

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra
sklářských a keramických strojů

Školní rok: 1991/92

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Renatu C e s t r o v o u provd. Princová
obor Stroje a zařízení pro chemický, potravinářský
a spotřební průmysl

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci: . . .

Název tématu: Rozbor funkce tavicí vany 1 a vany Unitmelter
v závodě Barevka a. s. GLAVUNION

Zásady pro vypracování:

Pro kontinuální tavení skla se v závodě Barevka používají odlišné typy tavicích vanových pecí. Proveďte jejich porovnání z hlediska konstrukčního, ekonomického a ekologického. Práce bude obsahovat:

1. Klasifikaci a charakteristiky sklářských tavicích pecí se zaměřením na pece kontinuální (konstrukce, ekonomie, ekologie).
2. Druhy emisí vznikající při tavení skla a způsoby jejich zjišťování.
3. Způsoby využívání odpadního tepla spalin.
4. Podrobné porovnání vany 1 a vany Unitmelter v provozu Barevka z hlediska:
 - konstrukce
 - investičních nákladů
 - provozních nákladů
 - ekologie
5. Posouzení vhodnosti provedení investice.

Podmínkou pro udělení KZ za zimní semestr je zpracování bodů 1. a 2. zadání.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ostřední knihovna
STUDENTSKÁ 6
752 01 LIBEREC

KSK/SK

V 173/925

Rozsah grafických prací: - schémata, grafy a výkresy
doplňující textovou část
Rozsah průvodní zprávy: - cca 50 až 60 stran textu

Seznam odborné literatury:

- /1/ Mainer V.: Sklářské pece. SNTL Praha 1967
- /2/ Nölle G.: Technik der Glasherstellung. VEB Leipzig 1977
- /3/ Tooley V.: The Handbook of Glass Manufacture. New York 1979
- /4/ Odborné časopisy
- /5/ Podklady zadavatele

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Vladimír Klebsa, CSc.

Konzultant: Ing. F. Hammerbauer

Zadání diplomové práce: 31. 10. 1991

Termín odevzdání diplomové práce: 29. 5. 1992



Vedoucí katedry
Doc. Ing. Vladimír Klebsa, CSc.

Děkan
Prof. Ing. Jaroslav Ěxner, CSc.

V Liberci

dne 31. 10. 1991

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Obor 23-21-8

Stroje a zařízení pro chemický,
potravinářský a spotřební průmysl

zaměření

Sklářské a keramické stroje

Rozbor funkce tavicí Vany I a vany Unitmelter I
v závodě Barevka a. s. GLAVUNION

Renata Princová

DP 199/92

Vedoucí práce: Doc. ing. V. Klebsa, CSc.

Konzultant: ing. F. Hammerbauer

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	106
Počet příloh a tabulek:	17
Počet obrázků:	43
Počet výkresů:	0
Počet modelů:	0

Datum: 1. května 1992

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBerci



3146076565

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 1. května 1992

Renata Princová
.....
Renata Princová

OBSAH

0	Úvod	7
1	Sklářské tavící agregáty	9
1.1	Kontinuální tavící vanové pece	9
1.2	Tavení v pánvových pecích	16
1.3	Elektrické tavení skla	19
2	Nové trendy sklářské výroby	23
2.1	Sorg Deep Refiner	23
2.2	Lono _x Melter	25
2.3	Flex Melter	29
3	Emise ze sklářských tavících pecí	31
3.1	Emise pevných sloučenin	31
3.2	Emise plyných sloučenin	33
3.3	Shrnutí naměřených hodnot emisí	38
4	Stanovování pevných a plyných emisí	42
5	Odstraňování emisí	47
5.1	Odlučování spalin	48
5.2	Odlučování plyných škodlivin	57
6	Využívání odpadního tepla spalin	64
6.1	Regenerátory	64
6.2	Rekuperátory	69
6.3	Spalinové kotle	75
6.4	Předeřívání sklářského kmene a střepeň	77
7	Rozbor funkce tavící Vany I a vany U - Melter I v závodě Barevka, a. s. Glavunion Teplice	81
7.1	Současná a výhledová situace závodu	81
7.2	Popis tavícího agregátu U - Melter I	84

7.3	Popis tavícího agregátu Vany I	91
7.4	Vlastní porovnání obou pecí	95
8	Posouzení vhodnosti provedení investice	105

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

SO_x	.....souhrné označení pro oxidy síry (SO_2 a SO_3)
NO_x	.....souhrné označení pro oxidy dusíku (NO a NO_2)
G (td^{-1})	.....tavící výkon
g ($kg\ m^{-2}d^{-1}$)	.....měrný tavící výkon
T_{tav} ($^{\circ}C$)	.....tavící teplota
F_{tav} (m^2)	.....tavící plocha
F_g (m^2)	.....plocha gobé
F_{prac} (m^2)	.....plocha pracovní části
H_u (J/Nm^3)	.....vyhřevnost
V_{pn} (Nm^3/h)	.....spotřeba plynu
Q (J/h)	.....celková spotřeba tepla
q (J/kg)	.....měrná spotřeba tepla
q_{tav} (J/m^2h)	.....měrné tepelné zatížení tavící plochy
t_{sp} ($^{\circ}C$)	.....teplota spalin na výstupu z pece
$P_{už}$ (W)	.....užitečný příkon vany
P_c (W)	.....celkový příkon vany
P_k (W)	.....komínová ztráta
P_o (W)	.....ztráta tepla do okolí
V_{sp} (Nm^3/h)	.....množství spalin
V_{vz} (Nm^3/h)	.....množství vzduchu
O_{pn} (m^3)	.....objem vyložení plynové komory
O_{vzd} (m^3)	.....objem vyložení vzduchové komory
F_{pn} (m^2)	.....plocha vyložení plynové komory
F_{vzd} (m^2)	.....plocha vyložení vzduchové komory
E_f (mgm_n^{-3})	.....emisní faktor
E_m ($kg\ h^{-1}$)	.....hmotnostní tok
n	.....přebytek vzduchu

O ÚVOD

Hospodárné využívání všech druhů paliv a energie a hledání nových energetických zdrojů patří k předním úkolům rozvoje světového hospodářství v současné době i v nejbližších desetiletích. V řadě států palivoenergetická situace limituje rozvoj národních ekonomik.

Racionalizace spotřeby tepelné energie tavicích agregátů znamená soustavnou činnost na úseku snižování měrné spotřeby tepla, zvyšování tavicích výkonů při dodržení kvality produkce a technologických podmínek tepelného režimu, optimální zhodnocování materiálů a surovin a zejména plné využití sekundárních zdrojů surovin v bezodpadkových technologiích s ohledem na ekologii.

Z hlediska možnosti snížení energetické náročnosti bude však nutno věnovat pozornost modernizace tepelných agregátů, jejich konstrukčnímu řešení, aby bylo možno co největší část využitého tepla vracet zpět do výrobního procesu.

Zároveň s tímto problémem bezprostředně souvisí též řešení celkové neuspokojivé ekologické situace, neboť sklářský průmysl a průmysl jemné keramiky se význačně podílí na stupni ohrožení životního prostředí. Znečištění atmosféry dostává již globální charakter a jeho negativní důsledky v celé řadě oblastí by v krátké době úplně neutralizovaly ekonomické přínosy plynoucí např. ze zvýšeného tempa růstu národního hospodářství. ČSFR má všestranný zájem na zlepšení kvality životního prostředí, o čemž svědčí nejen celá

řada legislativních opatření, podpis mezivládní dohody o snížení emisí oxidů síry o 30 % do roku 1995 proti roku 1980 a pod., nýbrž i neustále rostoucí finanční prostředky uvolňované ze státního rozpočtu na realizace ekologických programů.

1 SKLÁŘSKÉ TAVÍCÍ AGREGÁTY

Sklářská tavící pec je zařízení k tavení skloviny ze vsázky. V zásadě se ve sklářství používá dvou principiálních druhů tavících pecí: vanové a pánvové.

Kontinuální vanové pece pracují nepřetržitě, pece pánvové se vyznačují přerušovaným, čili periodickým provozem.

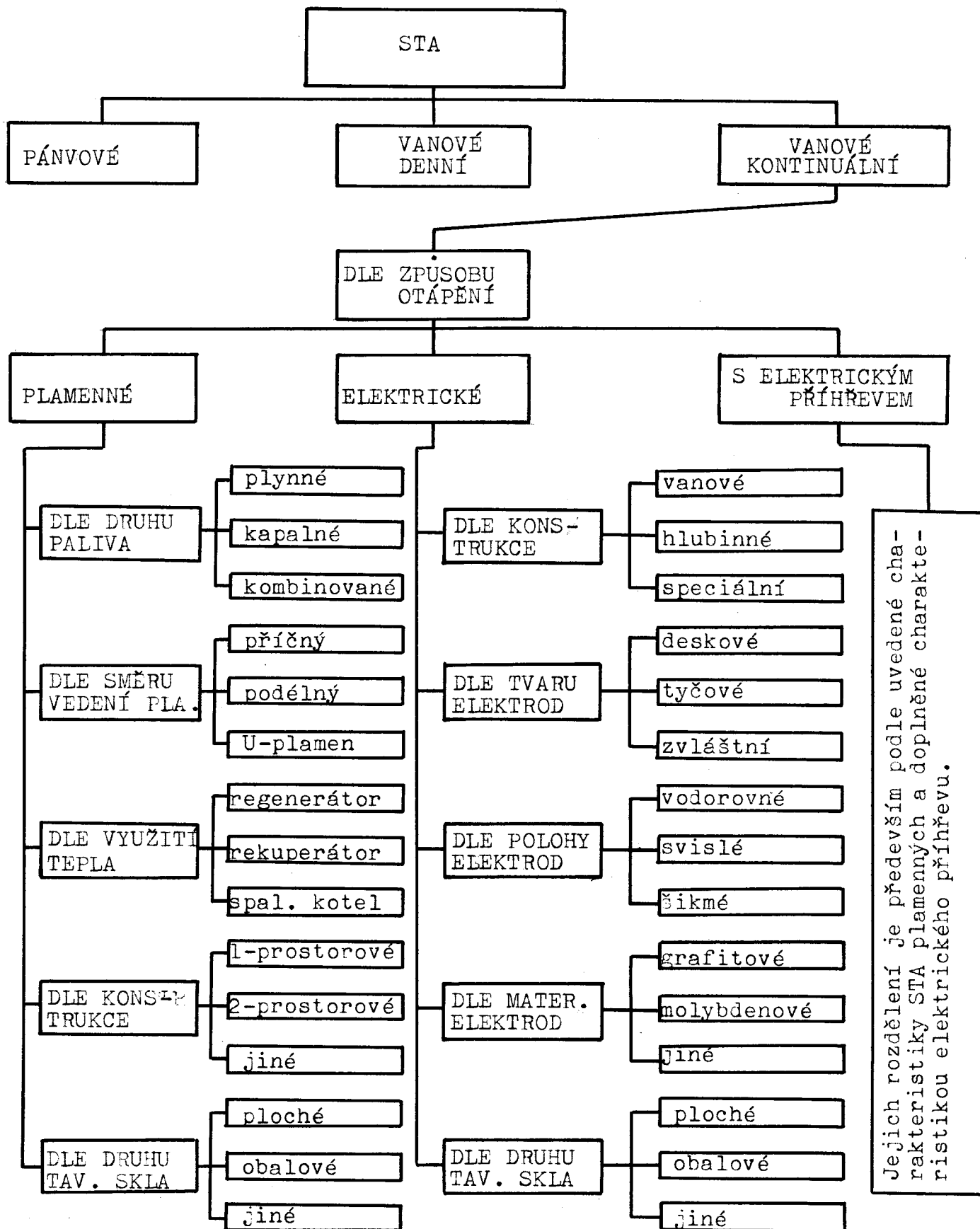
K otopu tavících pecí se v současné době používá většinou zemní plyn, topný olej a elektrický proud.

1.1 KONTINUÁLNÍ TAVÍCÍ VANOVÉ PECE

Vanové pece nepřetržitého provozu jsou nutným předpokladem pro docílení jak vysokých tavících výkonů, tak vysoké kvality utavené skloviny. V pecích tohoto typu všechny fáze tavení (tavení, čeření, homogenizace) a sejití na pracovní teplotu probíhají současně v různých místech tavícího agregátu.

Kontinuální tavící pece je možné rozdělit podle různých hledisek. Schematicky je toto rozdělení uvedené na obr. č. 1.

Jednou z předních firem, která se zabývá vývojem a konstrukcí sklářských tavících vanových agregátů je firma NIKOLAUS SORG (SRN).



Jejich rozdělení je především podle uvedené charakteristiky STA plamenných a doplněné charakteristikou elektrického příhřevu.

obr. č. 1 - Schéma rozdělení sklářských tavicích agregátů

Kontinuální sklářské tavící pece firmy SORG

Kontinuální STA mohou být podle směru vedení plamene společně se způsobem přehřívání spalovacího vzduchu rozděleny do čtyř skupin /1/:

- U-plamenné regenerační vanové pece
- příčně plamenné regenerační vanové pece
- U-plamenné rekuperační vanové pece
- příčně plamenné rekuperační vanové pece

Rekuperací pece s tavící plochou přibližně 25 m² jsou stavěny jako U-plamenné, pece s větší tavící plochou jako příčně plamenné. Měrný tavící výkon je nižší než u regeneračních pecí.

Malé pece jsou přednostně používány pro výrobu skla o vysoké kvalitě a skla užitkového. Větší pece se používají pro tavení skla obalového a skel speciálních jako např. typ skloviny C a E na výrobu skleněných vláken.

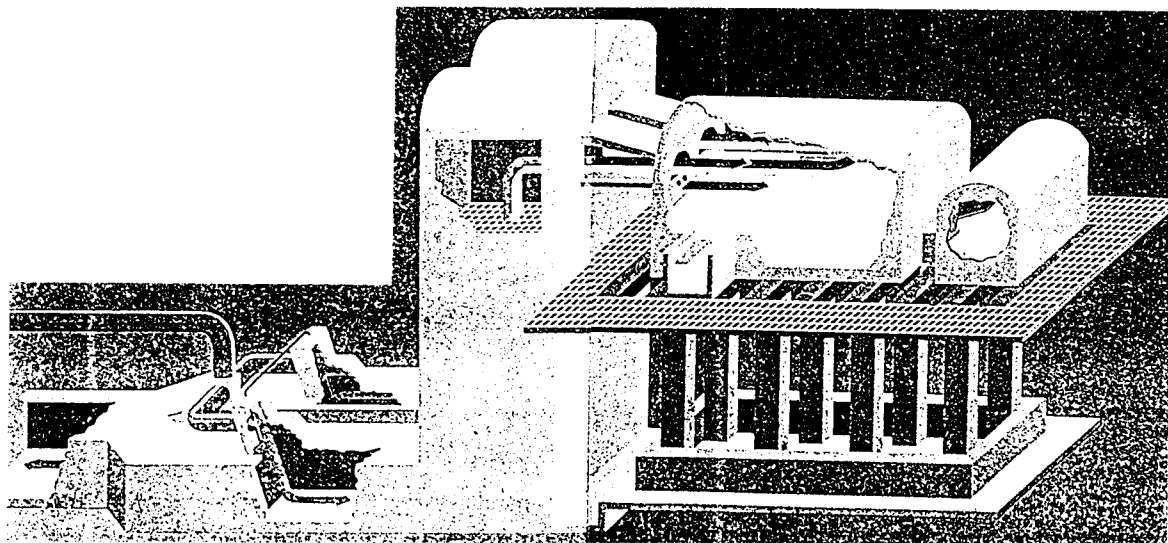
Výhody rekuperačních pecí oproti pecím regeneračním: výhodná energetická spotřeba v oblasti zakládání, snížení emisí (NO_x, prach), nižší investiční náklady. Výběr pece nejvhodnějšího typu je rozhodující pro ekonomiku sklářské výroby.

U-plamenné regenerační vanové pece firmy SORG

Hořákové vlety a hořáky tohoto typu pece jsou umístěny na vstupní stěně agregátu. Tam je pouze jeden hořákový

vlet na každé straně a v každém je instalován jeden nebo více kovových hořákových trysek.

Směr plamene a proudící spáliny vytváří plamen ve tvaru U (obr. č. 2), to znamená, že plamen postupující k čelní stěně se otočí o 180° a proudí nazpět k zadní stěně pece, ale po opačné straně. V hořákovém vletu je možnost jednotlivé hořákové trysky optimálně nastavit.



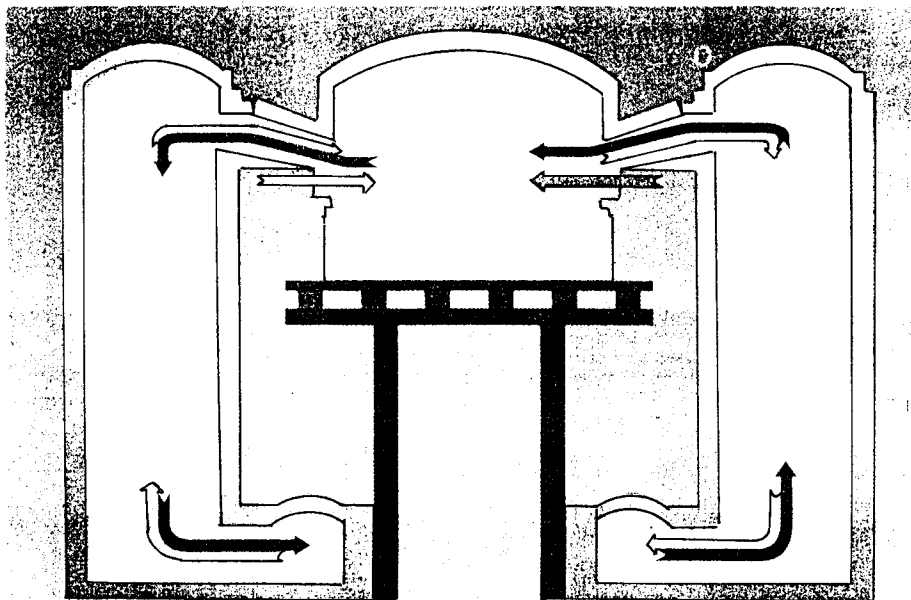
obr. č. 2 - Schéma U-plamenné regenerační vanové pece

Dráha spalování je poměrně dlouhá. Vysoká hladina tepelné účinnosti v horní stavbě pece je způsobena hlavně regeneračním systémem, který produkuje vysokou teplotu plamene.

Vsázka je zakládána ze stran blízko vstupní stěny. Pro malé a střední odběry dostačuje přístavek na jedné straně pece. Dva zakládací přístavky jsou instalovány pro větší odběry. Jsou umístěny na obou stranách pece přesně naproti sobě.

Příčně plamenná regenerační vanová pec firmy SORG

U tohoto typu pece jsou hořákové vlety a hořákové trysky umístěny na bocích pece tak, že plamen a spaliny se pohybují napříč z jedné strany na druhou po určitou stanovenou dobu. V každém hořákovém vletu je umístěna jedna nebo více hořákových trysek.(obr. č. 3).



obr. č. 3 - Schéma příčně plamenné regenerační vanové pece

Do hořákových vletů je vháněn spalovací vzduch z běžných regenerátorů, který může být rozdělen na sekční komory. Rozdělením hořáků podél pece se zajistí přesné nastavení teplotní křivky a definovaného vratného bodu.

Spalovací dráha je omezena šířkou pece. Protože běžná regenerační komora je využívána pro všechny hořáky podél boku pece, je obtížné dosáhnout optimálního poměru plyn - vzduch na jednotlivých hořácích. Tyto dva uvedené faktory vysvětlují tu skutečnost, že spotřeba energie u příčně plamenných pecí je poněkud vyšší než porovnatelná U-plamenná pec.

Vsázka je zakládána přes zakládací přístavek na přední stěně agregátu. U většiny pecí tohoto typu je zakládací přístavek téměř tak široký jako je sklářská vana, takže kmen může být zakládán v tenké vrstvě a pokrývá prakticky hladinu skloviny v tavící části vany.

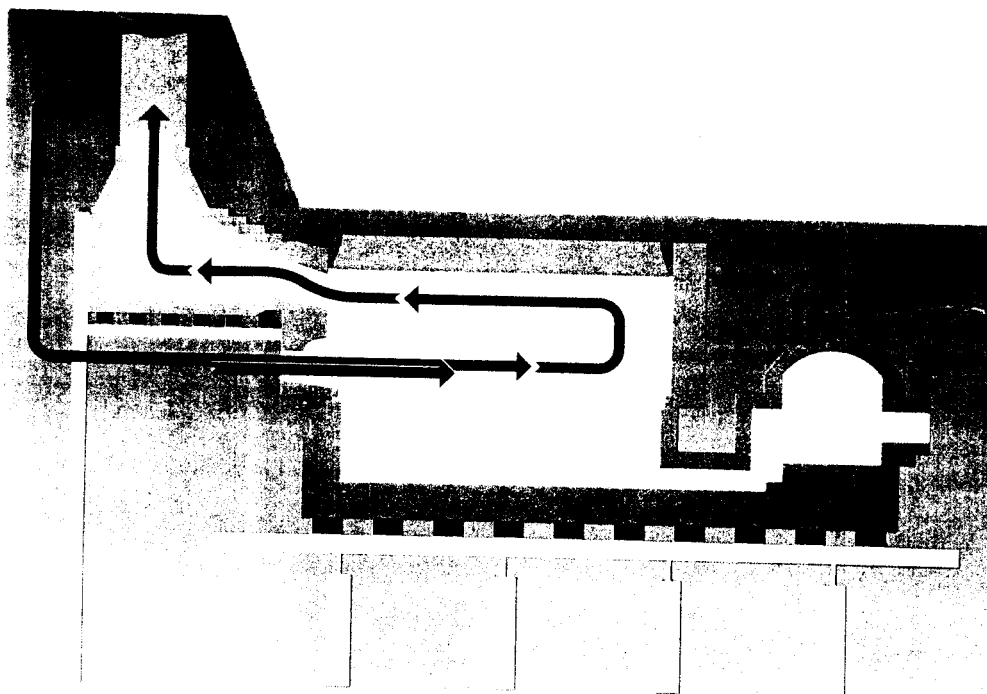
Rekuperační vanové pece firmy SORG

Tento typ pecí používá pro předehřívání spalovacího vzduchu kovové rekuperátory. Podle rekuperačního systému a velikosti pece se předehřívací teploty pohybují v rozmezí od 500 °C do 800 °C.

Zvláštní charakteristickou malých rekuperativních Sorgových pecí je vertikální U-plamen (obr. č. 4). Hořáky jsou instalovány pod spalivovým odtahem na zadní stěně pece a plamen postupuje vertikálně U-drahou do vrchní stavby pece. Uspořádání hořáků ve spojení s vhodnou regulací znamená, že pecní atmosféra a podélná teplotní křivka může být snadno nastavena.

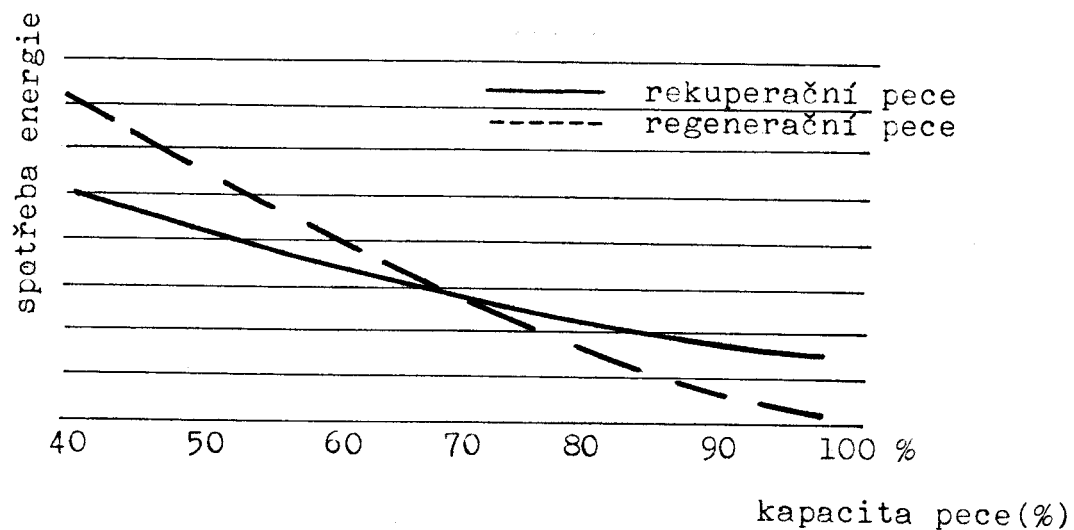
Pece s tavící plochou nad 25 m² jsou konstruovány na principu příčně plamenné pece. Hořáky jsou umístěny na pravé

a levé straně vrchní stavby agregátu.



obr. č. 4 - Schéma rekuperační vanové tavící pece
(svislí U-plamen)

Sorgovy pece splňují důležité požadavky, jako jsou vysoká kvalita skloviny s nízkou energetickou spotřebou a dlouhá životnost pro více než dvě stě zákazníků na celém světě.



obr. č. 5 - Závislost spotřeby energie na kapacitě pece

tab. č. 1 - Volba kritérií pro regenerační pece

	U-plamenná	příčně plamenná
velikost pece	do 110 m ²	od 70 m ²
max. měrný tavící výkon	2,4-3t/m ²	2,4-3t/m ²
seřízení pecní atmosféry	horší	lepší
seřízení rozložení teploty	horší	lepší
spotřeba energie na stejné tavící množství	nižší	vyšší
prostorové požadavky	menší	větší
investiční nákl.	nižší	vyšší (+20 až 25 %)

1.2 TAVENÍ V PÁNVOVÝCH PECÍCH

Tavení skla v pánvových pecích je historicky nejstarším způsobem tavení skla. V současné době se používá tam, kde je nutné tavit široký sortiment sklovin, při jejich relativně nízké celkové spotřebě. To je tam, kde není ekonomické použít tavení nepřetržitého.

