve starověku si lidé uvědomovali, že **teplo** v sobě skrývá obrovskou energii. Zajímavými pokusy s teplým vzduchem se zabýval například řecký matematik a fyzik **Heron Alexandrijský** (okolo 150–100 př. Kr.). Na základě poznání, že vzduch se teplem roztahuje, a pokud ho uzavřeme do neprodyšné nádoby, pak se zahříváním zvyšuje jeho tlak, sestrojil řadu důmyslných zařízení – různé vodotrysky, rotující koule a také samočinné otevírání chrámových dveří, které budilo v prostých věřících doslova úžas.

K praktičtějšímu účelu využil teplého vzduchu o mnoho staletí později Leonardo da Vinci. Pomocí vrtulky poháněné stoupajícím teplým vzduchem nad ohništěm otáčel pečení na rožni.

SÍLA = PÁRA

Získat z uhlí teplo je snadné. Jak však převést teplo na zdroj síly, na mechanickou energii? K tomu nám pomůže pára.

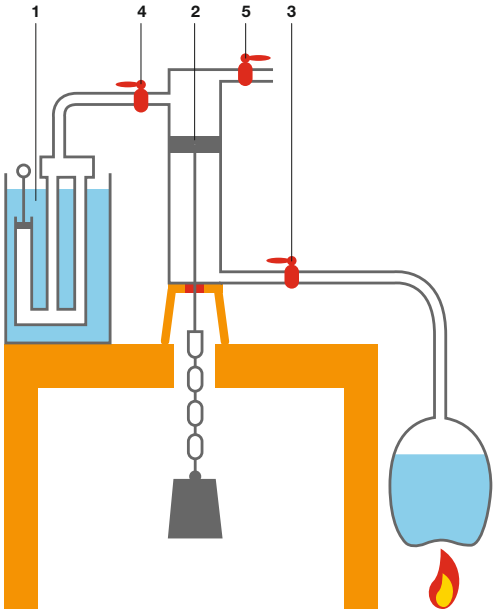
O tom, že horká pára je účinný zdroj síly, věděl už **Archimedes** (287–212 př. Kr.), který navrhl dokonce i jakési parní dělo. Na skutečné využití páry si však lidstvo muselo počkat až do 17. století. Tehdy sestrojil profesor univerzity v Marburgu **Denis Papin** (1647–1712) stroj, který už můžeme nazvat **parní**. Jeho stroj konal užitečnou práci jenom při pohybu pístu směrem dolů, tj. tehdy, když na něj působil atmosférický tlak vzduchu. Proto jsou stroje pracující na tomto principu nazývány **atmosférickými**.

Papinovy zásluhy o vynález parního stroje jsou nezpochybnitelné; kuriózní ovšem je, že se daleko více proslavil mnohem prozaičtějším objevem – dodnes široce užívaným tlakovým hrncem neboli „papiňákem“.

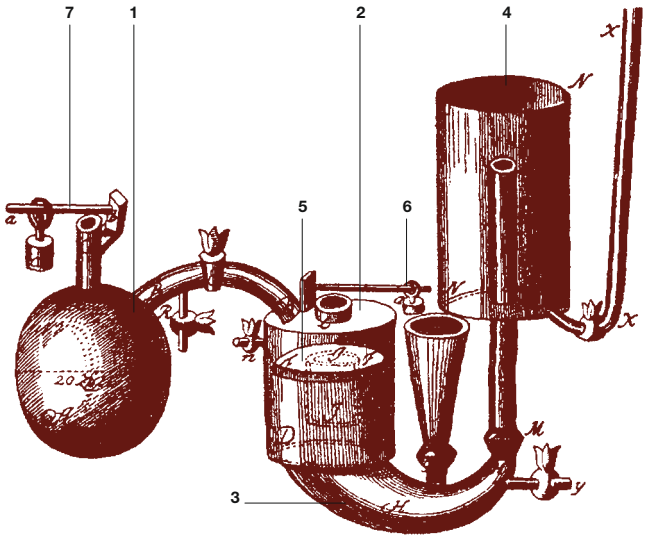
PŘEDCHŮDCI PARNÍHO STROJE

Přes četné nedostatky se atmosférické parní stroje začaly šířit zejména v hornictví při čerpání vody. Osvědčil se tu zejména „**ohňový stroj**“ anglického inženýra **Thomase Saveryho** (1650–1715), nazývaný „přítel horníků“.

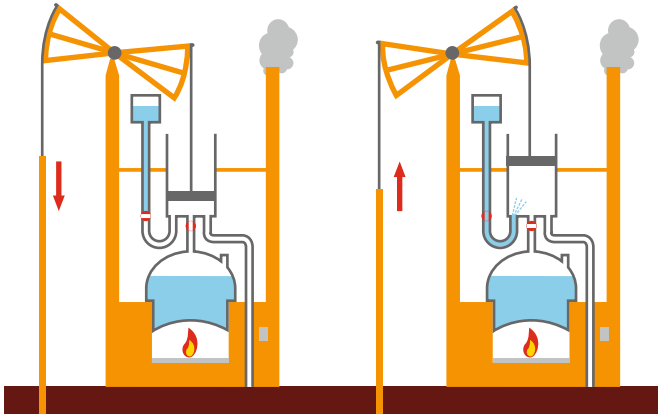
O vzniku Saveryho stroje se vypráví zajímavá historka. Inženýr jednou s přáteli



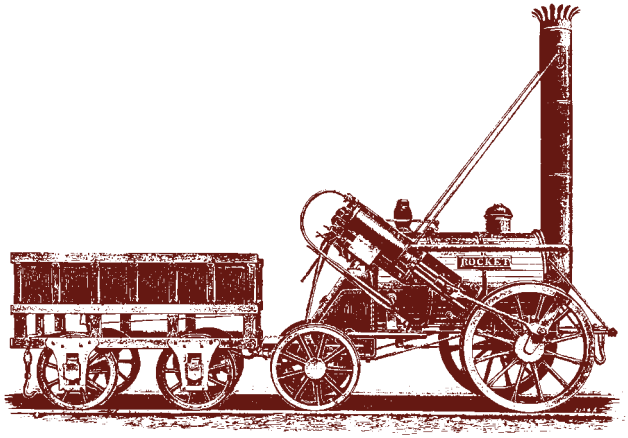
Princip Wattova jednočinného parního stroje. Činnost tohoto stroje s kondenzátorem (1) vypadala takto: Když byl píst (2) v dolní úvrati (u dna válce), vpustila se ventilem (3) pod píst pára a ta jej vytlačila do horní úvrati (u víka válce). Jakmile dosáhl této polohy, uzavřel se ventil (3) na trubce, která přiváděla páru pod píst, a současně se otevřel ventil (4) na jiné trubce, která přiváděla páru z prostoru pod pístem do kondenzátoru, v němž se srážela na vodu. Ochlazením a kondenzací páry vznikl pod pístem podtlak a vlivem atmosférického tlaku vzduchu přiváděného ventilem (5) byl píst znovu stlačen ke dnu válce. Po dosažení dna válce se přívod páry do kondenzátoru uzavřel, otevřel se ventil 3 a celý děj se znovu opakoval.



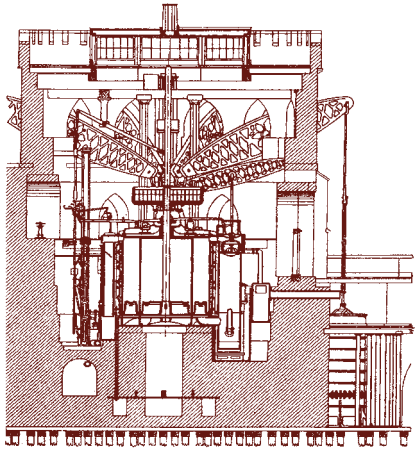
Papinův atmosférický stroj. Z parního kotle (1) se vede pára do válce (2), kde tlačí na horní plochu pístu (5) a pohybem směrem k dolnímu konci válce vytlačuje z pod pístu vodu potrubím (3) do nádržky (4). V dolní úvrati zavře ventil (7) přívod páry, otevře se ventil (6), pára z válce unikne do vzduchu, tím vznikne ve válci podtlak, do válce vnikne nová dávka vody a vytlačí píst vzhůru. Uzavře se ventil (6), otevře ventil (7) přívod páry a celý děj se opakuje.



Newcomenův atmosférický stroj. Z kotle je vpuštěna pára do válce nad ním. Když vytlačila píst vyvážený protizávažím k hornímu konci válce, stlačilo vahadlo píst důlní pumpy. V témže okamžiku se uzavřel přívod páry do válce, otevřel se kohout v potrubí od nádrže s vodou a do válce vstříkla studená voda. Tím se pára srazila ve vodu, tlak ve válci se snížil pod atmosférický tlak, venkovní vzduch srazil píst ve válci dolů a vahadlo se závažím zvedlo píst důlní pumpy. Tak se to střídavě opakovalo a pumpa čerpala vodu z dolu.



Stephensonova Raketa zvítězila v závodech v Rainhillu, které měly rozhodnout o koupi nejvhodnějšího stroje pro tamější trať, jednu z prvních v Anglii



Obrovská parní čerpadla použitá k vysoušení Harlemského moře v Holandsku v letech 1848-1852

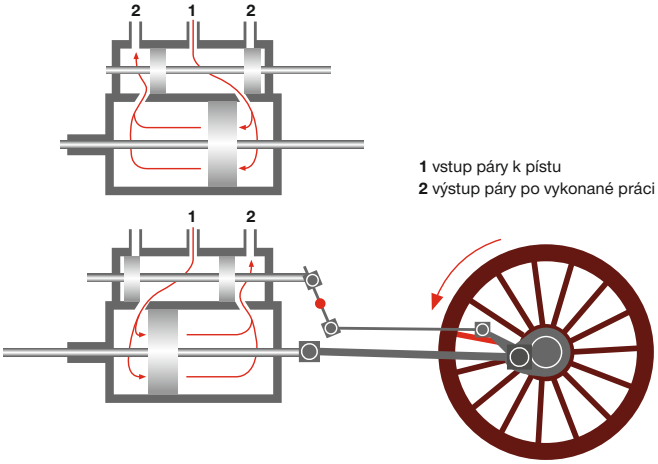
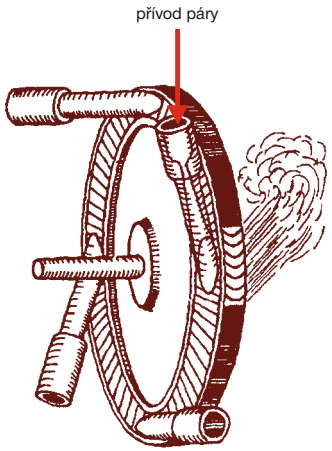


Schéma pohonu hnací nápravy parní lokomotivy



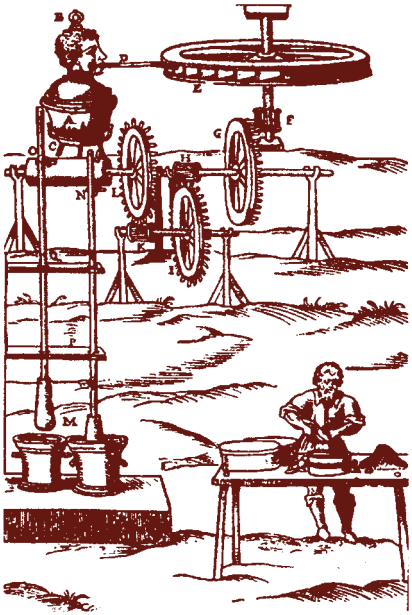
Lavalova parní turbína

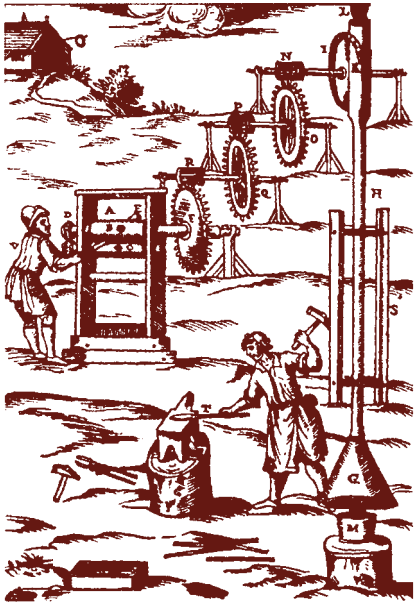
popíjel víno a prázdnou láhev odhodil do zapáleného krbu. Zrovna v tu chvíli mu přinesli mísu s vodou, aby si mohl umýt ruce. Pro zábavu svých přátel vytáhl z krbu horkou láhev a ponořil její hrdlo do umývadla. K překvapení celé společnosti se láhev rychle naplnila vodou. Vysvětlení není složité: v horké láhvi vznikl podtlak a voda se do ní hrnula působením vnějšího (atmosférického) tlaku vzduchu na hladinu vody v umývadle. Na stejném principu pracoval i Papinův stroj.

Pokračovatelem Saveryho se stal další Angličan, **Thomas Newcomen** (1663–1729). „Ohňové stroje“ znal důvěrně, byl strojníkem na dole, kde byly zavedeny. Z jeho mnoha zlepšení je jedno zásadní. Zatímco Savery dosahoval kondenzace páry polévání válce studenou vodou (tím se snížil ve válci tlak páry a píst mohl působením tlaku vzduchu sestoupit do dolní polohy), Newcomen zavedl vstřikování studené vody přímo do válce. To bylo mnohem rychlejší a účinnější.

Atmosférické stroje našly v 18. století v hornictví velké uplatnění. Na území tehdejší habsburské monarchie se užívaly v banskoštiavnickém revíru, kde působil

Parní lokomotiva





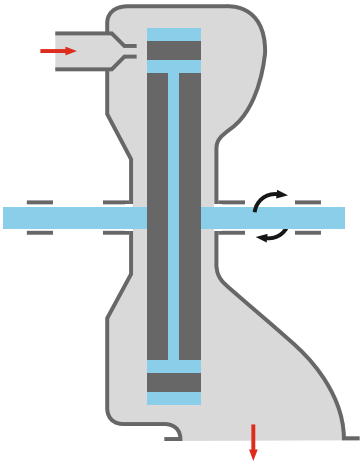
Brancovo parní kolo se dalo použít mnoha způsoby

J. K. Hell (1713–1789). Tento nadaný technik zkonstruoval nejdříve pro pohon čerpadel několik tzv. vodosloupových strojů, o něco později pak teplovzdušný stroj. Nakonec vybavil zdejší doly atmosférickými stroji Newcomenova typu, které však sám postavil. Na evropském kontinentě byly ojedinělé, a tak banskoštiavnické doly mohly směle soutěžit s tehdy nejvyspělejším anglickým hornictvím.

NA SCÉNU PŘICHÁZÍ WATT

Za vynálezce parního stroje je obecně považován **James Watt** (1736–1819). Jeho zásluhy jsou nesporné, ale už teď vidíme, že díky svým předchůdcům měl na co navazovat. S modelem Newcomenova atmosférického stroje se Watt seznámil na glasgowské univerzitě, kde byl zaměstnán jako mechanik: Model nefungoval a Wattovi dalo mnoho práce, než se mu ho podařilo uvést do chodu. Tím se ale také mnoho naučil. První důležité zlepšení, které zavedl, byl kondenzátor. Stroj teď pracoval hospodárněji. Další problém spočíval v utěsnění pístu. Vyzkoušel mnoho materiálů, až přišel na jednoduché, ale o to geniálnější řešení – uzavřel válec nahoře i dole a obklopil píst po obou stranách párou. Změnil tak atmosférický stroj na opravdu parní. K praktickému využívání stroje ve všech možných oborech zbývalo vyřešit ještě spoustu „drobností“; se všemi si však nakonec Watt poradil. Roku 1782 udělal pak další zcela zásadní krok: získal patent na dvojčinný parní stroj. Do té doby byla pára přiváděna jen na jednu stranu pístu a jeho stlačením vykonala využitelnou práci. U dvojčinného stroje se pára přivádí střídavě na obě strany pístu. Množství využitelné práce se tak vlastně zdvojnásobuje.

Parní stroj se začal prosazovat ve všech možných oborech. Vypráví se, jak si jistý majitel pivovaru v Anglii objednal u Watta parní stroj. Měl však podmínku – stroj musel zastat stejně velkou práci jako dosud pivovarníkův kůň. Ten dokázal vyčerpat ze studny v průměru za 1 sekundu 500 liber vody do výše 1 stopy. Watt zhotovil stroj, který za stejnou dobu a do stejné výšky vyčerpal dokonce 550 liber vody. Obchod byl uzavřen, ale kvůli tomu by asi příběh do dějin fyziky nevstoupil. Dodnes se traduje proto, že zmiňovaný výkon stroje se stal na dlouhou dobu jednotkou pro měření výkonu. Angličané ji nazývali **horse-power**, což



Princip jednoduché přetlakové Parsonsovy turbíny. V přetlakových trubkách expanduje pára nejen v dýzách a rozváděcích kolech, ale i v oběžných kolech. U jednostupňové turbíny tohoto typu se mění jen část tlaku na vstupní rychlost páry. Tím dochází ke snížení tlaku a pod tímto tlakem, nižší rychlostí, přichází pára do oběžného kola, kde expanduje, a z oběžného kola již odchází s nižším výstupním tlakem a ještě nižší rychlostí. Protože je u tohoto typu vstupní tlak větší než výstupní (tj. existuje přetlak), říká se těmto turbínám přetlakové.

(ne úplně přesně) odpovídá koňským silám našich dědečků.

Dnes už si těžko dovedeme představit, co ve své době vynález parního stroje znamenal. Musíme si však uvědomit, že před ním vlastně neexistoval žádný dostatečně mohutný a zároveň na přírodních podmínkách nezávislý zdroj energie. Jen díky parnímu stroji se mohly rozvíjet továrny vybavené mnoha stroji, železnice mohly spojit města i státy a parníky překonávat moře i oceány. Snad nejlépe to vystihuje nápis na Wattově náhrobku ve Westminsterském opatství: „Zdroje své země rozšířil, člověka moc rozmnožil a povznesl se tak do předních řad mezi nejslavnější vědce a skutečné dobrodince lidstva.“

PARNÍ TURBÍNY

Energii ukrytou v palivu převádí parní stroj zjednodušeně řečeno na mechanický pohyb pístu. Ten můžeme popsat jako **vratný přímočarý**. Při použití stroje k čerpání vody to bylo docela výhodné, brzy se však ukázalo, že v mnoha případech, například pro pohon jiných strojů, by byl vhodnější pohyb **rotační**. Různé převodové mechanismy měly svá úskalí, a tak se hledaly jiné cesty. Jedna vedla k rotačnímu parnímu stroji, druhá k parním turbínám. Ta první cesta se časem ukázala slepou, po té druhé kráčíme dodnes.

S principy parní turbíny se znovu setkáváme již v daleké historii, třeba u řeckého učence Herona. Roku 1629 vyšla kniha Le Machine, ve které její autor, italský inženýr **G. Branca**, popisuje jakési parní kolo, ve skutečnosti pravzor turbíny. První moderní parní turbínu představil veřejnosti roku 1884 anglický konstruktér **Charles Parsons** (1854–1931). Turbína měla na společném hřídeli upevněnou řadu lopatkových kol uzavřených ve válci. Z trysek rozváděcích věnců přicházela na lopatky pára z parního kotle a roztáčela je. Na konci celého systému odcházela pára ven, takřka beze zbytku využitá.

První Parsonsovy turbíny dosahovaly až 18 000 otáček za minutu, což bylo nevýhodné. Trvalo 15 let než se je vynálezci podařilo snížit na optimálních 1 500 za minutu.

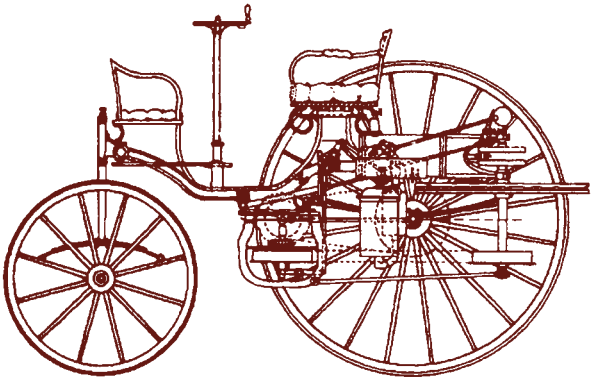
Dalším, kdo stál u zrodu parních turbín, byl švédský vynálezce **Gustav Laval** (1845–1913). Původně vynalezl odstředivku na mléko a v parní turbíně hledal pro ni vhodný pohon: Na rozdíl od **přetlakové** Parsonsovy turbíny byla Lavalova rovnotlaká (tlak páry je v celém systému stejný, pohyb způsobuje pouze rychlost páry).

Výhodou parních turbín oproti parním strojům je především vyšší účinnost. To znamená, že turbíny dokážou využít větší část energie dodané v palivu. A tak, jestliže se s parním strojem můžeme dnes setkat prakticky jen v muzeu, **patří turbíny plně do věku moderní techniky**. Neobešla by se bez nich žádná z našich tepelných nebo jaderných elektráren, kde slouží jako **„motor“ pro výrobu elektrické energie**.

ROPA

Zatímco uhlí pod kotly parních strojů roztáčelo kola průmyslu po celé minulé a předminulé století a dodnes se využívá jako palivo ve stovkách tepelných elektráren k výrobě páry ženoucí **parní turbíny**, ropu čekal jiný úkol. I když i ji spalujeme za účelem získání tepla či při výrobě **elektrické energie**, stala se především symbolem **věku automobilů**. Bez nafty a benzinu, které získáváme právě z **ropy**, by umlkly miliony motorů na celém světě.

Ropa je surovina všestranně užitečná, především v chemickém průmyslu. Vyrábí se z ní všechno možné od léků až třeba po prášky na praní. Přesto se však stala naprosto nepostradatelnou především jako



Automobil K. Benze

surovina energetická. Přes všechno úsilí vědců a techniků se totiž zatím nepodařilo vymyslet prakticky použitelný mobilní motor, který by ke své práci nepotřeboval benzin nebo naftu. Vždyť elektromobily se už po desítky let nezbavily svých „dětských nemocí“ a ani s atomovými motory v běžné dopravě asi nemůžeme příliš počítat.

SPALOVACÍ MOTOR

Parní stroj byl velice užitečný vynález, nehodil se však všude. Byl rozměrný, hlučný a vyžadoval odbornou obsluhu. Měl také velice nízkou účinnost. To je mimo jiné způsobeno tím že výroba energie probíhá ve dvou stupních. Nejprve musí teplo vznikající v topeništi přeměnit vodu v kotli na páru a teprve ta pohání píst stroje. Při celém procesu se spousta tepla bez užitku ztrácí. Od tohoto poznání byl už jen krok k nové myšlence spalovat palivo přímo ve válci a vyhnout se tak všem ztrátám při přenosu tepla.

Byl to sice jen krok, ale nebylo snadné jej udělat. Bylo třeba vynalézt spalovací motor.

Za prvního předchůdce dnešních spalovacích motorů je považován motor poháněný výbuchy střelného prachu; tudy však opravdu cesta nevedla. Řešení leželo jinde – chvíli se dokonce zdálo, že v tradičním uhlí.

Roku 1786 obdržel francouzský inženýr **Phillipe Lebon** (1767–1804) patent na výrobu svítiplynu z dříví. V patentu se mluví mimo jiné o použití plynu k osvětlování, k topení, k výrobě mechanické síly...

Při výrobě svítiplynu ve velkém bylo nahrazeno dříví mnohem vhodnějším uhlím a již nic nebránilo nástupu „plynového věku“.

V drobných řemeslnických dílnách se malými plynovými motory poháněly výrobní stroje. Dokonce i tehdy, když nebyl v místě rozvod plynu z plynárny. V takovém případě si v dílně vyráběli plyn na místě z koksu, uhlí nebo dříví pomocí vlastních generátorů.

A právě tyto malé stabilní plynové motory nás teď zajímají. Ani ne tak kvůli nim samotným, jejich čas už dávno skončil, ale...

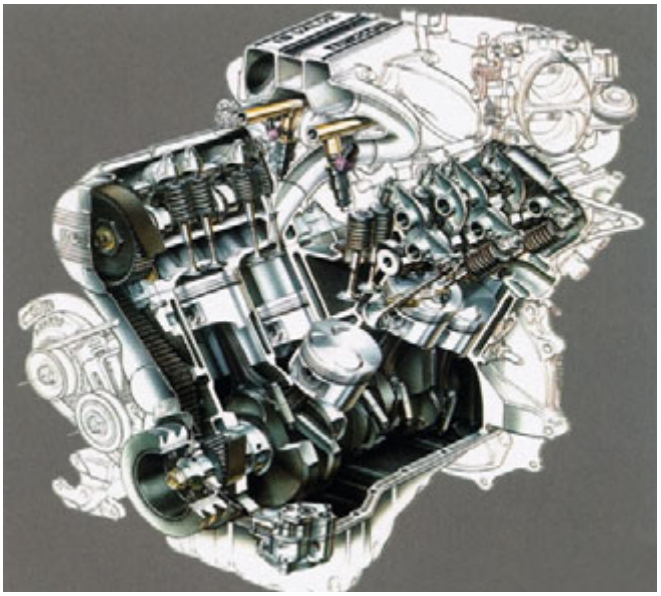
Souboj o nejlepší spalovací motor poháněný plynem mezi sebou svedli dva vynálezci – německý obchodník **Nikolaus Otto** (1832–1891) a ve Francii žijící Belgičan **Jean Etienne Lenoir** (1822–1900). A právě ten druhý z nich rozšířil svůj patent o zdánlivě nevýznamný dodatek: „... aby plyn mohl být nahrazen parami vodíku smíšeného se vzduchem, petroleje a jiných paliv.“ Těchto pár slov znamenalo, že se právě zrodil nový motor, pohon osvobozený od plynového potrubí či od objemného generátoru. Pohon, který je schopen vydat se sám do světa. V roce 1863 si to Lenoir vyzkoušel v praxi – sestrojil jednoduchý vůz, vybavil jej svým motorem a vyrazil z Paříže do Joinvillele-Pont a zpět. Bezděky tak zahájil „věk automobilů“.

A také z ropy, dosud nijak nevyhledávané, učinil surovinu číslo jedna.

BŮH ZVANÝ AUTOMOBIL

Na začátku dnešního „automobilového opojení“ bylo mnoho důmyslných a vytrvalých mužů posedlých myšlenkou nového dopravního prostředku. Jestli nelze na některé zapomenout, pak jsou to především **Karl Benz** (1844–1929) a **Gottlieb Daimler** (1834–1900). Takřka ve stejnou dobu postavili každý svůj již v praxi použitelný spalovací motor a rvali se s problémy, jako jsou karburátor, vhodné zapalování, dostatečný počet otáček a desítky dalších.

Roku 1866 zkoušel Benz svůj nový motor v trojkolce vlastní konstrukce. Jeho pokusy nevyvolaly takřka žádnou pozornost, a tak se jeho žena Berta rozhodla zasáhnout. Bez



Čtyřdobý zážehový motor (šestiválec s objemem 3 litry)

Moderní tryskové letadlo

vědomí manžela vypůjčila si podnikavá žena „rodinný automobil“ a se svými dvěma syny, patnáctiletým Eugenem a čtrnáctiletým Richardem, se vydala navštívit babičku. Celou cestu z Mannheimu do Pforzheimu a zpět, dlouhou 113 km, ujeli bez větších problémů.

