

Jean Pierre S a m o u r, Francie
překlad: Ing. Daniel Ř e b e c, VÚHU a.s.

Největší poznání, které populace učinila v posledním desetiletí, vyvolává potřebu legislativního rozhodnutí, rozhodnutí společného stejně jako francouzského, které urychlí investování spojené s čištěním kouřových spalin, zejména v elektrárnách tepelných na bázi uhlí.

Různé podmínky uplatnění vedly i k různým řešením v Německu a ve Francii. Přesto, že význam problému je menší ve Francii, pracovali franc. specialisté na originálním řešení, které je často i více ekonomické.

Řešením, které má velkou budoucnost pro budoucí ohniště, se zdá být spalování ve fluidním cirkulujícím loži za podmínek dosažení dostatečných rozměrů.

Článek je převzat z francouzského časopisu MINES (revue inženýrů vysokých báňských škol v Paříži, Saint-Etienne a Nancy), číslo 335 z listopadu 1991.

Tepelné elektrárny na uhlí a čištění průmyslových spalin

Průmyslová topeniště se podílejí značnou částí na znečištění ovzduší společně s automobilovým provozem a domácími topeništi.

Tepelné elektrárny, přes důležitost kapacity, která je vkládána do hry, jsou místem aplikace nové politiky životního prostředí, která je ve světě a v Evropě progresivně prosazována v posledním desetiletí.

Škodlivé složky, které nacházíme v kouřových spalinách, jsou hlavně oxidy síry a dusíku, v malém množství sloučeniny chloru a fluoru a pevné částice.

Pro respektování omezení obsahu škodlivin v úrovni terénu, který je navrhován zákonem, bylo již dříve přijmuto rozhodnutí budovat komíny vyšší (300 m), aby došlo k rozptýlení a zředění spalin pomocí větrů.

Uvědomovali jsme si, že celkové množství škodlivin takto vypouštěných do atmosféry, mělo nepřímé znepokojující efekty:

- kyselé deště
- skleníkový efekt
- částečná ztráta ozonu...

Legislativní tlaky se zvětšily. Nová evropská norma vstoupí v platnost v lednu 1994. Průmysl musel hledat metody více vědecké a dražší, aby snížil množství škodlivých plynů.

Zkoušky jsou prováděny již dlouho v USA a Japonsku. V Evropě byla aplikována současně ve Francii a Německu různá rozhodnutí. Tato rozhodnutí jsou závislá na obsahu síry v palivu a důležitosti tepelných elektráren v té které zemi.

Uvedeme zde čtyři řešení:

- odsíření kouřových spalín mokrou cestou (Německo)
- odsíření v plameni (Francie - Gardanne)
- ohniště s fluidním cirkulujícím ohništěm (Francie - Carling)
- katalytická separace oxidu dusíku (Německo).

Odsíření kouřových spalín mokrou cestou:

Již od roku 1984 ukládá zákon v Německu následující limity pro zařízení s kapacitou vyšší než 300 MWe:

- obsah SO_x nižší než 400 mg/m^3 s vyšší úrovní neutralizace 85%
- obsah NO_x nižší 200 mg/m^3
- obsah HCl nižší 100 mg/m^3
- obsah HF nižší 15 mg/m^3 .

Neutralizace mokrou cestou se rychle rozšířila v období 1985 - 1990 tak, aby bylo vyhověno těmto normám. Může se používat vápna nebo vápence. Vápník obsažený ve vápenci se slučuje s oxidy síry a vytváří síran vápníku (sádra), kterou lze prodávat a uhličitý plyn.

Obrázek č. 1 ukazuje princip jednoho separátoru s užitím mokrého způsobu čištění. Reaktivní směs přichází do vnějšího zásobníku (7). Je převzata pumpou a vstřikovávána do rozprašovače (2) umístěného v proudu spalín, které přicházejí v protisměru (1). Kapky většinou padají do nádrže. Ty, co jsou strženy prouděním kouřových spalín směrem nahoru, jsou zachyceny zařízením (4). Obsah síry v kapkách, které zůstávají v plynu již vyčištěném, je nižší než 150 mg/m^3 .

