

# Výrobní technologie (2VT)

---

## Přednáška č. 2

Ostřiva formovacích směsí, generace pojiv, zhušťování forem, výroba jader, formovací linky, technologie netrvalého modelu, nízkotlaké, vysokotlaké a odstředivé lití

doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie, odbor slévárenství

e-mail: [zadera@fme.vutbr.cz](mailto:zadera@fme.vutbr.cz)

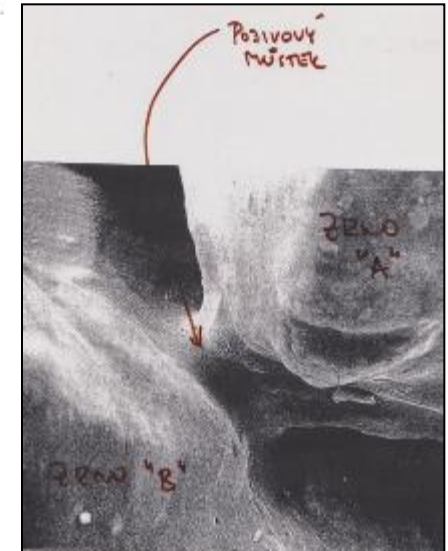
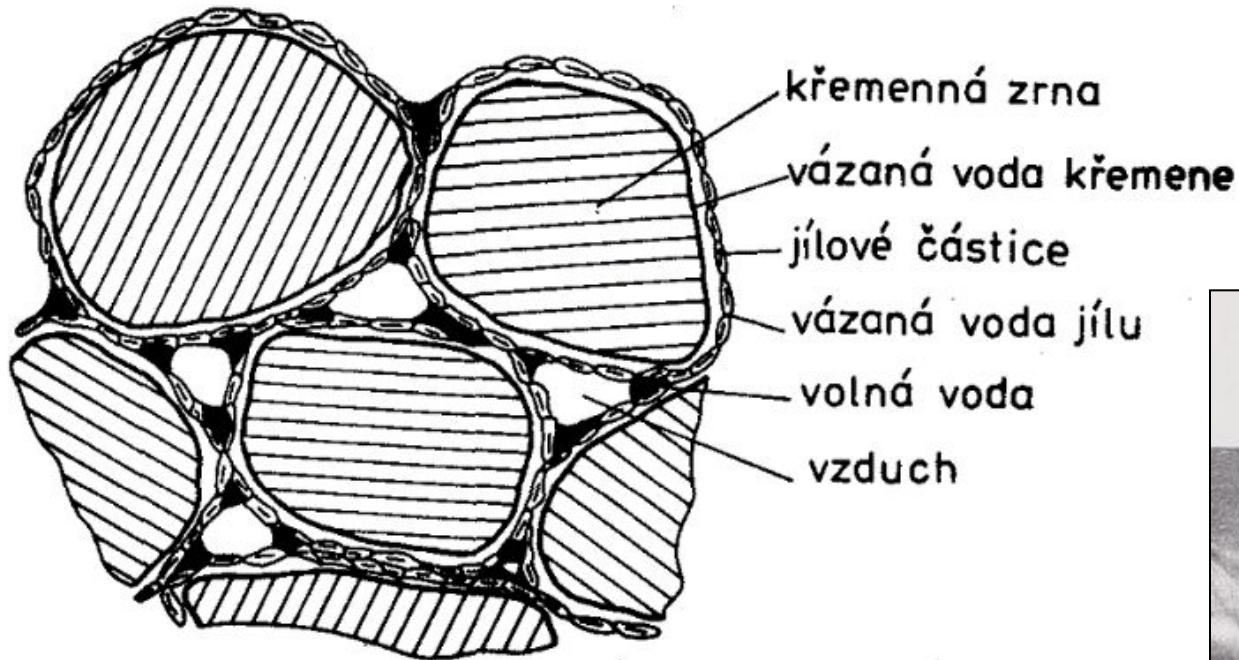
# Složení formovacích směsí

---

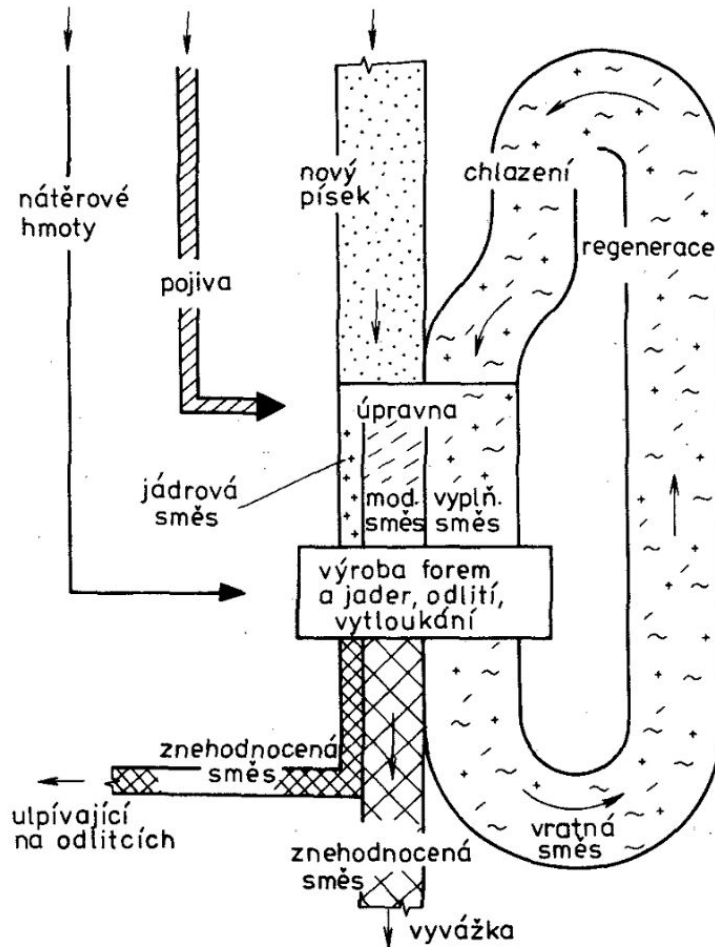
Výroba netrvalých forem, odlitek : formovací směs – 1 : 4 - 6

- **Ostřivo** – písek (velikost, granulometrie, fyzikální vlastnosti, chemické vlastnosti, cena)
- **Pojivo** – I – IV. Generace (jíl, organická a anorganická pojiva, fyzikální vazby, biogenní pojiva)
- **Voda** – jílové směsi přísada, anorganická pojiva – vázaná voda, organická pojiva – polykondenzace
- **Přísady** – zlepšení jakosti povrchu odlitku (KUM), snížení výronků, zlepšení rozpadavosti formy atd.

# Struktura bentonitové směsi



# Příprava formovacích směsí



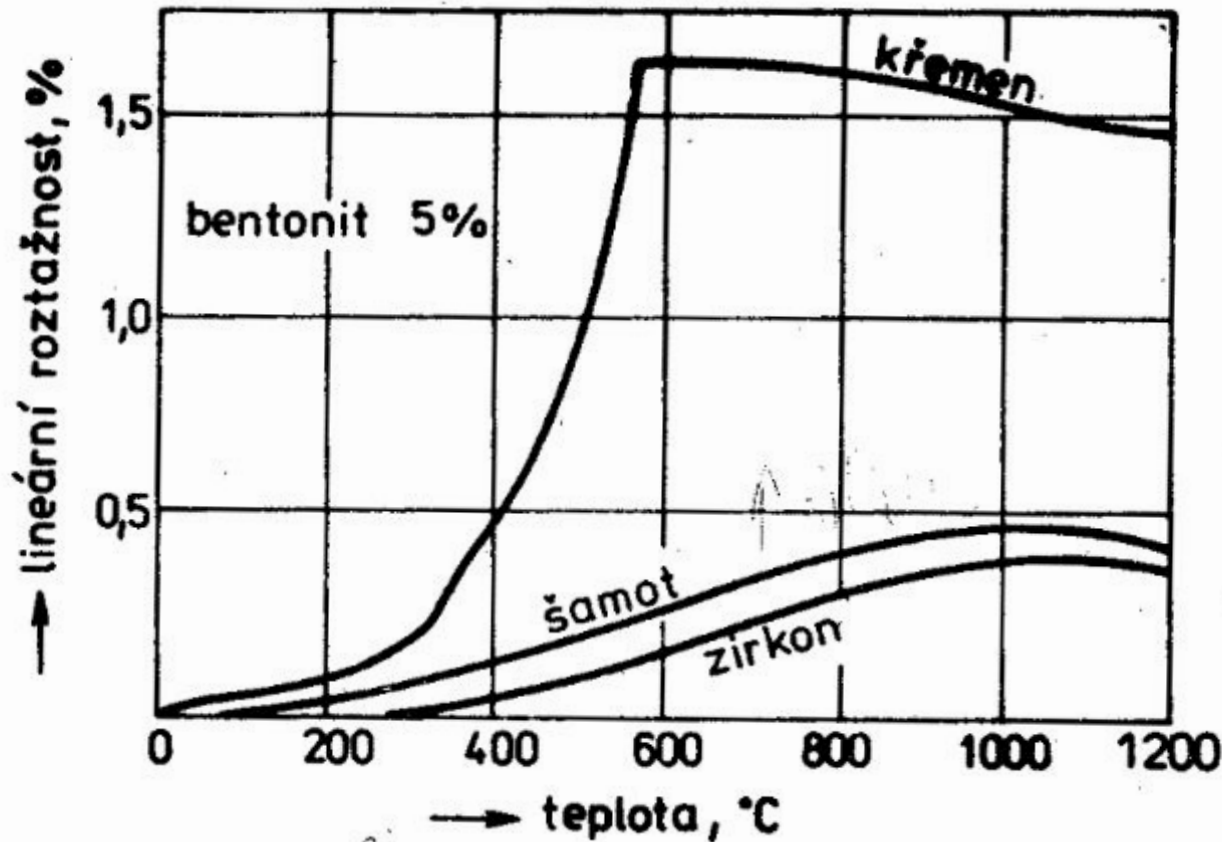
Regenerace – II. generace  
pojivových systémů

Oživování – I. generace – jílová  
pojiva

# Termofyzikální vlastnosti formovacích směsí

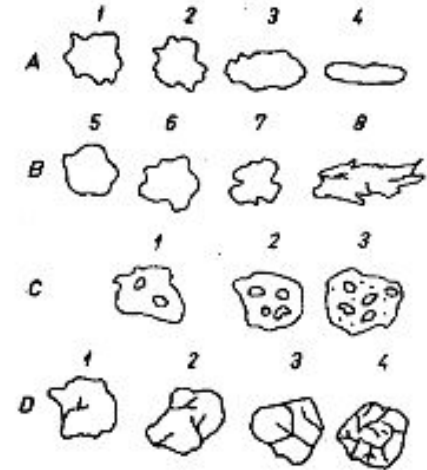
Směs	Složení směsi	Podíl složek (%)	Teplota $t$ (°C)	Hustota $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	Měrná tepelná kapacita		Součinitel		
					$c_p$ (kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$c_v$ (kJ.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup> )	tepelné vodivosti $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	tepelné akumulace $b_f$ (kJ.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1/2</sup> .K <sup>-1</sup> )	teplotní vodivosti $a.10^{-6}$ (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )
zirkonová	zirkon bentonit voda	95 5 5	1 300	2 990	1,307	3 909	3,07	3,461	0,786
forsteritová	forsterit jíl voda	95 3 5,6	1 330	2 280	1,680	3 830	2,44	3,056	0,639
křemenná s vodním sklem	křemen vodní sklo	93,5 6,5	1 400	1 670	1,462	2 443	1,56	1,953	0,639
křemenná přírodní	křemenný písek jíl voda	88 12 6	1 400	1 713	1,433	2 451	1,51	1,925	0,950

# Tepelná roztažnost formovacích směsí



# Ostřiva (částice větší než 0,02mm)

- Křemenná –  $\text{SiO}_2$  (kyselá)
- Nekřemenná – chromit, olivín, dunit, zirkon
- Syntetická – kerphalit, šamot, molochit a další

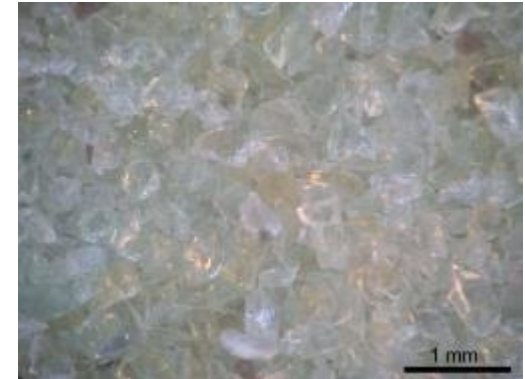


## Hodnocení ostřiv

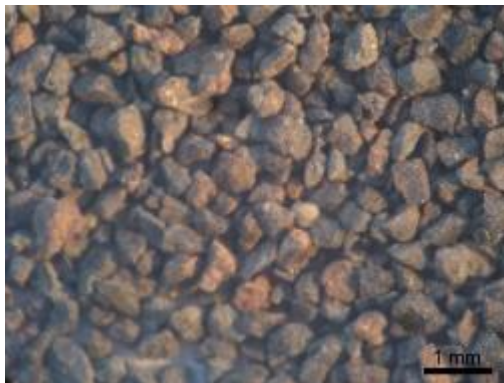
- Granulometrie – tvar zrna – izometrický (zakulacený), protažený
- Hrany ostřiva – ostrohranný (mořské ledovcové), kulatý (váté písky)
- Velikost ostřiva – síťový rozbor, střední velikost zrna, koeficient pravidelnost ( $d_{75}/d_{25}$ )

# Ostřiva

- Žáruvzdorný materiál,
- nereaktivní vůči odlévanému kovu,
- nízká cena,
- vhodný tvar a velikost.



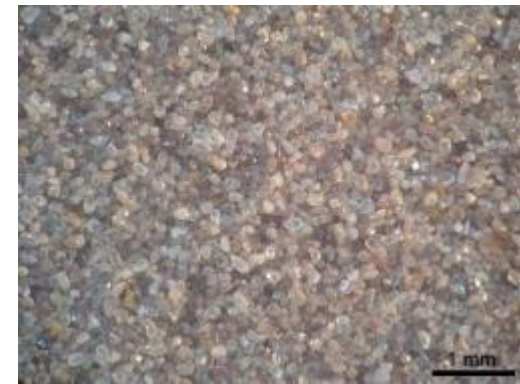
olivín



dunit



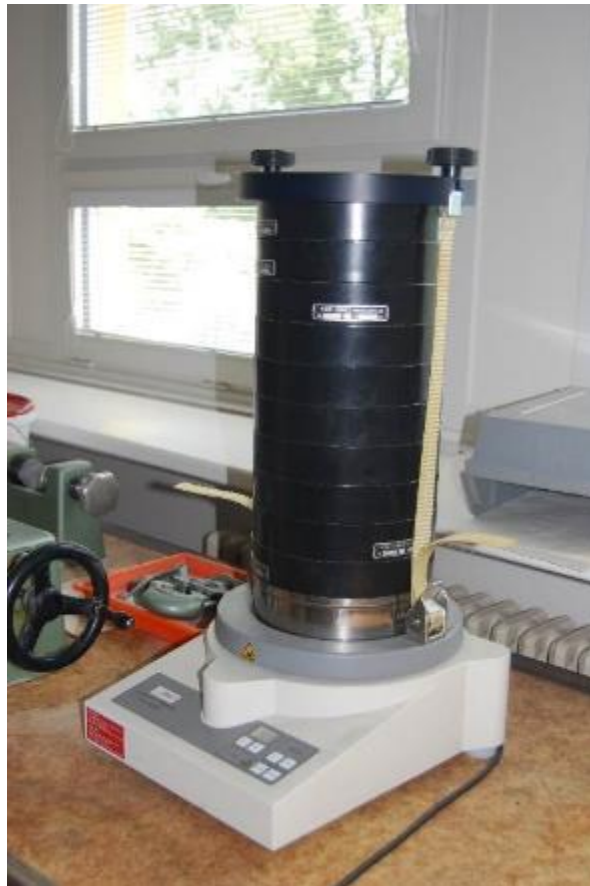
chromit



zirkon



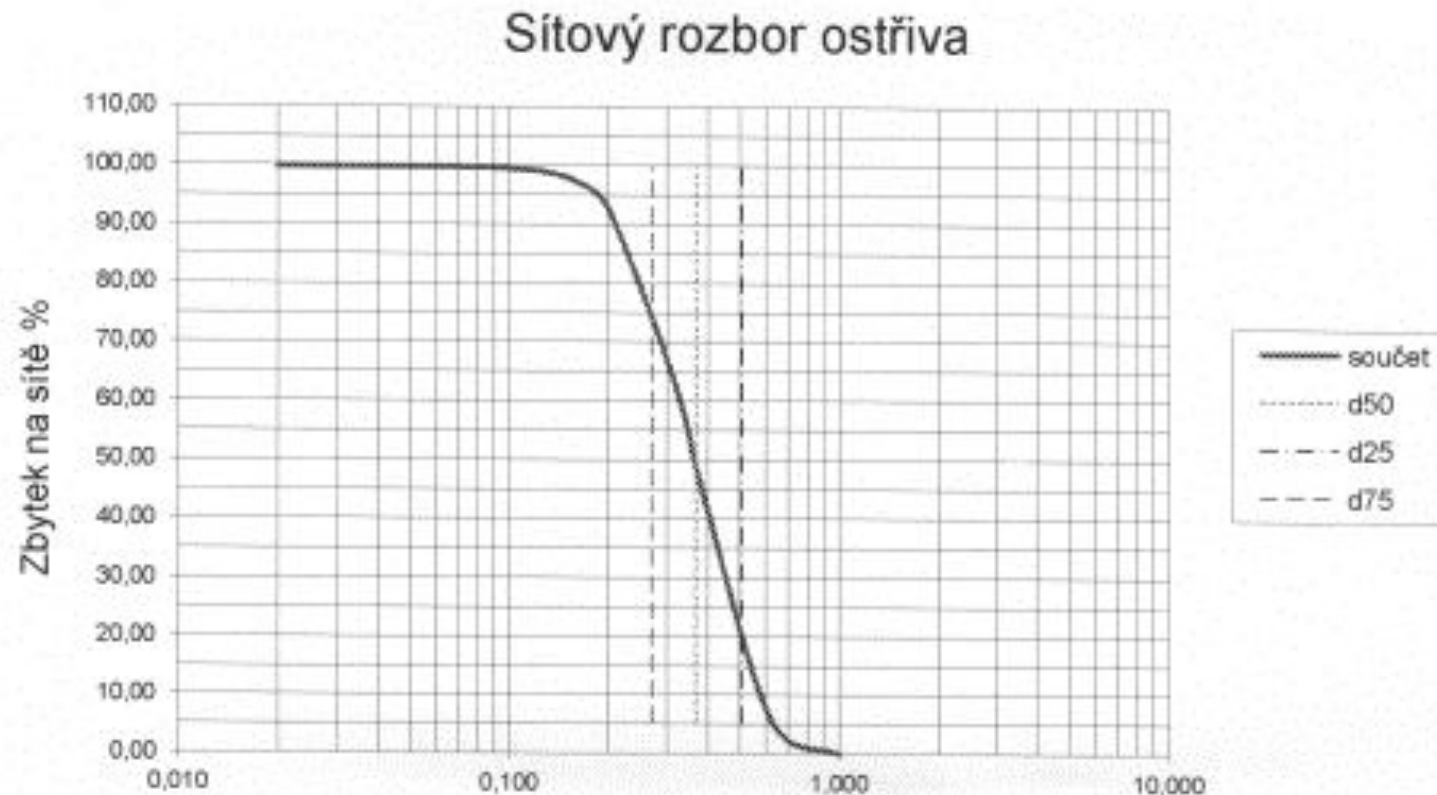
# Sítový rozbor



Ostřivo po výplavu	49,87		
Vyplavitelné látky	0,13		
%	0,26		
Síta	zbytek		součet
mm	g	%	%
1,000	0,00	0,0	0,0
0,630	2,61	5,2	5,2
0,400	18,21	36,4	41,6
0,315	11,06	22,1	63,8
0,200	14,52	29,0	92,8
0,160	2,28	4,6	97,4
0,125	0,83	1,7	99,0
0,100	0,21	0,4	99,5
0,080	0,08	0,2	99,6
0,063	0,06	0,1	99,7
0,020	0,00	0,0	99,7
celkem	49,99	100	

$\rho_s$ Sypná obj. hmotnost ostřiva $\text{g/cm}^3$	0
$S_{th}$ Teoretický povrch $\text{cm}^2/\text{g}$ :	67,07
$MK_{cak}$ Střední velikost zrn mm	0,388
AFS	38,2
$d_{90}$ mm:	0,368
$d_{75}$ mm:	0,271
$d_{25}$ mm:	0,505
Pravidelnost zrnitosti ostřiva $d_{75}/d_{25}$ %	53,6

# Sítový rozbor



$$K = d_{75}/d_{25}$$

# Laboratorní rozborý

---

- pevnost směsi (tlak, ohyb, štěp)
- prodyšnost formovací směsi
- obsah vyplavitelných látek
- obsah spalitelných látek
- obsah uhlíkatých látek...