Benze tento nesporný úspěch velmi povzbudil. Znovu se pustil do práce a roku 1893 dokončil již čtyřkolový automobil Viktoria (Vítězství), s kterým už prorazil i obchodně.

MOTORY PRO MILIONY

Již jsme si řekli, že hlavní předností spalovacích motorů proti jejich parním bratrancům je spalování paliva přímo v pracovním prostoru – ve válci.

Spalovací motory dnes dělíme na dvě základní skupiny – motory zážehové a vznětové. Do válce **zážehového motoru** je nasávána palivová směs – benzinové páry smíšené se vzduchem – a po stlačení pístem je směs zapálena. K zapálení směsi se užívá elektrická jiskra, která přeskočí na kontaktech automobilové zapalovací svíčky.

U vznětových motorů je do válce nasáván nejprve čistý vzduch. Ten je pístem prudce stlačen až na tlak okolo 4 MPa, což jej ohřeje na teplotu až 700 stupňů Celsia. V tom okamžiku se do horkého vzduchu ve válci vstříkne motorová nafta a ta se vysokou teplotou sama vznítí a shoří.

Otcem vznětového motoru byl německý inženýr **Rudolf Diesel** (1858–1913). Patent na nový typ motoru získal roku 1892, první prakticky využitelný „dieselův“ motor však spatřil světlo světa až za pět let. Od té doby doznal mnoha zlepšení. Původně byly tyto motory používány hlavně kvůli stabilitě pro pohon **generátorů** a jako velké lodní motory.

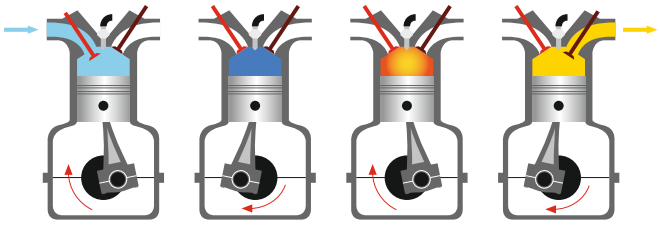
Rychle se rozšířily i do lokomotiv a nákladních automobilů, dnes se stále více uplatňují i v automobilech osobních. Sám vynálezce se dožil jen prvních úspěchů – jedné bouřlivé noci záhadně zmizel z paluby lodi přeplouvající Lamanšský kanál z Francie do Anglie.

SPALOVACÍ TURBÍNY

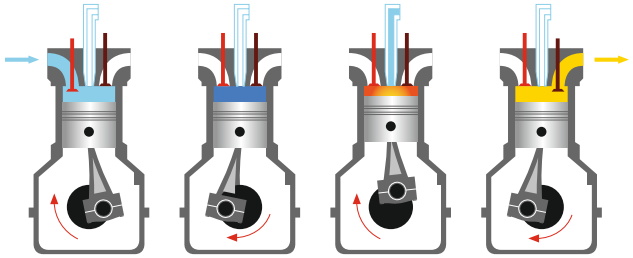
Stejně jako vodní kolo překonala vodní turbína a parní stroj turbína parní, také spalovací motory mají své následníky – spalovací turbíny. Jejich vítězství však není zdaleka tak jednoznačné jako v prvých dvou příkladech. Spalovací plynová turbína je motor s rotačním pohybem oběžného kola, na jehož lopatky působí horký plyn. Bývají to většinou výfukové plyny spalovacích motorů. Stejně jako pístové motory, rozdělujeme i spalovací turbíny na **zážehové** a **vznětové**.

Turbíny dnes téměř úplně vytlačily pístové motory v letectví. Umožňují totiž mnohem menší rozměry motoru a jsou i jednodušší.

Na silnicích se však zatím neuplatnily, mají totiž mnohem vyšší spotřebu paliva. Aby pracovaly hospodárně, musejí jít stále na plný výkon a to na zemi není možné. Snad se časem prosadí na železnici nebo



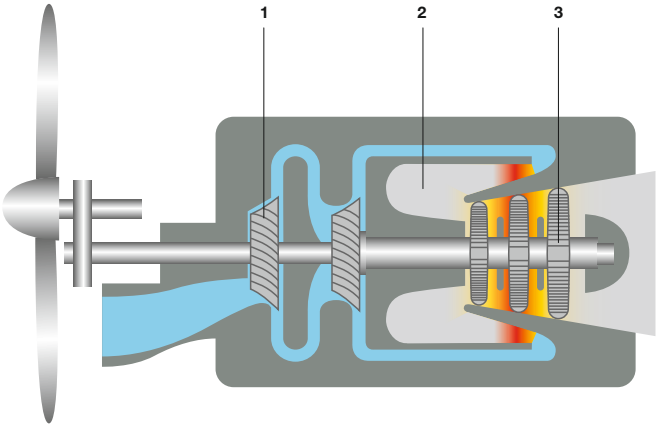
Princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru. Základem činnosti zážehového motoru je jeho pracovní oběh. U čtyřdobých motorů proběhne sled všech fází za 4 zdvihy pístu, tj. za dvě otáčky klikové hřídele.
(1) Sání – píst jde do dolní úvrati. Nad pístem vzniká podtlak, který způsobuje, že směs paliva a vzduchu vniká otevřeným sacím ventilem do prostoru válce.
(2) Stlačování – píst jde do horní úvrati a směs je stlačována až na 1,1 MPa. Před dosažením horní úvrati (předstih) přeskočí na elektrodách zapalovací svíčky elektrická jiskra, od které se směs zapálí.
(3) Rozpínání – hořením směsi vzniká teplota až 4 000 °C, která způsobí prudké stoupnutí tlaku až na 5 MPa. Rozpínající se plyn tlačí na píst.
(4) Výfuk – před dolní úvratí se začne otevírat výfukový ventil a spálené plyny odcházejí výfukovým potrubím.



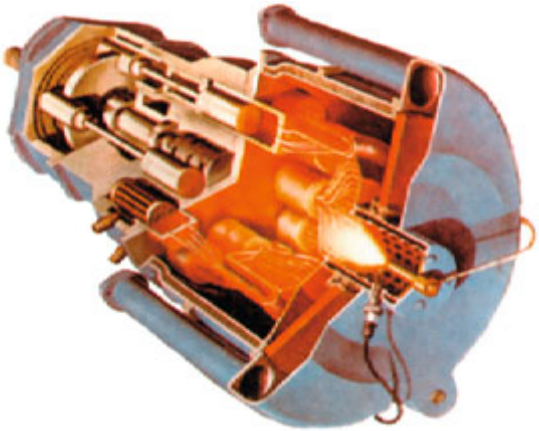
Princip činnosti čtyřdobého vznětového motoru.
(1) Píst nasává vzduch do válce otevřeným sacím ventilem.
(2) Ventil se uzavírá a píst stlačuje vzduch (až na 5 MPa), což způsobuje jeho ohřátí (až na 700 °C).
(3) Při maximálním stlačení se vstříkne palivo (tlakem 7 až 30 MPa) a jemně rozptýlené se vznítí, plyny tlačí píst dolů.
(4) Výfukový ventil se otevře a píst vytlačí spálené plyny z válce.

Dieselové motory se uplatňují i v kolejové dopravě

Usazování dieselagregátu, záložního zdroje energie v Jaderné elektrárně Temelín



Plynová turbína. Vzduch vstupuje sacím hrdlem do kompresoru (1), z něhož je vytlačován do spalovacích komor (2). Zde se do něj rozprašuje palivo. Teplem vzniklým při jeho spalování se několikanásobně zvětší objem spalin, které velkou rychlostí proudí do turbín (3). Při průchodu jim předávají značnou část energie a potom vystupují zmenšenou rychlostí do ovzduší.



Stirlingův motor. Válce s dvojčinnými písty jsou uspořádány axiálně kolem hnacího hřídele s šikmou plochou. Ohřívač s jednou tryskou je pro všechny hlavy společný.

u těžkých nákladních tahačů, kde je velký výkon prvořadým kritériem. Zatím byly v praxi použity jen u závodních vozů, například ve Formuli 1 použili spalovací turbínu Pratt and Whitney ve voze Lotus. Vůz se spotřebou až 160 l paliva nedojel však v seriálu F1 na lepším místě než osmém.

NEOBVYKLÁ PALIVA

Běžnými palivy pro miliony spalovacích motorů, hýbajících dnes celým světem, jsou motorová **nafta** a **benzin**, získávané z přírodní ropy. Z ropy se získává i letecký benzin a také palivo pro trysková letadla – v podstatě obyčejný **petrolej**. Benzin se dá ovšem v případě nouze vyrábět i z uhlí. V době 2. světové války, kdy nemělo Německo přístup ke zdrojům ropy, byl benzin vyráběn z hnědého uhlí i na našem území. Některá civilní vozidla používala v té době ještě kurióznější palivo – **dřevoplyn**. Do běžných benzinových motorů byl přiváděn místo benzinové směsi plyn, vyráběný v jakési příruční plynárničce.

Tvořila ji malá válcová pec z ocelového plechu. Na jejím roštu se nedokonale spalovalo dřevo nebo dřevné uhlí. Vrstvou rozžhaveného paliva byl veden vzduch a vodní pára. Vzniklá směs hořlavých plynů (vodíku a kysličníku uhelnatého) se nasávala do válců motoru.

Modernějším palivem je směs **propanu** a **butanu**, plynů vznikajících při zpracování **ropy**. Stejně jako se dá pomocí propanbutanových bomb vařit či svítit, dá se na ně i jezdit. Z hlediska znečišťování ovzduší je to dokonce výhodnější – proto se automobily s motory na toto palivo užívají třeba v centrech velkých měst nebo v lázních – ale z ekonomických i technických důvodů nelze předpokládat, že by to byla paliva budoucnosti.

U některých motorů byl s úspěchem použit jako palivo i líh nebo benzen. Zkoušela se dokonce i směs jemného uhelného prášku se vzduchem. Ne že by motor neběžel, ale teorie, experiment je jedna věc a běžná praxe druhá.

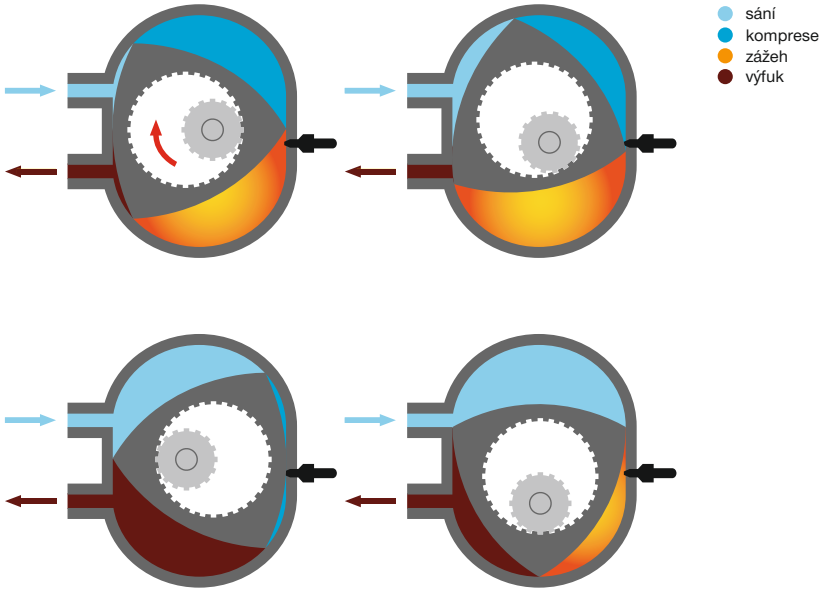
NEOBVYKLÉ MOTORY

Po neobvyklých palivech zaměřme svou pozornost i na ne zcela běžné motory. Kmitavý pohyb pístu ve spalovacích motorech způsobuje totiž často konstruktérům těžkou hlavu. Hledal se proto motor, ve kterém by se píst nepohyboval stále sem a tam, ale plynule kroužil. Vzniklo několik řešení, ale v praxi se uplatnil zatím jen motor německého konstruktéra **F. Wankla**. Má malé rozměry, snáší i podřadná paliva, zaručuje klidný chod. Nevýhodou je obtížné utěsnění pracovního prostoru, ve kterém rotuje píst.

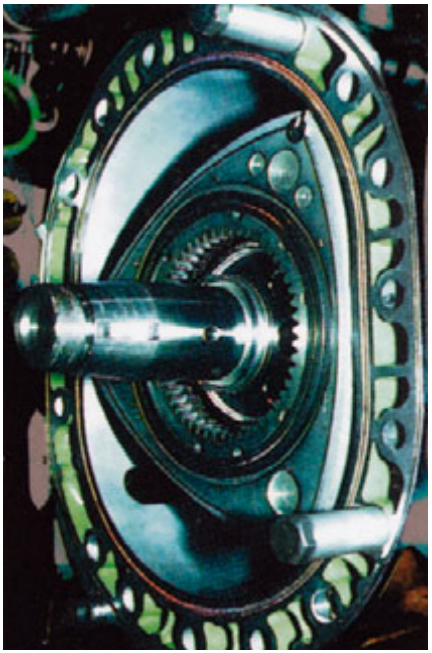
Zatímco Wankelovy motory se do automobilů některých typů skutečně montovaly, tzv. **rotační motor s posuvnými písty** zůstává dosud ve stadiu pokusů. Uvidíme.

Už v roce 1916 sestrojil skotský vynálezce R. Stirling originální motor, ve kterém spalování probíhalo mimo válec.

Jeho vynález upadl na dlouhá léta v zapomenutí, až v 60. letech se konstruktéři k němu opět vrátili. V 70. letech jej testovali



U Wankelových motorů probíhají vlastní fáze sání, komprese, práce a výfuku současně. Na obrázku jsou rozlišeny různými barvami.



Motor s rotačním pístem

dokonce v koncernu Ford a zjistili, že má nejlepší parametry v čistotě výfukových plynů. V té době se ovšem tímto problémem zabývaly již i ostatní renomované automobilky a zejména japonské firmy vyvinuly motory, které jsou velmi „čisté“ a přitom jejich hromadná výroba je technologicky jednodušší než zcela nové, nezvyklé konstrukce.

ZEMNÍ PLYN

Energii skrytou v zemním plynu začali jako první využívat staří Číňané, a to údajně již před třemi tisíci lety. Už tenkrát dokázali plyn z mělce uložených ložisek těžit a pomocí dutých bambusových trubek rozvádět na místo určení. Užívali ho především ke svícení a vytápění. Starověké znalosti však upadly na dlouhá léta do zapomnění, a tak jsme si na novou éru plynu museli počkat až do 18. století.

VĚK SVÍTIPLYNU

O počátcích výroby svítiplynu jsme se již zmiňovali v souvislosti se zrodem spalovacích motorů. Ve Francii byl jeho průkopníkem **P. Lebon**, v Anglii skotský inženýr **W. Murdock** (1754–1839). Plyn se užíval především k osvětlování.

Plynárny ve městech i městečkách rostly jako houby po dešti. **Plynové lampy** svítily zpočátku prostým plamenem hořícího plynu, později se začaly používat tzv. punčošky – jemná kovová sítka, která plynový plamen rozžhavil doběla.

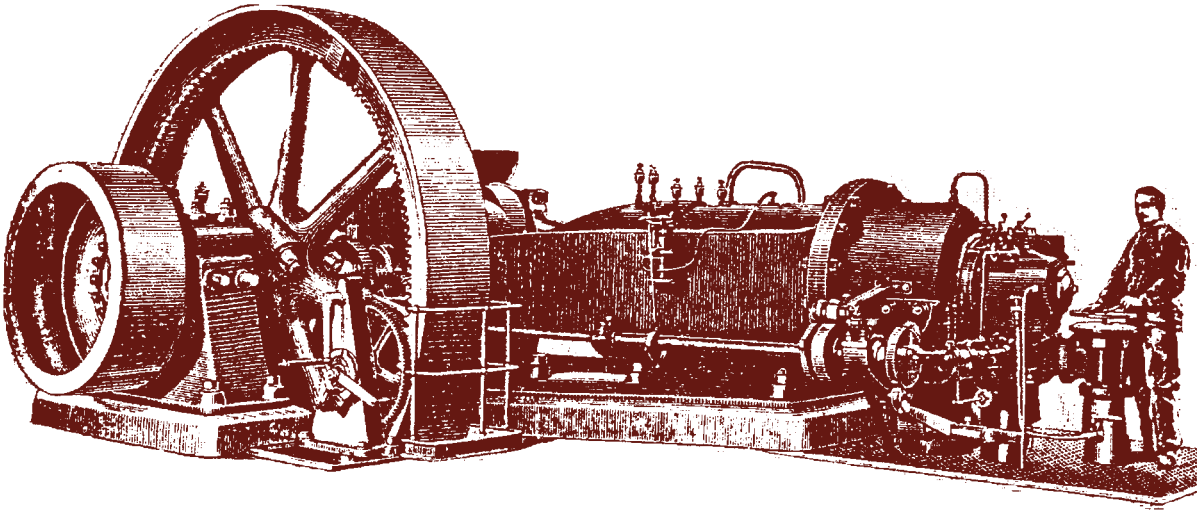
Tyhle lampy svítily mnohem jasněji, ale ani to je nezachránilo.

Stejně jako malé plynové motory, ani plynové osvětlení si nedokázalo poradit s konkurencí **elektrického proudu**. Například v Praze byly poslední pouliční plynové svítilny zrušeny koncem 50. let. Dnes se někde zavádějí zpět jako atrakce pro turisty.

PLYNOVÉ TEPLO

Mezitím se však pro plyn našlo nové uplatnění. V letech po 1. světové válce se začal široce využívat k vaření a také čím dál tím víc i pro vytápění. V posledních desítiletích se stále více využívá místo plynu vyráběného z uhlí v plynárnách zemního plynu. Byla objevena obrovská ložiska plynu, často doprovázející ropná ložiska.

Moderní technika umožnila dopravu plynu plynovody na vzdálenosti mnoha tisíc kilometrů. A tak si dnes, aniž si to

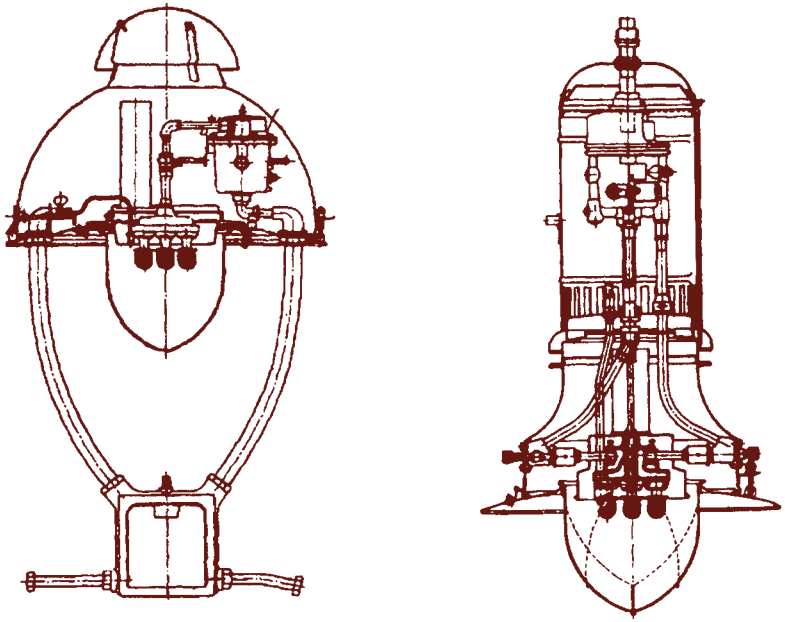


Tento mohutný stabilní plynový motor byl poháněn plynem vzniklým při procesech tavení ve vysoké peci

uvědomujeme, vaříme kávu nad plamenem hořícího plynu, který k nám „přitekl“ až z dalekých ruských plání.

Zemní plyn je velmi čisté palivo. Je proto velmi výhodné užívat ho pro vytápění ve velkých městech i jako palivo v elektrárnách. Při všech jeho výhodách však nesmíme zapomínat, že jeho zásoby na Zemi jsou sice velké, ale nikoli nevyčerpatelné. Je to bohatství, které jsme zdědili, a neměli bychom je marnotratně vyplýtvat, ale naopak zanechat ho v co největší míře našim potomkům, kteří si s ním třeba už budou umět poradit racionálněji než my.

Energie ukrytá ve fosilních palivech umožnila lidstvu vytvořit technickou civilizaci – mnohonásobně zvýšit lidskou sílu, zkrátit vzdálenosti, zrychlit tempo života, snížit závislost člověka na přírodních podmínkách, udělat jeho život pohodlnějším. Záleží však jen na nás, jestli tento život bude také hodnotnější a šťastnější. Vždyť žádné vynálezy světa a sebemohutnější zdroje energie nemohou udělat lidi lepšími.



Plynové světlo dokázalo rozsvítit nejen domovy, ale i ulice. S plynovými „kandelábry“ jsme se třeba v Praze mohli setkat ještě v 60. letech tohoto století.

Uhelná elektrárna Prunéřov – rypadlo na skládce paliva

Elektrárna Ledvice podle vize architektů

VE STÍNU KOMÍNŮ

Elektrická energie se spalováním uhlí získává v uhelných elektrárnách. Uhelné elektrárny dělíme na kondenzační a na teplárny. Výroba elektrické energie v moderních elektrárnách je složitý technologický proces, na jehož konci je nejen elektrická energie, ale i produkty vzniklé spalováním uhlí, které se podílejí na znečišťování ovzduší. Jejich odstraňování je důležitým úkolem energetiků. Další cestou ke zvýšení účinnosti uhelných elektráren a současně ke snížení škodlivin je využití nejmodernějších zařízení a technologických postupů.

UHELNÉ ELEKTRÁRNY

V uhelných elektrárnách se spalováním získává tepelná energie, která se předává vodě. Vyvíjí se pára, ta roztáčí parní turbínu a ta zase alternátor vyrábějící elektřinu. Na stejném principu pracují vedle uhelných elektráren i elektrárny spalující mazut nebo zemní plyn.

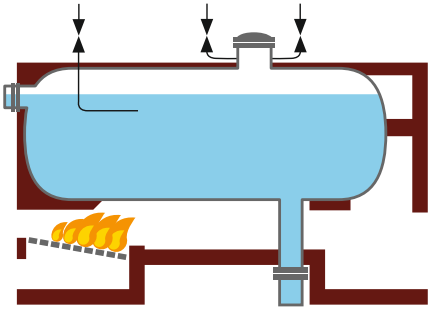
Klasické tepelné elektrárny se v zásadě dělí na dva typy, na elektrárny **kondenzační** a na **teplárny**. Kondenzační elektrárny slouží pouze k výrobě elektrické energie. To znamená, že veškerá pára přivedená do turbíny po vykonání práce zkondenzuje na vodu v kondenzátoru. Teplárny na rozdíl od kondenzačních elektráren dodávají kromě elektrické energie i energii tepelnou na vytápění, ohřev vody apod. To znamená, že ještě horká pára je z turbíny vedena dále k tepelným spotřebičům. Výhodou tepláren je vyšší hospodárnost, nevýhodou naproti tomu je skutečnost, že elektrický výkon závisí na okamžitém množství páry odebírané tepelnými spotřebiči. Právě proto se teplárny nikdy nestaly základními výrobnami elektřiny pro energetické systémy. Jejich další nevýhodou je skutečnost, že je lze budovat pouze v místech koncentrovanější spotřeby tepla, což bývá zejména ve větších městských či průmyslových aglomeracích. Základními výrobnami elektrické energie u nás jsou tedy kondenzační elektrárny.

PROVOZ ELEKTRÁRNY

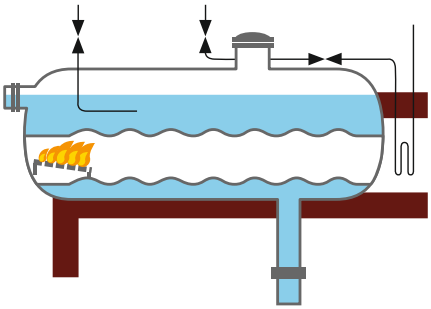
Provoz v tepelné kondenzační elektrárně je složitý proces. Tvoří jej několik technologických okruhů: okruhy paliva, vzduchu a kouřových plynů, strusky a popela, vody a páry a okruh výroby elektřiny.

UHLÍ

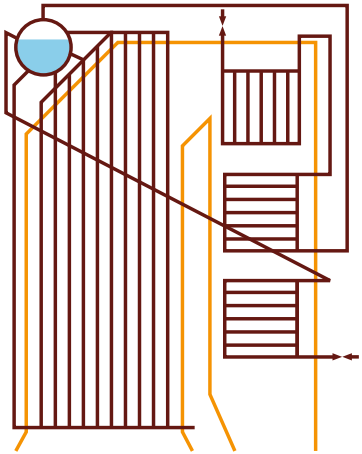
Celý řetěz výroby elektřiny v klasické tepelné elektrárně začíná **uhelným hospodářstvím**. Uhlí lze rozdělovat podle různých vnějších znaků, ale i podle dalších parametrů, jako je například spalné teplo, obsah prchavé hořlaviny, petrografické složení apod. Žádné z těchto kritérií ale neumožňuje samo o sobě bezpečně rozlišit jednotlivé druhy, protože mezi nimi není ostrý přechod. Spokojme se tedy se zásadním rozdělením uhlí do tří hlavních skupin: uhlí hnědé, uhlí černé a antracit. Většina uhelných elektráren ČR spaluje tzv. hnědé energetické uhlí, což je vlastně nízkokalorické hnědé uhlí.



Kotel válcový



Kotel plamencový



Moderní parní generátor (kotel) na vysoké výkony

Do elektrárny se uhlí dopravuje pásovými dopravníky, po železnici nebo loděmi. Pásové dopravníky lze použít pouze v případech, kdy je elektrárna postavena v blízkosti dolu, jako je tomu například v Tušimicích.

Většina elektráren využívá železnici. K zajištění provozu na jediný den je zapotřebí v průměru deseti vlaků uhlí o třiceti vagónech. Spotřeba uhlí závisí na jeho výhřevnosti. Velmi přibližně lze říci, že na jednu vyrobenou MWh se spálí přibližně 1t uhlí.

Uhlí, které se do elektrárny dopraví, se musí před použitím nejprve upravit. Projde drticí stanicí a uhelnými mlýny, ve kterých se mele na jemný prášek. Vlhké palivo se špatně mele, a proto se musí sušit. Suší se buď před mletím, nebo přímo za mletí. Čím je prášek jemnější, tím je spalování podobnější spalování plynu. Ventilátory pak uhelný prášek spolu se vzduchem vhánějí do hořáků kotle. Ve spalovací komoře palivo shoří. Původně se uhlí spalovalo na roštech, jak je známe například z pokojových kamen. Ale vzrůstající potřeba spalovat ve stále větším množství nekvalitní uhlí vedla ve dvacátých letech tohoto století k dalšímu vývoji ohnišť. **Roštové ohniště** je vhodné pro elektrárny s omezeným výkonem (až asi do 150 t/h páry). **Práškové ohniště** dokáže spálit palivo s obsahem popele až do 55 % s účinností vyšší než ohniště roštová.

Největším technickým problémem, který museli konstruktéři práškových ohnišť řešit, byl vysoký úlet popílku do ovzduší, a snadné nebylo ani vyvinout vhodný způsob podávání uhelného prášku do hořáků.

