

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

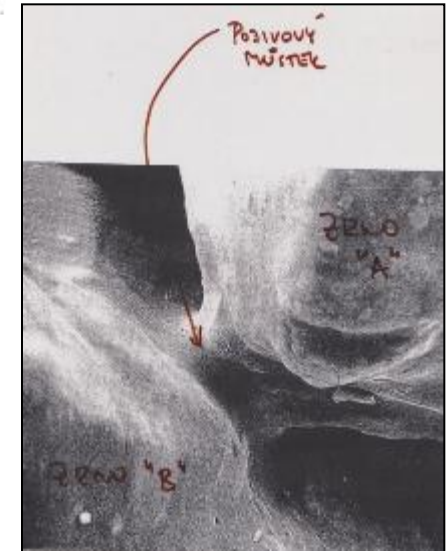
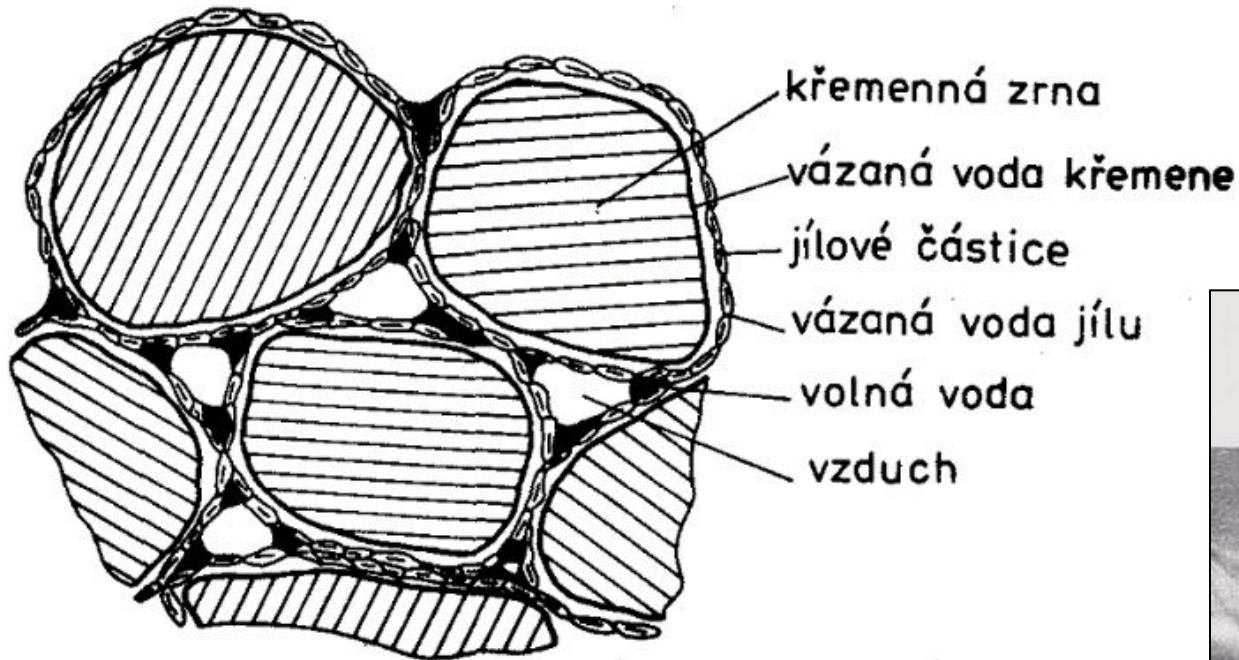
e-mail: zadera@fme.vutbr.cz

Složení formovacích směsí

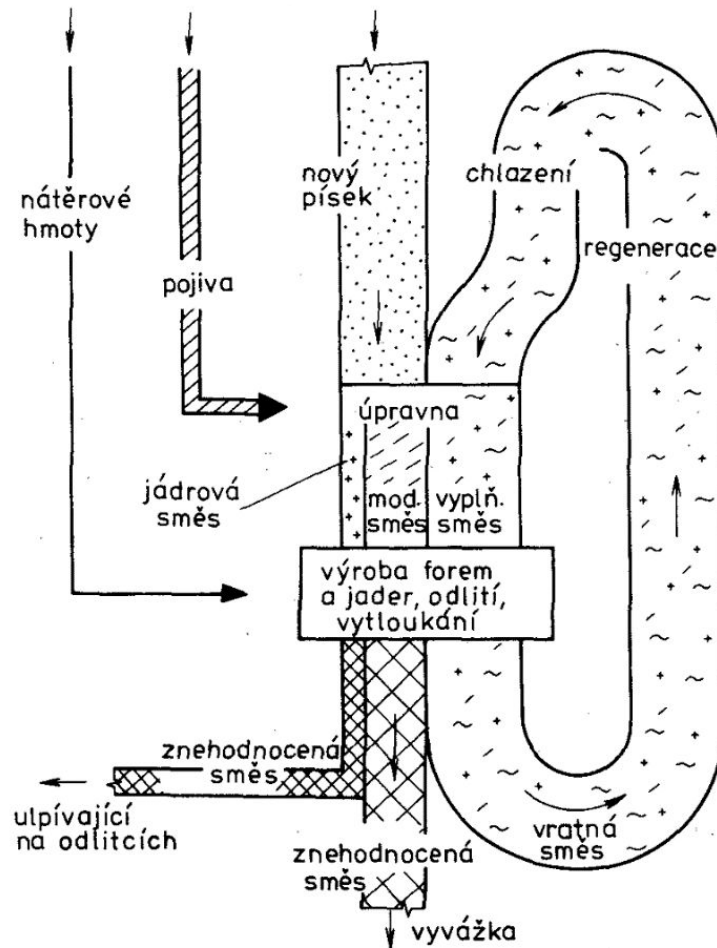
Výroba netrvalých forem, odlitek : formovací směs – 1 : 4 - 6

- **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



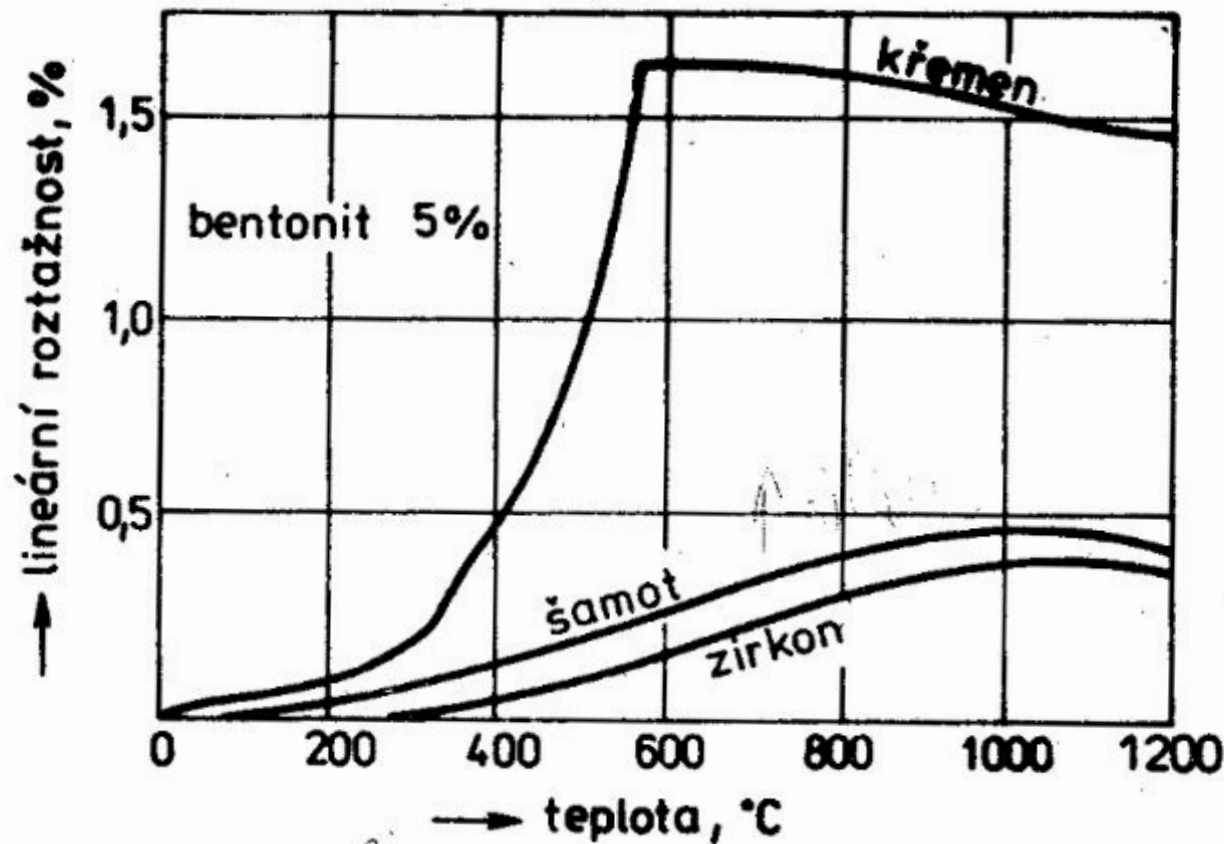
Regenerace – II. generace
pojivových systémů

Oživování – I. generace – jílová
pojiva

Termofyzikální vlastnosti formovacích směsí

Směs	Složení směsi	Podíl složek (%)	Teplota t (°C)	Hustota ρ (kg.m ⁻³)	Měrná tepelná kapacita		Součinitel		
					c_p (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	c_v (kJ.m ⁻³ .K ⁻¹)	tepelné vodivosti λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	tepelné akumulace b_f (kJ.m ⁻² .s ^{-1/2} .K ⁻¹)	teplotní vodivosti $a.10^{-6}$ (m ² .s ⁻¹)
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

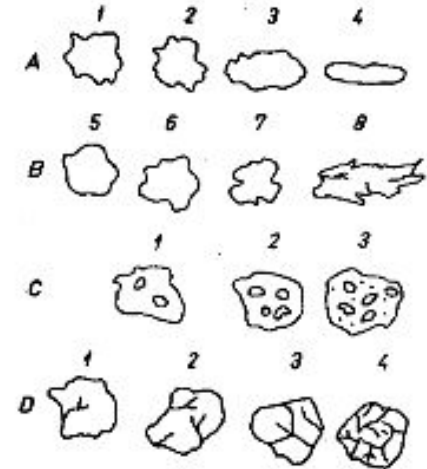


Ostřiva (částice větší než 0,02mm)

- Křemenná – SiO_2 (kyselá)
- Nekřemenná – chromit, olivín, dunit, zirkon
- Syntetická – kerphalit, šamot, molochit a další

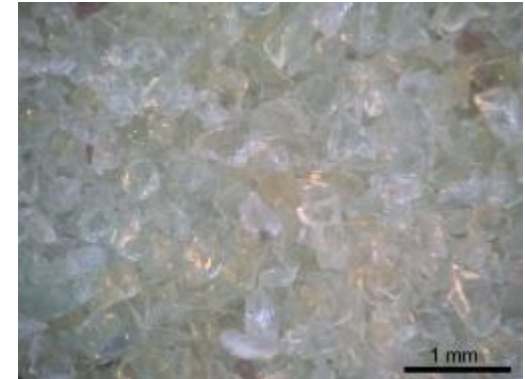
Hodnocení ostřiv

- 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})