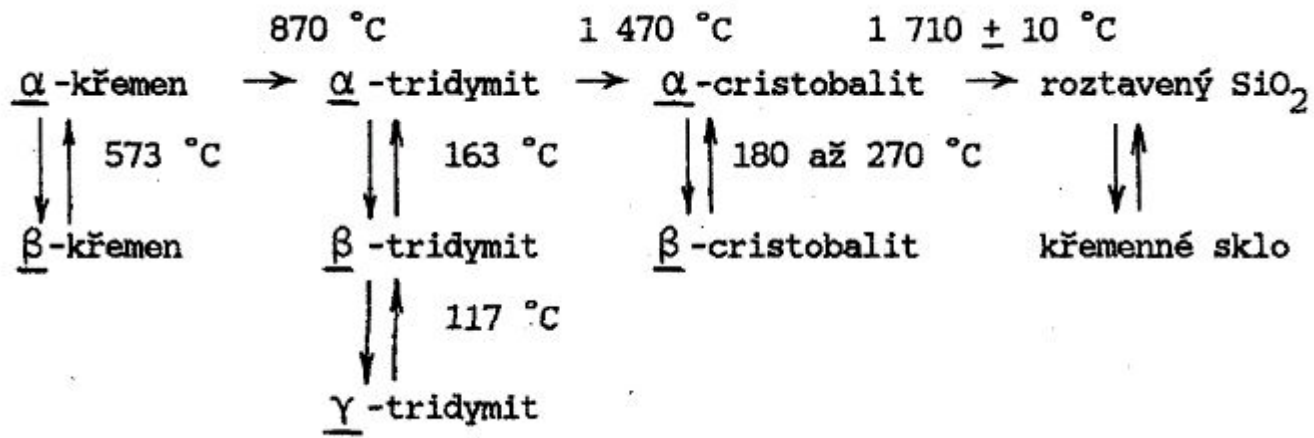
# Křemen $\text{SiO}_2$

V přírodě nejrozšířenější – nízká cena

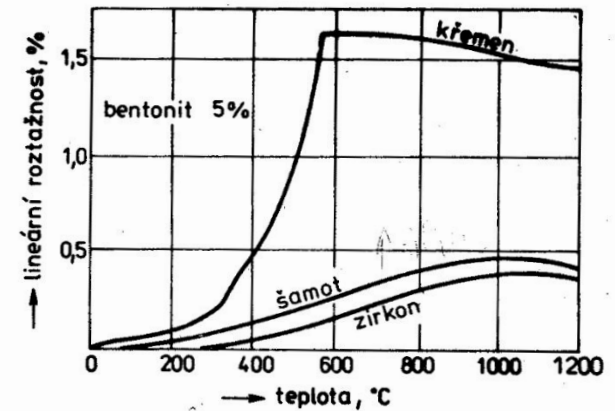
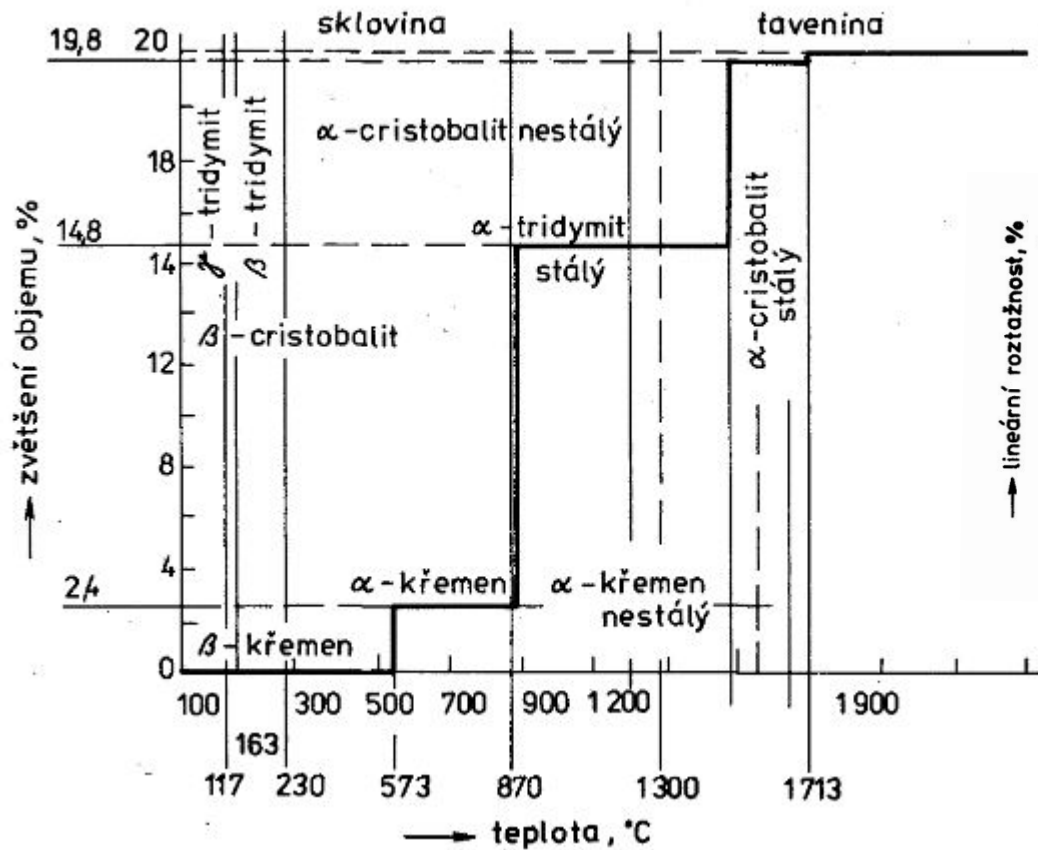
Kyselý charakter – reakce se zásaditými oxidy ( $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ , ...)

Vysoká teplotní roztažnost

Několik krystalografických modifikací + amorfní (křemenné sklo)



# Křemen $\text{SiO}_2$



# Nekřemenná ostřiva - zásaditá

## MAGNEZIT

Zásaditý charakter, přírodní  $\text{MgCO}_3$  – pálením vzniká  $\text{MgO}$  (surový magnezit - hygroskopický), další pálení – slinování – hnědá čokoládová barva, obsah více než 85 %  $\text{MgO}$ , žárodovzdornost 2000 °C, hůře snáší střídání teplot, hustota 2,9 kg/m<sup>3</sup>, použití Haedfieldova ocel.

## CHROMMAGNEZIT (Chromit)

Zásaditý charakter, lépe snáší střídání teplot, obsahuje 65 %  $\text{MgO}$  a cca 35 % chromitu. Chromit je ruda obsahující cca 59 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  s příměsí  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ . Tepelně exponovaná místa (zapečeniny), vyšší odolnost vůči chemickému působení kovu.

# Nekřemenná ostřiva - neutrální

## ŠAMOT

Vypálený žárovzdorný jíł – aluminosilikát. Obsahuje 30 – 45 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a zbytek  $\text{SiO}_2$ . Žárovzdornost 1750 - 1800 °C, použití těžké odlitky ocel a litina.

## MULIT

Aluminosilikát, který obsahuje cca 70 - 72 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , zbytek  $\text{SiO}_2$ . ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ) Výborně snáší střídání teplot – keramické formy pro přesné lití. Žárovzdornost 1850 - 1900 °C

## KORUND

Tavení bauxitu nebo jíłů bohatých na  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Hustota  $4\text{kg}/\text{dm}^3$ . Drahý – součást nátěrů. Žárovzdornost cca 2200 - 2300 °C.

# Nekřemenná ostřiva - speciální

---

## SPINEL

Obsahuje cca 85 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a 15 % MgO. Plnivo do nátěrů, drahý.

## OLIVÍN

Výroba pálením nebo přírodní. Tvořen Forsrteritem ( $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ) + Fayalitem ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ). Vysoká Žárodovzdornost.

## ZIRKON

Tvořen  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ . (příp.  $\text{ZrO}_2$ ) Hnědočervený, hustota  $4,6 \text{ kg/dm}^3$  (vysoký odvod tepla), speciální exponovaná jádra, plnivo nátěrů Drahý – součást nátěrů. Žárodovzdornost cca 2400 - 2500 °C.



# Pojivové systémy formovacích směsí

---

I. generace – jílová pojiva

II. generace – chemické vazby (od konce II. světové války) –  
dělení na: organická, anorganická

III. generace – fyzikální vazby (od 70-tých let 20. století)

IV generace – biogenní pojiva (od 90-tých let 20. století)

# I. generace pojivových systémů

---

Jílová pojiva – aluminosilikáty ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ) – přírodní nebo syntetické (dnes převážně)

Kaolinitický jíl – směsi na sušení, použití u ocelových odlitků a ze šedé litiny (historie), 10 až 20% ve směsi

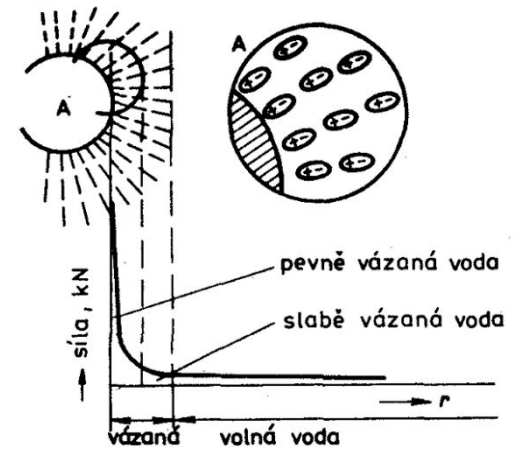
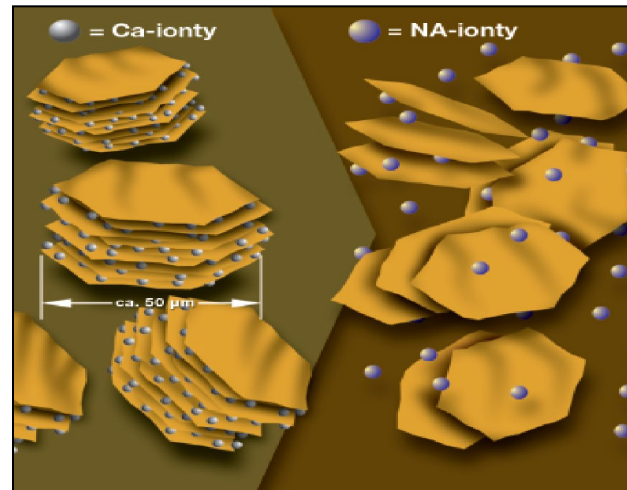
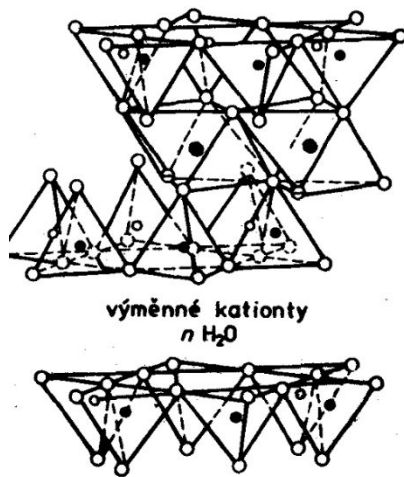
Ilitický jíl (glaukonit) – zelený písek Rájecký, umělecké odlitky, směsi na sušení, výroba těžkých odlitků ze šedé litiny (historie), 8 až 15 % ve směsi

Montmorillonitický jíl – ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), sopečný původ (Most, Moosburg), lití na syrovo (2-3,5% vody), 5 až 8 % ve směsi

Bentonit – více než 75% montmorillonitického jílu (Fort Benton USA), dnes – směsné bentonity (bentonit + přísady)

# Bentonit

Interkrystalické bobtnání (lístková morfologie), fyzikálně vázaná voda

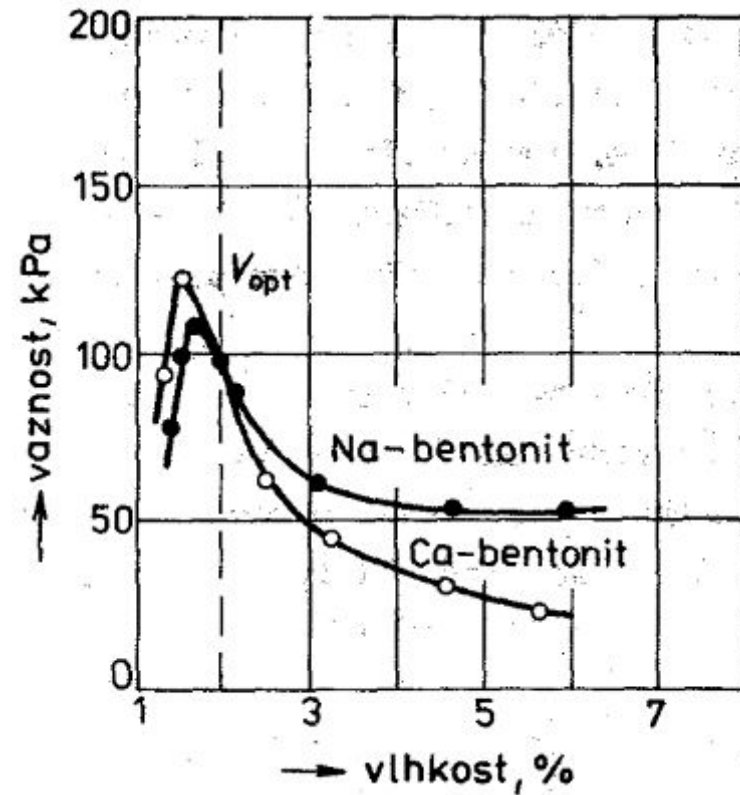
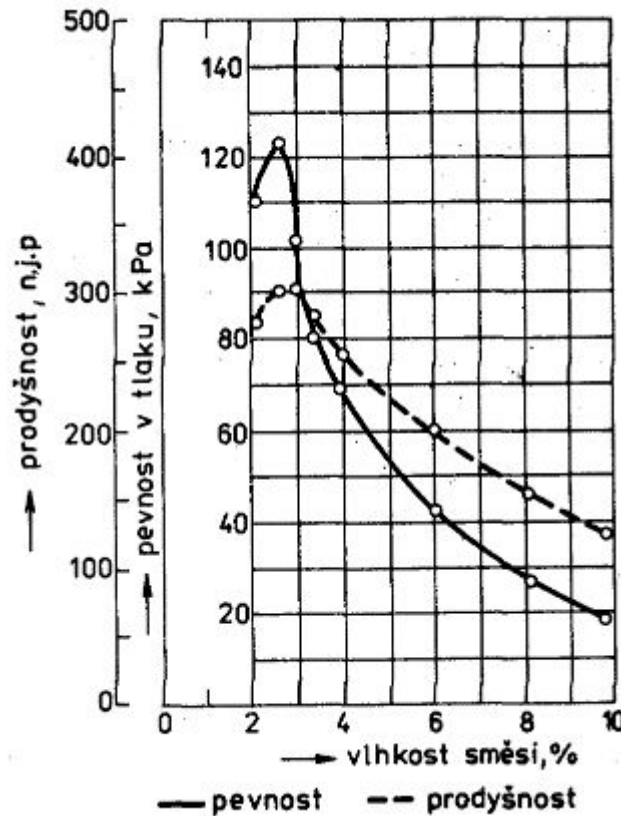


Ca, Mg bentonity, Na umělé zpravidla – natrifikace

**Li > Na > K > Mg > Ca > Al > Fe**

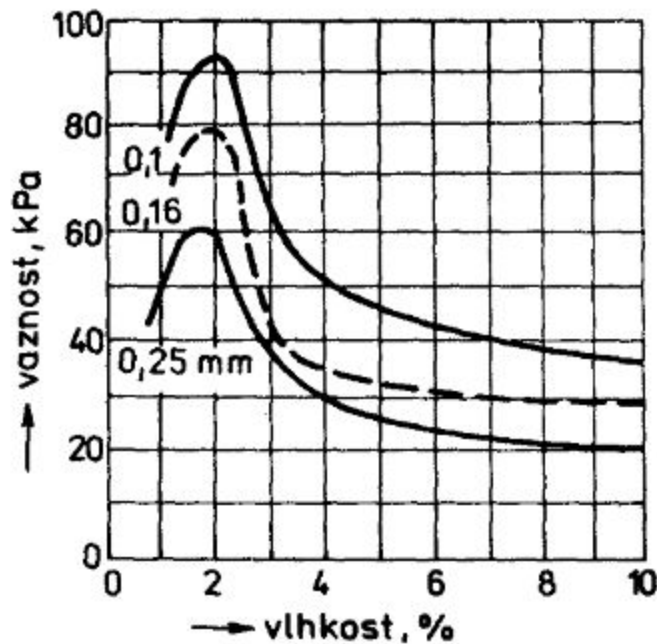
Bobtnavost Na bentonitů je 10x vyšší než Ca bentonitů

# Vlastnosti bentonitových formovacích směsí

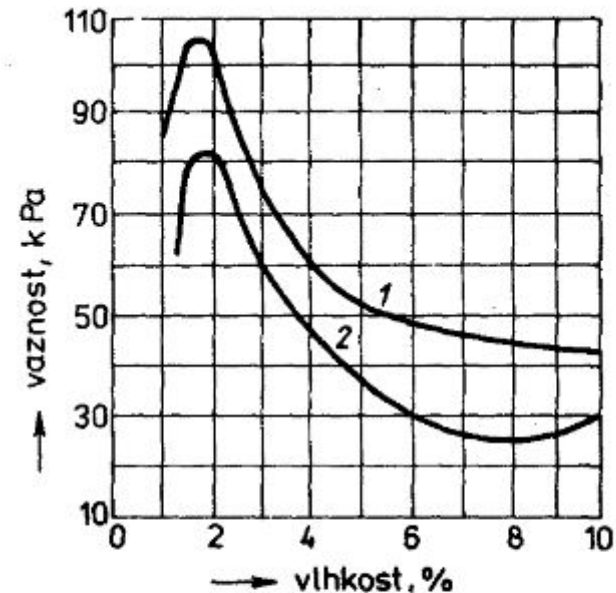


Kontrola – zkušební váleček průměr 50 mm, výška 50 mm

# Vlastnosti bentonitových formovacích směsí

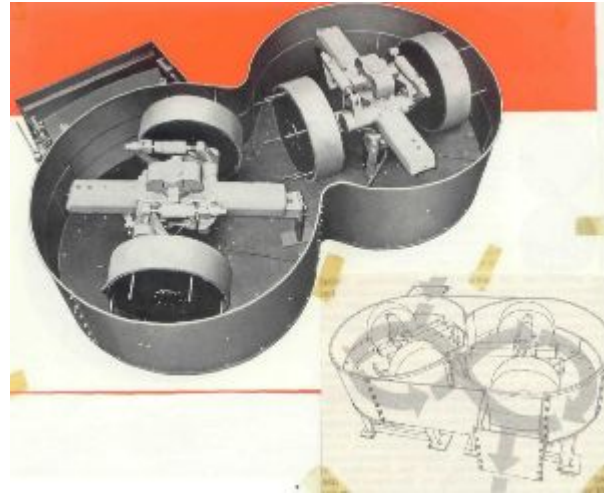


Obr. 30. Vliv rozdílné velikosti  $d_{50}$  bentonitové směsi na pevnost v tlaku za syrova - vaznost

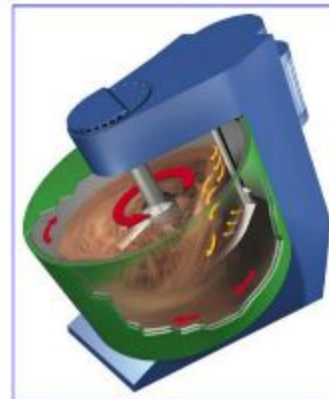
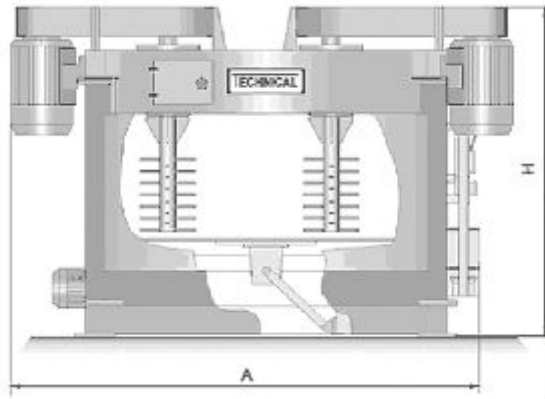