Moderním a velmi účinným způsobem spalování je spalování fluidní. To vyžaduje sice výstavbu nových typů spalovacích zařízení, ale zato přináší výhody v menším množství škodlivých látek v kouřových plynech. Fluidnímu spalování se říká rovněž **spalování ve vznosu**. Jeho základní princip je jednoduchý. Vychází z poznatku, že jemně mleté uhlí se v proudu vzduchu a ve vhodně zvoleném tvaru spalovacího prostoru chová jako vroucí kapalina.

Částice uhlí jsou obaleny vzduchem a proces hoření je pak velmi rychlý. Navíc je snadno regulovatelný přimícháváním spalin a popele zpátky do hořící vrstvy tak, aby spalovací teploty byly v rozmezí 700–900 °C.

Po shoření paliva padá část popela do spodního prostoru ohniště jako struska. Odtud se po zchlazení vodou a případném drcení dopravuje do zásobníků a dále pak potrubím, vyloženým čedičem, na skládku, které se říká **odkaliště**. To je součástí elektrárny. K ukládání popela se používají přírodní prohlubně po vytěžené nerostné surovině nebo staré lomy. Z popele a otrusky se dnes vyrábějí tzv. vedlejší energetické produkty.

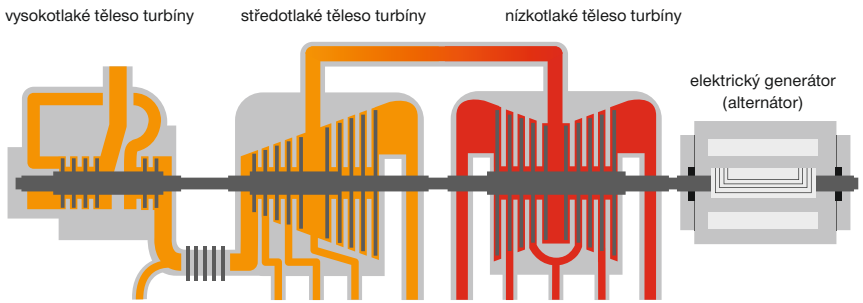
Část popela je ale v podobě jemných částeček unášena ve spalinách. Aby neznečišťovala ovzduší, je dnes popílek zachycován v elektroodlučovačích. Součástí moderních elektráren jsou ještě další zařízení, v nichž se ze spalin oddělují oxidy síry a dusíku.

VZDUCH

Aby se dosahovalo dobrého hoření, je ventilátory přiváděn do spalovací komory spolu s rozemletým uhlím i vzduch. Množství přiváděného vzduchu závisí na chemickém složení paliva. Pro lignity je spotřeba vzduchu nižší, pro kvalitní, černé uhlí je nejvyšší. Orientačně se uvažuje, že pro výrobu 1 kWh elektřiny se spotřebuje asi 1 kg paliva, z něhož vznikne 7m^3 plynů.

VODA A PÁRA

Voda, která obíhá v hlavním uzavřeném okruhu kotel–turbína–kondenzátor–kotel, je



Řez parní turbínou

Biologická čistírna vody v Elektrárně Mělník

chemicky upravená, aby v ní nebyly žádné zbytky minerálů a aby nepůsobila korozi oceli. Proto je součástí každé elektrárny chemická úpravna vody a chemické laboratoře.

Voda je do kotle dodávána napájecími čerpadly. V kotli se voda ohřívá při tlaku dosahujícím až 20 MPa a vypařuje se.

Nejstaršími a nejjednoduššími byly válcové kotle, u nichž kotel tvořil nýtovaný buben o velkém průměru (do 2,5 m) a délce (do 10 m). Výhřevnou plochou byla spodní stěna bubnu ohraničená vyzdívkou vnějšího roštového ohniště a tahy, kterými procházely spaliny do komína.

Kotle plamencové měly větší výhřevnou plochu při zachování stejné velikosti bubnu jako u kotlů válcových. Plamenec se nazývá vlnitá trouba umístěná do vnitřku kotle. Roštové ohniště je uvnitř plamence, plamenec je obklopen vodou kotle.

Kotle trubkové (nebo **žárotrubné**) jsou dalším stupněm ve vývoji kotlů. Jsou to vlastně válcové kotle, do jejichž vodního prostoru jsou zaválcovány bezešvé trubky, kterými proudí horké spaliny.

Pro uvedené kotle je charakteristický velký vodní obsah a naopak malá výhřevná plocha. Bylo proto třeba vyvinout energetické kotle, u nichž by se výhřevná plocha dostatečně zvětšila. Toho se docílilo tím, že výhřevná plocha je tvořena z varných trubek vytápěných zevně spalinami. V trubkách obíhá kotelní voda a vzniká pára. Kotle měly nejprve přirozený oběh vody a šikmé uspořádání trubek, později nahrazené trubkami strmými. Při velkém zatížení kotle se ale mohlo stát, že v části trubky se utvořila pára a trubka zůstala suchá, což někdy vedlo k vyboulení trubky a za určitých okolností k jejímu prasknutí. Tuto nevýhodu odstraňují kotle s nuceným oběhem nebo průtokem vody, tzv. kotle průtlačné.

Sytá pára, která vzniká pouhým varem vody, však obsahuje příliš málo energie, a proto se dále ohřívá spalinami v tzv. přehřívácích na teplotu sahající až k 550 °C. Tato tzv. **ostrá pára** pak proudí potrubím do turbíny.

Energii předává nejdříve ve vysokotlakém díle parní turbíny, poté v nízkotlakém díle. Aby se dosáhlo co nejvyšší účinnosti, zavádí se pára po průchodu částí turbíny zpět do kotle k tzv. **mezipřihřátí**, při kterém se opět zvýší její teplota, a pak se znovu zavede do středotlaké a nízkotlaké části turbíny.

V prvních uhelných elektrárnách se při výrobě elektřiny používaly pístové parní stroje a dynama, stejnosměrné generátory. Vynález turbín znamenal v elektrárenství velký pokrok. U jejich zrodu stáli Švéd **Gustav Laval** (1883) a Brit **Charles Algernon**

Strojovna Elektrárny Hodonín s turbínou 55 MW

Zařízení strojovny Elektrárny Dětmarovice

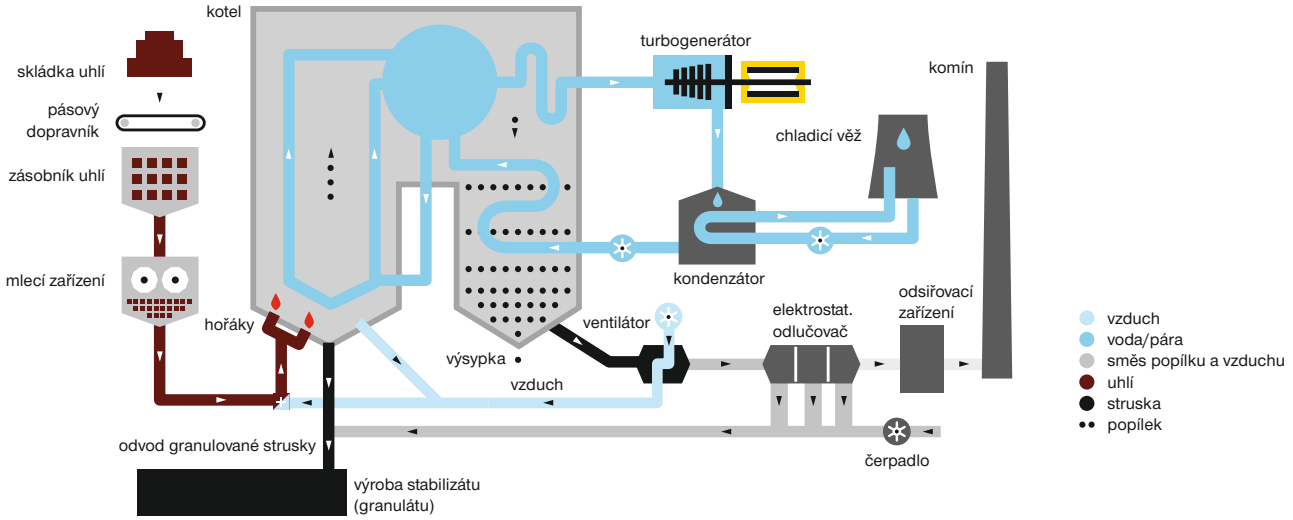


Schéma uhelné elektrárny

Parsons (1884). Zatímco Lavalova turbína byla **rovnotlaká** (což znamená, že se tlak páry při průchodu oběžným kolem turbíny nemění), Parsonsova turbína je **přetlaková, reakční** (pára částečně expanduje v oběžném kole).Obě turbíny lze kombinovat. Rozváděcí ústrojí s příslušným oběžným kolem se označuje jako stupeň. Parní turbíny bývají mnohostupňové. Výhodou parních turbín oproti pomaleji pracujícím pístovým parním strojům je hlavně jejich vyšší účinnost a jednoduchost.

Když pára odevzdala při průchodu turbínou využitelnou energii, přichází do kondenzátoru. Kondenzátor je veliká nádoba, kterou proudí v trubkách chladicí voda vnějšího chladicího okruhu. Pára, která přichází z turbíny, a jejíž teplota je přibližně 40 °C, se dotykem se studenými trubkami chladicího okruhu ochlazuje a kondenzuje – mění se zpátky ve vodu. Z kondenzátoru se voda (odborně **kondenzát**) přivádí čerpadly znovu do kotle. Kondenzační teplo odebrané páře v kondenzátoru se musí chladicí vodou ve vnějším okruhu někam odvést. Je-li v blízkosti elektrárny velká řeka, odvádí se do řeky. Pak hovoříme o průtočném chlazení. Tam, kde tato možnost není, se voda odvádí do chladicích věží a ochladí se protitahem vzduchu. V obou případech je teplo zcela bez užitku ztraceno.

Chladicí věže jsou dvojího druhu:

- s nuceným prouděním vzduchu, tzv. ventilátorové (používané u starších druhů elektráren),
- s přirozeným tahem, tzv. komínové, většinou hyperbolického tvaru.

VÝROBA ELEKTŘINY

Kdysi se k výrobě elektřiny používaly stejnosměrné generátory, dynama. Později byly nahrazeny alternátory vyrábějícími přímo střídavý proud. Střídavý proud má proti stejnosměrnému velkou výhodu.

V transformátorech lze totiž zvýšit jeho napětí, a tím předejít ztrátám způsobeným odporem vodiče při rozvádění elektřiny na velké vzdálenosti. Hřídel alternátoru je připojena ke hřídeli turbíny. Celá jednotka se otáčí rychlostí 3 000 otáček za minutu. Elektřina vyrobená z generátoru má napětí 10–15 kV podle velikosti generátoru. Vede se do **blokového transformátoru** a transformuje se na velmi vysoké napětí. U většiny velkých elektráren je to 400 kV. Od vývodového blokového transformátoru se odvádí venkovním vedením do rozvodné sítě.

BLOKY

Zmínili jsme se o blokovém transformátoru, povězme si tedy, co to je **blokové uspořádání elektrárny**. S tím, jak se spotřeba elektrické energie postupně zvyšovala, stavělo se v elektrárnách víc kotlů, turbín a generátorů. Později se přešlo na tzv. blokové uspořádání elektráren. Elektrárenský blok znamená v podstatě samostatnou výrobní jednotku elektřiny sestávající z jednoho kotle, navazující turbíny a příslušenství, generátoru, odlučovačů popílku, chladicí věže a blokového transformátoru. Celá elektrárna se skládá z několika bloků, které mají společnou pouze správní budovu, uhelné hospodářství, vodní hospodářství, komín a společnou

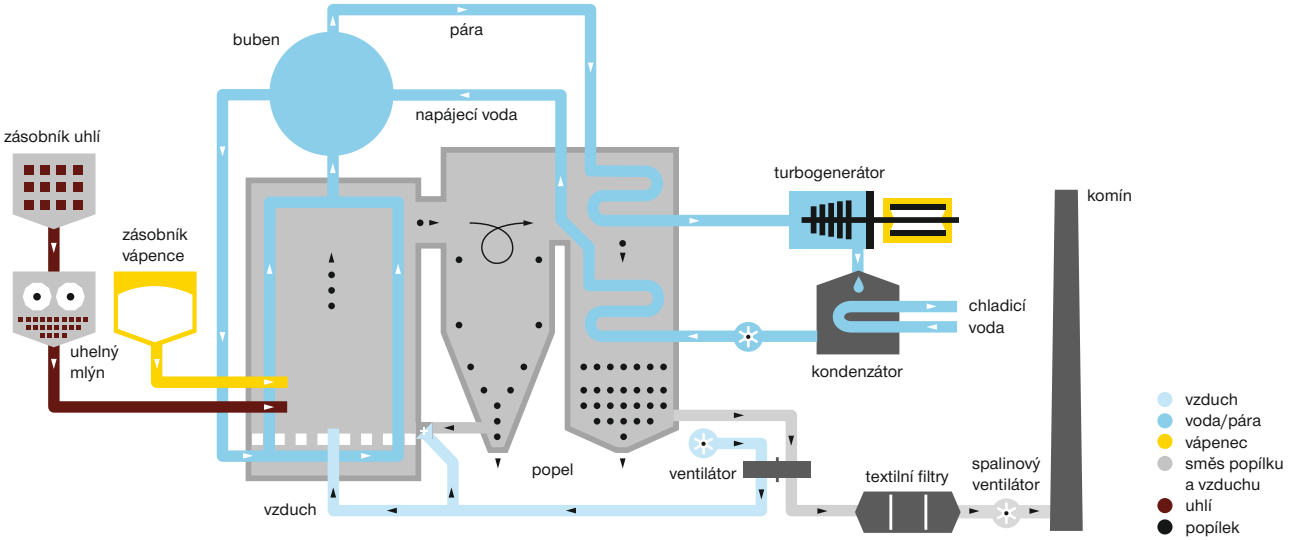


Schéma fluidního spalování

elektrickou síť za blokovými transformátory, do které dodávají vyrobenou energii.

Blokové uspořádání elektrárny přináší řadu výhod. Podle potřeby lze blok či několik bloků odstavit, aniž by se výrazně ohrozily dodávky elektrické energie do rozvodné sítě. V poslední době dochází ke zcela plánovitému odstavování starších bloků a jejich nahrazováním modernějšími. Dnes už je prokazatelné, že v důsledku tohoto a dalších opatření došlo k výraznému zlepšení stavu životního prostředí.

FÁZOVÁNÍ ALTERNÁTORU

Všechny větší uhelné, ale i vodní a jaderné elektrárny jsou propojeny sítí elektrického vedení. Tato soustava s **velmi vysokým napětím** 220 kV a 400 kV dopravuje velké elektrické výkony od elektráren přes rozvodny do napájecích uzlů v krajích a okresech, odkud se po snížení napětí na 110 kV nebo 22 kV dostávají tzv. **distribuční sítí** až k odběratelům, kde se napětí dále transformuje.

K tomu, abychom mohli alternátor vyrábějící elektrickou energii připojit přes transformátor k této elektrizační soustavě, musí mít vyráběná elektřina stejné parametry jako ta, která již v ní teče. Alternátor je proto třeba **nafázovat**. Při fázování se používají dva způsoby: **přesné fázování (přesná synchronizace)** anebo **asynchronní fázování (samosynchronizace)**. Při přesném fázování musí dávat alternátor stejně velké napětí, jako je napětí v síti, nesmí být mezi oběma fázový posun a naopak kmitočet a sled fází napětí alternátoru musí odpovídat napětí sítě. Při samosynchronizaci se nenabuzený alternátor roztočí na otáčky blízké synchronním, zapne se na síť a okamžitě se přibudí. Altemátor se tím sám vtáhne do synchronismu.

EMISE A IMISE

Vyrobit potřebné množství elektrické energie bez klasických tepelných elektráren není zatím možné. Uhelné elektrárny však bohužel zatěžují životní prostředí zejména oxidem uhličitým, siřičitým, oxidy dusíku a oxidy některých aromatických uhlovodíků. Práškovým spalováním dochází k značnému úletu popílku. Všechny tyto látky, které jsou vypouštěné ze zdroje, nazýváme emisemi.

Imise jsou přízemní koncentrace vypouštěných látek (přibližně do výše 1,8 m). Do prostředí se dostávají někdy i ze vzdálených zdrojů znečištění ovzduší. Pro hodnocení a zdraví lidí jsou rozhodující imise. Vysoké komíny elektráren sníží tedy imisi škodlivých látek ve svém okolí, ale celková emise škodlivin zůstává nezměněna. Pouze dojde k rozptýlení kouřových plynů s obsahem oxidů a popílku na větší území, často přesahující i hranice států. Na druhou stranu za špatné životní prostředí nemohou jen škodliviny pocházející z velkých elektráren, ale spolu s nimi, a to více jak z poloviny, se na něm podílejí lokální topeniště, automobily, chemický průmysl atd. Proces spalování v elektrárnách je, na rozdíl od vytápění domácností, přesně regulován. Kromě toho existuje řada možností, jak negativní dopad uhelných elektráren na životní prostředí co nejvíce omezovat.

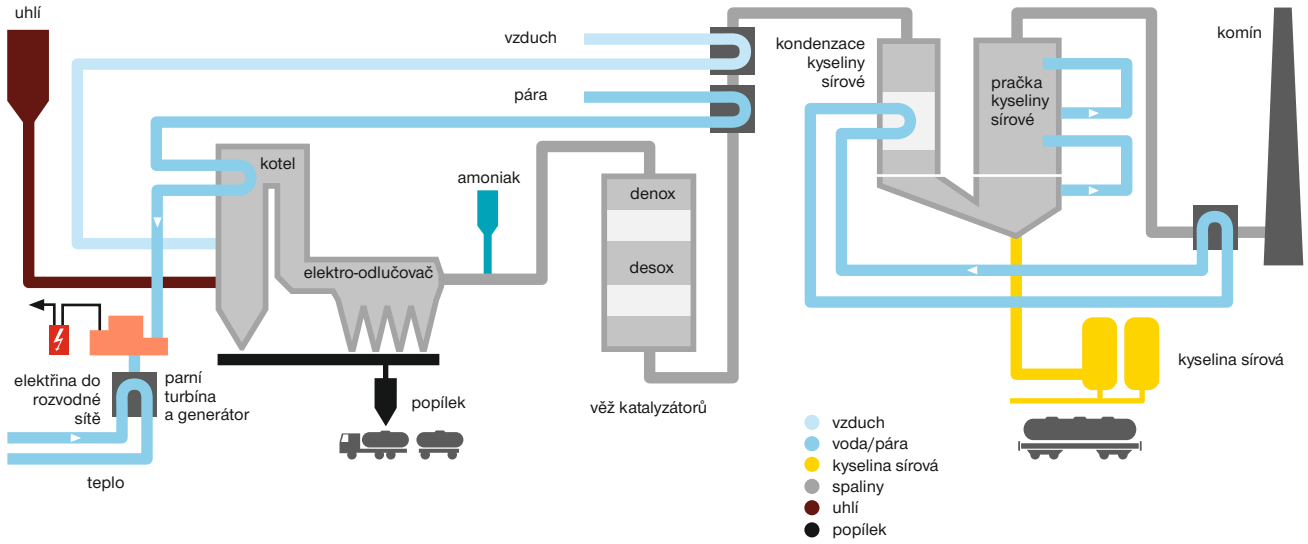


Schéma DENOX katalyzátoru

ODSTRANĚNÍ OXIDŮ SÍRY

Mezi nejškodlivější látky, které se mohou dostat spalinami do vzduchu, patří oxidy síry. Síra se v uhlí vyskytuje ve dvou formách: z menší části v anorganických sloučeninách (pyrity, sirníky), z větší části ve formě organických sloučenin. Právě organické látky obsahující síru se při spalování oxidují na oxid siřičitý SO_2.

Devadesát procent množství oxidu siřičitého je unášeno spolu se spalinami komínem do ovzduší, kde z něj působením vlhkosti a slunečního záření vzniká kyselina sírová, která v podobě tzv. kyselých dešťů překyseluje půdu, snižuje možnost přísunu živných látek do listů a jehliček stromů, a tak vede k odumírání lesů. Kyselé deště působí nepříznivě i na zdraví lidí, poškozují stavební konstrukce, zejména vápenec a mramor, v půdě rozpouštějí těžké kovy, které se pak s vodou dostanou do živých organismů, člověka nevyjímaje.

Velmi důležitým krokem k ozdravení životního prostředí je odsíření uhelných elektráren. Chemicky lze odsířit jak palivo, tak kouřové plyny. Protože odsíření uhlí před spalováním by bylo ekonomicky příliš náročné, odsiřují se v praxi pouze kouřové plyny. Metody, které se k odsíření používají, se rozdělují do tří skupin: na suché, polosuché a mokré.

Při suché metodě se přidává mletý vápenec do ohniště, kde se teploty plynů pohybují kolem 900–1 200 °C. Vápenec $CaCO_3$ se tepelně rozkládá na oxid vápenatý a oxid uhličitý. Část oxidu siřičitého ve spalinách reaguje s oxidem vápenatým na siřičitan vápenatý $CaSO_3$. Kouřové plyny se tak zbaví 30–40 % síry. Proto se tato metoda rozšiřuje o další technologie, které umožňují např. vstřikováním vody reakci oxidu vápenatého na hydroxid vápenatý, který reaguje se zbytkem oxidu siřičitého ve spalinách na siřičitan vápenatý. Ten se dále oxiduje na síran vápenatý, čímž může účinnost stoupnout až na 70 %.

Mokrá vápencová metoda spočívá ve vypírání kouřových plynů absorpční suspenzí, která obsahuje vodu, práškový vápenec $CaCO_3$, rozpuštěné siřičitanové ionty SO_3^{2-} a hydrogensiřičitanové HSO_3^- a oxid uhličitý. Oxidací vzniká tzv. energosádrovec $CaSO_4 \times 2\ H_2O$, který lze dále využít, např. ve stavebnictví. Touto metodou bude odsířena většina velkých elektrárenských bloků u nás.

Při polosuché metodě se rozprašuje vodní suspenze páleného vápna nebo vápenného hydrátu do kouřových plynů. Reakcí s kyselými složkami spalin vzniká siřičitan vápenatý a síran vápenatý.

ODSTRANĚNÍ OXIDŮ DUSÍKU

Mezi látky ohrožující zdraví lidí patří rovněž oxidy dusíku. Při spalování uhlí (ale i mazutu) za vysokých teplot vznikají oxidací paliva se spalovacím vzduchem oxidy dusíku. V kotlích elektráren vzniká především oxid dusnatý, měnící se na dioxid dusíku NO_2. Vedle něj se vyskytuje oxid dusitý a dusičnany. Ustálil se zvyk označovat souhrnně všechny oxidy dusíku jako NO_x.

Oxidy dusíku zvyšují škodlivé účinky oxidu siřičitého a stejně jako on napadají

Skládka uhlí v Elektrárně Chvaletice

Odsířená Elektrárna Počerady

sliznice dýchacích orgánů a devastují lesy. Podle lékařů a hygieniků jsou oxidy dusíku asi 6 až 10× nebezpečnější než oxid siřičitý.

Většina oxidů dusíku v ovzduší dnes pochází z výfuků automobilů. Emise oxidů dusíku lze snížit již optimalizací spalování a snížením spalovacích teplot. Velmi efektivním zařízením je fluidní ohniště, neboť spalování ve fluidní vrstvě probíhá při teplotách v rozmezí 800–900 °C, při kterých se tvoří podstatně méně oxidů dusíku než při běžném spalování. Fluidní kotle tedy odstraňují oxidy síry i oxidy dusíku zároveň.

Další cestou vedoucí ke snížení koncentrací NO_x je vložení katalyzátoru do kouřových plynů. Jejich pomocí probíhá katalytická redukce, při které vzniká čistý dusík a vodní pára. Zařízení pro katalytickou redukci se říká **Denox filtry**.

OXID UHLIČITÝ

Při **spalování** vzniká kromě oxidu siřičitého a oxidů dusíku i oxid uhličitý. Přestože je tento plyn nejedovatý, je nebezpečný tím, že se podílí na tzv. skleníkovém efektu. Zvyšování jeho množství v atmosféře by mohlo způsobit celkové oteplování a tím rozpouštění polárních ledovců, stoupnutí hladiny oceánů a další jen těžko předvídatelné klimatické změny a přírodní pohromy. V současnosti ale neexistuje žádná metoda, která by v praxi dokázala CO_2 ze spalin úplně odstranit.

OXID UHELNATÝ

Na rozdíl od oxidu uhličitého únik jedovatého oxidu uhelnatého (CO) lze optimálním spalováním podstatně snížit.

POPEL

Vedle plynů vzniká při spalování uhlí popel. Popel je směs různě velkých částic. Více než tři čtvrtiny z celkového množství popela se vyskytují ve formě prachu se zrnitostí od tisícin milimetru do jednoho milimetru. Tato část je zachycována v elektrostatických odlučovačích, v nichž se dnes zachycuje více než 99,5 % veškerého popílku. Tahu spalin se staví do cesty soustava drátěných vysokonapěťových elektrod, které přitahují částice popílku s opačnými elektrickými náboji.

Hrubý popel a struska se zrny o velikosti do pěti centimetrů tvoří přibližně jednu čtvrtinu odpadu. Tato část se zachycuje ve spodní partii ohniště pod spalovací komorou.

Z některých druhů popelovin se dají vyrábět stavební hmoty.

KOTLE BUDOUCNOSTI

Pravděpodobně nejvýhodnější způsob využití energetického uhlí představuje kombinace tlakového zplyňování uhlí a tzv. paroplynového cyklu. Tento způsob výrazně zvyšuje účinnost výroby elektrické energie a odborníci očekávají jeho bouřlivý rozvoj zejména v těch zemích, které jsou odkázány převážně na uhelné zdroje energie.

Rozemleté uhlí (vysoká sirnatost není problém) se v **generátoru (zplyňovači)** za vysoké teploty a tlaku nejprve zplynuje. Veškeré pevné částice, které jinak unikají do vzduchu, se mění ve strusku vhodnou pro stavebnictví. Surový plyn je ochlazen, zbaven síry (tu lze výhodně prodat) a dalších nečistot.

Energetický plyn se vede dále do plynové turbíny, v jejíž komoře se spaluje. Vzniká elektrické energie a navíc plyn opouštějící turbínu je natolik horký, že v kotli ohřeje vodu na páru. V parní turbíně se pak vyrobí další elektřina.

ZÁVĚREM

Bez elektrické energie se neobejdeme. Potřebujeme ji všichni. Stejně tak potřebujeme, aby její výroba co nejméně narušovala životní prostředí. Způsobů, jak toho

Symbióza uhelné Elektrárny Mělník s okolím

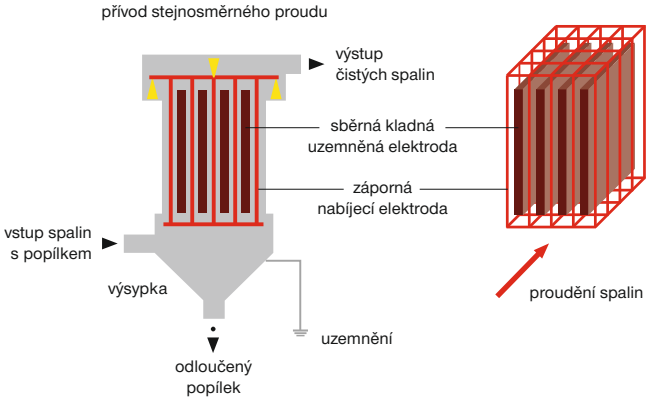


Schéma elektrostatického odlučovače popílku

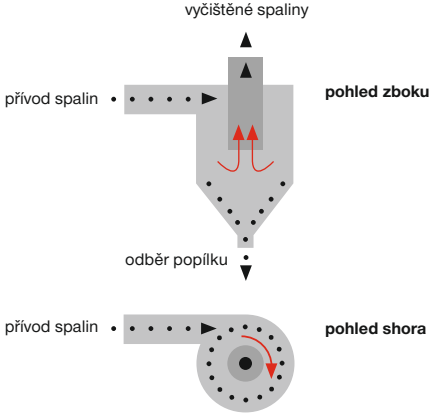


Schéma cyklónového odlučovače popílku

dosáhnout, je několik. Tím nejrychlejším je úspora energie a snižování výroby elektřiny v uhelných elektrárnách.

