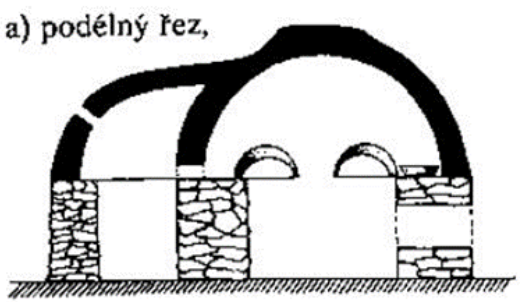
5. Sklářské pece

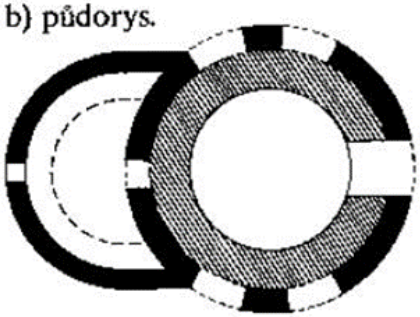
Tavení sklářského kmene:

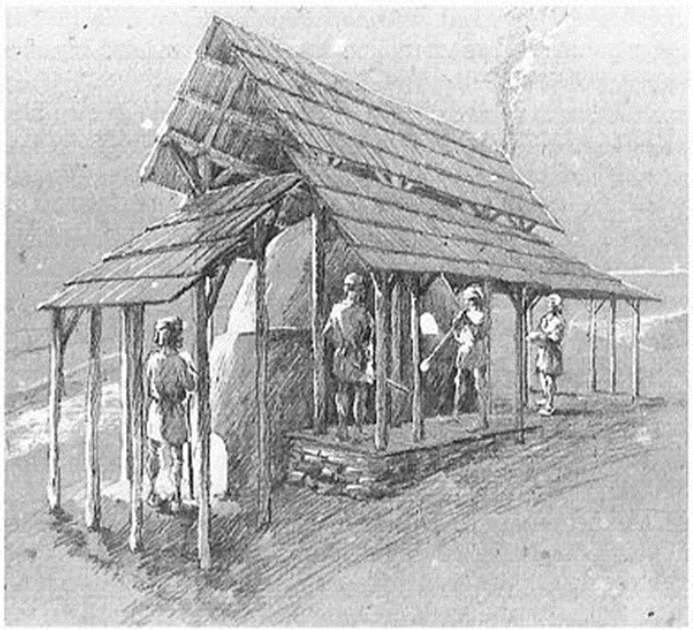
1. Pece pánvové
2. Pece vanové

5.1. Pánvové pece

- Periodický provoz.
- Maloobjemová výroba speciálních skel, umělecká výroba.



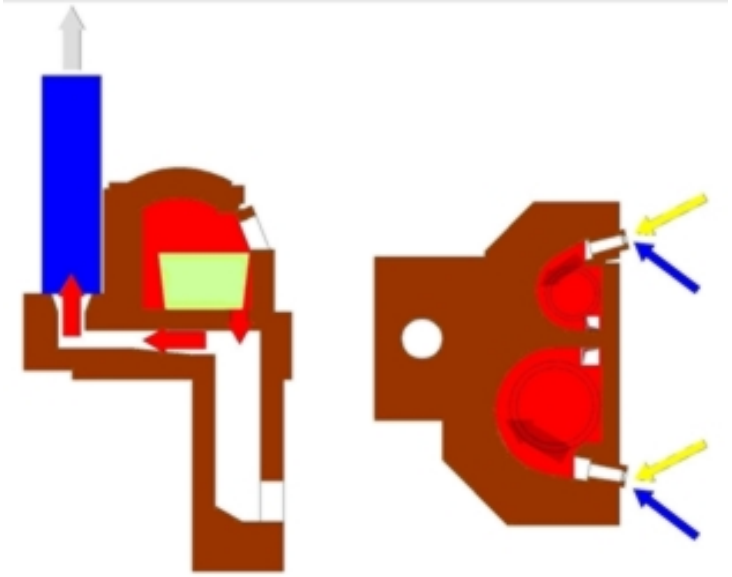






Pánvová pec s rekuperativním předehřevem vzduchu

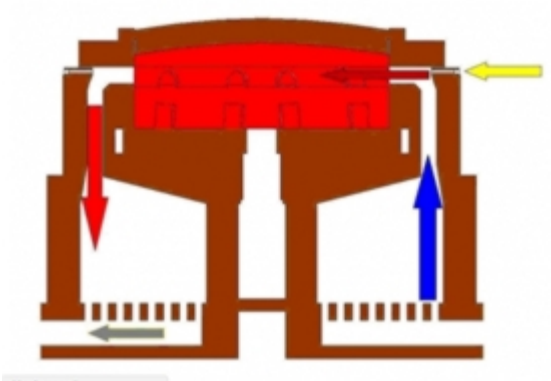
- Ohřev vzduchu na 450 °C
- Průměr pánví 500 – 1000 mm
- Palivo: zemní plyn, LTO
- Tavení: 12 – 13 h
- 7000 kcal/kg skla

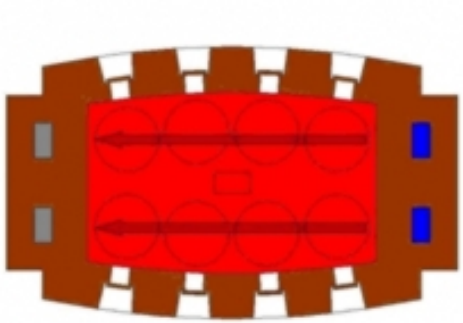




Pánvová pec s regenerativním předehřevem vzduchu

- Ohřev vzduchu na 1200 °C v regenerátoru (hutný žáromateriál s dobrou tepelnou akumulací)
- Průměr pánví 600 – 1200 mm
- Palivo: zemní plyn, LTO
- Tavení: 12 – 13 h
- 6000 kcal/kg skla