Obr. 31. Vliv pravidelnosti zrnění ostřiva bentonitové směsi na pevnost v tlaku za syrova - vaznost  
1 -  $d_{75}/d_{25} = 0,35$  nepravidelné zrnění, 2 - pravidelné zrnění  $d_{75}/d_{25} = 0,6$

# Příprava formovací směsi



kolový  
mísič



vířivý  
mísič

# Zhušťováním forem

---

Ruční

Strojní

- Střásání
- lisování
- metání
- vstřelování
- foukání
- vakuové nasávání
- impulsní zhušťování
- kombinace

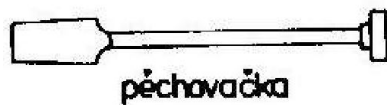
Zhuštění

- vysoké zhuštění – pevné formy
- rovnoměrné po výšce rámu
- rychlé
- ekonomické

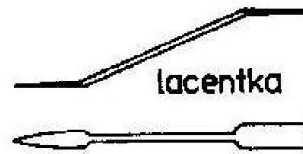
# Ruční formování bentonitových formovacích směsí



Ruční pěchovačka



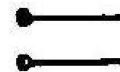
pěchovačka



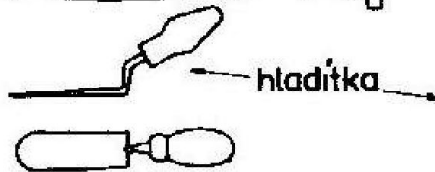
lacentka



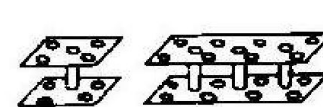
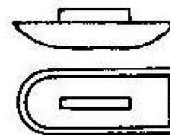
bodec



pískováčky



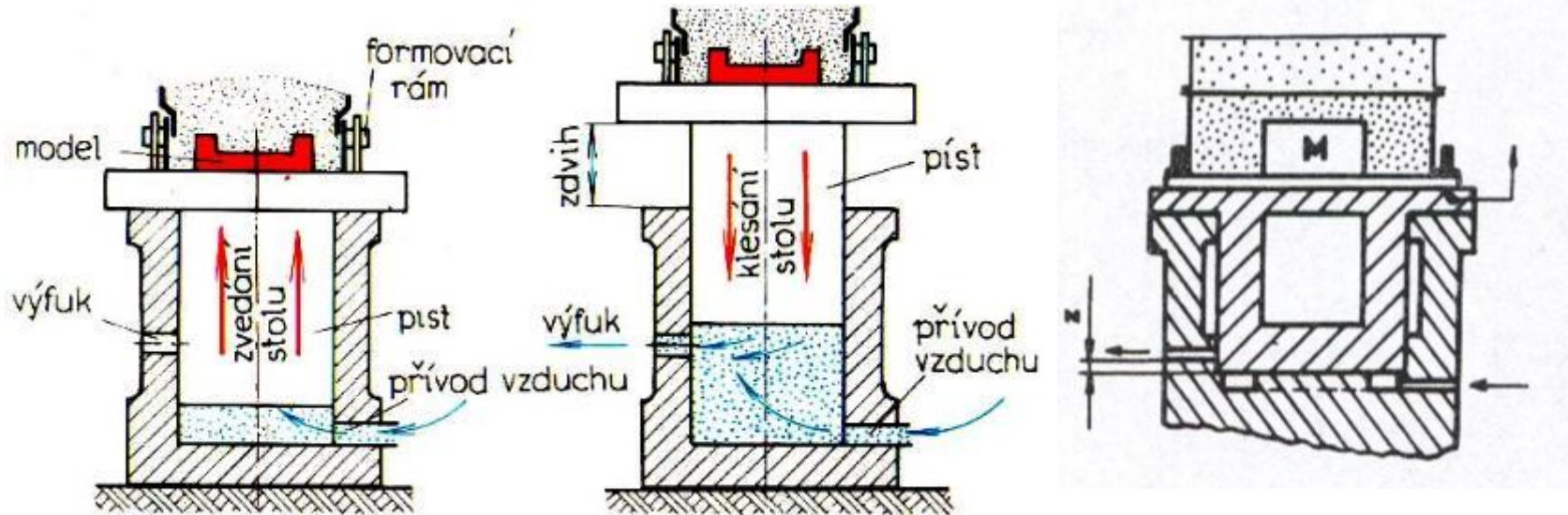
hladítka



podpěrky jader



# Výroba forem střešáním

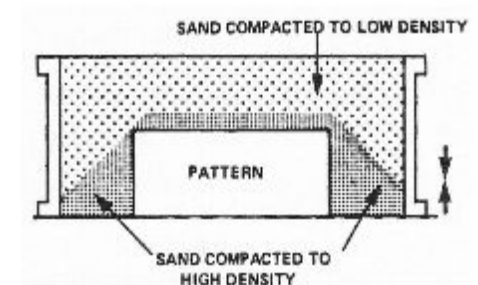
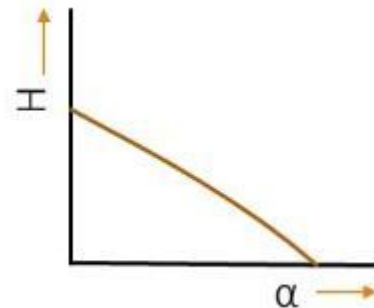


největší zhutnění – u modelu

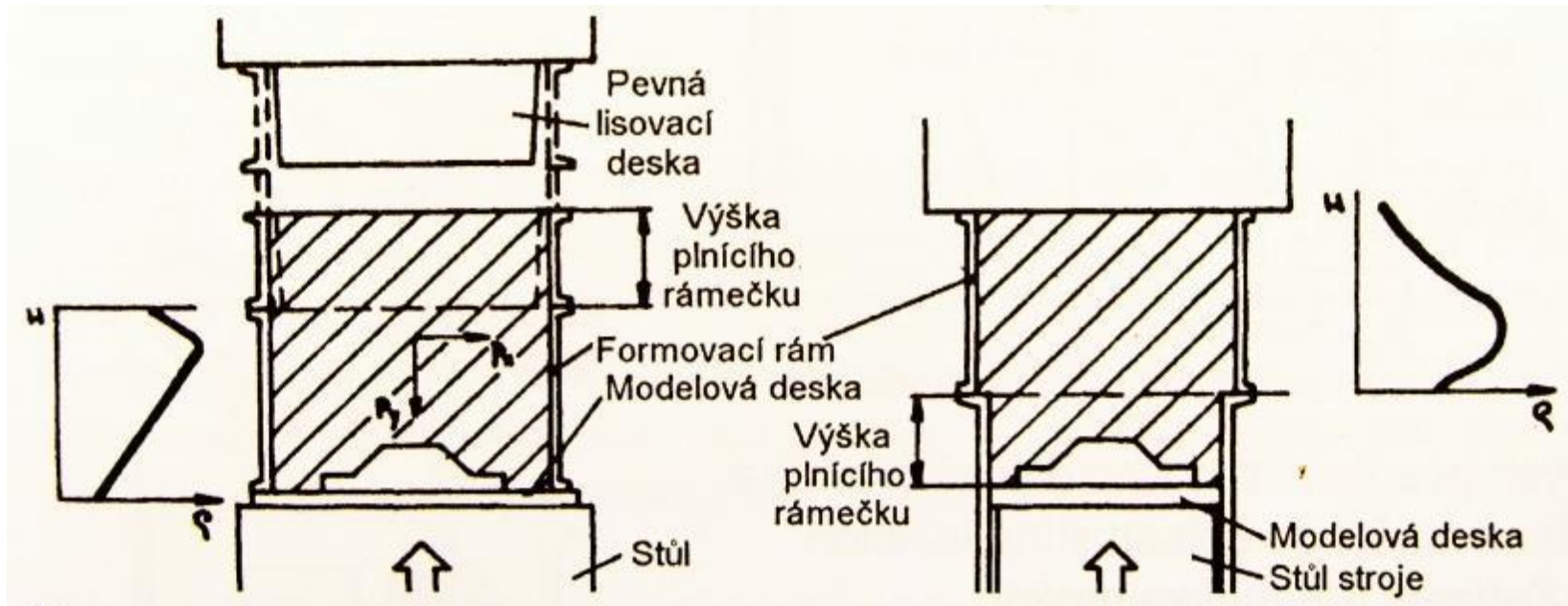
jednoduchá metoda

hlučnost

$\alpha$  - součinitel zhuštění  $\rho_2 / \rho_1$  ( $\rho_1$  po zhuštění)



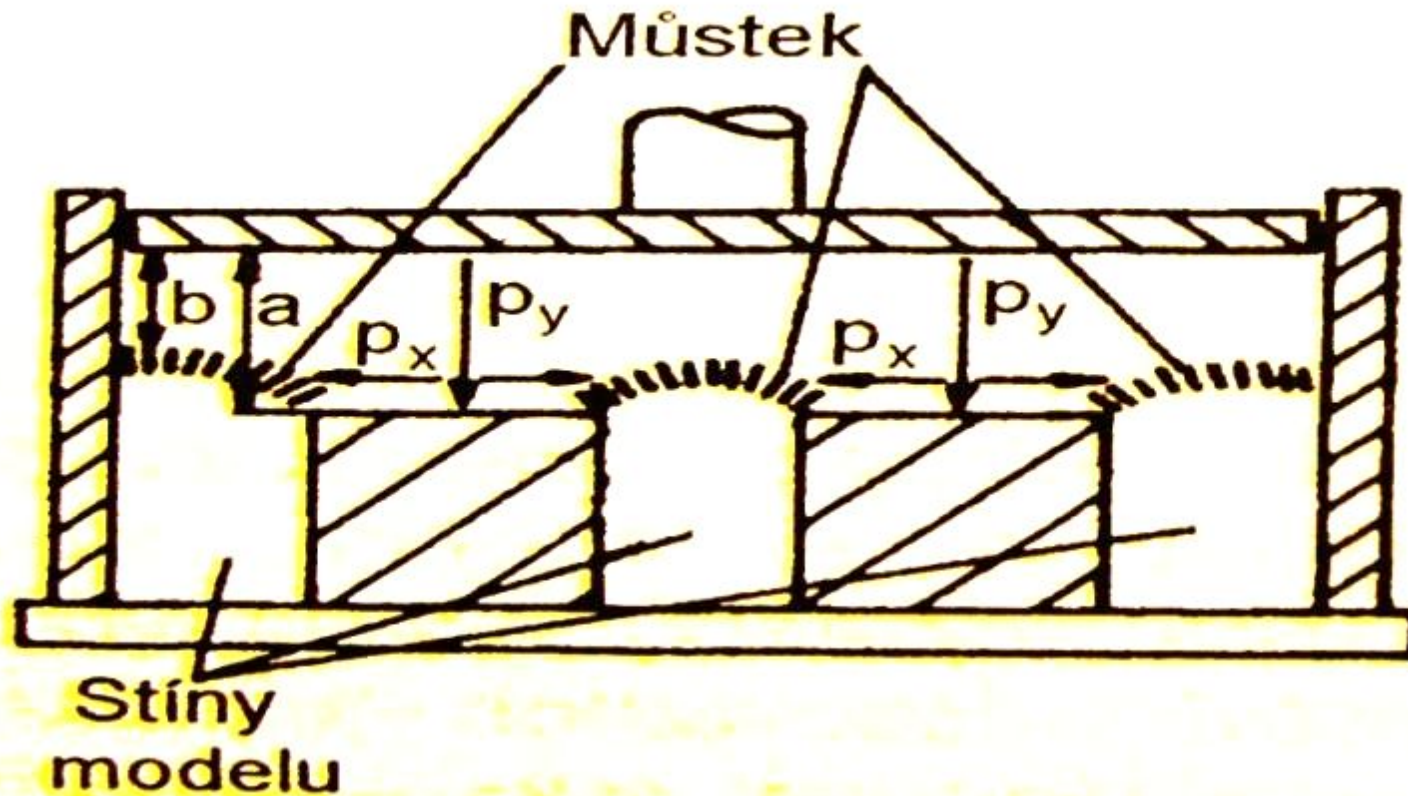
# Výroba forem lisováním



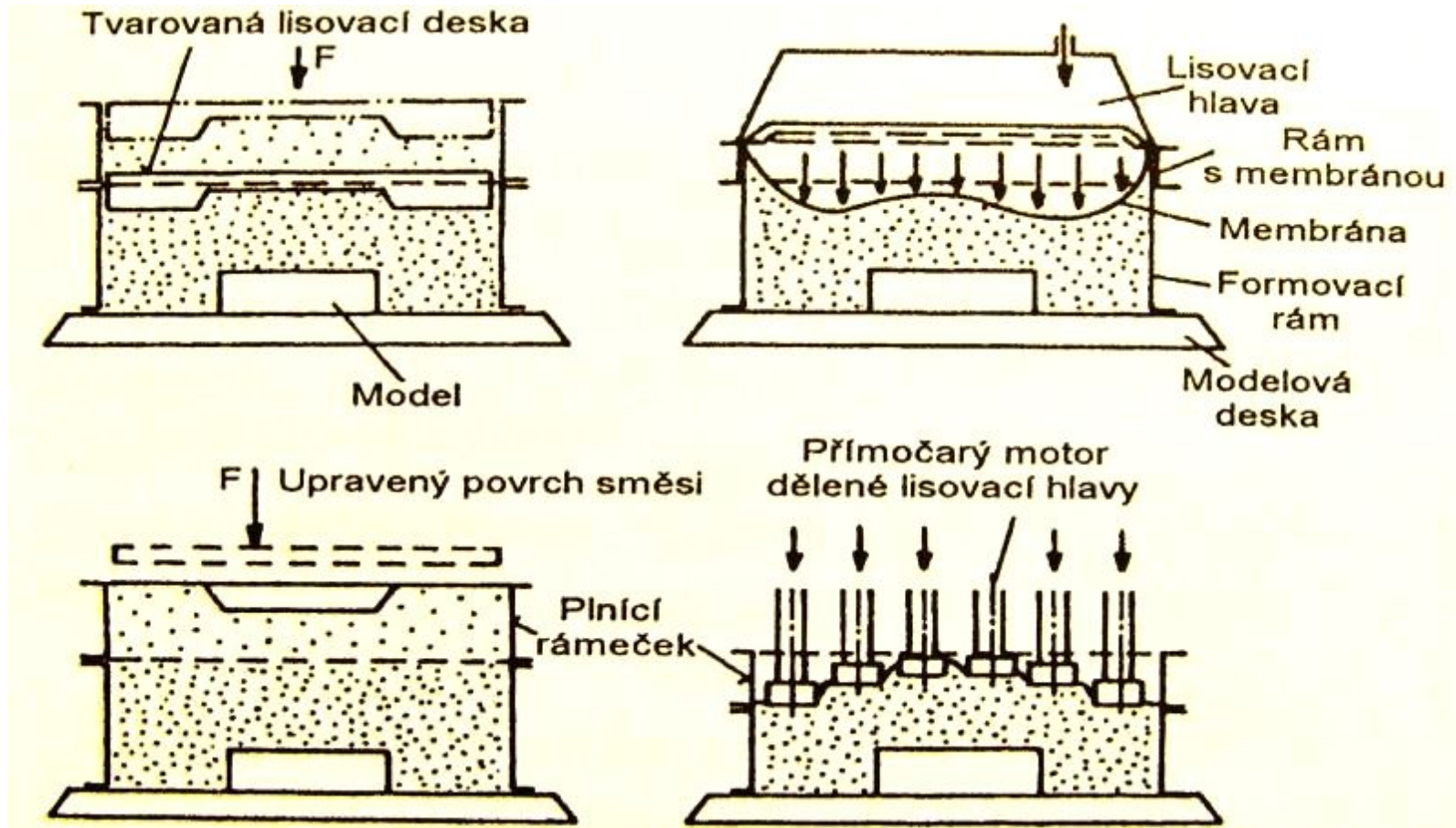
největší zhutnění – u lisovací hlavy  
jednoduchá metoda

# Nedostatky při lisování

---



# Zvýšení rovnoměrnosti zhutnění formy při lisování

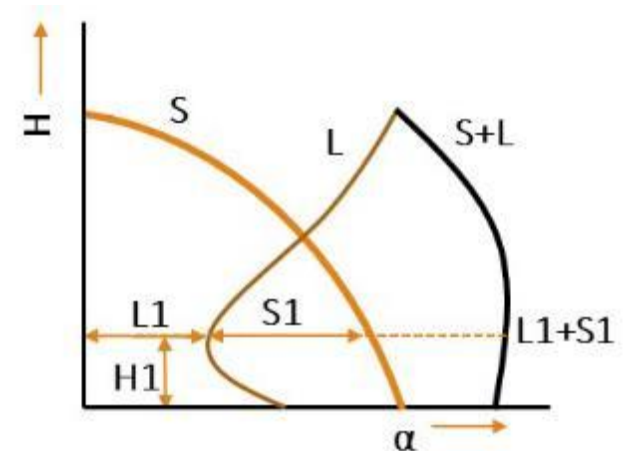
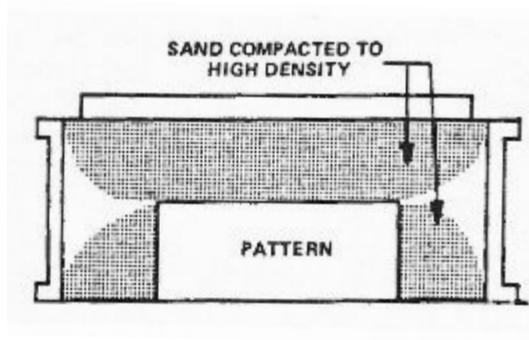


# Výroba forem střešáním s dolisováním

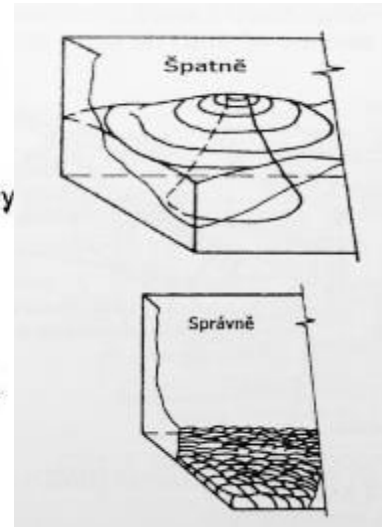
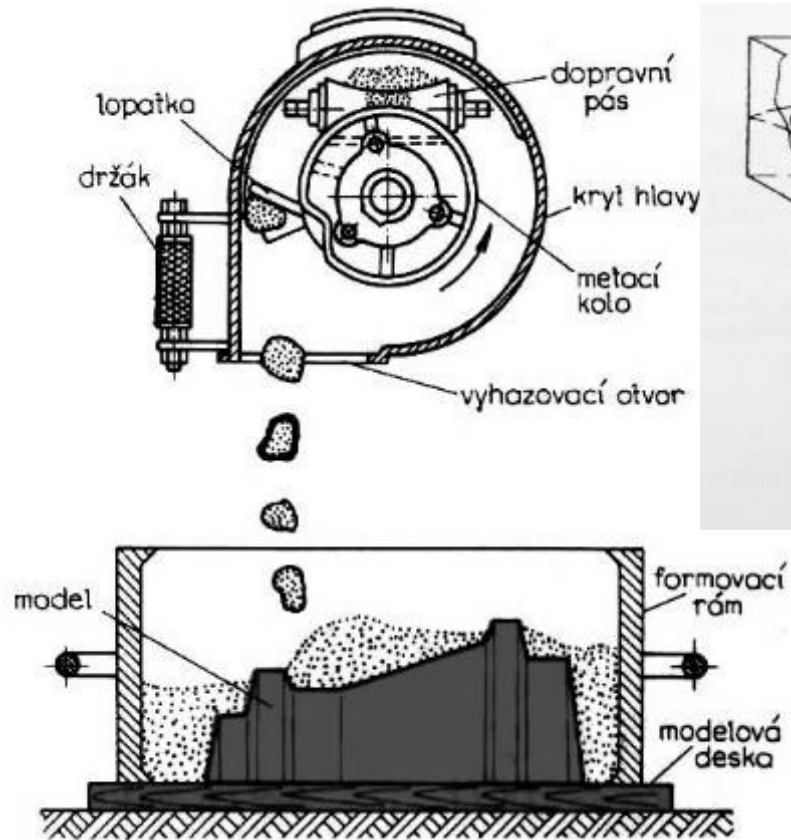


## Stroje FOROMAT

- ruční až malosériová výroba
- levný provoz
- jednoduché stroje
- hlučnost



# Výroba forem metáním



Pískomety – výroba rozměrných velkých forem

Nutno správně nastavit rychlost metacího kola s rychlostí dopravy formovací směsi – dopravního pásu