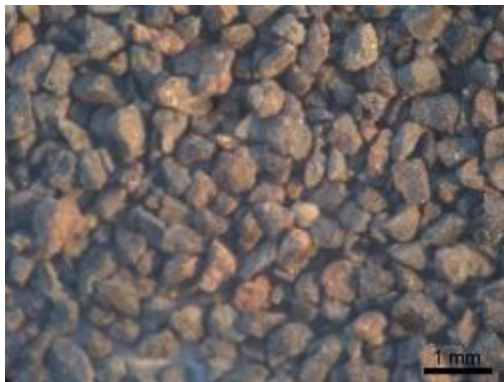


Ostřiva

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



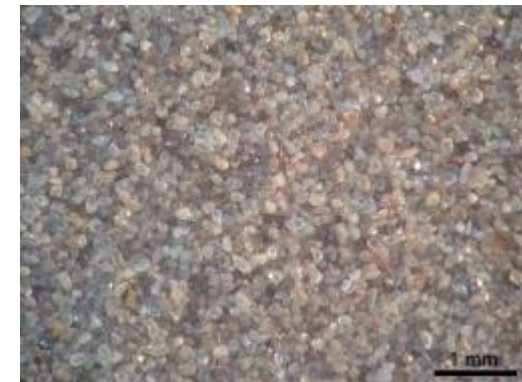
olivín



dunit



chromit



zirkon

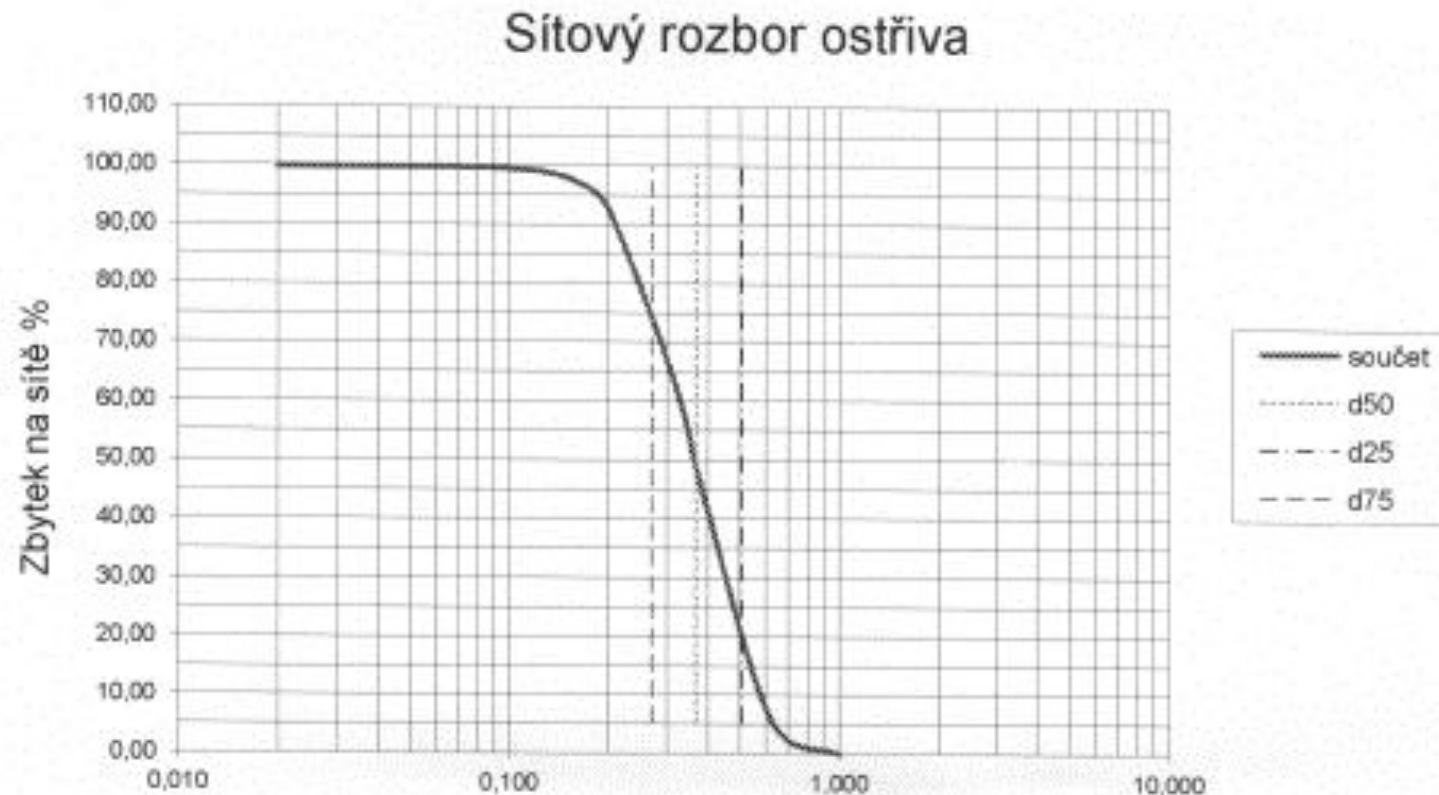
Sítový rozbor



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	

ρ_s Sypná obj. hmotnost ostřiva g/cm ³	0
S_{th} Teoretický povrch cm ² /g:	67,07
MK_{calc} 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...

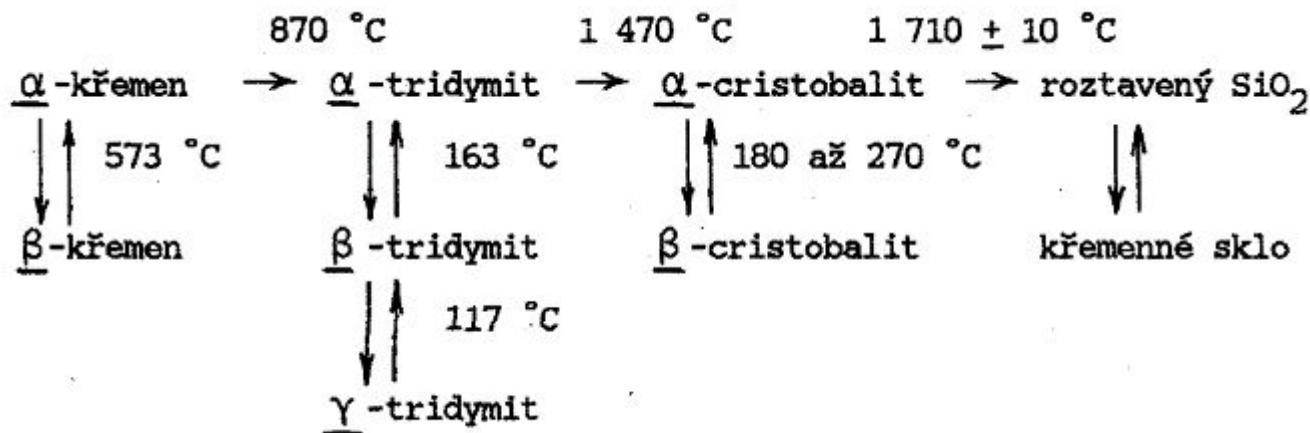
Křemen SiO_2

V přírodě nejrozšířenější – nízká cena

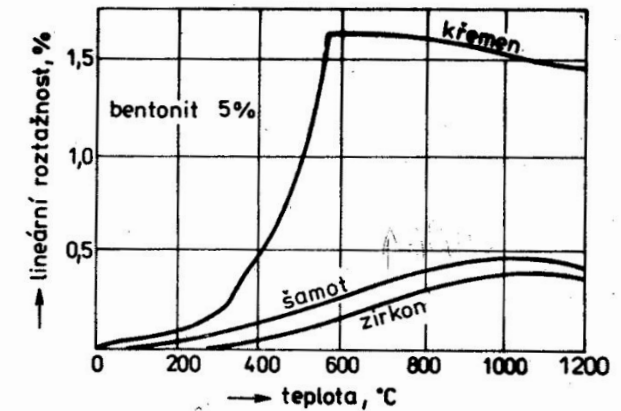
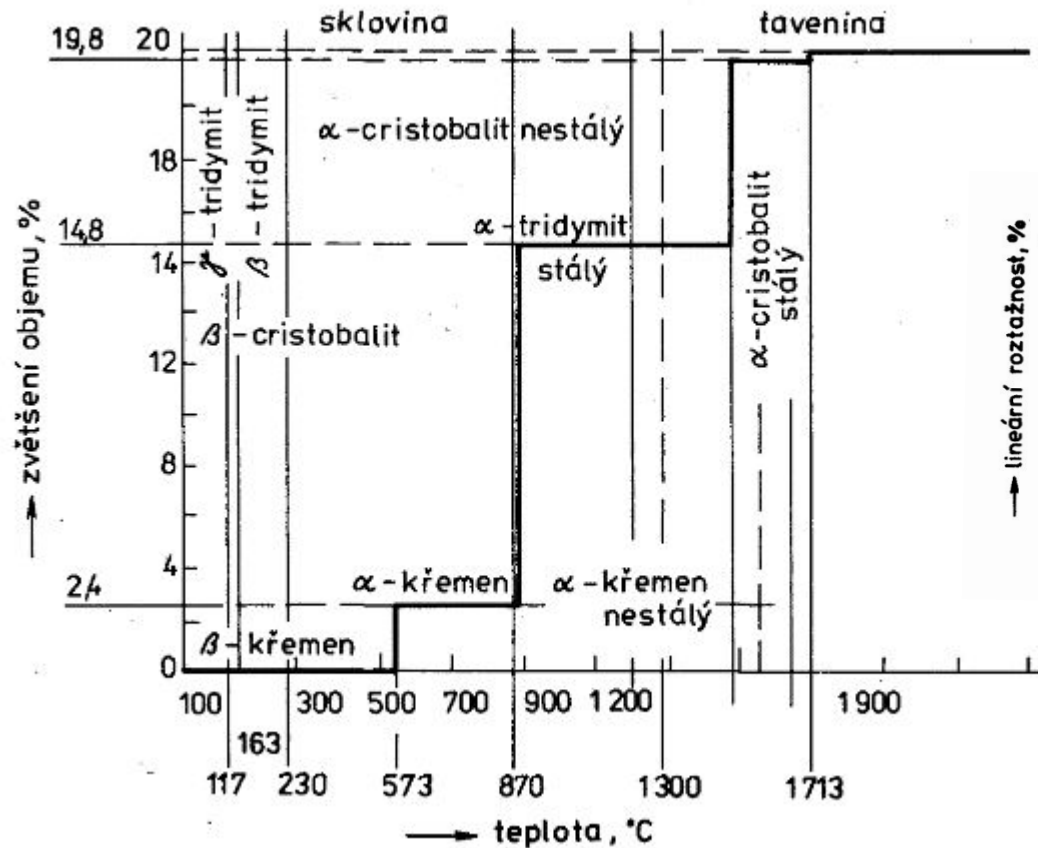
Kyselý charakter – reakce se zásaditými oxidy (FeO , MnO , CaO , ...)

Vysoká teplotní roztažnost

Několik krystalografických modifikací + amorfní (křemenné sklo)



Křemen SiO_2



Nekřemenná ostřiva - zásaditá

MAGNEZIT

Zásaditý charakter, přírodní MgCO_3 – pálením vzniká MgO (surový magnezit - hydroskopický), další pálení – slinování – hnědá čokoládová barva, obsah více než 85 % MgO , žárodovzdornost 2000 °C, hůře snáší střídání teplot, hustota 2,9 kg/m³, použití Haedfieldova ocel.

CHROMMAGNEZIT (Chromit)

Zásaditý charakter, lépe snáší střídání teplot, obsahuje 65 % MgO a cca 35 % chromitu. Chromit je ruda obsahující cca 59 % Cr_2O_3 s příměsí MgO , Al_2O_3 , FeO . Tepelně exponovaná místa (zapečeniny), vyšší odolnost vůči chemickému působení kovu.

Nekřemenná ostřiva - neutrální

ŠAMOT

Vypálený žárovzdorný jíl – aluminosilikát. Obsahuje 30 – 45 % Al_2O_3 a zbytek SiO_2 . Žárovzdornost 1750 - 1800 °C, použití těžké odlitky ocel a litina.

MULIT

Aluminosilikát, který obsahuje cca 70 - 72 % Al_2O_3 , zbytek 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 jílu bohatých na Al_2O_3 . Hustota 4kg/dm^3 . Drahý – součást nátěrů. Žárovzdornost cca 2200 - 2300 °C.

Nekřemenná ostřiva - speciální

SPINEL

Obsahuje cca 85 % Al_2O_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 Žárovodvzdornost.

ZIRKON

Tvořen $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$. (příp. ZrO_2) Hnědočervený, hustota $4,6 \text{ kg/dm}^3$ (vysoký odvod tepla), speciální exponovaná jádra, plnivo nátěrů Drahý – součást nátěrů. Žárovodvzdornost cca $2400 - 2500^\circ\text{C}$.

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

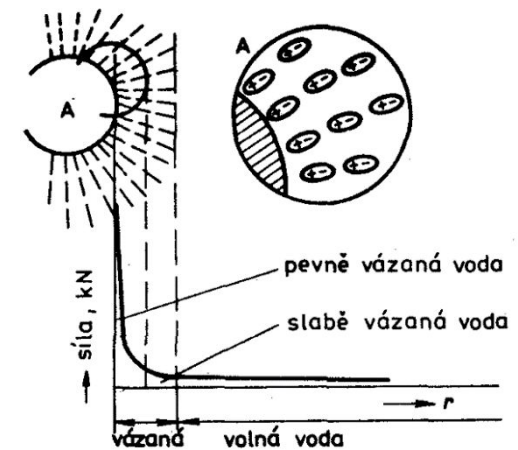
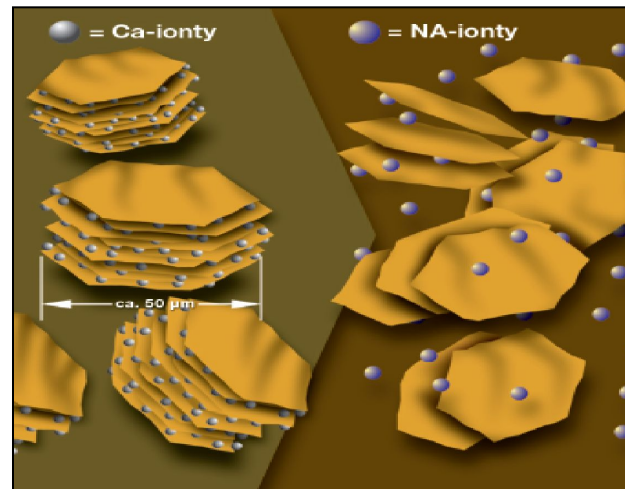
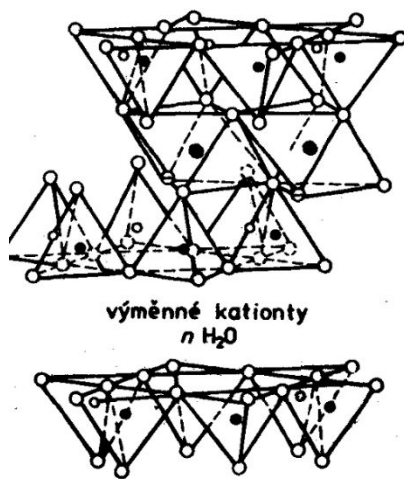
Ilitický jíl (glaukonit) – zelený písek Rájecký, umělecké odlitky, směsi na sušení, výroba těžkých odlitků ze šedé litiny (historie), 8 až 15 % ve směsi

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

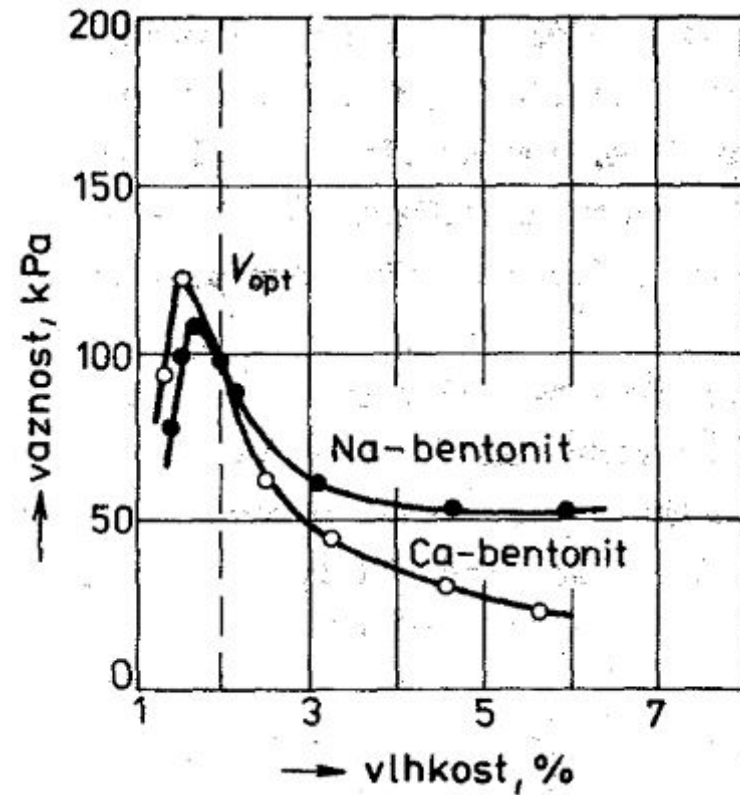
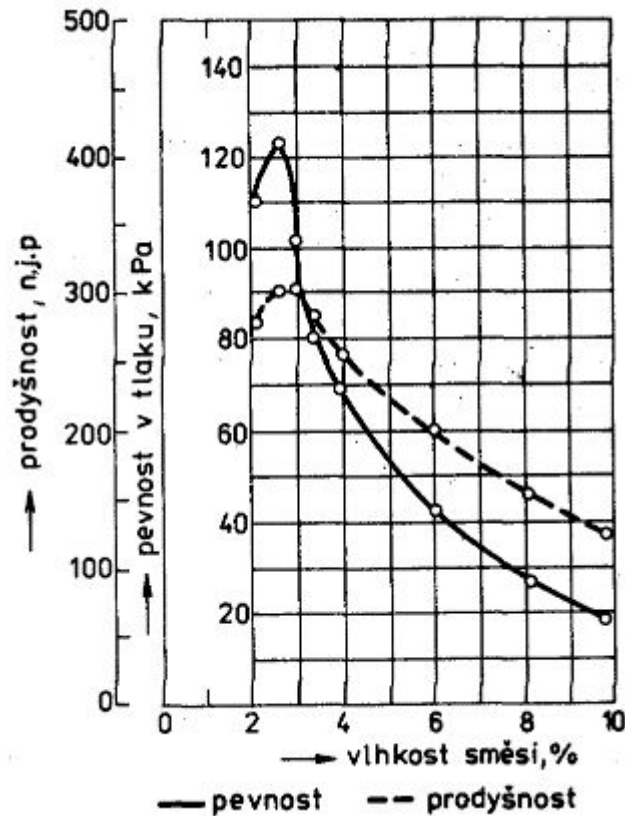