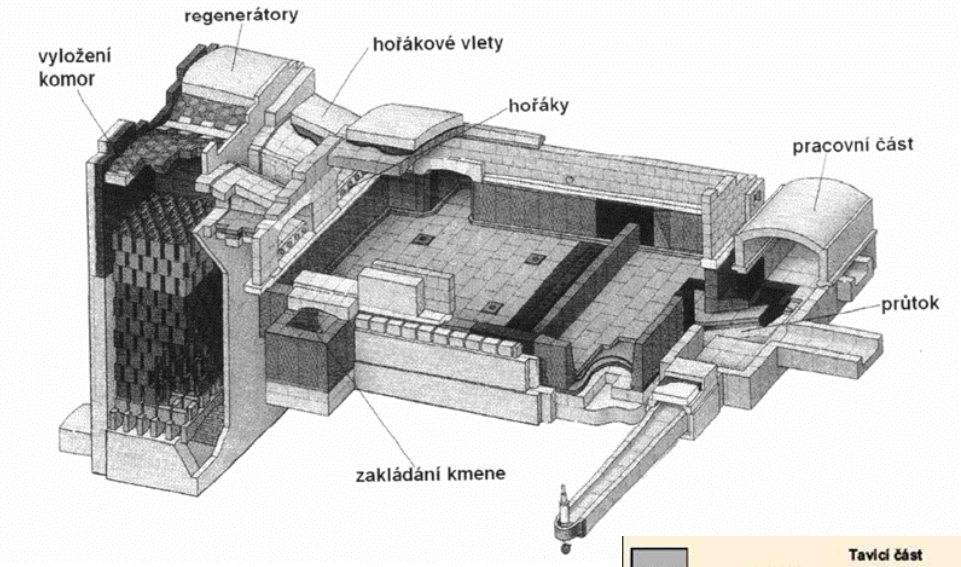


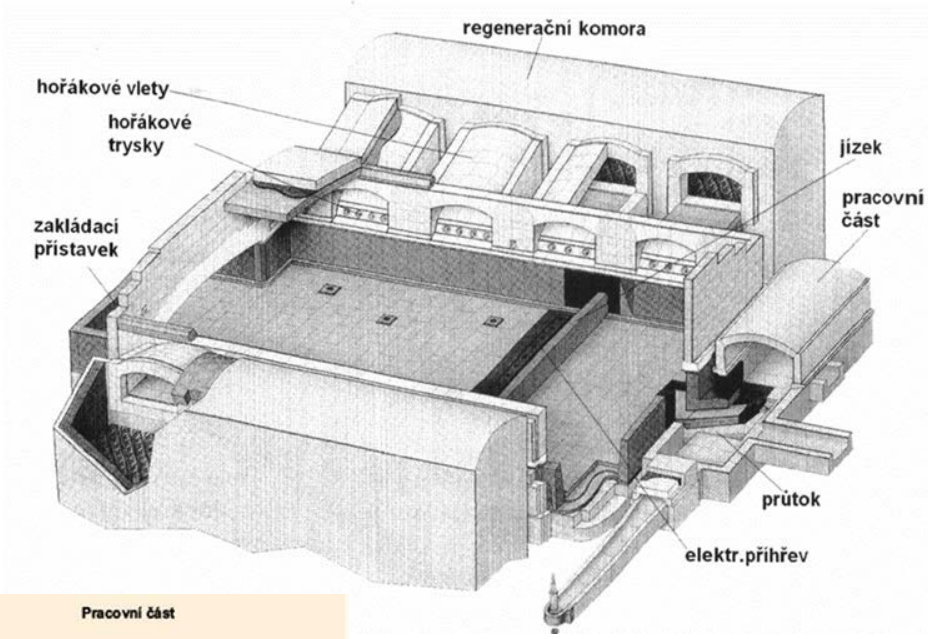


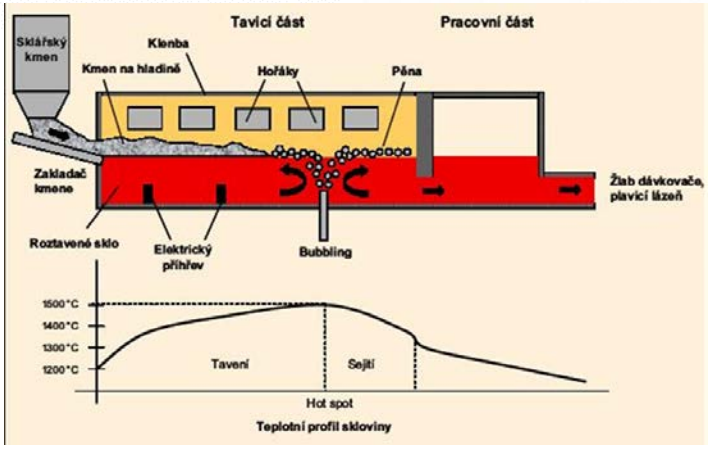


5.2. Vanové pece

- Kontinuální provoz, lepší energetická účinnost, vyšší měrný výkon.
- U-plamenná, příčně plamenná pec

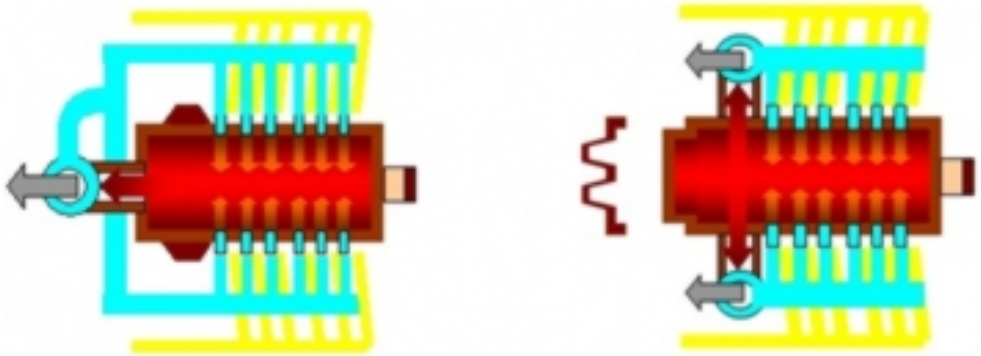






Příčně plamenná vanová pec s rekuperativním předehřevem vzduchu

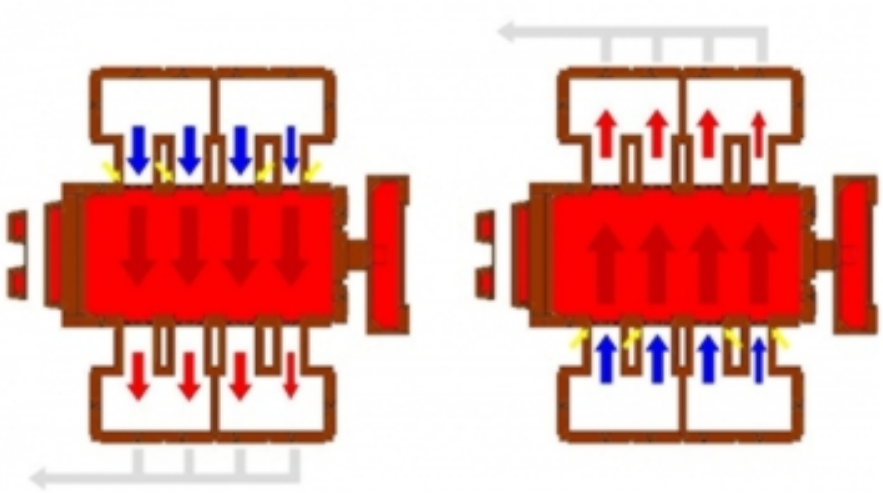
- Ohřev vzduchu na 650 - 700 °C (ocelové rekuperátory)
- Výkon 3 – 350 t / 24 hodin
- Palivo: zemní plyn, LTO
- Tavicí plocha: 6 – 160 m^2
- 1200 kcal/kg skla