Program ekologizace umožnil oproti úrovni na počátku 90. let minulého století snížit emise SO_2 o 92 %, pevných částic popílku o 95 %, emise oxidů dusíku o 50 % a oxidu uhelnatého o 77 %. Od konce roku 1998 jsou všechny uhelné elektrárny energetické společnosti ČEZ vybaveny zařízeními na snižování emisí látek znečišťujících ovzduší.

S cílem pokračovat v tomto trendu zahájila Skupina ČEZ program obnovy uhelných elektráren Skupiny ČEZ v hodnotě přibližně 100 mld. Kč. Program předpokládá komplexně obnovit 11 bloků hnědouhelných elektráren, postavit 2 nové hnědouhelné bloky, každý o instalovaném výkonu 660 MW, a ukončit provoz celkem 14 neefektivních hnědouhelných bloků. Další pokles zhruba na polovinu současné kapacity přijde po roce 2030. Účinnost výroby elektřiny vzroste v obnovených zdrojích oproti současným cca o 15 %, u nově budovaných o více než 25 %. Obnova uhelných zdrojů současně přinese další výrazné snížení emisí škodlivých látek do ovzduší.

Devatenácté století bylo nazýváno stoletím páry. Dvacáté zase stoletím elektřiny. Vše nasvědčuje tomu, že stoletím elektřiny bude i to současné, jedenadvacáté.

Elektrárna Ledvice před zahájením stavby nového nadkritického bloku

Koksovna

TEPNY CIVILIZACE

Část primárních zdrojů energie zvaná fosilní paliva – uhlí, ropa a zemní plyn - se po vytěžení ze země nemůže zpravidla hned a namístě použít. Musí se nejprve upravit nebo zpracovat a teprve pak distribuovat na místa spotřeby. Jejich doprava od místa těžby k místu zpracování, popř. využití, překonává často obrovské vzdálenosti a překračuje hranice států i kontinentů. Na rozdíl od uhlí je přeprava ropy a zemního plynu usnadňována speciálním potrubím anebo speciálními loděmi. U ropy se to bohužel někdy neobejde bez výrazných ekologických škod.

UHLÍ

O vzniku a těžbě uhlí se můžete mnoho zajímavého dovědět v jiné kapitole naší encyklopedie, nazvané Černé poklady. My se teď budeme věnovat hlavně problematice dálkové dopravy uhlí.

DOPRAVA UHLÍ

Jak známo, uhlí se na větší vzdálenosti většinou dopravuje v **nákladních vagonech** po železnici, menší množství v **nákladních lodích** po řekách a mořích. Tato doprava postrádá terénní přizpůsobivost, úspornost a nepřetržitou provozuschopnost ropovodů a plynovodů, zato je zvýhodněna jinak: Průmyslová centra s nejvyšší spotřebou energie získávané z uhlí už vznikala obvykle poblíž uhelných dolů, kdežto ropa a zemní plyn se nejčastěji vyskytují a těží v místech odlehlých – v pouštích, pustinách Aljašky, v málo obydlených ruských stepích, v sibiřské tajze, na moři apod.

Problémy s dopravou uhlí nastávají hlavně v zimě, při velkých a dlouhotrvajících mrazech, zvlášť když jim předchází vydatné sněžení nebo déšť. Nejde jen o zamrzlé řeky, ale hlavně o zmrzlé uhlí, které se musí nechat rozmrzat (ve vytápěných prostorách nebo za pomoci různých zařízení, např. upravených leteckých tryskových motorů ap.), nebo z vagonů a lodí vlastně znovu „dolovat“, což brání plynulému provozu v nákladní dopravě.

CESTY UHLÍ

Uhlí z těžní jámy nebo uhelného lomu neputuje zpravidla přímo na místa jeho „spotřeby“, ale nejprve – nejčastěji ještě v rámci dolu – do **úpraven**, kde se třídí a pere. Část uhlí potom směřuje do uhelných elektráren, výtopen, tepláren, kotelen průmyslových podniků, institucí a domácností (kdysi mířila také pod kotle lokomotiv a lodí), zkrátka všude tam, kde se využívá jeho tepelná energie.

Část uhlí se zušlechťuje a k tomu účelu se vozí do koksáren a briketáren. V koksárnách se uhlí karbonizuje zahříváním bez přístupu vzduchu na jakýsi energetický koncentrát (téměř čistý uhlík). Koks se pak zčásti dopravuje do hutí, kde hraje důležitou úlohu při tavení železa na výrobu oceli, zčásti se rozváží jako nejkvalitnější palivové uhlí. Vedlejší produkty karbonizace – dehet, benzol, koksárenský plyn aj. se odvážejí k dalšímu zpracování a využití v chemickém průmyslu, plynárenství, dehet k výrobě střešní lepenky atd.

V briketárnách se profukováním horkým vzduchem fluidizuje uhelný prach (mour)

První vrtná věž postavená roku 1859 v Pensylvánii E. L. Drakem

Koňmi tažená benzinová cisterna (1906)

a ze vzniklé hmoty, zbavené kouřotvorných dehtů, se lisují brikety.

NEJZNÁMĚJŠÍ OBLASTI TĚŽBY UHLÍ VE SVĚTĚ

Kolébku průmyslové těžby uhlí najdeme v Anglii, středním Skotsku a jižním Walesu. Četné doly jsou v Porúří a Sársku, západně od Kolína nad Rýnem, v jižním Polsku, ruském Donbasu a v Kuzbasu na Sibiři, v okolí kazašské Karagandy, v Appalačské pánvi na středovýchodě USA, v okolí řeky Gangy, ve východní Číně, jižní Africe a jihovýchodní Austrálii.

Současná světová těžba uhlí se pohybuje kolem 4,5 miliardy tun ročně. Tři uhelné velmoci – Čína, USA a Rusko – mají na svých územích geologické zásoby uhlí na stovky let, kdežto např. některá evropská ložiska budou vytěžena při dnešním tempu těžby za několik desítek let.

TĚŽBA UHLÍ V ČESKÉ REPUBLICE

V zásobách uhlí je Česká republika celkem soběstačná. Naše hlavní oblasti těžby uhlí leží na Ostravsku (Ostravsko-karvinská pánev, tj. jižní část Hornoslezské pánve, zasahující k nám z Polska) a v Podkrušnohoří. V hlubinných dolech Ostravska se těží koksovatelné černé uhlí, v převážně povrchových dolech Podkrušnohoří se těží hnědé uhlí různé kvality; uhlí z Mostecké pánve je nejlepší, uhlí z jihozápadněji položených pánví podkrušnohorského zlomu je většinou horší kvality.

Po roce 1989 nastal u nás útlum těžby uhlí v důsledku poklesu poptávky. Podíl na tom má např. ekologizace našich elektráren, v nichž se odstavily některé zastaralé neodsířené bloky. Zatímco v roce 1989 se u nás vytěžilo přes 87 milionů tun hnědého a přes 25 milionů tun černého uhlí, v roce 1993 to bylo už jen necelých 66,9 milionů tun hnědého a 18,3 miliony tun černého uhlí. Nově zvýšenou poptávku pokrývá výhodný dovoz uhlí z Polska.

ROPA

Z DĚJIN DOPRAVY ROPY

Zpočátku vozili ropu povozníci v dřevěných sudech – **barelech**, jejichž objem (asi 159 litrů) se dodnes používá jako světová jednotka míry množství ropy. Později se sudy dopravovaly železnicí, jejich nakládání a vykládání však bylo velmi namáhavé a prázdné sudy se navíc musely vracet. Zlepšením byly dřevěné kádě přišroubované k vagonům, později pak kovové nádrže, které už byly přímým předchůdcem nynějších **cisternových vagonů**. Ropa se do nich čerpala hadicí.

Téměř současně s počátkem ropné horečky v Pensylvánii, roku 1865, inženýr **Van Syckel** dokončil na východě USA stavbu prvního – 6 mil (asi 9,6 km) dlouhého – ropovodu, vedoucího od naleziště ropy do rafinerie, a ušetřil tak nejméně polovinu nákladů na eventuální stavbu železnice. V roce 1878 zprovoznil inženýr **Benson** ropovod dlouhý asi 100 mil přes severoamerické pohoří Alleghany a předvedl tak další výhodu ropovodů, když potrubí vedl terénem pro železnici nedostupným. Počátky dopravy ropy se neobešly bez krvavých obětí a ničení železnic a ropovodů, nejčastěji pro územní nároky nebo z konkurenčních důvodů.

Nedlouho po vzniku prvního ropovodu, roku 1869, přivezla americká obchodní plachetnice **Charles** pensylvánskou ropu do Evropy poprvé v kovových nádržích. Loď byla speciálně uzpůsobena jen k přepravě ropy, a zahájila tak vývoj tzv. **tankových lodí** čili **tankerů**. Jsou stavěny z ocele a jako zásobník je využíván celý trup lodi, rozdělený z bezpečnostních důvodů přepážkami na jednotlivé tanky. Přepážky jsou nutné pro udržení stability lodi a omezení následků eventuálního proražení trupu, požáru či výbuchu.

Hořící kuvajtské ropné vrty

Stovky naložených vagónů na seřazovacím nádraží

ZAJÍMAVOSTI KOLEM ROPOVODŮ

Ropovody jsou svařovány z ocelových rour, jejichž nejmenší vnitřní průměr (světlost) bývá 30 cm, největší 122 cm. Tam, kde je to možné, je ropovod veden po povrchu země a spočívá na podstavcích. V místech husté zástavby nebo při křížení s trasami silnic či železnic, ale i s obvyklými cestami zvěře se ukládá do země. Ropovody se pokládají i na dno moří do hloubky až 400 m, a to v betonových ochranných pláštích. V určitých vzdálenostech jsou na trati ropovodu umístěny čerpací stanice s čerpadly, která pohánějí proud ropy. Její tok je zde zároveň neustále kontrolován měřicími přístroji, sledujícími množství i rychlost průtoku ropy. Rychlost proudu bývá různá, pro představu 1 až 6 m/s, tj. často větší, než je rychlost lidské chůze. Ropovod je nutné denně kontrolovat po celé délce potrubí, a musí se také občas čistit. Čištění se provádí pomocí štětinatého „ježka“, jenž se nechá unášet proudem ropy.

Celková délka všech ropovodů světa představuje řádově statisíce kilometrů. K nejznámějším světovým ropovodům patří 2190 km dlouhý **Big Inch** v USA, vedoucí z nalezišť v Texasu do rafinerii v Pensylvánii, kanadský ropovod společnosti **Interprovincial**, který vede z Edmontonu v Kanadě přes Chicago v USA do kanadského Montrealu a měří 3 787 km, ropovod **Trans Arabian** o délce 1 700 km, vedoucí z oblasti Bahrajnu v Perském zálivu přes Saúdskou Arábii ke Středozemnímu moři, **aljašský ropovod**, který vede od ložisek v zátoce Prudhoe na severu do přístavu Valdez na jihu a je 1287 km dlouhý. Za nejdelší ropovod světa je označován ruský ropovod **Družba** v délce 5 502 km. Vychází z Kujbyševa na Volze a vede na západ; v běloruském Mozyru se dělí na dvě větve severní směřuje do Polska a bývalé NDR, jižní přes Užhorod na Slovensko, kde se v Šahách opět rozděluje do tří větví: jedna vede do Bratislavy, druhá do Záluží u Mostu v ČR a třetí do Budapešti.

ZAJÍMAVOSTI KOLEM TANKERŮ

Množství a velikost tankerů neustále roste. Dnes jich po světových mořích a oceánech plují řádově tisíce. Jejich přepravní kapacita se měří jako u všech nákladních lodí na DWT – zkratka angl. dead weight tons, což znamená celkovou nosnost lodi v tunách čili možnou hmotnost všeho, co loď uveze. U nás je běžnější mírou BRT – brutto registrovaná tuna, objemová míra, která se rovná 2,83 m^3 a jíž se měří celkový objem uzavřeného nákladního prostoru lodi. Zhruba platí, že čím je loď větší, tím je její provoz relativně levnější, ale její manévrovací schopnosti jsou menší a čas nutný k zastavení větší.

Nebezpečnost nákladu tankerů, jejich omezené manévrovací schopnosti i velká početnost vedly k tomu, že se ropa přečerpává ze zásobníků do tankerů a naopak nejen v přístavech, ale častěji mimo ně. Zásobníky ropy jsou přitom umístěny buď na pevnině, nebo obvykle v podobě ohromného převráceného trychtýře přímo poblíž kotviště na moři a napojují se pomocí podmořského potrubí.

Největší tankery už tradičně staví Japonci. Největší tankovou lodí na světě je japonský

Supertanker

Rafinerie v noci

Jahre Viking. Loď byla postavena roku 1976 a pokřtěna **Geawise Giant**, v roce 1981 byla přestavěna a přejmenována na **Happy Giant**. V průběhu války Iráku s Íránem v letech 1987–1988 byla skoro zničena, ale po několika letech se opravena vydala znovu na moře. Po všech rekonstrukcích zůstala její nosnost přes 564 000 DWT, ponor přes 24 m, šířka přes 68 m a změnila se jen délka – loď byla prodloužena na nynějších 485 m.

Pro srovnání – již v roce 1987 bylo uváděno, že je na světě v provozu 700 supertankerů s nosností nad 200 000 DWT. K 1. 1. 1992 bylo na světě celkově v provozu 6 035 tankerů.

Při narůstajícím množství a velikosti ropných tankerů a stále houstnoucí lodní dopravě po moři dochází poměrně často k **haváriím** a následným ekologickým škodám způsobeným uniklou ropou. To je jedna z nejsmutnějších stránek dopravy ropy. Tak např. již na začátku 70. let bylo spočítáno, že každý rok je Středozemní moře znečištěno asi 400 000 tunami ropy kvůli haváriím a výplachům tankerů. Každoročně jsou také doplňovány tabulky katastrof způsobených vylitím ropy z havarovaných tankerů do moře.

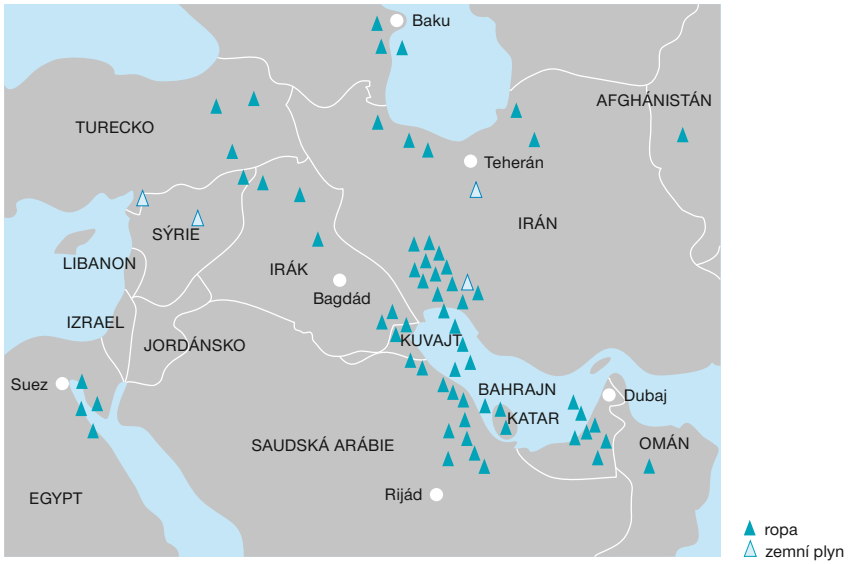
K největší havárii způsobené ztroskotáním jediného tankeru došlo v roce 1978 u skalnatého pobřeží francouzské Bretaně. Obří tanker **Amoco Cadiz**, který mířil z Perského zálivu do anglického přístavu Lyme, ztroskotal v prudké bouři, když předtím došlo k poruše kormidla a pak i k přetržení lana, kterým chtěl tažný člun přivolaný na pomoc tanker odvléci. Trup lodi se po ztroskotání rozlomil a začala z něho vytékat ropa, kterou bylo možné odčerpávat z rozbouřeného moře jen s velkými obtížemi. Přes všechny snahy zmírnit následky havárie vyteklo do moře všech 1,6 milionu barelů ropy, která vytvořila mezi Francii a Anglii skvrnu tlustou místy až 30 cm. Ještě ve zprávě z roku 1985 se uvádí, že bude trvat desítky let, než se bretaňské pobřeží, proslulé svou osobitou krásou, zase vrátí do stavu před rokem 1978.

K největšímu úniku ropy při její přepravě po moři však došlo ve stejném roce (1978) po srážce lodí **Atlantic Express** a **Aegean Captain** v blízkosti Trinidadu a pobřeží Tobaga, kdy se do moře vylilo z obou tankerů dohromady 2,2 milionu barelů ropy.

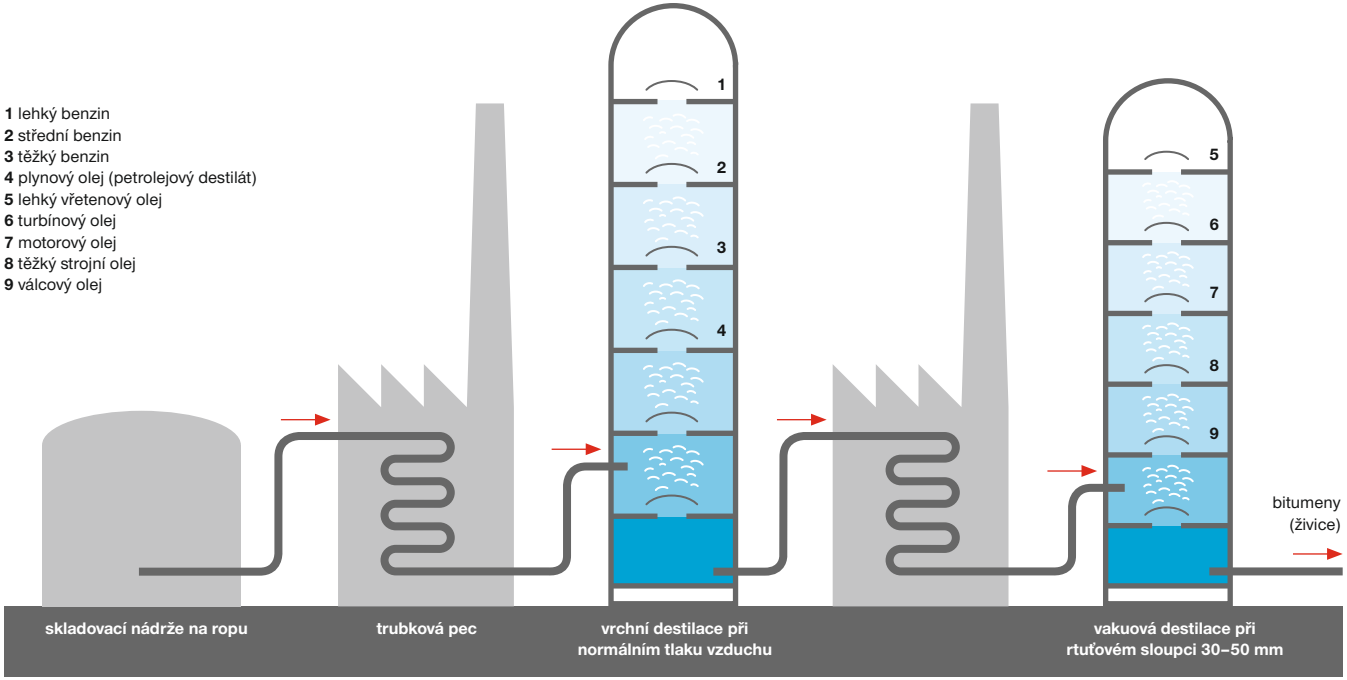
Lidem však nestačí neštěstí náhodná. V roce 1990 irácká vojska diktátora Saddáma Husajna obsadila Kuvajt, a když byla vojsky OSN přinucena k odchodu, nejen že záměrně zapálila stovky kuvajtských ropných vrtů, čímž došlo patrně k největšímu požáru ropy v dějinách, ale též vypustila do moře asi 68 milionů barelů ropy z terminálu Mořský ostrov v Kuvajtu a ze sedmi velkých tankerů. Celá akce má smutný primát největšího útoku na ekologický systém.

BOJE S ROPNOU SKVRNOU

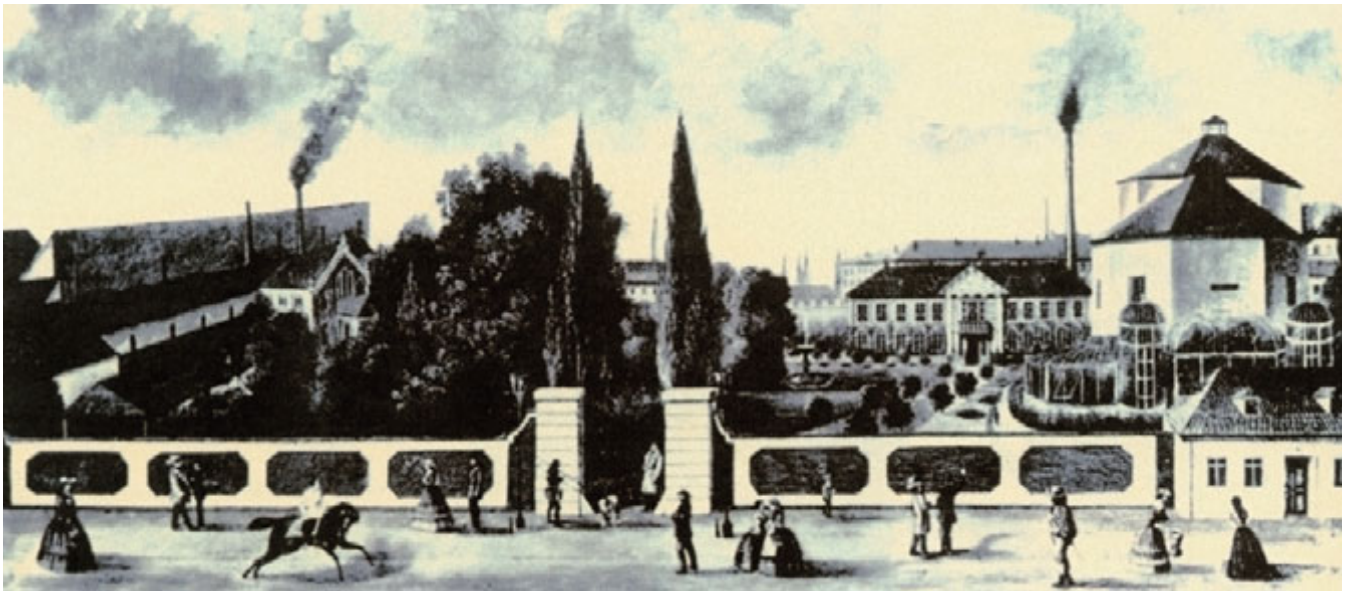
S rozlitou ropnou skvrnou se samozřejmě bojuje nejrůznějšími prostředky. Jsou to např. pásy z plovákových desek, které jsou motorovými čluny taženy tak, aby stahovaly ropu na místo, odkud je pak vysávána. Jednodušší



Oblast kolem Perského zálivu je největší dosud známou zásobárnou ropy na světě, ale mluví se i o obrovských zásobách v Arktidě



Destilace ropy. Nejsnadněji destilující části (lehké benziny) se odebírají na horní části kolony.



První plynárny v Praze – Karlíně

je posypat ropu dřevěnými pilinami, které se po nasáknutí vyloví, usuší a posléze v žocích prodávají jako vynikající palivo. K nejzajímavějším metodám patří posyp ropné skvrny bakteriemi, které ji požerou.

CESTY ROPY ZA ZPRACOVÁNÍM

Ropa v té podobě, v jaké je vytěžena, není prakticky použitelná. Přitom víme, že je nejen nenahraditelnou surovinou pro výrobu paliv do spalovacích motorů, ale též žádanou surovinou pro chemický průmysl. Některé podíly ropy se používají jako alternativa pevných paliv.

Ropa se často v jedné zemi těží, v druhé zpracovává a ve třetí spotřebovává. Od těžních vrtů vedou cesty ropy nejdříve do rafinerií, kde je první a základní etapou jejího zpracování destilace, při níž se oddělují jednotlivé frakce neboli podíly. Využívá se přitom jejich rozdílného bodu varu.

Destilace může probíhat nepřetržitě a pro všechny frakce současně. Děje se tak v destilačních kolonách zvaných frakcionační věže, které vypadají jako štíhlé, asi 25 m vysoké válce. Tam se v jednotlivých patrech shromažďují a jímají frakce v pořadí závislém na jejich fyzikálních vlastnostech – čím jsou řidší a mají nižší bod varu, tím vyšší patro „obsadí“. Výsledkem rafinace ropy jsou pak plyny propan a butan, benziny, motorová nafta, petrolej, různé oleje a mazut. Vlastně jako odpad vzniká v rafineriích asfalt, síra a parafin. Z dalších vedlejších produktů získávaných v rafineriích jsou mimořádně důležité ty, které jsou východiskem pro výrobu většiny plastů (umělých hmot), umělých vláken a syntetických kaučuků. Bez ropy si lze jen těžko představit chemický průmysl „nylonového věku“.

ČR má dnes dvě rafinerie ropy: v Chemopetrolu Litvínov, a. s., a v Kaučuku Kralupy nad Vltavou, a. s. Jak je patrné z názvu společností, jsou obě rafinerie součástí větších chemických závodů.

ROPNÝ EXPORT-IMPORT

Jelikož je ropa vzhledem k její nenahraditelnosti pro silniční a leteckou dopravu považována za strategicky nejdůležitější energetickou surovinu, je velmi důležité, kde se na světě nalézají její zjištěné geologické zásoby. Podle údajů z roku 1994 se zásoby nalézají v těchto lokalitách:

země kolem perského zálivu	66,3 %
z toho:	
Saúdská Arábie	25,3 %
Irák	10 %
SAE	10 %
Kuvajt	10 %
Írán	9 %
ostatní	2 %
Severní a Jižní Amerika	15,4 %
Afrika	6,2 %
Rusko a východní Evropa	5,9 %
Dálný východ	4,5 %
západní Evropa	1,7 %

Centrální tankoviště ropy společnosti MERO ČR v Nelahozevsi

Na světě se dnes těží kolem 3 miliard tun ropy ročně. Tato intenzita těžby by dávala předpoklad vydržet se světovými zásobami asi do roku 2070. Největším konzumentem ropy jsou USA s asi 25 % spotřeby světové těžby. Ačkoli mají rozsáhlá naleziště ropy, hlavně v Texasu, musí jí ještě hodně dovážet, aby pokryly svoji potřebu. Japonsko musí ropu dovážet téměř stoprocentně, což představuje nejzranitelnější místo jeho hospodářství.

