

Speciální keramika

(Technologie výroby, vlastnosti a zkoušení výrobků stavební keramiky)

doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

Ústav technologie stavebních hmot a dílců (UTHD)

Osnova přednášek:

1. Keramické obkladové prvky
2. Kamenina
3. Zdravotnická keramika
4. Porcelán, hořčnatá keramika
5. Glazury
6. Tvarové žárovzdorné materiály
7. Netvarové žárovzdorné materiály
8. Cihlářství

1. Keramické obkladové prvky

= tenkostěnné výrobky používané pro dlažby (dlaždice), obklady stěn a fasád (obkládačky) z jílu a/nebo anorganických surovin (glazované nebo neglazované = režné).



- **Keramická obkládačka** - obklady stěn. **Obkládačka pórovinová** = plochý, tenkostěnný a glazovaný keramický obkladový prvek (výrobek) s nasákavostí nad 10 %, nižší pevnost a minimální mrazuvzdornost → výhradně k obkladům stěn nevystavených povětrnostním vlivům.
- **Keramická dlaždice** – vyšší odolnost proti mechanickému namáhání, příp. i mrazu.

1.1. Keramické obkladové prvky - dělení

- Dělení (ČSN EN 14411): podle nasákavosti (mrazuvzdornost, mech. odolnost) a způsobu výroby (rozměrové tolerance)

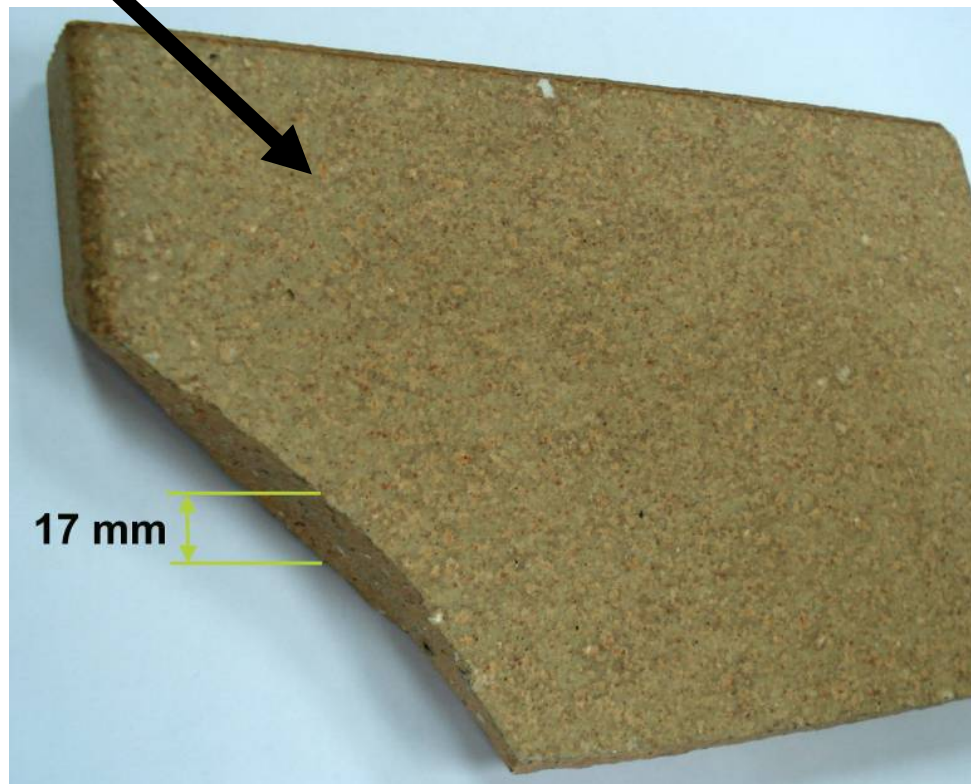
Tech. výroby	Nasákavost E (%)			
	Skupina I E ≤ 3%	Skupina IIa 3% < E ≤ 6%	Skupina IIb 6% < E ≤ 10%	Skupina III E > 10%
Tažené	Ala (E ≤ 0,5 %) Alb (0,5 % < E ≤ 3 %)	Alla _(1,2)	Allb _(1,2)	Alll
Lisované	Bla (E ≤ 0,5 %)	BIIa	BIIb	BIII
	BIIb (0,5 % < E ≤ 3 %)			

B – Lasselsberger s.r.o. (RAKO, CHKZ, HOB)

A – kameninové dlaždice (PKZ – užitková keramika, Natural Keramika – Alla)

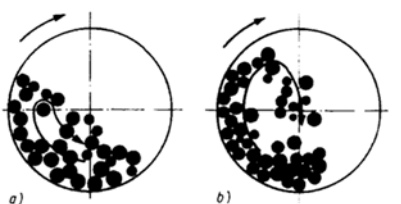
Pozn. Objemy světové produkce KOP

- **ČR** (celkem 32 mil. m²) - BIII 14,0 mil. m², Bla 7,5 mil. m² (neglazované) + 3,5 mil. m² (glazované), Blb 4,7 mil. m² (glazované), Alla 1580 tun (tj. cca 20 tis. m²)
- **Čína**: 2500 mil. m²
- **Španělsko**: 656 mil. m²
- **Itálie**: 570 mil. m² ...
- **Polsko**: 108 mil. m²
- **Německo**: 62 mil. m²