Příčně plamenná vanová pec s regenerativním předehřevem vzduchu

- Ohřev vzduchu na 1350 °C v regenerátoru 2x (hutný žáromateriál s dobrou tepelnou akumulací)
- Tavicí plocha 60 m^2 a více
- Palivo: zemní plyn, LTO
- Tavicí výkon: 160 – 500 t / 24 h (Float až 700 t)
- 1150 kcal/kg skla

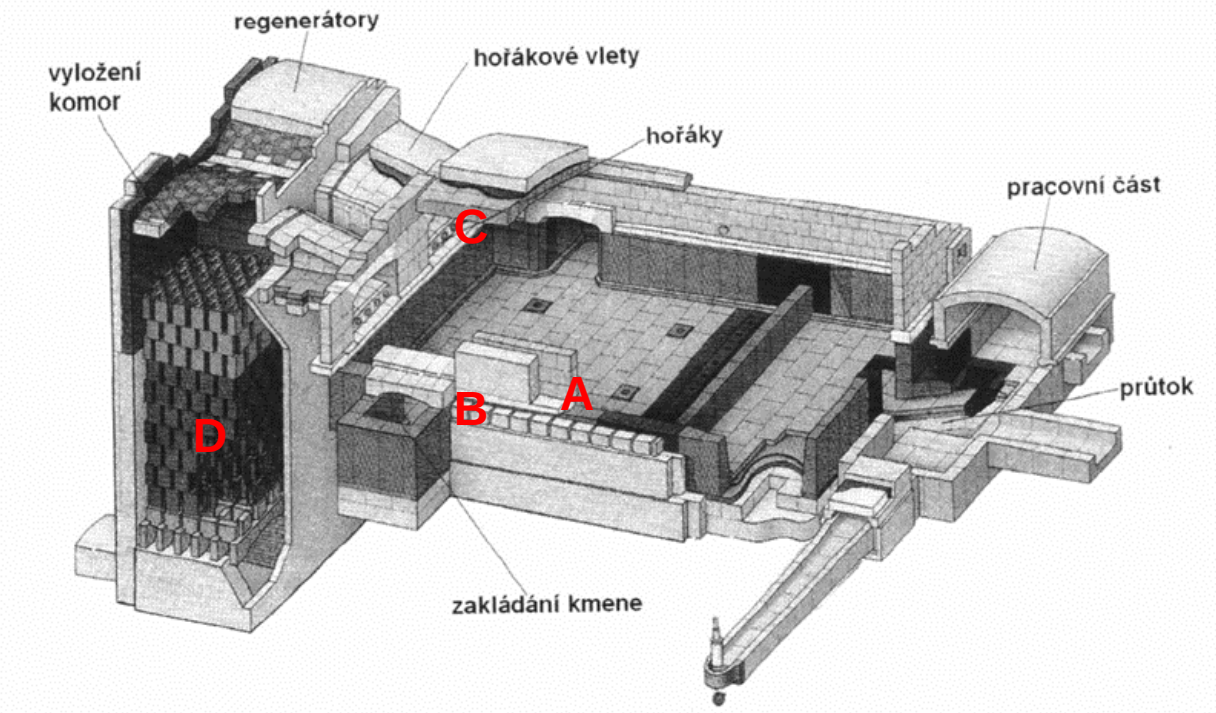






5.3. Materiály pro konstrukci sklářských pecí

- Bazén = dno + palisády (**A**)
- Vrchní stavba (**B**)
- Klenba (**C**)
- Regenerační komora (**D**)



Koroze materiálů ve sklářských pecích

- Maximální hutnost → často lité materiály.
- Různé druhy materiálů v závislosti na umístění v peci a typu skloviny (odlišné korozní média!)

Pozn. Koroze žárovzdornin - zkoušky

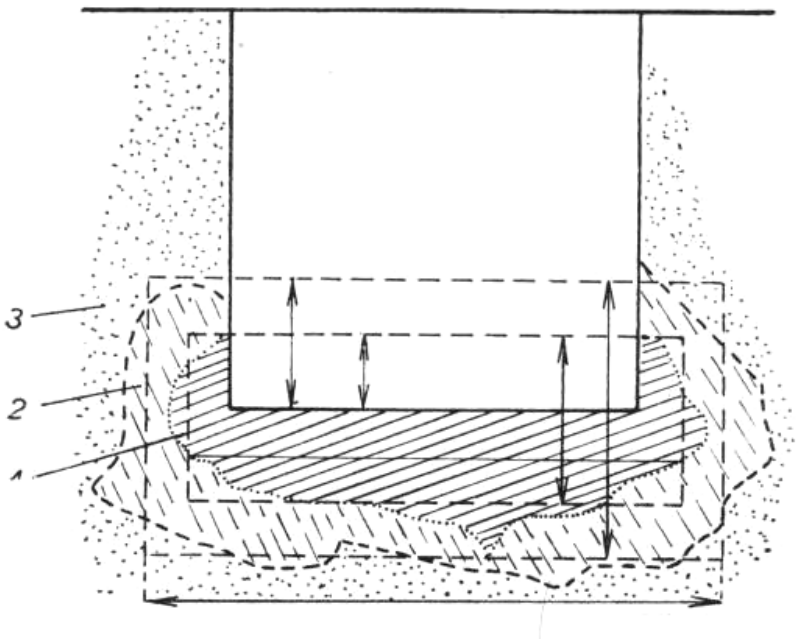
1. Trámečková ponořovací zkouška - ponoření trámečku do agresivní taveniny.