# Dynamické metody zhušťování

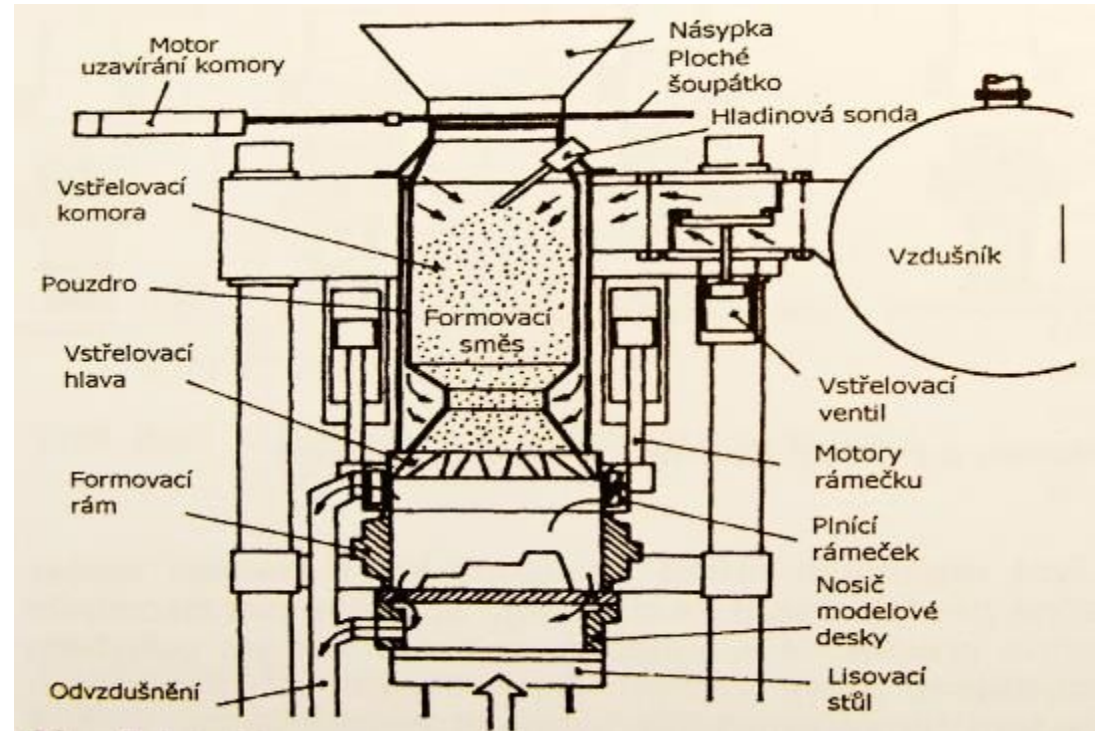
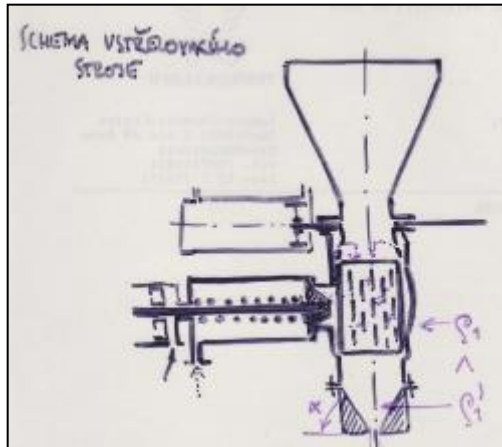
---

- dynamické působení tlaku plynů – dynamické lisování
- foukání směsi
- impulzní formování tlakem plynu (vysokotlaké, nízkotlaké)
- formování výbuchem

# Vstřelování

ČS patent – použití u jader, formovací linky

0,1 – 0,3 s – dynamický děj





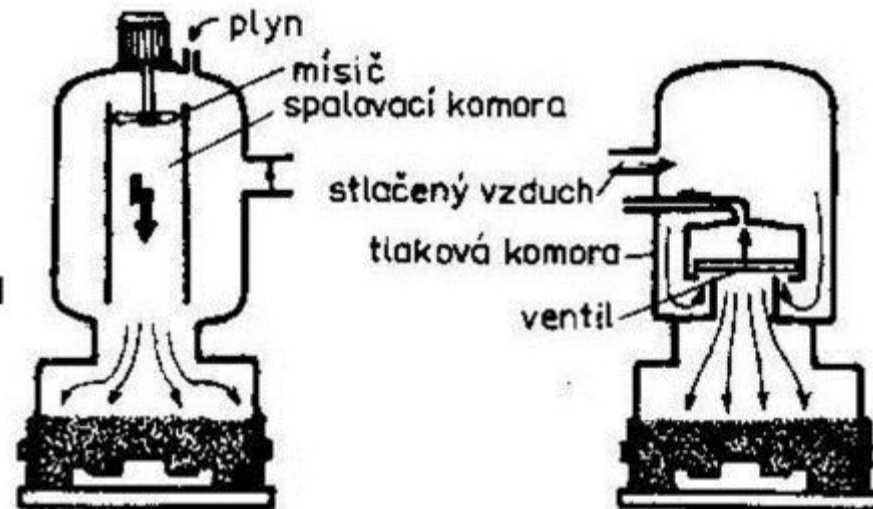
# Impulzní zhušťování formovací směsi

Využití expanze plynů ke zhuštění formovací směsi:

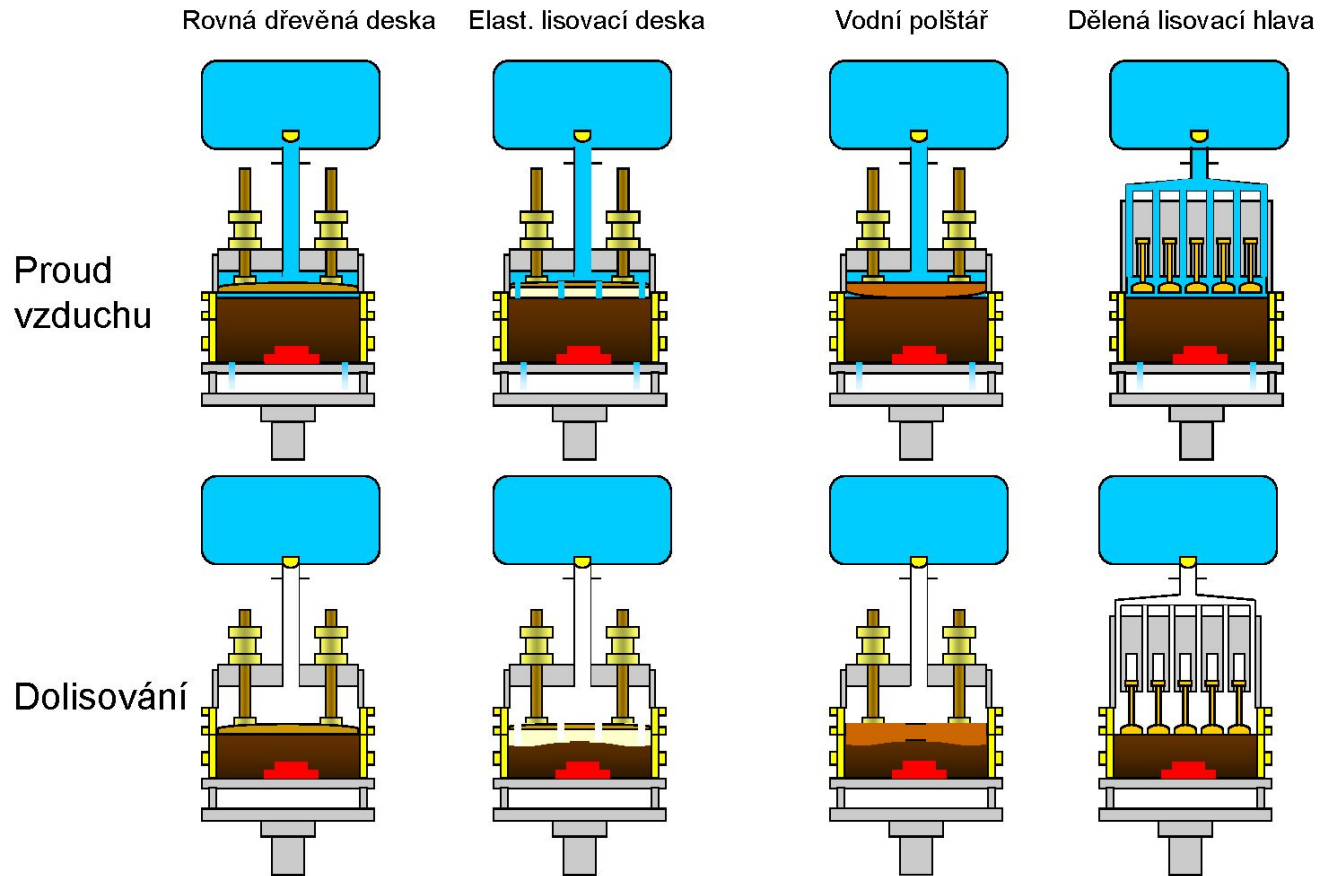
- zážehem směsi hořlavého plynu se vzduchem v komoře nad formovacím rámem
- expanzí stlačeného vzduchu v komoře na formovacím rámem, rychlé otevření ventilu – rychlý nárůst tlaku vzduchu

Nejvyšší zhuštění u modelu

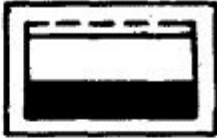
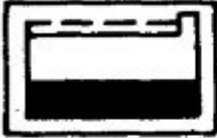
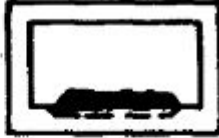

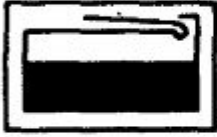
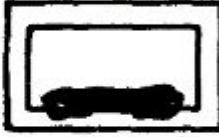

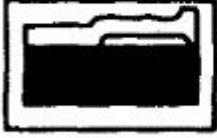
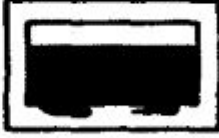

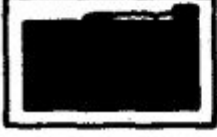
Kombinace s dolisováním



# Impulsní zhušťování + lisování



# Vznik zálepů

	zálepky brzděná dilatace	zálepky volná dilatace	zálepky myší ocásky
vznik kondenzační zóny působením tepla kovu			
odtržení povrchu formy vlivem tepelné dilatace			
charakter povrchových vad po ztuhnutí kovu			
			

Příčiny

kondenzační zóna  
fázová transformace  
křemene (dilatace, pnutí)

změny pevnosti formy  
vysušená část směsi  
(tlaková pnutí)

Omezení vzniku

snížení sálání  
zvýšení pevnosti v kond.  
zóně (mechanicky,  
bentonit)  
snížení dilatace (přísady)

# Bezrámové automatické formovací linky - svislá dělicí rovina

- 1964, stroj DISAMATIC
- výroba až 400 forem/hod
- menší odlitky



1

2

3



4

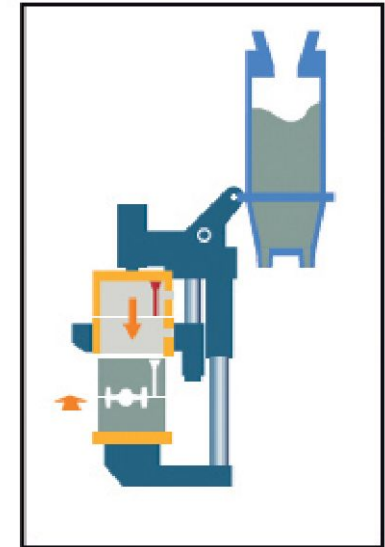
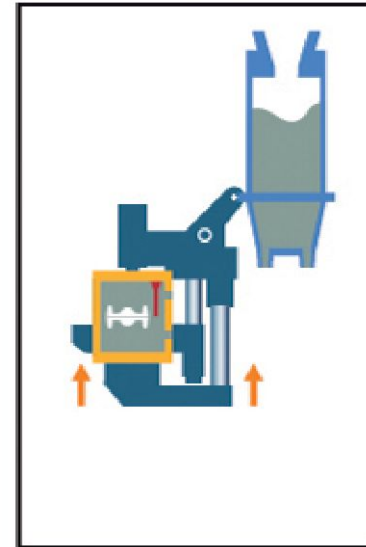
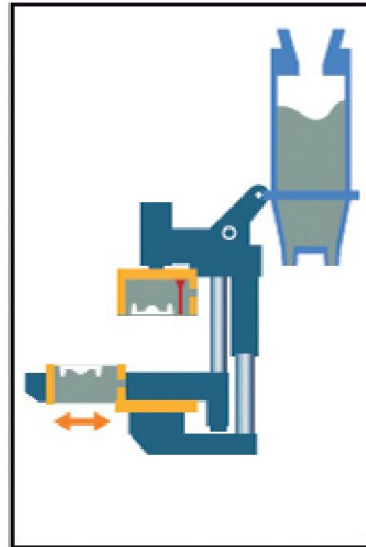
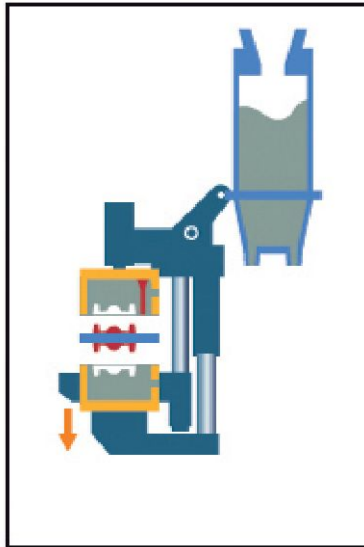
5

6



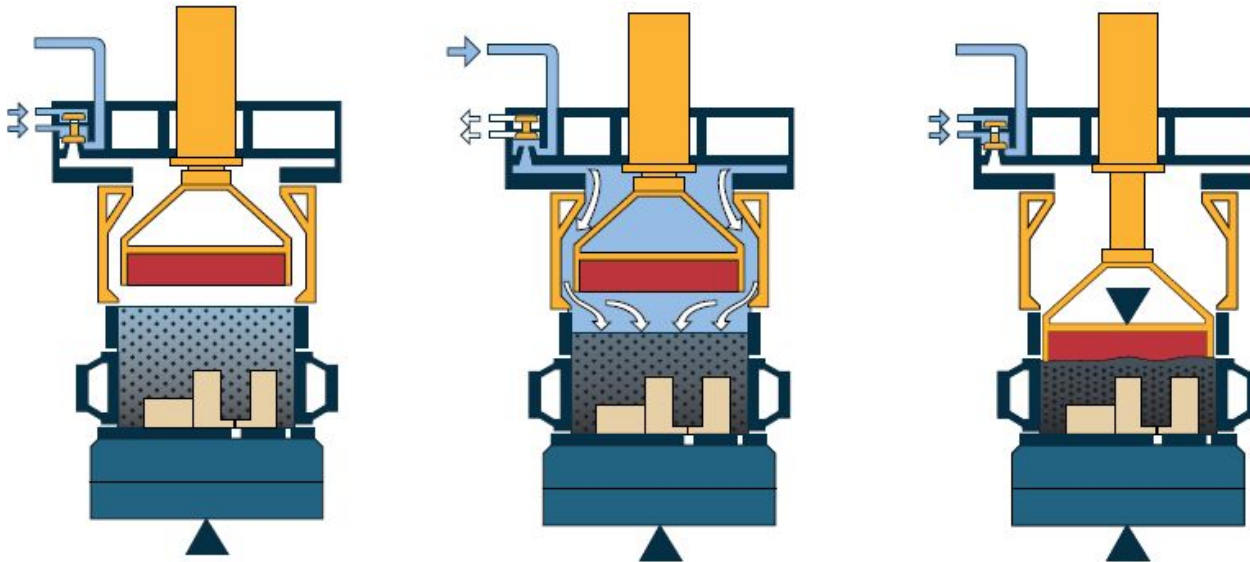
# Bezrámové automatické formovací linky – vodorovná dělicí rovina

- výroba 80 až 160 forem/hod
- větší odlitky



# Rámové automatické formovací linky – vstřelení + lisování

- DISA FLEX – obvykle výroba 40 až 60 forem/hod
- větší odlitky – až 100 - 400Kg
- vyšší tuhost rámu – vyšší přesnost odlitku



# Rámové automatické formovací linky



# Regenerace vratné bentonitové směsi

---

Oživení bentonitové směsi – přísada nového pojiva, doplnění přísad a vody (chlazení, spěchovatelnost)...opětovné mísení a formování

- drcení – rošty, polygonová síta atp.
- odloučení kovových částic – magnetická separace
- odloučení nekovových příměsí, odprášení – fluidní lože
- chlazení – chladničky, sila
- úprava složení směsi v mísiči – přísady, bentonit, voda



# II. generace pojivových systémů

---

**Samotvrdnoucí směsi (ST)** – organická pojiva - pryskyřice

- anorganická pojiva – sádra
- cement
- vodní sklo

**Směsi tuhnoucí zásahem zvenčí (ZZ)** – vodní sklo + CO<sub>2</sub>

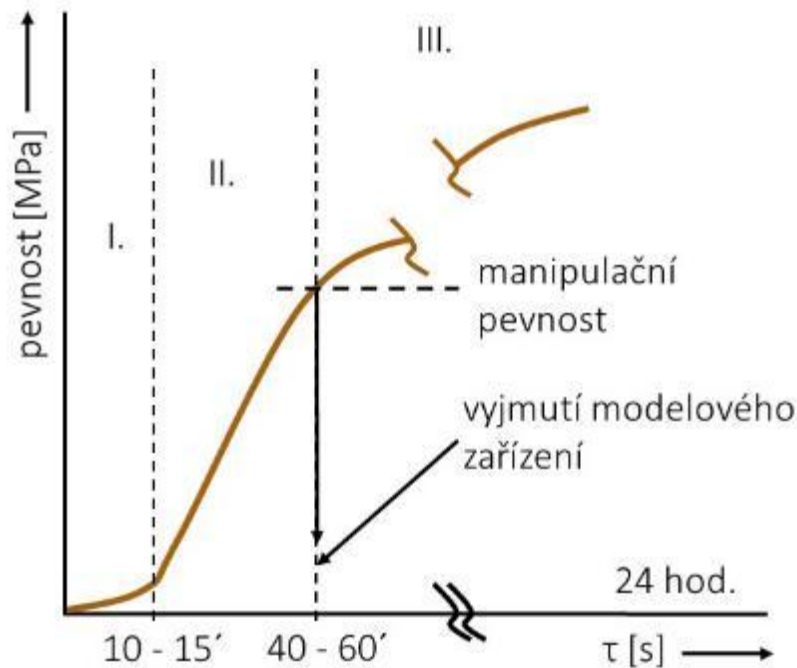
- COLD BOX (Ashland, SO<sub>2</sub>,...)
- HOT BOX, CRONING

**Výroba keramických forem** – před litím keramizační žíhání formy

- trvalý model
  - lisování formovací směsi
  - oblévání keramikou (Shaw)
- netrvalý model
  - vytavitelný model (vosk)
- spalitelný/vypařitelný model (WITTMOSER I.)