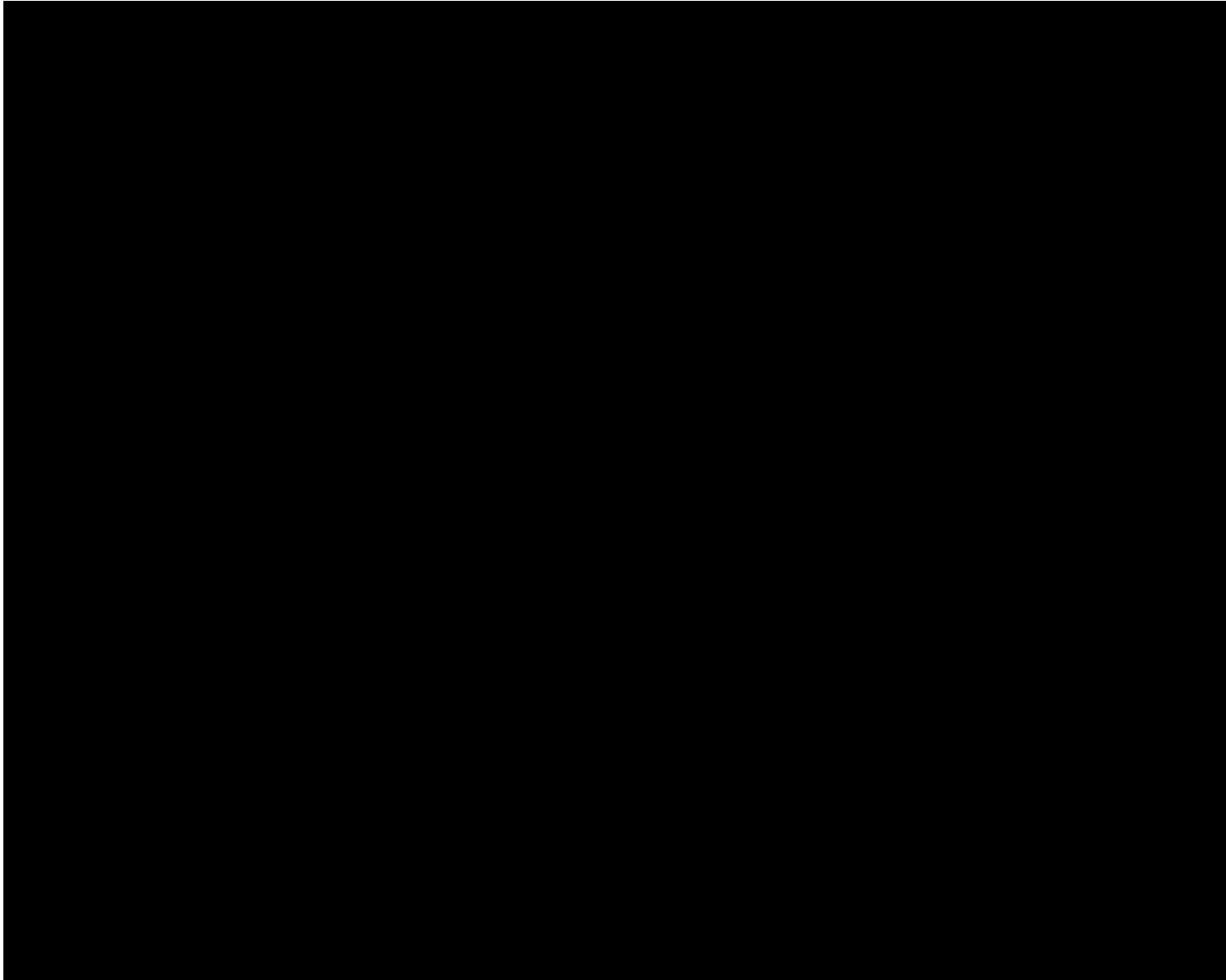


1.2. Technologie výroby KOP - B

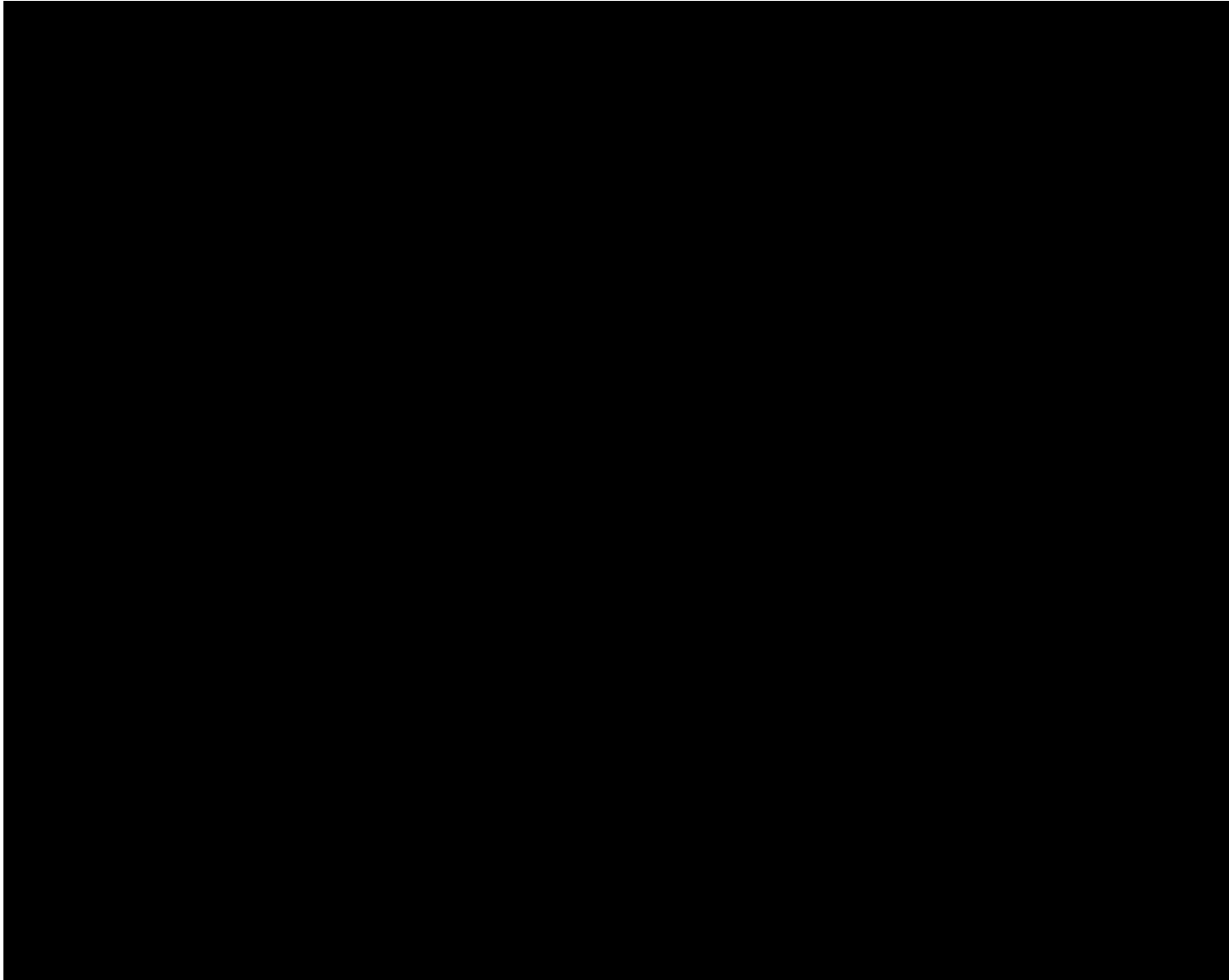
1. Pomletí surovin v kulovém mlýně za mokra (zbytek na síť 0,063 mm 0,5 - 4 %), ztekucení (LH = 1700 g.l⁻¹ = obsah sušiny nad 65 %).
2. Rozprachová sušárna – rozprachový granulát (w = 5 – 6 %, 80 % částic nad 0,1 mm).



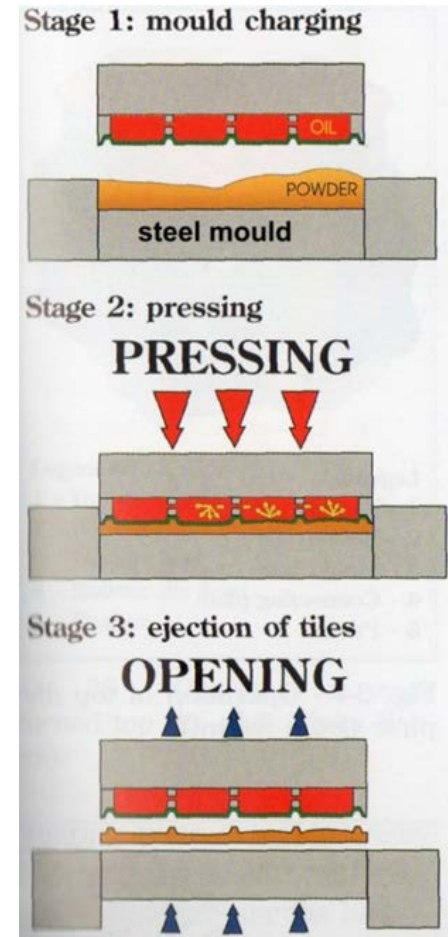
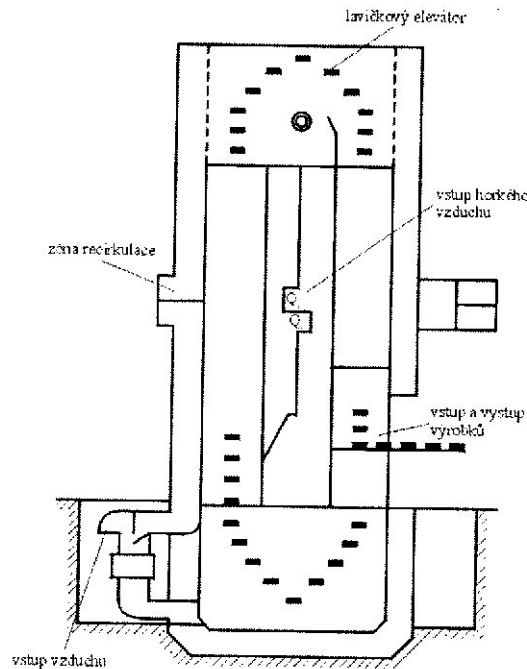
Mletí v bubnových mlýnech