Jednotlivé fáze tavícího procesu probíhají na rozdíl od nepřetržitého tavení na jednom a též místě, ale v určitém časovém sledu. Při pánvovém tavení převládá obvykle ruční zpracování utavené skloviny.

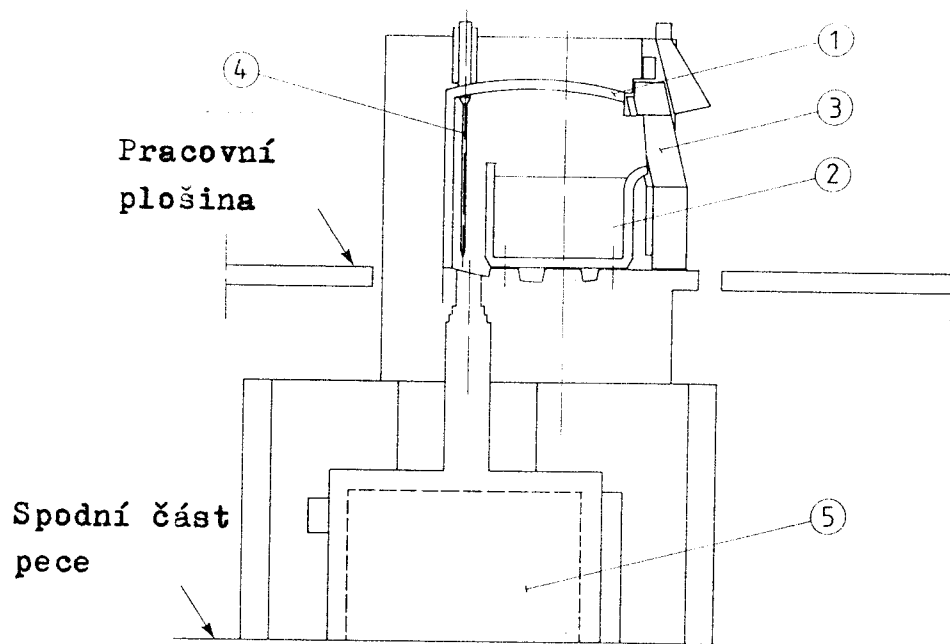
Dnes se používají většinou pece hornoplamenné a to šesti až osmi pánvové. Dolnoplamenné pece ustupují vzhledem k jejich příliš malé účinnosti. Pánvové pece otápěné zemním plynem jsou rekuperační s kovovým rekuperátorem. V poslední době se velmi rozšířilo elektrické tavení skla v pánvových pecích. A to zejména pro lepší kvalitu skla a energeticky hospodárnější tavící proces. Typickým příkladem je pánvová pec švédské firmy RAMCO.

Elektrická pánvová pec švédské firmy RAMCO

Tato nově vyvinutá elektrická pánvová pec produkuje sklo o velmi vysoké kvalitě./2/.

Denní výkon vany je 550 kg utaveného skla, měrná spotřeba energie přibližně 2,3 kWh na 1 kg skla při hustotě 2,9 (na jeden tavící cyklus je to asi 1 300 kWh). Dalšími výhodami jsou: řízení teploty podle požadavků na kvalitu, snadná obsluha a žádné kamínky, šléry nebo bublinky, je možná snadná výměna pánve.

Pánev má 900 mm v průměru, je 700 mm vysoká a vyhřívána superkanthalovými topnými články. Pec pracuje ekonomicky s měrnou spotřebou tepla 1 200 kWh za 24 hodin.



obr. č. 6 - Konstrukce a funkce pánvové pece

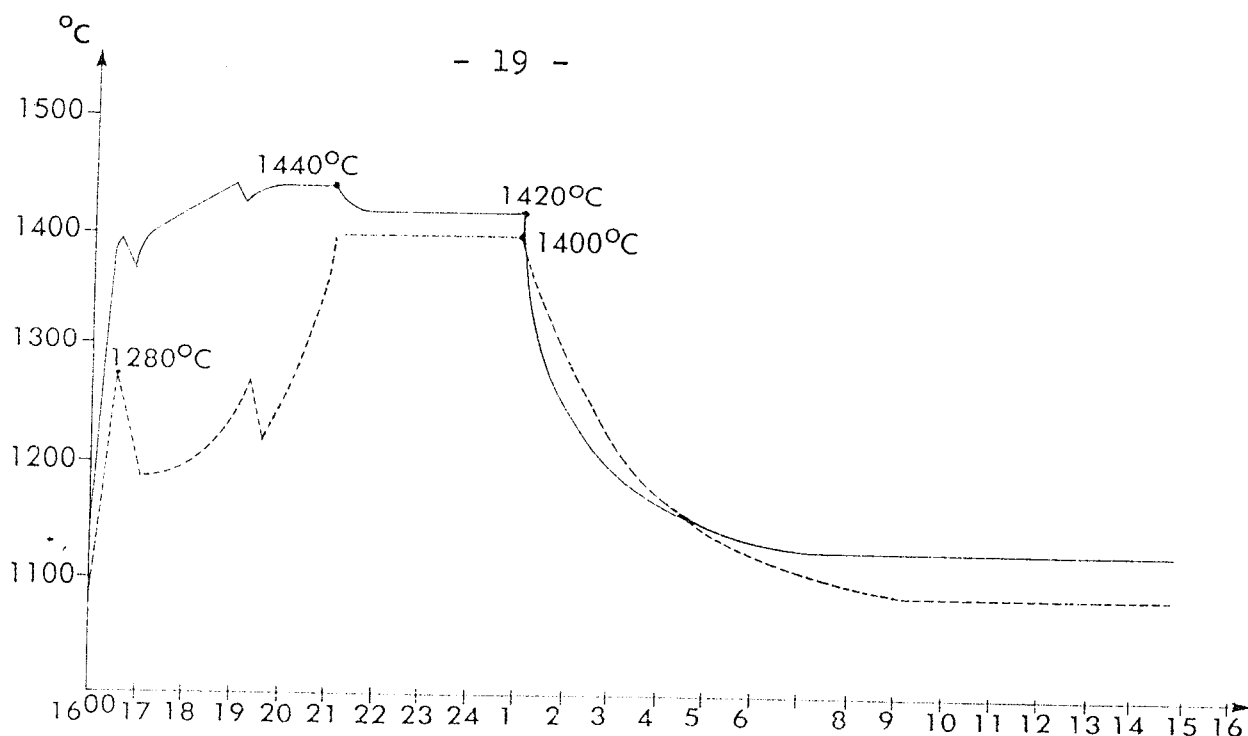
1. Vysoce hlinité tvárnice ve stěnách pece, di-
nasové kameny v klenbě.

2. Typ pánve volitelný.

3. Čelo pece tvoří kostra vyplněná lehkým izo-
lačním materiálem, čelo je posunovatelné a umožňuje snadnou
výměnu pánve.

4. Superkanthalové (disicilid - molybdenu MoSi_2)
topné články jsou zavěšeny pod klenbou pece a kruhovitě
obklopují pánev.

5. Jímka na vytékání skla je umístěna ve spodní
části a s prostorem pece je spojena vertikálním kanálem.



obr. 8. 7 - Časový průběh teploty při tavení křišťálu

hod.

----- teplota uvnitř pánve

———— teplota v protoru pece

- po 30 až 45 minutách je dosaženo teploty 1 280 až 1 300 °C, tím je pec připravena pro první zakládání vsázky

- po 2,5 až 3 hodinách je pec připravena pro druhé (poslední) zakládání a začíná čeření

- tavení je ukončeno po 9 až 10 hodinách a začíná ochlazování, které trvá 4 až 5 hodin

1.3 ELEKTRICKÉ TAVENÍ SKLA

Přestože cena elektrické energie je vyšší, než cena jiných paliv pro tavení skla, používá a bude se jí i v budoucnu stále více používat, a to z mnoha důvodů. Za dva hlavní lze označit lepší kvalitu utavené skloviny a ekologicky nezávadný způsob tavení. Ostatní důvody, jako např.

vyšší energetická účinnost tavicího procesu, jeho jednodušší regulace a další výhody jsou sice zajímavé, ale zatím ne rozhodující. Kromě toho elektrické pece jsou z konstrukčního hlediska jednodušší než pece vytápěné klasickými palivy a mají vyšší měrné tavicí výkony. Proto lze počítat s tím, že elektrické tavení se bude rozšiřovat, bude se zdokonalovat, hledají a budou se hledat nové cesty k jeho použití.

Elektrické tavení získává nové oblasti tavení skla. Značný zájem je o elektrické tavení skla v pánvových pecích. Je to zřejmě proto, že utavené sklo je kvalitní a tavicí proces lze dobře naprogramovat. U těchto pecí nejde sice o tavení skla průchodem elektrického proudu, ale jde o další zajímavé využití elektrické energie ve sklářství, umožněné také tím, že jsou k dispozici dobré a trvanlivé topné odporové články.

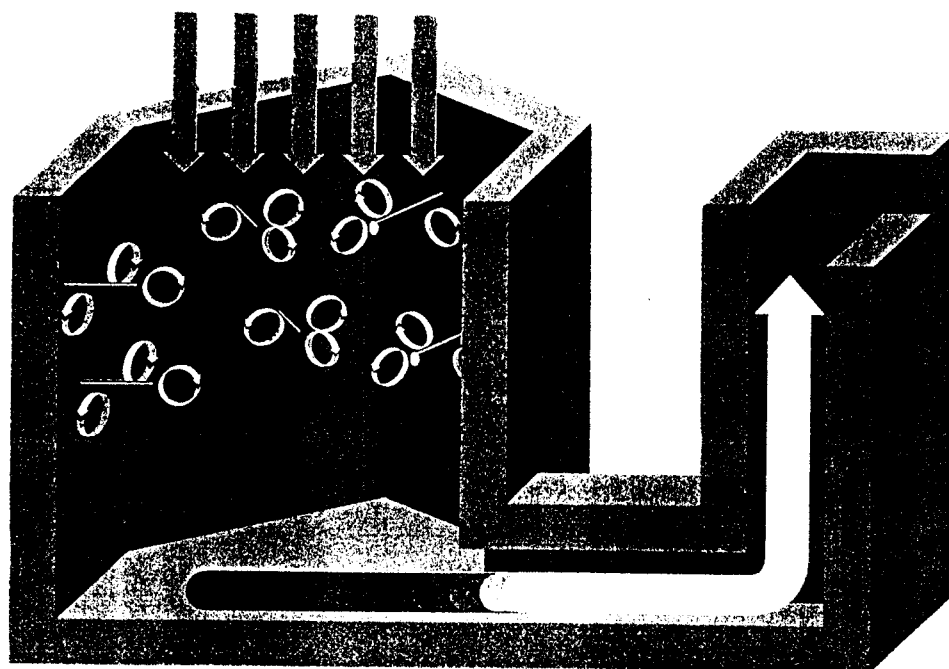
Rovněž elektrický příchřev zvyšuje tavicí výkon pece (o 30 až 50 %) otápěných palivem. Elektrický příchřev je jak tepelně technicky, tak ekonomicky velmi výhodný. Je to zejména proto, že výkon pece při zachování jejích rozměrů se vždy podstatně zvýší. Lze ho aplikovat bez náročných úprav u všech plamenných pecí. Stačí na to poměrně malé investice, protože vlastní konstrukce pece se při tom téměř nemění.

Při elektrickém tavení vzniká výrazně méně emisí než při tavení v pecích otápěných palivy a pro splnění zpřísněných požadavků na ochranu životního prostředí postačí méně nákladné čistící zařízení.

Vznikla řada nových konstrukcí pecí. Příkladem jsou celoelektrické tavící pece firmy SORG. /1/

VSM - Vertikal Super Melter

Technické údaje:	tavící výkon	24 t/24 h
	tavící plocha	10 m ²
	instalovaný výkon	1 300 kVA
	spotřeba energie	1,3 kWh/kg



obr. č. 8 - VSM - Vertikal Super Melter

VSM je studený vertikální melter. Tato celoelektrická pec je otápěna pomocí molybdenových elektrod instalovaných v několika různých hladinách. Zakládání vsázky je možné provádět třemi způsoby: rozdělovacím ramenem, výkyvným ramenem,

rotační hlavou. Všechny tyto typy zakladačů mohou zakládat různou vrstvu vsázky.

EMDR - Elektrick Melter Deep Refiner

Technické parametry:	tavící výkon	26 t/24 h
	tavící plocha	11 m ²
	instalovaný výkon	900 kVA
	spotřeba energie	1,3 kWh/kg



obr. 8. 9 - EMDR - Elektrick Melter Deep Refiner

Konstrukce EMDR je podobná běžným sklářským kontinuálním vanám. Kmen je zakládán čelní stěnou jednoduchým zakladačem. Tavící proces je horizontální oproti VSM, který je vertikální. Elektrody jsou umístěny na dně tavící části pece. Pro stabilizované proudění je instalován menší elektrický příkon do oblasti čerčící zóny. Tato pec kombinuje horizontální tavící proces palivem otápěné pece s vertikálním tavením pece elektrické.

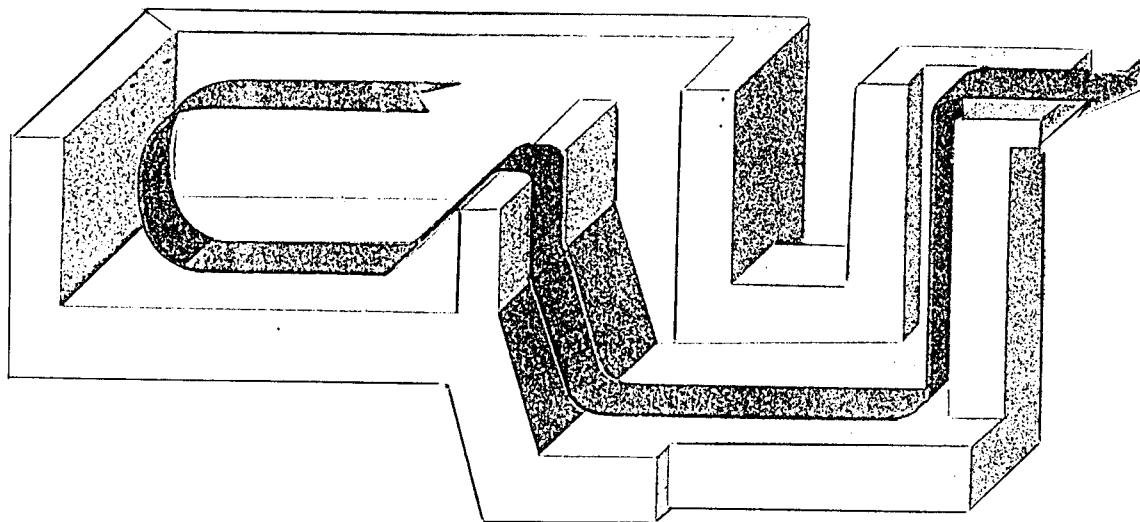
2 NOVÉ TRENDY SKLÁŘSKÉ VÝROBY

Sklářským tavicím pecím je věnována stále rostoucí pozornost. Zdokonalování konstrukce a stavby sklářských pecí a jejich částí může výrazně přispět k energetickým úsporám při tavení sklovin a k celkovému zlepšení ekologické situace.

Vyvíjejí se nové koncepce sklářských agregátů, které z větší části řeší tuto problematiku. Jsou to např.: pec typu DEEP REFINER, vany LONO_x a FLEX MELTER.

2.1 SORG DEEP REFINER

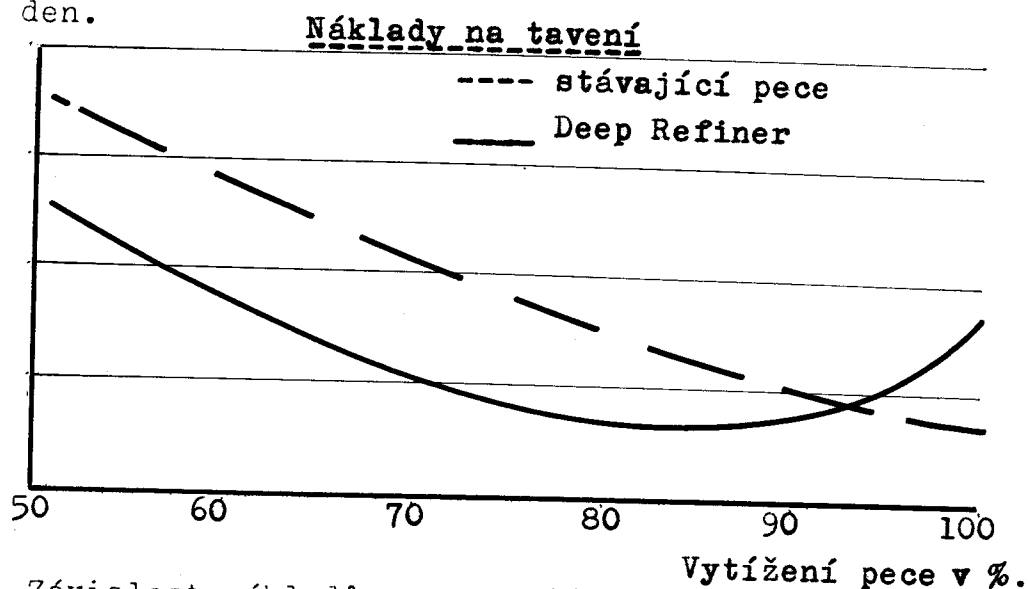
- pec s vysokým měrným tavicím výkonem a s nízkou energetickou spotřebou (obr. č. 10)



obr. č. 10 - Sorg Deep Refiner

Tento systém lze aplikovat do všech obvyklých typů van, ať mají regenerační nebo rekuperační předeřívání vzduchu.

Právě nyní, kdy je cena elektrické energie relativně vysoká, Deep Refiner pracuje podstatně ekonomičtěji než stávající sklářské agregáty a to je dáno vysokou účinností elektrického ohřevu. Tato pec má být postavena s tavícím výkonem až 450 t za den.



obr. č. 11 - Závislost nákladů na tavení/tavící výkon (%)

Z hlediska investičních nákladů jsou vany typu Deep Refiner na stejné úrovni jako konvenční vany bez nástavby Deep Refiner. Jsou sice menší, ale použití drahého žárovzdorného materiálu a elektrického vybavení je větší, což se prakticky projeví ve stejné ceně. Sledujeme-li však hospodárnost, vidíme, že minimálních tavících nákladů je dosaženo již při cca 80 % vytížení a dále opět lehce stoupne.

Výhody systému Deep Refiner:

- optimální proudění skloviny
- delší dráha proudící skloviny

- nižší teploty v oblasti průtoku
- homogenní sklovina vtékající do pracovní části pece
- zlepšení kvality skla
- menší znečištění okolního prostředí jako výsledek nižší teploty v peci
- vysoký specifický tavící výkon
- nárůst kapacity pece bez rozšíření její stavby
- může být využito některého již existujícího typu pece
- možnost celoelektrického ohřevu

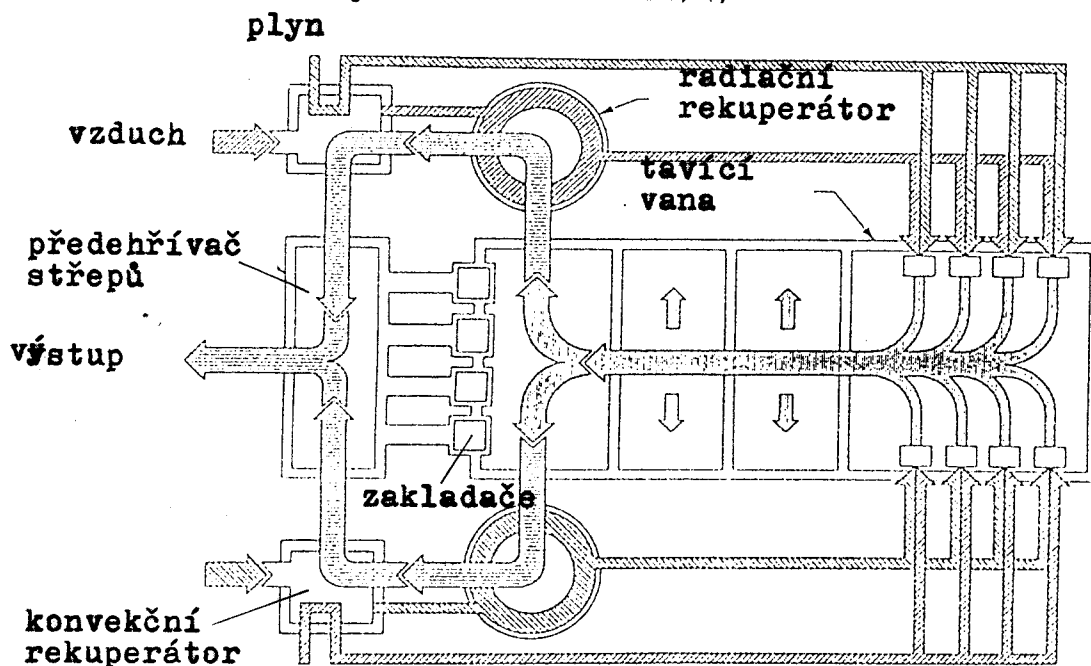
2.2 LONO_x MELTER

- nová koncepce tavící vany pro sklářský průmysl, která uvádí do souladu ekonomii s ekologií /3/

Stoupající požadavky na zachování čistoty ovzduší zatíží sklářský průmysl v budoucnosti značnými náklady na zpracování odpadních plynů. V některých zemích platí zákony, které předpisují poměrně nízké hodnoty emisí pro sklářské tavící vany. Mají-li být tyto a v budoucnu očekávané hodnoty dodržovány, je to u stávajících tavících van možné pouze s dodatečně zařazenými zařízeními pro čištění. Tato dodatečně aplikovaná zařízení pro čištění spalin jsou stavebně velmi nákladná.

Tavící pec LoNo_x Melter byla vyvinuta za účelem snížení koncentrace No_x (oxidy dusíku) a ostatních znečišťujících látek bez přídavných zařízení při zachování kvality taveného skla a energetické náročnosti.

Uspořádání tavicího agregátu $LoNo_x$ a přidavného technologického zařízení je na obr. č. 12./4/

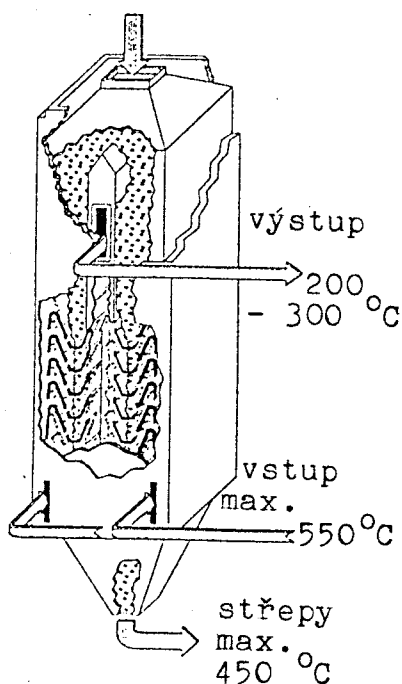


obr. č. 12 - Schéma uspořádání pece $LoNo_x$ s přidavným technologickým zařízením

Pro zakládání souvislé vrstvy kmene (obsah střepeů do 70 %) po celé šířce byly zkonstruovány čtyři stroje, které vedle sebe na čelní straně stěny zakládají kmen po celé šířce. Stroje jsou konstruovány jako posunovače, které ukládají kmen pomocí lineárně pohyblivých žlabů na skelnou lázeň a pomocí strkačů ji posunují kupředu.

Spaliny vstupují do sálavého rekuperátoru s teplotou cca 1 000 °C a na konci tohoto rekuperátoru se vracejí, aby se v konvekčním rekuperátoru se zabudovaným předehříváčem plynů opět vedly dolů. Konvekční část rekuperátoru se skládá z vodorovně uspořádaných svazků trubek, kterými v křížovém protiproudu proudí předehříváný spalovací vzduch. Teploty spalovacího vzduchu se pohybují okolo 700 °C, teploty zemního plynu okolo 500 °C.