Ca, Mg bentonity, Na umělé zpravidla – natrifikace

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

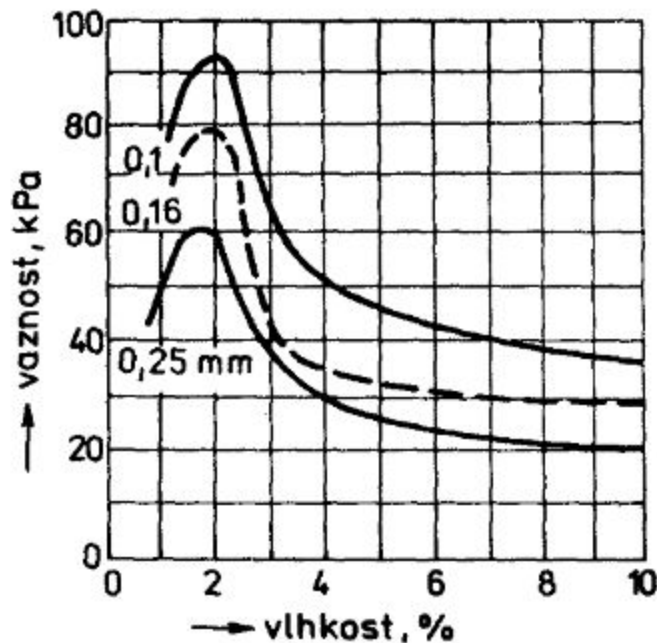
Bobtnavost Na bentonitů je 10x vyšší než Ca bentonitů

Vlastnosti bentonitových formovacích směsí

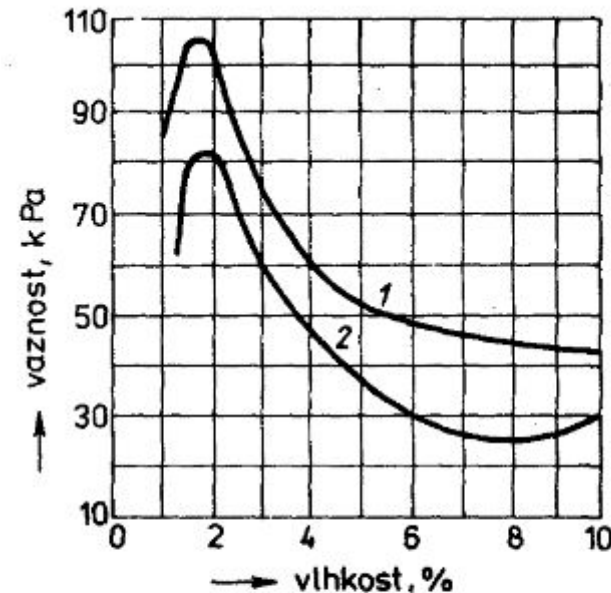


Kontrola – zkušební váleček průměr 50 mm, výška 50 mm

Vlastnosti bentonitových formovacích směsí

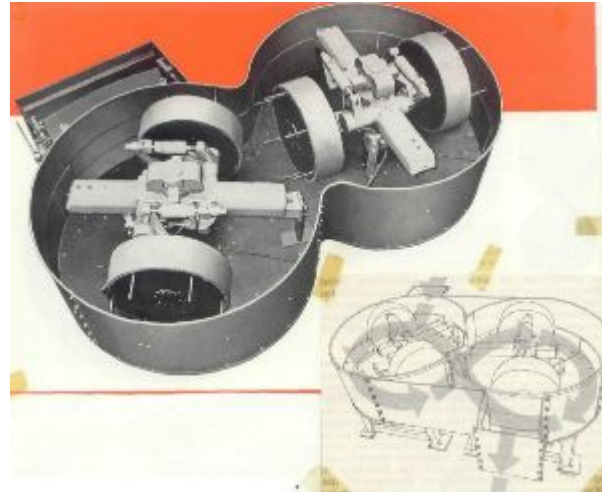


Obr. 30. Vliv rozdílné velikosti d_{50} bentonitové směsi na pevnost v tlaku za syrova - vaznost

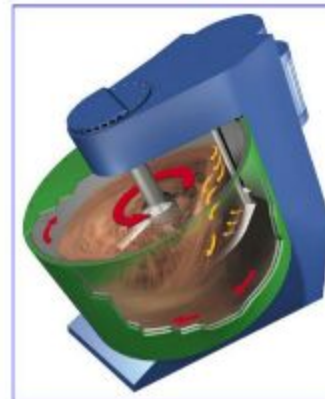
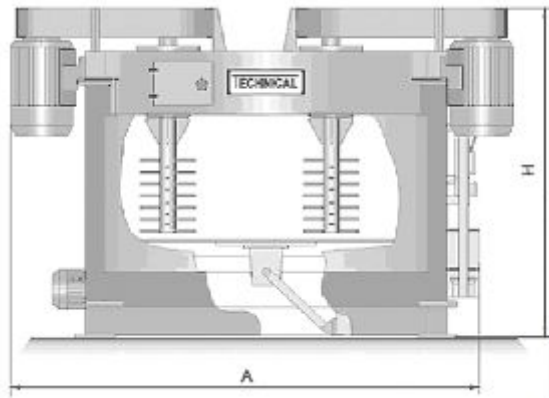


Obr. 31. Vliv pravidelnosti zrnění ostřiva bentonitové směsi na pevnost v tlaku za syrova - vaznost
1 - $d_{75}/d_{25} = 0,35$ nepravidelné zrnění, 2 - pravidelné zrnění $d_{75}/d_{25} = 0,6$

Příprava formovací směsi



kolový
mísič



vířivý
mísič

Zhušťováním forem

Ruční

Strojní

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

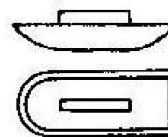
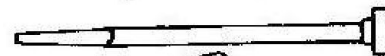
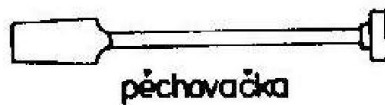
Zhuštění

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

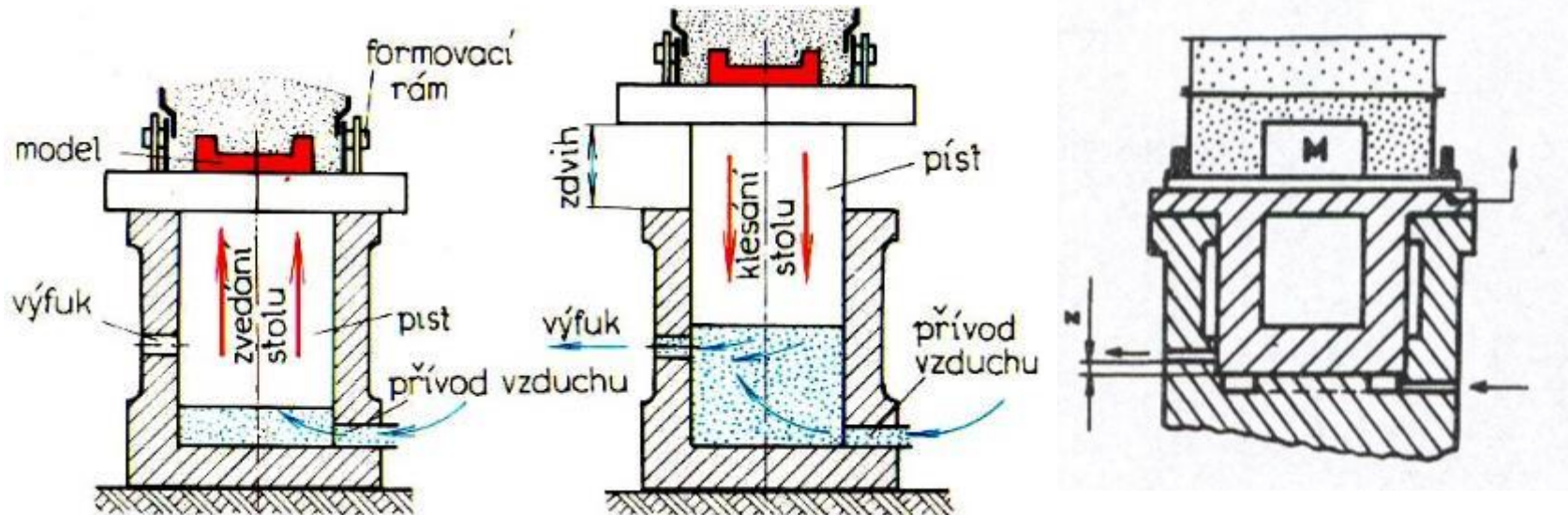
Ruční formování bentonitových formovacích směsí



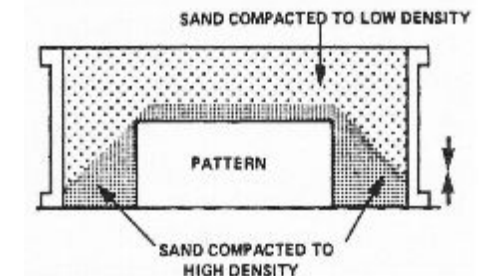
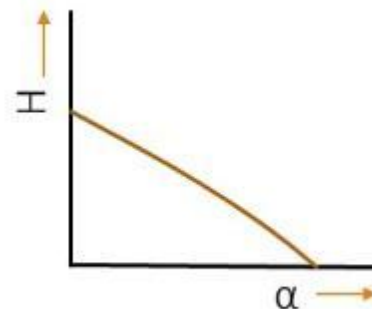
Ruční pěchovačka