Pozn. Koroze žárovzdornin - zkoušky

2. Kelímková zkouška - otvor do žárovzdorného materiálu nebo zhotovení kelímku a naplnění reakčním činidlem (sklovina, slínek, alkalické zeminy,..) → výpal → rozřezání vzorku → vyhodnocení zkorodované plochy a průnik taveniny

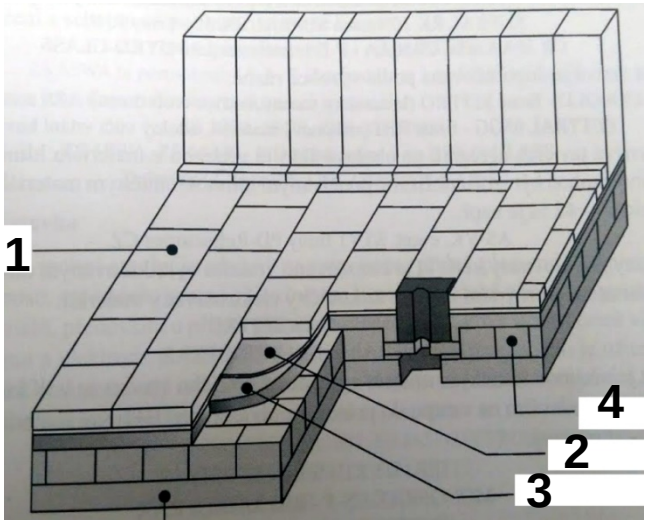




Materiály pro bazén vanové pece

- **Dno (ploché, lahvové sklo):**

1. vrstva: elektrotavený AZS s obsahem 31 – 36 % ZrO_2 bez lunkru (korund), průtok až 42 % ZrO_2
2. vrstva: žáromonolit. hmota AZS – vyrovnávací
3. vrstva: žárobeton s hydraulickou vazbou AZS
4. vrstva: hlinitokřemičitý materiál (šamot) + izolační



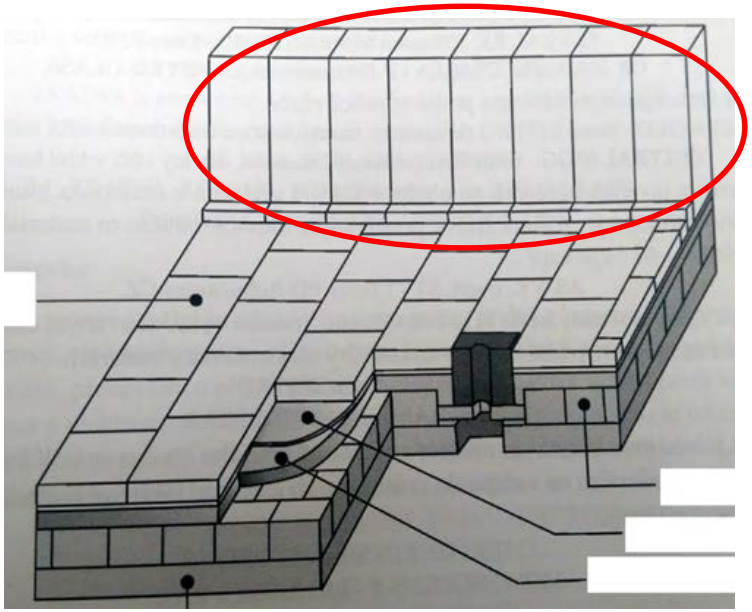
Bazén pro speciální typy sklovin

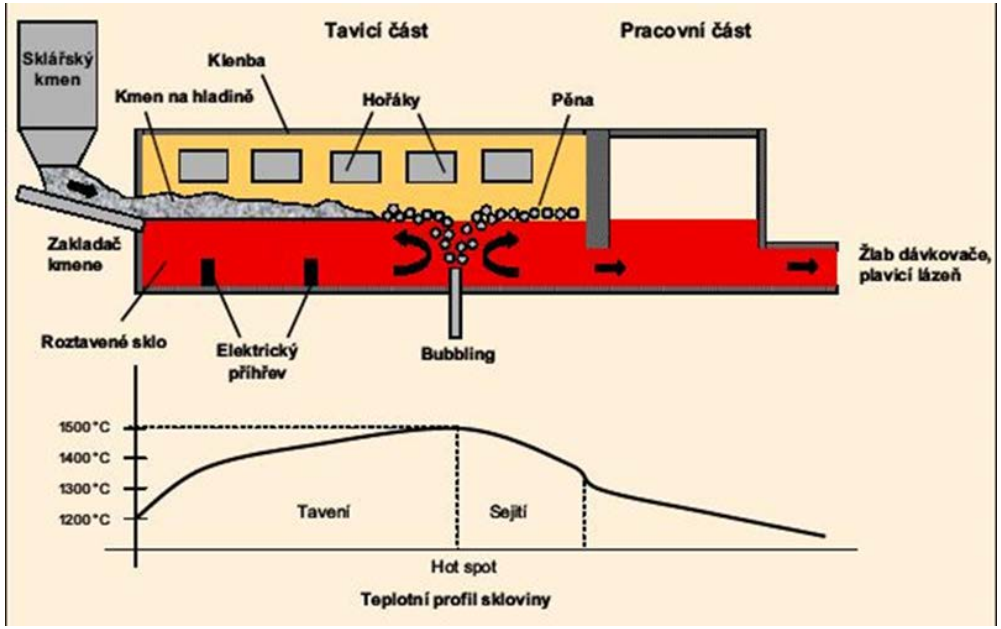
- **Barevné sklo**: 1. vrstva z chrom-korundového materiálu
- **Olovnatý křišťál**: dno korodováno vrtáním vyredukovaným olovem → zirkoničitý elektrotavený materiál.
- **E-sklovina**: vyšší obsah B_2O_3 a CaO → vysoce odolný chromitý materiál (1. vrstva) a zirkonový materiál (2. vrstva, elektrodové kameny)

- **Palisády:**

a) elektrotavený AZS s obsahem 34 – 36 % ZrO_2 (až 41 % bez lunkru - životnost až 15 let),

b) Korund s minimem skelné fáze (ustalovací část = sejití pro výrobu plochého skla)