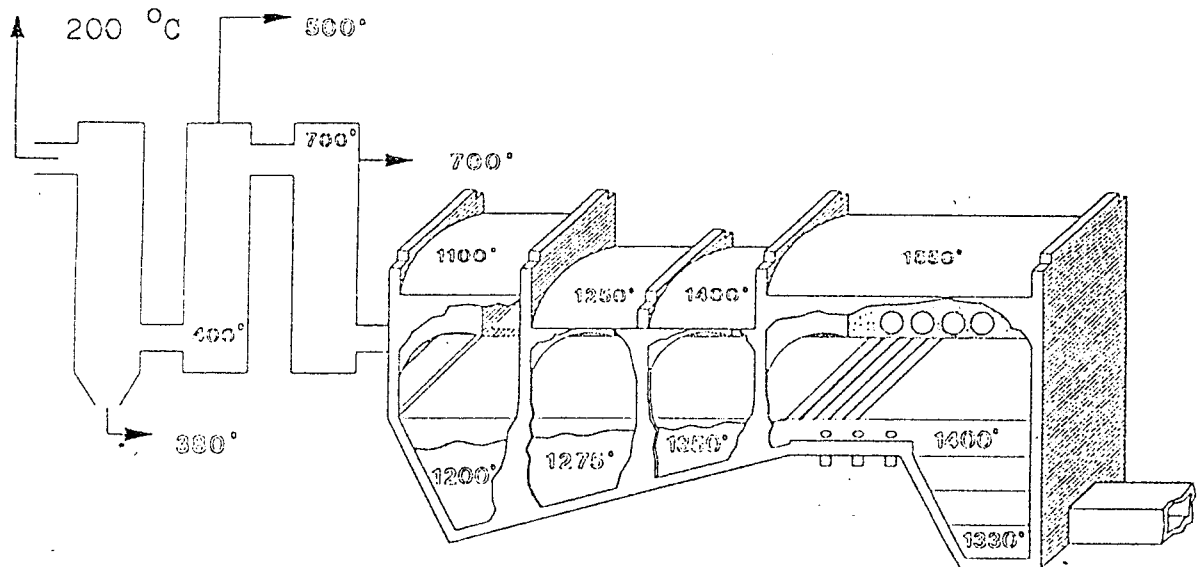
Spaliny vstupují ze spoda do nového zařízení pro přede-
hřev střepeů (obr. č. 13) a v křížovém protiproudu proudí
vsázkou. Proudny střepeů se přitom vedou mezi žaluziově uspořá-
danými plechy vertikálně ze shora dolů a jsou plně obtékány
spalinami.



obr. č. 13 - Schéma zařízení pro přede-
hřívání vsázky
a střepeů

Poměr filtrační plochy k Nm^3 spalin je přitom volen tak, že
rychlosti spalin před a uvnitř vsázky střepeů mají velmi
nízké hodnoty. Tím se daří vázat částice prachu ze spalin
na střepey. Část prachu se odlučuje již v předřazené komo-
ře a padá na dole ležící střepey. Je jimi vynášen a tím je
dosaženo filtračního účinku. Mimo to kondenzuje na střepech
chlor a fluor obsažený ve spalinách.

Dosud maximálně dosažený výkon činil 186 t/24 h při
měrné spotřebě tepla 3893,7 - 4144,9 kJ na 1 kg skloviny.



obr. č. 14 - Charakteristické teploty uvnitř pece

tab. č. II - Souhrný přehled výsledků měření emisí No_x

	t/den	mg/Nm^3 (8 % O_2)
jaro 1988	154	400
podzim 1988	162	412
léto 1989	177	421

Naměřené průměrné hodnoty jsou hluboko pod hodnotou stanovenou normou TA-Luft ($500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$).

tab. č. III - Souhrný přehled výsledků měření emisí So_x

	t/den	mg/Nm^3 (8 % O_2)
jaro 1988	154	750
podzim 1988	162	503
léto 1989	177	946

Zjištěné hodnoty jsou velmi hluboko pod hodnotou stanovenou normou TA-Luft (1 800 mg/Nm³).

Uvažujeme-li, že toto zařízení představuje prototyp, který v mnoha ohledech může doznat značného zlepšení, je možné očekávat, že tento typ vany poskytne v budoucnosti možnost nahrazení regeneračních van.

2.3 FLEX MELTER

- kombinovaná sklářská tavící vana s elektrickým a fosilním vytápěním /5/

Firma SORG (SRN) vyvinula koncepci flexibilní tavící pece nazvané FLEX MELTER určené k nahrazení pánvových pecí. Všechny dřívější pokusy, využívajících denních van nebo různých druhů kontinuálních tavících zařízení nebyly úspěšné, neboť nebylo nalezeno takové zařízení, které by umožňovalo přerušování tavení a jeho opětné zahájení bez vážných problémů s kvalitou skloviny.

Tavící část pece je oddělena od čerčící zóny stěnou. Horní stavba je rozdělena na vyšší část nad čerčící zónou a nižší část nad zónou tavící.

Kmen je zakládán podél celé délky pece jednoduchým zakládacím zařízením. Tavící část je otápěna hlavně elektrickou energií. Elektrody mohou být umístěny ve dně, stěnách i klenbě pece podle typu tavené skloviny a velikosti pece. Tavící část je velmi mělká, takže nedochází ke vzniku konvexních proudů. Čerčící zóna je otápěna plynem, ale dovoluje i instalaci elektrod.

Odpadní plyny jsou vedeny do rekuperátoru, který je využíván k předehřívání spalovacího vzduchu. Teplota odpadních plynů činí při vstupu pouze 1 000 °C, při výstupu 400 °C až 600 °C.

Na Flex Melter je možné připojit různé pracovní konce nebo jeden či více žlabů.

První pec tohoto typu byla uvedena do provozu v roce 1988 v Jugoslávii. Tavicí výkon pece činil 12 t/24 h a byla tavena draselná sklovina. Největší pece tohoto typu mají výkon 25 t/24 h, ale je možné použít základní koncepci pece i pro větší tavicí zařízení. Byla potvrzena vysoká kvalita utavené skloviny.

3 EMISE ZE SKLÁŘSKÝCH TAVÍCÍCH PECÍ

Při výrobě skla se taví směs výchozích surovin (písek, vápenec, soda, potaš atd.) a skleněných střepek při teplotách 1 450 °C až 1 600 °C.

Spaliny odcházejí z tavícího prostoru pece s vysokou teplotou a většinou se schlazují v regenerátorech na teplotu asi 450 °C až 600 °C nebo v rekuperátorech na teplotu 700 °C až 800 °C. Objemy spalin kolísají asi od 4 000 Nm³/h u malých STA určených pro tavení speciálních sklovin do 80 000 Nm³/h u velkých STA na výrobu např. plaveného skla.

Spaliny obsahují prachové (pevné) a plynné škodliviny:

- prach vytvořený kondenzací látek odpařených ze skloviny a reakční produkty neutralizace plyných škodlivin
- oxidy síry, které pocházejí ze surovin přítomných ve kmeni, případně z paliva
- fluoridy a chloridy ze sklářských surovin
- sloučeniny bóru (vznikající např. při výrobě skleněných vláken)
- oxidy dusíku vytvořené v důsledku vysokých spalovacích teplot a ze surovin obsahujících dusičnany

3.1 EMISE PEVNÝCH SLOUČENIN

Prachové částice ve spalinách opouštějící sklářské tavící agregáty jsou velice jemné a obvykle 90 % částic je menší než 0,1 um. Koncentrace prachu ve spalinách se pohybuje

od 100 do 1 000 mg/Nm³. Podle německé normy TA Luft je nutno snížit koncentraci prachu ve spalinách emitovaných do atmosféry na méně než 50 mg/Nm³ při hmotnostním toku 0,5 kg/h. U některých látek jako např. olovo, arsen, selen atd. platí ještě nižší mezní hodnoty.

Původ pevných částečkových exhalátů ze sklářských van:

- rozprach složek při vnášení sklářské vsázky do vany
- zkondenzování těkavějších složek sklářské vsázky v chladnějším prostoru
- narušení vyzdívek vany

Je velmi problematické odebrat vzorek úletu odcházejícího do volného ovzduší a připravit z něho reprezentativní vzorek pro analýzy. Chemické složení úletu je rozdílné u různých pecí. Při chemické analýze bývají nacházeny alkálie, především Na₂O, dále SO₃, Cl⁻, SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃ a v menším množství potom Fe₂O₃, V₂O₅, As₂O₃, Cr₂O₃, NiO, F⁻ a další. V prachovém podílu z úletu se objevují především SiO₂, MgO a Al₂O₃, ve zkondenzovaném těkavém podílu hlavně Na₂SO₄.

tab. č. IV - Složení pevných emisí při tavení různých druhů skel

Druh skloviny	Chemické složení pevných emisí, %							
	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	SO ₃	Cl	F	PbO	V ₂ O ₅
obalové sklo	33—38	2,5—10	—	47—48	4,7	0,09	—	—
plavené sklo (otop olejem)	26—37	3	—	51—63	0,4	—	—	0,5
sklo E	25	12	34	16	7	—	—	—
boritokřemičité sklo	7—32	7—8	20—40	2—4	—	1,3	—	—
olovnatokřemičité sklo	1	7	—	—	1,4	—	70	—

3.2 EMISE PLYNNÝCH SLOUČENIN

Obsahem této kapitoly je uvedení zjištěných hodnot emisí plyných sloučenin v rámci a. s. GLAVUNION Teplice a jejich srovnání s návrhem hodnot v zákoně o ochraně ovzduší. /6/

Byly měřeny: oxidy síry, oxidy dusíku, sloučeniny chloru a fluoru, oxid uhelnatý a sirovodík. Na měření emitovaných koncentrací byl použit přenosný analyzátor spalin IMR 3 000 P.

Oxidy dusíku - NO_x

Jako u většiny spalovacích procesů probíhajících za vysokých teplot je emise oxidů dusíku tvořena oxidem dusnatým NO a oxidem dusičitým NO₂. Při vysokých teplotách je stabilní formou NO. Při dostatečně pomalém ochlazování se tvoří NO₂. Díky velmi rychlému ochlazování spalin, které probíhá ve sklářských agregátech, zůstává více než 95 % NO_x ve formě NO.

Zdrojem tvorby NO_x jsou především tavicí teploty kolem 1 500 °C, styk vzduchu s volným povrchem skloviny, velká plocha regeneračních komor a tepelný rozklad dusičnanů obsažených ve sklářském kmeni.

V tabulce č. V jsou uvedeny zjištěné absolutní hodnoty emisí NO_x a jsou porovnány s emisemi zjištěnými v SRN.

tab. č. V - Emise NO_x ze sklářských pecí

Zdroj emisí	Otop	Zjištěný typický rozsah emisních faktorů ($\text{mg}\cdot\text{m}_n^{-3}$)	
		SRN	zjištěné hodnoty z měření
		podle lit. údajů	prováděných VÚSU
příčně plamenné pece rekuperativní pece	ZP	1 600-4 000	1 800-4 000
příčně plamenné pece rekuperativní pece	ZP	400-2 600	600- 900
příčně plamenné pece	LTO	1 600-3 600	4 100
příčně plamenné pece rekuperativní pece	SGP		400-1 100
kotelny	SGP		300- 600
(ref. obsah $\text{O}_2=3\%$)			300- 700
kotelny			
(ref. obsah $\text{O}_2=7\%$)	uhlí		200- 400

Oxidy síry - SO_x

Další plynnou škodlivinou obsaženou ve spalinách ze sklářských pecí jsou oxidy síry SO_x . Takto souborně označujeme směs oxidu siřičitého SO_2 a oxidu sírového SO_3 . Původem těchto oxidů je vsázka (sírany) a palivo (zejména surový generátorový plyn a lehký topný olej).

Obsah SO_2 v ovzduší ČSFR je velmi vážným problémem. Ročně u nás uniká do ovzduší více než 3 000 000 tun SO_2 , což znamená 23,4 tun na jeden kilometr krychlový státu.

Těmito hodnotami se řadíme mezi tři nejhorší znečišťovatele v Evropě. Kdybychom však vypočetli tyto údaje jen pro území ČR, kde je převaha zdrojů SO₂, dostali bychom se bezpečně na první místo v Evropě.

Při stanovení emisních faktorů SO₂ byl měřen emisní faktor SO₂ vznikajícího z paliva a ten byl sčítán s emisním faktorem SO₂ uvolňujícím se ze vsázky, který byl vypočítán bilančně. Celkové získané hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. VI.

tab. č. VI - Emise SO₂ dle měření VÚSU

Zdroj emisí	Otop	Zjištěný typický rozsah emisních faktorů(mg.m ⁻³)
příčně plamenná pec (ploché sklo)	ZP	max. 650
příčně plamenná pec (ploché sklo)	SGP uhlí Most uhlí Sokolov	max. 1 900 max. 3 000
příčně plamenná pec (obalové sklo)	ZP	max. 400
příčně plamenná pec (obalové sklo)	SGP uhlí Most uhlí Sokolov	max. 1 000 max. 9 900
rekuperativní pec (obalové sklo)	SGP uhlí Most	max. 1 100

Ze zjištěných hodnot je patrný významný vliv rozdílného obsahu síry v uhlí z mostecké a sokolovské pánve.

Sklárny, pokud jsou vytápěny surovým generátorovým plynem, jsou významným zdrojem SO_2 .

Sloučeniny chloru

Zdrojem emisí sloučenin chloru je vsázka. Pokud se nepoužívá jako čeřivo NaCl , pak se jedná o nežádoucí příměsi v surovinách. Nejčastějším zdrojem chloridů bývá soda.

Přímé měření emisí Cl^- nebyla ve VÚSU zatím prováděna, emisní faktory byly zjišťovány bilančně na podkladě analytického stanovení Cl^- ve skle a surovinách. Takto zjištěné emisní faktory sloučenin chloru vyjádřených jako HCl se pohybují u tavících agregátů a. s. GLAVUNION v rozmezí:

$$24-222 \text{ mg.m}_n^{-3}$$

Na podkladě řady zjištěných hodnot byla zjištěna též závislost emisního faktoru HCl na obsahu síry ve vsázce. Platí, že čím více síry obsahuje palivo a vsázka, tím vyšší je emisní faktor HCl . Optimalizační návrhy na snížení emisí HCl musí být tedy jednoznačně zaměřeny na změnu paliva, na snižování obsahu Na_2SO_4 ve vsázce a na přechod na jiný druh sody s co nejnižším obsahem NaCl .

Sloučeniny fluoru -

Emise sloučenin fluoru jsou způsobeny použitím surovin, které přímo obsahují sloučeniny fluoru - kazivec, kryolit a nežádoucími příměsmi v surovinách - znělec, čedič.

Přímé měření emisí sloučenin fluoru nebylo zatím ve VÚSU prováděno, emisní faktory byly zjišťovány bilančně na podkladě analytického stanovení obsahu F ve skle a surovinách. Na podkladě takto zjištěných hodnot je nutno počítat při výrobě opálového skla s emisními faktory HF až do výše $5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{m}_n^{-3}$.

Vzhledem ke zjištěným vysokým hodnotám emisních faktorů u výroby opálového skla je bezpodmínečně nutné se zabývat problematikou složení skloviny pro tento druh výroby a následného snižování emisí HF pomocí absorpčních kolon apod.

Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý vzniká nedokonalým spalováním. Při měření hodnot emisních faktorů CO (tab. č. VII) byly zjištěny rozdíly jak v časovém průběhu reverzačních cyklů u regeneračních pecí, tak i v porovnání cyklu levá/pravá strana. Proto je nutné při stanovení průměrného emisního faktoru sledovat celý průběh cyklů reverzace.

tab. č. VII - Emise CO

Agregát	Otop	Emisní faktor CO ($\text{mg}\cdot\text{m}_n^{-3}$)
příčně plamenné pece	ZP	max. 750
	SGP	max. 3 000

Snižování emisí CO je možné na základě přesného měření a následného technologického seřízení vanového agregátu.

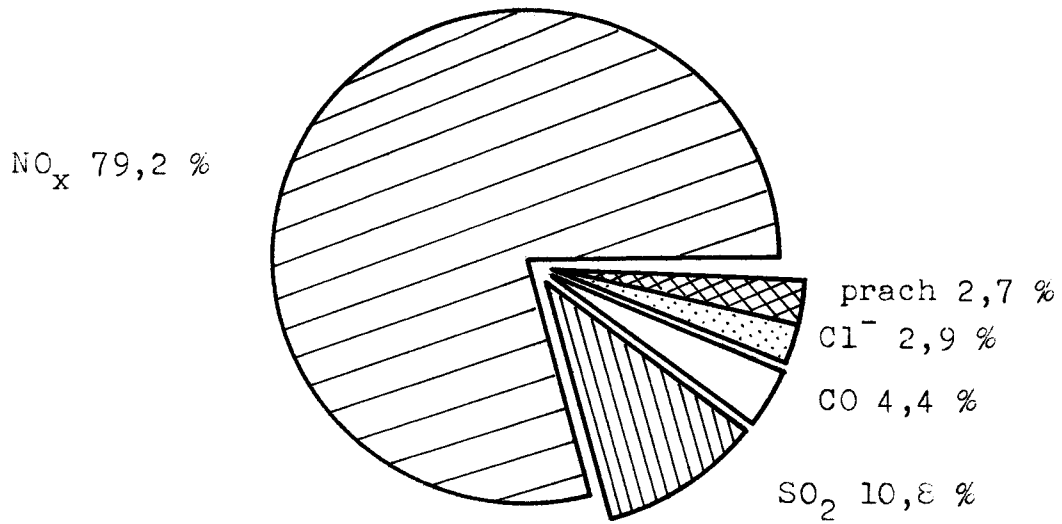
Ve většině sklářských provozů jsou paliva spalována oxidačně a oxid uhelnatý je přítomen jen v desetínách procenta. Větší množství CO je obsaženo v plynných palivech. Svítiplyn obsahuje 9,4 - 21,1 obj. % CO, koksárenský plyn 5 - 6 obj. % CO. Zemní plyn CO neobsahuje. Surový generátorový plyn ze severočeského hnědého uhlí má cca 28 - 29 obj. % CO.

Sirovodík - H₂S

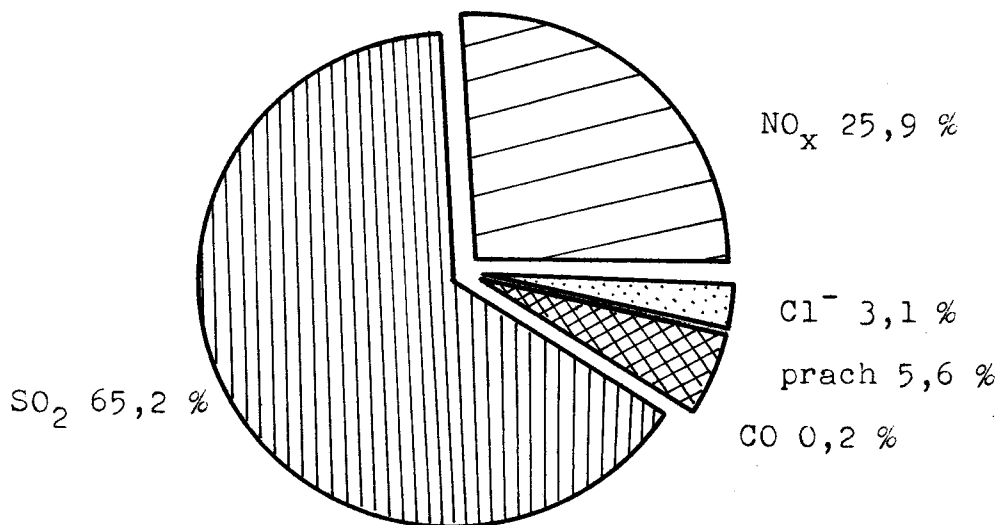
Přítomnost H₂S byla indikována pouze výjimečně na pecích otápěných surovým generátorovým plynem (zřejmě pronikání SGP do odtahu spalin). Tato situace byla zjištěna na příčně plamenné peci otápěné SGP, kde byl zjištěn emisní faktor 71 mg.m⁻³. Náprava opět spočívá v důsledném dodržování technologické kázně.

3.3 SHRNUÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT EMISÍ

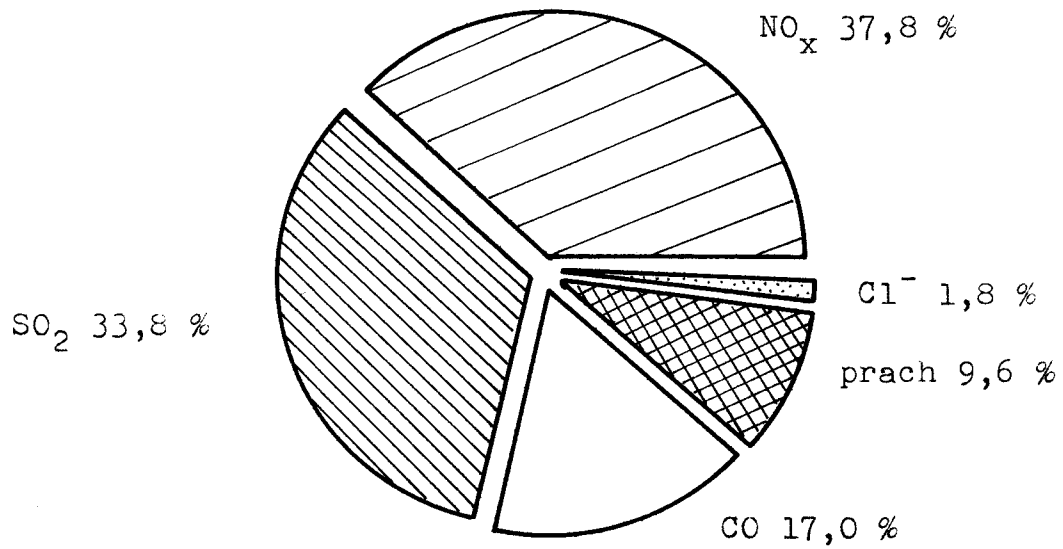
V grafech na obr. č. 15 - 20 jsou shrnuty doposud zjištěné výsledky do schematického rozdělení pro jednotlivé typy tavících agregátů a pro jednotlivé typy používaného paliva.



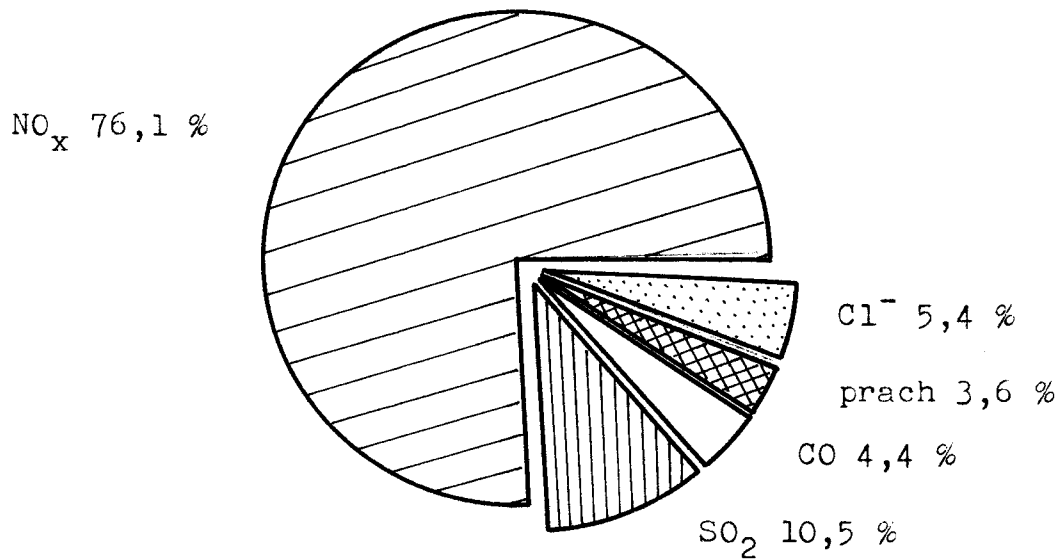
obr. č. 15 - Rozdělení emisí u regenerační vany na ploché sklo (otop zemním plynem)



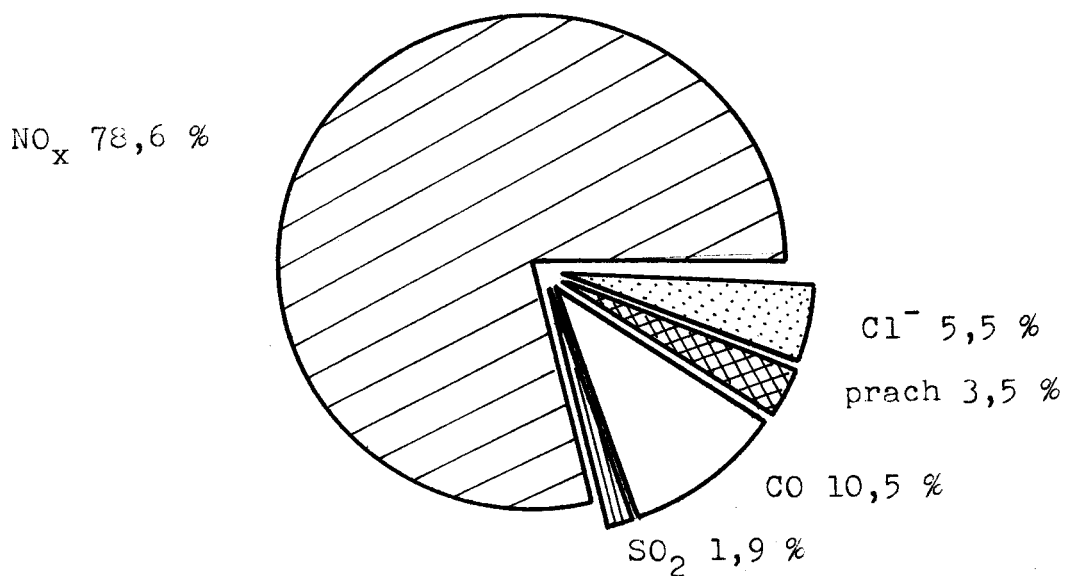
obr. č. 16 - Rozdělení emisí u regenerační vany na ploché sklo (otop sur. gener. plynem)



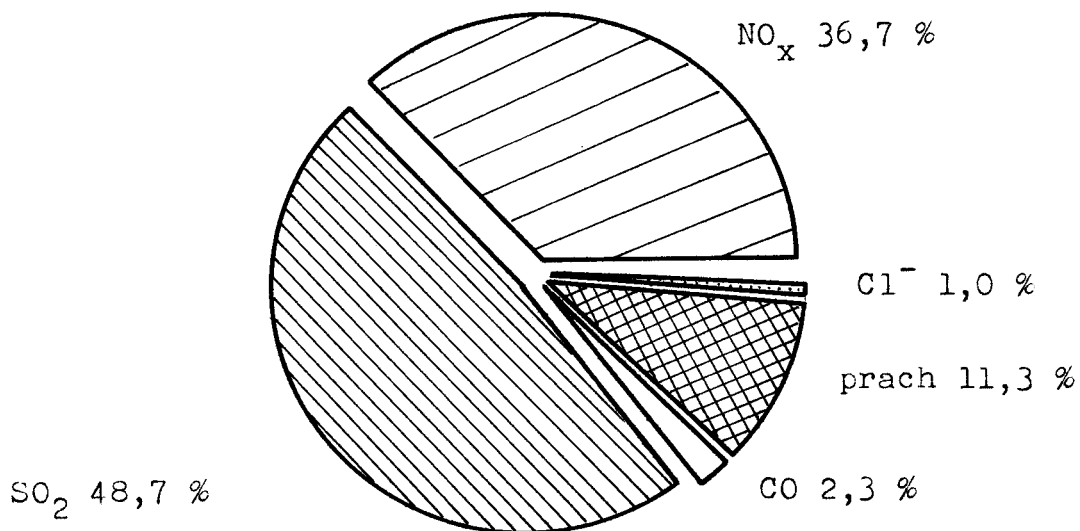
obr. č. 17 - Rozdělení emisí u regenerační vany na obalové sklo (otop sur. gener. plynem)



obr. č. 18 - Rozdělení emisí u regenerační vany na obalové sklo (otop zemním plynem)



obr. č. 19 - Rozdělení emisí u rekuperační vany na obalové sklo (otop zemním plynem)



obr. č. 20 - Rozdělení emisí u rekuperační vany na obalové sklo (otop sur. gener. plynem)

4 STANOVOVÁNÍ PEVNÝCH A PLYNNÝCH EMISÍ

Jelikož problematika týkající se stanovení pevných a plyných emisí v ovzduší je příliš široká, budou v této kapitole zachyceny pouze základy metodiky zjišťování škodlivin a pouze heslovitě uvedeny fyzikální a fyzikálně-chemické moderní metody uplatňující se při jejich stanovování. /8,9/

Stanovení znečišťujících látek v ovzduší se provádí:

- ve volném ovzduší (označujeme jako měření imisí)
- v uzavřených místnostech (např. na pracovištích)
- v místě vypouštění (úniku) škodlivin (označujeme jako měření emisí)

Při sledování emisí se zjišťuje druh a množství znečišťujících látek vypouštěných ze zdroje jednak v závislosti na čase (rytmus emisí), jednak v závislosti na výkonnosti zdroje (emisní faktor).