Výroba forem střešáním

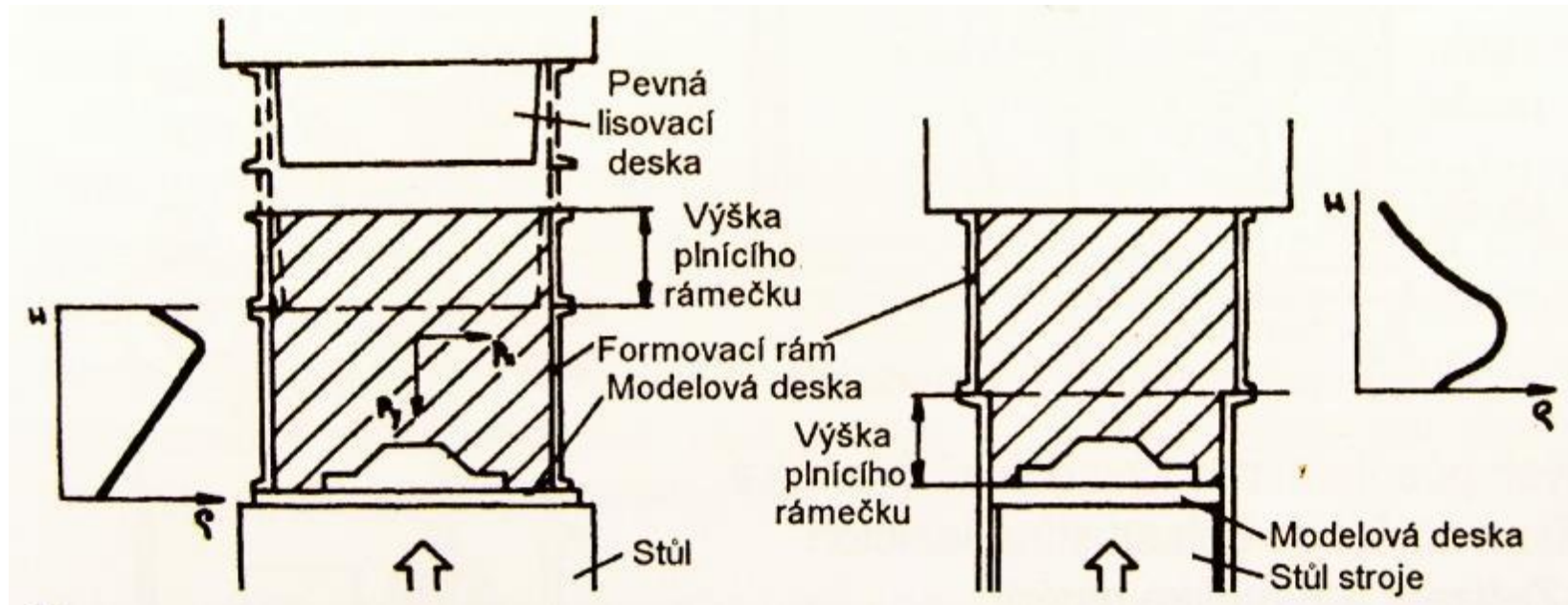


největší zhutnění – u modelu
jednoduchá metoda
hlučnost



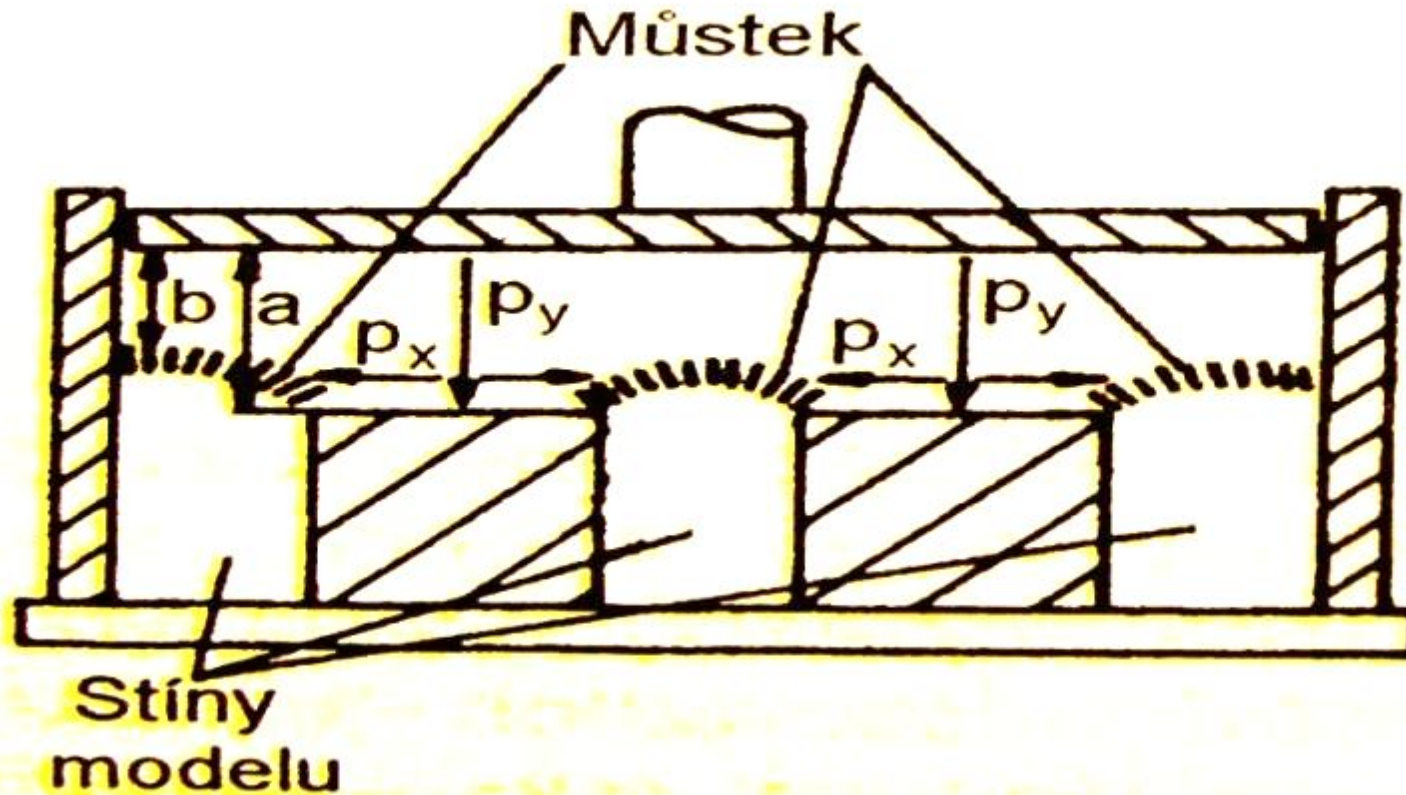
α - součinitel zhuštění ρ_2 / ρ_1 (ρ_1 po zhuštění)

Výroba forem lisováním

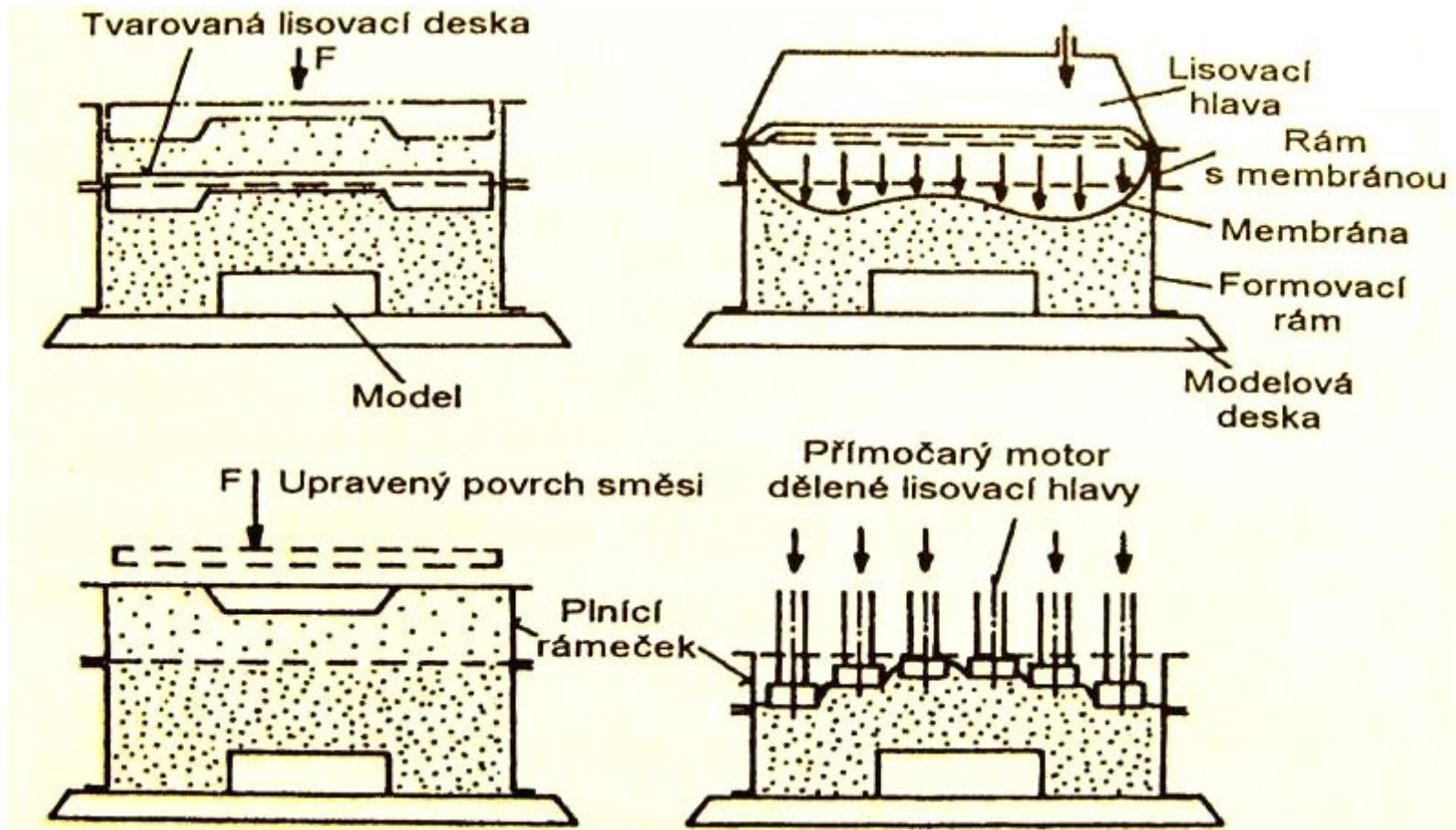


největší zhutnění – u lisovací hlavy
jednoduchá metoda

Nedostatky při lisování



Zvýšení rovnoměrnosti zhutnění formy při lisování

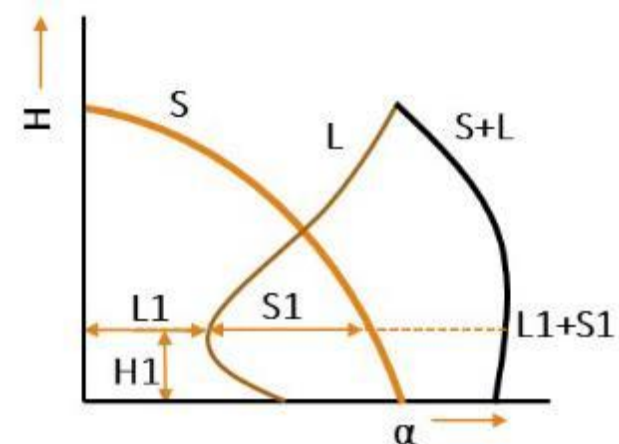
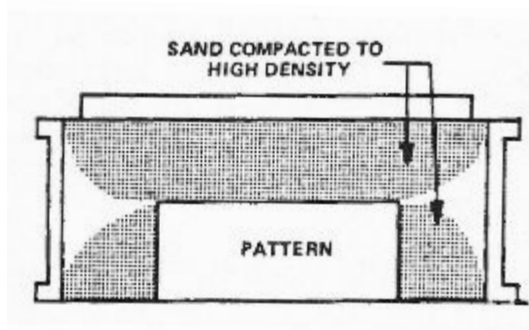


Výroba forem střešáním s dolisováním

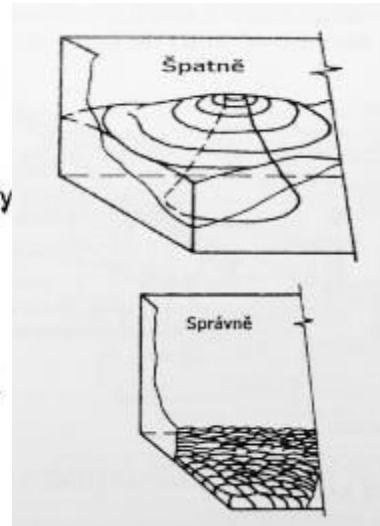
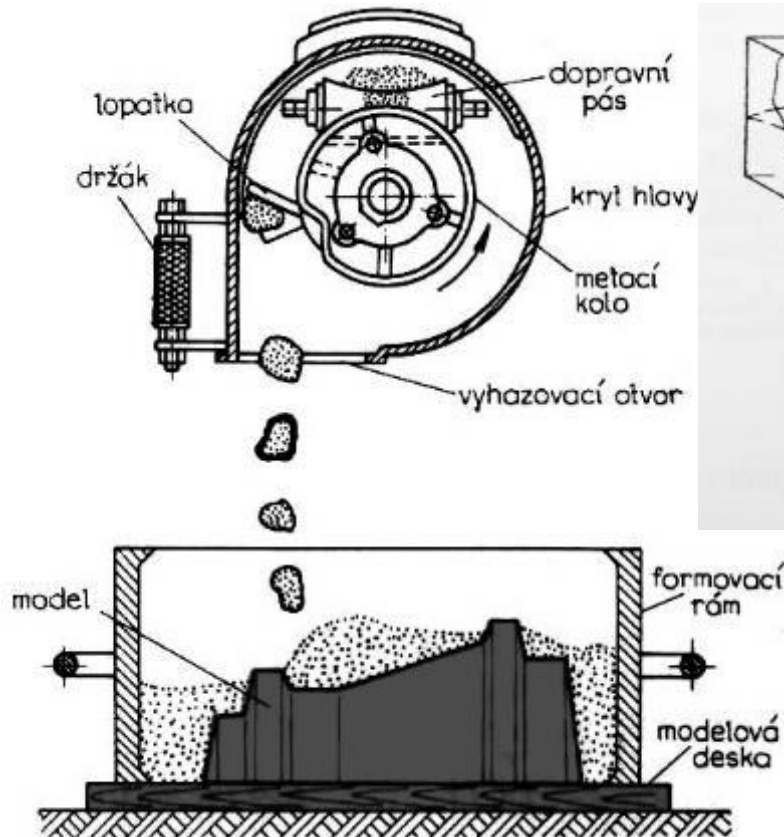


Stroje FOROMAT

- 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

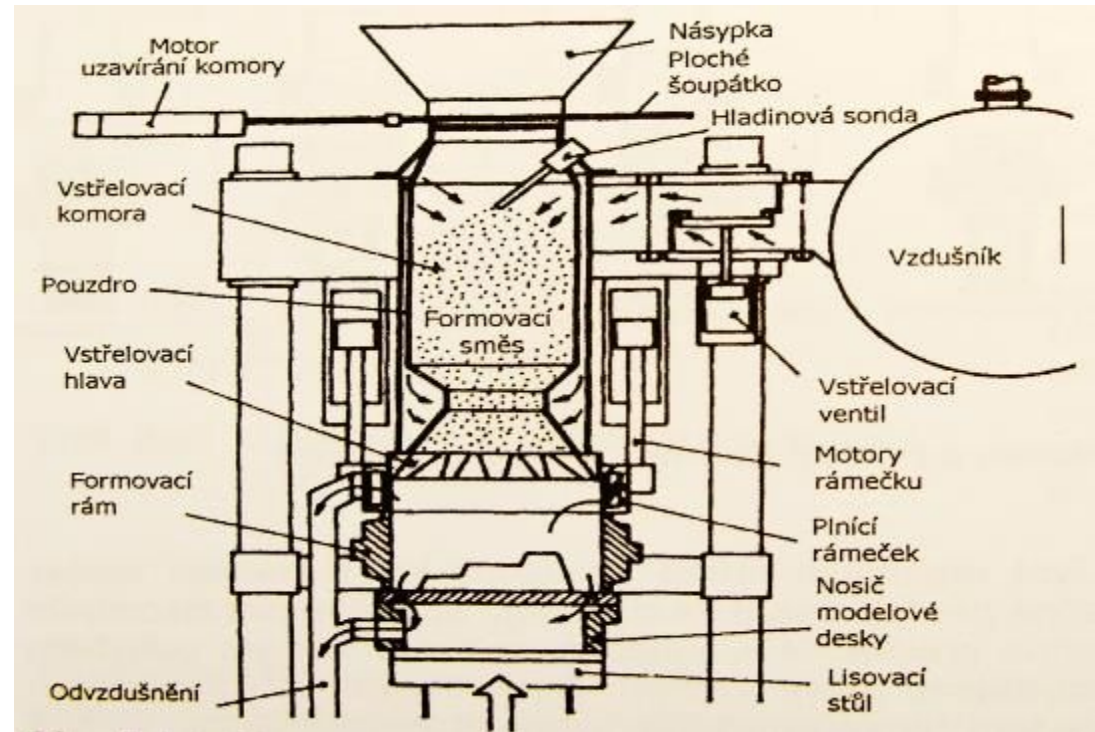
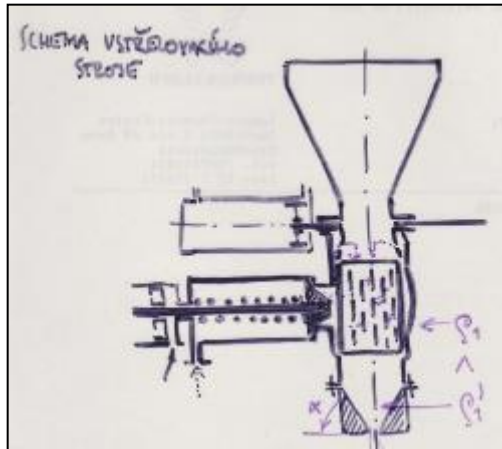
Dynamické metody zhušťování