Sádra v substanci je odebírána a upravována k výrobě prodejných výrobků. V operaci praní jsou rovněž absorbovány HCl a HF .

Separátor, použitý zpočátku, měl průměr 15 m s kapacitou $1,2 \text{ mil. m}^3/\text{h}$. V současnosti se vyrábí separátory, které jsou schopné absorbovat $2,2 \text{ mil. m}^3/\text{h}$, což odpovídá bloku elektrického výkonu 600 MW.

Kyselá atmosféra separátorů je velmi korozivní. Jsou zcela vyloženy gumou, stejně tak všechny trubky sloužící k transportu směsi.

Mimo filtračních cyklonů pro nezbytné odtěžování sádrovce je třeba instalovat i zařízení na úpravu zbytkových vod flokulací pro vyloučení hlavně těžkých kovů (Cu , Zn , Cr , Ni , V , Hg), jejichž koncentrace dosahuje od $500 - 2\,000 \text{ } \mu\text{g/l}$.

Na výstupu kouřů je eliminováno 92% SO_2 , 50% SO_x , 95% HCl , 95% HF , 40% NO_2 , 1% NO .

Německé elektrárny jsou často zásobované hnědým uhlím, jehož obsah síry způsobuje přítomnost od $1\,000 - 7\,000 \text{ mg/m}^3$ síry v odpadech spalování. Tyto elektrárny jsou přednostně vybaveny továrnami na úpravu kouřových spalín. Největší elektrárna o výkonu 2 700 MW má devět pracích linek kouřových spalín.

Cena zařízení na odsíření instalovaného výkonu 600 MW je řádově 90 mil. DM (305 mil FRF).

Odsíření v plameni

Tato metoda byla poprvé použita v elektrárně Gardanne, patřící skupině Charbonage de France (CdF - franc. uhelný průmysl).

Blok s výkonem 600 MW byl uveden do provozu v říjnu 1984. Použité uhlí z uhelné pánve v Provence, má vysoký obsah popela ($10 - 20 \text{ kg/10kJ}$), vysoký obsah vápence (50 % CaO v popelu), což umožňuje dílčí přirozené odsíření obsahu síry až $2,3 \text{ kg/10kJ}$, tj. 4,3 %.

Francouzské normy, týkající se emise SO_2 , byly v době výstavby elektrárny

přehodnocovány a k prvotnímu projektu se muselo doplnit zařízení pro neutralizaci síry pro splnění budoucích norem. S ohledem na Ca, který je již obsažen v palivu a na průměrný obsah síry, se hledala možnost úspor na nákladném čištění spalin pomocí inovace topeniště kotle.

Bylo vypočteno, že stačí neutralizovat 60 % SO_2 , vzniklého spalováním, aby bylo dosaženo předpokládané úrovně norem. Následující parametr, % snížení SO_2 obsaženého ve spalinách je definován takto:

$$p = \frac{\text{SO}_2 \text{ (vzniklý spalováním)} - \text{SO}_2 \text{ (v komíně)}}{\text{SO}_2 \text{ (vzniklý spalováním)}}$$

Neutralizace SO_2 je prováděna jako při mokré cestě, tj. vápencem (CaCO_3) nebo hašeným vápnem (Ca(OH)_2), ale v ohništi.

Vápno, které bylo velmi drahé (400 FRF/t = 2 200 Kčs/t), bylo nahrazeno pokaždé, jakmile to bylo možné. Vyladění procesu odsíření bylo předmětem důležitých studií v Mezinárodní nadaci výzkumu plamene (hoření) v Ijmuidenu, a na pilotním zařízení, které využívalo existující kotel 50 MW v místě.