Způsoby zjišťování emisí:

- diskontinuálním měřením
- kontinuální registrací
- výpočtem, na základě surovinové nebo palivové bilance případně na základě průměrných emisních faktorů

Přesnější je přirozeně měření a registrace. Výpočtové metody se používají jen v případech, kdy přímé měření emisí je z technických nebo ekonomických důvodů nemožné.

Analytické postupy a přístroje na měření emisí a imisí jsou určeny na velmi rozdílné koncentrace znečišťujících látek. V případě imisí se vyskytují hodnoty

řádově ug.m^{-3} až mg.m^{-3} , v případě emisí mg.m^{-3} až g.m^{-3} .
Odlišné jsou také podmínky stanovení. Imise se měří při běžných atmosférických podmínkách (tlak, teplota) daných momentální meteorologickou situací. V případě emisí je často třeba analyzovat vzorky odebrané z proudícího, několik set $^{\circ}\text{C}$ tepleho plynu, případně z plynu pod tlakem (ev. ve vakuu) nebo ze soustavy plyn-prach. Při měření emisí bývají problémy s odstraňováním rušivých složek, s teplotními a tlakovými podmínkami a s odběrem reprezentativních vzorků.

Při relativně vysokých koncentracích znečišťujících látek v ovzduší a při použití velmi citlivých analytických metod je možné odebírat vzorky přímo do plynových vzorkovnic. V případě velmi malých obsahů znečišťujících látek v ovzduší je třeba tyto látky izolovat a shromažďovat po určitý čas odběru vzorku. Uplatňují se přitom absorpční, filtrační a adsorpční metody. Ojedinele se používá také vymrazování.

Pro odběr vzorků jsou definovány doby trvání odběru a způsoby vyjadřování středních a průměrných koncentrací. Norma také charakterizuje volbu míst pro odběr vzorků a počty odběrů.

Při fyzikální analýze se zjišťuje celková hmotnost cizorodých částic v atmosféře, jejich velikost a distribuce, optické změny atmosféry, velikost spadu apod. Fyzikální analýza úzce souvisí s chemickou, protože k posouzení nepříznivého účinku škodlivin je zapotřebí znát jejich koncentrační strukturu.

Chemickou analýzu obecně rozdělujeme na kvantitativní

a kvalitativní. Kvalitativní metody reprezentují při analýzách emisí v ovzduší rozmanité jednoduché detektory - indikátorové papírky a indikátorové trubičky. Známé jsou např. detektory CO, CO₂, NH₃, SO₂, uhlovodíků. Složitější detektory už registrují nebo signalizují překročení mezní koncentrace určité škodliviny v ovzduší. Pro přesné stanovení obsahu jednotlivých škodlivin se používají kvantitativní metody. Přitom klasické chemické metody gravimetrické a odměrné jsou při těchto analýzách stále více nahrazovány moderními fyzikálně-chemickými metodami, které umožňují operativní a kontinuální měření i monitorování a jsou základem moderních analyzátorů. K těmto moderním metodám patří:

- kolorimetrie a fotometrie
- emisní spektrální analýza
- atomová absorpční spektrofotometrie
- elektrochemické analytické metody zvláště coulometrie a polarografie
- plynová chromatografie
- metody založené na absorpci IČ - záření
- chemiluminiscenční metody
- hmotnostní spektrometrie
- laserová analýza
- nukleární analytické metody a další

Zařízení na měření koncentrace prachu jsou založeny na principu piezoelektrických mikrovah, gravimetrickém principu, prosazují se také radiometrické, optické a sedimentační metody. Optické metody jsou založeny na tom, že paprsek světla procházející spalínami je prachovými částicemi obsaženými v proudícím plynu částečně pohlcován nebo vychylován z původního směru.

Na základě dvoupraskového systému (měřicí a srovnávací paprsek) se měří hodnota zeslabení intenzity světla, která je úměrná prašnosti. Byl zkonstruován také kombinovaný přístroj GM 21 na měření koncentrací plynu a prachu. Ze sedimentačních metod je zvláště zajímavá metoda, která pomocí Sedigraphu L zajišťuje granulometrickou analýzu prachu za využití sedimentace a optického vyhodnocování.

Nepříznivé účinky na lidský organizmus má olovo a jeho sloučeniny. V ČSFR byla vyvinuta metoda stanovení olova v polétavém prachu v ovzduší, založená na square-ware polarografu. Po stránce přesnosti a reprodukovatelnosti je srovnatelná s užívanou metodou atomové absorpční spektrometrie.

Pro stanovení obsahu oxidu uhelnatého ve spalinách v kominových emisích i ve volné atmosféře byla vypracována řada metod a vyvinuta řada měřících přístrojů. Analyzátory obsahu CO jsou založeny na měření absorpce v oblasti infračerveného záření, na plynové chromatografii, na chemické absorpční analýze a na katalytickém spalování. Rozšířené jsou také detektory obsahu CO. Zvláště je třeba upozornit na zařízení firmy ACME, které snímá obsah CO ve dvou předem stanovených hodnotách. Při překročení první hodnoty uvede zařízení do chodu ventilátory, při překročení druhé vyšší hodnoty vyvolá zvukový signál.

Ke stanovení CO₂ v atmosféře slouží analyzátory založené na chemické absorpční analýze, na elektrochemických metodách a na měření tepelné vodivosti.

Další škodlivou složkou emisí ze sklářských pecí je oxid siřičitý pro jeho kvantitativní stanovení ve spalinách a v ovzduší jsou k dispozici metody založené na elektrolytické a tepelné vodivosti, metody kolorimetrické a fluorescenční. Zvláště zajímavé jsou analyzátory, umožňující současné měření SO_2 a NO_x . V poslední době je nabízejí např. firmy Analytical Development Company Ltd. a Land Combustion Inc. Tyto analyzátory pracují s infračervenou, resp. elektrochemickou, měřicí metodou.

Ke stanovení oxidů dusíku v ovzduší slouží elektrochemické, chemiluminiscenční, chromatografické, optické metody a metoda založená na absorpci v oblasti infračerveného záření. Novinkou poslední doby v ČSFR jsou dva chemiluminiscenční analyzátory CHLA 1 a CHLA 2 vyvinuté v Chemoprojektu Praha-Satalice. První typ je určen pro měření emisí oxidů dusíku, druhý typ pro měření emisí těchto oxidů.

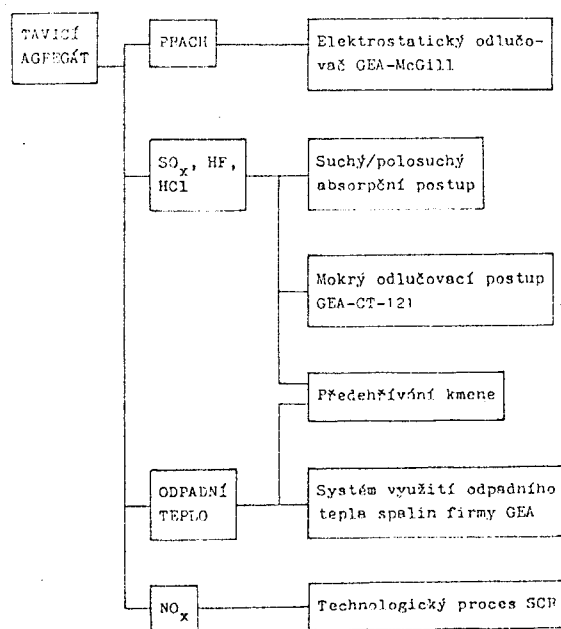
Specifickou složkou emisí ze sklářských závodů, v nichž se taví skloviny obsahující fluor nebo chemicky leští sklářské výrobky, je fluor, nejčastěji ve formě fluorovodíku. Velmi dobře se při měření emisí fluorovodíku osvědčil B + L Sensimeter G. Umožňuje zároveň stanovení HCl . Přístroj pracuje kontinuálně, stanovovaná sloučenina se absorbuje ve vhodném roztoku, analýza se provádí potenciometricky. Dále se uplatňují především elektrochemické metody s využitím iontově selektivní elektrody a metody kolorimetrické. Kolorimetrickou metodu využívají např. přenosné analyzátory firmy Antechnika sledující zároveň koncentrace dalších plynných složek.

5 ODSTRANOVÁNÍ EMISÍ

V oblasti čištění spalin nabízí např. firma GEA ENERGIETECHNIK kompletní sortiment zařízení pro čištění spalin./10/

Do nedávna se využití odpadního tepla spalin ve většině případů omezovalo pouze na předehřívání spalovacího vzduchu v regenerátorech a rekuperátorech. Firma GEA však pokračila dále a nabízí řešení, které umožňuje nejen intenzivnější využití odpadního tepla spalin, nýbrž i současně snížení emisí plyných škodlivin.

Na obr. č. 21 je přehledně uvedena řada zařízení, která firma GEA nabízí pro vybavení sklářských pecí.



obr. č. 21 - Zařízení firmy GEA pro sklářský průmysl

5.1 ODLUČOVÁNÍ SPALIN

Pro odlučování spalin existují různé systémy a postupy: elektrostatické odlučovače, odlučování za mokra, textilní filtry.

Odlučování pevných emisí za mokra

Systémy založené na odlučování pevných emisí za mokra dosahují vysokou odlučivost i v případě velmi jemných prachů. Částečně se odstraňují i některé plynné škodliviny (SO_x - směs SO_2+SO_3), ovšem vznikne tím vysoce korozivní kal. Hlavním problémem zůstává vysoká spotřeba vody a likvidače vzniklého kalu.

V oblasti sklářského průmyslu se vedle jiných firem otázkami odlučování pevných emisí za mokra z pecí na výrobu olovnatého skla již po řadu let zabývá polský Institut ochrany srodowiska. První systém byl uveden do provozu ve sklárně Irena v roce 1975. Mokrý odlučovač má kapacitu $15\ 000\ m^3/h$ při vstupní koncentraci prachu $100 - 700\ mg/m^3$. Odlučivost dosahuje $90 - 95\ %$ (koncentrace prachu ve vyčištěných spalinách je průměrně $30\ mg/m^3$). Tento systém pracuje bez výměníku tepla (odpadního tepla spalin se využívá pro sušení kalu). Tlaková ztráta dosahuje $11\ kPa$, na $1\ 000\ m^3$ spalin je zapotřebí $20\ l$ vody. Zařadí-li se do systému výměník tepla pro využití odpadního tepla spalin, odvodňuje se kal na vakuovém filtru. Filtrační jednotka tohoto typu je v současné době v PLR ve výstavbě (kapacita

asi 33 000 m³/h, průměrná koncentrace pevných emisí ve vyčištěných spalinách 15 mg/m³, tlaková ztráta 12,5 kPa, získané teplo max. 2,4 MW, spotřeba vody na 1 000 m³ spalin asi 10 l)./7/

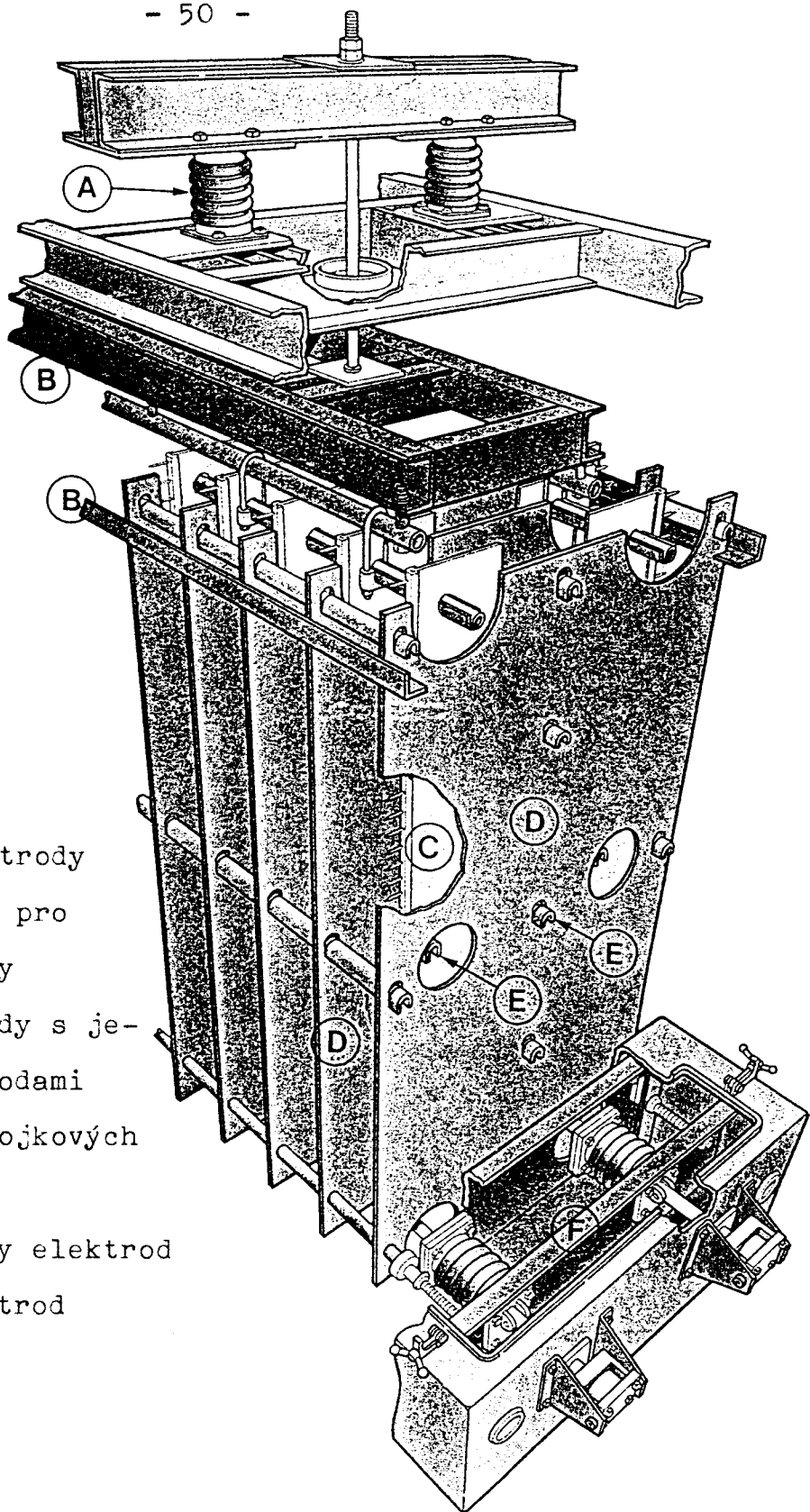
Elektrostatické odlučovače

Prachové částice jsou tak malé (největší podíl pod 0,05 um), že je nelze oddělit v cyklónech. Odlučování za mokra není výhodné pro vysokou tlakovou ztrátu a problémy s odpadní vodou.

Bohaté zkušenosti s aplikací elektrických odlučovačů ve sklářském průmyslu má firma GEA - ELEKTROFILTER a firma LURGI./7/

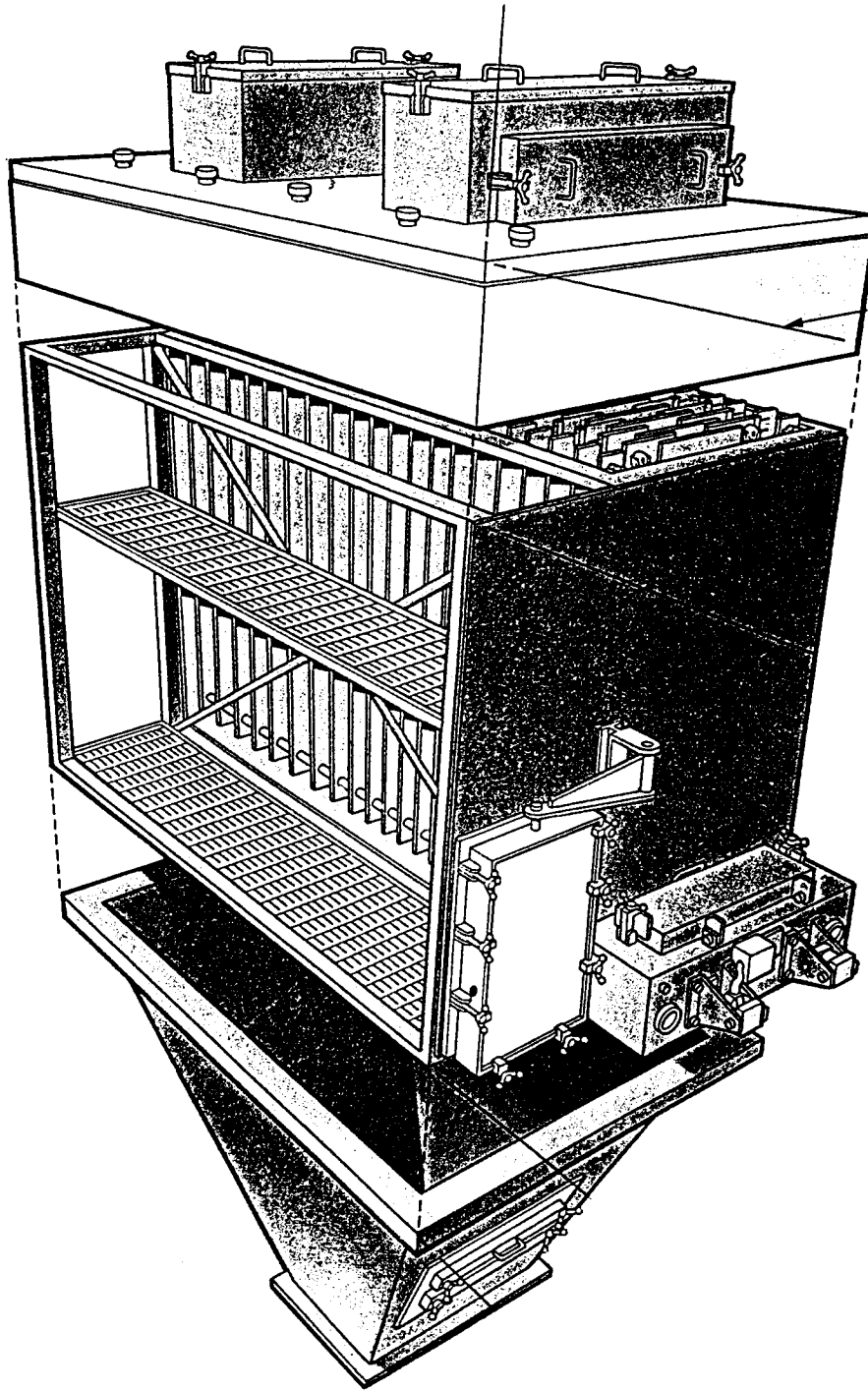
Německá firma GEA - ELEKTROFILTER se rozhodla převzít licenčně poznatky získané americkou firmou McGill v oblasti konstrukce a provozování vysoce účinných elektrických odlučovačů. Typickým prvkem odlučovačů McGill jsou patentově chráněné deskové elektrody opatřené na čelní straně jehlami. Na hrotech jehel vzniká stabilní mimořádně silná korona, která vyvolává spontánní nabíjení částic prachu. Intenzita elektrického pole v této oblasti je asi 10x vyšší než u běžných typů elektrických odlučovačů. (obr. č. 22, 23)

Mezi elektrodou a usazovacími deskami se vytváří silné homogenní elektrické pole, jehož vlivem se nabitě částice pohybují k povrchu usazovacích desek, kde se odstraňují mechanicky (oklepáváním).



- A - izolátor pro elektrody
- B - nastavovací držák pro jiskřící elektrody
- C - výbojkové elektrody s je- hličkovými elektrodami
- D - uzemnění nízkovýbojkových elektrod
- E - vývod pro oba typy elektrod
- F - zakrytí obou elektrod

obr. č. 22 - Stavební systém odlučovače typu GEA - McGill



obr. č. 23 - Odlučovač typu GEA - McGill

Odlučovače typu McGill pracují v celé řadě evropských skláren. Jejich předností je nižší energetická náročnost (úspora energie ve výši asi 40 % ve srovnání s jinými typy odlučovačů), nižší provozní napětí (15 - 30 kW), méně časté čištění filtrů, malé rozměry (nejmenší jednotka má rozměry 10 x 13 x 1,25 metru, kapacita 2 500 Nm³/h).

Firma Lurgi se zaměřila na vývoj elektrických odlučovačů, které lze kombinovat s předúpravou spalin různými přísadami, jež na sebe adsorbují škodliviny běžně se vyskytující ve spalinách (SO₃, SO₂, HF, HCl, event. NO_x). Tyto odlučovače mají kapacitu od 25 000 do 179 000 m³/h. Koncentrace pevných emisí ve vyčištěných spalinách se pohybuje od 2 do 20 mg/m³ (norma TA-Luft toleruje 50 mg/m³).

Emise z tavicích pecí na výrobu olovnatokřemičitého skla jsou slabě elektricky vodivé a snadno se v elektrických odlučovačích odlučují. Fyzikální a chemické vlastnosti emisí však závisejí na teplotě, např. zvýšením teploty z 250 °C na 500 °C dochází k oxidaci PbO na Pb₃O₄ a stoupá hustota usazeniny. Odprašek začíná tát při 425 °C a vytváří sloučeniny, které mohou podporovat vysokoteplotní korozi odlučovače plynnými a pevnými složkami úletu. Ukazuje se, že elektrické odlučovače používané pro separaci pevných emisí u pecí na výrobu olovnatokřemičitého skla by měly být provozovány při max. teplotě 375 °C (často se dává přednost teplotám ještě nižším).

Elektrické odlučovače jsou zvláště vhodné pro velké tavicí agregáty (Float) emitující 5 až 20 g emisí za hodinu

při objemu spalin kolem $2\ 000\ \text{m}^3/\text{min}$. V tomto případě se doporučuje použít odlučovače s účinným průřezem 30 až $50\ \text{m}^2$. Spotřeba elektrické energie při provozu odlučovačů se pohybuje od 0,5 do $1\ \text{kW.h}/1\ 000\ \text{m}^3$ spalin, tlaková ztráta činí 100 až 200 Pa.