# Samotvrdnouce směsi ST

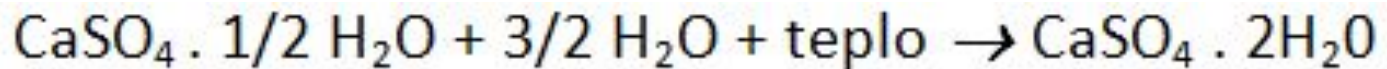
Pořadí mísení: ostřívo + tvrdidlo + pojivo  
vytvrzení směsi = chemická reakce



- I. Údobí plasticity (zpracovatelnosti) – Životnost směsi
- II. Údobí prudkého nárůstu pevnosti
- III. Údobí dotvrzení

# Anorganická pojiva - sádra

- Používá se již od dávnověku (Egypt, Řecko)
- schopnosti dokonalého kopírování – šperkařství, sochařství výroba přesných odlitků
- odlévání odlitků ze slitin s nižší teplotou tavení (Al, Cu)
- malé objemová změny, nízká tepelná vodivost – pomalé tuhnutí odlitků
- citlivost na vlhkost, nízká prodyšnost, citlivost na změny (sádra, voda atd.)
- metody – Antioch, Bendix, zpěněné směsi



# Metoda Antioch

---

výroba forem s vyšší prodyšností 15 – 150 j.p. – dvoufázový postup

1. Výroba formy (20°C) – odlití ztuhnutí, vyjmutí modelu,
2. vložení formy do autoklávu (10 hod., 0,1 MPa, 120°C), dihydrát ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) se mění na hemihydrát (půlhydrát  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ),
3. ponoření do vody, hemihydrát  $\rightarrow$  , zrnitá struktura, povrch hladký a střed pórovitý  $\rightarrow$  vyšší prodyšnost 50 – 150 j.p.
4. konečné sušení 10 – 15 hodin na teplotě postupně 100, 150, 200 až 300°C  $\rightarrow$  odlévání do vyhřátých forem ihned po vyjmutí z pece

# Metoda Bendix

---

Lití do předeřátých forem bez použití autoklávu → nižší prodyšnost

1. vyšší rozměrová a tvarová přesnost,
2. důkladné sušení, např. 230°C až 16 hodin,
3. odlévání často odstředivě,

# Metoda zpěněných směsí

---

Přísada povrchově aktivní látky = saponátu → napěnění sádrové směsi → tvorba bublinek → vyšší prodyšnost formy

1. příprava saponátové emulze,
2. mísení emulze a sádrové kaše (sádra, voda + přísady),
3. odlévání formy, tuhnutí 15 až 20 minut,
4. důkladné sušení v několika stupních, 65°C cca 2 hodiny, 150°C cca 2 hodiny a finální ohřev 200°C cca 2 hodiny
5. odlévání často odstředivě,

# Sádrové formy

---

## Výhody

1. vyšší přesnost rozměrů po vysušení,
2. hladkost povrchu
3. vysoká reprodukovatelnost tvaru – umění, šperky

## Nevýhody

1. dlouhá doba sušení – náklady, čas
2. náročnost na dodržování technologie a vstupní suroviny
3. formy nelze skladovat

# Anorganická pojiva - cement

---

## Portlandský

- nejvíce využívaný

## Struskoportlandský

- podíl portlandského cementu a vysokopecní strusky
- Struska dává vyšší odolnost vůči chemickým vlivům

## Hlinitanový

- váže více vody, rychlejší tuhnutí, vyšší pevnosti
- příliš drahý

Složení směsi – ostřivo, cement, voda, přísady – zpomalovací přísady (zpomalují tvrdnutí), urychlující přísady (zrychlují proces tvrdnutí a tím i zkracují dobu vyjímání modelu – chloridy, uhličitany, sírany Na, K, Li atp.), plastifikátory (škrob)



# Cementové směsi

---

## Výhody

1. dobré pracovní podmínky a ekologie - deponování odpadních písků
2. nižší energii pěstování než jílová pojiva
3. nízká cena
4. vysoké pevnosti – snáší vysoká zatížení – menší množství výztuh
5. tuhnutí i pod vodou

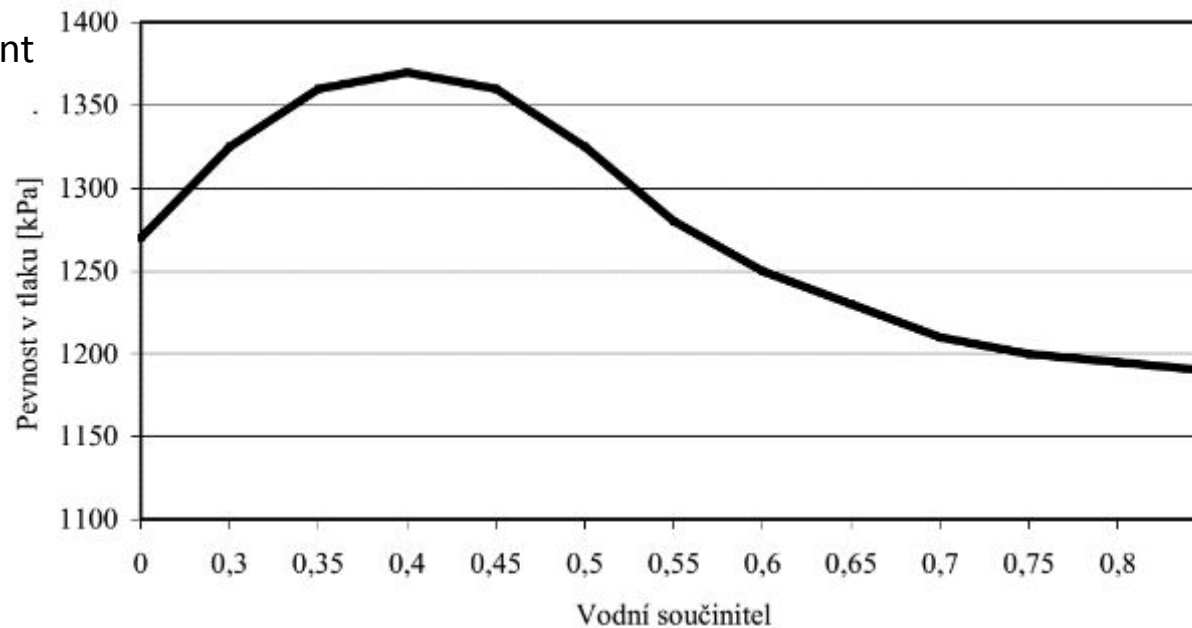
## Nevýhody

1. dlouhá doba vytvrzování - obtížné vyjímání modelů po dlouhodobém cyklu vytvrzování formy (7 – 12 hodin)
2. špatná rozpadavost - vysoké náklady při vytloukání a apretaci

# Cementové směsi

vodní součinitel  $vs = m_{\text{voda}} /$

$m_{\text{cement}}$



max. pevnost  $vs = 0,35 - 0,45$  – suchá, nelze formovat

optimální hodnota  $vs = 0,7 - 0,9$  – pomalé tuhnutí - urychlovače

# Anorganická pojiva – vodní sklo

Vodní skla jsou koloidní disperzní systémy tvořené disperzními částicemi (micelami) a disperzním prostředím (intermicelárním roztokem).

Ternární soustava  $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-H}_2\text{O}$

Modul (2,0 - 3,3) 
$$m = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Na}_2\text{O}}$$

Hustota - Bauméových stupních „°Be”

$$m = 3,0 - 36-38 \text{ °Be}$$

$$m = 2,0 - 58-60 \text{ °Be}$$

**m ↓ rychlost tuhnutí ↑ pevnost ↓**

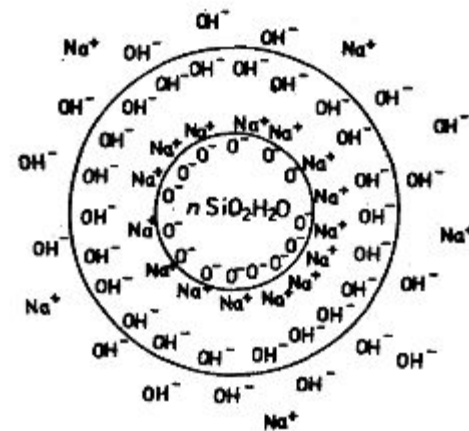
Koagulačním

práh

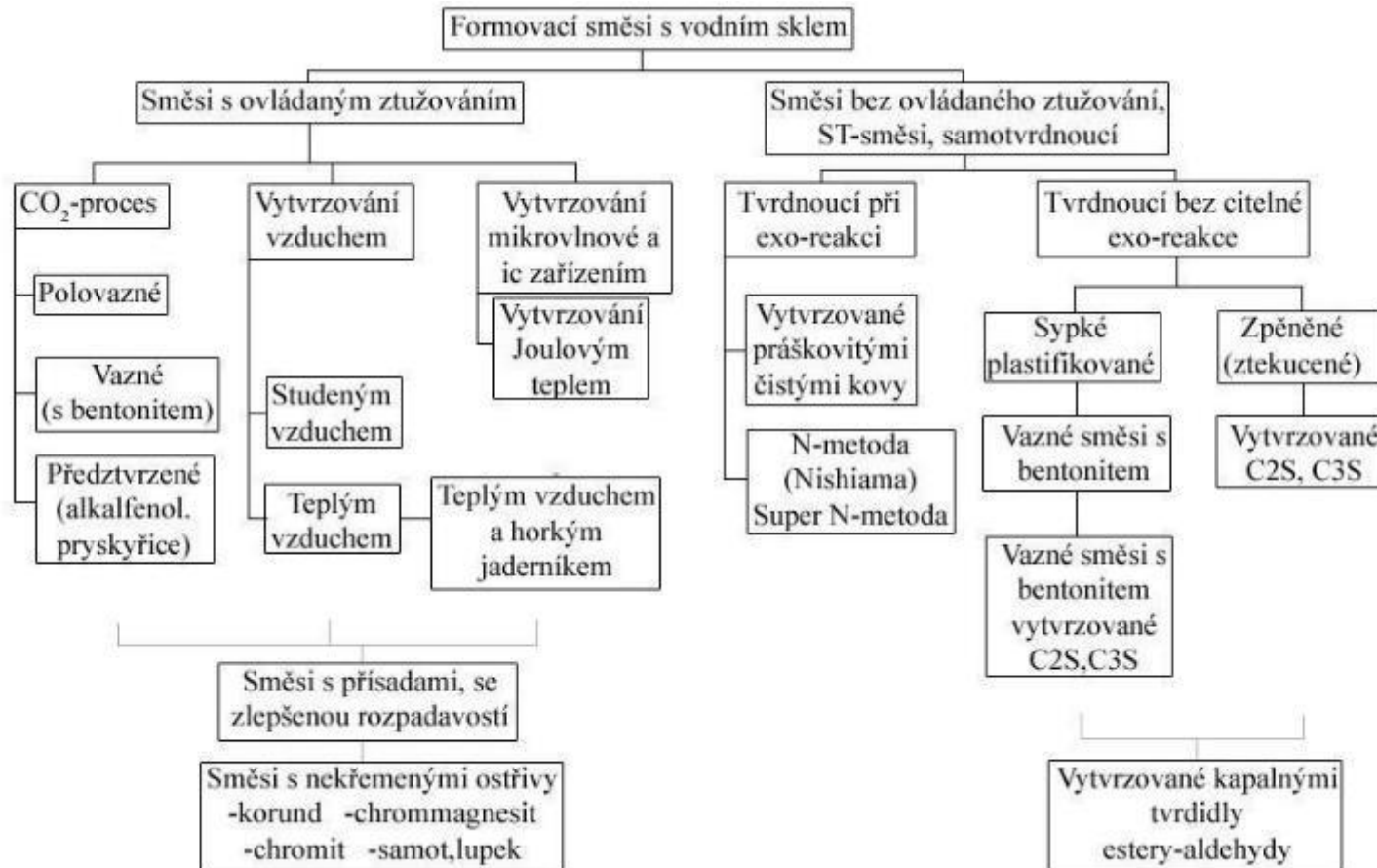
$$KP = 0,31 \cdot V_A$$

KP.....koagulační práh [%Na<sub>2</sub>O]

V<sub>A</sub> ..... spotřeba HCl [ml]



# Formovací směsi s vodním sklem



# SMĚSI S VODNÍM SKLEM

---

VAZNÉ



ZÁKLAD

- 1.vodní sklo
- 2.bentonit
- 3.práškové  
tvrdidlo

NEVAZNÉ



ZÁKLAD

- 1.vodní sklo
- 2.tvrdidlo



práškové  
- ferosilicium



kapalně  
- estery

ZTEKUCENÉ



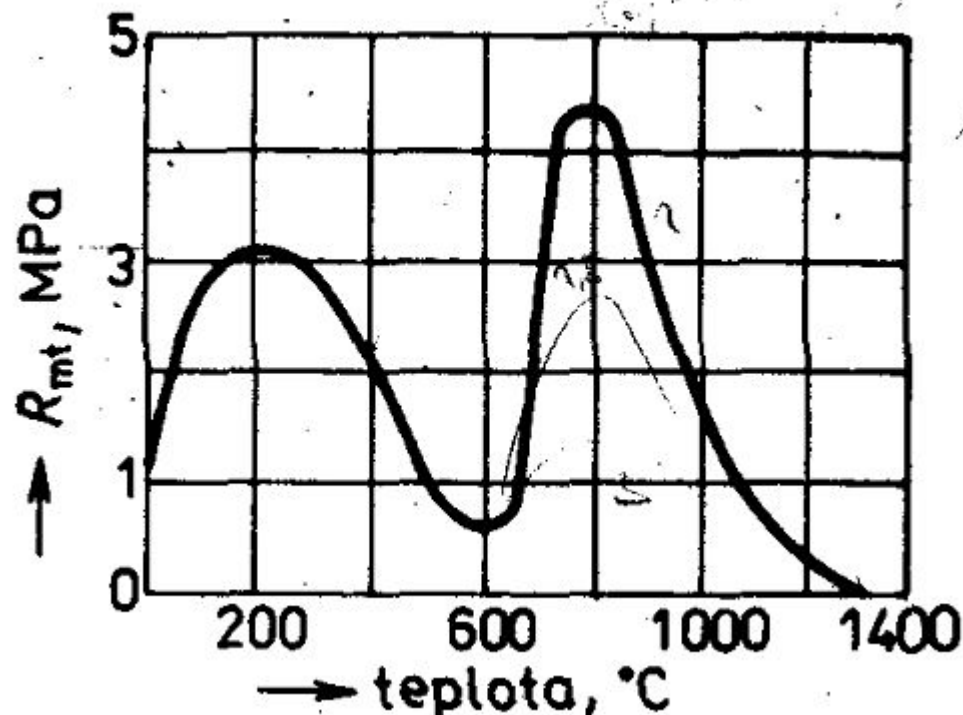
ZÁKLAD

- 1.vodní sklo
- 2.tvrdidlo
- 3.zpěňovadla

# ZZ směsi - Vodní sklo + CO<sub>2</sub>

ČS patent – Dr. Ing. Lev Petržela (SVUM, VUT)

Hlavní technologie 50 až 70 let 20 století



Nízká rozpadavost forem

obtížné vytloukání

obtížná regenerace

výskyt I a II maxima

GEOPOL – moderní vodní  
sklo – lepší rozpadavost

# Technologie CT (vodní sklo+CO<sub>2</sub>)

---



# Organické samotuhnoucí směsi

---

Olejová pojiva	Umělé pryskyřice	Sacharidy
kombinované	fenolformaldehydové	monosachyridy
	furanové	oligosacharidy
	močovinoformaldehydové	polysacharidy
	kombinované	



# Organické samotuhnoucí směsi

---

## Základní vlastnosti organických pojiv

- vysoká pevnost po vytvrzení (pevnost v ohybu) – výroba složitých tenkostěnných i masivních a těžkých odlitků
- vysoká přesnost forem a kvalita povrchu odlitku
- rychlý pokles pevnosti po odlití – výborná rozpadavost
- vysoká stabilita při skladování jader
- snadná mechanická a pneumatická regenerace za sucha

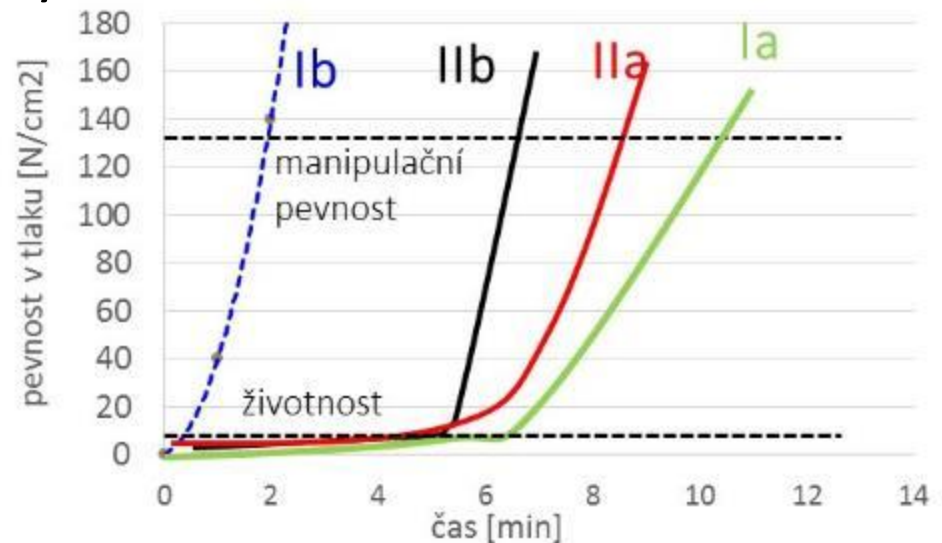
# ST směsi s organickými pojivy (pryskyřice)

## I) Vytvrzované kyselinami

- a) furanové (sírová, PTS) – dnes nejčastější
- b) fenolformaldehydové

## II) Na bázi uretanových pryskyřic

- a) alkydizokyanáty  
(alkyd-uretanové pryskyřice)
- b) fenoluretanové



# Přednosti furanových pojiv

---

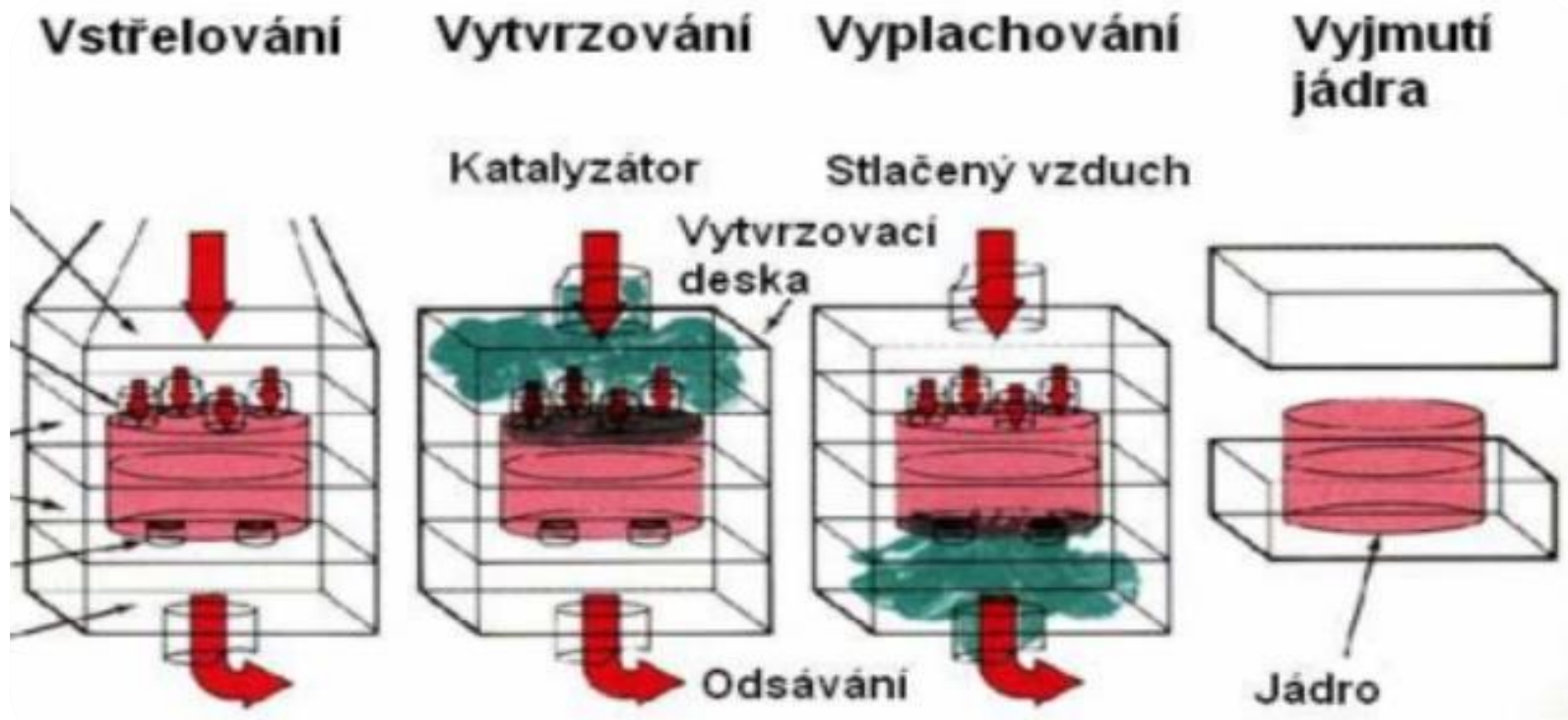
- dávkování pojiv 0,65-1,2% na novém písku i regenerátu.
- nízký poměr forma/kov v důsledku vysokých dosažených pevností,
- rychlé rozebírání forem,
- vysoká rozměrová a tvarová přesnost, vysoká kvalita povrchu odlitků
- výborná rozpadavost směsí a vysoký stupeň regenerovatelnosti (90 až 95 %)
- použití pro všechny druhy odlévaných materiálů

# Příprava ST formovací směsi

- příprava směsí s pojivy s nízkou viskozitou (pryskyřice, oleje, vodní sklo) – průběžné jedno nebo dvoužlabové mísiče
- ostřívo + tvrdidlo následně se přidává pojivo,
- dvoužlabové průběžné mísiče – dvě směsi – chromit + křemen,



# Výroba jader – COLD BOX



Katalyzátor + nosný plyn – směšovač – mísení se vzduchem =  
profouknutí

jaderníku a jádrové směsi → neutralizace plynu (pračka)