- 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



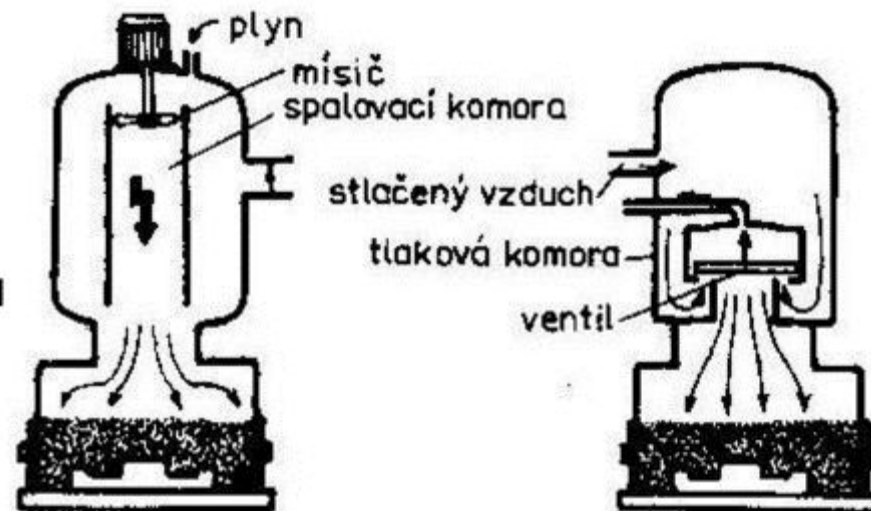
Impulzní zhušťování formovací směsi

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



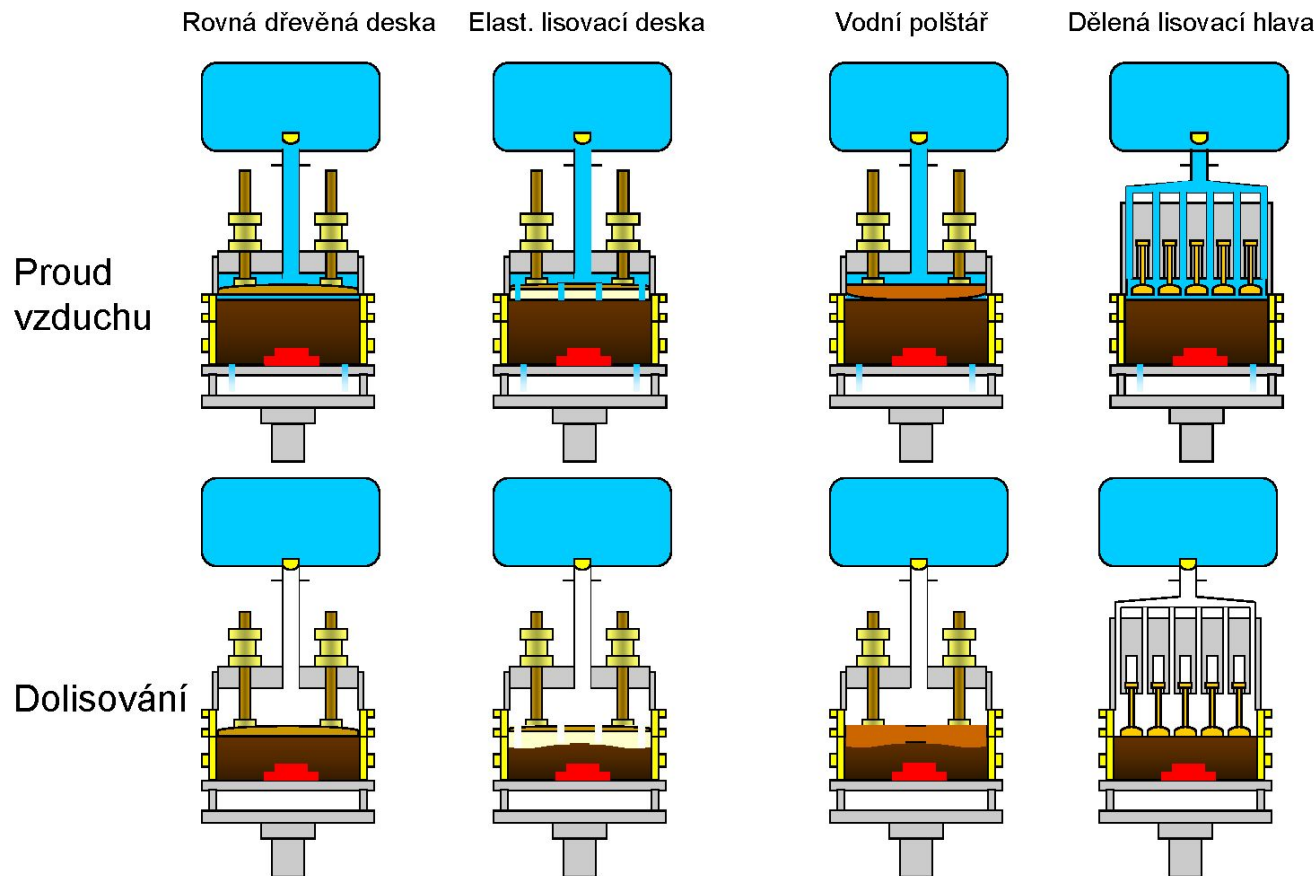
Impulsní zhušťování + lisování



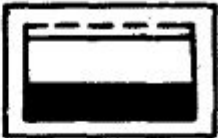
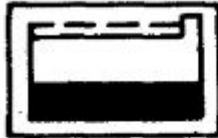
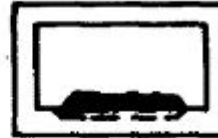
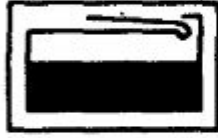
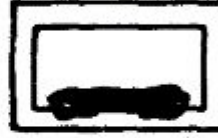
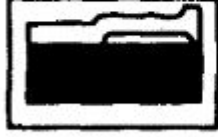
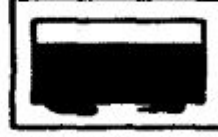
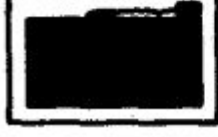
Odbor
Slévárenství
Ústav strojírenské technologie



FAKULTA ústav
STROJNÍHO strojírenské
INŽENÝRSTVÍ technologie



Vznik zálepů

	zálep brzděná dilatace	zálep volná dilatace	zálep 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

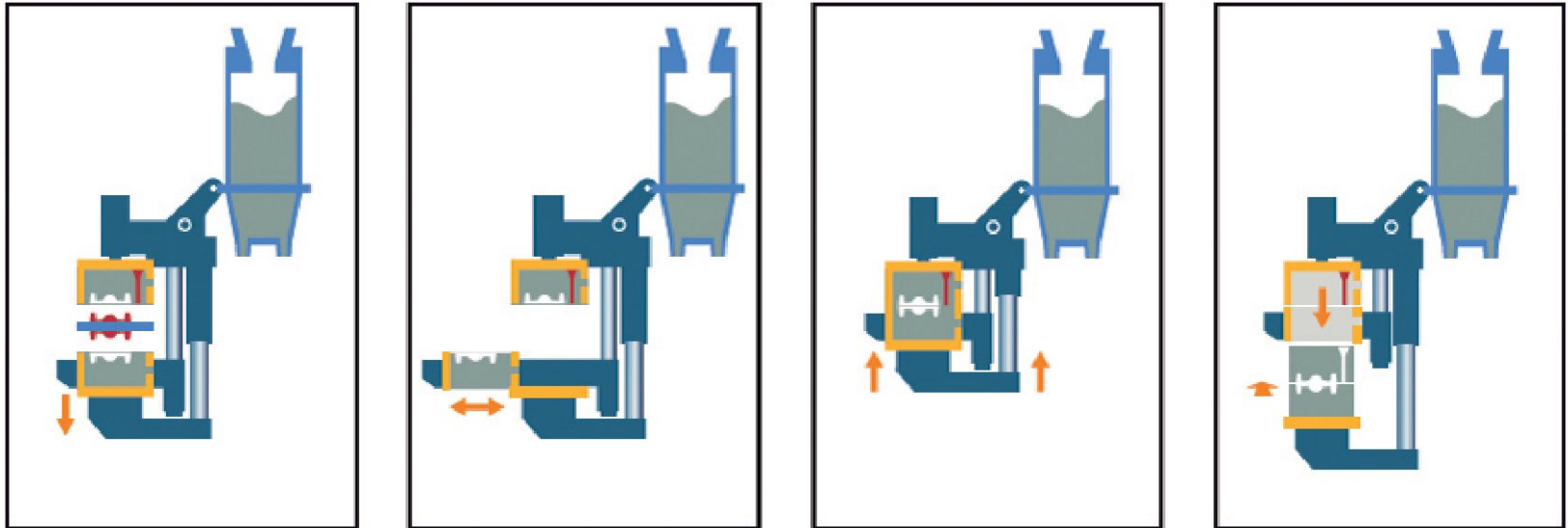
5

6



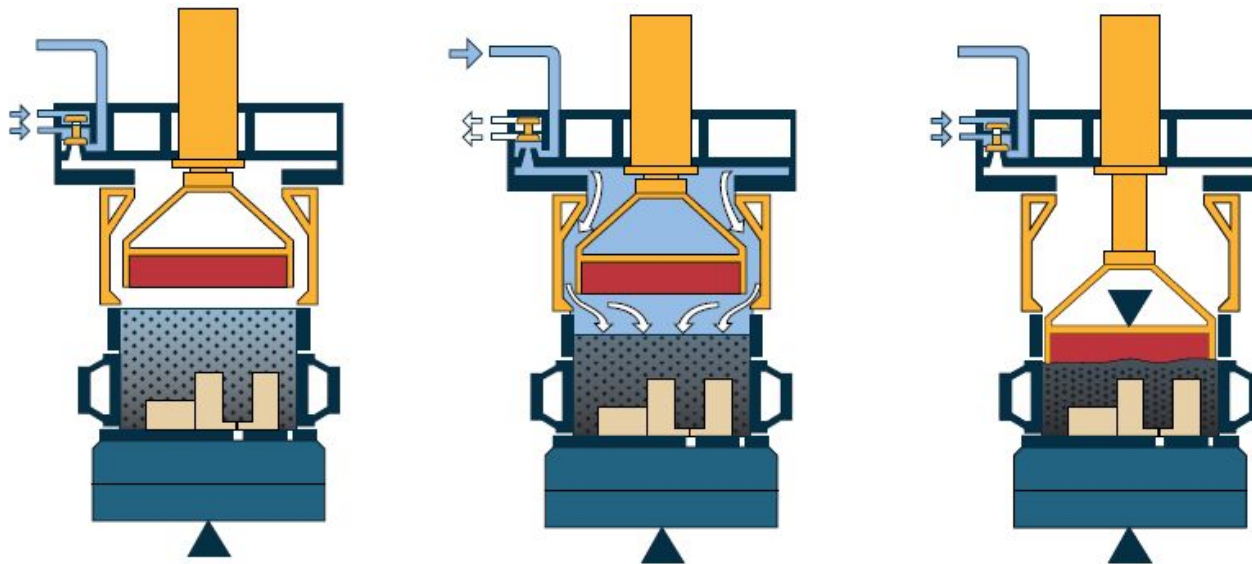
Bezrámové automatické formovací linky – vodorovná dělicí rovina

- 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_2

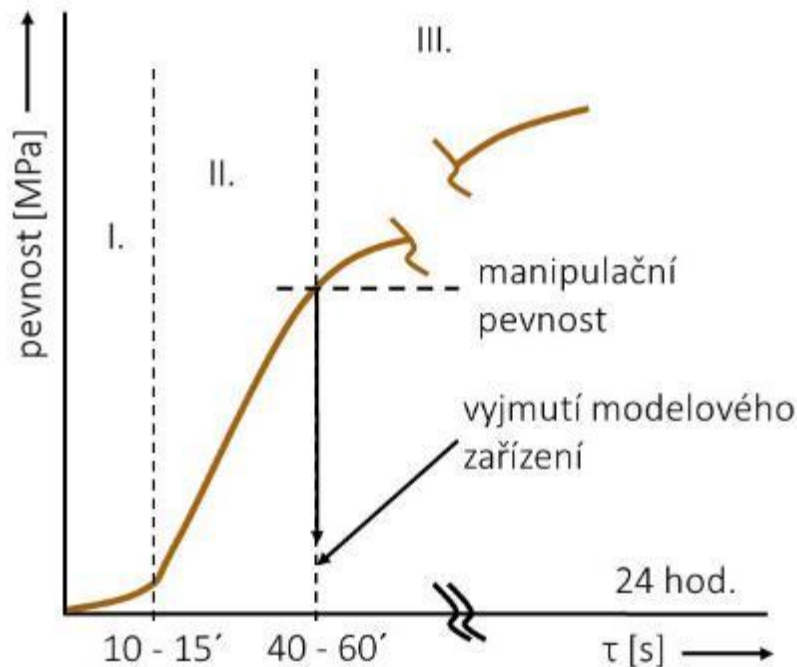
- COLD BOX (Ashland, SO_2 ,...)
- HOT BOX, CRONING

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.)