Při navrhování elektrických odlučovačů hraje značnou roli měrný odpor odlučovaného prachu, a to zvláště v případě, kdy odlučování probíhá při různých teplotách a vlhkostech. Spolehlivá funkce odlučovače je rovněž ovlivněna rovnoměrným průchodem spalin odlučovačem.

V ČSFR dodává ZVVZ Milevsko nový typ elektrického odlučovače EKG s roztečí elektrod 350 mm. Odlučovače jsou především určeny pro čištění velkých průtočných objemů plynu do teploty $330\ ^\circ\text{C}$ a do max. provozního podtlaku 6 kPa.

Textilní filtry

U pecí na výrobu olovnatokremičitého skla byl problém spojený s odstraněním pevných toxických emisí (PbO) řešen převážně použitím tkaninových filtrů z polyakrylonitrilu /7/ (max. provozní teplota $130\ ^\circ\text{C}$, životnost filtrační tkaniny až 3 roky). Tkaniny typu Nomex s max. provozní teplotou až $180\ ^\circ\text{C}$ dosahovaly poměrně krátké životnosti a nemohly svou cenou konkurovat polyakrylonitrilovým filtrům. Ukazuje se, že před vlastní filtrací je vhodné provést částečnou aglomeraci prachových částic.

Firma H. Lühr Staubtechnik se zaměřila na vývoj tkaninových filtrů ve formě plochých hadic ze syntetických vláken, které lze provozovat při max. teplotách až 220 °C u vybraných typů filtračních tkanin (teflon na výztužném pleťtivu Rastex). Lepivé částice se poměrně snadno odlučují, avšak činí potíže při odstraňování filtračního nánosu z povrchu tkaniny. Úsadek se odstraní snadněji, když se použije filtrační jednotky vybavené otočným bubnem naplněným keramickými kuličkami. Buben se umísťuje do spodní části filtru a prochází jím znečištěný plyn, který dále proudí přes filtrační tkaninu dovnitř hadice (prachové částice se usazují na vnějším povrchu). Při čištění a regeneraci filtru se přivádí ventilátorový čistící vzduch do baterie filtračních prvků v opačném směru. Čistící účinek se zintenzivňuje vibracemi. Firma H. Lühr doporučuje zařadit vždy před filtr zařízení pro ochlazení spalin (např. vzduchem), aby se nepřekročila maximální přípustná provozní teplota.

Pro čištění spalin z pánvových pecí (výroba olovnato-křemičitého skla) otápěných zemním plynem dodala firma H. Lühr filtrační zařízení o kapacitě 9 000 Nm³/h. Teplota spalin se snižuje z původních 300 °C na 125 °C (vstup do filtru) pomocí výměníku tepla s plochými trubkami, jejichž povrch se čistí automaticky řetězy. Spaliny se přivádějí do filtru zdola přes otočný buben s keramickými kuličkami. Aglomerované částice prachu padají z hadicových filtrů dolů do otočného bubnu, kde se intenzívně promíchávají s proudem znečištěného vzduchu, takže se na povrchu filtrační textilie usazuje neustále obnovovaná předfiltrační vrstva.

Obsah olova ve spalinách se tímto způsobem podařilo snížit pod 5 mg/Nm^3 , u arseniku pod 1 mg/Nm^3 . Filtrační zařízení pracuje buď samostatně nebo v kombinaci s výměníky tepla a zařízením pro chemisorpci HF nebo HCl. Kapacita zařízení se pohybuje od 1 200 do 38 000 m^3/h .

V posledních letech se v ČSFR značně rozšířilo použití průmyslových textilních filtrů, hlavně díky zavedení netkaných textilních látek typu Finet, které umožnily dosáhnout podstatně vyšší zachycovací schopnosti při menší tlakové ztrátě. Rovněž se postupně přechází z hadicového uspořádání filtračních prvků na kapsové, vytvářející podmínky pro získání větší filtrační plochy na jednotku objemu filtrační komory, pro snížení těsnicí plochy a délky spojů tkaniny na 1 m^2 filtrační plochy atd. Nové konstrukce filtrů umožňují dosáhnout odlučivosti s koncentrací úletu pod 1 mg/m^3 a delší životnosti filtrační textilie.

ZVVZ Milevsko v současné době vyrábí filtr FKC ve 4 velikostech se 4 až 16 komorami pro průtočný objem čištěných plynů od 12 000 do 50 000 m^3/h (max. provozní teplota $150 \text{ }^\circ\text{C}$). Ve výrobním programu jsou rovněž tři typy průmyslových filtrů pro malé výkony od 1 200 do 6 300 m^3/h .

V tabulce č. VIII je uveden přehled rozhodujících parametrů zařízení používaných ve sklářském průmyslu pro odlučování prachu.

tab. č. VIII - Měřítko ovlivňující volbu jednotlivých
odlučovačů pevných emisí

Parametr	Elektrostat. odlučovač	Odlučování za mokra (pračka)	Textilní filtr
Teplotní odolnost	400 °C	400 °C	asi 200 °C
Tlaková ztráta	malá	vysoká	vysoká
Provozní spole- hlivost	neomezená	nižší	nižší
Náklady na údržbu	malé	vyšší	vyšší
Provozní náklady	nízké	vysoké	vysoké
Odpadní produkt	suchý	odpadní voda	suchý
Prostorové nároky	velké	malé	relativně velké
Investiční náklady	vysoké	nízké	nižší
Celkové náklady (1 rok nepřetrži- tého provozu)	malé	vyšší	vysoké

5.2 ODLUČOVÁNÍ PLYNNÝCH ŠKODLIVIN

V této kapitole budou uvedeny principy odlučování oxidů síry, chloridů a fluoridů, odlučování sloučenin bóru a snížení obsahu oxidů dusíku ve spalinách, používaných firmou GEA - ENERGIETECHNIK./7, 10/

Odlučování oxidů síry, chloridů a fluoridů

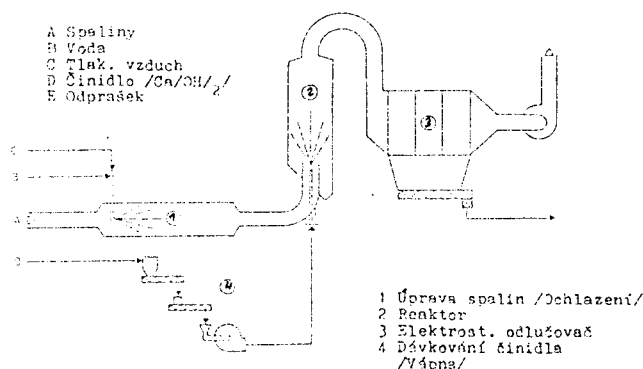
Tyto kyselé složky se musí do jisté míry neutralizovat alkalicky působícími látkami jako např. vápnem nebo sloučeninami sodíku. Potom následuje jejich odloučení. Při odlučování těchto látek se dává přednost suchým a polosuchým postupům. Požaduje-li se však vyšší stupeň odloučení SO_2 , lze uvažovat i o použití mokrého postupu. V tabulce č. IX jsou přehledně uvedeny různé varianty odlučování plynných škodlivin a běžně dosažitelné hodnoty stupně odloučení.

tab. č. IX - Stupeň odstranění SO_2 u různých postupů

Postup	Suchý	Polosuchý	Mokrý
Stupeň odloučení SO_2	50 - 65 %	60 - 85 %	85 - 99 %
Neutralizační činidlo	CaO Ca(OH) ₂ NaOH Na ₂ CO ₃ NaHCO ₃		CaO CaCO ₃ NaOH Na ₂ CO ₃
Výsledný produkt	suchý prášek	suchý prášek	sádra, vodný roztok

A. Odstraňování škodlivin za sucha

Jak je zřejmé ze schematu na obr. č. 24, horké spaliny o teplotě asi 500 °C se nejprve teplotně upravují rozprášenou vodou a tím se schlazují na teplotu asi 400 °C. Ve vlastním reaktoru se pak rozprašuje suchý hydroxid vápenatý. Reakcí $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s plynnými emisemi (SO_2 , SO_3 , HCl , HF) dochází k tvorbě suchých sloučenin (solí), které se následně odlučují v elektrostatickém odlučovači na zbytkovou koncentraci prachu na méně než 10 mg/Nm³.



obr. č. 24 - Odstraňování škodlivin (SO_x , HCl atd.)
za sucha

Místo vápna lze použít jako neutralizačního činidla při suchém a polosuchém odlučování škodlivin i další látky běžné ve sklářském průmyslu, např. sodu nebo sodný louh.

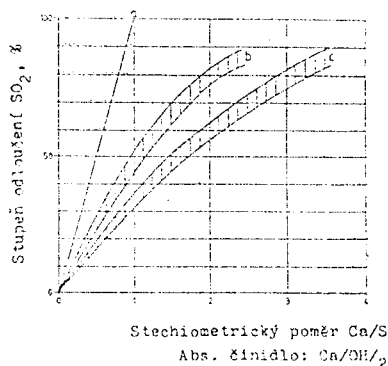
B. Polosuchý způsob odlučování škodlivin

Při polosuchém způsobu odlučování škodlivin se neutralizační činidla rozprašují do proudu horkých spalin nebo přímo

do reaktoru a to ve formě roztoků (v případě sloučenin sodíku) nebo jako suspenze (v případě sloučenin vápníku). Rozprášením vody se sníží teplota spalin na hodnotu přijatelnou pro odlučování, alkalické složky reagují podobně jako při suchém postupu s kyselými látkami přítomnými ve spalinách a následně jsou pak odloučeny v odlučovači jako pevné částice.

C. Mokrý absorpční způsob

Suché a polosuché odlučovací postupy vyžadují vysoký přebytek alkalického neutralizačního činidla (obr. č. 25), má-li se dosáhnout vysokého stupně odloučení (zvláště v případě SO_2). Z toho však plynou vysoké náklady na neutralizační činidlo a zvýšené zatížení následného odlučovače prachem.



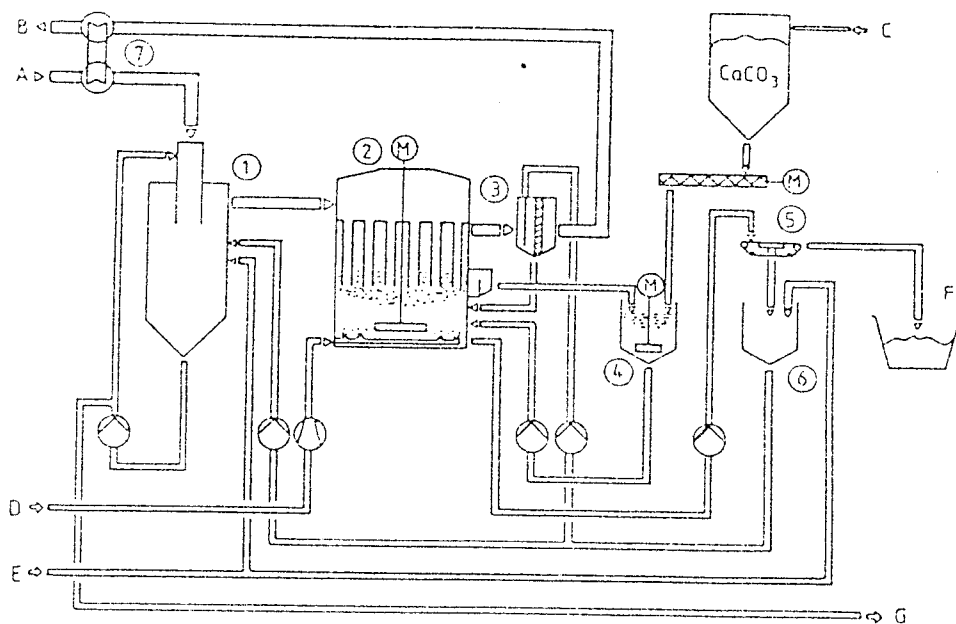
obr. č. 25 - Stechiometrický poměr při odlučování SO_2

- a - odsíření za mokra
- b - absorpce rozprašováním
- c - absorpce za sucha

U velkých tavicích agregátů otápěných topným olejem může být odsířování spalin za mokra výhodné. Tento odlučovací postup

pracuje s levným neutralizačním činidlem. Další předností tohoto postupu je jednoduchý provoz.

Uvedené požadavky zcela splňuje postup GEA - CT 121. Na obr. č. 26 je znázorněné schema tohoto postupu. Tento dvoustupňový proces je ideální pro sklářské tavící agregáty. V prvním stupni se téměř úplně odstraní škodliviny typické pro sklářské pece (prach, HCl, HF). Ve druhém stupni dochází k odsíření spalin s účinností vyšší než 95 %. Jako aktivní látka se vnáší levný vápenec, ze kterého vzniká jako konečný produkt sádra ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$).



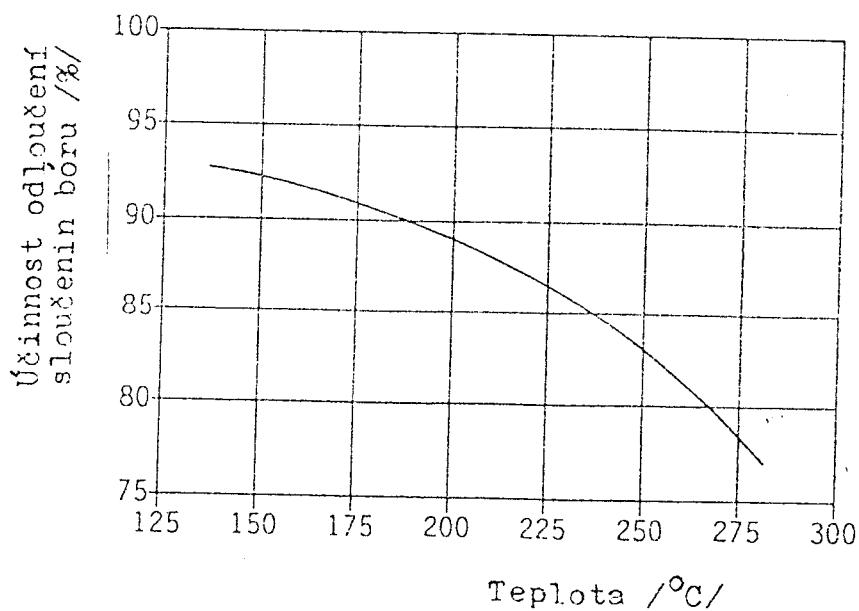
A - spaliny, B - vyčištěné spaliny, C - vápenec, D - vzduch pro oxidaci, E - voda, F - sádra, G - odpadní voda
1 - vstupní myčka, 2 - reaktor s probubláváním, 3 - odlučovač kapek, 4 - nádrž, 5 - odvodňování sádry, 6 - nádrž na filtrát, 7 - opětný ohřev spalin

obr. č. 26 - Schema postupu GEA - CT 121

Odlučování sloučenin bóru

Při tavení určitých typů sklovin, např. při výrobě textilního skleněného vlákna obsahují spaliny sloučeniny bóru. Tyto sloučeniny jsou při běžných teplotách spalin přítomné ve formě par a při normálním čištění spalin nedochází k jejich odloučení. Při nižších teplotách však kondenzují a stávají se viditelnými ve formě bílého mraku na výstupu z komína.

Firma United McGill /7/ patentovala však postup, který umožňuje téměř úplně odloučit sloučeniny bóru, takže žádné emise z komína nejsou vidět. Jedná se o polosuchý odlučovací proces vyžadující použití speciálních roztoků. Jak je vidět z obr. č. 27, stupeň odloučení sloučenin bóru je závislý na teplotě. Při účinnosti 80 - 85 % není už na výstupu z komína vidět žádnou kouřovou vlečku.

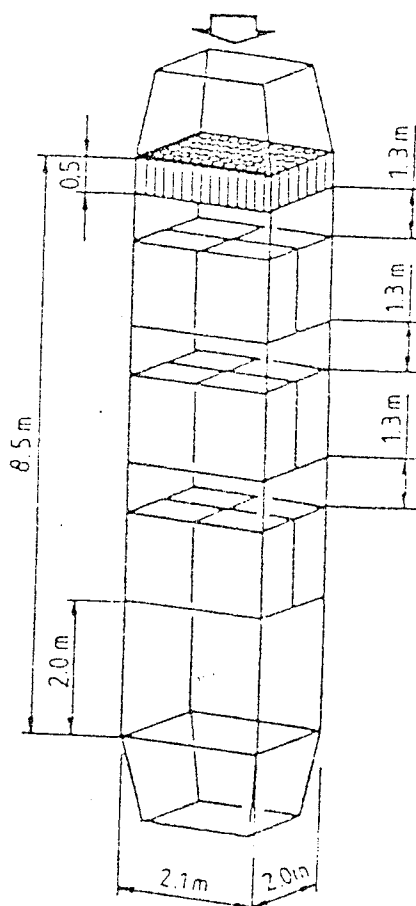
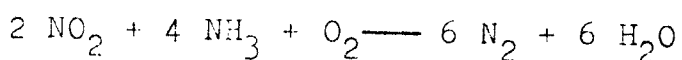
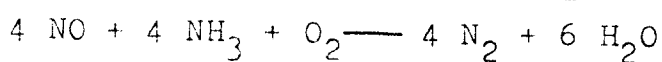


obr. č. 27 - Stupeň odloučení sloučenin bóru v závislosti na teplotě

Snížení obsahu oxidů dusíku ve spalinách

Vzhledem k vysokým tavícím teplotám skla dochází k intenzivnější tvorbě oxidů dusíku. V některých případech se množství emitovaných oxidů dusíku ještě dále zvýší v důsledku použití dusičnanů jako čeriv.

Oxidy dusíku lze odloučit tzv. selektivní katalytickou redukcí (SCR proces). V tomto případě se vnáší do proudu spalin o teplotě 300 až 400 °C čpavek. V přítomnosti katalyzátoru reaguje čpavek s oxidy dusíku za vzniku dusíku a vodní páry podle těchto rovnic:

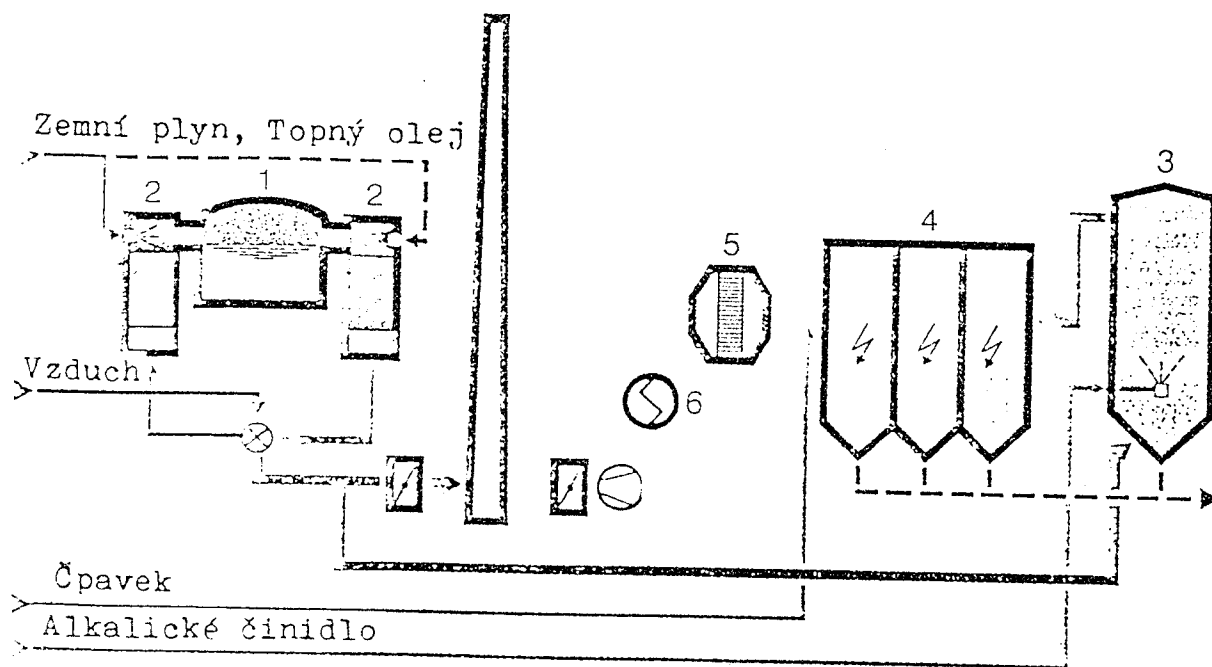


obr. č. 28 - Reaktor DENOX o výkonu 35 000 Nm³/h

Vlastní katalyzátor se skládá z keramických voštinových tělísek, které jsou vestavěny do reaktoru v několika vrstvách. Na obr. č. 28 je znázorněno takové řešení reaktoru, které je vhodné pro denitrifikaci proudu spalin o objemu $35\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$.

Katalyzátory jsou citlivé na prach a proto je nutné použít vysoce účinné elektrostatické odlučovače pro odstranění částic prachu ze vstupujících spalin.

Příklad celkového technologického schéma zařízení pro odlučování oxidů dusíku ze spalin odcházejících ze sklářské tavící pece je zřejmý z obr. č. 29.



1 - sklářská tavící pec, 2 - regenerační ohřev spalovacího vzduchu, 3 - reaktor s rozprašováním aktivního média, 4 - reaktor DENOX, 6 - výměník tepla

obr. č. 29 - Zařízení firmy GEA na čištění spalin ze sklářských tavících pecí

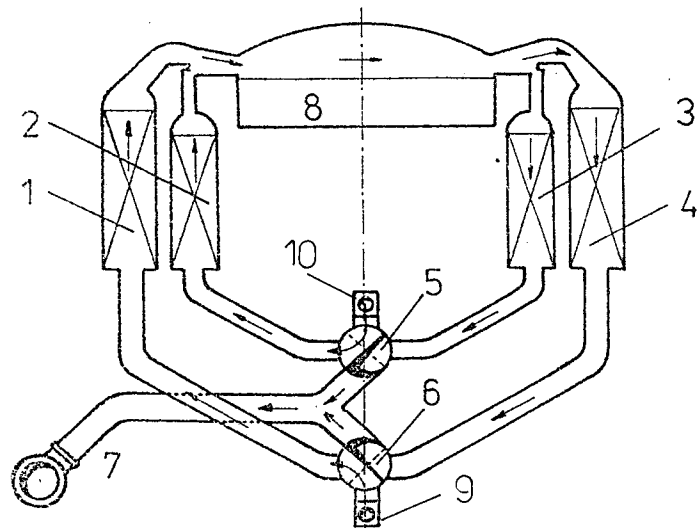
6 VYUŽÍVÁNÍ ODPADNÍHO TEPLA SPALIN

Pro lepší využití odpadního tepla z tavicích agregátů bylo v uplynulém období (soudě podle dostupné literatury) vykonáno velmi mnoho. Základní možnosti využití odpadního tepla jsou:

- přímé využití odpadního tepla spalin pro předehřívání spalovacího vzduchu, případně plynného paliva, v regenerátorech a rekuperátorech
- dodatečné předehřívání spalovacího vzduchu sekundárními regenerátory nebo v rotačních ohřivačích
- převedení tepla spalin do spalovacího vzduchu přímo v tělese hořáku (regenerativní a rekuperativní hořáky)
- využití odpadního tepla spalin pro ohřev surovin, střeptů, kmene nebo vsázky
- využití spalinových kotlů

6.1 Regenerátory

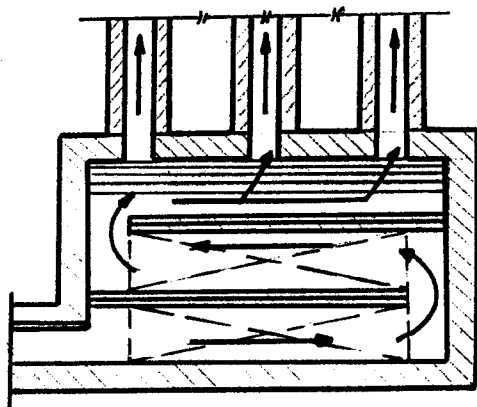
Regenerátory /11, 12/ tvoří prostor, ve kterém přes zárovzdorný materiál (výplň) a volné průchody v přiměřeném časovém intervalu proudí odpadní spaliny z pracovního prostoru pece, čímž vyhřívají tuto výplň (mřížoví) a akumulují teplo. Po provedení reverzace se spaliny vedou do druhé komory a do první se přivádí potřebný spalovací vzduch či topný plyn. Mřížoví první komory odevzdává akumulované teplo proudícímu médiu a samo se ochlazuje. (obr. č. 30)