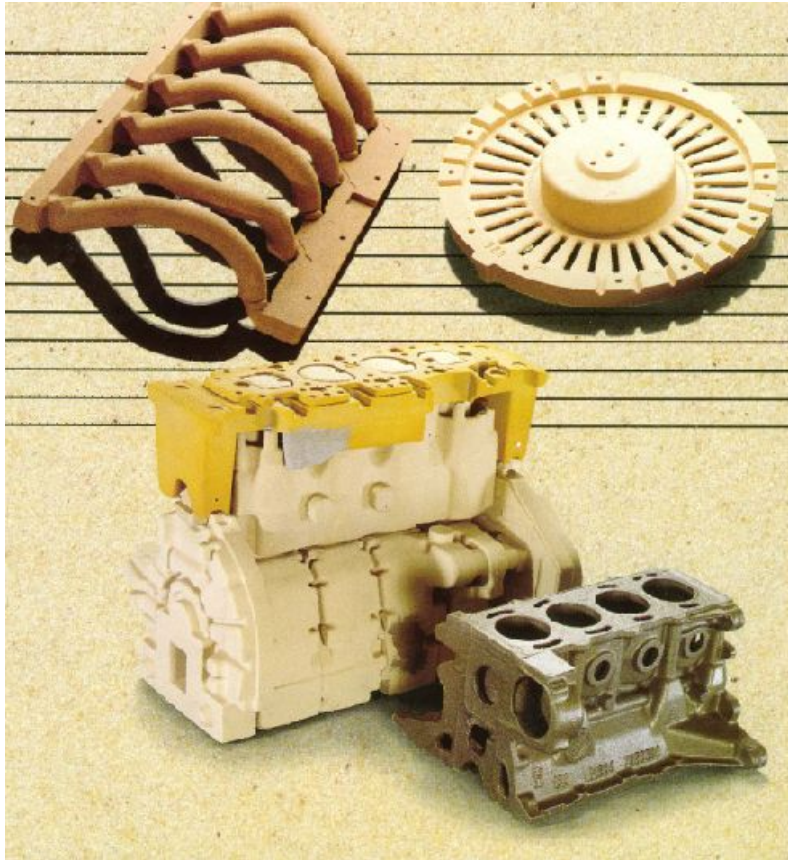
# Výroba jader – COLD BOX

---

Nejčastěji používané pojivové systémy pro COLD BOX

- Phenol-uretanové pryskyřice + tvrdidlo - aminy (TEA – triethylamin, DMEA – dimethylamin – jedovaté, výbušné)
- Furanové pryskyřice + SO<sub>2</sub>
- Epoxy-akrylátové pryskyřice + SO<sub>2</sub>
- Alkalické fenoly + metylformiát
- Alkalické fenoly + CO<sub>2</sub>

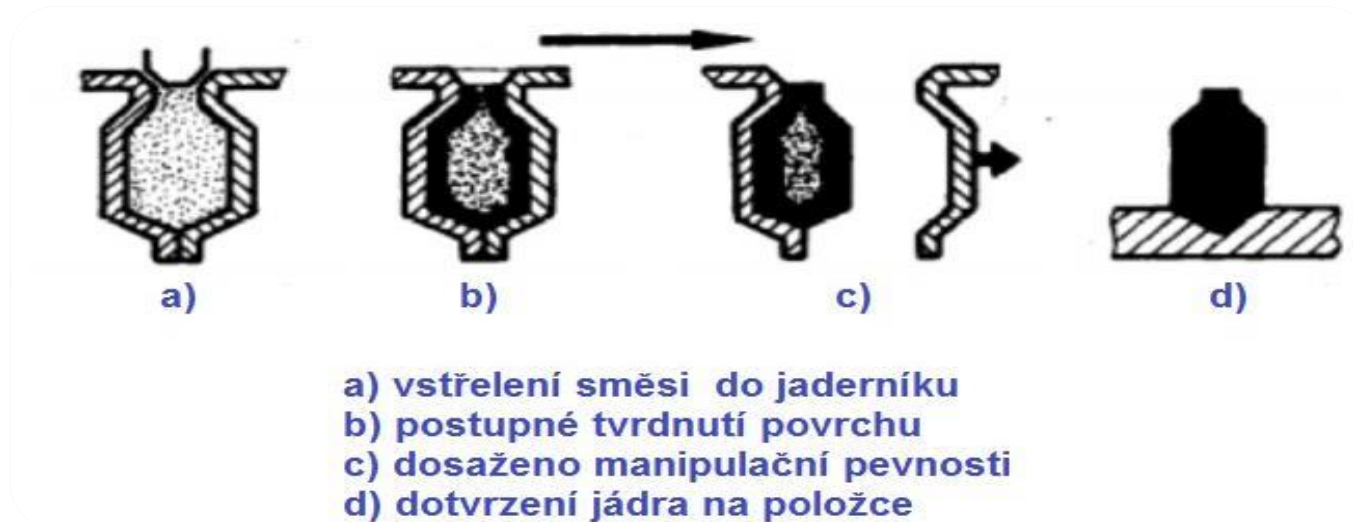
# Příklady jader COLD BOX



# Technologie HOT BOX

Výroba jader – ostřivo + tekuté pojivo (pryskyřice) a tekuté tvrdidlo – směs je vlhká – pryskyřice (např. fenolformaldehydové) se vytvrzují teplem

Horké jaderníky – vstřelení směsi – vytvrzení – profouknutí horkým vzduchem





# Technologie HOT BOX

Vstřelovací stroje: Jedno polohové, vícepolohové, karuselové atd.

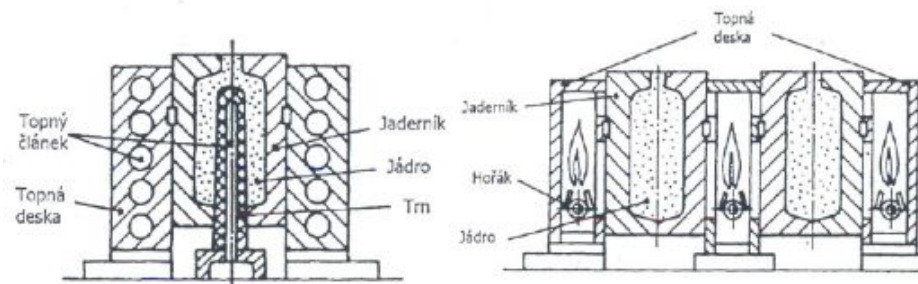
Ohřev jaderníků –  
plyn nebo el. energie

Výhody

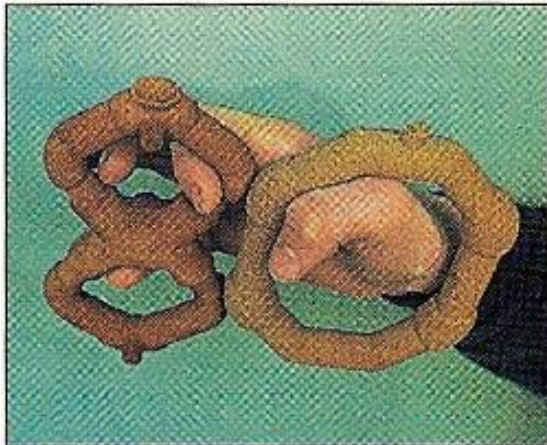
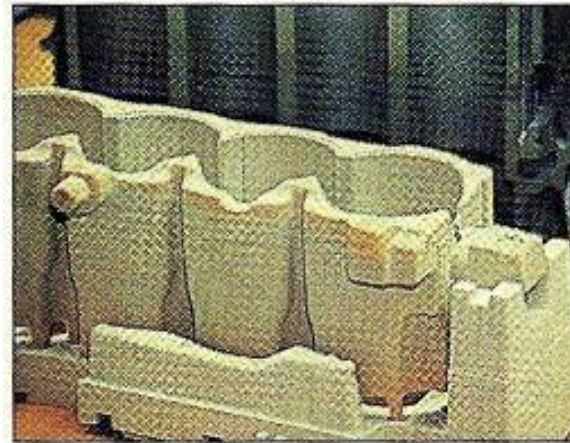
- rozměrová přesnost, dobrý povrch odlitku
- dostatečná pevnost jádra, dobrá rozpadavost (Al odlitky)
- známá a prozkoumaná technologie, která je dobře kontrolovatelná

Nevýhody

- spotřeba energie
- technologické časy delší než CB
- náklady na kovové jaderníky
- pracování s chemikáliemi, hygienické hledisko



# Příklady jader HOT BOX

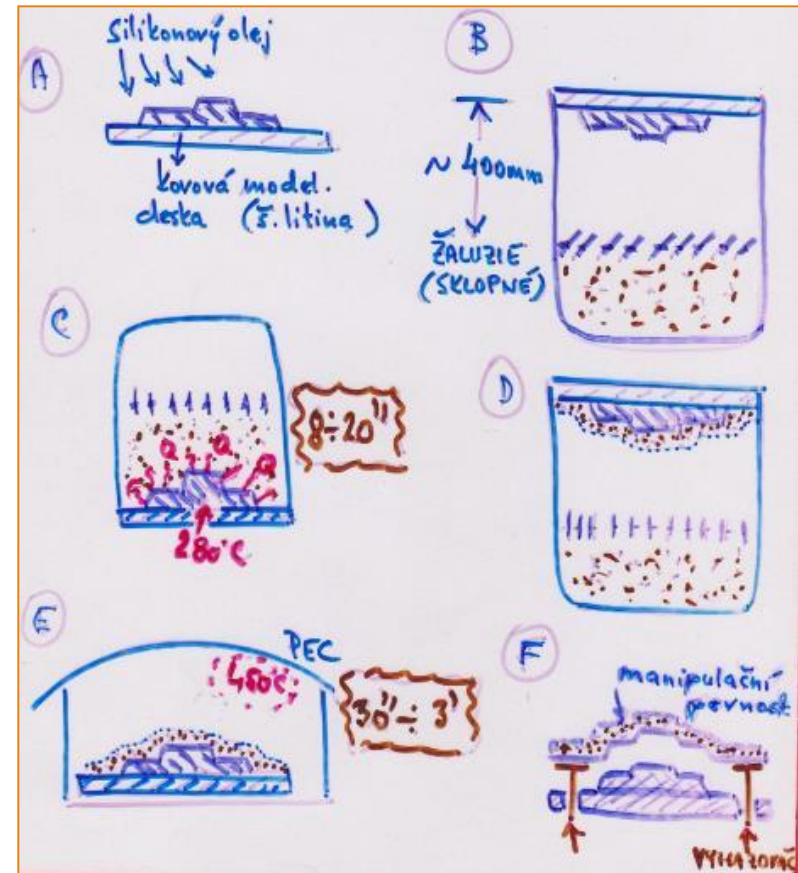


# Technologie CRONING (C)

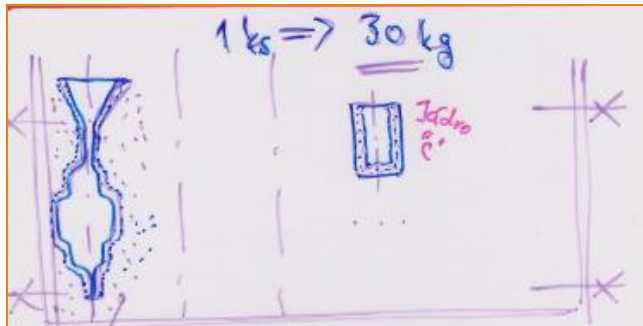
Výroba jader a forem z dokonale sypké směsi tvořené ostřivem a teplem tavitelné a tvrditelné pryskyřice

Skořepinová forma nebo jádro vzniká postupným natavováním a vytvrzováním teplem ohřátého modelu nebo jaderníku.

Řízením doby ohřevu se řídí tloušťka skořepiny – přebytečná směs se vysype.



# Příklady jader CRONING



# Keramické formy – metoda vytavitelného modelu

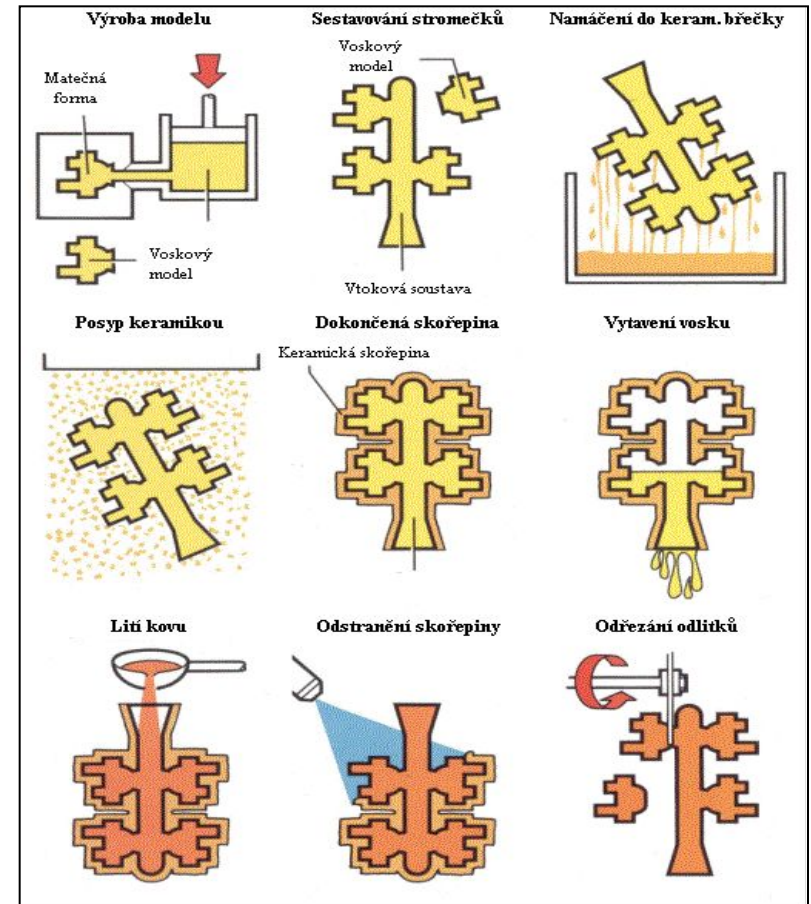
Žihání forem před litím –  
keramická vazba

vytavitelný nebo vypařitelný model

princip technologie vytavitelného  
modelu

postup postupného obalování –  
skořepinová forma

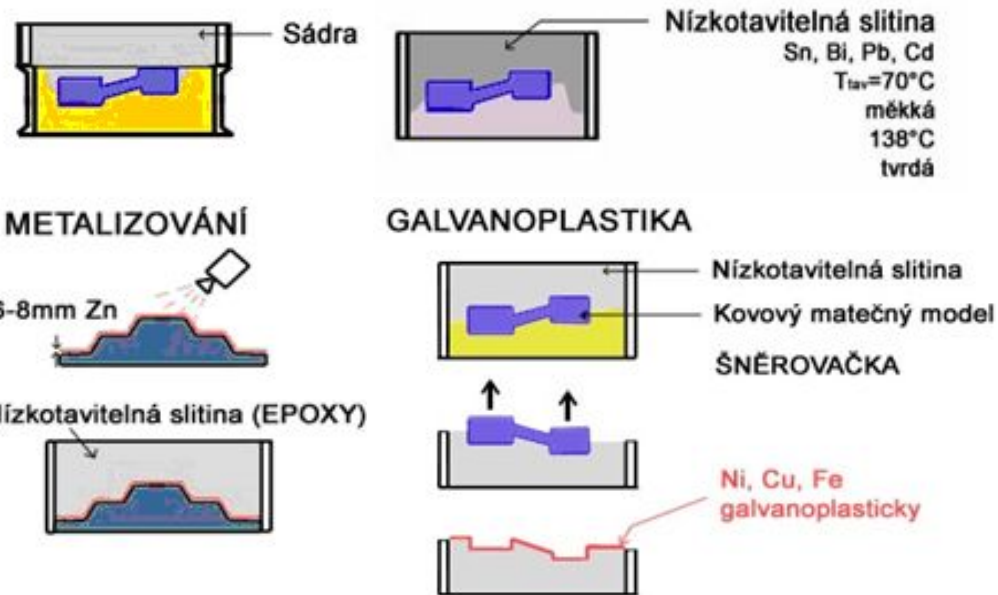
odlévané keramické formy –  
metoda SHAW, UNICAST



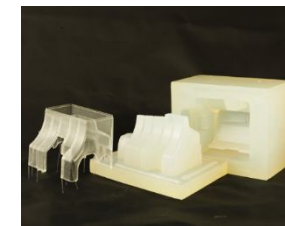
# Zhotovení matečné formy

## DLE MATEČNÉHO MODELU

- ze sádky nebo silikonu (kaučuk)
- z nízkotavitelných slitin (ZN)
- formy vyrobené metalizováním
- formy vyrobené galvanoplasticky



Obráběním



RP

# Zhotovení voskového modelu

---

Současné vosky – komplexní materiály obsahující následující složky:

- přírodní vosky
  - syntetické vosky
  - přírodní pryskyřice
  - syntetické pryskyřice
  - organická plnidla
  - voda
- TYPY POUŽÍVANÝCH VOSKŮ
- přímé (neplněné)
  - plněné (30% plniva)
  - emulzifikované (vodou, vzduchem)

Kombinace vlastností surovin k dosažení optimálních charakteristik:

- bod tavení a tuhnutí
- tvrdost
- viskozita
- roztažnost/smrštitivost
- rychlost tuhnutí
- obsah popela (< 0,05%)
- pružnost
- povrchová kvalita
- stabilita vůči oxidaci
- možnost regenerace





# Ukázka voskového modelu



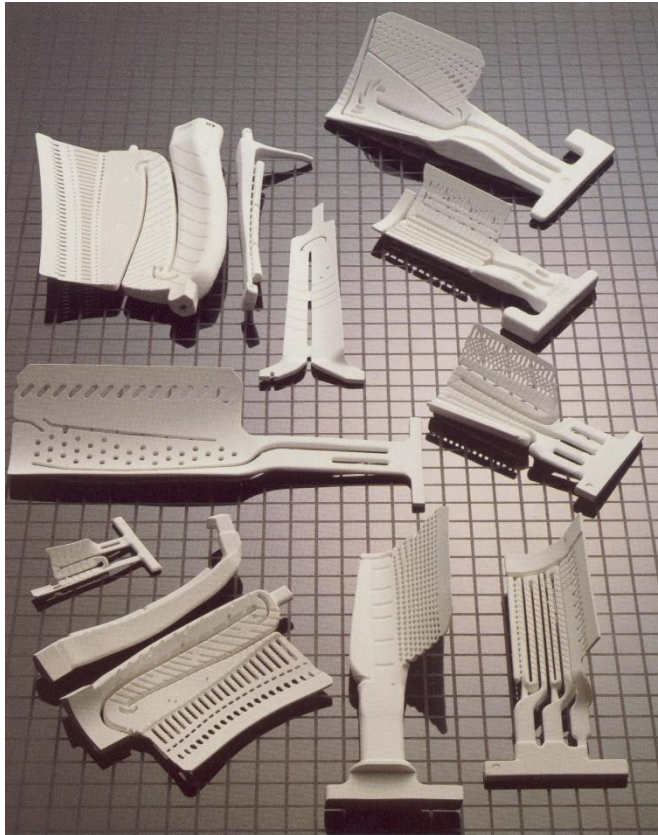
# Sestavování modelů - stromečku

- sestavy jednotlivých modelů
- sestavy více modelů do tzv. stromečků



# Aplikace keramických jader v PL

---



# Výroba skořepinové formy

---

## a/ Postupné obalování a sušení obalů

### I/ ODMAŠTĚNÍ VOSKOVÝCH MODELŮ

(odstranění zbytků separátoru použitého při výrobě v matečné formě)

### II/ PONOŘENÍ DO OBALOVÉ HMOTY

(keramické suspenze – břečka, sestávající z plniva a pojiva)

Plnivo – Žáruvzdorná keramická moučka (tavený, křemen, molochit, zirkon,..)

Pojivo – koloidní roztok křemene na bázi alkoholu (alkosol) nebo vody (hydrosol)

### III/ OKAPÁNÍ

# Výroba skořepinové formy

**IV/ POSYP ZRNITÝM KERAMICKÝM MATERIÁLEM** (fluidní nebo sprchový způsob)

Posypy – křemen, molochit, korund, zirkon, silimanit, atd.