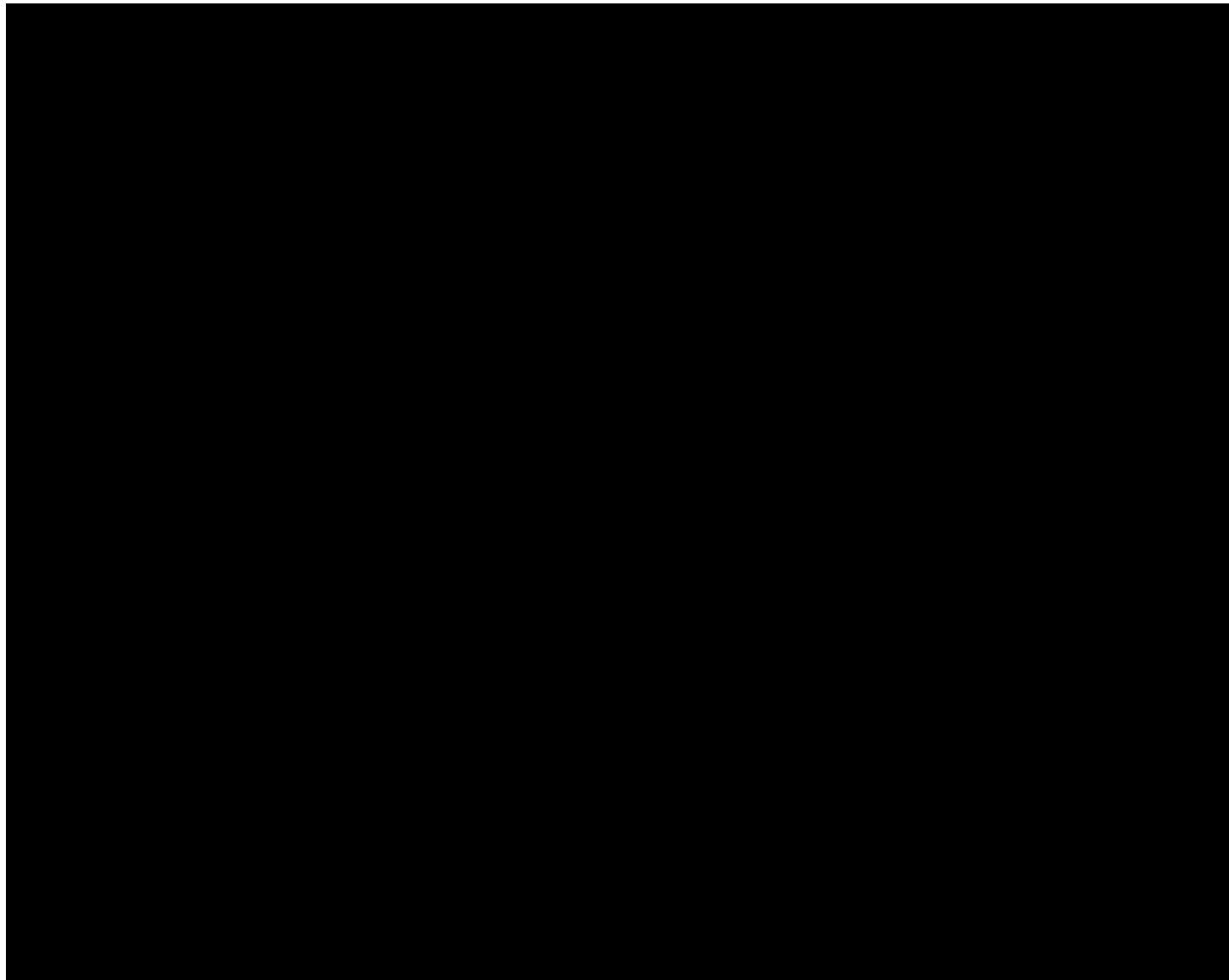
Rozprachová sušárna



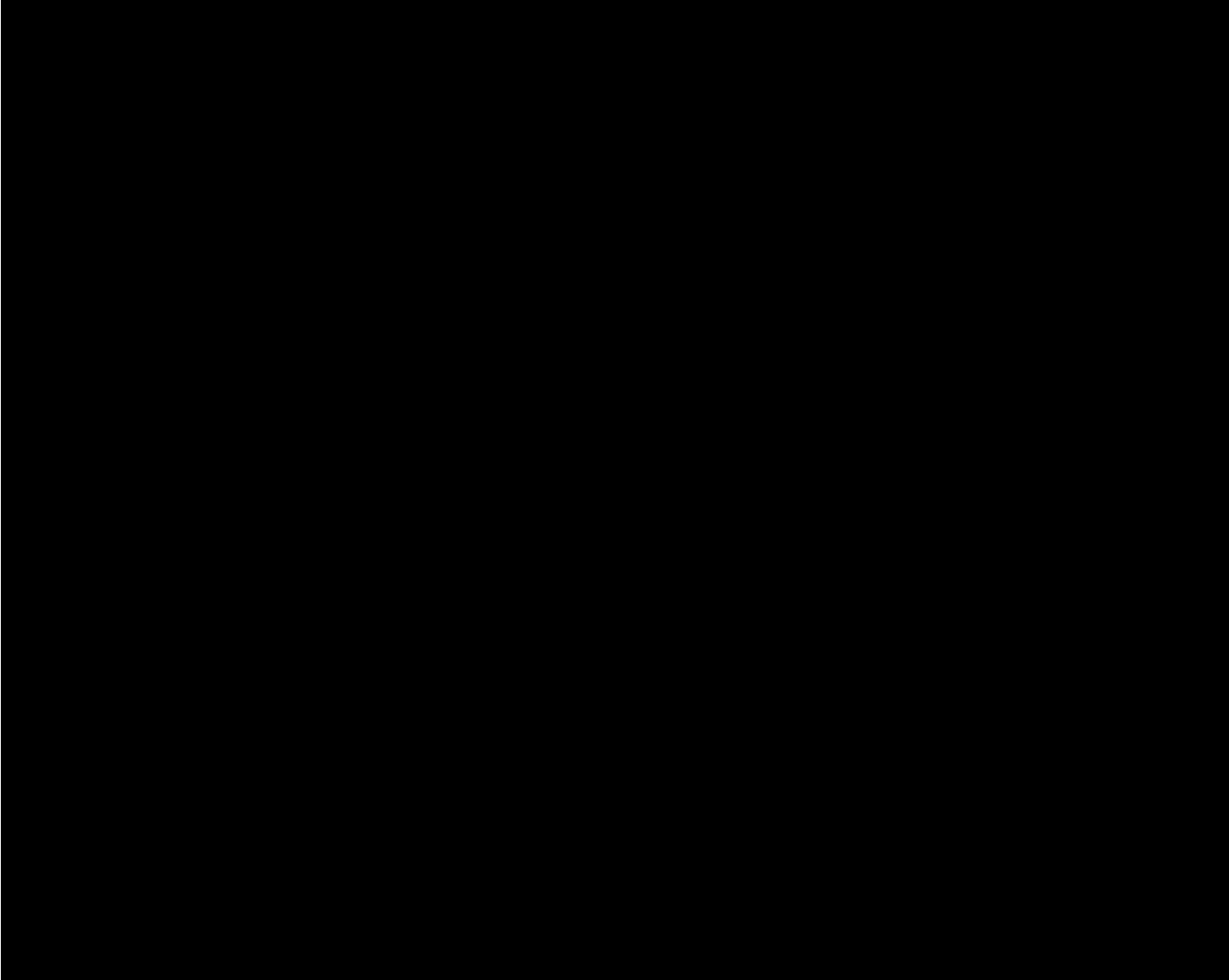
3. Zásobní síla – homogenizace (vlhkost).
4. **Pístové lisování** do kovových forem (25 – 40 MPa).
5. (Glazování – nutná engoba, u dvoužáru po výpalu).
6. Sušení – **lavičková sušárna**.
7. Výpal – válečková pec BI – 1170 °C (cca. 60 min), BIII - 1130 °C (cca. 45 min) x dvoužár (tunelová, cca. 45 hodin, teplota cca. – 50 °C).
8. (Leštění, řezání geometrické mozaiky).
9. Třídění a expedice.