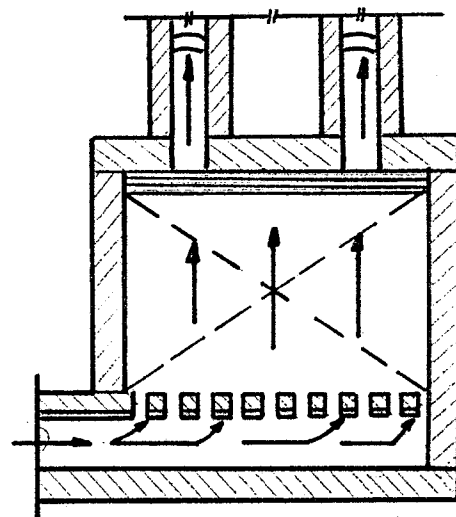
1, 4 - vzduchové komory, 2, 3 - plynové komory, 5 - plynový měnič buben, 6 - vzduchový měnič buben, 7 - odtah, 8 - bazén tavící pece, 9 - přívod vzduchu, 10 - přívod plynu

obr. č. 30 - Schema regeneračního systému

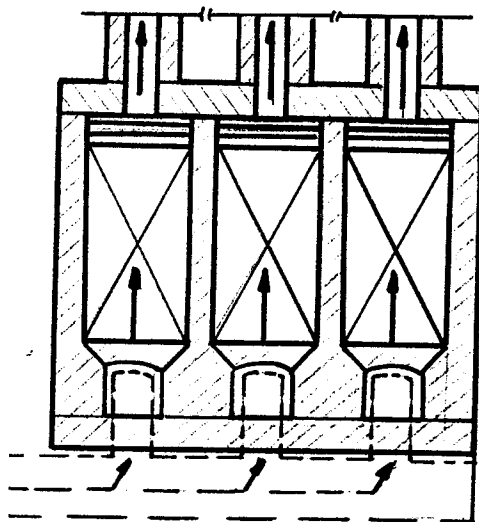
Je několik typů regeneračních komor a použití určitého typu závisí na místních podmínkách ve sklárně. Základní typy regeneračních komor jsou znázorněny na obrázcích. Na obr. č. 31 je ležatá komora s dvěma tahy, na obr. č. 32 je schema stojaté komory se svislým tahem a na obr. č. 33 jsou znázorněné sekční, tj. rozdělovací komory, kde každému hořáku patří jedna komora.



obr. č. 31 - Ležatá regenerační komora s dvěma tahy

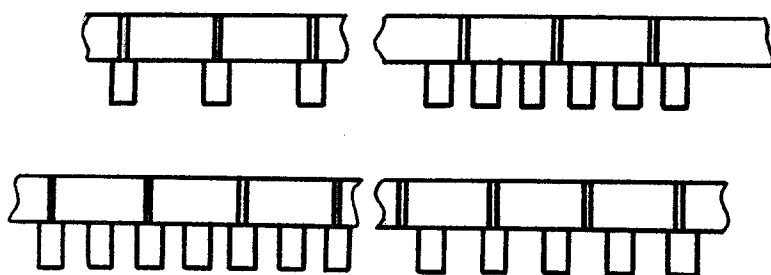


obr. č. 32 - Stojatá regenerační komora se svislým tahem

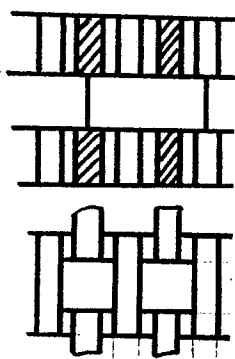


obr. č. 33 - Sekční (rozdělené) regenerační komory

V komorách je umístěné vypočítané optimální množství tvarovek. Používá se několik typů výplní komor. Na obr. č. 34 jsou uvedeny různé možnosti uspořádání roštové mřížoví nepřesazeného a mřížoví přesazené na obr. č. 35.



obr. č. 34 - Různé uspořádání roštové výplně (typ Siemens)



obr. č. 35 - Uspořádání roštové výplně (typ Lichte)

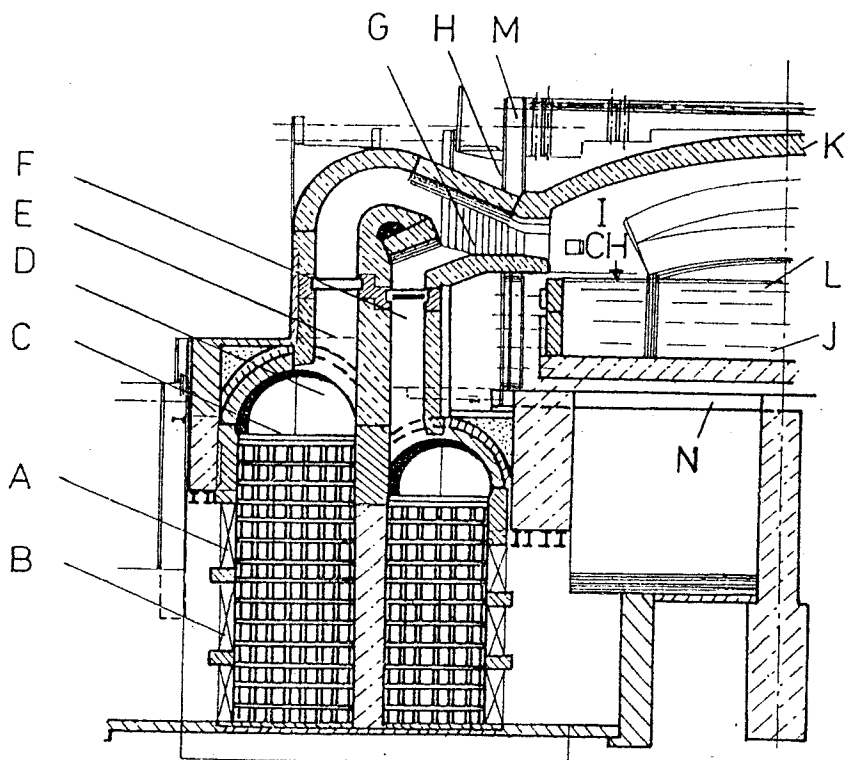
Od mřížoví se vyžaduje co největší styčná plocha cihel s plyny na 1 m^3 mřížoví, co nejmenší odpor proti průchodu plynů, co nejmenší zanášení prachem, pevnost a trvanlivost, jednoduchý tvar mřížoví.

U pecí otápěných chudými plyny (do $H_u = 10\,500 \text{ kJ/Nm}^3$) je regenerační systém pece proveden ze dvou párů vzduchových a dvou párů plynových regeneračních komor, u pecí otápěných bohatými plyny (nad $H_u = 10\,500 \text{ kJ/Nm}^3$) pouze ze dvou párů vzduchových regeneračních komor. Vzduchové komory jsou vždy větší než komory plynové, neboť vzduch se ohřívá na vyšší teplotu a jeho spotřeba je větší.

Mezi přednosti regeneračního systému patří vysoká předehřívací teplota, malé ztráty plynu netěsnostmi, nepodstatné zanášení regenerátoru sklovinou, použití pro předehřívání nejen plynu, ale i vzduchu a snadná možnost opravy.

Mezi jeho nevýhody patří kolísavá předehřívací teplota a tím i kolísání teplot v tavící části pece, ztráty plynu při změně směru hoření a relativně nákladná stavba.

Nejvyšší účinnost regenerátoru STA odpovídá časovým periodám 10 až 15 minut. Prodloužením intervalu mezi reverzacemi nad horní mez se účinnost snižuje a klesá akumulární schopnost mřížoví. Na obr. č. 36 je uvedeno schema regenerační tavící vanové pece se vzduchovými i plynovými regeneračními komorami.



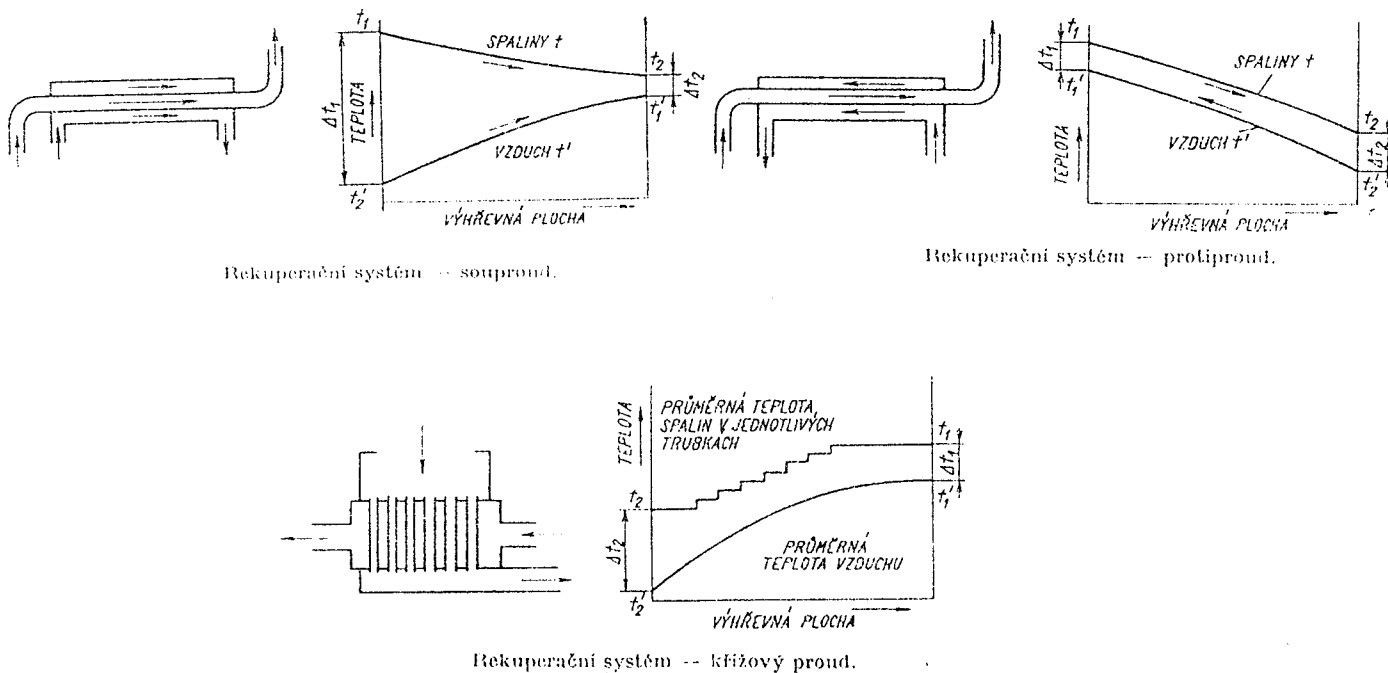
obr. č. 36 - Schéma regenerační tavící vanové pece se
vzduchovými i plynovými regeneračními komorami

A - plynová komora, B - vzduchová komora, C, D - sběrné
kanálky nad mřížovím, E, F - svislé šachty s regulačními
hradítky, G - předspalovací komora, H - ústí hořáku,
CH - hladina skloviny, I - spalovací prostor vany, J - bazén,
K - klenba vany, L - předpecí (gobé), M - ocelová stahovací
konstrukce, N - ocelový rošt bazénu

6.2 REKUPERÁTORY

Druhým způsobem využití odpadního tepla spalin je použití rekuperátorů. Rekuperátor /11, 12/ je definován jako zařízení pro ohřev spalovacího vzduchu nebo plynu teplem odpadních spalin, nikoli však akumulací jako u komor regeneračních, nýbrž přestupem tepla přes dělicí stěnu.

Spaliny a vzduch proudí vedle sebe odděleny mezistěnou a to buď v souproudu, protiproudu nebo v křížovém proudu. (obr. č. 37)



Podle materiálu dělicí stěny dělíme rekuperátory na:

- keramické - pro ohřev vzduchu ($900 - 1\ 000\ ^\circ\text{C}$)
- kovové - pro ohřev nižší než $650\ ^\circ\text{C}$, u speciálních až $850\ ^\circ\text{C}$.

Funkce rekuperátoru jako výměníku tepla je tedy oddělena pouze prostorově. Rekuperací systém pracuje nepřetržitě

a nepotřebuje proto reverzní zařízení.

Význam rekuperace je především v tom, že oproti jiným oblastem využití odpadního tepla spalin, znásobuje teplo dodané do pece předehřátým spalovacím vzduchem. Tuto skutečnost lze vysvětlit v první řadě tím, že značný význam zde má komínová ztráta, která je mimo jiné závislá na množství spalin a množství spalin se rekuperací snižuje. Dalším důležitým prvkem je skutečnost, že u většiny pecí se k přenosu tepla využívá sálavosti plamene. Sdílení tepla sáláním je funkcí rozdílu čtvrtých mocnin teplot objektů zúčastněných na sdílení tepla. S růstem předehřevu spalovacího vzduchu roste teoretická spalná teplota a tím roste intenzita sdílení tepla sáláním a to vede k růstu pyrometrické účinnosti.

Zvláštností činnosti kovových rekuperátorů u sklářských tavících pecí, je, že spaliny obsahují úlet sklářského kmene, který jednak zvyšuje chemickou agresivitu spalin vůči kovu a jednak se nalepuje nebo kondenzuje na teplosměnných plochách rekuperátoru. Úlet kmene je tvořen pevnými částicemi a také těkavými složkami některých složek kmene, přičemž poměr té či oné fáze nebývá znám. Povrch kovové teplosměnné plochy je pokryt vrstvou produktů chemické reakce spalin a úlet s kovem a vrstvou složek úletu kmene. Obě vrstvy v porovnání se základním kovem představují výrazný tepelný odpor, což vede v průběhu několika měsíců k poklesu tepelného výkonu rekuperátoru o 35 až 45 %. Ochrana kovového povrchu rekuperátoru vystaveného přímému působení spalin je řešena tzv. teplosměnnou stěnou rekuperátoru. Podstata spočívá v tom, že vlastní teplosměnná

stěna ze strany spalin je tvořena kovovými žebry a žáromateriálem zaplňujícím prostor mezi žebry. Z hlediska vedení tepla je to nehomogenní vrstva. Žebra teplosměnné plochy plní dvojí funkci. Jednak jsou nosným prvkem žáromateriálu a jednak zvyšují tepelnou vodivost teplosměnné stěny. Hlavním posláním žáromateriálu je odolnost vůči chemickým a případně i mechanickým účinkům spalin s obsahem těkavých i pevných složek úletu.

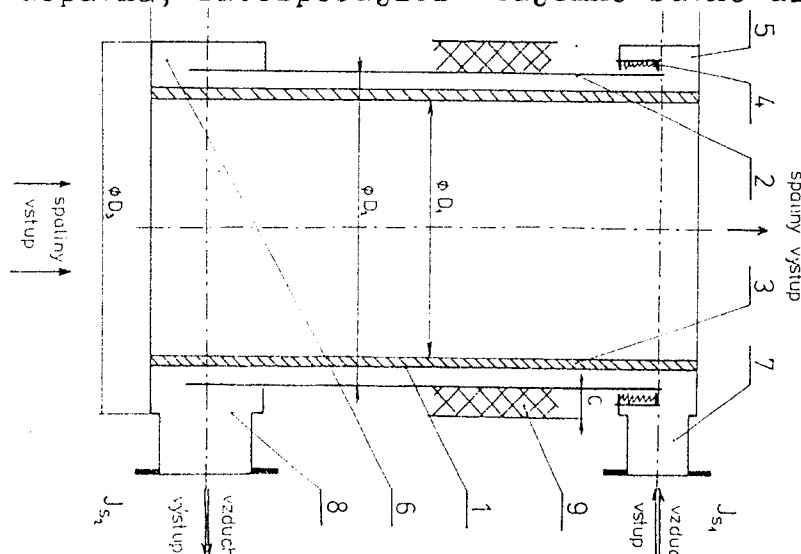
Podle funkce se rekuperátory dělí na sálavé (mohou být plášťové i trubkové), konvekční-sálavé (plášťové i trubkové) a konvekční (obvykle trubkové). Pro vysoké teploty spalin na vstupu do rekuperátoru jsou vhodné RK sálavé, pro střední teploty konvekčně-sálavé a pro nízké teploty spalin konvekční. Dělení pásem použití RK podle teploty spalin na vstupu do RK není jednoznačně stanoveno, protože v provozu mohou být další vlivy jako např. prašnost ve spalinách, omezení tlakovými ztrátami ze strany vzduchu nebo spalin atp., které předurčí typ RK.

Teplotechna o. p. Praha /13/ je jedním z dodavatelů kovových rekuperátorů. Původním výrobkem je kovový plášťový sálavý rekuperátor, který je dodáván téměř výhradně pro sklářské pece. Je dodáván v pěti velikostech s rozsahem teplosměnných ploch 3,5 až 11 m² pro průtočná množství vzduchu 400 až 1 800 m³n.h⁻¹, čemuž odpovídá hodnota tepelného výkonu 50 až cca 250 kW.

Rekuperátor plášťový sálavý - RKP /S/

RKP /S/ (obr. č. 38) se sestává ze dvou soustředných plášťů mezi nimiž je vytvořena štěrbinová průtoková ohřívací média. Ze strany proudícího vzduchu jsou oba plášťe žebrovány.

Pláště jsou napojeny na komoru vstupu a výstupu vzduchu, přičemž vlastní přívod nebo odvod může být uskutečněn jednostranně nebo oboustranně. Zpravidla ve vstupní komoře je provedena vysokoteplotní ucpávka, zabezpečující vzájemné suvné uložení obou plášťů.



obr. č. 38 - Zjednodušené vyobrazení plášťového sálavého rekuperátoru - RKP /S/

1 - vnitřní plášť, 2 - vnější plášť, 3 - ochranná vrstva, 4 - vysokoteplotní ucpávka, 5 - přívodní hrdlo, 6 - odvodní hrdlo, 7 - teplotní izolace proti ztrátám do okolí

RKS s RKP 2 - rekuperační systém s kovovým plášťovým RK dvouchodým (vzájemný postup vzduchu je souprroudý i protiproudý)

RKP 2 (obr. č. 39) sestává ze dvou mezikruhových prostorů, jimiž proudí ohříváný vzduch. Jeden prostor je uspořádán souprroudově, druhý protiproudově. Ohříváný vzduch po průchodu jedním prostorem mění směr proudění o 180° a proudí druhým prostorem. Na úseku rekuperátoru, kde vzduch proudí oboustranně, jsou prostory odděleny přepážkou. Spaliny na vstupu dělí se na dva proudy - vnitřní, který omývá protiproudý úsek RK a vnější,

který omývá nejdříve souproudý úsek a nad komorou odvodu ohřátého vzduchu část protoproudého úseku.

Další typy RK vyráběné o. p. Teplotechna:

RKS s RKP 2M - plášťový dvouchodý RK

- upravený systém trubka v trubce; úprava spočívá v tom, že plášť může být chráněn ochrannou vrstvou a že jednotlivé chody vzduchu jsou odděleny přepážkou, která plní funkci tepelné izolace

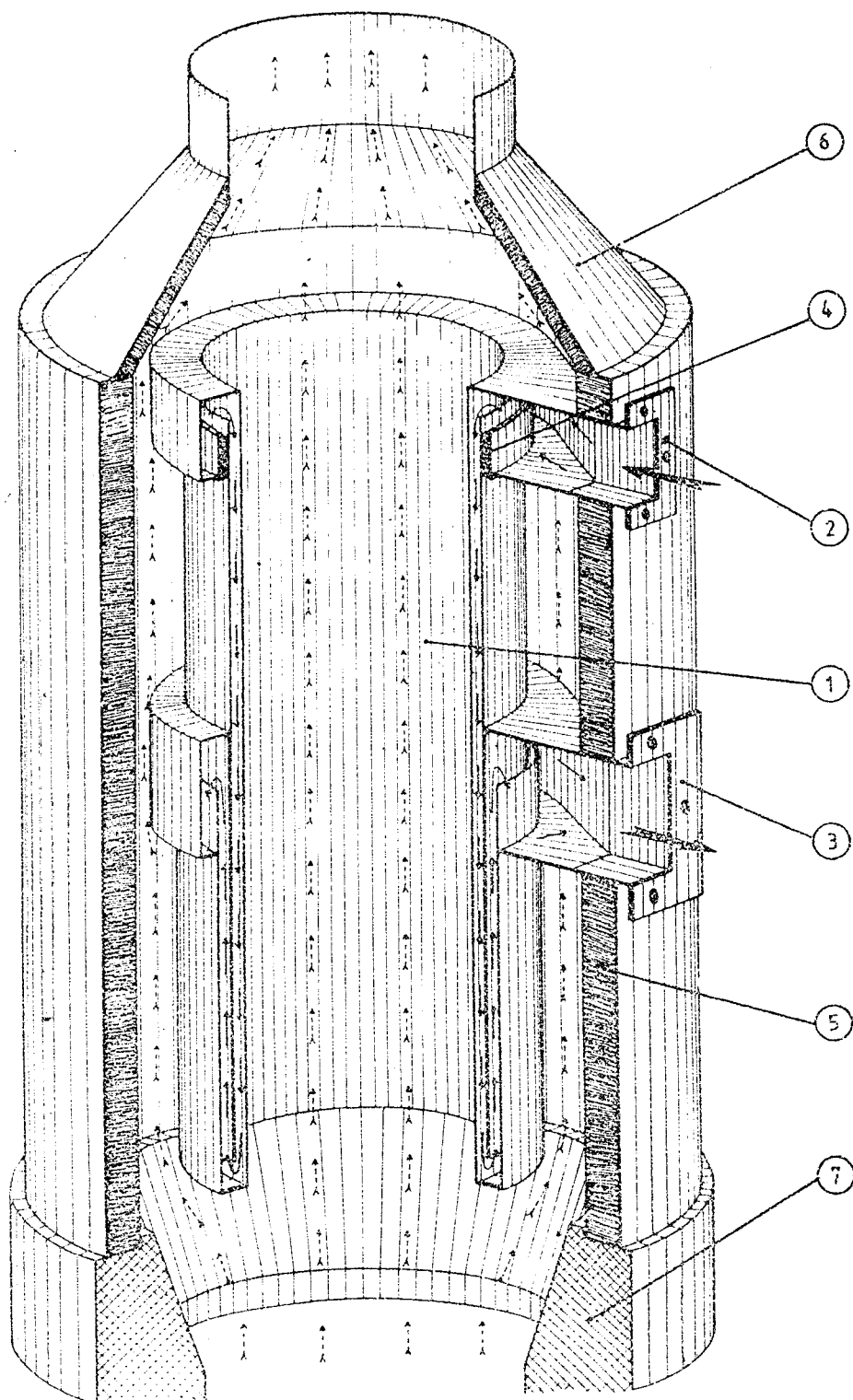
RKS s RKP 1 - kovový plášťový RK jednochodý (vzájemný postup vzduchu a spalin je jen souproudý nebo protiproudý); je realizován nejčastěji

RKS s RKP - kovový trubkový RK

Rozhodující přínosy RKS: řešení použitelné pro všechny provozy, nízká spotřeba kovu na jednotku teplosměnné plochy, vysoká hodnota tepelného výkonu RK vztažného na jednotku zastavěného prostoru.

Ze zahraničních výrobků byly v našich sklárnách použity rekuperátory od firmy W. HARTWIG. Jedná se o plášťový RK ze žárovzdorné oceli pro výkony 60 až 1 250 Nm³/h vzduchu a o štěrbinový RK. Oba pracují na principu protiproudu. Byly v provozu pouze krátkou dobu a postupem času se přešlo na koncepci o. p. Teplotechna.

Dalším typem je rekuperátor dovážený ze SRN od firmy INDUSTRIE - COMPANIE pracující na principu souproudu i protiproudu. Je vyráběn pro množství předehřívání vzduchu od 115 do 1 000 Nm³/h. Nejrozšířenějším typem trubkových radičních rekuperátorů je systém INKA, jehož výrobcem je firma JOHNSON CONSTRUCTION COMPANY ve Švédsku.



obr. č. 39 - RKS s RKP 2

1 - vlastní RKP 2, 2 - hrdlo vstupu ohřivaného média, 3 - hrdlo výstupu ohřivaného média, 4 - vysokoteplotní ucpávka, 5 - kouřovod, 6 - odvod ochlaz. média, 7 - přívod ochlaz. média

6.3 SPALINOVÉ KOTLE

Spaliny opouštějící tavící část sklářských pecí odvádějí s sebou až 80 % přivedeného tepla. Tuto značnou tepelnou ztrátu lze snížit použitím rekuperátorů na 45 % a při použití regenerátorů dokonce na 20 % přivedeného tepla.

Ve spalinových kotlích je možné využít zhruba 50 % tepla odcházejících spalin při poklesu jejich teploty ze 450 °C na 200 °C. Tímto způsobem s ohledem na podíl spotřeby energie závodu a na velikosti komínové ztráty je teoreticky možné snížit spotřebu sklárny zhruba o 10 % při instalaci spalinových kotlů. Aby toto využití bylo ekonomické, musí tu ovšem být možnost vyrobenou páru či vodu využít.

Využití spalinových kotlů:

- vytápění, příprava horké vody a výroba par k technologickým účelům
- výroba páry k získání elektrické energie
- výroba páry pro pohon strojů (např. ventilátorů, kompresorů a čerpadel)

Ve sklářských závodech, kde je značná spotřeba tlakového vzduchu, se jeví výhodné použít páry získané ve spalinovém kotli pro pohon turbo-kompresoru na výrobu stlačeného vzduchu.

Tento způsob použití, stejně jako použití pro výrobu elektřiny může být dlouhodobě úspornější, ovšem za cenu vyšších pořizovacích počátečních nákladů.

Instalace spalínových kotlů u STA

Podmínky pro instalaci spalínových kotlů na rekuperačních sklářských pecích jsou výhodnější než u regeneračních pecí, protože teploty spalín na výstupu z rekuperátorů jsou podstatně vyšší. Rekuperační pec s vhodně navrženým systémem využití odpadního tepla spalín může dosáhnout tepelné účinnosti až 70 %.

Teplota spalín na výstupu z regeneračního systému pece je obvykle nižší než 500 °C, což neumožňuje využití spalínového kotle pro výrobu páry o vysoké teplotě a tlaku. Pára vyrobená za těchto podmínek se obvykle ještě předehřívá v předehříváčích na parametry zaručující ekonomický provoz turbín a generátoru.