Země kolem Perského zálivu jsou nejen největší známou zásobárnou ropy na světě, ale společně také územím její největší těžby. Většina zde vytěžené ropy putuje do Evropy, Japonska, jihovýchodní Asie, USA a do Jižní Ameriky. Jižní Amerika (a v ní především Venezuela) je však sama dalším významným vývozcem ropy hlavně do USA a Evropy. Z Afriky, hlavně severní a střední (Egypta, Nigérie, Libye, Alžírska, Angoly a Gabonu), se ropa vyváží převážně do Evropy a USA, z bývalého SSSR, před rokem 1989 největšího těžitele ropy na světě jako jednotlivého státu, se ropa vyváží do střední a západní Evropy. V posledních desetiletích se silně rozvinula těžba ropy v Severním moři mezi Anglií a Norskem (viz např. známý **Ekofisk** v norské zóně).

Velká část trhu s ropou je v rukou 7 největších ropných společností: Exxon Corporation (Esso), Royal Dutch-Shell (Shell), Texaco, Standard Oil Corporation (Chevron), British Petroleum Company (BP), Mobil Oil Corporation (Mobil), Gulf Oil (Gulf). Podnikají po celém světě, např. slavná firma ARAMCO (Arabian American Oil Company) v Saúdské Arábii vznikla podílnictvím některých z nich. Narůstající zájem o ropu vedl některé země, z nichž se ropa vyváží (zejména arabské) k vytvoření organizace, která má zajistit členským zemím co největší prospěch z jejich surovinového bohatství. Organizace se jmenuje OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries), byla založena roku 1960 a sídlo má ve Vídni.

ROPOVODY PRO ČR

V České republice se ropa těží pouze na Hodonínsku. Denně se jí vytěží jen asi 300 tun, proto naprostou většinu ropy musíme dovážet několika ropovody.

První ropovod vedoucí po českém území byla **Družba**. V roce 1962 byl doveden do Bratislavy a v roce 1965 prodloužen do Záluží u Mostu. Do roku 1989 dováželo tehdejší Československo ročně až 18 milionů tun ropy z bývalého SSSR výhradně tímto ropovodem. Pádem „železné opony“ v roce 1989 se pro nás otevřely možnosti dovozu ropy z kapitalistického světa a vymanění se z jednostranné závislosti na Rusku.

Roku 1990 byl zprovozněn ropovod **Adria**, připravený již od roku 1984 a vybudovaný jako společné dílo bývalé Jugoslávie, Maďarska a Československa. Začíná v Omišalji na ostrově Krku a odtud vede přes Rijeku do Sisaku, kde se rozdvojuje na jižní odbočku pro bývalou Jugoslávii a severní pro Maďarsko a Československo. Ve slovenských Šahách se napojuje na ropovod Družba. Kapacita Adrie pro ČR je 5–6 milionů tun ropy ročně. Sotva se však provoz tohoto ropovodu začal rozbíhat, rozpad bývalé Jugoslávie a válka na jejím území jej přerušily.

Přetrvávající potřeba zbavit se jednostranné surovinové závislosti na nejistém dovozu z Ruska vedla k myšlence napojit se na evropský systém Transalpské soustavy ropovodů TAL. Napojení bylo provedeno v Ingolstadtu, bavorském městě severně od Mnichova. Potrubí o průměru 71 cm

Přečerpávací stanice Benešovice

Přeprava ropy na území ČR

vede pod zemí kolem Plzně do Kralup nad Vltavou a odtud dál do Litvínova. Kapacita ropovodu je až 15 milionů tun ropy ročně.

Jediným přepravcem ropy do České republiky potrubními systémy – ropovody – je společnost **MERO ČR** (MEzinárodní ROpovody). Je majitelem dvou ropovodů – české části ropovodu **Družba** a celého ropovodu **IKL** (Ingolstadt–Kralupy–Litvínov).

Ropovodem Družba se přepravuje ropa z východní Evropy, nejčastěji ruská sirnatá ropa pro zpracování v rafinériích v Litvínově a v Pardubicích. Ropovodem IKL se přepravuje ropa z Německa, kam proudí jiným ropovodem ropa z Kaspické oblasti, Blízkého východu a severní Afriky s vyšším obsahem parafínu pro rafinérii v Kralupech. Do rafinérie v Kralupech se také přepravuje ropa ropovodem Družba vytěžená Moravskými naftovými doly.

MERO také skladuje ropu pro Správu státních hmotných rezerv a pro další zákazníky. Největší část skladované ropy je umístěna v obřích nádržích na Centrálním tankovišti v Nelahozevsi poblíž Kralup. Další nádrže má MERO ČR ve své dceřiné společnosti v Německu v bavorském Vohburgu an der Donau, kde začíná ropovod IKL.

ZEMNÍ PLYN

EXKURZE DO PLYNÁRENSTVÍ

Za datum vzniku průmyslového plynárenství se většinou považuje rok 1813, kdy začal být plynem osvětlován Westminsterský most v Londýně. Tehdy šlo o jedovatý a zapáchající svítiplyn, který se vyráběl karbonizací černého uhlí v plynárnách. Svítiplynu – jak ukazuje název – se zpočátku užívalo jen k osvětlování ulic, teprve později byl rozveden do domů a začal se užívat i jinak než ke svícení. Posléze jeho původní funkci přejala elektřina, ale název mu zůstal. Jeho stále vzrůstající spotřeba vedla asi po sto letech k zlevnění jeho výroby **tlakovým zplyňováním hnědého uhlí** a také **přepracováním zemního plynu**, který svítiplyn posléze nahradil.

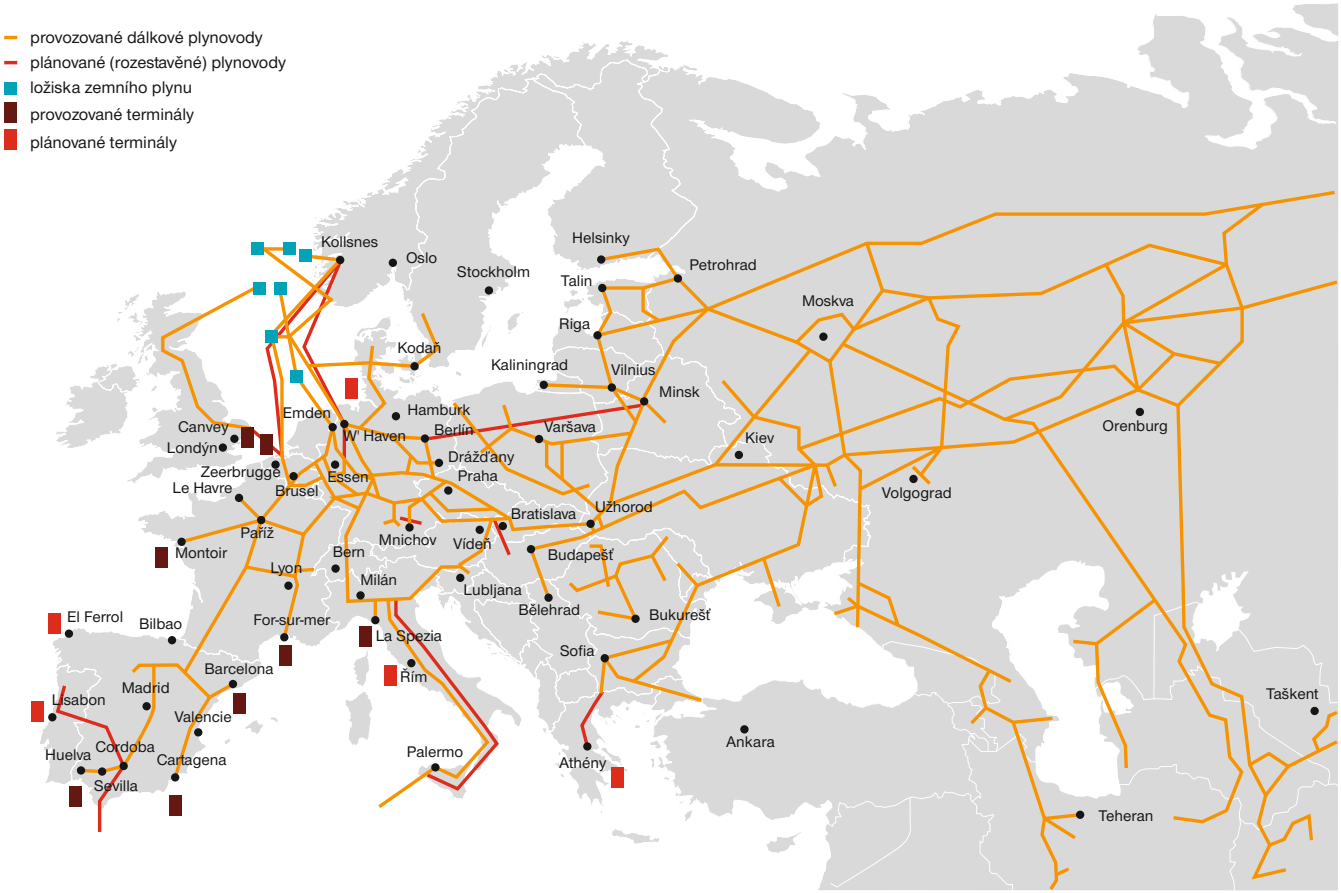
V Čechách byla první karbonizační plynárna uvedena do provozu v Karlíně roku 1847 – tehdy napájela svítiplynem jen asi 200 pouličních lamp. Za 2. světové války byla v Záluží u Mostu vybudována první moderní tlaková plynárna. Od roku 1958 bylo v michelské plynárně v Praze započato s praktickým zapojováním zemního plynu do našeho plynárenství – zpočátku se využívalo jen plynu domácího původu a v přepracované formě.

V roce 1967 byly do tehdejšího Československa zahájeny první dodávky zemního plynu z bývalého SSSR. V roce 1973 bylo u nás rozhodnuto o postupném přechodu na **zemní plyn**. Přechod byl definitivně ukončen v roce 1996. Výroba svítiplynu, snižovaná od roku 1978, je zastavena.

Značné využití má u nás také populární **propan-butan**, získávaný při destilaci ropy v rafineriích. Spotřebitelům je dodáván zkapalněný v tlakových lahvích různé velikosti (lidově zvaných „bomby“) a slouží hlavně tam, kam nedosahuje distribuční síť plynáren a elektráren – na chatách, ve stanech při turistice apod. Vhodný je k vaření i ke svícení. Stále více se rozšiřuje jeho využívání pro pohon spalovacích motorů. Provoz automobilů „na plyn“ je levnější a ekologičtější.

ZEMNÍ PLYN JE V OBLIBĚ

Zemní plyn slouží hlavně jako zdroj tepelné energie. V moderní domácnosti se uplatňuje k vaření, ohřevu vody a topení, je nutné jej však doplňovat elektřinou – nejen k svícení, ale i kvůli možnosti zapojení přístrojů pracujících jen na elektřinu. Nahrazuje uhlí ve výtopnách, teplárnách a v elekt-



Evropská síť hlavních dálkových plynovodů

rárnách, zkouší se jeho využití k pohonu aut a autobusů.

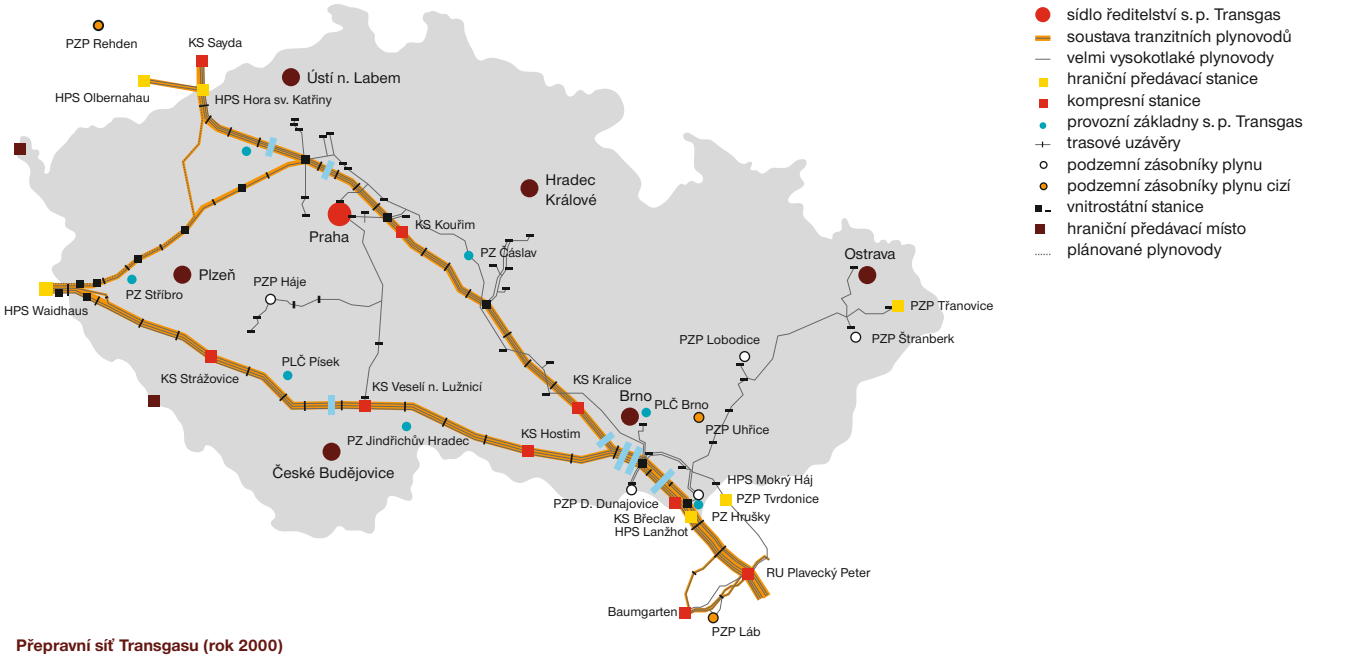
Na rozdíl od svítiplynu je zemní plyn nejedovatý a bez pachu. Proto se jeho nekontrolovatelnému úniku brání tím, že je před vpuštěním do spotřebitelské sítě opatřován výrazně páchnoucí složkou.

Rostoucí obliba používání plynu na úkor uhlí a elektřiny vyplývá z jeho předností: jako všechna fosilní paliva je prvotním zdrojem energie, a tak u něho odpadají ztráty vznikající při výrobě elektřiny. Na rozdíl od pevných paliv nezanechává po spálení popel. Jako elektřinu ho lze rozvést až ke spotřebitelům, a to na rozdíl od ní téměř beze ztrát. Jeho výhody v regulovatelnosti přívodu, měřitelnosti spotřeby a pohodlnosti obsluhy jsou stejné, nebo jen o málo menší než u elektřiny, jeho tepelný účin je zato rychlejší a opět méně ztrátový. Jeho předností je také to, že po vyčištění a při správném spalování (správném mísení se vzduchem) zanechává ve vzduchu ve srovnání s uhlím a topnými oleji mnohem méně zplodin škodících životnímu prostředí – popílku, oxidu síry, oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a uhličitého.

Přestože je plynofikace i u nás na postupu, pro Českou republiku jsou výhody zemního plynu bohužel omezeny tím, že ho většinu musíme dovážet. Statistika praví, že k vaření ho nicméně u nás používá už více než polovina domácností, zatímco k ohřevu vody a k topení teprve asi pětina.

VÝSKYT ZEMNÍHO PLYNU

Fosilní paliva jsou si blízká z hlediska vzniku, původu a složení. Jejich ložiska se vyskytují samostatně, často však je ropa doprovázena zemním plynem či uhelné sloje



Přepravní síť Transgasu (rok 2000)

metanem. Poměrně často se vyskytující společná ložiska ropy a zemního plynu vypadají obvykle tak, že nad podložím obsahujícím slanou mořskou vodu je třetihorní (řidčeji druhohorní nebo dokonce prvohorní) pórovitá usazenina nasáklá ropou a nad ní vrstva, jejíž póry vyplňuje stlačený zemní plyn. Jeho tlak někdy způsobuje, že při navrtání ložiska ropy z něho ropa samovolně tryská, alespoň po určitou dobu.

Stejně jako ropná ložiska bývají i ložiska zemního plynu v různých hloubkách od 30 do 8 000 m, vrtaři si ale dovedou poradit i s většími hloubkami. U vrtných plošin na moři je nutné ještě připočítat vzdálenost mořského dna od hladiny moře (rekord pro ropu – 872 m).

JAK TO ZAČALO

Roku 1918 se v americkém Texasu podařilo navrtat ložisko se 4 miliardami m^3 zemního plynu. Po dvanácti letech přivedl 3 000 km dlouhý plynovod texaský plyn do Chicaga a Amerika – a vzápětí i ostatní svět – začaly ve velkém využívat dosud opomíjený zdroj energie. Jeho dopravu zpočátku obstarávaly jen **plynovody**.

Pravý boom čekal **těžbu** a využití zemního plynu až v 2. polovině 20. století – alespoň pokud jde o Evropu. Tento zájem dosud trvá a prognózy jsou pro plynaře více než příznivé. Obchod se zemním plynem nabyl mezikontinentálního charakteru.

Přes moře se zemní plyn začal přepravovat technicky obdivuhodnými **podmořskými plynovody** a ve zkapalněné formě **speciálními tankery**. Zkapalnění zemního plynu se v těchto případech provádí ještě před plněním do tankerů zchlazením na –161 až –169 °C podle obsahu dusíku. Tím se umožní zmenšit objem plynu na 1/630. Tanker pak musí tuto „teplotu“ plynu udržovat, a tak připomíná jakousi velkou plovoucí termosku. První takovou loď postavili Japonci roku 1973.

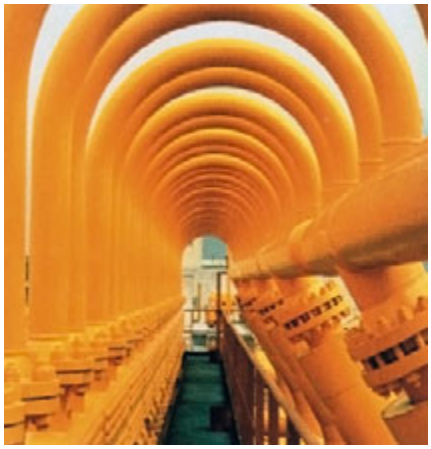
Divy techniky představují také plynovody budované za nesmírně obtížných podmínek na Aljašce a na ruském severu.

SVĚTOVÁ TĚŽBA A ZÁSOBY ZEMNÍHO PLYNU

Dnes se na světě těží ročně přes 2100 miliard m^3 zemního plynu různého složení, ale vždy obsahujícího jako základní složku uhlovodík metan CH_4 (obvykle 88–99,8 %). Čím více metanu obsahuje, tím je zemní plyn z hlediska energetiků kvalitnější.

Ověřené těžitelné zásoby zemního plynu umožňují doufat, že při dnešním tempu těžby by došlo k jejich vyčerpání „až“ roku 2057.

Jisté naděje na prodloužení této lhůty skýtají ložiska zmrzlého zemního plynu, tzv. **hydrátů**, na Sibiři a na Aljašce. V 1 m^3 hydrátu je skryto až 200 m^3 zemního plynu. V rozporu s nebezpečím vyčerpání geologických zásob plynu signalizují prognózy



Zařízení podzemního zásobníku plynu

Rozvod plynu – Třanovice (Zdroj: RWE Transgas, a. s.)

dramatické zvyšování těžby, která má roku 2015 dosáhnout 3 700 mld m^3.

Největším bohatstvím zemního plynu oplývá Rusko, které se také stalo během posledních 30 let jeho největším těžařem a vývozcem, hlavně do západní a střední Evropy. Západní Evropa je zásobována také z významných nalezišť v Nizozemsku, v Severním moři a v severní Africe, hlavně v Alžíru. Import zemního plynu ze zemí kolem Perského zálivu do Evropy se zatím jeví jako nerentabilní a nevyužívá se ho, ačkoli např. Irán stojí na druhém místě světového žebříčku v množství geologických zásob a na dalších třech pak Katar, SAE a Saúdská Arábie.

Průkopník těžby zemního plynu – USA – se musí dnes spokojit s druhým místem, přes rozsáhlá naleziště v Texasu, v Prudhoe Bay na Aljašce a jinde. Třetí místo na světě v těžbě zaujímá Kanada.

DOPRAVA ZEMNÍHO PLYNU V EVROPĚ A DO EVROPY

Je zajišťována především plynovody, jejichž celková délka překročila již 430 000 km, zatímco v roce 1950 čítala „pouhých“ 20 000 km. Celosvětově je v provozu již více než 1250 000 km vysokotlakých plynovodů (údaje nezapočítávají regionální a městské středotlaké a nízkotlaké sítě).

Největší část evropských vysokotlakých plynovodů – asi 215 000 km – vlastní Rusko. Nejdelší ruský, a také evropský plynovod – **tranzitní** – přivádí plyn do střední a západní Evropy mimo jiné přes ČR, kterou tím strategicky zvýznamňuje. Zatím byl vstup do tohoto plynovodu nejdále doveden k obrovským ložiskům u severosibiřského Urengoje a ještě severněji u Jamburgu, další trasa se buduje k rozsáhlému ložisku na severosibiřském poloostrově Jamal, odkud má vést na jihozápad přes Polsko. To poněkud oslabí význam českého tranzitu, který nyní představuje přes 71,5 mld m^3 ruského plynu ročně.

Narůstající těžba v norském a britském sektoru Severního moře, postupující od známého Ekofisku dále na sever, si vynucuje stavbu stále nových podmořských plynovodů, vedoucích už nyní do Norska, Velké Británie, Dánska, německého Emdenu a belgického Zeebrugge.

Jiný podmořský plynovod přivádí saharský zemní plyn přes Sicílii do Říma a Janova, další – nedávno dobudovaný – pak dodává týž plyn přes Maroko a Gibraltar do Španělska.

Zkapalněný zemní plyn dovážejí přes moře tankery z Afriky do španělských přístavů Barcelona, Cartagena a dalších, do portugalského Lisabonu i jinam.

PLYNOVODY PRO ČESKOU REPUBLIKU

Pouze asi 1,5 % zemního plynu, který je u nás ročně spotřebován, je kryto vlastní těžbou z ložisek na Hodonínsku. Ostatní zemní plyn dovážíme, zatím téměř výhradně z Ruska. První zemní plyn k nám začal proudit z Ukrajiny 540 km dlouhým plynovodem **Bratrství** v roce 1967.

Od roku 1972 začal fungovat **Tranzitní plynovod**, kterým přes naše území proudí ruský plyn do západní Evropy. Plynovod Bratrství zůstal tehdy nadále v provozu. Tranzitní plynovod se pak stále rozrůstal spolu s nárůstem dodávek ruského plynu. Postupně byly položeny 3–4 souběžné linky přes tehdejší Československo (4 pro jižní Moravu, 3 odtud dále na západ). Plynovod překračuje hranice Slovenska v mezinárodní předávací stanici ve Velkých Kapušanech a předává štafetový kolík Rakousku

Rozvod plynu – Háje (Zdroj: RWE Transgas, a. s.)

v Baumgartenu u slovenských hranic, Německu ve Waidhausu proti českému Rozvadovu a v Hoře sv. Kateřiny v Krušných horách. Brzy po zprovoznění československého úseku plynovodu z něho začala odebírat plyn i naše země.

V roce 1979 byl uveden do provozu 2 744 km dlouhý plynovod Sojuz od ložisek u ruského města Orenburgu. **Sojuz**, zvaný lidově „Orenburg“, navázal na našem území na Tranzitní plynovod. Jednotlivé úseky od města Orenburgu až po východní hranice se Slovenskem budovaly tehdejší satelitní komunistické země východní Evropy – Polsko, Československo, Maďarsko, NDR a Bulharsko. Po rozdělení Československa v roce 1993 byl rozdělen i československý úsek plynovodu. Českou část spravuje firma Transgas, slovenskou Slovtransgas, předávací stanice je v moravském Lanžhotě.

Stejně jako u dovozu ropy snaží se ČR po roce 1989 vymanit z jednostranné závislosti na dovozu zemního plynu z Ruska tzv. **diverzifikací**, tj. rozložením dovozů na více dovozců. Zatím jde o menší krátkodobé dodávky z Německa, dlouhodobě a ve větším množství by bylo možné v budoucnosti zajistit dodávky norského plynu ze Severního moře pomocí německých plynovodů. Uvažuje se rovněž o odběru alžírského plynu, který bychom museli zajistit výstavbou odpařovacího terminálu na ostrově Krk, kam by zkapalněný plyn dovážely tankery, a vybudováním plynovodu z Chorvatska.

CESTY ZEMNÍHO PLYNU KE SPOTŘEBITELŮM

Dnem i nocí ženou kompresory, soustředěné ve stanicích podél tras plynovodů, zemní plyn rychlostí až 80 km/h potrubím různé velikosti, počínaje hlavními tepnami o světlosti 122 cm.

Stejně jako ostatní fosilní paliva ani zemní plyn se nepoužívá v tom stavu, v jakém byl vytěžen. Po přivedení plynovodem se musí nejprve **čistit**, tj. zbavit složek, které nejsou plynnými uhlovodíky (propan, butan a etan, zastoupený event. v některých druzích zemního plynu, se v něm ponechává). Čištění se provádí v různých objektech a odloučené složky se pokud možno zužitkovávají jako vedlejší produkty. Odlučuje se voda, síra, dusík, kapalné uhlovodíky, event. helium aj. – podle druhu zemního plynu.

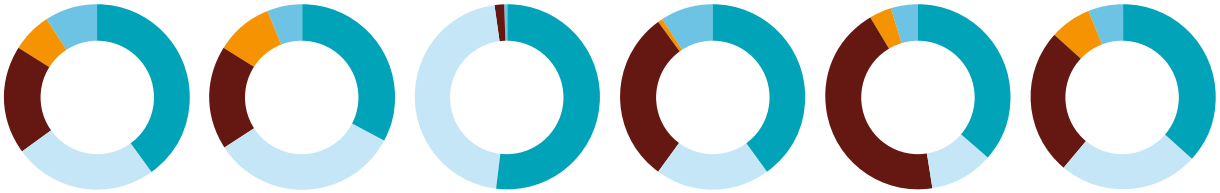
Vyčištěný zemní plyn se pak **uskladňuje**. Buď se vhání do **podzemních zásobníků**, nebo do speciálních **nádrží** zapuštěných částečně do země. V nádržích se přechovává ve zkapalněné podobě. U nás se nádrže na zemní plyn nepoužívají.

Podzemních zásobníků je u nás zatím pět, s celkovou kapacitou 1,7 mld m^3 zemního plynu. Největší zásobník je pod sedmi moravskými obcemi u Hrušek na Břeclavsku. Všech pět dosavadních zásobníků je vybudováno na principu napodobení původních ložisek zemního plynu – plyn je vtlačován do porézní horniny obklopené ze všech stran nepropustnými vrstvami. U Příbrami leží šestý zásobník, tzv. **kavernového** typu, což znamená, že je využito volného prostoru pod zemí (šachty opuštěného uranového dolu).

Zásobníky i nádrže slouží k vyrovnávání nepravidelného odběru.

Fosilní paliva budou ještě dlouhou dobu sloužit lidstvu jako důležitý primární zdroj energie, postupně však bude nutné nahradit je jinými zdroji. U ropy a zemního plynu je to úkol – zdá se – velmi aktuální, úkol našeho století.