Zrnitosti plniva dle čísla obalu :

- první 1-2 tzv. „lícni“ jemnější zrnitost – 0,175-0,25 mm (POVRCH ODLITKU)
- další 3- x tzv. „zesilovací“ hrubší – 0,25-0,5 mm (PRODYŠNOST FORMY)

## V/ SUŠENÍ

(v klimatizovaném prostoru 2-4hod – teplota  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  , relativní vlhkost 30-60%)

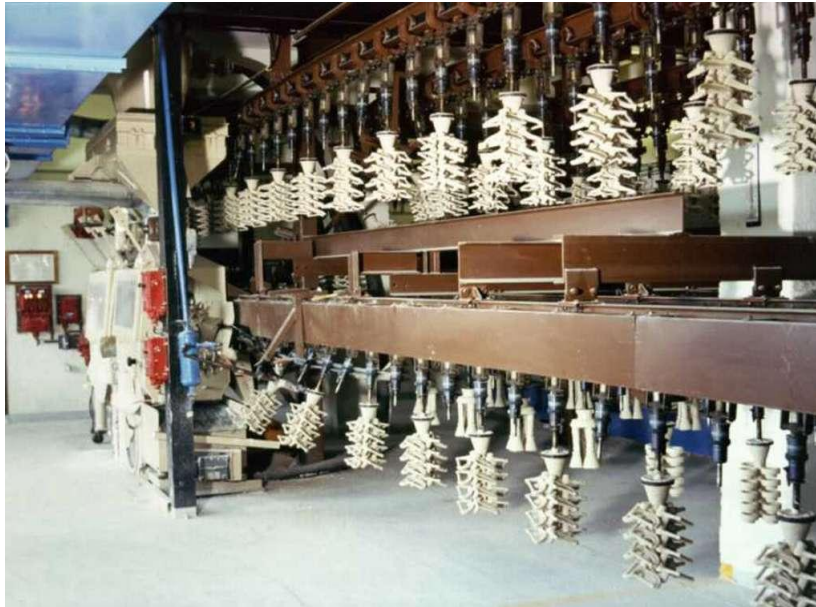
-dle typu použitého pojiva, proudění vzduchu)

## VI/ OPAKOVÁNÍ ( II – V)

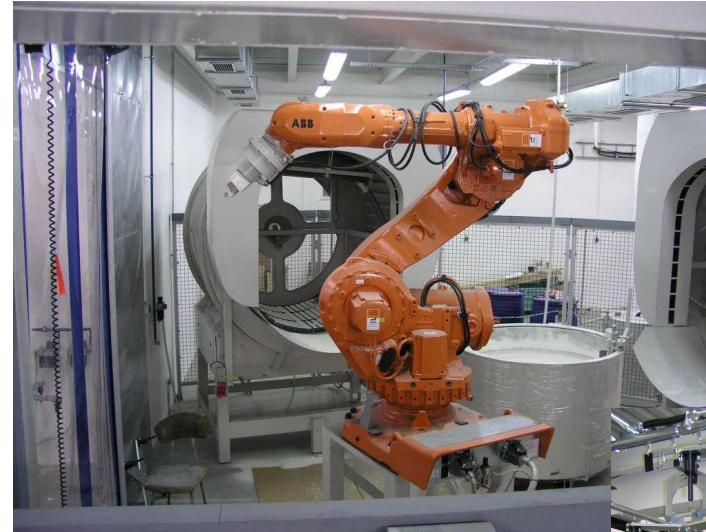
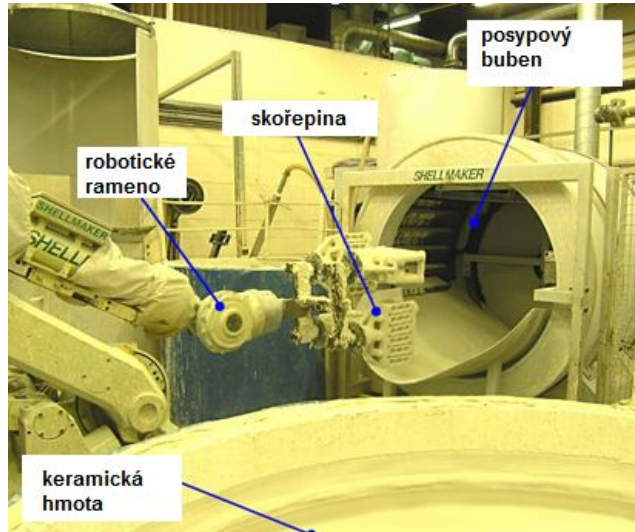
(do vytvoření potřebného počtu obalů – 4-12)

# Výroba skořepinové formy – obalovací linky

---



# Výroba skořepinové formy -robotizovaná pracoviště



současnost



historie

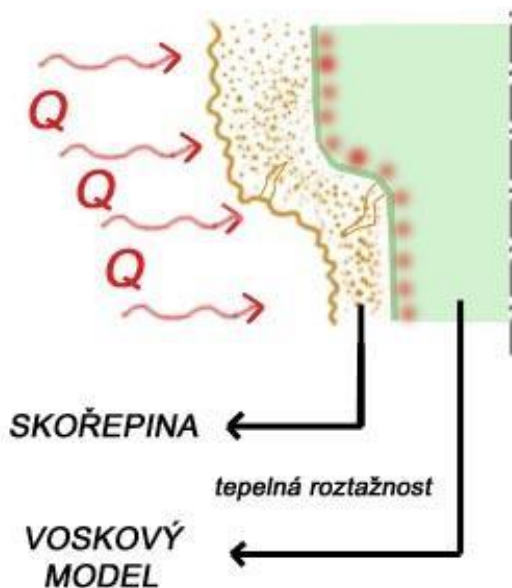


# Vytavení vosku ze skořepiny

Základní problém: **rozdílná roztažnost vosku a skořepiny !**

U vosku větší, proto nebezpečí roztržení skořepiny při vytavování vosku.

NUTNOST vytvoření „dilatační spáry“ na povrchu voskového modelu – rychlým ohřevem této vrstvy, tzn. aplikací **TEPELNÉHO ŠOKU**



## POUŽÍVANÉ TECHNIKY PRO VYTAVOVÁNÍ

VOSKU

- I/ Přehřátou parou – v boilerklávu nebo autoklávu
- II/ Vyžiháním – „flash fire“ systém
- III/ Horkým vzduchem
- IV/ Mikrovlnným ohřevem



# Vytavení vosku ze skořepiny

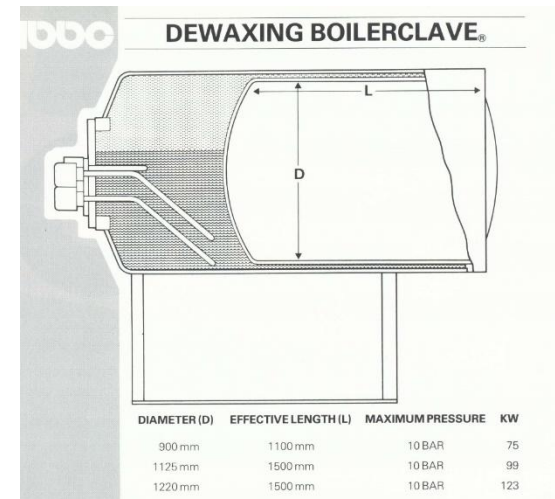
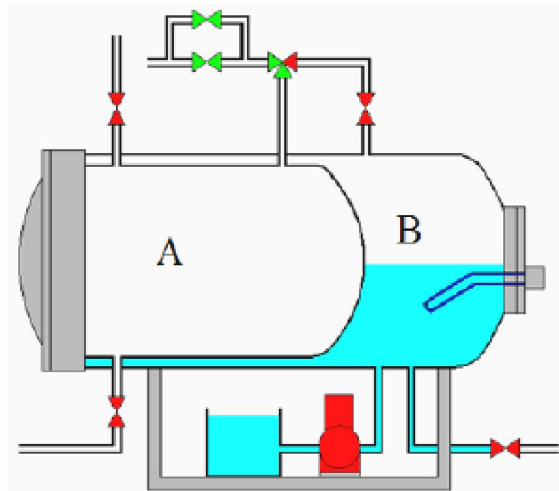
Většinou se používá systém vytavování párou (boilerkláv, autokláv)

**Hlavní důvody:**

- ideální vlastnosti páry pro přenos tepla
- snadnost sběru vytaveného vosku
- vysoká účinnost

**Pracovní parametry:**

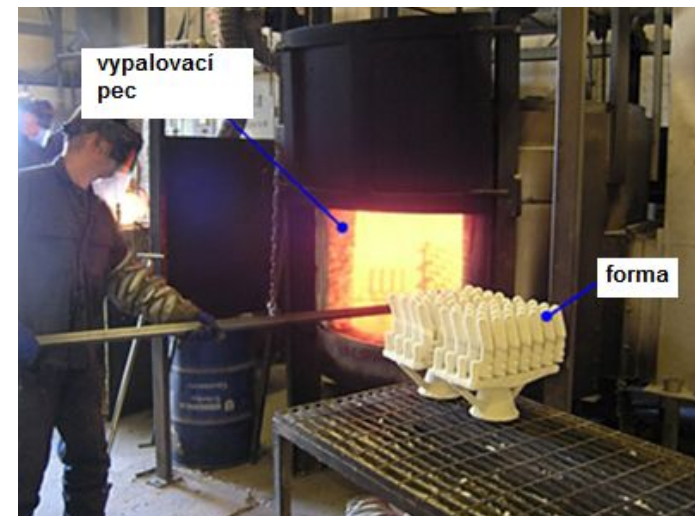
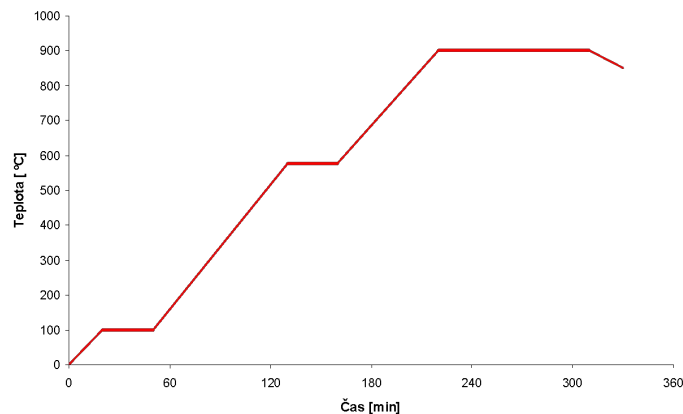
- teplota páry – 160-180°C
- pracovní tlak – 6-9 atm.
- nárůst tlaku na prac. tlak za 3-5 s
- řízená rychlost snižování tlaku



# Keramizační žíhání skořepin

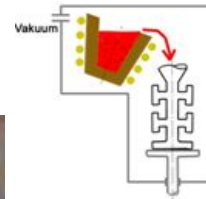
## TŘI HLAVNÍ DŮVODY ŽÍHÁNÍ (VYPALOVÁNÍ) SKOŘEPIN

- odstranění zbytkového vosku
- zpevnění formy – keramická vazba
- předeřtí skořepiny před litím



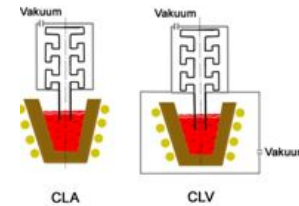
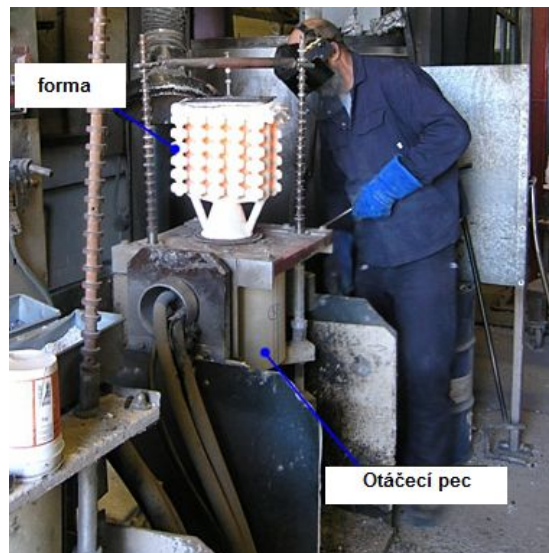
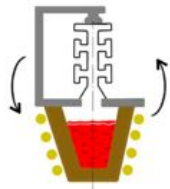
# Odlévání

- gravitační lití
- sklopné lití
- tavení a gravitační odlévání ve vakuu
- vakuové nasávání (CLA, CLV)



# Odlévání

- gravitační lití
- sklopné lití
- tavení a gravitační odlévání ve vakuu
- vakuové nasávání (CLA, CLV)



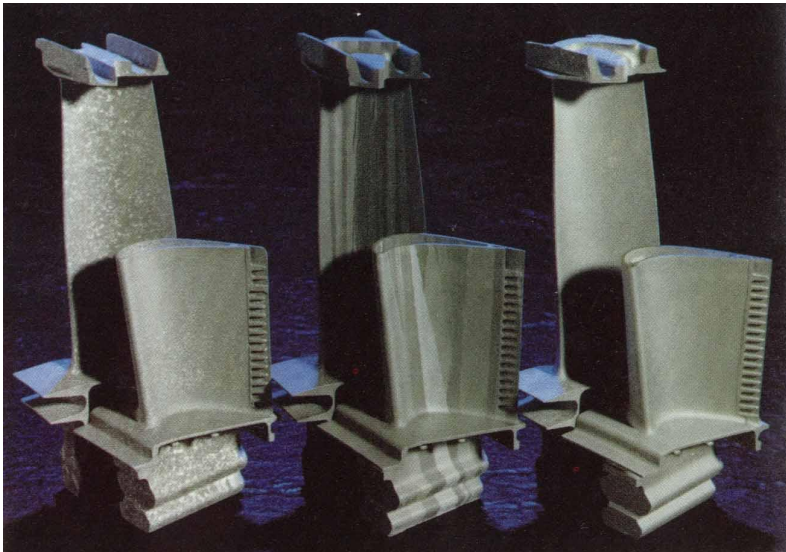
# Dokončující operace

- hrubé odstranění keramických obalů
- oddělení odlitků od vtokového systému
- odstranění zbylé keramiky
- dokončující operace
- kontrola jakosti odlitků



# Odlitky výroba technologií vytavitelného modelu

Lopatka leteckého motoru – rovnoosá struktura, usměrněná  
krystalizace, monokrystal - superslitiny na bázi niklu, odléváno ve vakuu

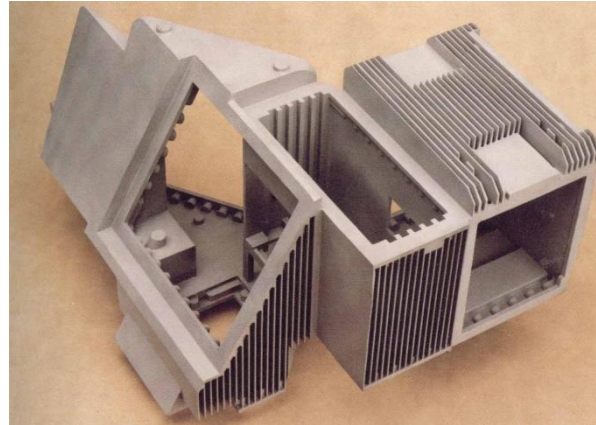


Superslitiny na bázi Ni, odléváno ve  
vakuu  
- odlitky pro energetiku

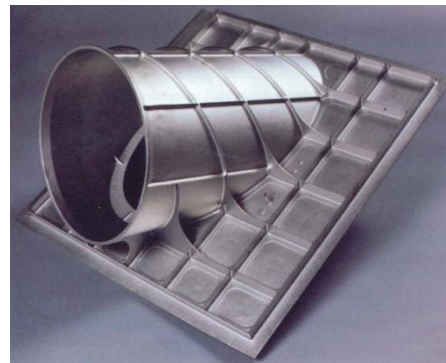
# Odlitky výroba technologií vytavitelného modelu



Odlitek pro  
brokovnici-  
Cr kalitná nerez ocel  
Boeing 777 APU  
potrubí - Ti slitina



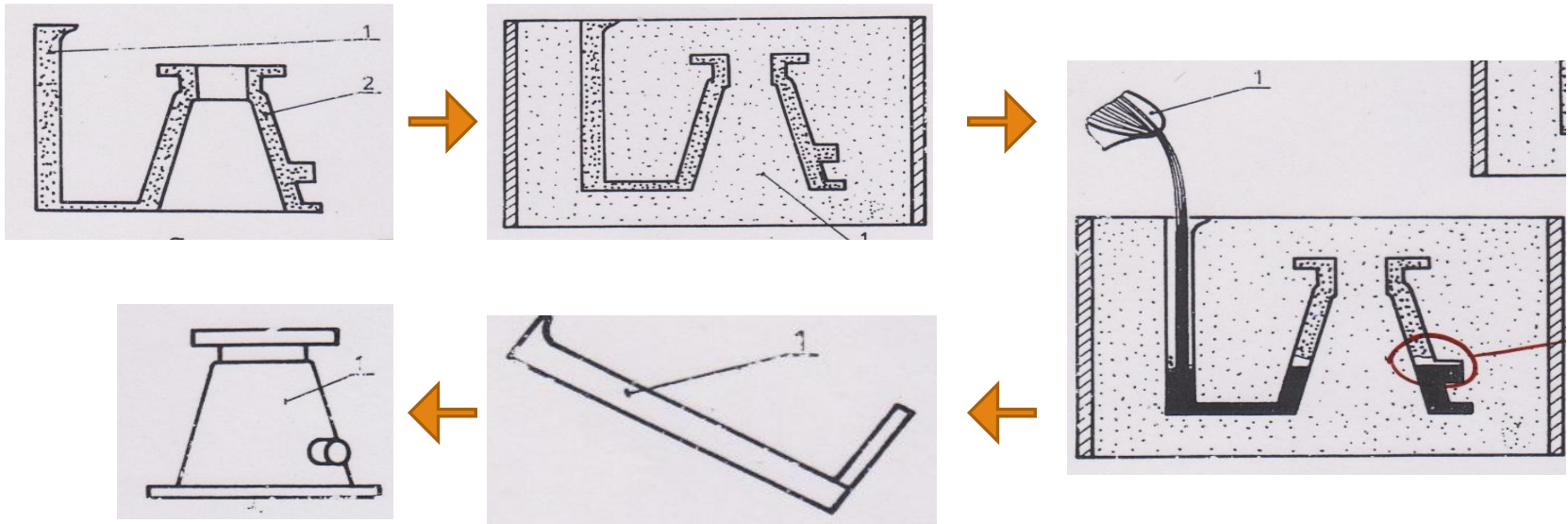
Odlitek kontrolního systému v  
tanku – Al slitina



Část helikoptéry  
V-22 – Ti slitina

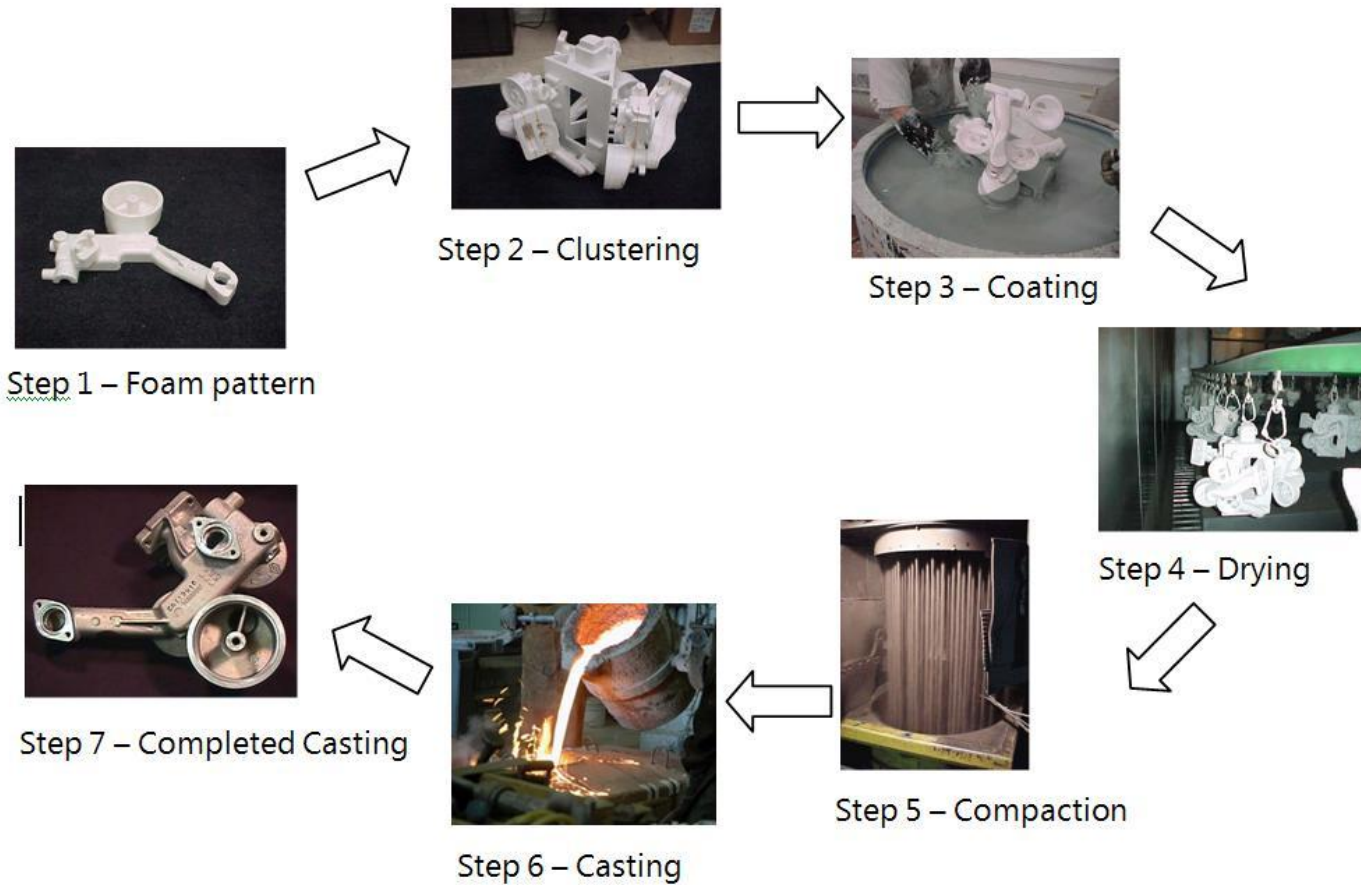
# Technologie vypařitelného modelu

- model vyroben z polystyrenu obráběním (CNC) nebo v matečné kovové formě
- model celistvý nebo z více částí včetně vtokové soustavy - lepení
- výroba velkosériová nebo naopak kusová
- polystyrenový model natřen a zasypan do písku (vibrace) – odlévání