Základní výsledky pokusů jsou následující:

- úroveň odsíření záleží na poměru Cu/S; tento poměr se týká jak vápníku obsaženého v uhlí tak i vápníku přidávaného. Vápenec přidávaný do plamene má stejný účinek, jako když jej přimícháváme (přímo) do uhlí. Účinnost odsíření závisí na maximální teplotě plamene, která nesmí překročit 1 200 °C. Hladina teploty je samozřejmě ovlivňována zastruskováním stěn a recyklací spalin, která snižuje teplotu. Tento poslední výsledek nebyl potvrzen na pilotním zařízení 50 MW a proto se ve výpočtu nepoužíval.
- Velmi slabý přebytek vzduchu, nižší než 25 %, snižuje účinnost odsíření.
- Velká jemnost mletí vápence je bez efektu.
- Vápno má při stejném množství lepší účinnost.

Tyto výsledky byly vzaty do úvahy při konstrukci kotle (180 t/h, 600 MW). Kotel je věžový s nuceným oběhem. Uhlí dodávané do kotle je doplňováno vápencem k dosažení poměru Ca/S až 2,5. Tato úroveň je automaticky zajišťována díky analyzátoru popela, který měří nepřetržitě obsah CaCO_3 v uhlí.

Hašené vápno je pneumaticky dopravováno ke 4 vstřikovačům, situovaným 6 m nad ohništěm. Kolem trysky vápna, která dovoluje dosažení rychlosti až 25 m/s, je vstup sekundárního vzduchu, jehož velká vstupní rychlost umožňuje promíchání vápna se spalinami. Tento sekundární vzduch vytváří "over fire air" (tj. přebytek vzduchu, pozn. překladatele), který se účastní na snižování tvorby kyslíčnicku dusíku.

Poměr Ca/S v uhlí je regulován na 2,5, množství potřebného vápna záleží na zatížení a spotřebě bloku. Analyzátor SO_2 , který je umístěn u paty komína, reguluje odběr vápna tak, aby zajistil účinnost odsíření 60 %.

Naměřené hodnoty potvrzují výsledky předběžných zkoušek. Dosahuje se snížení emisí SO_2 o 60 % za podmínky, že vstřikované vápno má zrnitost menší než 20 μ a čistotu vyšší než 95 %. Přidávání sekundárního vzduchu v úrovni vstřikování vápna redukuje emise oxidu dusíku z 720 na 660 mg/m^3 . Přirozeně se zvýšilo množství popela a prachu ve spalinách. Musela být přijata následující opatření:

- zlepšení zařízení pro odpopelňování
- zvýšení odpopílkování (zachycování jemného prachu) spalin, bylo třeba přidat navíc jeden lapač popílku
- odpovídající dimenzace topeniště.

Spalování v cirkulujícím fluidním loži

Spalování v LFC bylo vyvinuto pro akceptování větší variabilnosti paliva pro dosažení velké pružnosti provozu. Dovoluje účinněji bojovat proti vzniku škodlivých plynů v topeništi. Použití je v současnosti omezeno výkonem kotle do 250 MW. Tomuto typu topeniště je předurčena velká budoucnost, protože zlepšuje životní prostředí.

Fluidní lože je tvořeno granulovaným materiálem, který je nesen roštem, který však nemá úlohu nosiče, ale je prostupován vzestupným proudem vzduchu. Režim záleží na zrnitosti a na rychlosti vzduchu. Při rychlosti 5 - 10 m/s se směs nafukuje, lože zaujímá celý disponibilní prostor, pevné částčky unikají k vrcholu topeniště a musí být recyklovány. To je princip fluidního cirkulujícího lože LFC.

Tento režim odpovídá maximálnímu rozdílu rychlostí plynu a pevných částic. Vření (pohyb) pevných částic dosahuje svého maxima. To vysvětluje výbornou výměnu tepla mezi plynem a pevnými částicemi.

Výhody tohoto topeniště jsou následující:

- velký rozsah granulometrie paliva, zjednodušení vstřikovacího roštu
- lepší kontrola teploty regulací stupně recirkulace
- lepší výměna tepla a lepší tepelná účinnost
- provozní teplota je relativně nízká (850 °C), což vede k důležitému snížení vzniku škodlivých plynů. Dosáhne se význačného snížení vzniku SO₂ o 90 % při poměru Ca : S = 1,5 a snížení produkce kysličníku dusíku díky postupnému spalování při nízké teplotě.