Nádrže ropy společnosti MERO ČR



	Amerika	Evropa	Střední Východ	Afrika	Asie a Austrálie	Svět celkem
ropa	40 %	33 %	52 %	40 %	36,5 %	37,5 %
zem. plyn	25 %	33 %	46 %	20 %	11 %	24 %
uhlí	19 %	18 %	1,5 %	30 %	44 %	25,5 %
jaderná	7 %	10 %	–	1 %	4 %	7 %
vodní	9 %	6 %	0,5 %	9 %	4,5 %	6 %

Světová spotřeba primární energie. Použití biomasy jako paliva není zahrnuto. (Zdroj: British Petroleum – statistický přehled světové energie červen 1993)

VYČIŠTĚNÉ MEGAWATTY

Energetika je jedním ze stěžejních odvětví národního hospodářstí a její rozvoj významně ovlivňuje ekonomický růst i životní prostředí. Čím budeme doma topit, z čeho a jakým způsobem se bude vyrábět elektrická energie a teplo, jak a kam budou energie, plyn či ropa dopravovány – to vše musí řešit energetická politika státu, kterou je nutné včas stanovit a naplánovat. Jedním ze dvou základních aspektů energetické politiky jsou kromě parametrů ekonomických otázky vlivu energetiky na životní prostředí. A právě ty vystupují stále více do popředí.

CESTY K EFEKTIVNĚJŠÍ VÝROBĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE

Energetická politika společnosti (požadavky na druhy a množství energie) závisí na třech základních faktorech: na populačním růstu, ekonomickém vývoji a technologickém pokroku. Zaměřme se nyní na tento třetí faktor, neboť právě technologický pokrok může významně omezit negativní dopady energetického průmyslu, a dokonce i snížit tempo růstu spotřeby energie.

V závislosti na vývoji technologií, zejména v procesech přeměny energie a při jejím využívání, budou neefektivní zařízení rušena a nahrazována výkonnějšími. Například v oblasti výroby elektrické energie je velké úsilí věnováno zvýšení tzv. tepelné účinnosti procesu, tj. zvýšení využití tepelné energie obsažené ve spalovaném palivu (např. uhlí, plynu, topném oleji atd.) k výrobě vyššího množství elektrické energie. Předpokládá se, že tepelná účinnost procesu výroby elektrické energie se u elektráren spalujících uhlí do roku 2020 zvýší z dnešních 34 asi na 42 % a u elektráren spalujících zemní plyn dokonce až na 60 %, zejména v důsledku nové technologie „kombinovaného cyklu“.

V kombinovaném cyklu je k výrobě elektrické energie použito dvou technologických principů: plynové turbíny a kotle na výrobu páry. V plynové turbíně je spalován plyn, který roztáčí turbínu a přes ni generátor, vyrábějící elektrickou energii. Horké spaliny, vzniklé spálením plynu v turbíně, nejsou však vypouštěny do ovzduší, jak je tomu u klasické výroby elektrické energie pouze prostřednictvím plynové turbíny, ale jsou vedeny do speciálního kotle, kde je jejich teplo využito pro výrobu páry. Pára je zavedena do parní turbíny, která opět uvádí do pohybu generátor, vyrábějící elektrickou energii.

Také kotle pro spalování uhlí se výrazně mění a při výrobě elektrické energie se stále více uplatňuje spalování uhlí ve fluidní vrstvě. Účinnost bloků s nejnovějšími fluidními kotli se pohybuje v oblasti až do 37 % oproti

Strojovna Elektrárny Dětmarovice

blokům s běžnými práškovými kotli, kde je v současné době průměr 34 %.

Zároveň s růstem účinnosti výroby energie se předpokládá i snižování její měrné spotřeby ve světě. Ta se ročně snižuje o 0,8 až 1,4 %. Některé oblasti se zlepšují rychleji a dosahují meziroční míry poklesu až 2,7 %. Přestože tedy celková spotřeba energie na světě stoupá, mohlo by její efektivnější využívání v delším časovém období vést k poklesům spotřeby energie a tím i k poklesům spotřeby přírodních zdrojů energie a snižování negativních vlivů průmyslové činnosti člověka na životní prostředí.

ZDROJE PRIMÁRNÍ ENERGIE

Elektřina a vodík jsou jediné formy energie poskytující energetické služby bez vzniku škodlivých emisí v místě užití. Vodík jako zdroj energie zůstane pravděpodobně i po roce 2050 nevýznamným, zatímco důležitost elektřiny poroste i v budoucnu.

Elektrická energie je získávána z různých zdrojů primární energie – z fosilních paliv, z energie vody a větru, využitím jaderné energie, biomasy, geotermální energie a dalších. Dlouhodobá předpověď podílu využívání příslušné primární energie je obtížná. Zdá se však, že do roku 2020 dojde při výrobě elektřiny k poklesu využívání ropných produktů a k růstu užití všech ostatních paliv včetně uhlí.

Uhlí je v současnosti velmi výhodným prostředkem k uspokojení spotřeby energie zejména proto, že z geografického hlediska jsou zásoby uhlí rovnoměrněji rozšířeny po celém světě než zásoby ropy a plynu. Proto je i obchod s uhlím méně ovlivňován politickým děním ve světě, než je tomu u ostatních zdrojů energie.

V současné době činí podíl uhlí na celosvětové spotřebě primární energie 28 %. V Asii a Austrálii téměř polovina požadavků na energii je kryta uhlím. Největší spotřeba uhlí je v Číně, která spotřebovává přes 20 % celosvětové produkce uhlí.

V ostatních částech světa uhlí představuje asi 25 % zdrojů primární energie. Když srovnáme současnou spotřebu uhlí se známými zásobami, odpovídají 100 rokům.

Naproti tomu se odhaduje, že známé zásoby ropy a zemního plynu budou vyčerpány během 40 až 60 let. Tento horizont může být ovšem posunut novými objevy ložisek, snížením spotřeby a přesunem části požadavků z ropy a plynu na uhlí.

V rozvinutých zemích je uhlí převážně používáno pro výrobu elektrické energie a jen malá část pro vytápění domácností. V rozvojových zemích je trend zcela opačný. Spalování uhlí v jednoduchých topeništích je hlavní příčinou značného znečištění životního prostředí, protože řízení spalovacího procesu z hlediska minimalizace škodlivin je v těchto topeništích prakticky nemožné. Pro rozšíření používání uhlí je tedy nutné zaměřit

Pásová doprava uhlí do elektrárny

Vývod výkonu z Elektrárny Ledvice

se na velká zařízení, jako jsou elektrárny či kombinované výrobny tepla a elektrické energie, u kterých je technicky a ekonomicky opodstatněné použít drahé technologie snižující emise škodlivých látek do životního prostředí.

VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE

Výroba a rozvod elektrické energie je složitý proces s mnoha vazbami na své okolí. V současné době neumíme elektrickou energii dlouhodobě skladovat. O vyrobeném množství elektrické energie rozhoduje každý odběratel ať už spuštěním stroje v továrně nebo zapnutím světla či televizoru v domácnosti. Výroba i rozvod se musí okamžitě přizpůsobit.

Klasická elektrárna na fosilní paliva je komplikovaným zařízením zahrnujícím v sobě řadu samostatných technologických celků, jejichž bezporuchový provoz a vzájemná souhra jsou výchozím předpokladem pro výrobu elektrické energie. Aby taková elektrárna mohla vůbec pracovat, jsou k tomu nezbytné dvě základní látky: palivo – v našem případě uhlí – a voda.

Pro dopravu uhlí do elektrárny se používá dopravních pásů, někdy i v délce několika kilometrů, železničních vagonů, lodí a zřídka nákladních aut. Skládka paliva v elektrárně umožňuje její provoz po dobu několika dní i v případě, že dojde k přerušení dodávky paliva, např. při silných mrazech.

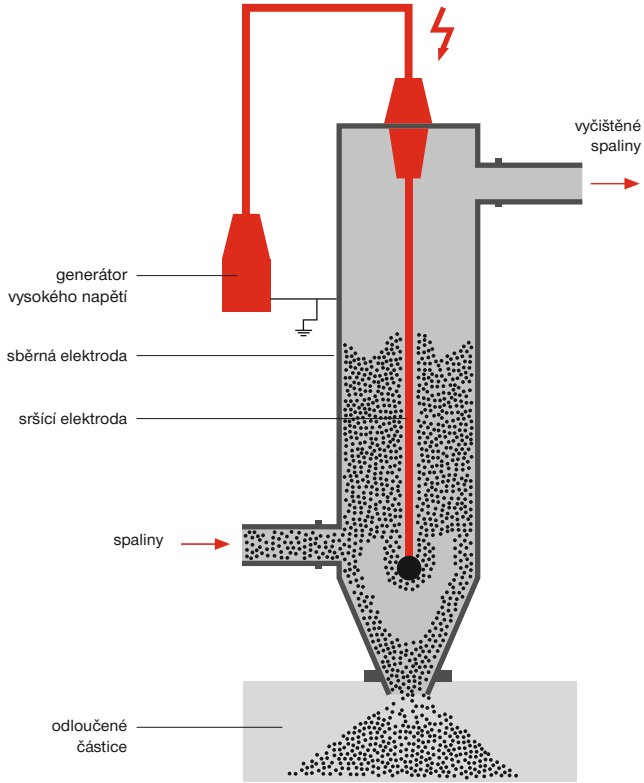
Jedním z klíčových zařízení elektrárny je **kotel**, ve kterém tepelná energie vzniklá spálením uhlí přemění vodu v páru o vysoké teplotě. Pára je zavedena do turbíny, kde přemění část své energie na energii kinetickou a roztočí turbínu a generátor elektrické energie.

Výroba elektřiny je však také spojena s produkcí látek vzniklých spálením uhlí. Jedná se v podstatě o produkty tuhé a plynné. Mezi tuhé produkty patří struska (zachycovaná ve spodní části kotle) a popílek obsažený ve spalinách. Plynné produkty spalování – spaliny – obsahují kromě zmíněných tuhých látek řadu látek plynných např. CO_2, SO_2, NO Cl, F, CO, vodní páru atd. Zachycování popílku ve spalinách je již poměrně dobře zvládnutou záležitostí a elektrostatické odlučovače (filtry) dokáží zachytit více než 99 % popílku. Poněkud složitější je zachycování plynných emisí, zejména emisí oxidu síry (SO_2) a dusíku (NO_x), které jsou považovány za nejvýznamnější znečišťovatele ovzduší při spalování fosilních paliv, a které spolu s oxidem uhličitým přispívají ke vzniku skleníkového efektu na Zemi.

Snižováni emisí SO_2 a NO_x je dnes řešitelné poměrně širokou škálou dostupných technologií. Současná uhelná elektrárna je vybavena jak vysoce účinnými filtry, zachycujícími popílek obsažený ve spalinách, tak zařízením zachycujícím plynné látky, vzniklé spálením uhlí, a to zejména oxidy síry (SO_2), kterých se zachycuje v průměru více než 95 %. Rovněž emise oxidů dusíku, souhrnně označované jako NO_x, jsou za použití různých technologií snižovány až o více než 70 %. Všeobecná představa uhelné elektrárny chrlící do ovzduší oblaka sirnatého kouře plného popílku patří již jen do historie.

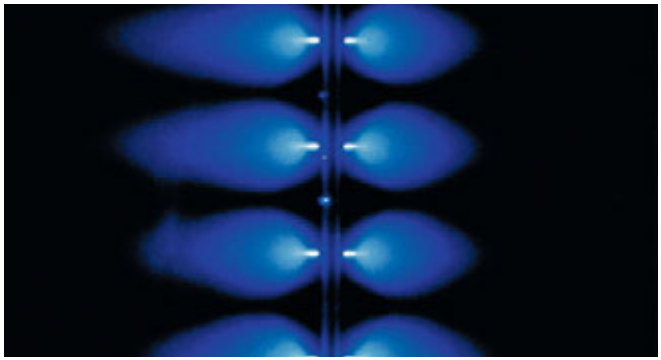
SNIŽOVÁNÍ TUHÝCH EMISÍ

Spaliny opouštějící kotel obsahují velké množství malých částeček, vzniklých spálením uhlí. Jsou to nám dobře známé saze a prach v kouři kamen v domácnosti



Princip elektrostatického odlučovače

Elektroodlučovače



Korona sršících elektrod

i v ohni táboráku. Odborně se těmto malým částečkám říká tuhé látky, běžně je užíván název popílek.

Zachycení tuhých částic je velmi důležité, protože jsou na ně vázány těžké kovy a škodlivé látky z produktů nedokonalého spalování.

Požadavky na zachycování tuhých látek ve spalinách jsou v České republice dány zákonem a stanovené limity jsou stejné jako ve většině vyspělých zemí světa.

Obsah popílku ve spalinách, např. za elektrárenským kotlem, je v průměru asi 30 g/Nm^3 spalin. Aby se tento popílek nedostával do ovzduší a neznečišťoval je, zachycujeme jej ve speciálních filtrech.

Při výrobě elektřiny jsou k zachycení popílku nejčastěji používány tzv. elektrostatické odlučovače, které dokáží zachytit více než 99 % popílku.

Princip elektrostatického odlučovače tuhých látek ze spalin spočívá v tom, že popílek obsažený v nevyčištěných spalinách je působením silného elektrického pole elektricky nabit a zachycen na opačným nábojem nabitých sběrných elektrodách, z kterých je mechanicky odstraňován do zásobníků.

Do proudu spalin proudících odlučovačem jsou vloženy dva typy elektrod – tzv. sršící (nebo vybíjecí) elektrody, napojené na záporný pól vysokonapěťového zdroje stejnosměrného proudu a **sběrné** elektrody, napojené na kladny pól (uzemněný). Elektrický proud o vysokém napětí, zavedený na sršící elektrody, vytváří silné elektrostatické pole mezi sršícími a sběrnými elektrodami. Vzhledem ke tvaru sršících elektrod a jejich vysokému napětí vytváří se na povrchu elektrody tzv. **korona** (modrofialový výboj), produkující velké množství záporných **iontů**, pohybujících se ke kladně nabitým sběrným elektrodám.

Vlivem korony, záporných iontů a silného elektrického pole jsou tuhé částice ve spalinách nabity záporným nábojem a přitaženy ke sběrným elektrodám, na kterých se zachycují.

Po průchodu spalin filtrem obsahují spaliny méně než 100 mg tuhých látek v 1 m^3.

Odsiřovací zařízení v Elektrárně Ledvice

TECHNOLOGIE PRO SNIŽOVÁNÍ EMISÍ SO_2 A NO_x

V případě uhelné elektrárny existují v podstatě čtyři základní směry vedoucí ke snížení **emisí** SO_2 a NO_x:

- snížení obsahu síry v uhlí,
- odsiřování spalin,
- denitrifikace spalin,
- nové technologie.

SNÍŽENÍ OBSAHU SÍRY V UHLÍ

Abychom snížili množství SO_2 vzniklé spálením uhlí, lze k tomu použít některou z úpravárenských metod, snižujících obsah síry v uhlí současně se zvyšováním jeho výhřevnosti a odstraněním nehořlavých látek v něm obsažených. Síra se vyskytuje v uhlí v pyritické formě (FeS_2), v různých organických sloučeninách, ve formě síranů a může byt i v čisté formě. Předpokládá se, že veškerá síra v palivu přechází při spalování ve velkých topeništích do spalin ve formě SO_2 a malá část, u hnědého uhlí asi 5 %, přechází do popela. Obsah síry v uhlí kolísá podle druhu i místa původu a pohybuje se v rozmezí 0,5 až 10 % hmotnosti. V černém uhlí je obsah síry nižší než v hnědém, obvykle kolem 1 %. Česká hnědá uhlí mají asi 1 až 3 % síry.

Organická síra je součástí uhelné hmoty a ve většině druhů uhlí činí 30 až 70 % veškeré síry. Pyritická síra je minerál v různých, nezřídka mikroskopických velikostech s měrnou hmotností asi 5,0, zatímco maximální měrná hmotnost uhlí je asi 1,8. Právě tohoto rozdílu měrných hmotností se využívá při snižování obsahu pyritu v uhlí tzv. **fyzikální separací**. Ta se provádí například tak, že se uhlí rozemele a vypere. Proudem kapaliny jsou unášeny pouze ty částice uhlí, které prakticky neobsahují zrnka pyritu, zatímco těžší zrnka pyritu a další minerální látky se usazují. Tímto způsobem lze snížit obsah pyritu v uhlí o 30 až 60 %, ale za cenu vysokých energetických ztrát.

Další cestou ke snížení obsahu síry v uhlí je využití chemických postupů. Existuje jich mnoho, ale jsou komplikované a drahé.

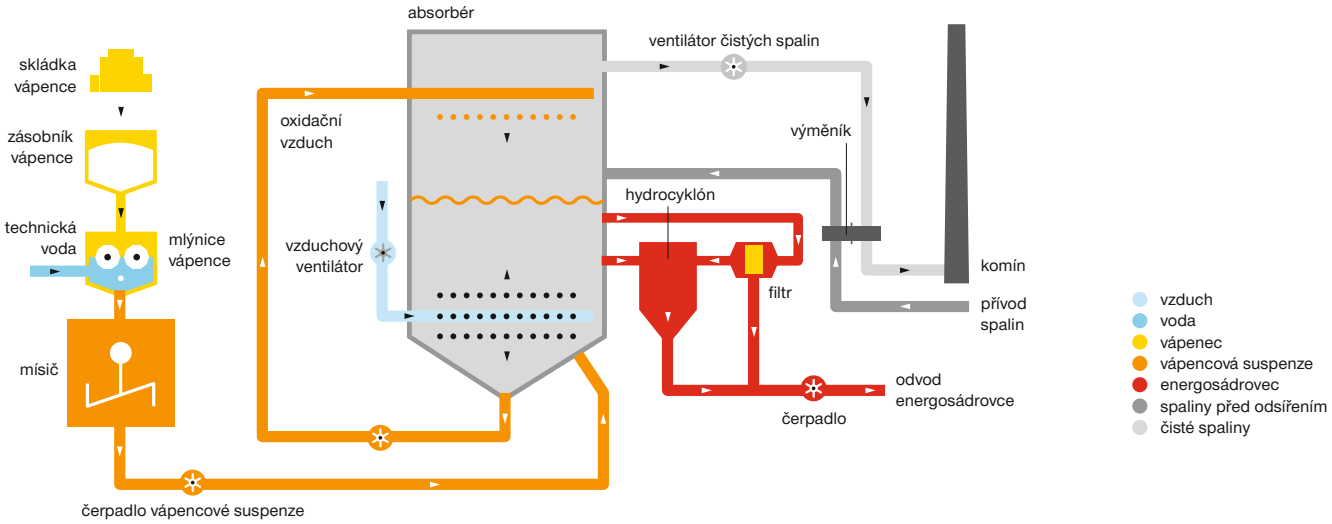


Schéma odsiřovacího zařízení

Snaha o získání čistého paliva z uhlí vedla ke vzniku metody tlakového zplyňování. Jedná se v principu o oxidačně redukční proces, při kterém se pro zplyňování uhlí používá vodní pára. Konečným produktem je plyn složený hlavně z vodíku, oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého, který je dále používán pro spalování především v průmyslu. Současné technologické postupy zplyňování uhlí dosahují účinnosti asi 60 až 70 %. Na jejich vývoji se dále pracuje.

ODSIŘOVÁNÍ SPALIN

Pod pojmem odsiřování spalin rozumíme snižování obsahu SO_2 ve spalinách před jejich vstupem do ovzduší. K tomu účelu se mezi kotel a komín vestavují technologická zařízení zachycující SO_2 ve spalinách. Procesy odsiřování spalin jsou nejrozšířenějšími způsoby snižování emisí SO_2. Ve světě je známo zhruba dvě stě odsiřovacích metod, které jsou v různých stádiích vývoje či realizace.

K jejich výhodám patří, že je lze použít u zařízení existujících i nově budovaných. Většinu odsiřovacích procesů lze zařadit až na konec spalovacího cyklu, tj. za kotel, a tím prakticky nezasahovat do výroby elektřiny a tepla. Odsiřovací zařízení jsou schopna pracovat v poměrně širokém rozsahu kvality a množství odsiřovaných spalin. Proto jsou procesy odsiřování spalin považovány za univerzálnější než jiné metody snižování emisí SO_2.

Podle způsobu zachycování SO_2 dělíme odsiřovací metody na:

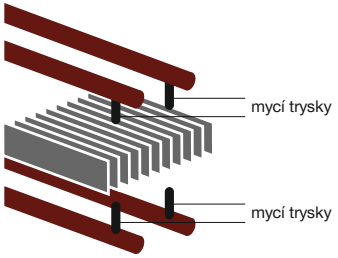
- **regenerační** – aktivní látka se po reakci s oxidem siřičitým regeneruje a vrací zpět do procesu, oxid siřičitý se dále zpracovává,
- **neregenerační** – aktivní látka reaguje s SO_2 na dále využitelný nebo nevyužitelný produkt a zpět do procesu se nevrací,
- **mokré** – SO_2 se zachycuje v kapalině nebo vodní suspenzi aktivní látky,
- **polosuché** – aktivní látka je ve formě vodní suspenze vstřikována do proudu horkých spalin, kapalina se poté odpaří a produkt reakce se zachycuje v tuhém stavu,
- **suché** – SO_2 reaguje s aktivní látkou v tuhém stavu.

MOKRÁ VÁPENCOVÁ VYPÍRKA SPALIN

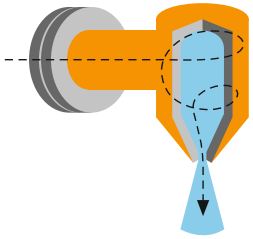
Tato metoda patří v současné době k nejrozšířenějším jak v Evropě, tak v USA i Japonsku.

Reakčním činidlem, na který se oxid siřičitý (SO_2) zachycuje, je vodní suspenze jemně mletého vápence a produktem odsíření je i hydrát síranu vápenatého ($CaCO_4 \times 2\ H_2O$), tzv. energosádrovec.

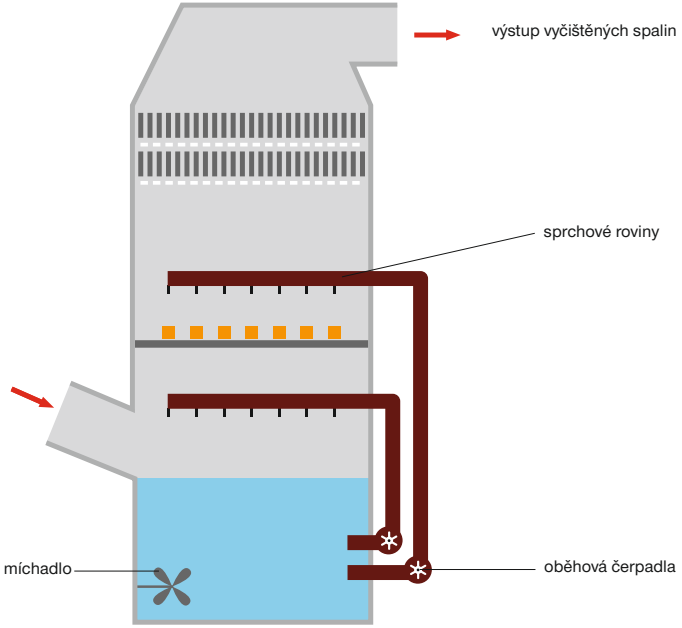
Účinnost zachycení SO_2 je vysoká dosahuje až 96 % při současně vysokém využití reakčního činidla vápence. Produkt odsíření, energosádrovec, je velmi dobře využitelný zejména ve stavební výrobě, kde plně nahradí používaný přírodní sádrovec.



Odlučovač kapek



Rozstřikovací tryska vápencové suspenze



Absorbér

Energosádrovec je využíván jako přísada při výrobě cementu a sádry.

Principem odsiřování je vypírání plynného oxidu siřičitého (SO_2), obsaženého ve spalinách vodní vápencovou suspenzí ($CaCO_3$ + + H_2O) za vzniku roztoku hydrogensiřičitanu vápenatého $Ca(HSO_3)_2$.

Tento proces je možné vyjádřit souhrnnou chemickou rovnicí:

$$2\ SO_2 + CaCO_3 + H_2O = Ca(HSO_3)_2 + CO_2$$

Hydrogensiřičitan vápenatý $Ca(HSO_3)_2$ je poměrně dobře rozpustná sůl, kterou lze snadno oxidovat již v odsiřovacím reaktoru a tak získat dihydrát síranu vápenatého, energosádrovec.

Proces oxidace vyjadřuje rovnice:

$$Ca(HSO_3)_2 + ½\ O_2 + 2\ H_2O =$$
$$= CaSO_4 \times 2\ H_2O + H_2SO_3$$

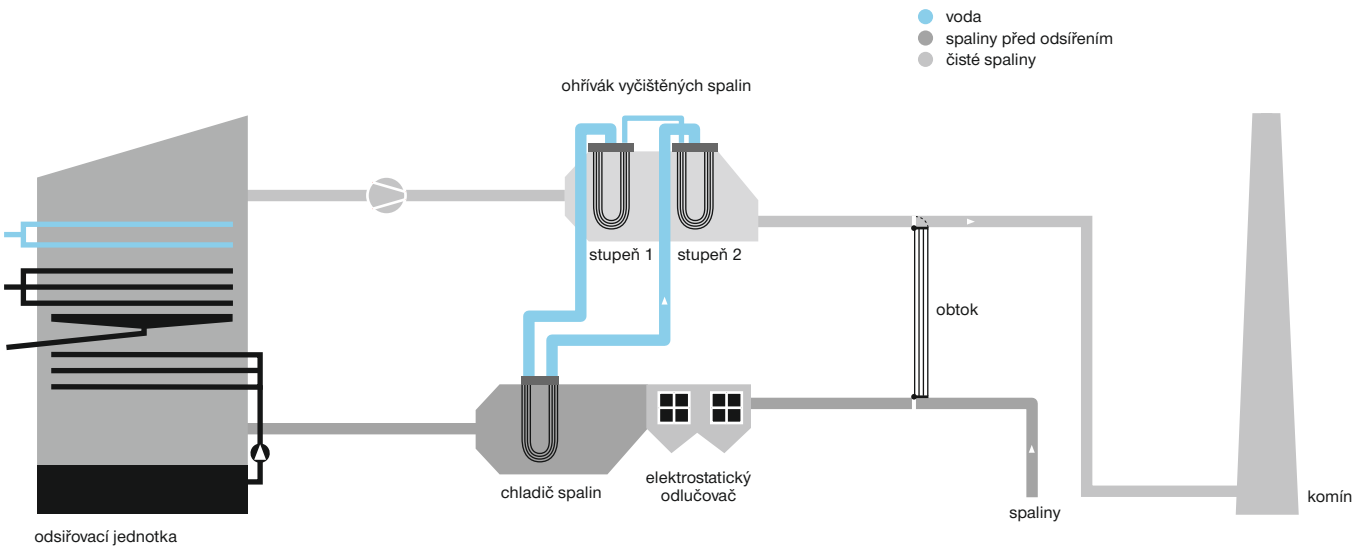
Čistota energosádrovce je vysoká, protože jde o krystalizaci z roztoku. Aby popsaný princip zdárně fungoval a produktem odsiření byl žádoucí energosádrovec, je nutné ve vodní suspenzi odsiřovacího zařízení udržovat „kyselé prostředí“ s hodnotou pH pohybující se v rozmezí 3, 5 až 5,0. Toto prostředí je jednou z rozhodujících skutečností, majících za následek silné korozní napadání ocelových částí odsiřovacího zařízení a jejich znehodnocování. Ochrana zařízení stojí značné úsilí i prostředky.