Při teplotě spalín na výstupu z regenerátoru ve výši 400 °C je možné jejich zbytkového tepla využít pouze pro přípravu teplé vody, pro otop budov, přípravu užitkové vody nebo ohřev topného oleje.

Jedním z našich výrobců, který projektuje, vyrábí a dodává spalínové kotle pro využití citelného tepla spalín z metalurgických, keramických, sklářských a jiných pecí, je s. p. ČKD Dukla Praha. Jelikož ČKD byl schopen kotle dodávat až v druhé polovině osmdesátých let, museli jsme se obracet na zahraniční dodavatele. Např. Glavunionu Teplice došly nabídky dvou kotlů. Firma Climaco Wien nabízela průtlačný kotel systému Lamont s tlakovou ztrátou až 1,5 kPa. Byl však vybrán kotel systému Babcock s tlakovou ztrátou 0,11 kPa od fý Industrie Companie - Wien zejména pro svou malou tlakovou ztrátu a velký parní prostor.

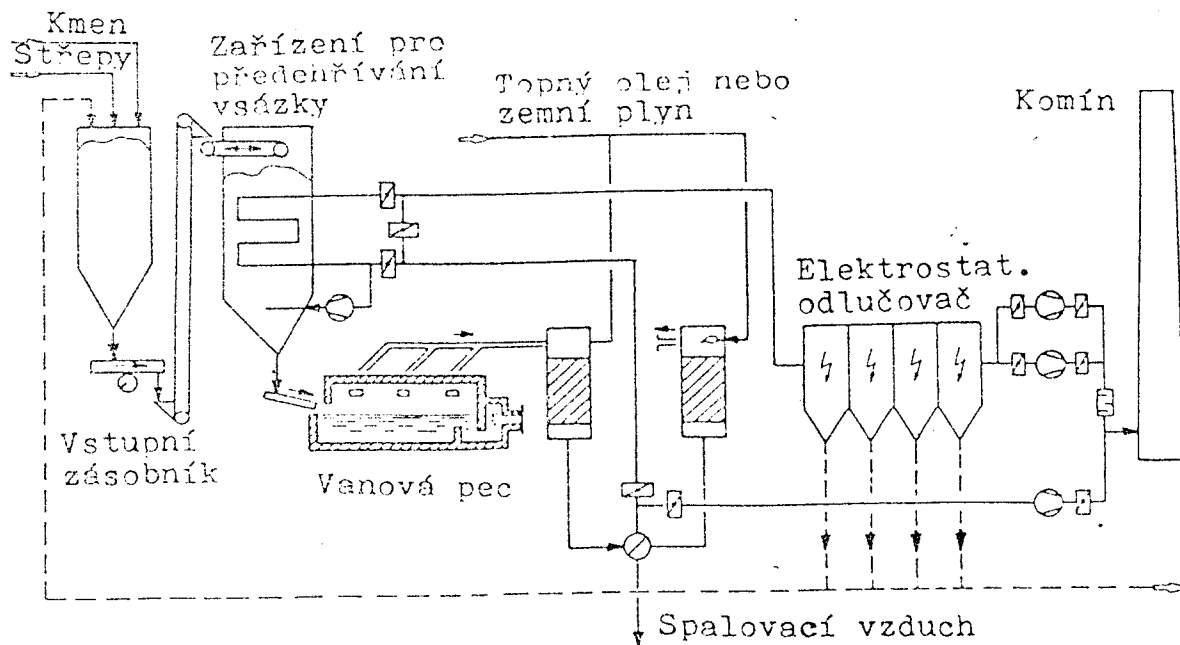
6.4 PŘEDEHŘÍVÁNÍ SKLÁŘSKÉHO KMENE A STŘEPŮ

Při hromadné výrobě skla se mimo známých sklářských surovin tzv. kmene používá v neustále rostoucí míře i odpadní sklo (střepy). Kmen smíchaný se střepey se skladuje v zásobníku nad zakladačem, který ho nepřetržitě zakládá do vanové pece.

Spaliny odcházející z tavící pece se většinou schlazují v regenerátorech na teplotu 450 až 600°C a pak se obvykle bez dalších úprav vypouštějí do atmosféry.

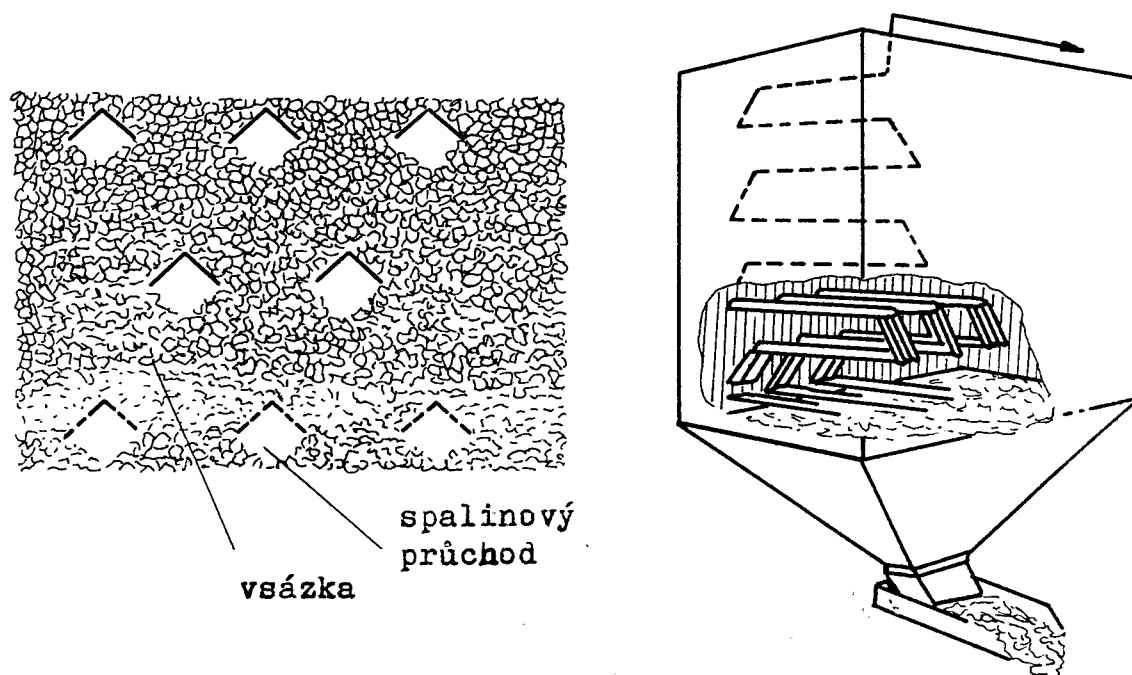
Pro využití odpadního tepla těchto spalin nabízí firma GEA ENERGIETECHNIK Bochum tzv. nienburgský postup GEA /10/. Základním článkem tohoto postupu je reaktor vyvinutý německou firmou NIENBURGER GLAS. V tomto reaktoru se kmen se střepey předehřívá přímým stykem se spalinami.

Schematicky je celý postup uveden na obrázku č. 40.



obr. č. 40 - Vanová tavící pec s předehříváním vsázky

Horké spaliny procházejí reaktorem v protiproudu zdola nahoru a přitom předávají část svého tepla vsázce zvolna postupující zhora dolů. Vsázka se přitom ohřívá z teploty prostředí na asi $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ze spodní části reaktoru je přímo zakládána zakladači do tavicí pece. V reaktoru proudí spaliny kanálky otevřenými směrem dolů a přitom přicházejí do přímého kontaktu se vsázkou. Z obr. č. 41 je zřejmé trojrozměrné řešení předehřívacího zařízení vsázky. Tento obrázek je doplněn řezem zařízení.



obr. č. 41 - Náčrtek a řez zařízení pro předehřívání vsázky

Spaliny postupně procházejí uvedenými kanálky uspořádanými v několika úrovních. Na čelní straně se mění směr jejich proudění. Styčná plocha mezi spaliny a vsázkou se neustále obnovuje tak, jak se vsázka sesouvá dolů. Tím jsou vytvořeny dobré podmínky pro přestup tepla a hmoty. Spaliny takto ochlazené na teplotu asi $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ se pak přivádějí do elektrostatického odlučovače, kde se zbavují prachových částic. Vyčištěné spaliny se odvádějí do atmosféry stávajícím komínem.

Kompletní zařízení pro předehřívání sklářské vsázky bylo nainstalováno ve sklárně Nienburger (firma NIENBURGER GLAS HIMLY, Holscher GmbH u. Co.) v roce 1987 při příležitosti generální opravy vanové pece. Hlavní parametry tavící pece jsou uvedeny v tabulce č. X. /10/

tab. č. X - Parametry vanové pece ve sklárně NIENBURGER GLAS

Tavicí plocha	82 m ²
Složení vsázky - střepey	80 %
- kmen	20 %
Sklovina	zelená, pro výrobu lahví
Tavicí výkon	300 t/24 h
Otop - zemní plyn	7 600 kcal/Nm ³
- elektrický přívěv	max. 20 % příkonu

Měření koncentrace prachu ve spalinách na výstupu z elektrostatického odlučovače ukázalo, že obsah prachu ve vyčištěných spalinách byl podstatně nižší než hodnota uvedená v příslušných normách (50 mg/Nm³ - TA Luft). Odloučený prach se znovu zakládá do tavícího agregátu.

Rovněž obsah plynných škodlivin ve vyčištěných spalinách leží pod hodnotami uvedenými v normě TA Luft. V tabulce č. XI jsou uvedeny střední hodnoty z celé řady měření.

Nienburgským postupem firmy GEA bylo dosaženo těchto výsledků:

- odpadní teplo spalin o teplotě 500 až 600 °C bylo využito pro předehřívání sklářského kmene

- směs střepek a kmene (vsázka) byla přehřívána současně
- podařilo se přímo využít odpadního tepla spalin v technologickém procesu tavení skla bez ztrát na jeho účinnosti
- snížení spotřeby energie při konstantním tavícím výkonu činilo asi 20 %
- přehřívání vsázky je charakterizováno přímým kontaktem mezi spalinami a vsázkou
- současně se podařilo snížit koncentraci SO_2/SO_3 , HCl a HF ve spalinách; koncentrace halogenů ve spalinách na výstupu z přehřívacího zařízení kmene leží pod mezními hodnotami uváděnými v normě TA Luft
- menším přívodem paliva pro otop pece se dosáhlo i nižších emisí NO_x
- nutné náklady na realizaci opatření v oblasti ochrany životního prostředí jsou kompenzovány úsporami energie

Výstavba zařízení na přehřívání kmene se jeví nákladově výhodnější i ve srovnání s využitím odpadního tepla spalin např. pro výrobu páry (spalinovými kotli).

tab. č. XI - Parametry spalin ve sklárně Nienburg

		Vstup přehříváče	Výstup přehříváče	Výstup elektrostat. odlučovače
Teplota	°C	505	260	200
Obsah SO_x	mg/Nm ³	1 936	1 050	868
Obsah HF	mg/Nm ³	41	14	0,3
Obsah HCl	mg/Nm ³	172	32	18
Obsah prachových částic	mg/Nm ³	360	1 770	35
Objem spalin	Nm ³ /h	14 830	15 000	24 870 **

* vztaženo na suché spaliny s obsahem 8 % O_2

** včetně vzduchu nasávaného u základního předpecí a dalších infiltrací

7 ROZBOR FUNKCE TAVÍCÍ VANY I. A VANY UNITMELTER V ZÁVODĚ BAREVKA A. S. GLAVUNION TEPLICE

7.1 SOUČASNÁ A VÝHLEDOVÁ SITUACE ZÁVODU

V současné době prochází závod údobím přechodu ze zastaralé palivové základny (surový generátorový plyn) na moderní základnu zemní plyn. Do nedávné doby byl v provozu jeden agregát regeneračního typu tavící 50 - 55 t skloviny. Tato vana byla otápěna surovým generátorovým plynem. V provozu je nový agregát typu Unitmelter využívající již nové palivové základny. Tavící kapacitu, která je projektována na 70 t skla denně, závod využívá na výrobu litého skla bez drátěné vložky.

Koncem minulého roku měla být zahájena přestavba vany I. na agregát shodného typu s kapacitou 80 - 90 t, který bude určen na výrobu litého skla s drátěnou vložkou.

Výstavbou tohoto agregátu bude prakticky ukončena změna palivové základny, bude zrušena generátorová stanice na výrobu surového generátorového plynu a bude nutno dořešit výrobu tepla pro vytápění, aby mohlo dojít i ke zrušení kotelny.

Zároveň s modernizací hutní základny dojde k výstavbě skladů hotových výrobků o kapacitě 4 000 - 5 000 t zabaleného skla jež vyvolá další nároky na výrobu tepla.

Zdrojem výroby tepla je závodní kotelna. Je vybavena dvěma kotli ČKD rok výroby 1957 a jednoduchou úpravou napájecí vody. Maximální výkon každého kotle jsou 2,5 t páry/hodinu.

Pára má následující parametry: přetlak 0,2 MPa a přehřátí 170 - 180 °C. Kotle jsou vytápěny jednak hruboprachem nakupovaným a jednak podsítným z třídičky uhlí pro generátorovou stanicí. Podle závodní kalkulace na rok 1991 činily celkové náklady kotelny 4,41 mil Kčs (32482GJ/rok). Znamená to tedy, že závod vyrábí 1 GJ páry za 135,77 Kčs. To je cena značně vysoká a nedá se předpokládat, že by se nějak podstatně změnila. Závod proto zcela oprávněně již v předstihu hledal cestu, jak stávající výrobu páry, která je ekologicky nečistá, nahradit novým zdrojem a stávající kotelnu zrušit.

V souladu se světovým trendem využívání odpadního tepla byla již Uniprojektem Teplice řešena i otázka spalinových kotlů, které by podstatně zmenšily komínovou ztrátu a plně nahradily současnou kotelnu. Závod Barevka vstoupil v jednání s potenciálním tuzemským dodavatelem ZVU Hradec Králové a vyzval ho ke zpracování projektu a dodávky kotle pro vanu Unit - Melter I. Spalinový kotel by měl splňovat tyto základní požadavky: výkon 1,9 - 2,5/h, přehřátí 300 °C, přetlak 0,9 MPa a měl by pracovat bezobslužně. Vezmeme-li v úvahu spodní výkonnou hranici 1,9 t páry uvedených parametrů v hodině, pak roční výkon spalinového kotle bude při trvalém provozu 50 545 GJ. To je množství tepla, které závod není schopen vlastní spotřebou a prodejem zužítkovat. Proto bude nutné provozovat v průběhu letní sezony na menší výkon. Aby bylo možné využít odpadního tepla i u agregátu Unit - Melter II, bude třeba hledat východisko ve výrobě vlastní elektrické energie. Jako mimořádně výhodné se jeví využít pro řešení tohoto problému ukončený výzkum Palivářského výzkumného ústavu Běchovice, který postavil prototyp malé kondenzační turbíny.

7.2 POPIS TAVÍCIHO AGREGÁTU UNIT - MELTER I

Unit - Melter I - Glavunion, a. s. závod Barevka

Dodavatelem tavícího agregátu je Teplotechna s. p. Teplice. Součástí agregátu, kterou též s. p. Teplotechna montuje je:

- a) rekuperátor firmy IC-ANLAGEN Rakousko (2 kusy) a to včetně rozvodů teplého spalovacího vzduchu
- b) rekuperátor firmy Teplotechna (1 kus)

Technický popis agregátu (obr. č. 42)

Tavící agregát je řešen jako pec typu U-Melter, otápěný zemním plynem. Vlastní konstrukce vany byla uzpůsobena požadovanému tavícímu výkonu a prostorovým podmínkám stávající hutní haly. Z nich vyplynulo, že je nutno volit umístění rekuperátorů tak, že 1. stupeň obsahuje dva rekuperátory od firmy IC-Anlagen, umístěné v hutní hale a jeden rekuperátor s. p. Teplotechna, umístěný mimo hutní halu v prostoru blíže stávajícího komína.

Vrchní stavba vany je řešena jako dvouprostorová. Tavící část bazénu navazuje na samostatnou pracovní část průtokem. Z čela tavící části jsou umístěny dva zakladače, které dodává SU-INTES. V bazénu je proveden jízek a bubling. Vlastní bubling je dodávku SU-INTES. Pracovní část bazénu je upravena pro výtok skloviny, kde byl vlastní přetokový kámen proveden podle dodavatele licího stroje.

Vrchní stavba pece nad hladinou skloviny zohledňuje opět dvouprostorové uspořádání, tj. samostatnou tavící a samostatnou pracovní část. V tavící části jsou v bočním zdivu situovány hořáky firmy Körting, usazené do speciálních hořákových tvarovek. Celá tato část je v bočním zdivu i v klenbových tělesech provedena z dinasu. Odtah spalin z prostoru tavící části je proveden z prostoru blíže gobé, Vzhledem k tomu, že se zde očekávala větší koroze a rozprach, je tato partie provedena ze zahraničního žáromateriálu až po vlastní rekuperátory. Tyto jsou kompletně dodávány firmou IC-Anlagen a Teplotechna provádí pouze jejich montáž. Kanálový systém je proveden ze šamotu. Vrchní zdivo pracovní části je provedeno z dinasu mimo klenby. Otop této části je na tavící části nezávislý a vlastní hořáky dodává investor.

Vlastní nosnou konstrukci tvoří řady sloupů, které jsou kotveny do základové vrstvy. Na vlastní nosné konstrukci je položen rošt vany, na kterém jsou umístěny stojiny vrchní stavby. Vzhledem k tomu, že je na těchto stojinách uloženo rozvodné potrubí teplého spalovacího vzduchu, jsou stojiny pevně zakotveny ve své spodní části a ve vrchní části jsou jejich rozteče fixovány rozpěrkami.

Při uvádění vany do provozu nebyl zabudován spalínový kotel na odpadní teplo. Protože u kotle není jednoznačně určen jeho typ a způsob napájení, nelze v tomto čase provést více než vysadit na výstup z 2^o rekuperátoru odbočku pro budoucí napojení kotle na odpadní teplo.

Základní parametry agregátu

1. Tavící výkon:

$$G_{\max} = 70t/24h = 2917 \text{ kg/h}$$

2. Tavící teplota:

$$T_{\text{tav}} = 1\,500 - 1\,550 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{max}$$

3. Rozměry agregátu:

Tavící část - šířka 3 900 mm

- délka bez gobé 13 100 mm

- délka gobé 500 mm

- tavící plocha $F_{\text{tav}} = 51 \text{ m}^2$

- plocha gobé $F_g = 1,35 \text{ m}^2$

- tavící plocha + gobé $F_{\text{cel}} = 52,35 \text{ m}^2$

- hloubka tav. části 1 200 mm

Pracovní část - šířka 3 700 mm

- délka 1 850 mm

- hloubka 900 mm

- plocha $F_{\text{prac}} = 6,3 \text{ m}^2$

Průtok - šířka 600 mm

- výška 500 mm

- délka 1 200 mm

4. Spotřeba paliva:

$$\text{Zemní plyn} - H_n = 35\,692 \text{ kJ/Nm}^3$$

5. Měrný tavicí výkon:

$$g = \frac{70\,000}{51} = 1\,373 \text{ kg/m}^2\text{d}$$

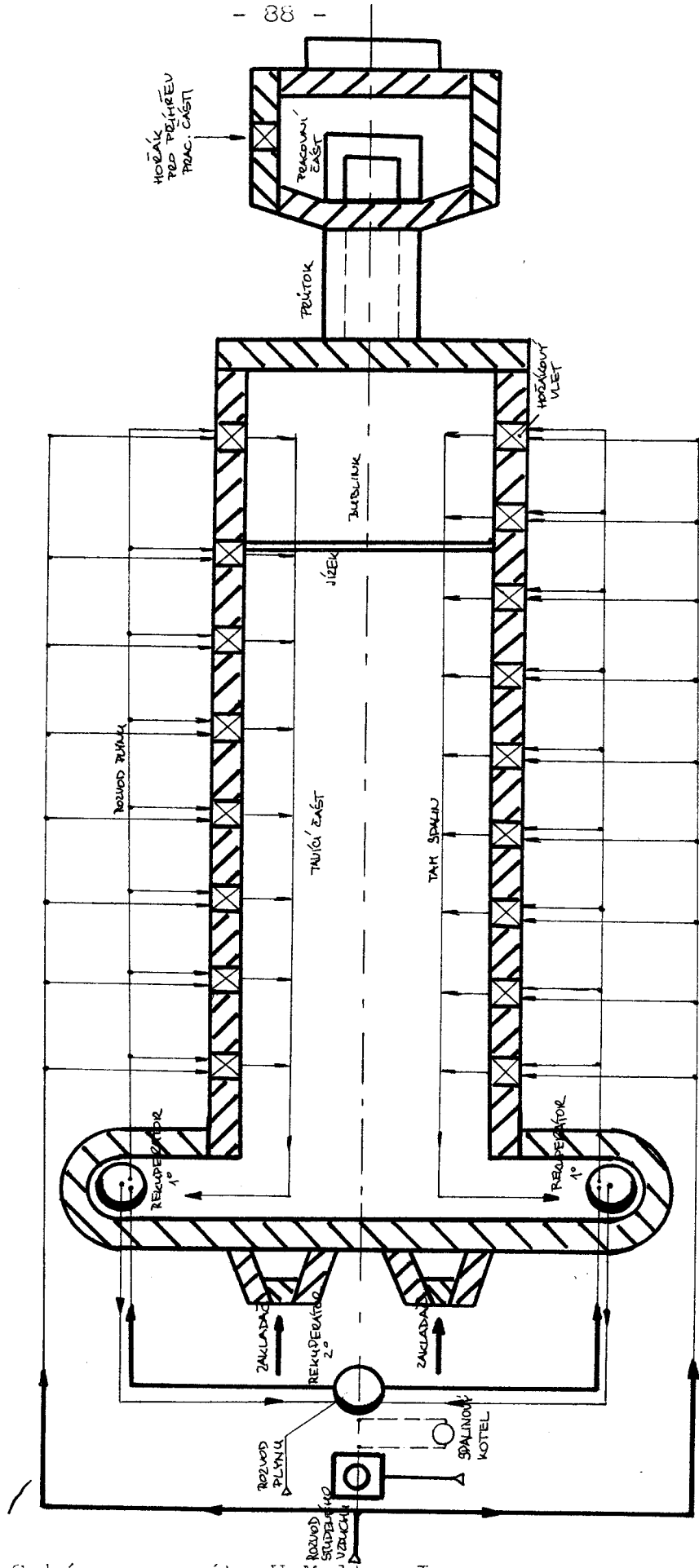
6. Spotřeba tepla:

Celková: $Q = 21\,415\,482 \text{ kJ/h} = 21,42 \text{ GJ}$

Měrná: $q = 7\,343,64 \text{ kJ}$

Měrné tepeplné zatížení tavicí plochy:

$$q_{\text{tav}} = \frac{21\,415\,482}{51} = 419\,910,92 \text{ kJ/m}^2\text{h}$$



obr. č. 42 - Schéma agregátu U-Melter I

Tepelná bilance pece U-Melter I

Pro správnou bilanci pece musíme vyjít z užitečného tepla, potřebného pro utavení skloviny. Hranici bereme v průtoku teplotu 1 400 °C. Při 30 % střeptů a 3 % vlhkosti vsázky je užitečné teplo skla podle /14/ 2,559 GJ/t tj. při 70 t/den 179,13 GJ za den a to je 2,073 MW. Je-li příkon pece 5,95 MW, je toto teplo 34,8 %, což odpovídá dobré peci.

Tepelné ztráty vany:

Užitečný příkon vany je $P_{už} = 2,073$ MW. Celkový příkon při výkonu vany 70 t/den je $P_c = 5,95$ MW. Potom ztráty do okolí a komínů budou

$$P_c - P_{už} = 3,877 \text{ MW}$$

Výpočet teplených ztrát do okolí je možný provést pouze z dokonalé znalosti stavebního provedení pece. Zahraniční prameny uvádějí ztrátu do okolí 20 % z celkového příkonu. U naší pece odhadneme ztrátu do okolí 25 % z celkového příkonu pece, tj.