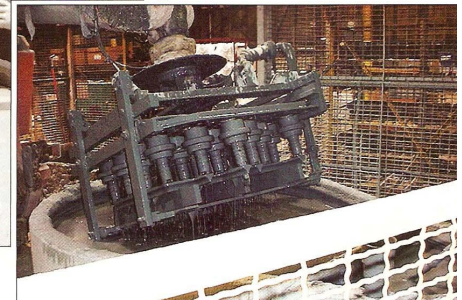
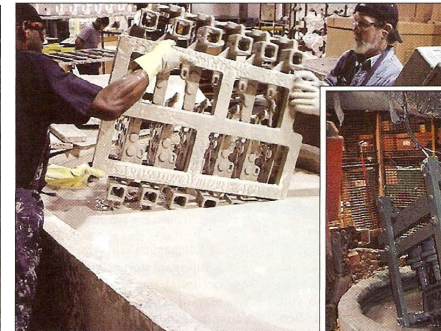
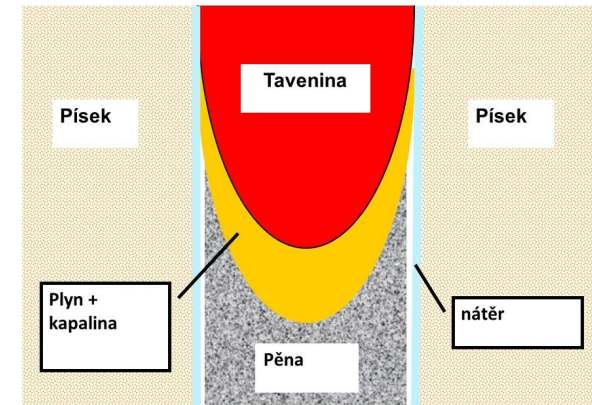
# Princip technologie



# Nátěr modelu

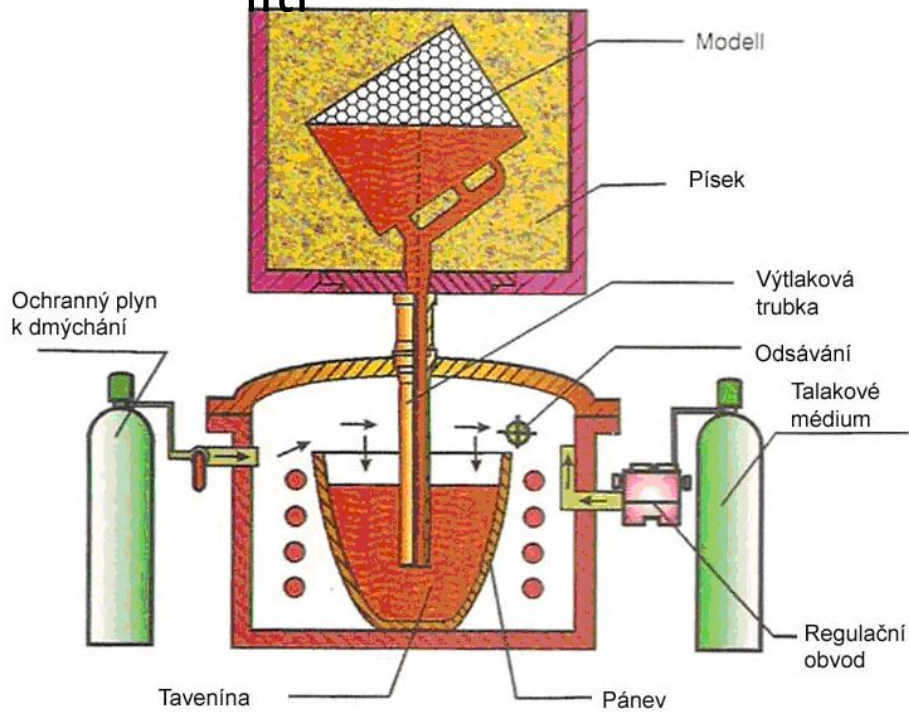
## FUNKCE NÁTĚRU:

- Fyzikální bariéra mezi pískem a kovem
- Odstranění plynných produktů z modelu
- Odstranění kapalných produktů z modelu
- Tepelná izolace

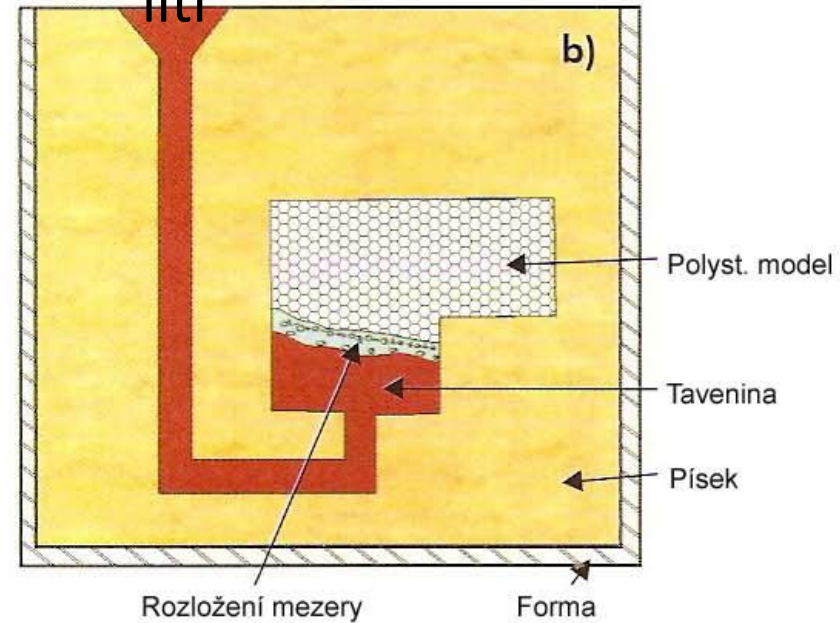


# Odlévání

## nízkotlaké lití



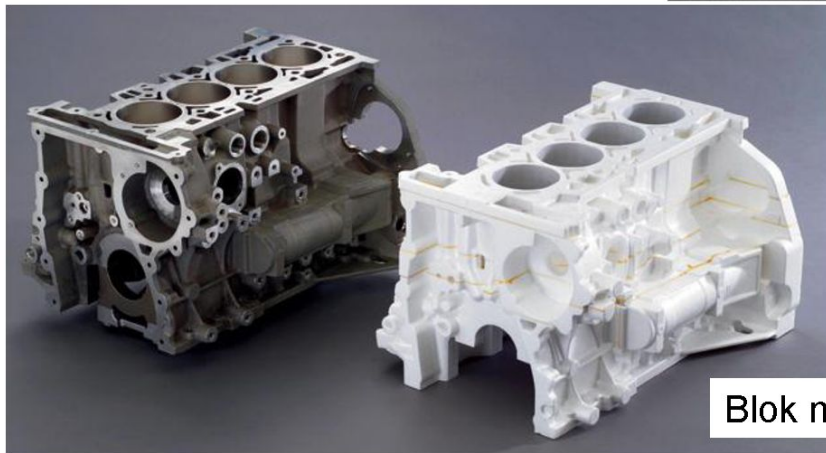
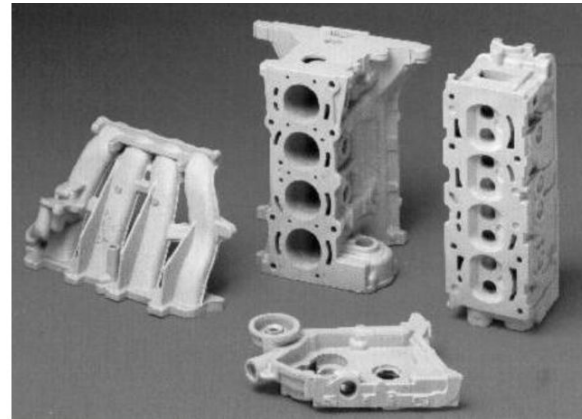
## gravitační lití



# Odlitky výroba technologií vypařitelného modelu



<http://www.canadiandriver.com/2001/03/06/autotech-lost-foam-casting.htm>



Blok motoru

Příklady tvarově složitých odlitků litých technologií LOST FOAM



hlava válců motoru



# III a IV generace poživ

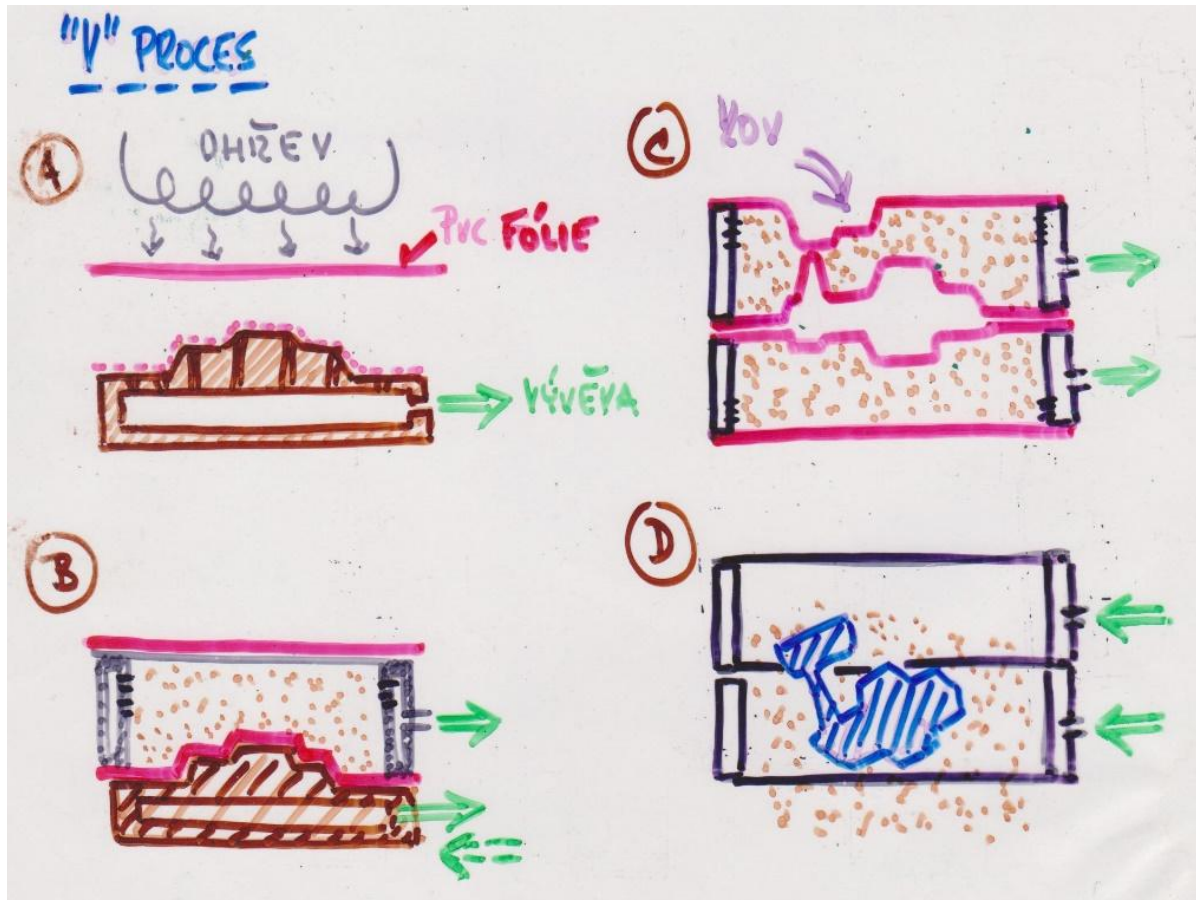
---

III generace – fyzikální vazby

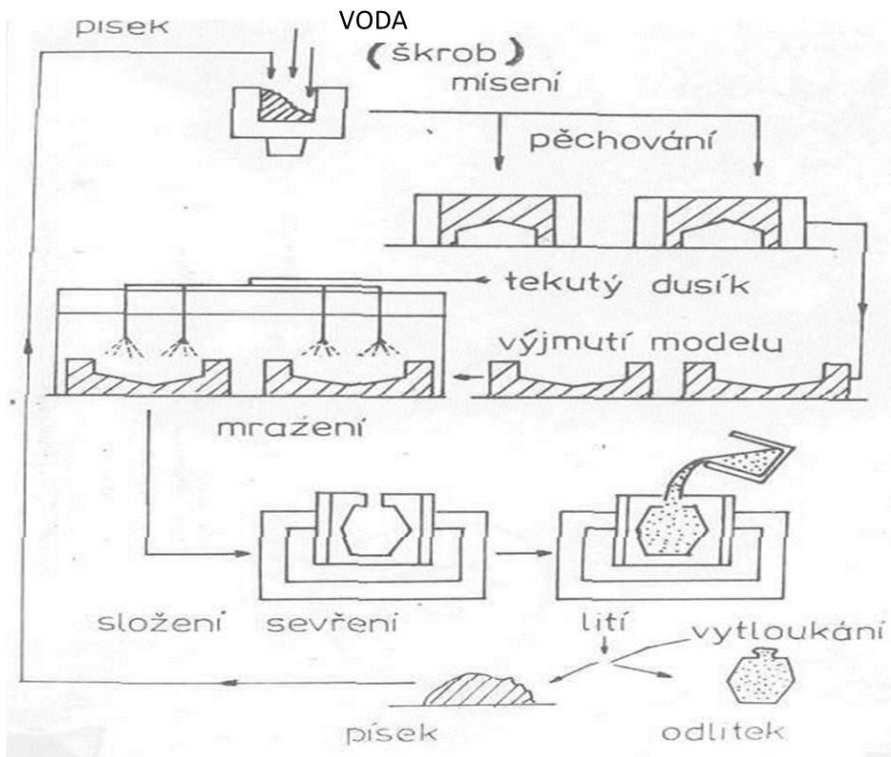
- V proces – vakuování
- EFF Set proces – zmrazení forem
- Vit Moser II

IV generace – biogenní pojiva

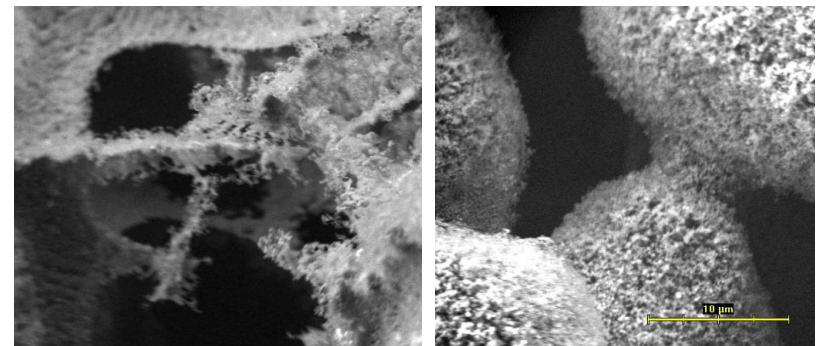
# V proces



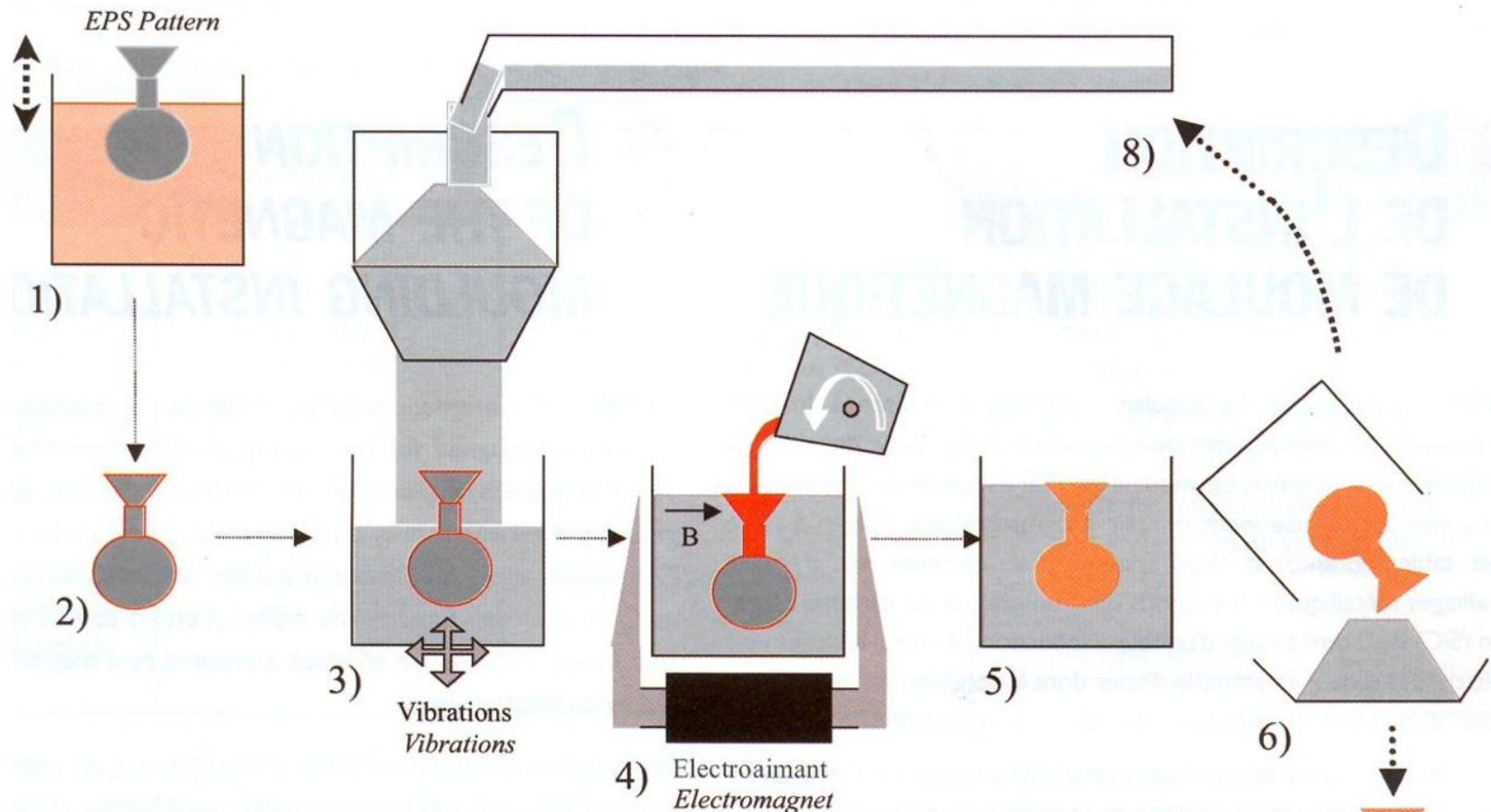
# EFF SET Proces – zmrazené formy



směs – voda + ostřívo + přísady  
vyplnění dutiny formy  
zmrazení pomocí CO<sub>2</sub> nebo N<sub>2</sub>  
zmrazení s modelem nebo bez  
modelu (přísada škrobu)



# VITTMOSER II – magnetické pole





Děkuji za pozornost