TECHNOLOGICKÝ PROCES ODSIŘOVÁNÍ

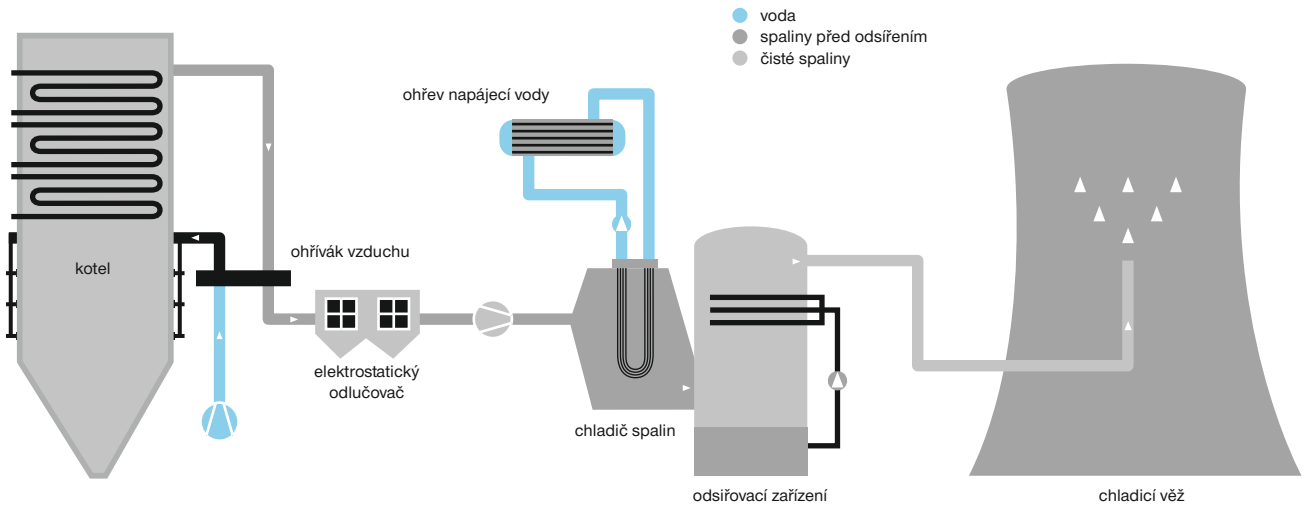
Spaliny, odcházející z kotle, jsou v elektrostatickém odlučovači zbaveny téměř všech tuhých látek (popílku) a vstupují do odsiřovacího zařízení, tzv. absorbéru. Absorbér je vertikální nádoba obdélníkového nebo častěji kruhového průřezu.

Průměr absorbéru, např. pro blok 200 MW, je asi 15 m a výška 43 m. V jeho horní části jsou vestavěny 3 až 4 tzv. **sprchové roviny**, spodní část (asi 1/5 výšky absorbéru) tvoří **jímka absorpční suspenze** a střední část nazýváme **absorpční zónou**. Sprchová rovina je horizontální potrubní síť opatřená velkým množstvím speciálních trysek, kterými se po celé ploše absorbéru rozstřikuje absorpční činidlo vápencová suspenze. Trysky jsou konstruovány tak, aby kapičky rozstřikované vápencové suspenze byly co nejmenší a usnadnily tak reakce s oxidem siřičitým.

Spaliny vstupující do absorbéru ve spodní části absorpční zóny stoupají do horní části absorbéru a jsou během proudění zkrápěny



Rekuperativní výměník tepla



Zavedení odsířených spalin do chladicí věže

Sprchovací rovina s tryskami

Absorbér

Uhelná elektrárna Chvaletice

vápencovou suspenzí rozstřikovanou v horní části absorbéru. Padající kapičky vápencové suspenze přicházejí do styku se stoupajícími spalinami a absorbují oxid siřičitý obsažený ve spalinách.

Ve spodní části absorbéru v jímce se zachycuje suspenze siřičitanu vápenatého vzniklá reakcí SO_2 s vápencovou suspenzí. Do suspenze zachycené v jímce je vháněn oxidační vzduch, dochází k oxidaci siřičitanu na síran vápenatý (sádrovec) a následně ke krystalizaci sádrovce.

Jímka absorbéru musí mít patřičný objem, aby doba zádrže suspenze v jímce byla dostatečně dlouhá a došlo ke krystalizaci sádrovce.

Spaliny vstupující do absorbéru s teplotou 140 až 160 °C jsou v něm ochlazeny sprchováním vápencovou suspenzí a vystupují z něj s teplotou asi 59 °C.

V závislosti na místních podmínkách jsou vyčištěné spaliny po opuštění absorbéru zavedeny buď do chladicích věží, nebo do komínů a vypuštěny do atmosféry.

Spaliny po průchodu absorbérem jsou nasyceny vodní párou, vzniklou odpařením vody obsažené ve vápencové suspenzi, a obsahují velké množství kapiček vápencové a sádrovcové suspenze unášené spalinami proudícími absorbérem.

Aby se zabránilo unikání těchto kapiček z absorbéru a jejich následnému rozptylu do atmosféry, jsou v horní části absorbéru nad sprchovou zónou umístěny odlučovače kapek, které je zachycují.

Pro lepší rozptyl vyčištěných spalin v ovzduší jsou spaliny před zavedením do komína zpravidla opět ohřívány na teplotu přibližně 80 až 90 °C (s využitím tepla odebraného spalinám před vstupem do absorbéru). Poměrná komplikovanost zařízení pro ohřev spalin vedla k hledání jiného vhodného způsobu vypouštění vyčištěných spalin do ovzduší. Stalo se jím zavedení vyčištěných spalin do **chladicích věží** elektráren. Chladicí věž je vedle komínu dominantní stavbou elektrárny upoutávající naši pozornost zejména v zimním období, kdy se z ní valí oblaka vodní páry. Účelem chladicí věže je ochladit vodu, ohřátou a použitou během technologického procesu, a vrátit ji zpět do výrobního cyklu.

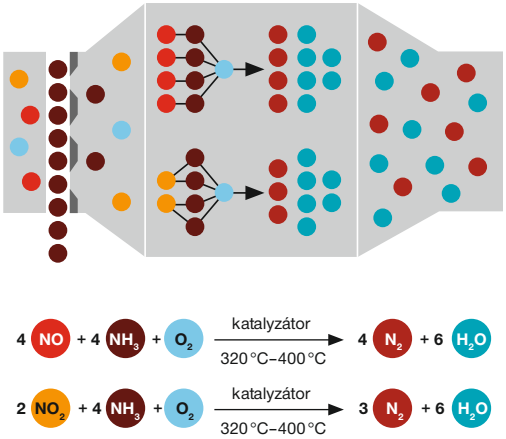
Pro vypouštění odsiřených spalin do ovzduší jsou používány chladicí věže s tzv. **přirozeným tahem**. Je to vysoký železobetonový komolý kužel, jehož základna je několik metrů nad zemí na příslušné konstrukci. Touto „mezerou“ proudí do chladicí věže vzduch, který spolupůsobí společně s teplou vodou při vytváření přirozeného tahu věže, obdobnému „tahu“ komínu. Vzduch je spodkem věže do ní „nasáván“ a na jejím vrcholu spolu s vodní parou, vzniklou ochlazováním vody rozstřikované ve spodní části věže, vypuštěn do ovzduší. Přirozený tah věže umožňuje vypouštění vyčištěných spalin do ovzduší bez ohřevu.

PŘÍPRAVA VÁPENCOVÉ SUSPENZE

K přípravě vápencové suspenze k vypírání spalin se užívá vápenec o obsahu uhličitanu vápenatého ($CaCO_3$) 90 až 95 %. Do elektrárny je dodáván buď jako vápencový štěrk (zpravidla o velikosti 22,5–20 mm), nebo jako jemně mletý, podobný mouce. V podstatě se dá říci, čím jemnější, tím lepší. Proto se vápencový štěrk musí upravit na příslušnou jemnost.

Do elektrárny je štěrk dopravován ve výsypných vagonech. Z nich je dopraven

Sklad energosádrovce v Elektrárně Mělník



Princip metody selektivní katalytické redukce NO_x

pásovými dopravníky na skládku. Kapacita skládky bývá na 10 až 14 dní provozu odsiřovacího zařízení. Ze skládky je vápenec odebírán do zařízení na jeho další zpracování.

Další proces je rozdělen do dvou stupňů. Prvý stupeň je drcení, druhý mletí. Pro drcení vápence jsou používány **kladivové mlýny**, ve kterých je vápenec zdrobněn na velikost zrna do 3 mm. Bezprostředně na kladivový mlýn navazuje tzv. **kulový mlýn**, ve kterém se za mokra (ve vodní suspenzi) semílá drcený vápenec na požadovanou jemnost. Protože ne všechna vápencová zrna dosahují po průchodu mlýnem potřebné velikosti, je namletý materiál tříděn a zrna nadměrné velikosti jsou vracena zpět k domletí.

Název kulový mlýn je odvozen od principu, na kterém mlýn pracuje.

Mlýn je tvořen ocelovým válcem o průměru 2 až 4 m a délce až 10 m, který je naplněn ocelovými mlecími koulemi zpravidla tří různých průměrů. Ocelový válec se otáčí kolem své osy a unáší s sebou mlecí koule. které se uvnitř převalují, narážejí na stěny a jedna na druhou. Přitom drtí a melou vápenec. Současně se do mlýna dodává potřebné množství vody usnadňující mletí a vytvářející základ budoucí vápencové suspenze.

Po průchodu vápence mlýnem a jeho řádném namletí je suspenze připravena k dalšímu použití. Správně namletý vápenec obsahuje více než 90 % částic menších než 0,09 mm. Takto upravený vápenec je naředěn vodou na koncentraci 25 % vápence v suspenzi a přečerpán do provozních nádrží, z kterých je přímo dávkován do absorbéru.

ZPRACOVÁNÍ ENERGOSÁDROVCE

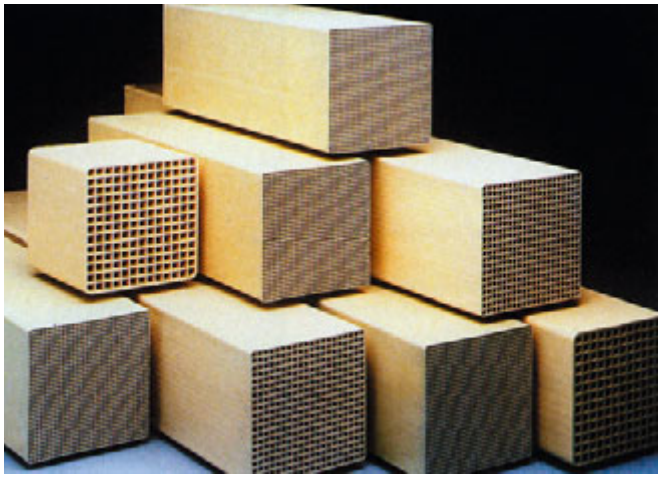
Produktem odsiřování spalin mokrou vápencovou metodou je energosádrovec. Tento pojem je používán pouze pro sádrovec vzniklý v odsiřovacím zařízení, aby se odlišil od sádrovce, který se v přírodě vyskytuje jako nerost a je také těžen pro průmyslové využití. Energosádrovec je však mnohem čistší než sádrovec přírodní.

V jímce odsiřovacího zařízení je suspenze obsahující směs mletého vápence, siřičitanu vápenatého a síranu vápenatého energosádrovce. K oddělení energosádrovce z této směsi využíváme rozdílné specifické hmotnosti látek: energosádrovec má vyšší a vápenec i siřičitan vápenatý nižší.

Suspenze obsahující asi 10 % vykrystalizovaného energosádrovce se z absorbéru odčerpává a prostřednictvím hydrocyklonů se ze suspenze oddělí těžší energosádrovec.

V dalším technologickém zařízení se obsah vody v energosádrovci sníží na 5 až 10 %. Používají se k tomu různé typy odvodňovacích zařízení – průmyslové odstředivky nebo zařízení využívající pro snížení obsahu vody v energosádrovci vakuum.

Tak fungují nejčastěji používané pásové filtry. Tyto filtry si můžeme představit jako pásový dopravník o šířce přibližně 2 m a délce 30 m. Pás je gumový, příčně drážkovaný a uprostřed po celé jeho délce jsou otvory o průměru 10 mm. Na gumovém pásu leží speciální hustě tkaná filtrační tkanina propouštějící vodu, ale ne energosádrovec, jehož suspenze se na tkaninu rozlévá. Pod gumovým pásem se vakuovým čerpadlem vytváří podtlak, který otvory v pásu odsává vodu z energosádrovce rozlévaného po filtrační tkanině.



Detail náplně části katalyzátorové jednotky

Detail pracoviště operátora velínu odsiřování

Na jednom konci pohybujícího se pásu je rozlévána sádrovcová suspenze, na druhém konci poté z pásu padá odvodněný sádrovec.

SNIŽOVÁNÍ EMISÍ NO_x

Mluvíme-li o oxidech dusíku označovaných NO_x, máme na mysli směs především dvou druhů oxidů dusíku, a to oxid dusnatý NO a oxid dusičitý NO_2. Výzkum posledních 10 až 15 let ukázal, že poškozování ovzduší je složitý mechanismus a vedle oxidů síry působí negativně i oxidy dusíku. Na emisích NO_x se podílejí zdroje stacionární (teplárny, elektrárny, domácí topeniště atd.) a zdroje mobilní (motory dopravních prostředků). Rozložení tvorby emisí NO_x podle typů zdrojů je pro každý stát odlišné. V zemích s vysokým rozvojem automobilismu je podíl mobilních zdrojů znečištění až 60 %.

Oxidy dusíku vznikají při spalování fosilních paliv oxidací dusíku chemicky vázaného v palivu a molekulárního dusíku obsaženého ve vzduchu, který se účastní spalovacího procesu. U **kotlů** větších výkonů je směs NO_x tvořena přibližně 95 % NO a 5 % NO_2.

METODY SNIŽOVÁNÍ NO_x

V elektrárnách je **uhlí** před spálením semleto na prášek, který je spalován pomocí speciálních **hořáků**. Do hořáků, kterých je v topeništi několik, je vháněna směs uhelného prášku se vzduchem a další vzduch nutný pro optimální spalování. Spalovací proces je složitým fyzikálně chemickým jevem, který nedokážeme zcela přesně matematicky modelovat. Proto nedokážeme zcela přesně teoreticky řídit ani spalovací proces z pohledu co nejnižší tvorby emisí NO_x.

Přesto se postupným praktickým ověřováním podařilo vyvinout postupy, vedoucí ke snížení tvorby NO_x již při spalování. Rovněž tak byly vyvinuty metody zachycující NO_x vzniklé spalováním paliva. Metody snižovaní NO_x tedy dělíme do dvou základních kategorií:

- primární metody, spočívající v potlačování vzniku NO_x během spalování,
- sekundární metody, spočívající v následném odstraňování NO_x ze spalin.

Primární metody využívají znalostí o vzniku NO_x a z jejich analýzy vyplývá, že během spalovacího procesu lze tvorbu NO_x snížit třemi hlavními způsoby: snížením spalovací teploty, snížením koncentrace O_2 v plameni a zkrácením doby pobytu reagujících látek v oblastech s příznivými podmínkami pro vznik NO_x.

V praxi se zpravidla nepoužívá jen jeden způsob samostatně (snížení produkce NO_x pod zákonný limit se dosáhne jen výjimečně), ale jejich kombinace. Provádí se regulace množství spalovacího vzduchu, úprava konstrukce hořáků, recirkulace spalin, chlazení plamene vzduchem, stupňování přívodu paliva apod.

Při úpravách provozovaných spalovacích zařízení lze dosáhnout snížení NO_x o 40 až 60 % za relativně nízkých nákladů.

Sekundární metody odstraňují již vzniklý NO_x ze spalin. Metod existuje několik typů, ale nejvíce používané jsou selektivní nekatalytická redukce (SNCR) a selektivní katalytická redukce (SCR).

Selektivní nekatalytická redukce spočívá ve vytvoření redukčních podmínek, při kterých do kotle vstřikovaný čpavek nebo močovina selektivně (přednostně) snižuje oxidy dusíku za vzniku elementárního

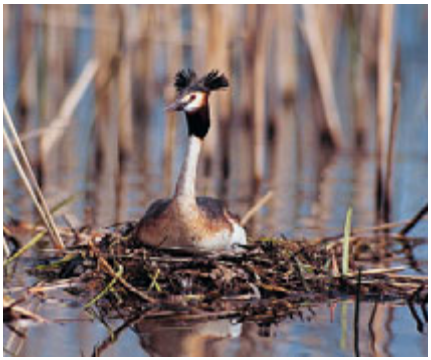
dusíku a vodní páry. Účinnost snížení NO_x je 40 až 60 %. Charakteristickým znakem této metody je, že probíhá v kotli v oblasti teplot 900 až 1 050 °C. Použití čpavku jako redukčního činidla má některé nevýhody. Čpavek je zdraví nebezpečná látka, vyžadující složitější technologická zařízení pro skladování a manipulaci, při jeho úniku je okolí obtěžováno zápachem, vzniklé sloučeniny čpavku a síry mohou vytvářet nežádoucí nánosy na strojním zařízení. Z těchto důvodů se používá u některých postupů místo čpavku močovina.

Selektivní katalytická redukce je založena na stejných chemických reakcích jako předcházející nekatalytická redukce, ale díky katalyzátoru probíhají reakce při teplotách 300 až 400 °C. Čpavek je vstřikován do spalin, které jsou následně zavedeny do katalyzátorového reaktoru, ve kterém se oxidy dusíku, obsažené ve spalinách, opět změní na dusík a vodní páru. Účinnost snížení NO_x je vysoká 80 až 90 %. Katalyzátory jsou nejčastěji vyrobeny z oxidů vanadu, molybdenu, wolframu a jejich kombinací. Jejich cena je poměrně vysoká a životnost naopak poměrně nízká.

SLOVO NA ZÁVĚR

Odsiřovací i denitrifikační zařízení v elektrárnách jsou vysoce automatizována a celý proces snižování emisí je řízen z centrálního velínu. Všechny důležité provozní údaje jsou zaznamenávány, účinnost odsiřovacího i denitrifikačního procesu a čistota spalin vypouštěných do ovzduší jsou soustavně a plynule měřeny. Měření jsou pečlivě sledována a denně vyhodnocována. Naměřené a vyhodnocené údaje, dokumentující stav čistoty vypouštěných spalin, jsou evidovány a jsou k dispozici státním orgánům inspekce životního prostředí i příslušným orgánům místních a okresních samospráv.

Elektroodlučovače popílku v Elektrárně Mělník



Zdravá příroda je to největší bohatství, které máme

REKULTIVACE SUROVIN

Odpady z energetiky vždy představovaly velký problém z hlediska jejich vlivu na životní prostředí. Vývoj technologií spalování a odsíření, legislativní změny a racionálnější chování podnikatelských subjektů vytvářejí nyní podmínky k tomu, aby se z odpadu mohla stát cenná surovina. Odpady z energetiky jsou jako vedlejší energetické produkty využívány ve stavebnictví, pomáhají zahlazovat dřívější zásahy do krajiny, a dokonce čistí odpadní vody. Nevyužitá část je pak ukládána tak, aby nepředstavovala ohrožení životního prostředí ani v budoucnosti.

CO JSOU ODPADY Z ENERGETIKY

Pod pojmy odpady z energetiky zahrnujeme ty tuhé odpady, které přímo souvisejí s procesem spalování tuhých paliv nebo s procesem čištění kouřových plynů. Energetika samozřejmě produkuje ještě řadu dalších odpadů, včetně odpadních vod a odpadů podobných domovnímu, tyto druhy však nejsou charakteristické pro výrobu tepla a elektrické energie. Odpady z jaderné energetiky jsou svým charakterem zcela odlišné a tvoří samostatnou kapitolu. V dalším textu budou pod pojmem odpady z energetiky chápány následující odpady:

- popílek z elektrostatických (EO) nebo jiných odlučovačů,
- škvára a struska ze spalování uhlí, která ve směsi s popílkem tvoří tzv. popel,
- energosádrovec, tj. produkt mokré vápencové vypírky kouřových plynů, která je aplikována především při odsíření velkých energetických celků,
- produkt polosuché metody odsíření kouřových plynů – polosuchá metoda je pro odsíření využita zejména v městském a závodním teplárenství; v rámci Skupiny ČEZ jde pouze o Elektrárnu Ledvice,
- produkt spalování ve fluidních kotlích (FK) s odsířením – technologie fluidního spalování s odsířením se začíná při výrobě tepla a elektrické energie uplatňovat ve stále větší míře; ve zdrojích skupiny ČEZ jsou fluidní kotle v provozu v elektrárnách Hodonín, Ledvice, Poříčí a Tisová,
- produkt suché aditivní metody odsíření – pravděpodobně se v ČR nebude vyskytovat, neboť suchá aditivní metoda odsíření z hlediska účinnosti nevyhovuje požadavkům legislativy.

JAKÉ MAJÍ ODPADY Z ENERGETIKY VLASTNOSTI

Popel je zbytek po spalování **uhlí**, z něhož část je zachycována v EO (popílek) a část je odváděna z ohniště kotle (škvára a struska); ta představuje u granulačních kotlů, kde se ve víru vzduchu spaluje práškové mleté uhlí, zpravidla 10–20 % celkového množství popele. U roštových kotlů je procento škváry vyšší, neboť uhlí se spaluje ve vrstvě na roštu.

Orientační složení je zpravidla následující: 45–55 % SiO_2, 15–30 % Al_2O_3, 5–20 % Fe_2O_3, 1–5 % CaO (u většiny českého uhlí; u zahraničního může obsah CaO dosahovat až 20 %), 1–3 % MgO, asi 1,5 % TiO_2, 0,5 % Na_2O ,1 % K_2O, 0,5–2 % SO_3. Podle způsobu spalování může popel obsahovat 1–10 % nedopalu, tj. nespáleného uhlíku z uhlí. Hustota je od 1900 do 2 300 kg/m^3, sypná hmotnost asi 750 kg/m^3, sypná

Zařízení na výrobu stabilizátu

hmotnost setřeseného materiálu je kolem 1000 kg/m^3.

Velikost částic popílku je od řádu 10^{-7} m do 10^{-3} m, velikost částic škváry je pak do několika desítek mm.

Obsah kovů As, Be, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn a dalších bývá v řádu desítek až stovek ppm (ppm = jedna miliontina), přičemž na menších částečkách popílku se zachycuje větší množství těchto kovů.

Energosádrovec vzniká v odsiřovacím absorbéru jako produkt reakce mezi vápencem (zřídka jiným absorbentem) a kyselými složkami kouřových plynů (především SO_2, ale i HCl a HF) a následné oxidace vzniklého siřičitanu vápenatého.

Složení je následující: 80–95 % $CaSO_4 . 2H_2O$ (minerál sádrovec), 1–10 % $Si0_2$, 0,5–5 % Al_2O_3, 0,5–3 % $CaCO_3$ + + $MgCO_3$ a dále pod 1 % Fe_2O_3, MgO, Na_2O, K_2O, SO_2, F, Cl.

Střední velikost částic bývá 70 – 90 m v závislosti na konkrétní technologii odsiření. Hustota sádrovce je 2320 kg/m^3, sypná hmotnost závisí na vlhkosti a pohybuje se v rozmezí 850–200 kg/m^3, sypná hmotnost setřeseného materiálu může dosahovat až 1500 kg/m^3. Sádrovec je produkován zpravidla jako suspenze nebo vlhká hmota s vlhkostí kolem 10 %. V tomto stavu je sádrovec velmi lepivý a při manipulaci a dopravě se přilepuje na vše, s čím přijde do styku. Je-li užit pro výrobu sádry, suší se. Pro zabránění prášení při transportu se někdy briketuje; to znamená, že se práškový sádrovec stlačí mezi dvěma válci s prohlubněmi. Podobným způsobem se vyrábějí tablety nebo známé palivové brikety z uhelného prachu nebo dřevěných pilin.

Obsah kovů v energosádrovci je obyčejně desetkrát až stokrát nižší než v popílku.

Produkt odsíření polosuchou metodou vzniká reakcí mezi vápnem a kyselými složkami kouřových plynů. Na rozdíl od energosádrovce však obsahuje převážnou část síry ve formě půlhydrátu siřičitanu vápenatého $CaSO_3 \times 1/2H_2O$, který se v procesu odsíření na síran již dále neoxiduje. Díky většímu přebytku vápna pro odsíření obsahuje i produkt větší množství volného vápna. Příklad složení produktu uvádí tabulka:

Složka	%	Složka	%
$CaSO_3$	40,2	inerty	1,5
$CaSO_4$	20,4	$MgSO_3$	1,0
$Ca(OH)_2$	13,9	$CaCl_2$	0,5
$CaCO_3$	4,2	CaF_2	0,5
popílek	8,9	voda vázaná	8,9

Uvedené složení je nutno chápat jako orientační, obsahy jednotlivých solí podle provozních podmínek, kvality uhlí a vápna kolísají ve značném rozsahu.

O fyzikálních vlastnostech a obsahu kovů platí přibližně totéž, co o energosádrovci. Vlhkost se pohybuje od 1 do 7 %.

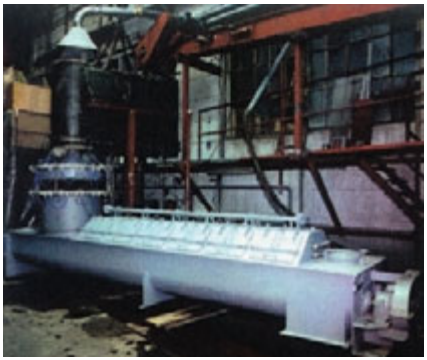
Produkt fluidního spalování s odsířením je vlastně směsí popele, produktů odsíření, nerozloženého vápence a nezreagovaného vápna, které vzniká rozkladem nadbytečného vápence v ohništi. Složení závisí na kvalitě uhlí, vápence, technologických podmínkách spalování a množství dalších vlivů. Příklad složení může být následující: 38 % SiO_2, 19 % Al_2O_3, 5 % Fe_2O_3, 2 % TiO_2, 26 % CaO, 1 % MgO, 6 % SO_3, 0,01 % Cl, 0,1 % F, přičemž část CaO je ve formě síranu vápenatého, část ve formě volného vápna a menší část jako nerozložený $CaCO_3$. Produkt fluidního spalování může obsahovat až 15 % nedopalu.

Zrnitost (velikost zrn materiálu), fyzikální vlastnosti a obsahy kovů se příliš neliší od popílku.

PŘEPRACOVÁNÍ ODPADŮ A JEJICH FORMY

Materiály, které jsou v průběhu technologického procesu zachycovány a shromažďovány, nejsou vždy využity nebo uloženy na složiště v té formě, ve které vznikly, ale

Míchačka na výrobu aglomerátu či stabilizátu



Zařízení na výrobu stabilizátu ve výrobní hale

bývají přepracovány, aby se zlepšily jejich vlastnosti a aby se omezil nebo eliminoval jejich možný vliv na životní prostředí.

Po přepracování jsou odpady využity nebo ukládány v jedné ze tří nejrozšířenějších forem.

Aglomerát – vzniká přídavkem asi 25 % vody a zamícháním popílku nebo popele ve speciálním zařízení. Takto připravený aglomerát je sypký až granulovaný, při transportu ani po uložení nepráší a díky chemickým změnám na povrchu zrn se z něj při styku s vodou uvolňuje (vyluhuje) jen velmi málo škodlivin. Aglomerát se vyrábí v Elektrárně Mělník z části popele, který není využit jiným způsobem. Prázdnými vagony se vrací zpět do Severočeských dolů (SD) k uložení.