Samotvrdnoucí směsi ST

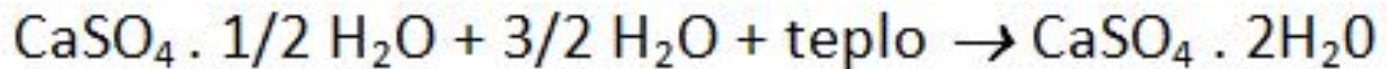
Pořadí mísení: ostřivo + tvrdidlo + pojivo
vytvrzení směsi = chemická reakce



- 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

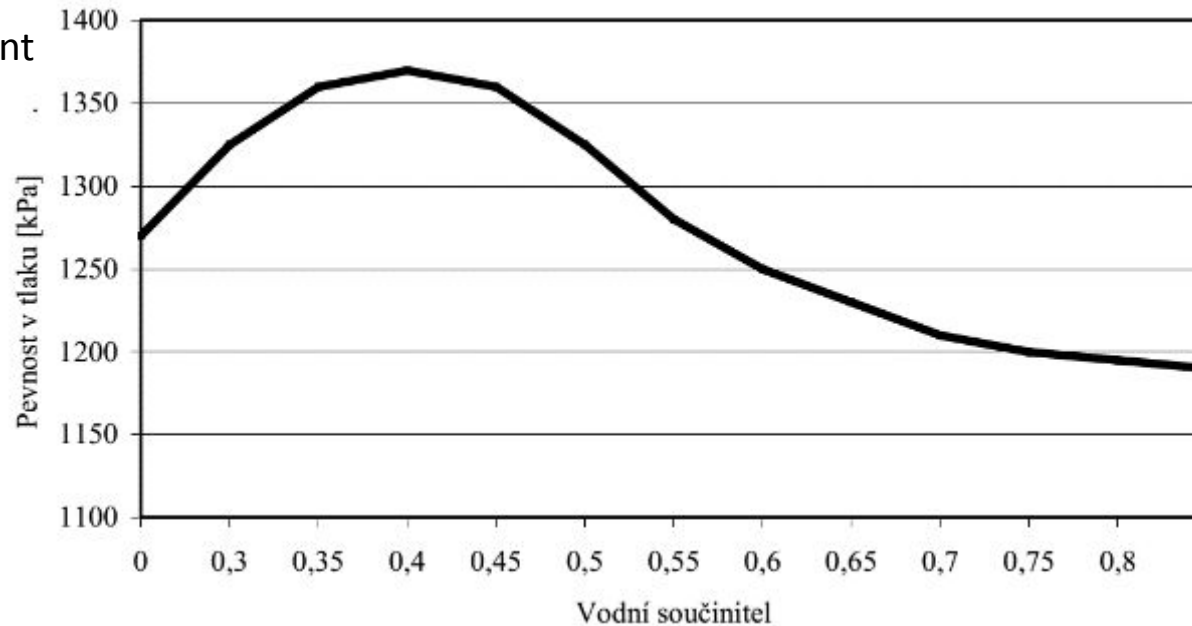
1. dobré pracovní podmínky a ekologie - deponování odpadních písků
2. nižší energii pěstování než jílová pojiva
3. nízká cena
4. vysoké pevnosti – snáší vysoká zatížení – menší množství výztuh
5. tuhnutí i pod vodou

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 ↓

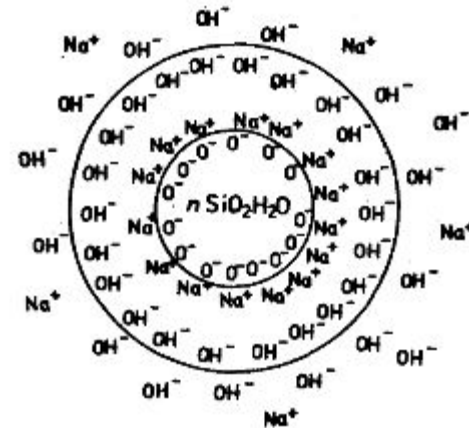
Koagulačním

práh

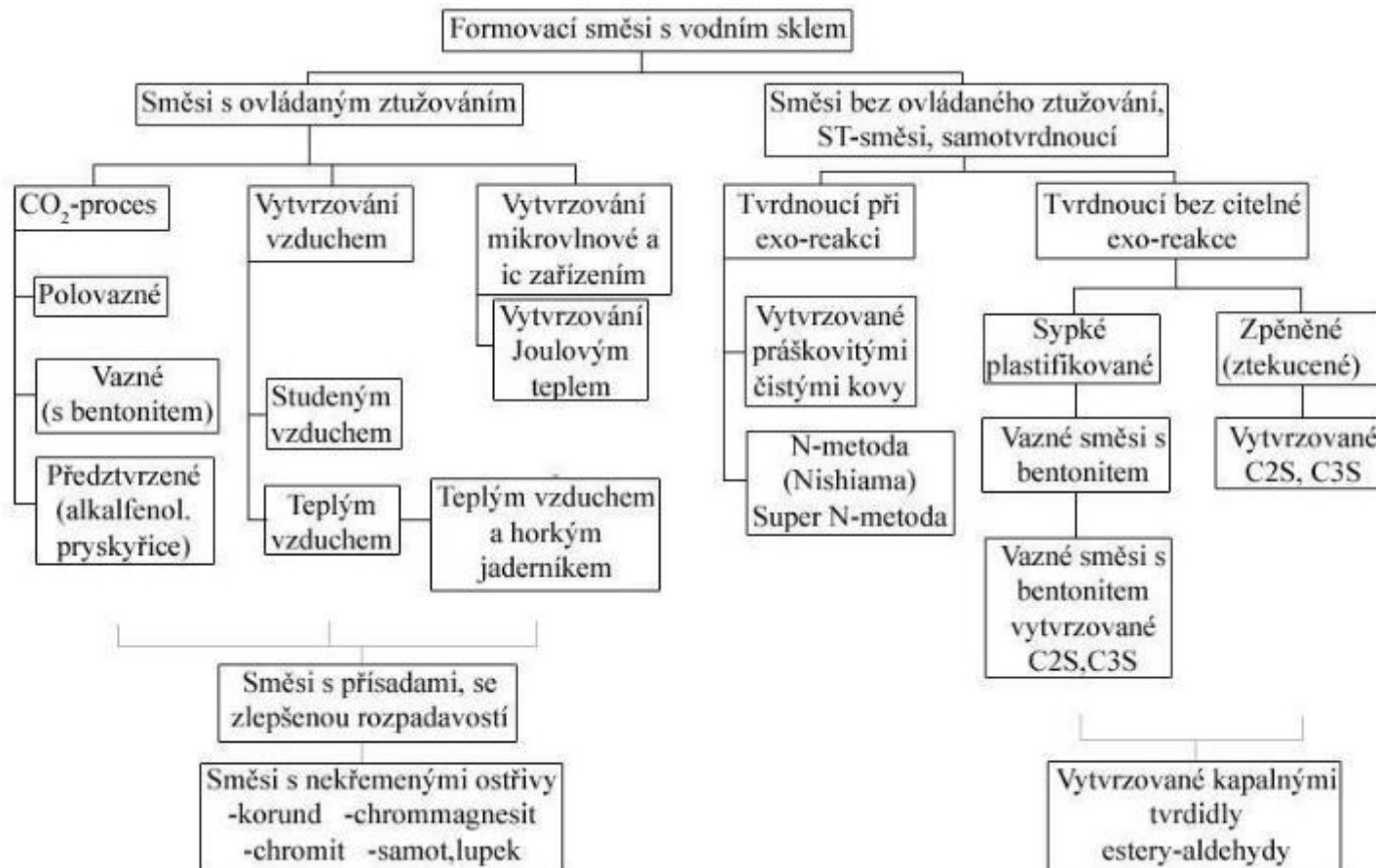
$$KP = 0,31 \cdot V_A$$

KP.....koagulační práh [%Na₂O]

V_A 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

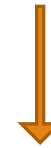


práškové
- ferosilicium



kapalné
- estery

ZTEKUCENÉ



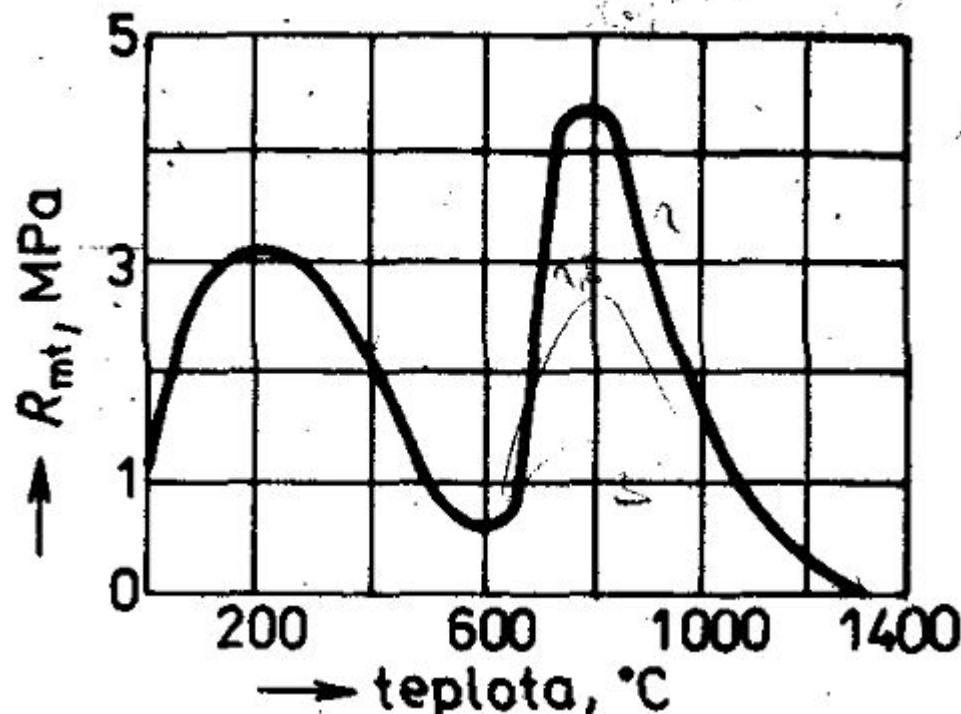
ZÁKLAD

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

ZZ směsi - Vodní sklo + CO₂

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+CO₂)



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

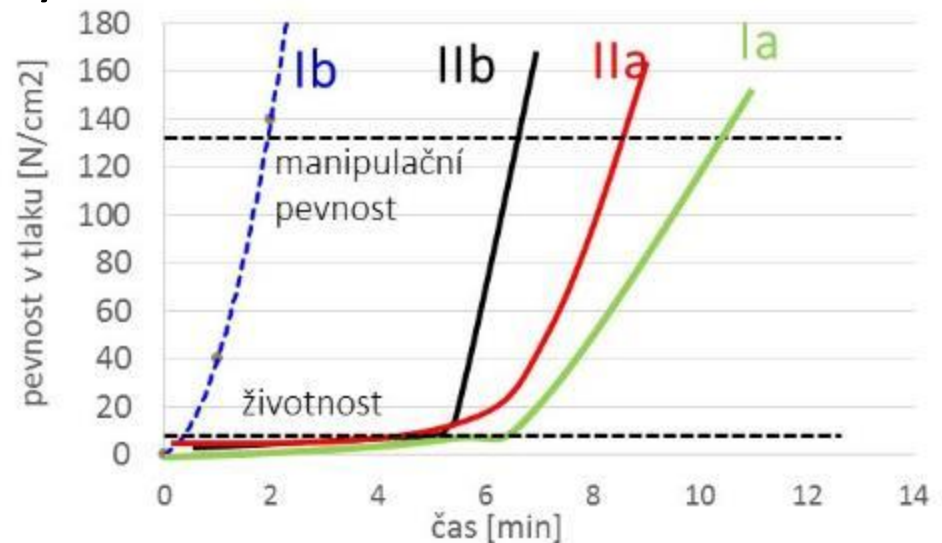
ST směsi s organickými pojivy (pryskyřice)

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

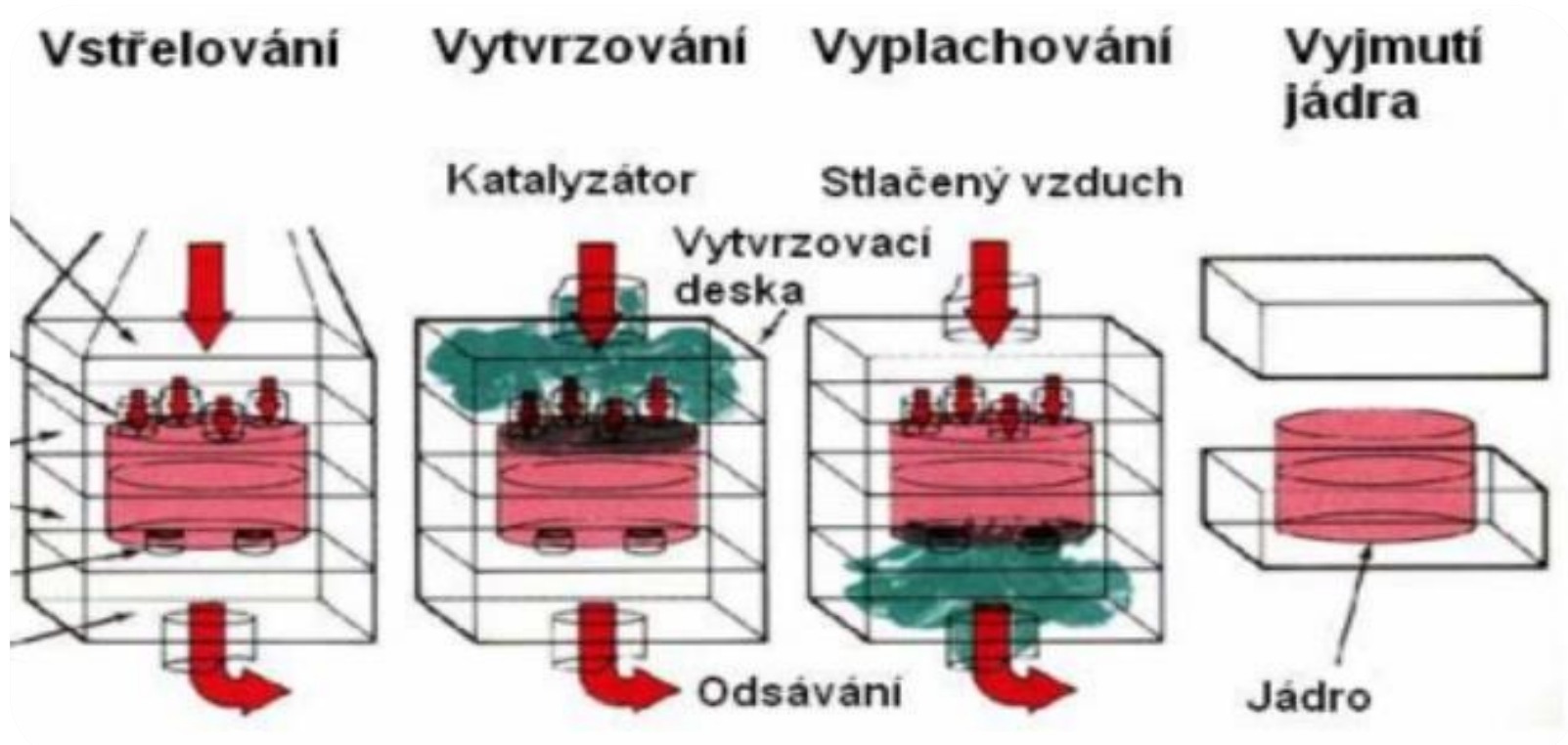
- dávkování pojiv 0,65-1,2% na novém písku i regenerátu.
- nízký poměr forma/kov v důsledku vysokých dosažených pevností,
- rychlé rozebírání forem,
- vysoká rozměrová a tvarová přesnost, vysoká kvalita povrchu odlitků
- výborná rozpadavost směsí a vysoký stupeň regenerovatelnosti (90 až 95 %)
- použití 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
- ostřivo + tvrdidlo následně se přidává pojivo,
- dvoužlabové průběžné mísiče – dvě směsi – chromit + křemen,