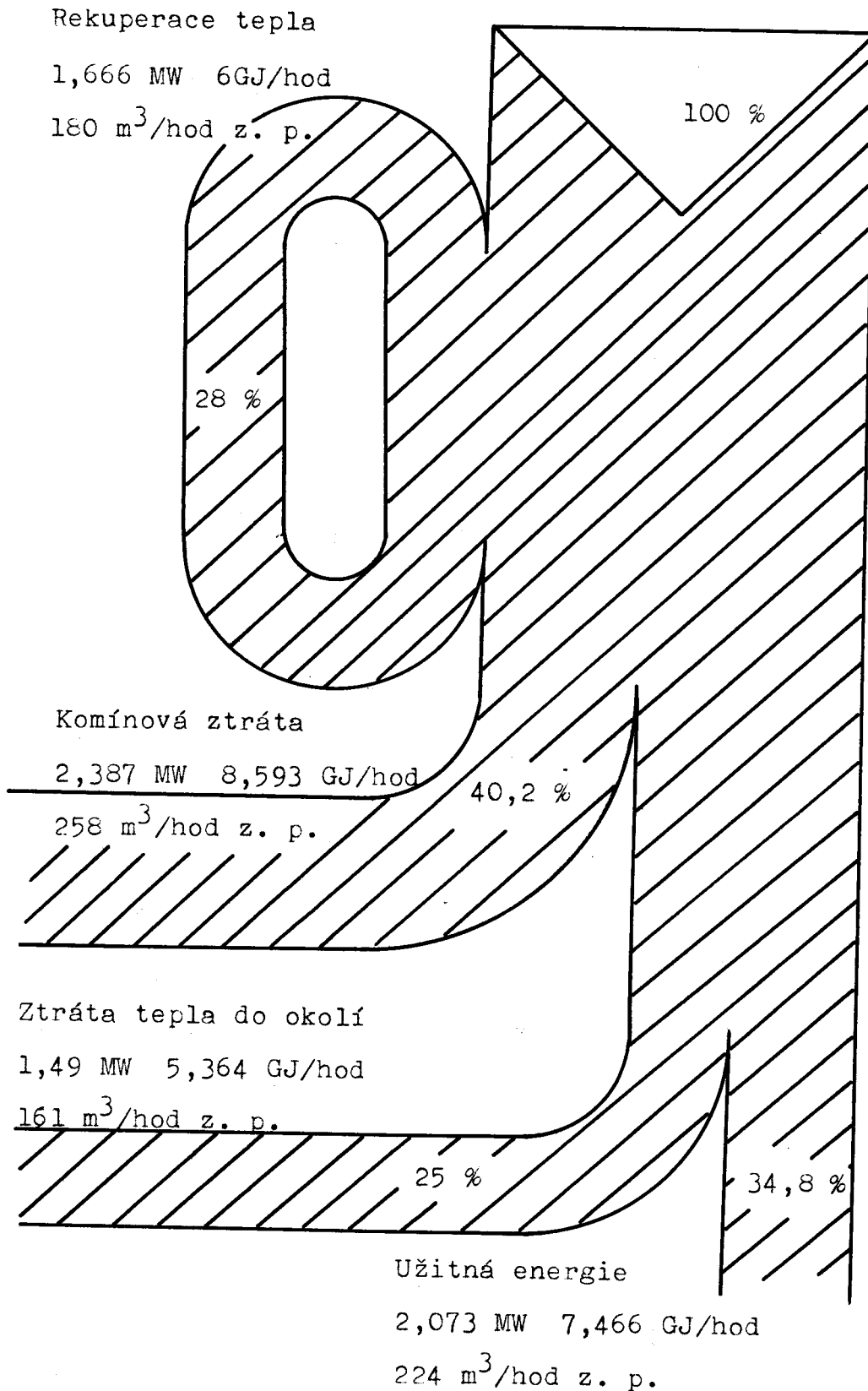
$$P_o = 1,49 \text{ MW.}$$

Komínová ztráta potom bude

$$P_k = P_c - P_{už} - P_o = 2,387 \text{ MW}$$

Této energii bude odpovídat teplota odcházejících spalin za druhým stupněm rekuperace cca 750 °C. Na obrázku č. 43 je graficky zobrazena bilance pece U-Melter I. Mimo jiné je z obrázku velmi názorně vidět vliv dvoustupňové rekuperace na úsporu tepla. Šířky proužků v diagramu jsou úměrné energetickým tokům.

Příkon 5,95 MW 21,42 GJ/hod
644 m³/hod z. plyn



obr. č. 43 - Sankeyův diagram bilance pece U-Melter I

7.3 POPIS TAVÍCÍ VANY I

Vana I - Glavunion, a. s. závod Barevka

Technický popis agregátu

Tavící pec na výrobu litého ornamentálního plochého skla je regenerační, příčně plamenná a je otápěna surovým generátorovým plynem. Skládá se z tavící části, průtoku a sifonu. V sifonu se sklovina ještě dochlazuje dvěma dochlazovacími otvory v klenbě. Tavící část je otápěna čtyřmi páry zděných hořáků.

Regenerační komory jsou stojaté. Vyložení je provedeno systémem "rozběžka". Spaliny z pece jsou odtahovány přes nehořící stranu hořáku přes stojaté plynové a vzduchové komory do kanálového systému a zděného komína. Zakládání kmene se provádí dvěma stávajícími pístovými zakladači.

Poznámka č. 1:

Protože Vana I byla v krátké době po zadání diplomové práce asanována, neměla jsem možnost vidět tento STA v provozu.

Na místě staré Vany I byla zahájena stavba agregátu U-Melter II s kapacitou 80 - 90 t na výrobu litého ornamentálního skla s drátěnou vložkou.

Poznámka č. 2:

Nebyla k dispozici kompletní tepelně technická dokumentace Vany I, jakož i přesné údaje o provozních a investičních nákladech. Provozní a investiční náklady jsou tudíž pouze přibližné.

Základní parametry agregátu

1. Tavící výkon:

$$G_{\max} = 50 \text{ t/24h} = 2 \text{ 083 kg/h}$$

2. Tavící teplota:

$$T_{\text{tav}} = 1 \text{ 450} - 1 \text{ 480 } ^\circ\text{C}$$

3. Tavící plocha:

$$F_{\text{tav}} = 64,319 \text{ m}^2$$

4. Otápěná plocha:

$$F_{\text{otáp}} = 60,83 \text{ m}^2$$

5. Měrný tavící výkon:

$$g_{\text{tav}} = 778,38 \text{ kg/m}^2 \text{ d}$$

$$g_{\text{otáp}} = 821,96 \text{ kg/m}^2 \text{ d}$$

6. Palivo:

Surový generátorový plyn $H_u = 6 \text{ 406 kJ/Nm}^3$

7. Tepelné zatížení tavící plochy:

$$q_{\text{tav}} = 377 \text{ 113} - 404 \text{ 050 kJ/m}^2 \text{ h}$$

8. Celková spotřeba tepla pro tavení:

$$Q_c = 24 \text{ 255 560} - 25 \text{ 988 178 kJ/h}$$

9. Spotřeba plynu:

$$V_{\text{pn}} = 3 \text{ 786} - 4 \text{ 057 Nm}^3/\text{h}$$

10. Měrná spotřeba tepla:

$$q = 11\,639,3 - 12\,472,4 \text{ kJ/kg}$$

11. Objem vyložení regeneračních komor:

Plynová komora:

$$O_{pn} = 27,135 \text{ m}^3$$

Vzduchová komora:

$$O_{vz} = 44,752 \text{ m}^3$$

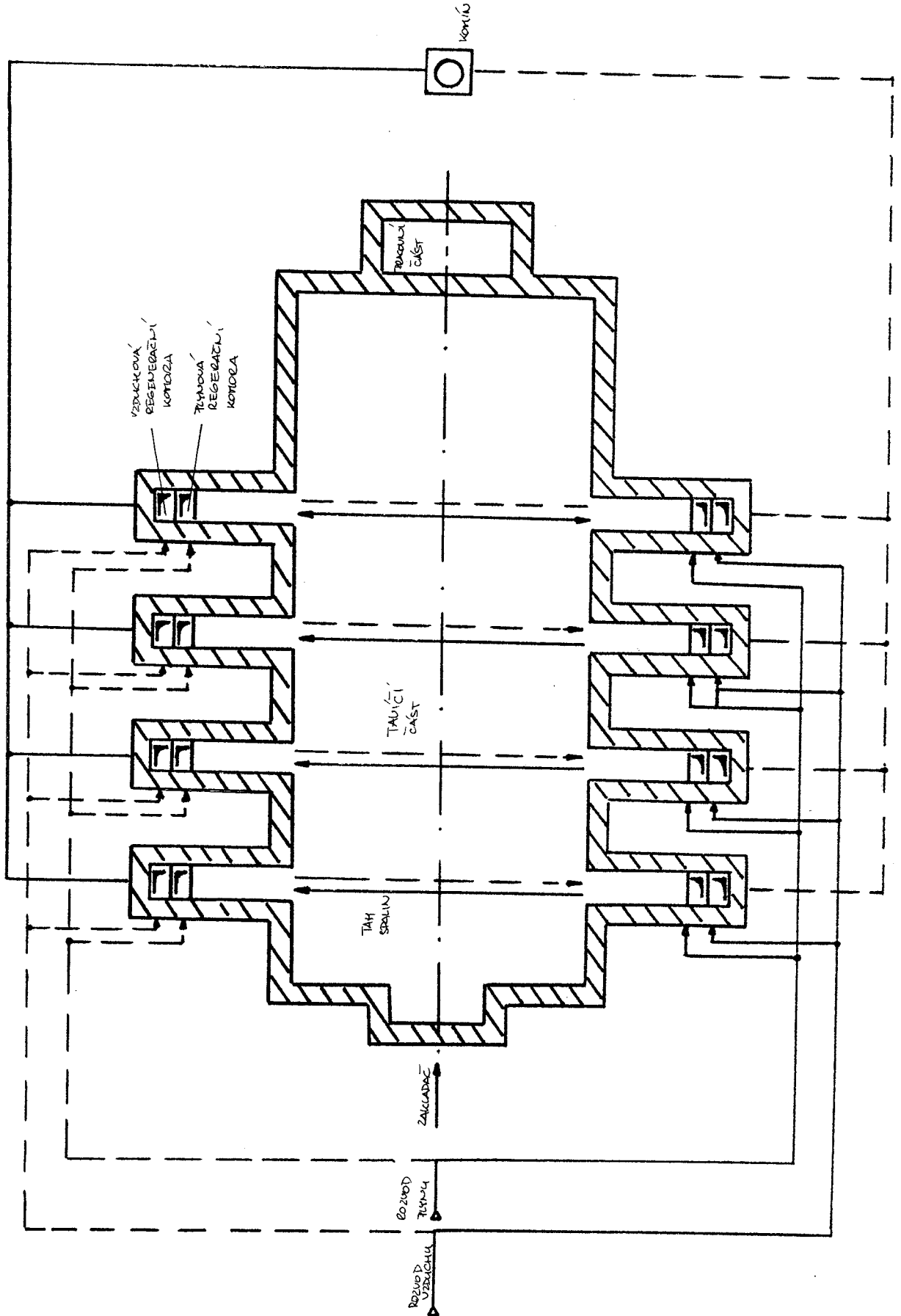
12. Plocha vyložení regeneračních komor:

Plynová komora:

$$F_{pn} = 377,50 \text{ m}^2$$

Vzduchová komora:

$$F_{vz} = 671,52 \text{ m}^2$$



obr. č. 43 - Schéma STA Vana I

7.4 VLASTNÍ POROVNÁNÍ OBOU PECÍ

Porovnání pecí na výrobu ornamentálního skla

Ornamentální ploché sklo, vyráběné v závodě Barevka s parametry uvedenými v následující tabulce, bude pro lepší názornost srovnáno s parametry ornamentálního plochého skla v závodě Duchcov - Teplice.

tab. č. XII - Porovnání pecí na výrobu ornamentálního skla

	tavící plocha	měrný tav. výkon	měrná spotř. ener.	denní výkon	tavící teplota	předehřátí vzduchu	kvalita skla
	m ²	t/m ² d	GJ/t	t/d	°C	cca °C	ks _{bub} /kg
Duchcov	35,3	1,7	5,9	60	1 470	900	3 000
Barevka Vě. II	68	0,74	9,5	50	1 440	900	10
Barevka U - M	52,35	1,373	7,344	70	1 500 -1 550	600	

Jak je vidět z tabulky č. XII, závod Barevka se vyznačuje vysokou kvalitou skloviny. Vynikající kvalita skloviny stojí závod mnoho peněz, což je dáno vysokou měrnou spotřebou energie a nízkým výkonem z 1 m² tavící plochy.

Porovnání z hlediska otápění STA

Zásadním rozdílem obou porovnávaných pecí je způsob jejich otápění. Tavicí agregát typu U - Melter I je otápěný zemním plynem. Zemní plyn patří mezi vysocekalorická paliva. Jeho výhřevnost je 35 692 kJ/Nm³.

Vana I byla otápěna surovým generátorovým plynem o průměrné výhřevnosti 6 406 kJ/Nm³. Surový generátorový plyn patří mezi paliva méněkalorická.

Kdybychom počítali pouze s výhřevností, nahrazoval by 1 Nm³ zemního plynu 5,571 Nm³ surového generátorového plynu.

$$V = \frac{35\ 692}{6\ 406} = 5,571\ \text{Nm}^3$$

Pro stoupající požadavky na jakost výrobků je bezpodmínečně nutné technologické procesy přesně dodržovat a to umožňuje pouze automatické řízení celého procesu výroby skla a tedy i řízení tepelných podmínek v peci.

Automatického řízení lze s výhodou použít pouze u vysocekalorických paliv. Regulace těchto paliv je daleko přesnější, nehledíc k dalším výhodám: odpadá generátorová stanice, přísun uhlí, odvoz popela, fenolů i údržba.

Jak je známo, vlastnosti surového generátorového plynu kolísají a u pecí pak vznikají problémy, které znemožňují udržení tepelných režimů, zejména při technologii ve velkých vanách. Kolísání výhřevnosti SGP může činit až 10 - 13 % z celkové výhřevnosti plynu.

Ve snaze zajistit další rozvoj a racionalizaci výroby, závod Barevka přechází na novou palivovou základnu - zemní plyn, protože otop surovým generátorovým plynem je z výše popsaných hledisek dosti nevýhodný a ekonomicky ztrátový.

tab. č. XIII - Porovnání vlastností SGP a zemního plynu

Parametr	Surový generátorový plyn	Zemní plyn naftový
Výhřevnost	6,4 MJ . m ⁻³ (n.p.)	35,6 MJ . m ⁻³ (n.p.)
Potřeba vzduchu (such.) při spalování (n = 1,2)	1,68 m ³ . m ⁻³ (n.p.)	11,35 m ³ . m ⁻³ (n.p.)
Hlavní výhřevné složky	CO, H ₂ , dehet	CH ₄
Množství spalin (vlhkých) z 1 m ³ (n.p.) plynu (n = 1,2)	2,577 m ³ . m ⁻³ (n.p.)	12,8 m ³ . m ⁻³ (n.p.)
Objemová hmotnost	1,07 kg . m ⁻³ (n.p.)	0,725 kg . m ⁻³ (n.p.)

Porovnání vany U-Melter I a Vany I z hlediska konstrukce

Konstrukce obou STA již byla podrobně popsána v předešlých kapitolách (7.2 a 7.3).

Výhodou konstrukce U-Melter I je především malá náročnost na zastavěný prostor a plochu, jednoduchá konstrukce, snadná generální oprava, možnost změny tavení jiného druhu skloviny a možnost přechodu na jiné palivo (topný olej). Největší předností vany U-Melter I je možnost nastavit tepelnou bariéru v místě technologicky nejvýhodnějším. Další výhodou je, že spaliny proudí proti směru pohybu skloviny a tak odevzdávají dříve, než se dostanou do odtahu část svého tepla kmenu přicházejícímu do vany.

tab. č.XIV - Výpočet ekonomické náročnosti na utavení 1 t skla

UNIT - MELTER I	VANA I
Měrná spotřeba tepla: $q = 7\,359,8 \text{ kJ/kg}$	$q = 11\,664,9$ $- 12\,499,9 \text{ kJ/kg}$
Výhřevnost plynu: $H_u(\text{ZP}) = 35\,692 \text{ kJ/Nm}^3$	$H_u(\text{SGP}) = 6\,406 \text{ kJ/Nm}^3$
Celková spotřeba tepla: $Q_c = 21,463 \text{ GJ/h}$	$Q_c = 24,255$ $- 25,988 \text{ GJ/h}$
Spotřeba paliva na 1 kg skla: $V_{\text{pn}}(\text{ZP}) = \frac{q}{H_u} = 0,206 \text{ m}^3/\text{kg}$	$V_{\text{pn}}(\text{SGP}) = \frac{q}{H_u} = 1,82$ $- 1,95 \text{ m}^3/\text{kg}$
Spotřeba plynu za 1 h: $V_{\text{pn}}(\text{ZP}) = \frac{Q_c}{H_u} = 601,3 \text{ Nm}^3/\text{h}$	$V_{\text{pn}}(\text{SGP}) = \frac{Q_c}{H_u} =$ $= 3\,786,3 - 4\,056,8 \text{ Nm}^3/\text{h}$
Spotřeba plynu za 24 h: $V_{\text{pn}}(\text{ZP}) = 14\,431,2 \text{ m}^3/\text{d}$	$V_{\text{pn}}(\text{SGP}) = 90\,871,2$ $- 97\,364,3 \text{ m}^3/\text{d}$
Cena za 1 m ³ ZP .. 3,35 Kčs $V_{\text{pn}}(24 \text{ h}) = 48\,344,52 \text{ Kčs}$	Cena SGP za 1 m ³ .. 0,4435 Kčs $V_{\text{pn}}(24 \text{ h}) = \mathbf{40\,301,37}$ $- 43\,181,06 \text{ Kčs}$
Cena na utavení 1 t skla: 690,6 Kčs/1 t	Cena na utavení 1 t skla: 806,025 - 863,621 Kčs/1 t

Pozn.: SGP Ú STÍ n. LABEM , 1000 m³ 443,50 Kčs

tab. č. XV - Porovnávací tabulka základních tepelně technických parametrů pece U - MELTER I a Vany I

	Zn.	U-MELTER I	VANA I
Tavící výkon	G_{\max}	70 t/d	50 t/d
Tavící plocha	F_{tav}	51 m ²	63,319 m ²
Tavící teplota	T_{tav}	1 500 - 1 550 °C	1 450 - 1480 °C
Měrný tavící výkon	g	1 373 kg/m ² d	778,38 kg/m ² d
Výhřevnost	H_u	35 692 kJ/Nm ³	6 406 kJ/Nm ³
Spotřeba plynu	V_{pn}	600 Nm ³ /h	± 4 000 Nm ³ /h
Spotřeba vzduchu	V_{vz}	6 500 Nm ³ /h	± 6 600 Nm ³ /h
Celková spotřeba tepla	Q_c	21 415 482 kJ/h	25 988 178 kJ/h
Měrná spotřeba tepla	q	7 343,64 kJ/kg	12 472,47 kJ/kg
Měrné tep. zatížení F_{tav}	q_{tav}	419 910,92 kJ/m ² h	390 581 kJ/m ² h
Teplota spalin do komína	t_{sp}	650 - 700 °C	460 - 480 °C

1 99 1

tab. č. XVI - Složení a vlastnosti surového generátorového plynu a plynu zemního

Druh paliva	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₈	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	H ₂ O	H _u (kJ/Nm ³)
Sur. generátorový plyn	2,0	0,2	-	-	3,8	21,2	12,1	35,3	-	25,4	6 406
Zemní plyn	98,0	-	0,5	0,1	0,1	-	0,1	1,2	-	-	35 692

Z uvedených tab. č. XIV a XV je vidět, že hlavní výhodou STA U-Melter I je použití paliva pro jeho otápění. Použitý zemní plyn má totiž oproti surovému generátorovému plynu použitého u předchozího STA - Vana I stabilní vlastnosti. To se samozřejmě projeví, jak už bylo uvedeno, při regulaci celého tavícího procesu a tzn. i na spotřebě resp. ztrátách při tavení. Důležitým parametrem je výhřevnost zemního plynu, která je 5,57x větší než výhřevnost plynu generátorového. To se zákonitě projeví na spotřebě paliva, která je u U-Melter I 6,5x nižší při přibližně stejné spotřebě vzduchu a tedy i na celkové a měrné spotřebě tepla na utavení 1 tuny skloviny.

Porovnání Vany I a Vany U - Melter z hlediska provozních nákladů
 tab. č. XVII - Provozní náklady Vany I a U-Melter I

	Provozní náklady (mil. Kčs)	
	U-Melter	Vana I
Prodej	162,0	44,1
Výrobní náklady	120,0	35,0
Hrubý zisk	42,0	9,1
Odpisy	12,0	3,0
Zisk před odečtením finančních nákladů	30,0	6,1
Finanční náklady	2,0	0,3
Zisk před zdaněním	28,0	5,8
Zdanění (U-M 40 % a V I 65 %)	11,2	3,8
ČISTÝ ZISK	16,8	2,0

$$\text{Návratnost (U-Melter I)} = \frac{\text{Investice } 118,1 \text{ mil}}{\text{Cash Flow } 28,8 \text{ mil}} = \underline{\underline{4,1 \text{ rok}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Cash Flow} &= \text{Čistý zisk} + \text{Odpisy} \\ &= 16,8 \text{ mil} + 12 \text{ mil} = 28,8 \text{ mil Kčs} \end{aligned}$$

$$\text{Návratnost (Vana I)} = \frac{\text{Investice } 41,0 \text{ mil}}{\text{Cash Flow } 5,0 \text{ mil}} = \underline{\underline{9,6 \text{ roků}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Cash Flow} &= \text{Čistý zisk} + \text{Odpisy} \\ &= 2,0 \text{ mil} + 3,0 \text{ mil} = 5,0 \text{ mil Kčs} \end{aligned}$$

Z tabulky, kde jsou uvedeny provozní náklady Vany I a vany U - Melter I, je patrné, že pec U - M I je provozně nákladnější. Ale jelikož ceny staré Vany I jsou již neplatné, je nutné porovnat obě pece z hlediska návratnosti. Návratnost pece U - M I byla vypočtena na 4,1 rok a návratnost Vany I na 9,6 roků.

Z uvedené tabulky si lze pouze udělat obrázek o poměrném rozložení provozních nákladů mezi uvedené složky.

Porovnání agregátu U-Melter I s Vanou I z hlediska investičních
nákladů

Investiční náklady na výstavbu linky U-M I

v tis. Kčs

1. Stavba - hutní hala	5 200
2. Vana - tavící agregát	
rozvod plynu	
chlazení	
zakmenování	
silnoproud	

	37 790
3. Hořák. systém Körting	10 700
4. Rekuperátory IC Anlagen	24 500
5. Zakladače - 2 ks	500
6. Licí stroje - 2 ks	12 000
7. Chladička (úprava tratě) - rozšíření	3 700
8. Příčný řez	2 450
9. Podélný řez	200
10. Ostatní náklady	26 430
=====	
CELKEM	118 170 tis. Kčs
	=====

Investiční náklady na výstavbu Vany I

	v tis. Kčs
1. Vana	20 000
2. Licí stroje	původní
3. Chladička	8 000
4. Řezací linky	15 000
5. Ostatní náklady	5 000
=====	=====
CELKEM	48 000 tis. Kčs
	=====

Pro dostatečně podrobné srovnání obou pecí z hlediska investičních nákladů nebyly k dispozici úplné podklady. To platí zejména pro Vanu I. Jelikož tento agregát byl již asanován, řada hodnot nebyla zjištěna. Uvedené náklady na výstavbu vany, chladičky a řezací linky jsou pouze přibližné, jakožto i celková cena na výstavbu tohoto agregátu, která činí asi 48 mil. Kčs.

Náklady na výstavbu linky Vana I činily 48 mil. Kčs, na linku U-Melter I 118,179 mil. Kčs. Investiční náklady na stavbu pece typu U-M I jsou zhruba 2,5x větší, ale musíme brát v úvahu tu skutečnost, že v době výstavby Vany I a U-M I byly jiné cenové relace.

Investiční náklady pecí typu U-Melter jsou o cca 20 - 25 % nižší oproti srovnatelné U-plamenné peci, oproti příčně plamenné peci o cca 30 %.

8 POSOUZENÍ VHODNOSTI PROVEDENÍ INVESTICE

Z dosavadních zkušeností a získaných poznatků o provozu vany U - Melter I lze říci, že provedená investice na zprovoznění U - M I byla velice výhodná.

Největší předností pece U - Melter I oproti pecím regeneračním je její konstrukční jednoduchost a ekologická nezávadnost, zejména v nízkém obsahu kyslíčnicků dusíku ve spalinách, což není zanedbatelné, protože právě ekologie bude již v blízké budoucnosti výrazně ovlivňovat ekonomii každého výrobce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ Firemní materiály fy Nicolaus Sorg GmbH
- /2/ Firemní materiály fy Ramco
- /3/ Lono_x Melter, Glass Industry č. 5/1990 s. 14 - 18
- /4/ Nový typ tavící pece Lono_x Melter, Glassmach. plants -
access., 2, 1989, č. 1, s. 14 - 17
- /5/ Flexibilní tavící pec, Glass, 66, 1989, č. 10, s. 380 - 383
- /6/ Informativní přehled, VÚSU a. s., Teplice, 1/1991
- /7/ Synek, M.: Problematika odlučování škodlivin ze spalin
u sklářských pecí. Sklář a keramik, 38, 1988,
č. 10, s. 295 - 300
- /8/ Kaplánek, J.: Metodika stanovení parametrů, definujících
kvalitu životního a pracovního prostředí.
Sklář a keramik, 34, 1984, č. 10,
s. 290 - 295
- /9/ Kaplánek, J.: Metodika stanovení parametrů životního
a pracovního prostředí z hlediska sklářství.
Sklář a keramik, 40, 1990, č. 11,
s. 322 - 327
- /10/ Firemní literatura fy GEA Luftpühler GmbH
- /11/ Mainer, V.: Sklářské pece, SNTL 1967 Praha
- /12/ Tooley, V.: The Handbook of Glass Manufacture.
New York 1979
- /13/ Hynčica, V.: Rekuperátory a rekuperační systémy v o. p.
Teplotechna Praha 1987
- /14/ Kohlíček, J.: Tepelné bilance sklářských tavících pecí
1987

Poděkování

Děkuji tímto Doc. ing. V. Klebsovi, CSc za odborné vedení práce; ing. F. Hammerbauerovi a ing. J. Hubáčkovi, kteří mi poskytli potřebnou pomoc ve formě informací a konzultací.

Renata Princová

Renata Princová

V Liberci 1. května 1992