Deponát – směs popele a energosádrovce zvlhčená asi 25 % vody. Takto zpracovaná hmota má pouze mírně sníženou vyluhovatelnost škodlivin oproti původním složkám. Díky různé velikosti částic popílku, strusky a energosádrovce je asi desetkrát snížena propustnost vrstvy ve srovnání s vrstvami samostatných složek deponátu. Ukládání nevyužité části odpadů z energetiky ve formě deponátu do utěsněných složišť v prostoru SD je provozováno v elektrárnách Prunéřov a Tušimice.

Stabilizát – je ve světě nejrozšířenější formou ukládání energetických odpadů. Jedná se o směs popele a produktů odsíření nebo popele z fluidních kotlů, která se zamíchá s vodou za případného přídavku aditiva (vápna, cementu) s cílem využít tzv. pucolánových vlastností, tj. schopnosti popílku tuhnout a tvrdnout jako např. cement. Tato schopnost se však musí aktivovat přídavkem vápna nebo cementu, zejména v případech, kdy popel obsahuje jen malé nebo žádné množství volného vápna, jak je u popelů v ČR obvyklé. Bez přídavku vápna (aktivátoru) popílek netvrdne, s přídavkem vápna směs tvrdne podobně jako beton. Stabilizát po zatuhnutí a zatvrdnutí dosahuje pevnosti až 10 MPa (výjimečně až 20 MPa), za příznivých podmínek může být dosaženo velmi nízké propustnosti, tedy rychlosti, kterou voda může proudit vrstvou stabilizátu (až pod 10^{-10} m/s = 0,000 000 0001 m/s). Uvolňování škodlivin ze stabilizátu je výrazně sníženo oproti samostatným složkám tím, že těžké a toxické kovy jsou chemicky vázány v krystalické mřížce materiálu, který je podobný betonu nebo spíše tzv. hubenému betonu.

UKLÁDÁNÍ POPELE V MINULOSTI

V minulosti se téměř veškerá produkce popílku a strusky v ČR (dále popele) ukládala ve formě hydrosměsi na odkalištích tzv. plavením. Jen velmi malá část produkce popele se ukládala suchým způsobem nebo byla využívána. Produkty odsíření ani produkty spalování ve fluidních kotlích se v ČR nevyskytovaly.

Princip plavení popele ve formě hydrosměsi spočívá v tom, že veškerý popel z kotle se shromažďuje v tzv. **bagrovací jímce**, kam se od kotle splavuje vodou splavovacími žlaby. Z bagrovací jímky se směs popele a vody čerpá potrubím na odkaliště, potrubí je obvykle chráněno proti otěru vyložením čedičem. Hydrosměs se vypouští do prostoru odkaliště, kde dochází k usazování tuhých částic. Čistá voda z povrchu se přepadovým systémem odebírá a čerpá zpět do splavovacích žlabů a bagrovací jímky, nebo se vypouští do vodního toku s dostatečným průtokem tak, aby nedocházelo k jeho znečištění.

Po vyplavení jedné etáže („patra“) se na obvodu odkaliště vybuduje tzv. **zvyšovací hráz**, čímž se vytvoří nový bazén ve vyšším patře. Hráze odkaliště jsou vybaveny drenážním systémem zabraňujícím průsakům vody z prostoru odkaliště do okolí.

Bylo prokázáno, že přeplavení popele mění jeho chemické vlastnosti. Při kontaktu vody s povrchem zrn popílku dojde k chemické reakci, při které vznikají na povrchu

Povrch stabilizátu po jednom měsíci (vlevo) a po jednom roce (vpravo)

Na rekultivovaná území se vrací flóra i fauna

zrn (stejně jako např. při tuhnutí cementu) nové chemické látky, do jejichž krystalické mřížky se při tom vážou i těžké a toxické kovy absorbované na povrchu zrn. Tím se sníží schopnost jejich dalšího uvolňování do životního prostředí.

Přestože plavení popílku do odkališť není v rozporu se současnými předpisy, má tento způsob zneškodňování své nevýhody, z nichž je důležité se zmínit zejména o následujících:

- Po dobu plavení nelze rekultivovat ani část povrchu odkaliště, zůstávají obnaženy velké plochy bez užitku, popílkové pláže na okrajích odkaliště jsou zdrojem prachu, odkaliště představuje dlouhodobý velký zásah do krajiny.
- Pro cyklus výstavby zvyšovacích hrází a plavení jsou třeba k dispozici 2 plochy, z nichž do jedné se vždy plaví a na druhé se budují zvyšovací hráze.
- Čerpání velkého množství dopravní vody, jedním nebo častěji oběma směry, je neekonomické.
- Některé druhy odpadů z energetiky (stabilizáty, popel z fluidních kotlů a produkty polosuché metody odsiření) nelze takto dopravovat vůbec, neboť se v dopravních cestách nalepují, tuhnou a ucpávají je.
- Plavení velmi omezuje možnosti pro využívání popele.

Z těchto a dalších důvodů se v současné době od klasického plavení upouští a přechází se na suché způsoby odběru, dopravy a ukládání odpadů z energetiky.

TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ PRO SUCHÉ ODBĚRY POPÍLKU A STRUSKY

Komplexní přechod na suché odběry popílku a strusky je ve většině případů základním předpokladem zejména pro využívání této cenné suroviny, ale i pro ekologičtější způsoby ukládání nevyužité části odpadů.
Popílek, který se shromažduje ve výsypkách elektroodlučovačů, se přes turniketové podavače dávkuje do fluidních žlabů , které dopravují popílek z několika výsypek do systému pneumatické dopravy. Ta může být kontinuální nebo častěji diskontinuální s použitím tzv. komorových podavačů. Tak se popílek dopraví do mezizásobníku popílku, ze které ho již lze odebírat k využití.

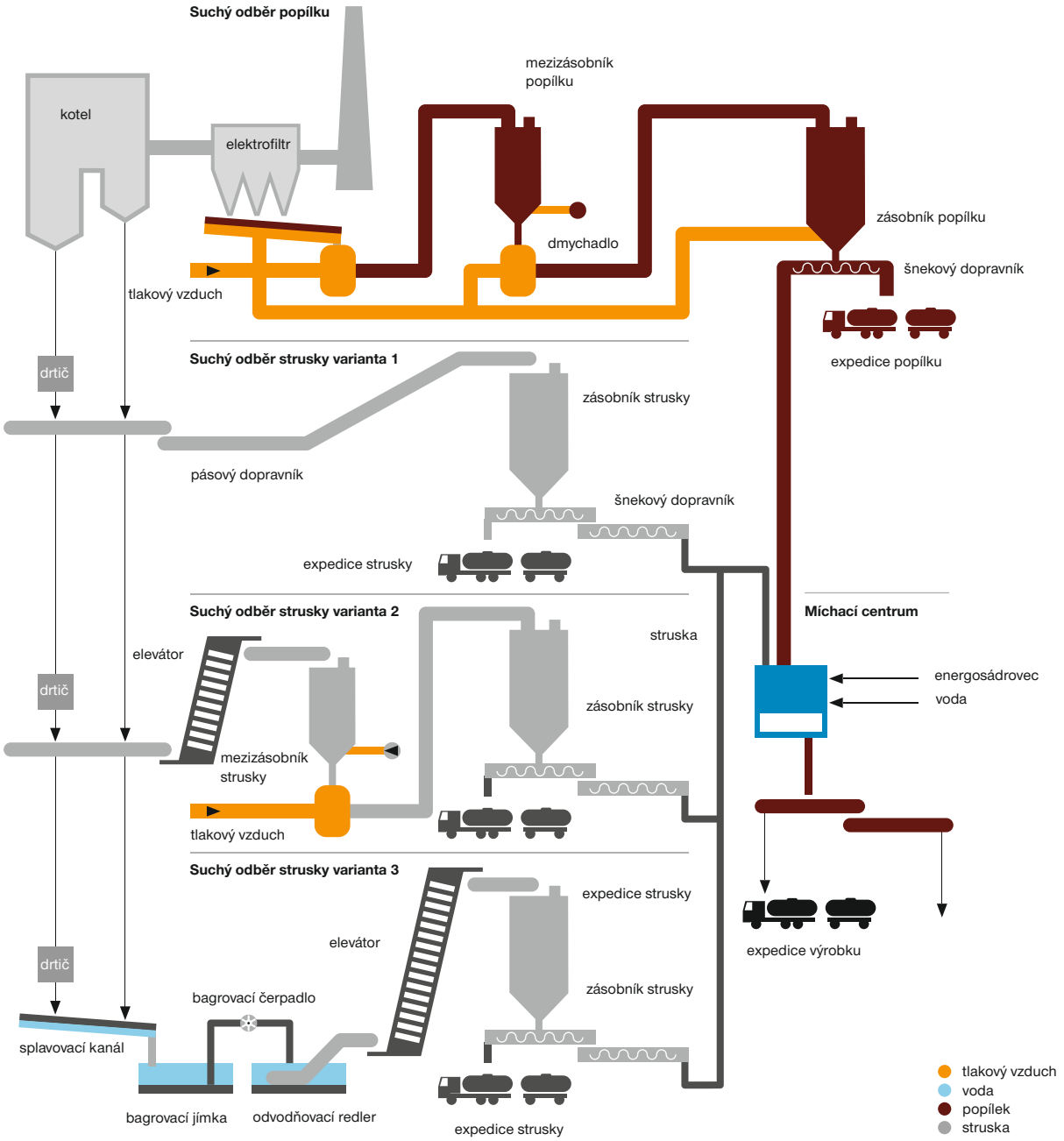
Uspořádáním fluidních žlabů, pneumatické dopravy a mezizásobníků lze shromažďovat popílek různé velikosti zrn podle potřeb následného způsobu využití.

Z mezizásobníku se popílek dávkuje do komorového podavače, odkud se dopravuje do zásobního sila na popílek. Silo je vybaveno pneumatickým vyprazdňovacím zařízením, čeřením a výstupním filtrem dopravního a čeřicího vzduchu. Zásobník popílku může obecně být ocelový nebo betonový. Při skladování popílku ve velkokapacitních silech záleží velmi na systému vyprazdňování, neboť popílek, ve spodních partiích vystavený vysokým tlakům, má sklon k silnému zhutnění a snížení tekutosti. Nežádoucí hutnění popílku v sile je eliminováno instalací vyprazdňovacího kuželu nade dnem sila. Vyprazdňování je zajišťováno systémem pneumatických žlabů na dně sila.

Ze sila se popílek systémem podavačů a vážícího podavače dávkuje do mixéru, kde se připravuje **stabilizát**, **deponát** nebo **aglomerát**. Do mixéru se přivádí voda; může být přiváděna bud čerstvá technologická voda, nebo některý druh odpadní vody, zvláště odpadní voda z odsíření, která zlepšuje některé vlastnosti stabilizátů. Dále může být do mixéru přiváděna struska a energosádrovec z odsíření nebo produkt polosuché metody odsíření.

Mixér sloužící k přípravě stabilizátu, deponátu nebo aglomerátu obecně zajišťuje rovnoměrné provlhčení míchaných složek a homogenizaci vlhké směsi. Jsou přitom užívány dva základní principy míchání:

- míchání v jedno nebo dvojhřídelovém horizontálním mísiči,



Princip suchého odběru popílku

Vysokotlaké čerpadlo k čerpání husté suspenze

Čerpání husté suspenze

- míchání v nádrži opatřené míchadlem na vertikální ose.

Je-li cílem výroba materiálu s definovanými vlastnostmi (těsnicí hmota, stabilizát s limitovanými výluhy apod.), je velmi důležité, aby docházelo k dobrému provlhčení a homogenizaci a eliminoval se vznik neprovlhčených jader, jejichž dodatečná hydratace na složišti by mohla způsobit pokles pevnosti a zvýšení propustnosti zatvrdlé hmoty.

Doprava stabilizátu, aglomerátu nebo deponátu je zajišťována ve většině případů pryžovými pásovými dopravníky. Pásová doprava může být nahrazena tzv. čerpáním husté suspenze nebo dopravou nákladními automobily.

ODBĚR A DOPRAVA STRUSKY

Varianta 1: Vlhká struska z vodního uzávěru kotle prochází drtičem, odkud vypadává na odběrný redler (řetězový hrablový dopravník) nebo šnekový dopravník. Soustavou redlerů, na něž je přiváděn i popel ze zadních tahů a Ljungströmů (ohříváků spalovacího vzduchu) se struska dopravuje do zásobního sila strusky.

Silo je vybaveno vyhrabovacím zařízením (hydraulický rám, šnek apod.). Je-li struska vlhká, je nutné, aby se zamezilo namrzání obsahu sila. Silo je proto vybaveno topným zařízením. Ze zásobního sila se struska dávkuje systémem podavačů a vážícího podavače do mixéru nebo může být zároveň plněna do nákladních automobilů nebo železničních vozů odběratelů.

Tato varianta je nejrozšířenější, představuje relativně nízké investiční i provozní náklady.

Varianta 2 se využívá především při řešení suchého odběru hrubého (ložového) popele fluidních kotlů.

Varianta 3 pak využívá splavovací kanály a původní bagrovací jímku.

Tato varianta je vhodná v těch případech, kdy je při rekonstrukci znemožněn (z prostorových nebo statických důvodů) zásah do partií pod kotlem nebo ponechává-li se možnost záložní hydraulické dopravy strusky.

DOPRAVA MATERIÁLŮ NA MÍSTO VYUŽITÍ ČI ULOŽENÍ

Na místo uložení se materiál dopravuje různými způsoby, z nichž nejrozšířenější jsou:

Doprava korýtkovým dopravním pásem. Je to dosud nejrozšířenější způsob dopravy. Vyžaduje však návaznost na složišti – mechanismy pro rozprostírání a hutnění.

Pro omezení prášení je pás zakryt, většinou jsou instalovány i trysky, které sprchují osychající povrch dopravovaného materiálu vodou.

Doprava trubkovým pásovým dopravníkem. Oproti klasickému dopravnímu pásu omezuje hlučnost a snižuje počet přesypů, protože trubkový pás je možné lépe ohýbat a přizpůsobovat trase. Je též eliminováno prášení, neboť materiál je v průběhu dopravy uzavřen v trubce tvořené stočeným dopravníkovým pásem.

Doprava nákladními automobily nebo po železnici. Využívá se především při dopravě na vzdálenější místo, na kratší vzdálenosti obyčejně představuje zvýšenou zátěž životního prostředí.

Doprava potrubím ve formě husté suspenze. Systém dopravuje suspenzi stabilizátu nebo deponátu, která je připravena právě s takovým množstvím vody, které je potřebné pro ztekucení a hydratační reakce (tvrdnutí).

Voda se ze suspenze na složišti neuvolňuje, suspenze se však sama roztéká a nevyžaduje hutnění (má samohutnicí schopnost). K čerpání se využívá vysokotlakých čerpadel různých typů a potrubí které může být uloženo v zemi, takže odpadá jakékoliv zatížení prostředí po trase dopravy. Tento systém je nejekonomičtější a nejšetrnější k životnímu prostředí ze všech uvedených – nepráší, neobtěžuje hlukem ani nehyzdí krajinu.

Hutnění vrstvy stabilizátu

Rekultivace v okolí Elektrárny Prunéřov

Umělé kamenivo Lytag

UKLÁDÁNÍ STABILIZÁTU, DEPONÁTU A AGLOMERÁTU NA SLOŽIŠTĚ

Přesto, že hlavním cílem je maximální vyutií odpadních materiálů, je vzhledem k množství produkovaných odpadů vždy nutné počítat s tím, že alespoň část produkce bude nezbytné ukládat na složišti. V současné době se přechází k ukládání suchou cestou ve formě stabilizátu, aglomerátu či deponátu. V prostorách, kde jsou nepříznivé hydrogeologické podmínky, vyžaduje legislativa zejména pro ukládání aglomerátu a deponátu, aby složiště bylo vybaveno těsněním, které zabrání možnému pronikání škodlivin. Těsnění se provádí z plastových fólií, hutněné vrstvy jílu nebo je lze provést ze speciálně připravené těsnicí vrstvy stabilizátu. Pro ukládání stabilizátu do prostor, kde jsou přirozené těsnicí bariéry, se uvažuje o upuštění od dodatečného těsnění dna a boků skládky. Při známých vlastnostech stabilizátu se dodatečné těsnění skládky jeví jako neekonomické.

Vrstva ukládaného materiálu se po rozprostření v některých případech hutní. Hutnění se zpravidla provádí ve vrstvách tloušťky 0,2–1 m pojezdem mechanizmy, válcem či vibračním válcem. Má dva základní cíle – zlepšení fyzikálních vlastností ukládaného materiálu a zvýšení kapacity ukládacího prostoru.

Hutnění má na fyzikální vlastnosti stabilizátu velmi významný vliv. Pevnost hutněné vrstvy se může lišit u stejného materiálu v závislosti na hutnění od 1 do 20 MPa, propustnost vrstvy stabilizátu se hutněním sníží až o 5 řádů.

POPÍLEK A ŠKVÁRA

Využití ve stavebnictví

Materiály odebírají stavební firmy a využívají je při přípravě betonů a malt, přičemž popílek může působit jako aktivní i neaktivní složka (přispívá či nepřispívá k procesu tvrdnutí), struska a škvára zastává především funkci plniva.

Využití při výrobě stavebních hmot

Popílek a strusku lze využít v největší míře při výrobě cementu:

- přidáváním do suroviny kdy se popel stává plnohodnotným zdrojem SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 a CaO tedy všech základních oxidů tvořících cement,
- přidáváním popílku k hotovému cementu. Tak se využijí pucolánové vlastnosti popílku, které se právě cementem aktivují.

Významnými dodavateli cementáren jsou Elektrárna Chvaletice, Elektrárna Mělník a Elektrárna Ledvice.

Popílek a strusku je možné též využívat při výrobě cihel, přidává se do asfaltu atd. Velmi zajímavá je technologie výroby cihel americké firmy Castone, kdy surovinou k výrobě cihel je až z 90 % popel a proces probíhá za studena, je tedy energeticky úsporný. Tyto cihly mají podstatně lepší užitné vlastnosti ve srovnání s běžnými cihlami a díky svým vlastnostem a širokému spektru barev se využívají na vnější zdivo bez omítky.

Výroba umělého kameniva

Je rozšířena např. v Nizozemsku, kde je pro tyto účely využito téměř 20 % produkce popílku. Existují v zásadě dvě technologie výroby kameniva (za studena, např. Aardelite, a za horka, např. Lytag).

Lytag: Výroba je založena na zpracování granulovaného popílku při teplotách kolem 1100 °C, kdy žár způsobí mírné natavení a částečné spojení (tzv. slinutí) popílkových zrn. Výrobní linka sestává z dávkovacího šneku, který dávkuje popílek do mísiče, kde se přídavkem vody a malého množství práškového uhlí připraví optimální směs. Ta se dávkuje do granulátoru. Vytvořené granule jsou rozprostřeny na granulační pás a zapalovacím hořákem je zahájen proces tzv. aglomerace. Po prohoření vrstvy, slinutí granulí a po následném vychlazení na teplotu cca 250 °C jsou vzniklé granule mechanicky tříděny na

Betonový blok s použitím popílkového kameniva

Popílkové cihly

sítech. Výsledný materiál má vlastnosti srovnatelné s přírodním kamenivem s výjimkou nízké měrné hmotnosti (750–1400 kg/m^3), která jej předurčuje pro použití při stavbách jako mostní konstrukce, masívní těžké stavby apod., kde je snaha snížit celkovou hmotnost stavby nebo její části. Chemicky se materiál chová jako inertní hmota. Pevnost granulí v tlaku je vyšší než 5 MPa.

Aardelite: Výroba umělého kameniva Aardelite využívá reakce hydroxidu vápenatého ve formě vápenné kaše s SiO_2, Al_2O_3 a Fe_2O_3 oxidy obsaženými v popílku. Reakce je podobná tvrdnutí betonu a vzniká tvrdý a stabilní materiál. Do mísiče se dávkuje popílek, recyklovaný materiál z třídění, vápno, voda, popř. další přísady a vše se důkladně promíchá. Vzniklá hmota se přivádí do peletizátoru, kde vznikají pelety (granule) o různé velikosti. Působením teploty 70–90 °C pelety vytvrdnou a dávkují se přes mezizásobník do třídiče. Rozměrově nevyhovující část se vrací zpět na počátek procesu. Aardelite má ve srovnání s Lytag poněkud horší vlastnosti (pevnost, nasákavost, mrazuvzdornost), neužívá však energeticky náročné vysokoteplotní technologie. Měrná hmotnost kameniva Aardelite je 1140–1750 kg/m^3, pevnost granulí v tlaku 2,5–8,4 MPa.

Výroba náplní filtrů pro čistírny odpadních vod

Asi 5 % z popílku zachyceného v elektroodlučovačích má vlastnosti využitelné pro účely čištění odpadních vod.

Tato část se separuje a použije jako náplň do filtrů, přičemž jsou při čištění některých odpadních vod dosahovány překvapivě vysoké účinnosti. Životnost náplně filtrů je 10–20 let.

Čištění je vysoce účinné zejména na tenzidy, patogenní bakterie, nepolární látky, těžké kovy a PCB (polychromované bifenyly).

U nás při použití českého patentu vyrábí sorbent pod obchodním názvem CINIS stejnojmenná společnost, k jejímž zakladatelům patří i ČEZ, a. s.

Zneškodňování nebezpečných odpadů solidifikací

Směs popílku, cementu a vody (popř. dalších přísad) po přidání např. ke kalu z čistíren odpadních vod vytvoří pevnou hmotu s velmi nízkou vyluhovatelností škodlivin. Jde o směs, která může být bez jakéhokoliv rizika ukládána.

Směs se u nás vyrábí pod obchodním názvem Rhenipal ve spolupráci s Elektrárnou Mělník.

ENERGOSÁDROVEC

Využití v cementárnách jako přísada pro regulaci tuhnutí cementu

Energosádrovec je pro tyto účely plnohodnotnou náhradou přírodního sádrovce těženého u nás pouze v Kobeřicích u Opavy. Cementárny odebírají energosádrovec ve vlhké, vysušené nebo zejména briketované formě, která během dopravy a manipulace nepráší ani se nelepí. Energosádrovec se v cementárnách přidává do cementového mlýna ke slínku jako osvědčený regulátor tuhnutí cementu.

Využití pro výrobu sádry a sádrokartonových desek

Energosádrovec se po odvodnění zahřeje na teplotu kolem 100 °C (tzv. kalcinace), přičemž vzniká běžná sádra, která může být samostatně expedována nebo bývá využita bezprostředně při výrobě sádrokartonových desek. Při této technologii se sádra, rozmíchaná s vodou a přísadami regulujícími tuhnutí, dávkuje na pás papíru. Vrstva sádry se překryje horní vrstvou papíru a vzniklá deska se nechá vytvrdnout. Vytvrzené desky se ořežou na potřebné rozměry a případně dále povrchově upravují. Desky mají široké použití při výstavbě.

Vzhled stavení z popílkových cihel

V ČR je již vyrábí závod Knauf Počerady a závod Rigips Mělník.

Výroba alfa-sádry a výrobků z ní

Je-li sádrovec kalcinován za zvýšeného tlaku 0,4–0,5 MPa a teploty 120–130 °C, vzniká tzv. alfa-sádra, která má výrazně lepší vlastnosti zejména z hlediska pevnosti a mrazuvzdornosti než běžná sádra. Ve směsi se struskou může být využívána dokonce i na vnější stavby jako téměř plnohodnotná náhrada betonu. Desky z alfa-sádry mohou sloužit ke konstrukci tzv. dvojitých podlah. Desky se vyrábějí ze směsi 92 % alfa-sádry a 8 % celulózy nebo odpadního papíru a vody.

PRODUKT POLOSUCHÉ METODY ODSÍŘENÍ, POPEL Z FLUIDNÍCH KOTLŮ, STABILIZÁT, AGLOMERÁT, DEPONÁT

Stavební účely

Pro nenáročné stavby (vyplňování výkopů, zásypy, násypy, konstrukční vrstvy silnic a dálnic, vyplňování důlních prostor apod.) se využívá schopnosti těchto materiálů nabývat alespoň minimálních pevností. Stabilizát z produktů polosuché metody odsíření se používal např. při výstavbě Eurotunelu jako výplňový a konstrukční materiál. Při výrobě stavebních hmot z odpadů z energetiky se musí dbát na dodržování technologické kázně a sledovat vlastnosti vstupujících surovin.

Těsnicí vrstvy skládek, zahlazování důlní činnosti, rekultivace, krajinotvorba

Úpravou receptury stabilizátu a jeho ukládáním za určitých podmínek (hutnění) lze připravit vrstvu, která splňuje všechny požadavky na těsnicí materiál pro skládky. Vrstva stabilizátu upravená pro těsnicí účely dosahuje propustnosti vůči vodě řádu 10^{-9}–10^{-11} m/s. Vytvořenými chemickými vazbami, zhutněním vrstvy a nízkou propustností téměř nedochází k uvolňování případných škodlivin z vrstvy do životního prostředí. Je však nutné vytvořit vrstvu dostatečně silnou a pevnou, aby po zatížení vrstvou odpadu nedošlo k jejímu popraskání.

Vrstva stabilizátu, aglomerátu a deponátů může být úspěšně použita jako technická rekultivační vrstva skládek, složišť apod. před překrytím zeminou a konečnou úpravou povrchu. Stabilizát je i velmi vhodným materiálem pro rekultivaci bývalých odkališť. Tyto materiály jsou též vhodné pro vyplňování prostor po povrchové těžbě a obnovení původního nebo vytváření nového reliéfu krajiny. Stabilizát může být i cenným konstrukčním prvkem v silničním stavitelství. Při všech těchto způsobech využití se na jedné straně šetří přírodní suroviny, které by jinak byly spotřebovány, na straně druhé se snižuje množství odpadu, které by bylo uloženo bez užitku na skládkách.

Ve všech případech využití odpadů důsledně dbáme na to, aby nedošlo k poškození životního prostředí. K tomu nám slouží zejména systémy kontroly řízení jakosti, certifikace, popř. povinný proces posuzování vlivu na životní prostředí. Všechny tzv. vedlejší energetické produkty z uhelných elektráren ČEZ jsou certifikované.

JMENNÝ REJSTŘÍK

Archimedes 22
Benson 46
Benz Karl 27, 28
Bergner Christoph 21
Branca 25, 26
Daimler Gottlieb 27
Diesel Rudolf 28
Hell J. K. 24
Heron Alexandrijský 22, 26
Hugens G. C. 14
Ktesias 17
Laval Gustav 24, 26, 37, 38
Lebon Phillipe 27, 31
Lenoir Jean Etienne 27
da Vinci Leonardo 22
Lukasiewicz I. 14
Murdock W. 31
Newcomen Thomas 23, 24, 25
Otto Nikolaus 27
Papin Denis 22, 23, 24
Parsons Charles 26, 37, 38
Savery Thomas 22, 24
Stephenson George 24
Stirling R. 30
Van Syckel 46
Wankel F. 30, 31
Watt James 23, 25, 26
Weindl Kašpar 12
Westinghouse George 17

Grafická úprava a sazba: www.marvil.cz
Ilustrace: Martina Hamouzová
Fotobanka: Profimedia
Materiál je součástí vzdělávacího programu ČEZ, a. s., Svět energie. Je určen k bezplatnému šíření pro vzdělávací účely.
Autoři publikace vynaložili veškeré úsilí identifikovat autory všech reprodukovaných fotografií, bohužel se to ve všech případech nepodařilo.
Nabídku dalších materiálů vzdělávacího programu Svět energie naleznete na **www.cez.cz/vzdelavaciprogram**
2011 © ČEZ, a. s., sekce komunikace, Duhová 2/1444, 140 53 Praha 4, tel.: 211 042 681