S ohledem na tyto skutečnosti byl CdF Ingenierie, což je filiálka a inženýring francouzského uhelného průmyslu, po realizaci průmyslových kotlů výkonu 60 - 103 MW, zkonstruován kotel o výkonu 125 MW (320 MWth), který byl určen pro blok 4 elektrárny E. Huchet v Carling v uhelném revíru Lorraine.

Tento kotel charakterizují následující zvláštnosti: Disponuje dvěma systémy zauhlování - jeden na těžné uhlí a druhý na tekuté kaly z úpravny obsahující 65 - 70 % pevných částic. Kaly jsou dopravovány/čerpány na vzdálenost 600 m, což umožňuje vyhnout se nákladnému sušení. Vstřikování kalů do kotle je doprovázeno vháněním rozprašovacího protisměrného vzduchu.

Plynné emise jsou následující:

SO₂: 150 mg/m³ při spalování kalů

NO_x: 100 - 200 mg/m³.

Dosažené výsledky široce zajišťují předpokládané evropské normy pro rok 1994.

Výsledky jsou srovnatelné s metodou praní spalin.

	Praní spalin	LFC
Redukce SO ₂	95 %	90 %
Redukce HCl	95 %	20 %
Redukce HF	95 %	90 %
Redukce NO _x		50 - 60 %
vícenákladý:		
investiční	15 %	5 %
provozní	12 %	3 %

Katalytická separace NO_x

Z předcházejícího textu je zřejmé, že odsíření mokrou nebo suchou cestou neredukuje dostatečně emise NO_x, zejména NO.

Koncentrace NO_x ve spalínách německých elektráren je proměnlivá od 1 000 - 2 800 mg/m³. Toto maximum se může snížit na 2 000 mg/m³ úpravou paliva a recirkulací spalin.

Německé zákonodárství limituje od dubna 1984 emise NO_x na 200 mg/m³. Legislativní tlak a důležitost parku tepelných elektráren v Německu přinutil jejich provozovatele, aby vyprojektovali a realizovali reaktor katalytické redukce NO_x. Chemický princip reaktorů je jednoduchý. Vychází z reakce mezi amoniakem s kyslíčkem dusíku za současného uvolnění dusíku a vzniku H₂O. Reakce je čistá, bez dalších sloučenin.

Přesto však při přítomnosti SO₂ a přebytku čpavku se obdrží vysoce korozivní produkt - hydrosulfát čpavku NH₄.HSO₄.

Reakce snižování NO_x je pomalá a závislá na teplotě. Ve formě desek s otvory 4 - 7 mm k propouštění plynu je v reaktoru k dispozici katalyzátor na principu kyslíčnicku titanu a pentoxidu vanadia. Prostorově jsou uspořádány jako ve včelím úle. Rozměry štěrbin k propouštění jsou závislé na obsahu prachu ve spalínách. Plyny jsou smíchány s amoniakem na vstupu do reaktoru. Optimální teplota je řádově 300 - 400 °C. Reaktor může být umístěn na výstupu z kotle nebo za separátorem SO₂.

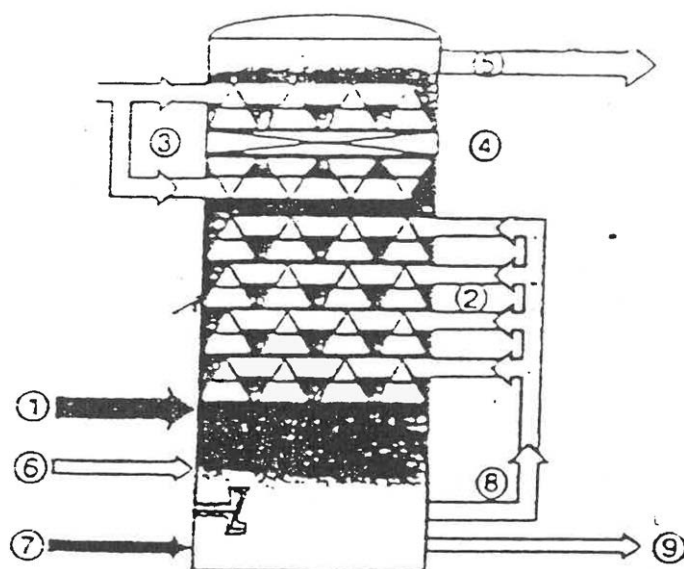
V prvním případě reaktorem prochází všechen prach a SO₂, což je nepříjemné, protože se ztrácí část amoniaku absorbovaného popelem a produkuje se více NH₄HSO₄, který může napadat ohřívač a zkrátit životnost katalyzátoru, který je nejvíce zatíženou částí z celého zařízení.