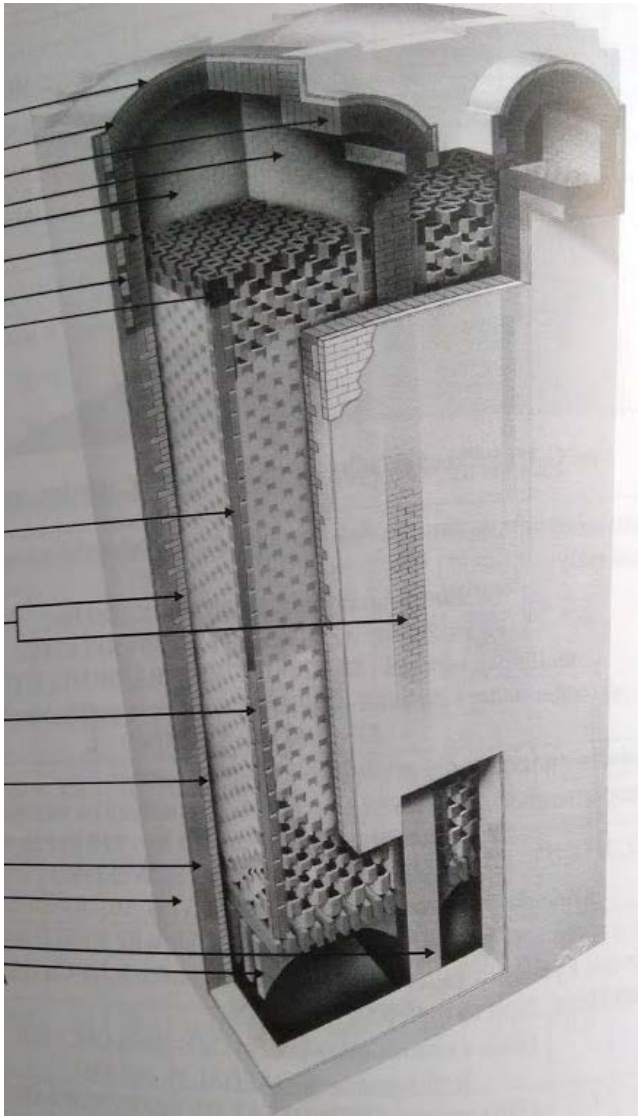
Materiály pro hlavní klenbu vanové pece

- Obvykle dinas – výroba, vlastnosti, jakosti

Charakteristika			Sklářský dinas	Koksárenský dinas	Izolační dinas
Chemická analýza	SiO_2	[%]	94-97	94-96	88-95
	Al_2O_3	[%]	0,3-1,5	0,5-3	1-2,5
	Fe_2O_3	[%]	0,3-1,7	0,3-1,7	0,6-1,3
	CaO	[%]	0,5-3	0,1-3	3-6,5
Objemová hmotnost		[$kg.cm^{-3}$]	1900	1750-1900	500-1200
Zdánlivá pórovitost		[%]	20-25	15-25	45-72
Pevnost v tlaku		[MPa]	30-50	20-60	1-7,5
Únosnost v žáru		[^0C]	1650,0	1500-1680	-
Zbytkový křemen		[%]	0,1-5	0,4-16	1,2-3

Materiály pro regenerační komory vanové pece

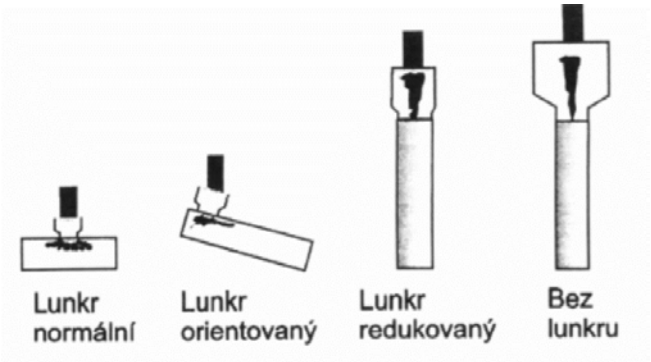
- Využití tepla odcházejících spalin
- Obvykle pracují v páru: jedna se ohřívá spalinami, druhá ohřívá spalovací vzduch (až 1350 °C).
- Obvykle hutný elektrotavený žáromateriál (akumulace) – AZS s nižším obsahem ZrO_2, korund

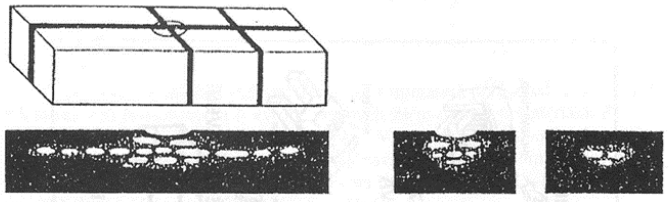


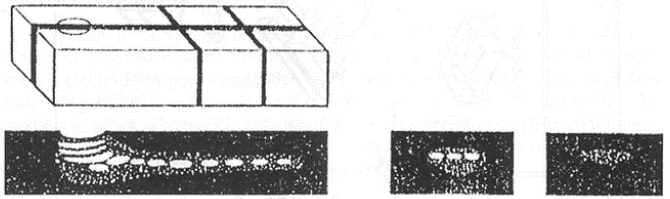
Elektrotavené materiály

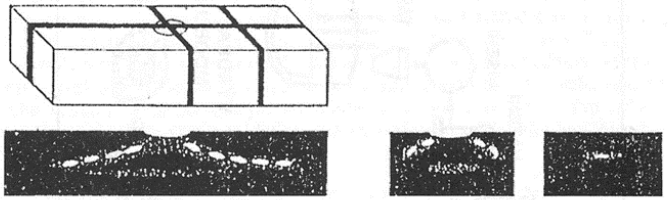
- Taví se při teplotách nad 1800 °C v elektrických pecích → odlévání do pískových (+ pryskyřice) nebo kovových forem.
- Kritické místo: **lunkr**

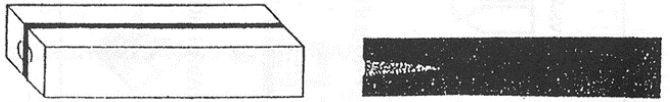
- Korundové.
- Korundo-baddeleyitové tzv. **AZS materiály** (alumina-zirconia-silica)
- AZSC (alumina-zirconia-silica-chromoxid).
- Zirkoničité na bázi ZrO_2
- Aluminium-chromoxid-spinelový typ materiálů s hlavním podílem Al_2O_3, Cr_2O_3, MgO a Fe_2O_3.