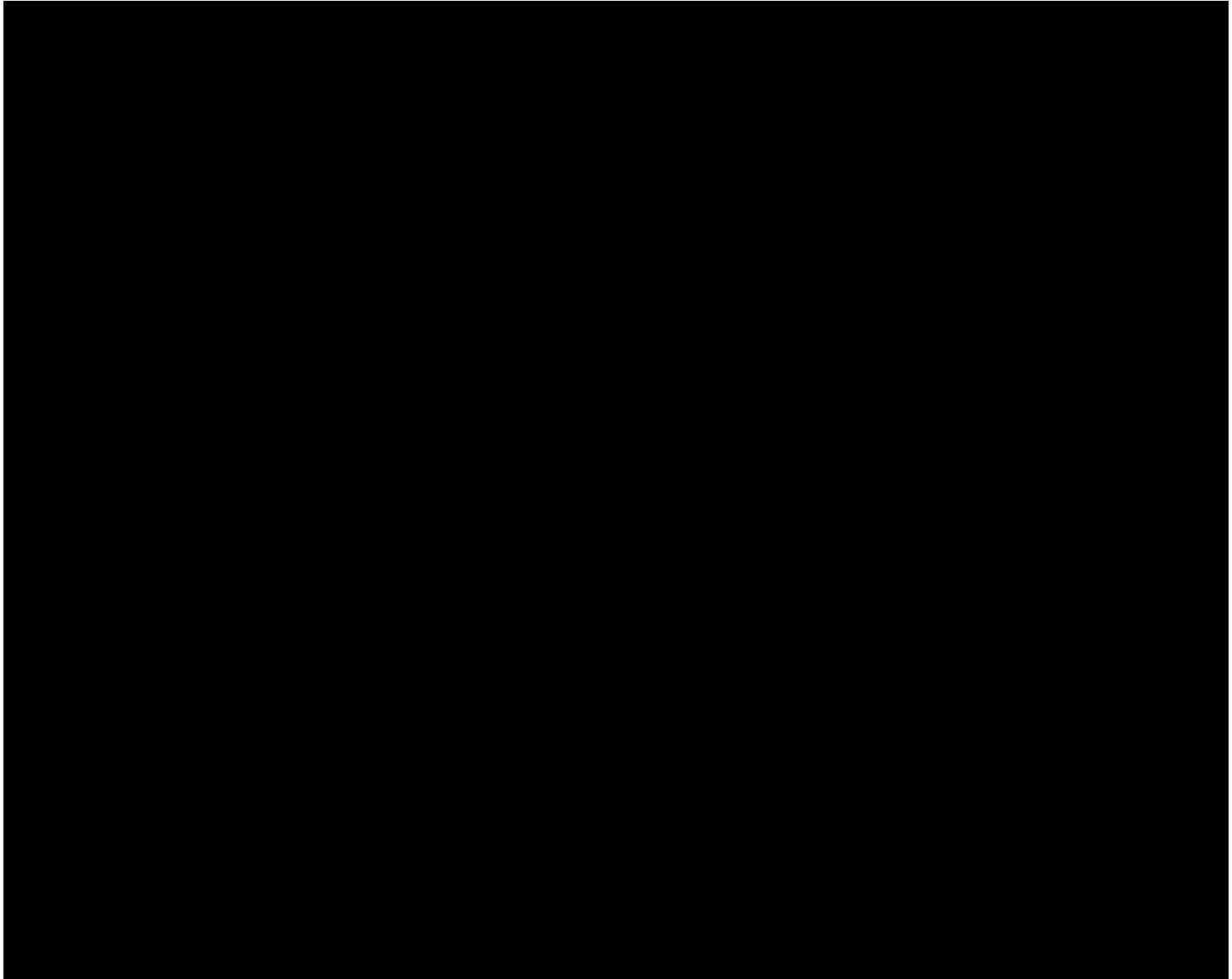
Lisování



Glazování



Výpal



1.3. Pórovinové obkládačky (BIII)

- Tl. střepu 5 – 8 mm (podle formátu)
- Vždy glazované (tl. 0,1 – 0,2 mm)
- U nás bělostřepé (x Itálie, Španělsko)
- Dříve: 40 – 50 % jílu + 42 -55 % křemen + 3 – 5 % živec (dvoužárová technologie) ⇒ vysoké smrštění výpalem (kalibrace před glazováním)
- Dnes: pórovinové jíly (vazné jíly) + křemen + vápenec (dolomit) + kaolin + (živec) – jednožárová technologie ⇒ minimální rozměrové změny během výpalu

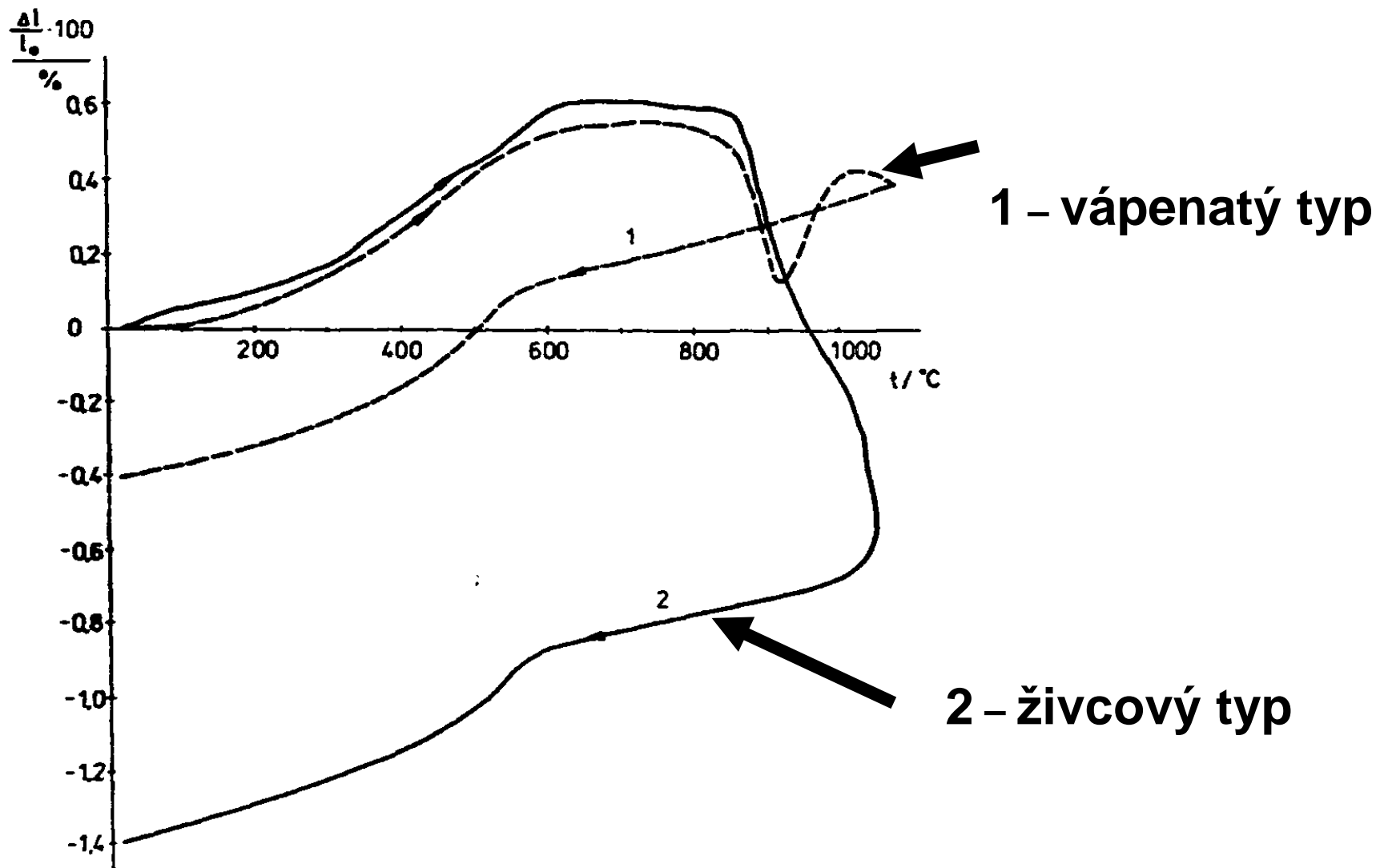
Surovinové složení [%]		Racionální složení [%]	
Pórovinové křemičité jíly	35 - 60	Kaolinit	32 - 38
Živec	0 - 10	Křemen	35 – 40
Kaolin surový + plavený	25 – 35	Živec	9 – 12
Vápenec, dolomit	6 - 10	Kalcit	14 - 16
Střepy	2 - 10		

Pozn. Pórovinové jíly - požadavky

Vybrané vlastnosti		Požadavek max-min	Skupina	Třídy			
				1	2	3	4
Bělost [%]		min	A	75	70	60	50
Obsah Fe ₂ O ₃ [%]		max	A	1	1,5	2	-
Obsah TiO ₂ [%]		max	A	0,4	0,8	1,2	1,6
Vaznost [%]		min	A, B	60	30	10	-
Nasákavost - výpal 1250 °C [%]		min	A, B	19	12	8	2
Smrštění pálením [%]		max	A, B	6	12	15	-
Zrnitost [%]	> 2 mm	max	A, B	0	0	0	0
	> 0,09 mm			2	2 (5)	2 (10)	-
	> 0,063 mm			10	20 (10)	- (20)	-
A - bělninové pórovinové jíly (bíle se vypalující), B - jíly pro barevnou pórovinu							

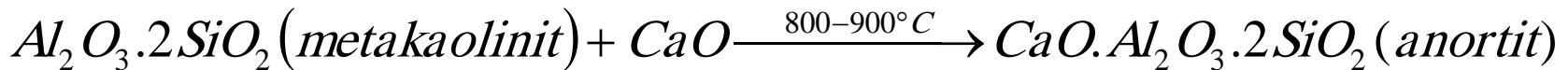
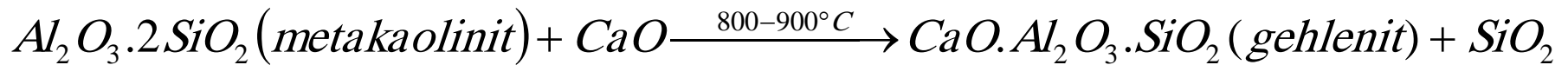
Jíly IB, IBV, IBN, (Pluto, NeroF, NeroO – zvýšený obsah lignitických látek zvyšujících bělost střepeu po výpalu)

Pozn. Délkové změny vápenatého pórovinového střepu v závislosti na teplotě (DKTA)