Ve druhém případě se reaktor umísťuje před komín, kde spaliny již nejsou dostatečně teplé a je třeba dodávat vnější teplo, které je drahé. Je však prodloužena životnost katalyzátoru.

Regulace procesu je dosti delikátní z důvodu vyhnutí se značným ztrátám amoniaku ve spalínách, což může způsobit vznik škodlivých plynů. Tímto procesem se dosahuje redukce NO_x pod úroveň 200 mg/m³ v komínu.

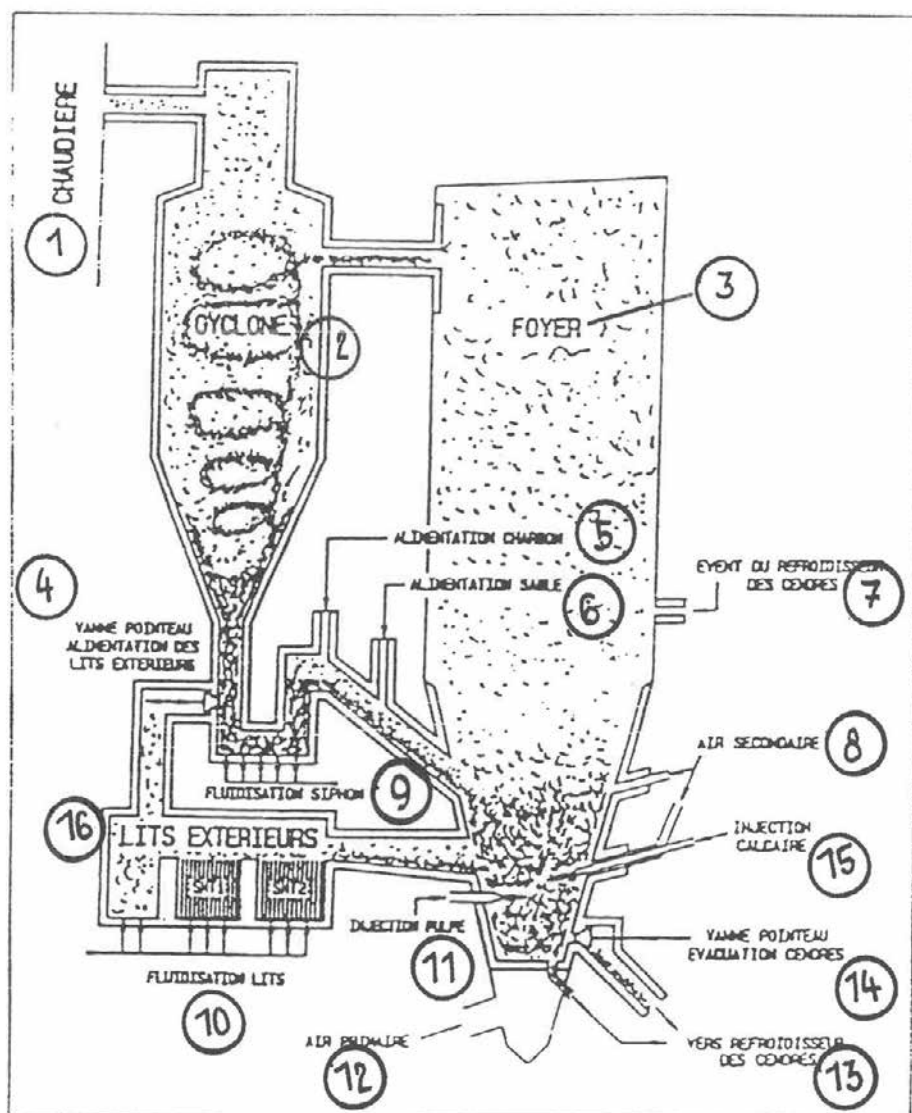
Reaktorem byly v Německu vybaveny staré elektrárny na uhlí o celkové kapacitě instalovaného výkonu 30 000 MW. Naproti tomu elektrárny zásobované hnědým uhlím mohly dostatečně snížit produkci NO_x upravením spalovacího procesu.