Obr.2.-2a. - Normální způsob odlití a umístění lunkru


Obr.2.-2b. - Lití na jedné straně kamene


Obr.2.-2c. - Kámen se zmenšeným lunkrem

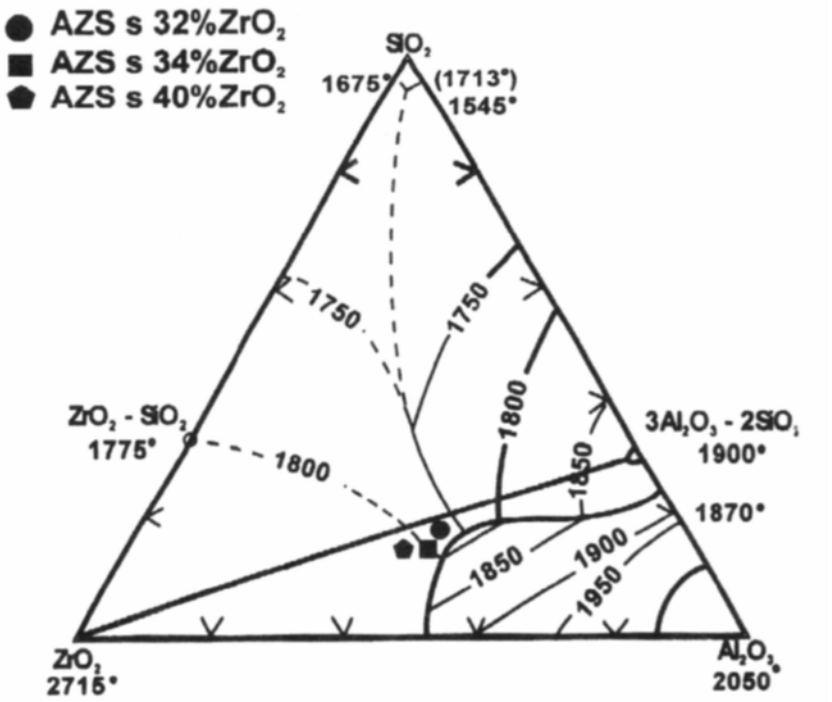

Obr.2.-2d. - Kámen s částečně odříznutým lunkrem

AZS tavené materiály

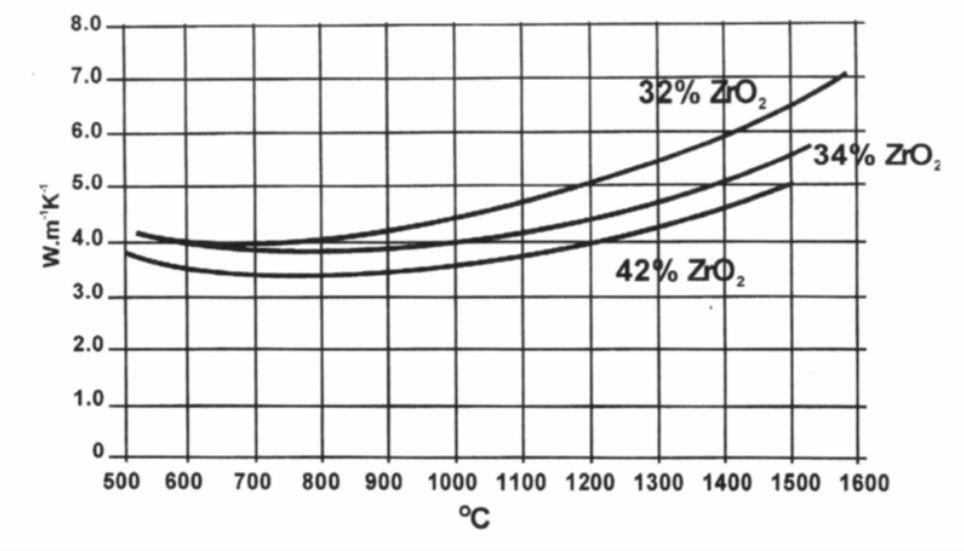
- Výroba z: korund-zirkon $ZrSiO_4$-ZrO_2-tavivo
- Tavení v elektrické odporové peci při cca 2000 °C.
- AZS s 17 – 42 % ZrO_2.

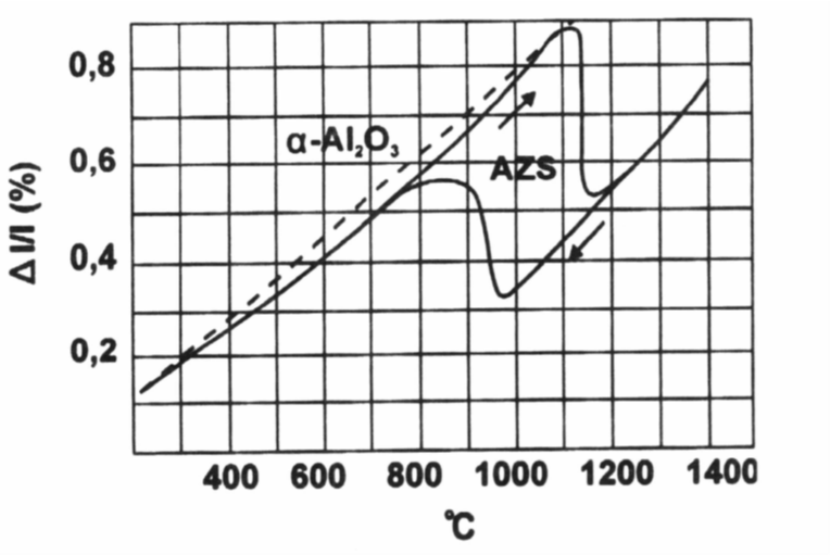
- mineralogicky: korund + vrostlice baddeleitu + skelná fáze

AZS material s obsahem ZrO_2 (%)	Hustota ($kg.m^{-3}$)	Korund (%)	Baddeleyit (%)	Skelná fáze (%)
17	3730	64	15	21
21	3440	46	19	35
32	3850	48	32	20
34	3980	51	34	13
40-42	4100	43	40,5	16,5