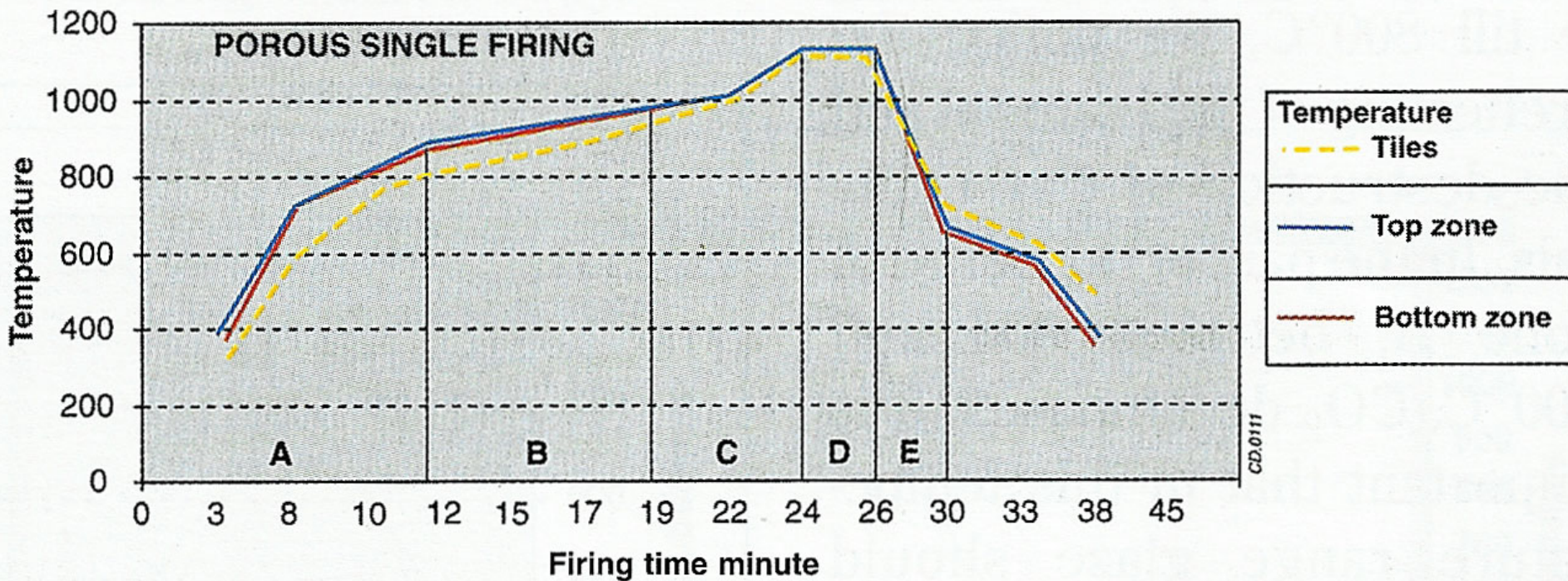
1.3.1. Reakce ve střepu při výpalu

- Vznik gehlenitu a anortitu je spojen s nárůstem objemu \Rightarrow kompenzace smrštění při slinování střepu



- Dvoužár: ostřiva - vápenec, dolomit, křemen
- Jednožár: méně plynatvorných ostřiv nebo ostřiv podléhajících modifikačním přeměnám, na bázi MgO – zvyšuje odolnost proti změnám teploty (rychlý výpal) – mastek $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$, diopsid $CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$, spinel $MgO \cdot Al_2O_3$, forsterit $2MgO \cdot SiO_2$, wollastonit $CaO \cdot SiO_2$, ackermanit $2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$

Pozn. Pálicí křivka ve válečkové peci



A – rozklad jílových minerálů, B – odplyňovací zóna (CO₂), C – počátek vzniku nových fází, D – stabilizace nově vzniklých fází a vznik taveniny, E – prudké chlazení

BIII – výpal 1100 – 1130 °C, pec 80 m, průjezd 34 min, rychlost posunu 2,3 m/min

Bla – výpal cca 1200 °C – délka výpalu 49 min, rychlost posunu 1,92 m/min

1.4. Dlaždice (Bla, Blb)

- Nasákavost do 3 %, tl. střepu 6 – 11 mm,
- Surovinová směs: více taviv \Rightarrow kameninové jíly 55 %; živce, znělec 33 %, vypálené střepy 12 %
- Chemické složení po výpalu: 70 % SiO_2 ; 21 % Al_2O_3 ; 1,9 % Fe_2O_3 ; 0,8 % TiO_2 ; 0,3 % CaO ; 0,3 % MgO ; 2,9 % K_2O ; 2,7 % Na_2O
- Technologie výroby - dtto BIII – lisovací tlak 30 – 40 MPa, výpal 50 – 70 minut při teplotách nad 1150 °C, vysoce slinuté dlaždice (Gress Porcellanato) velmi jemné mletí – do 0,5 % částic pod 0,063 mm

Výroba mozaiky



Řezaná mozaika



Leštění

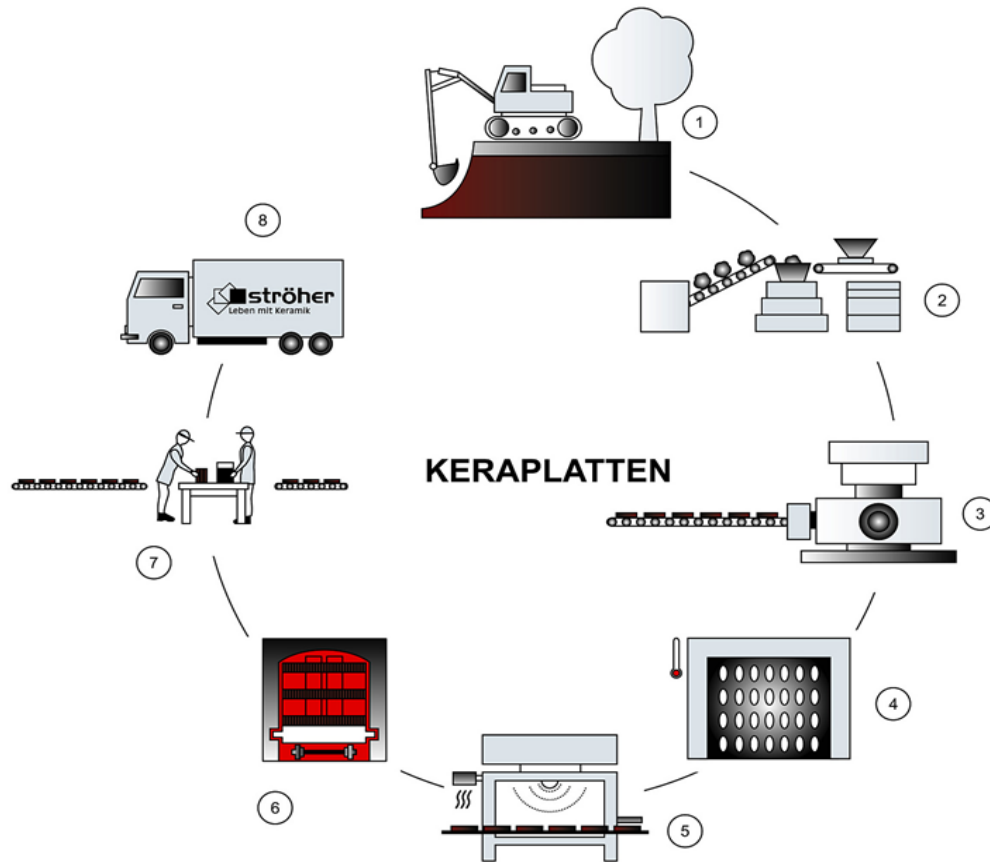


Třídění a expedice



1.5. Technologie výroby KOP - A

- Cihlářská technologie – tažení na šnekových lisech
- Kameninové jíly + ostřivo + (živec)
- Často tzv. rozpojované KOP



1-těžba surovin

2-příprava těsta

3-tažení

4-sušení

5-glazování

6-výpal (1160 – 1200 °C)