Investiční náklady na reaktor pro výkonovou jednotku 600 MW jsou cca 50 mil. DM, z čehož připadá více než polovina na katalyzátor.



obr. 1
Schéma separátoru

- ① Přívod kouřových spaliv
- ② Rozprašovač
- ③ Přívod čisticí vody
- ④ Separátor kapek
- ⑤ Vyčištěné plyny - spaliny
- ⑥ Přívod vzduchu
- ⑦ Přívod vápence
- ⑧ Cirkulační oběh prací suspenze
- ⑨ Odvod sádry



obr. 2

Elektrárna E. Huchet blok 4 - Carling (Francie)
kotel s fluidním cirkulačním ložem

- | | | | |
|---|---|---|---------------------------------------|
| ① | kotel | ⑧ | sekundární vzduch |
| ② | cyklon | ⑨ | fluidizační syfón |
| ③ | ohniště | ⑩ | fluidizace lože |
| ④ | jehlový uzávěr pro napájení vnějších loží | ⑪ | injektáž směsi úpravárenské kaly-voda |
| ⑤ | přívod uhlí | ⑫ | primární vzduch |
| ⑥ | přívod písku | ⑬ | k ochlazovači popela |
| ⑦ | otvor pro ochlazování popela | ⑭ | jehlový uzávěr vypouštění popela |
| | | ⑮ | injektáž vápence |
| | | ⑯ | vnější lože |

Ing. Vladimír R o m p o r t l, VÚHU a.s.