Vlastnosti AZS – tepelná vodivost a roztažnost

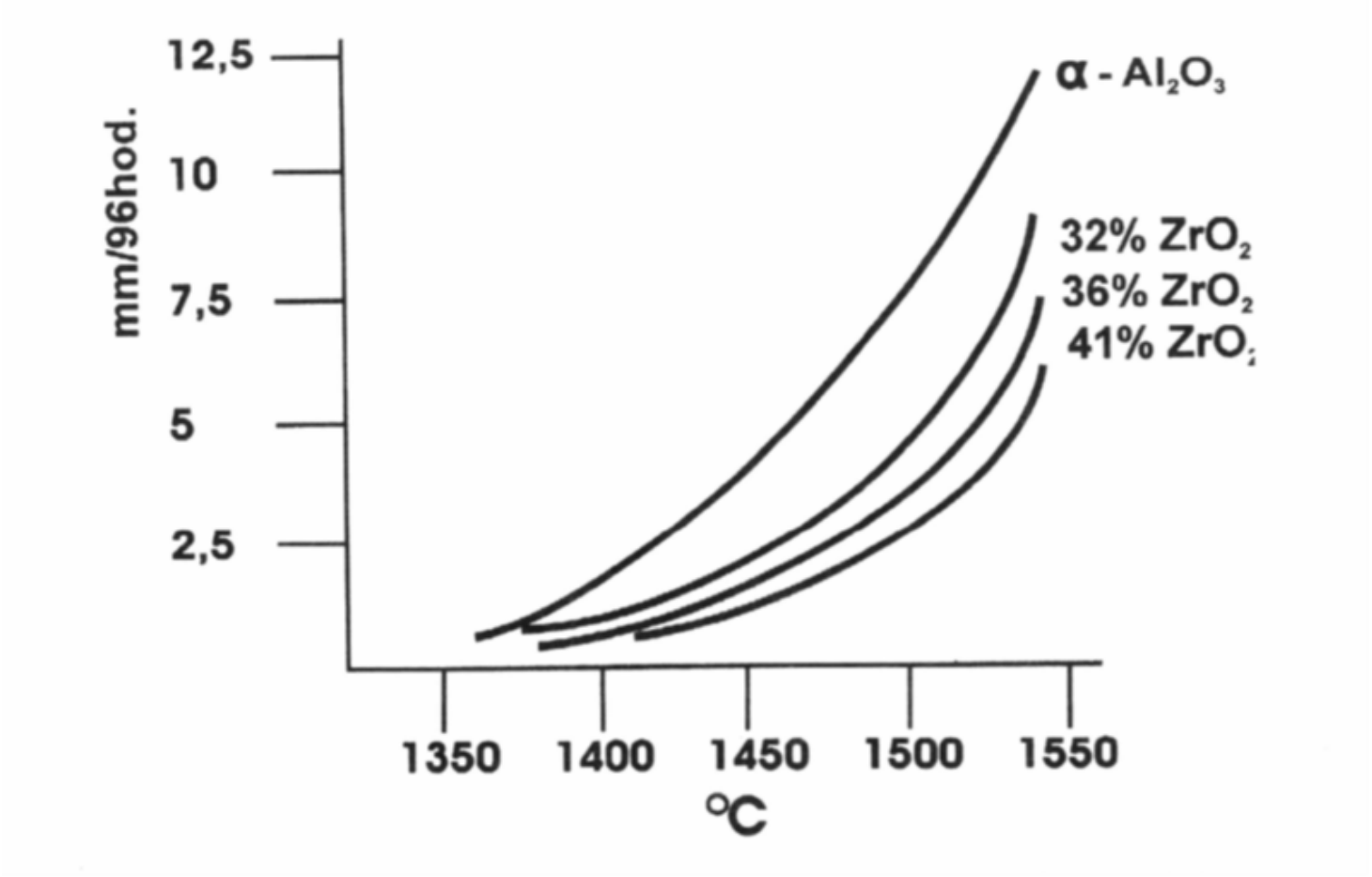




- Monoklinický baddeleit → tetragonální (vratná změna, objem. změna 7 – 9 %)

Vlastnosti AZS – korozní odolnost

- Ponořovací zkouška se sodno-vápenato-křemičitou sklovinou



Výroba AZS v ČR

- EUTIT s.r.o. - EUCOR



SiO_2	13 až 17 %
Al_2O_3	49 až 52 %
ZrO_2	30 až 33 %
Fe_2O_3	~ 0,2 %
TiO_2	~ 0,1 %
CaO	~ 0,2 %
$Na_2O + K_2O$	~ 1 až 2 %
korund	48 až 50 %
baddeleyit	30 až 32 %
skelná fáze	18 až 20 %

pevnost v tlaku	min. 300 MPa (ČSN EN 993-5)
tvrdost podle Mohse	min. 9. Stupeň (ČSN EN 101)
použití trvale	do 1000 °C, krátkodobě až do 1100°C
vysoká chemická odolnost	
odolnost proti opotřebení	max. úbytek 30 mm^3 (ČSN EN ISO 10545-6)
pórovitost skutečná	10 % (ČSN EN 993-1)
odolnost proti teplotním šokům	min. 20 cyklů 950/20 °C (DIN 51068-1)
pevnost v ohybu	min. 50 MPa (ČSN EN 993-6)
objemová hmotnost	3500 $kg.m^{-3}$ (ČSN EN 993-1)

Zirkoničité tavené materiály

- Na bázi jednoklonného ZrO_2 + tavivo
- Tavení v elektrické odporové peci nad 2000 °C.
- 93 - 94 % ZrO_2, 0,6 – 1,1 % Al_2O_3, 4,0 – 4,8 % SiO_2, 0,3 – 0,5 % Na_2O

- mineralogicky: ZrO_2 + skelná fáze (6 %)
- Objemová hmotnost 4250 – 5300 $kg.m^{-3}$
- hustota 5420 $kg.m^{-3}$, zdánlivá pórovitost 1 %, pevnost v tlaku 350 - 500 MPa, pevnost v ohybu 90 MPa, trvalá délková změna 0,4 %, únosnost v žáru > 1750 °C,
- 5 x dražší než AZS – dna bazénů pro olovnatou sklovinu, TV skla

Relativní porovnání korozní odolnosti AZS materiálů v různých typech sklovin

Materiál	**Typ skloviny při teplotě 1550 °C**			
	Borito-křemičitá	**Opálová**	**Olovnatá**	**TV**
AZS 32 % ZrO_2	100	100	100	100
AZS 40 % ZrO_2	130	130	130	130
Z 95 % ZrO_2	520	260	170	170

Korundové tavené materiály

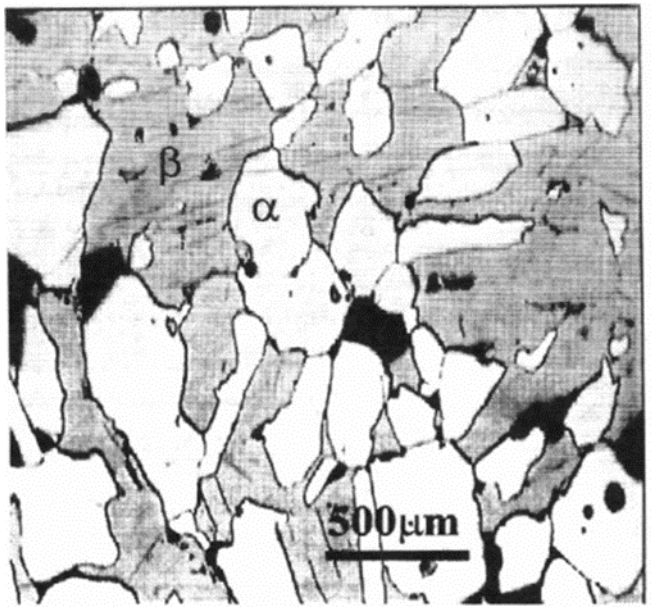
- Podle obsahu hlavni modifikace korundu: α+β korundové materiály, β-korundové a β''-korundové materiály.

1. **α+β korundové materiály:**

- Chemické složení: 95 % Al_2O_3, 4 % Na_2O, 0,5 % SiO_2 a zbytek nečistoty CaO, TiO_2, Fe_2O_3.
- Mineralogické složení: 53 % β-korund, 45 % α-korund, 2 % skelné fáze.

– α-korund nepravidelný tvar, v dopadajícím světle na nábrusu větší reflexe bez póru x β-korund není čistý korund, ale sloučenina $Na_2O.11Al_2O_3$ (tabulky s póry ve formě lamel).