Výroba jader – COLD BOX



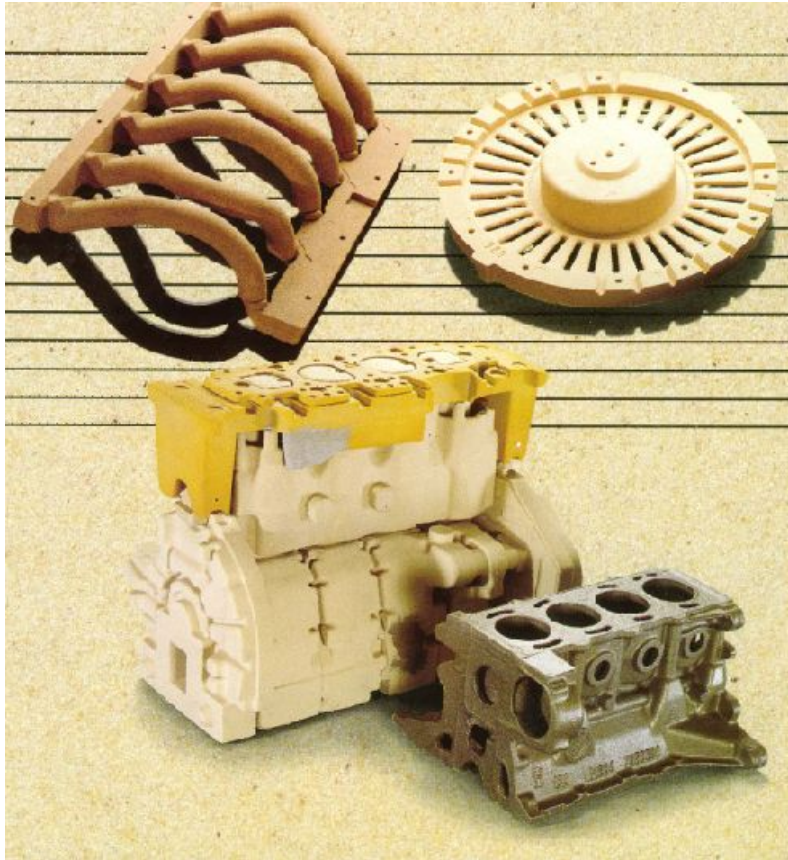
Katalyzátor + nosný plyn – směšovač – mísení se vzduchem =
profouknutí
jaderníku a jádrové směsi → neutralizace plynu (pračka)

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_2
- Epoxy-akrylátové pryskyřice + SO_2
- Alkalické fenoly + metylformiát
- Alkalické fenoly + CO_2

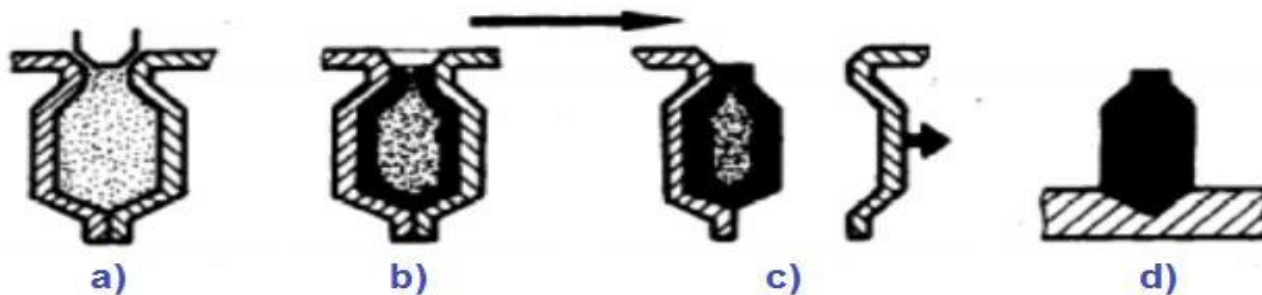
Příklady jader COLD BOX



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



- a) vstřelení směsi do jaderníku
- b) postupné tvrdnutí povrchu
- c) dosaženo manipulační pevnosti
- d) dotvrzení jádra na položce

Technologie HOT BOX

Vstřelovací stroje: Jedno polohové, vícepolohové, karuselové atd.

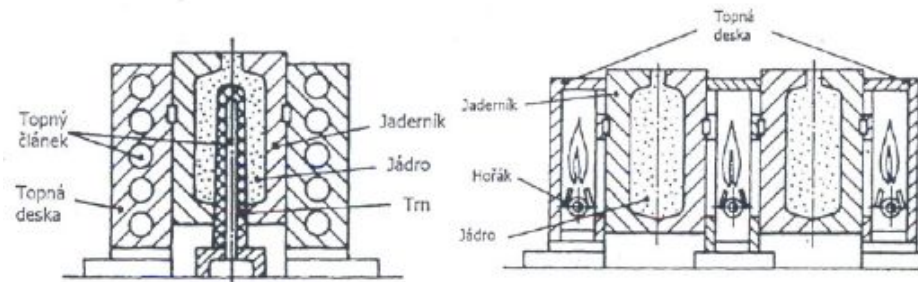
Ohřev jaderníků –
plyn nebo el. energie

Výhody

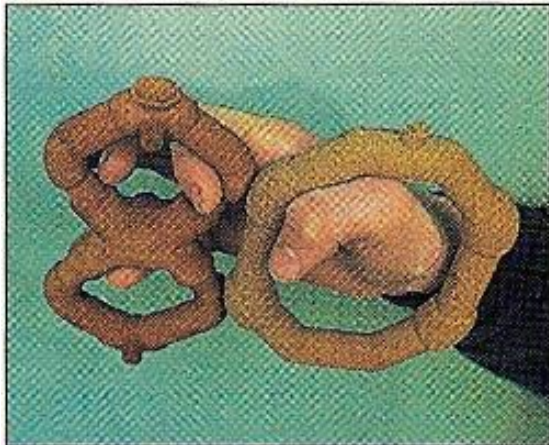
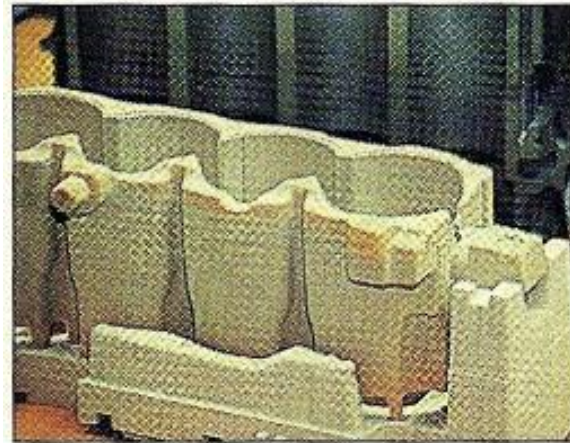
- rozměrová přesnost, dobrý povrch odlitku
- dostatečná pevnost jádra, dobrá rozpadavost (Al odlitky)
- známá a prozkoumaná technologie, která je dobře kontrolovatelná

Nevýhody

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



Příklady jader HOT BOX

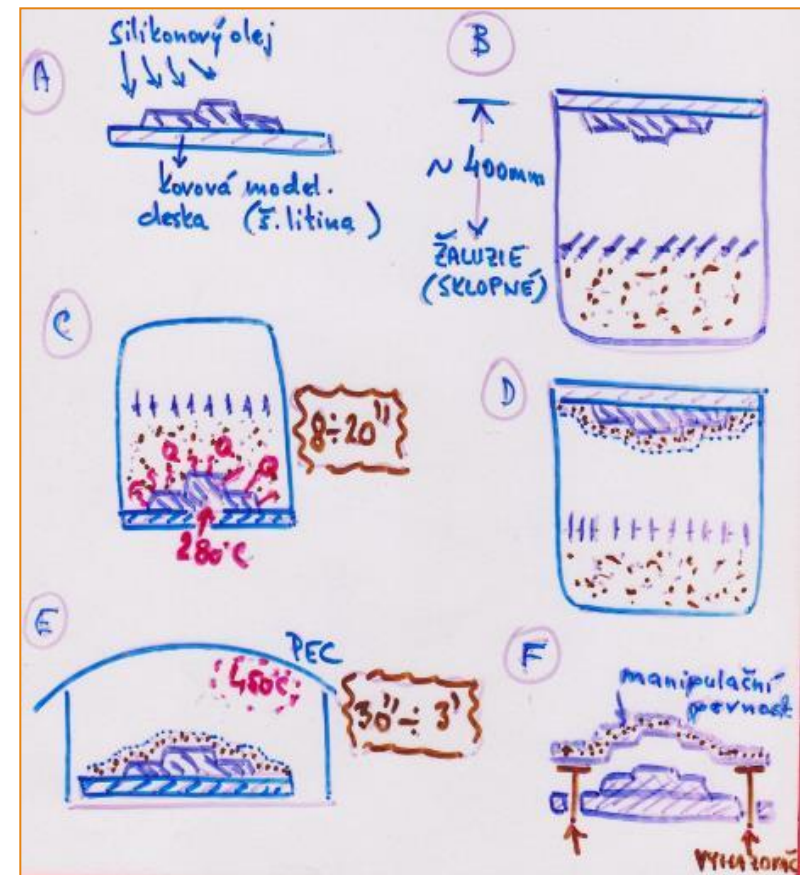


Technologie CRONING (C)

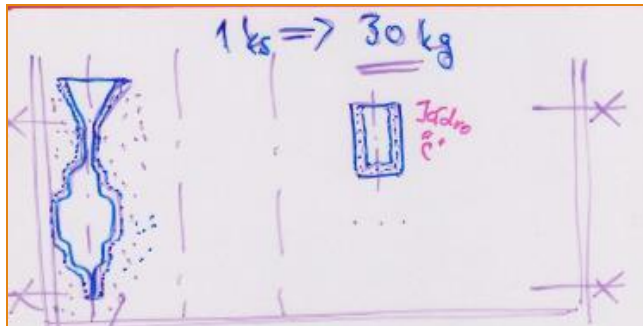
Výroba jader a forem z dokonale sypké směsi tvořené ostřivem a teplem tavitelné a tvrditelné pryskyřice

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

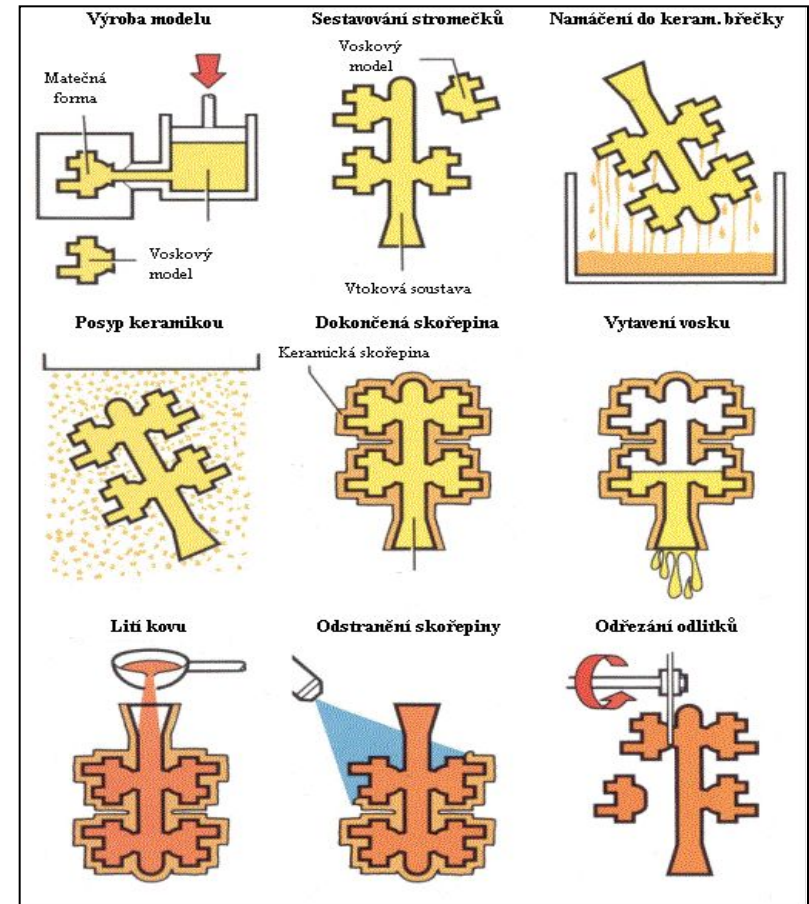
Žíhání forem před litím –
keramická vazba