7-expedice

Výroba tažených KOP

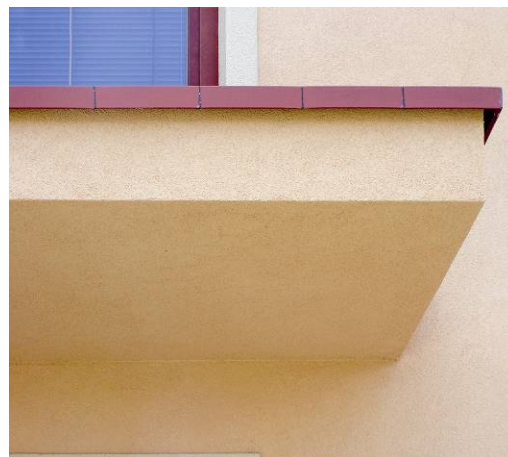
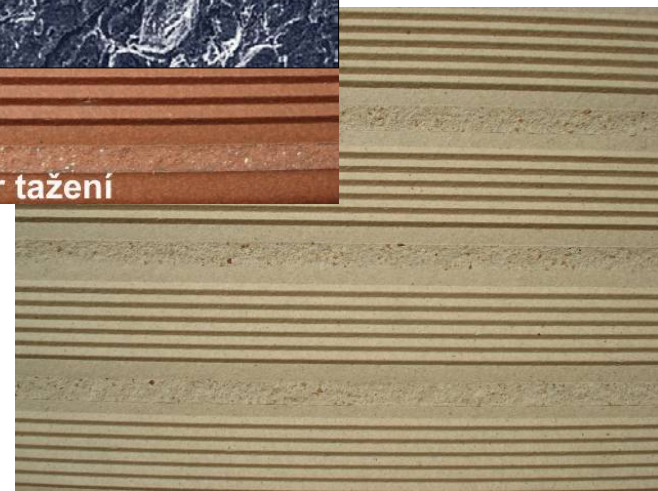
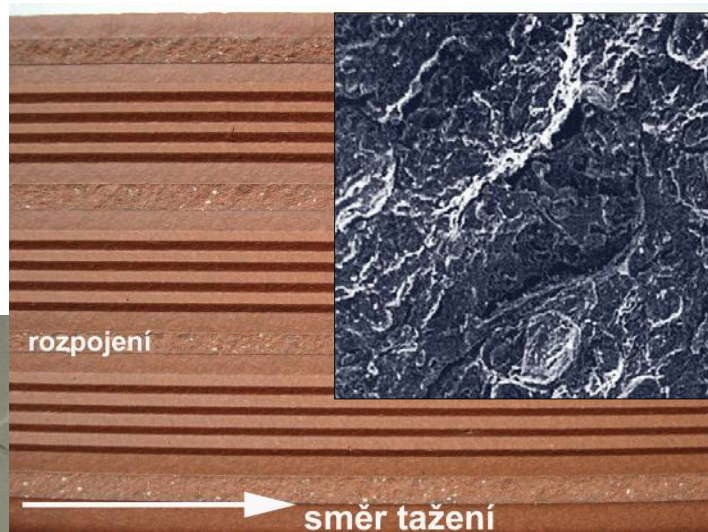
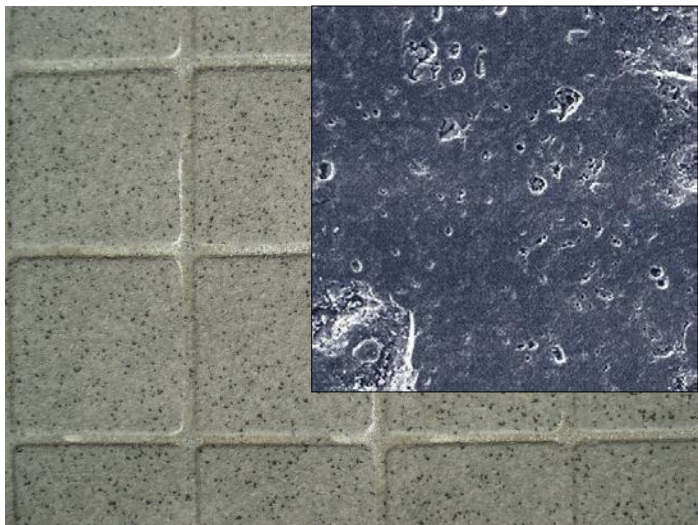


1.6. Vlastnosti a zkoušení KOP

Vlastnosti		BIa	BIb	BIa	BIb	BIII
Nasákavost [%]	průměr jednotlivě	$\leq 0,5$ Max. 0,6	0,5 - 3 Max. 3,3	3 - 6 Max. 6,5	6 - 10 Max. 11	$> 10^2$ Min. 9
Pevnost v ohybu [MPa]	průměr jednotlivě	≥ 35 Min. 32	≥ 30 Min. 27	≥ 22 Min. 20	≥ 18 Min. 16	$\geq 15^1$
Lomové zatížení (tl. $\geq 7,5$ mm) [N]		1300	1100	1000	800	600
Odolnost proti vlivům mrazu		ano	ano	Přípustný zkušební postup		

Vlastnosti		AIa	AIb	AIa ₁₍₂₎	AIb ₁₍₂₎	AIII
Nasákavost [%]	průměr jednotlivě	$\leq 0,5$ Max. 0,6	0,5 - 3 Max. 3,3	3 - 6 Max. 6,5	6 - 10 Max. 11	$> 10^2$ Min. 9
Pevnost v ohybu [MPa]	průměr jednotlivě	≥ 28 Min. 21	≥ 23 Min. 18	$\geq 20(13)$ Min. 18 (11)	$\geq 17,5 (9)$ Min. 15(8)	≥ 8 Min. 7
Lomové zatížení (tl. $\geq 7,5$ mm) [N]		1300	1100	950(800)	800(750)	600
Odolnost proti vlivům mrazu		ano	ano	Přípustný zkušební postup		

Tažené vs. lisované KOP

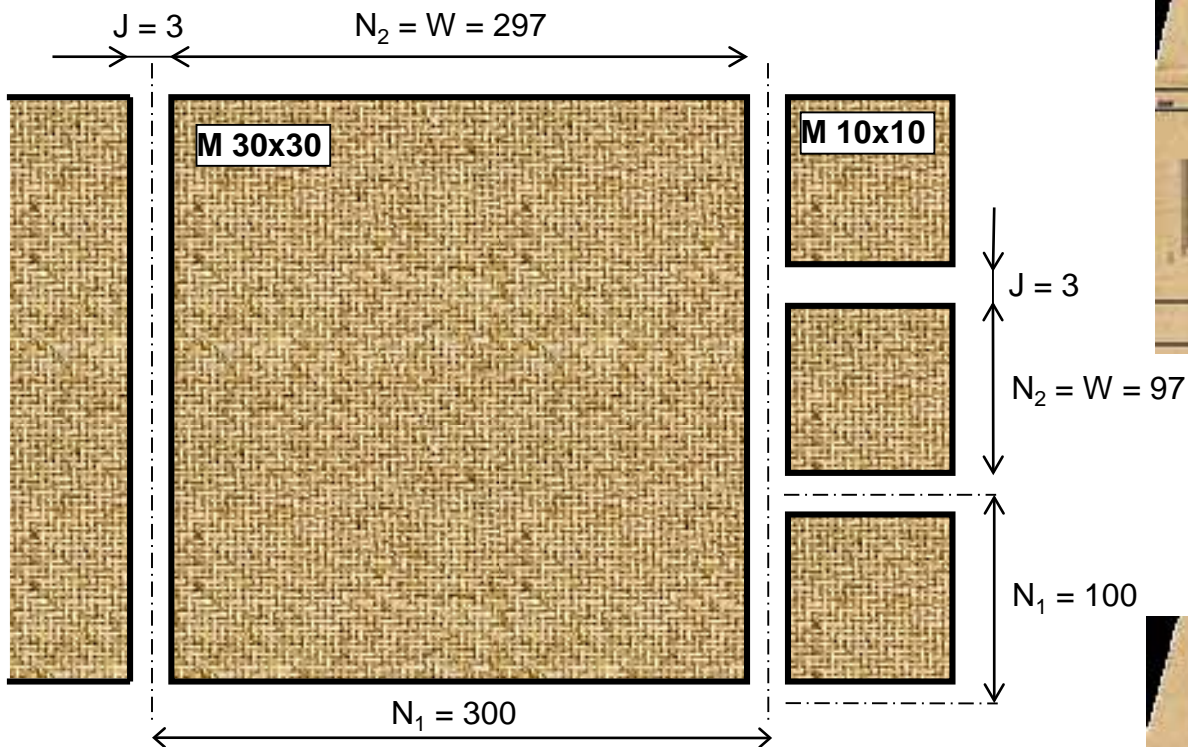


1.6. Vlastnosti a zkoušení KOP

- **Mrazuvzdornost ČSN EN ISO 10 545 – 12: nízká nasákavost – 100 cyklů – 5 °C + 5 °C,**
- **Nasákavost ČSN EN ISO 10545 – 3: varem 2 hodiny nebo vakuum 10 kPa**
- **Pevnost v ohybu, lomové zatížení – ČSN EN ISO 10545-4**
- **Odolnost proti náhlým změnám teploty – ČSN EN ISO 10545-9: 10x střídání + 15°C a + 145 °C,**
- **Vlhkostní nárůst – ČSN EN ISO 10545-10,**
- **Souč. délkové teplotní roztažnosti – ČSN EN ISO 10545-8,**
- **Odolnost proti vzniku vlasových trhlin – ČSN EN ISO 10545-11 (glazované KOP).**
- **Odolnost proti chemikáliím**

1.6.1. Označování a rozměry KOP

- Příklad označení: Bla M 25 cm x 12,5 cm (W 240 mm x 115 mm x 10 mm) GL



Rozměry KOP – jmenovitý modulový $N_1 = W + J$, jmenovitý nemodulový $N_2 = W$, deklarovaný W , šířka spáry J

Pozn.1: Rozměrové tolerance A vs. B

	BIII		AIII	
	$l \leq 12 \text{ cm}$	$l > 12 \text{ cm}$	přesné	ostatní
Délka a šířka			$\pm 2,0 \%$	$\pm 2,0 \%$
	$\pm 0,75 \%$	$\pm 0,5 \%$	Nejvýše $\pm 2 \text{ mm}$	Nejvýše $\pm 4 \text{ mm}$

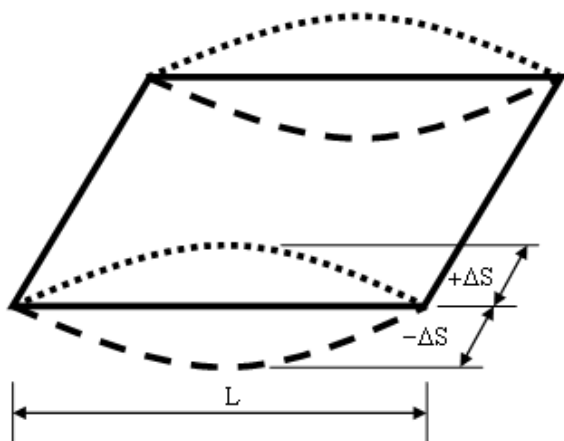
Pozn.2: Rovinnost dlaždic vs. dlažby

B: $\pm 0,5 \%$ z délky hrany L .