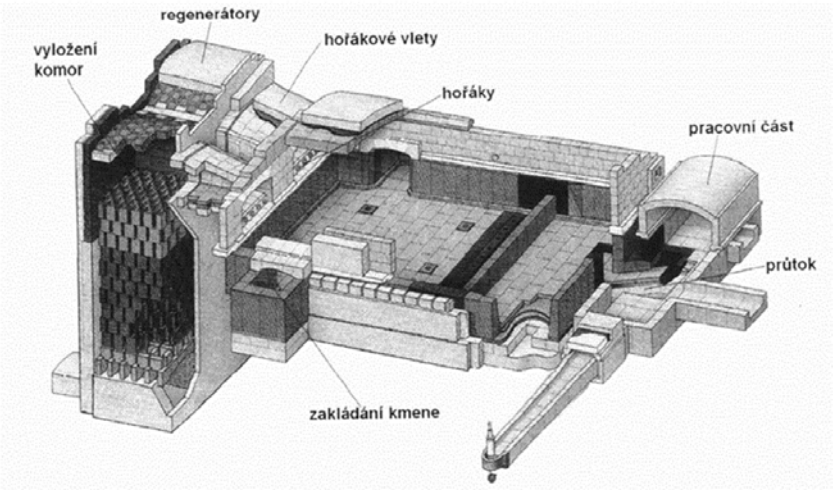
- Hustota 3540 $kg.m^{-3}$, skutečná pórovitost cca 3 %, pevnost v tlaku 200 MPa, únosnost v žáru > 1750 °C



Korundové tavené materiály

2. α-korundové materiály:

- Nižší korozní odolnost než AZS nad 1370 °C – styk se sklovinou mimo tavicí část (sejití).

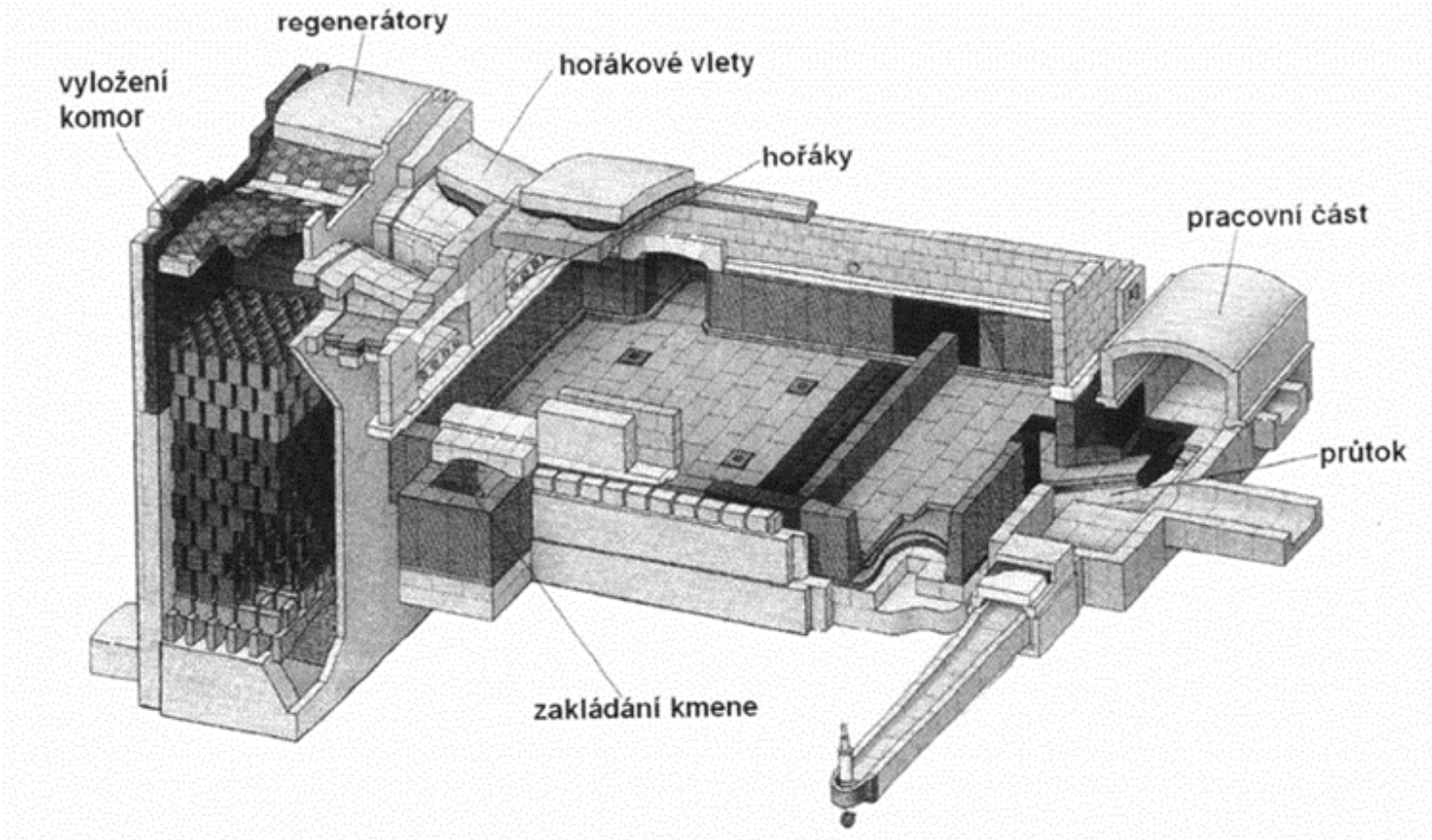


3. β-korundové materiály:

- Chemické složení: 92 - 94,5 % Al_2O_3, 7 % Na_2O.
- Mineralogické složení: β-korund, skelná fáze téměř žádná.
- Měrná hmotnost: 3260 $kg.m^{-3}$, díky pórovitosti β-korundu vyšší pórovitost odlitého materiálu. Pevnost v tlaku 200 MPa, únosnost v žáru > 1750 °C
- vrchní stavba v oblasti čeření a pracovní části (nestéká do skloviny žádná skelná fáze).

4. β"-korundové materiály:

- 7,7 % MgO a 4,5 % alkálií - pro horní řady mřížoví regeneračních komor.



Chrom-korundové tavené materiály

- Vysoká korozní odolnost (max.) x barvicí schopnost CrO_2
- Výroba vláken.

1. Chromspinelové materiály:

- 60 % komplexní spinel (Mg, Fe)O.(Cr, Al, Fe)$_2O_3$ obklopen cca 35 % sekundární fází (Cr, Fe, Al)$_2O_3$. Skelná fáze do 5 %.
- Chemické složení: 75 % Cr_2O_3, 8,5 % Al_2O_3, 8,5 % MgO, 6 % FeO, 2 % SiO_2, alkálie 0,2 %, ostatní 0,6 %.
- Objemová hmotnost 4170 - 4250 kg.m^{-3}, PZ< 10 %.

2. Chromkorundové materiály:

- tuhý roztok zv. Rubín + komplexní spinel (Mg, Fe)O.(Cr, Al, Fe)$_2O_3$, skelná fáze do 1 %. Objemová hmotnost 3830 kg.m^{-3}.