Účelové báze dat

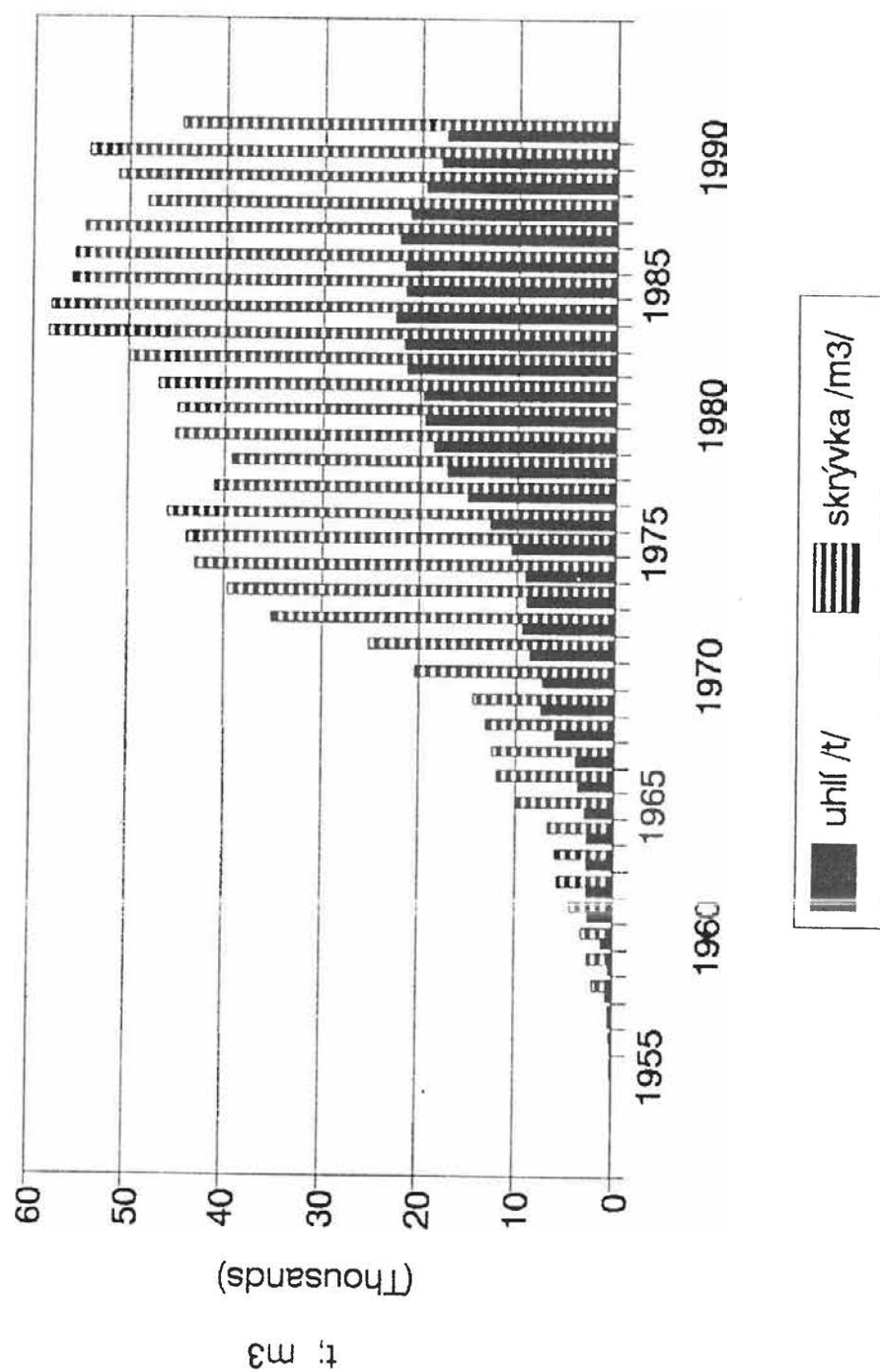
V prosinci 1992 končí ve VÚHU a.s. řešení zakázek, v rámci kterých bylo řešeno vytvoření účelovýchází dat. Jednou z nich je i báze technicko-ekonomických dat, která bude poskytovat soubor základních technických a ekonomických informací o těžbě hnědého uhlí v Severočeském hnědouhelném revíru. Báze dat obsahuje následující údaje :