Ala, Alb a Alla: $\pm 0,5 \%$ (přesné), $\pm 1,5 \%$ (ostatní).

Allb: $\pm 1,0 \%$ (přesné).

ČSN 74 4505 „Podlahy – společná ustanovení“ -
Mezní rozdíly ve výškové úrovni hran sousedních
dlaždic: **max. 2 mm.**





1.6.2. Obrusnost (stanovení odolnosti proti opotřebení)

- Schopnost **neglazovaného** KOP odolávat abrazivním účinkům.
- Stanovuje se objem obroušeného střepu při zkoušce v mm^3

Skupina	BI(a,b)	BIIa	BIIb	AI	AIa	AIb	AIII
OB max.	175	345	540	275	393 (541)	649 (1062)	2365

- Obytné místnosti max. 540 mm^3 x restaurace max. 345 mm^3

1.6.3. Otěruvzdornost (stanovení odolnosti proti povrchovému opotřebení)

- Schopnost **glazovaných** KOP odolávat abrazivním účinkům
- Hodnota odolnosti proti otěru – stupeň PEI – škála 1 (nejhorší) až 5 (nejlepší) – ČSN EN ISO 10 545 - 7
- Doporučení: PEI 1-3 do interiérů, kde není možnost působení abraze, PEI 4-5 bez většího omezení

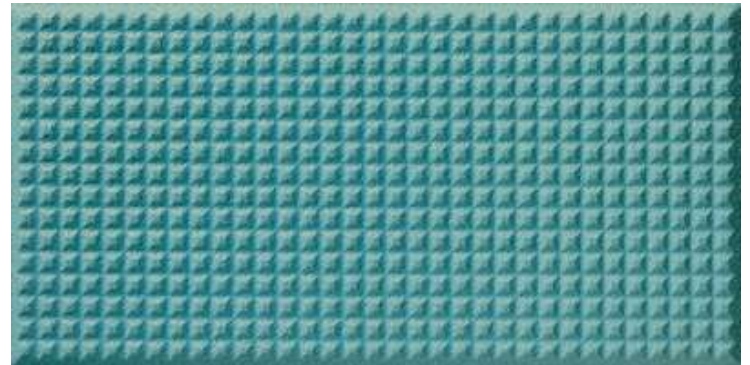


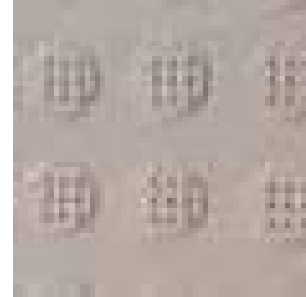


1.6.4. Protiskluznost

Protiskluznost dlažeb podle ČSN 74 4507 – podle koeficientu tření μ_{cr}		
$\mu_{cr} \geq 0,3$	pro vodorovné plochy bez působení vnějších sil při běžné chůzi	
$\mu_{cr} \geq 0,6$	pro okraje schodů (ostatní plocha schodu a podesta $\mu_{cr} \geq 0,2$)	
$\mu_{cr} \geq 0,3 + \text{tg } \alpha$	pro nakloněnou rovinu pod úhlem α	
Protiskluznost keramických prvků podle ČSN 72 5191 – metody A, B, C, D		
Metody A+B – třídy T1 až T4; Metoda D – třídy K1 až K4		
Třída T1 (K1)	Povrch extrémně nebezpečný - $\mu_s(\mu_d) \leq 0,20$ (D \leq 25 výchylka kyvadla)	
Třída T2 (K2)	Povrch nedostatečně bezpečný - $0,20 < \mu_s(\mu_d) \leq 0,40$	
Třída T3 (K3)	Povrch bezpečný - $0,40 < \mu_s(\mu_d) \leq 0,75$	
Třída T4 (K4)	Povrch velmi bezpečný - $\mu_s(\mu_d) > 0,75$ (D > 65 výchylka kyvadla)	
Metoda C - pro pracovní plochy (pracovní obuv) = DIN 51130		
<i>Třídy</i>	<i>Úhel kluzu</i>	<i>Příklad užití</i>
R10	10°-19°	sklady, malé kuchyně, sanitární prostory, garáže
R11	20°-27°	kuchyně škol, mycí linky, prádelny, brusírny, letištní haly
R12	28°-34°	velkokuchyně, pracovní jámy, mlékárny, hasičské zbrojnice
R13	$\geq 35^\circ$	rafinérie tuků, koželužny, jatka, výroba uzenin
Metoda C - pro plochy, kde se chodí bosou nohou = DIN 51097		
<i>Třídy</i>	<i>Úhel kluzu</i>	<i>Příklad užití</i>
A	12°-17°	chodby, převlékárny
B	18°-23°	sprchy, ochozy, brouzdaliště, schody
C	≥ 24	schody pod vodou, šikmé okraje bazénů

1.6.4. Protiskluznost - dlaždice





SR2 SR4
SR7 SR20

	Metoda A		Metoda B		Metoda C			Metoda D	
	sucho	mokro	sucho	mokro	R	V	(A,B,C)	sucho	mokro
Lasselsberger - Série Taurus (BIa)									
SR2	0,77	0,61	0,86	0,75	R12	V4	B	76	66
SR4	0,76	0,61	0,76	0,71	R12	V4	C	73	70
SR7	0,69	0,56	0,73	0,60	R11		B	62	41
SR20	0,76	0,65	0,77	0,66	R13	V8	C	80	75
Lasselsberger - Série Pool (BIb)									
hladký	0,80	0,76	0,86	0,83			B	74	64
relief	0,91	0,88	0,97	0,85			C	88	82
Natural keramika - kameninová dlaždice (AIIa)									
	0,93	0,85	0,84	0,76	R11		B		

V–výtlačný prostor [$\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-2}$] = objem prohlubní reliéfu k ploše dlaždic (V4, V6, V8, V10)
BGR 181 – vnější vstupy do budov – R11 nebo R10 V4

1.6.5 Odolnost proti tvorbě skvrn

- ČSN EN ISO 10545-13
- skvrnotvorné látky zanechávající stopu (zelená Cr_2O_3 v oleji a červená Fe_2O_3 v oleji), s chemickým (oxidačním) působením (jód v alkoholu) a filmotvorné látky tvořící skvrny (olivový olej).
- Cca tři kapky se nanesou na povrch, rozetřou se do kruhu asi 30 mm a nechají se působit 24 hodin.

Třída 5	skvrna zmizí po 5 minutách pod tekoucí horkou (55 ± 5 °C) vodou
Třída 4	skvrna zmizí po působení čistícího prostředku se slabým účinkem ($\text{pH} \leq 7,5$, bez brusiva)
Třída 3	skvrna zmizí po působení čist. prostředku se silným účinkem ($\text{pH} \in (9;10)$, bez brusiva)
Třída 2	skvrna zmizí po 24 hodinovém působení roztoku 3 % HCl nebo KOH
Třída 1	skvrna se nedá odstranit žádným čistícím postupem

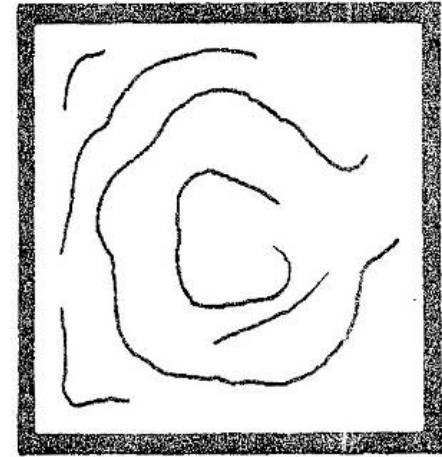
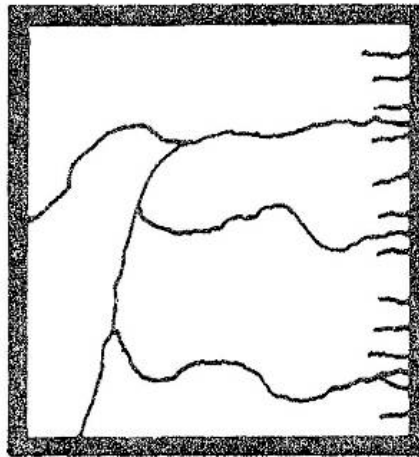
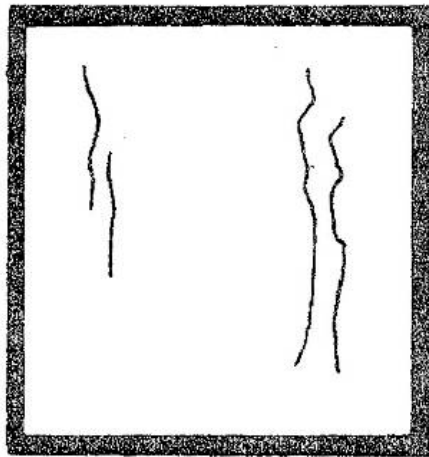


1.6.6 Odolnost proti chemikáliím

- ČSN EN ISO 10545-13
- vizuální posouzení vlivu zkušebních roztoků (louhy, kyseliny, chemikálie v domácnosti) po určité době působení. Po ukončení se vzorky prohlédnou a zařadí se do tříd:
 - A** – žádné viditelné změny,
 - B** – viditelné změny na plochách vzniklých řezáním,
 - C** – všude jsou viditelné změny.

1.6.7 Odolnost glazury proti vzniku trhlin

- ČSN EN ISO 10545-11
- v autoklávu (tlak 500 kPa, teplota 160 °C, 2 hodiny) → posouzení trhlinek na lící ploše (zvýraznění obarvením)



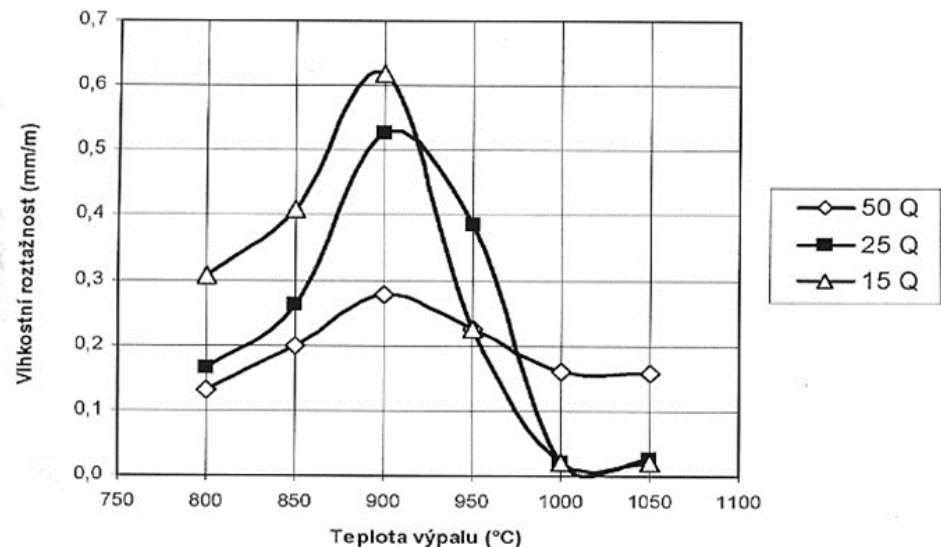
- 1 – trhliny v glazuře vyvolané nesouladem KTR střepu a glazury,**
2 – trhliny v glazuře vyvolané v důsledku tahového napětí v glazuře vyvolaného nesouladem KTR střepu a glazury a nevratnou vlhkostní roztažností,
3 – trhlinky v glazuře vyvolané nevratnou vlhkostní roztažností

1.6.8 Změny rozměrů vlivem vlhkosti

- ČSN EN ISO 10545-10
- Žíhání na 550 °C (2 hodiny) – 24 hodin ve vařící vodě:

$$\frac{\Delta l}{l} \cdot 100 [\%]$$

- Rehydratace jílových minerálů
- Doporučení: max. 0,06 % (přídržnost k podkladu, trhlinky v glazuře), tj. 0,6 mm/m

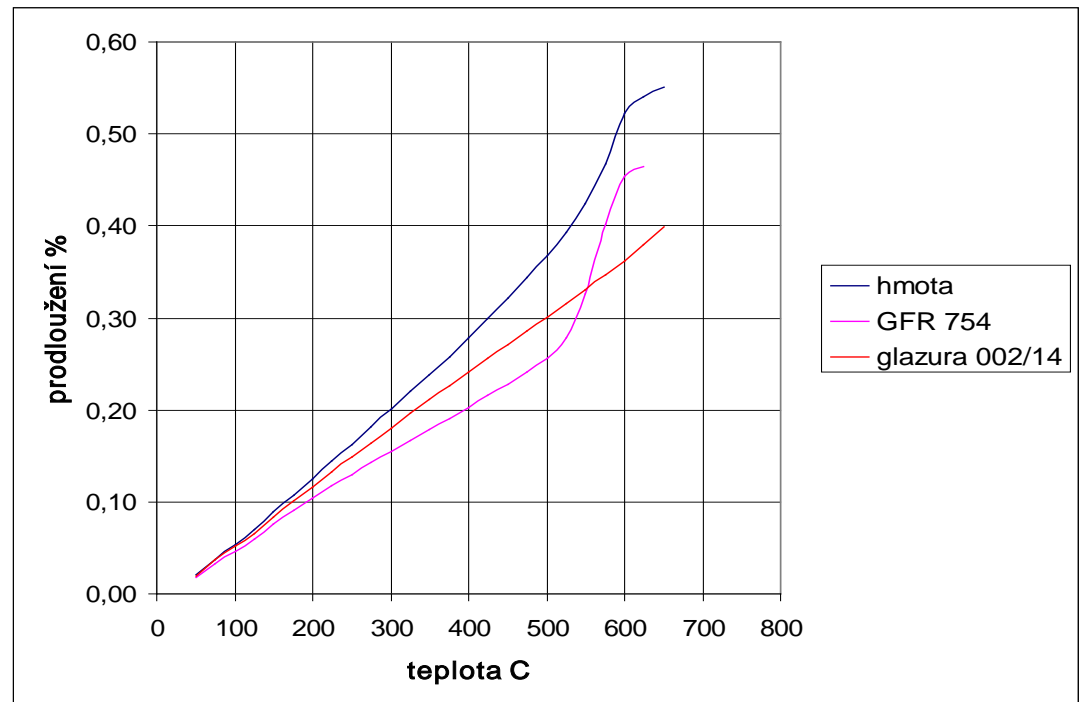


1.6.9 Součinitel délkové teplotní roztažnosti

- ČSN EN ISO 10545-8
- Teplota místnosti až 100 °C:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t} [K^{-1}]$$

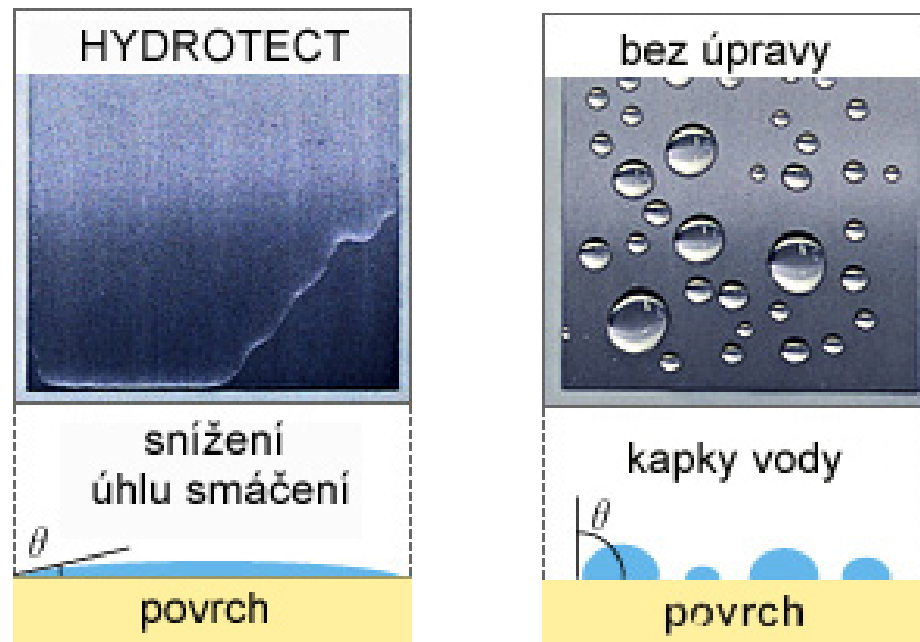
- Návrh glazur



Pozn. vrstva aktivního TiO_2 (Hydrotect)

Hydrofilní efekt

- aktivace slun. UV zářením \Rightarrow růst smáčivosti vrstvy na bázi TiO_2



Antibakteriální efekt

- vrstva TiO_2 ve styku se vzdušným kyslíkem a vlhkostí + sluneční světlo = zdroj aktivního kyslíku \Rightarrow bakteriocidní účinky.

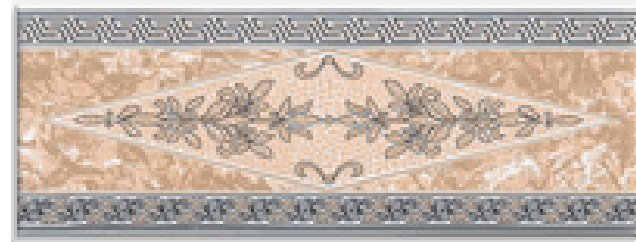
Tvarovky



bombato



endless



listela



inzerto



Geometrická
mozaika