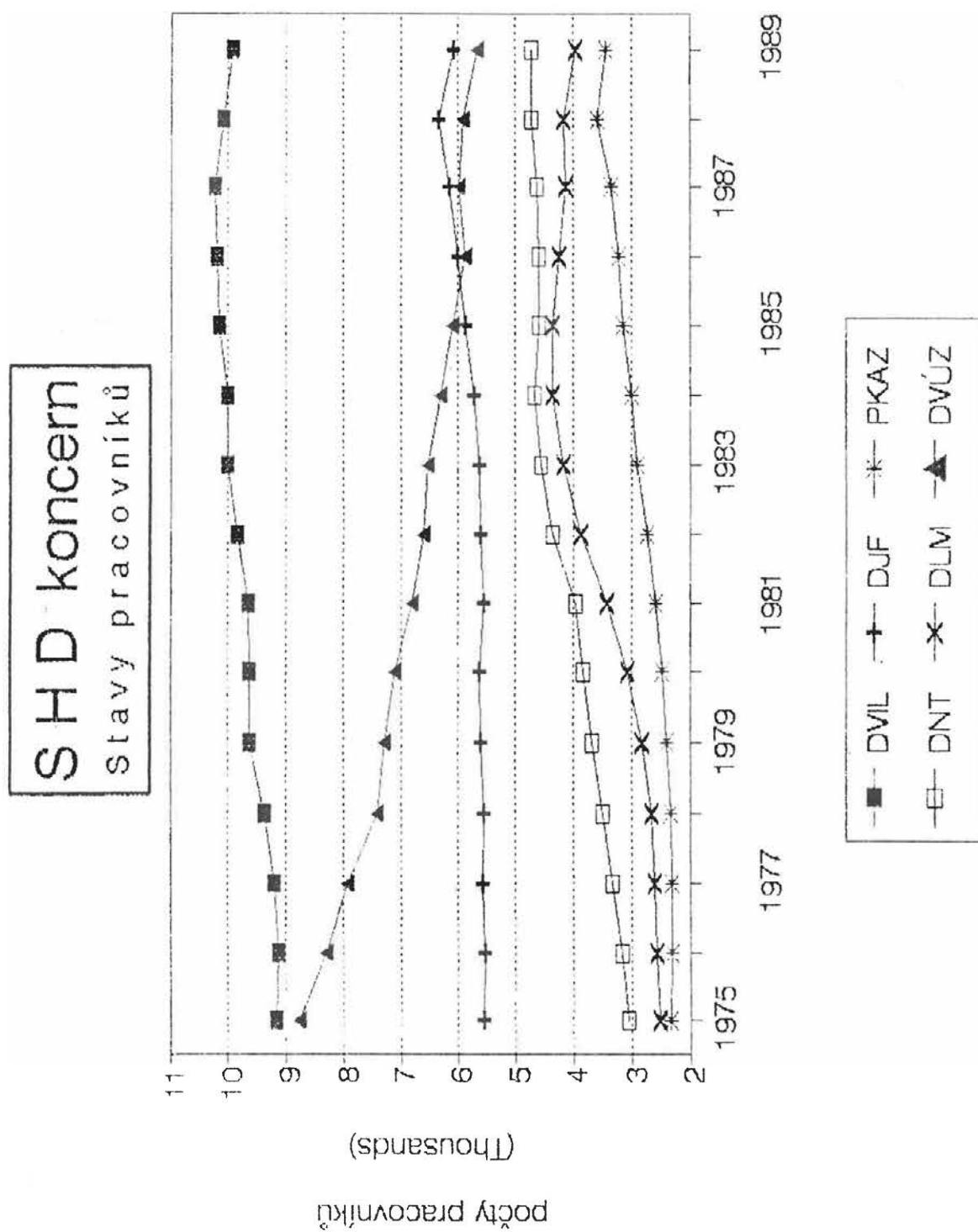
- těžba uhlí v SHR (lomy, hlubiny) od r. 1850
- těžené hmoty na lomech SHR od r. 1945
- přehled těžeb uhlí podle lokalit od r. 1955
- přehled těžeb skrývky podle lokalit od r. 1955
- roční výkony velkostrojů v členění kolesová a korečková rýpadla a zakladače od r. 1943
- náklady na výrobu
- příkryvný poměr podle lokalit
- přehled velkostrojů nasazených v SHR a jejich evidenční stavy podle typů a let
- roční průměrné délky pásových dopravníků na lomech
- výkony v těžbě uhlí (lomy, hlubiny)
- výkony v těžbě skrývky
- náklady na výrobu (lomy, hlubiny)
- náklady na skrývce
- vývoj ukazatele spolehlivosti velkostrojů
- vývoj součinitele obtížnosti pro jednotlivé lokality
- měrná spotřeba elektrické energie na jednotlivých lokalitách.

Základem této báze dat jsou údaje shromažďované pracovníky VÚHU a vydávané od r. 1975 v přibližně pětiletém cyklu jako "Přehled ukazatelů SHR". Počítačové zpracování "ročenky" umožní uživatelům v řadách podnikového managementu lépe využívat statistická data, např. i ve formě různých grafů. Jako příklad uvádíme grafy, které si pro vlastní potřebu nechal z údajů uvedených v Přehledu ukazatelů SHR zpracovat ing. Karel Žáček, technický náměstek ředitele s. p. DNT, a které nám laskavě zapůjčil. Potřebu takovýchto přehledných grafů nám potvrdili i další pracovníci vrcholného managementu těžebních podniků, a proto od příštího čísla začneme ve ZPRAVODAJI SHD uveřejňovat vybrané údaje z báze technicko-ekonomických dat ve formě grafů.

Dolý NÁSTUP

těžba uhlí a skřívky





SHR
měrná spotřeba el. energie