vytavitelný nebo vypařitelný model

princip technologie vytavitelného
modelu

postup postupného obalování –
skořepinová forma

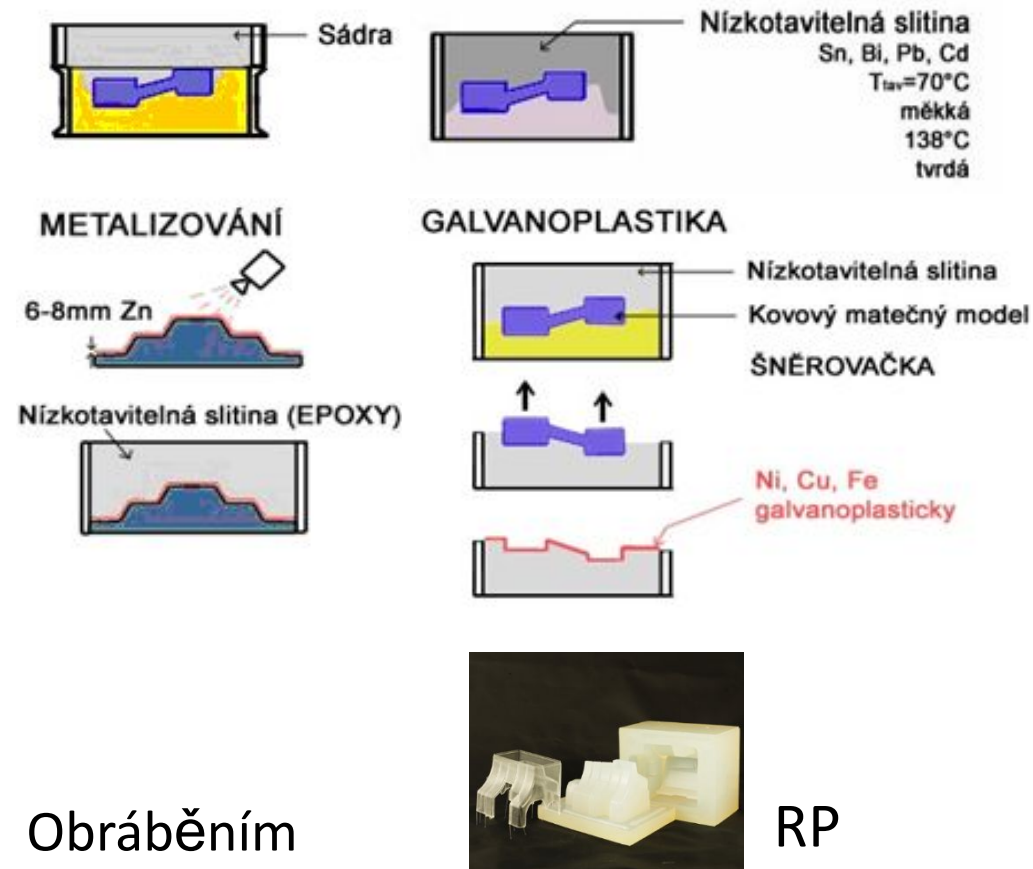
odlévané keramické formy –
metoda SHAW, UNICAST



Zhotovení matečné formy

DLE MATEČNÉHO MODELU

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



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

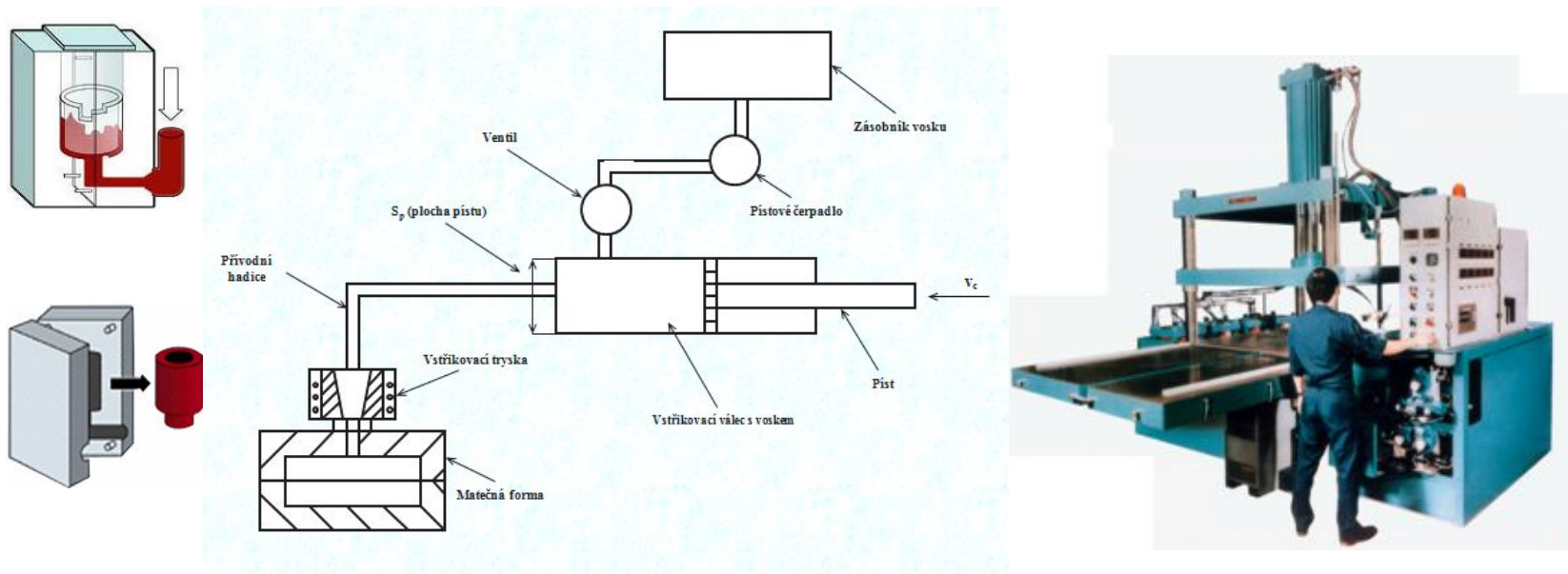
Výroba voskového modelu

gravitační lití

vstřikování do formy – vstřikovací stroj pracující s tekutým voskem

– vstřikovací stroj pracující s kašovitým voskem

– vstřikovací stroj pracující s kašovitým voskem



Ukázka voskového modelu

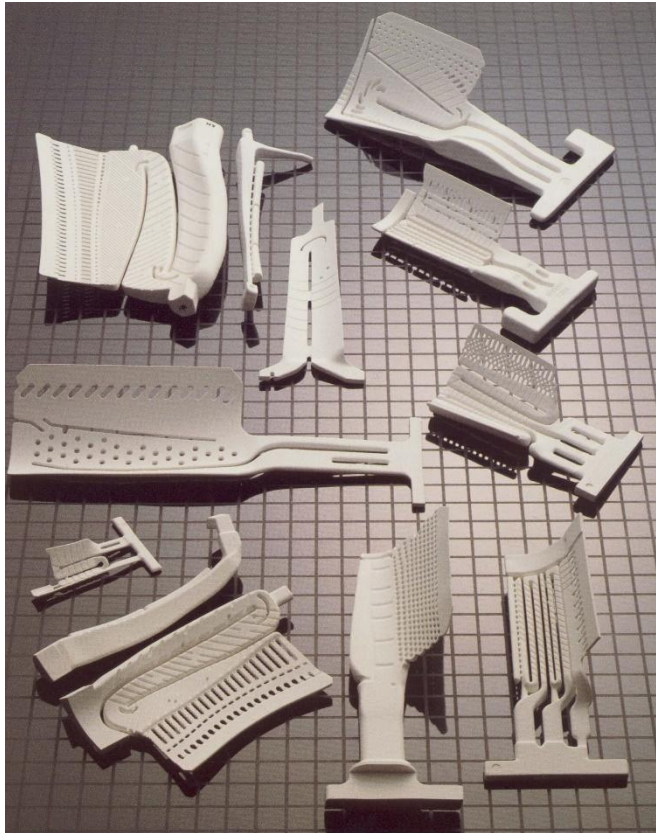


Sestavování modelů - stromečku

- 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 Číslo 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

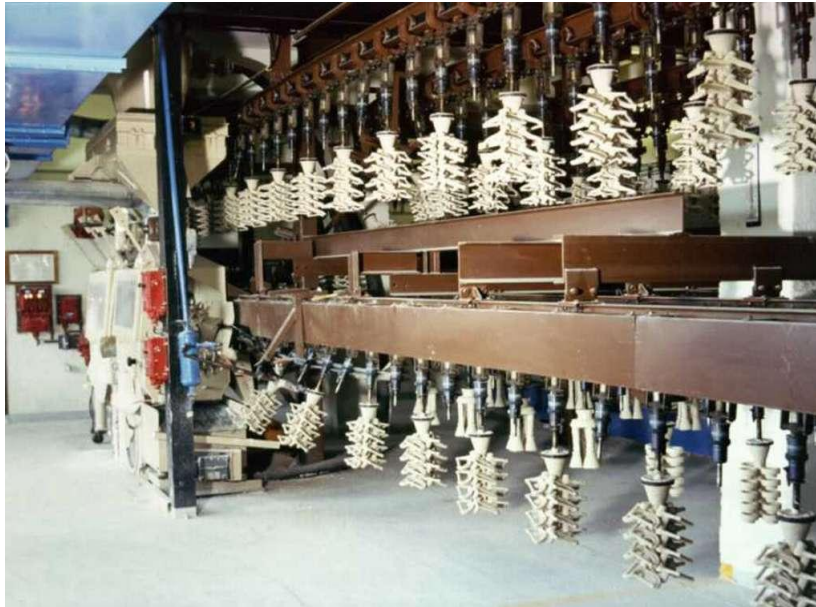
(v klimatizovaném prostoru 2-4hod – teplota $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, relativní vlhkost 30-60%)

-dle typu použitého pojiva, proudění vzduchu)

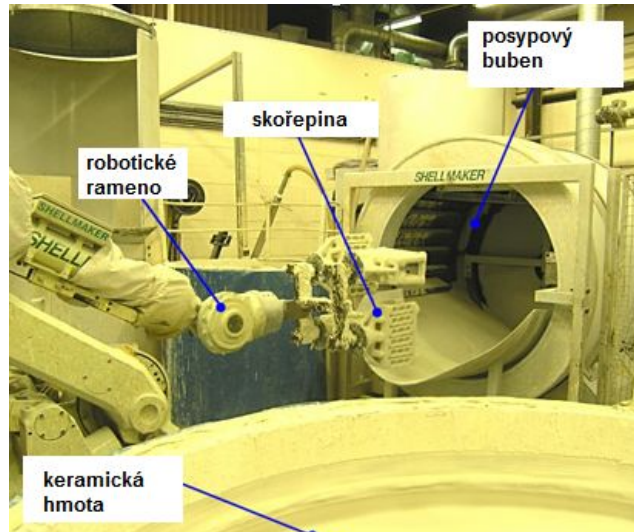
VI/ OPAKOVÁNÍ (II – V)

(do vytvoření potřebného počtu obalů – 4-12)

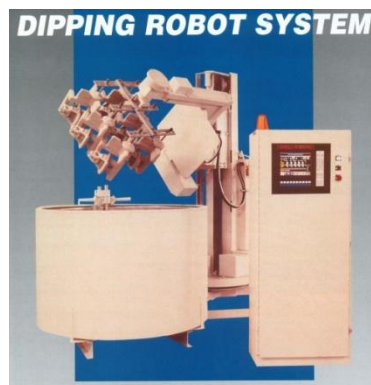
Výroba skořepinové formy – obalovací linky



Výroba skořepinové formy -robotizovaná pracoviště



současnost



historie

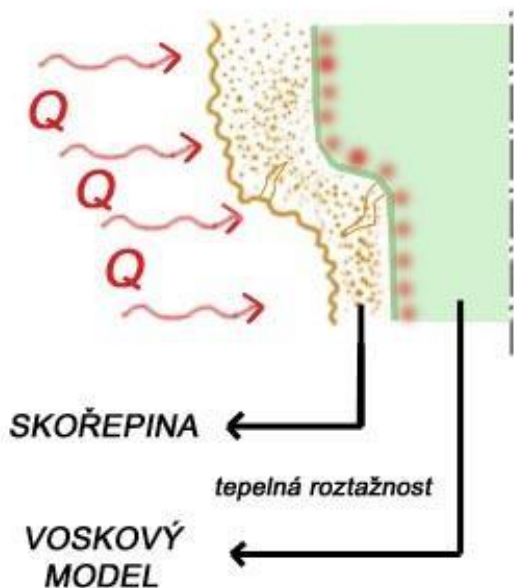


Vytavení vosku ze skořepiny

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

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

Vytavení vosku ze skořepiny

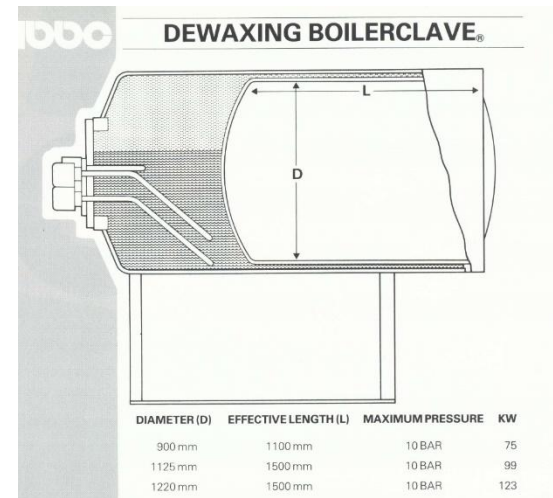
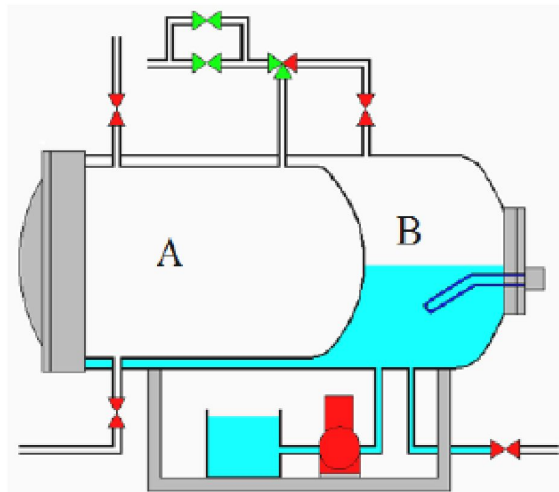
Většinou se používá systém vytavování párou (boilerkláv, autokláv)

Hlavní důvody:

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

Pracovní parametry:

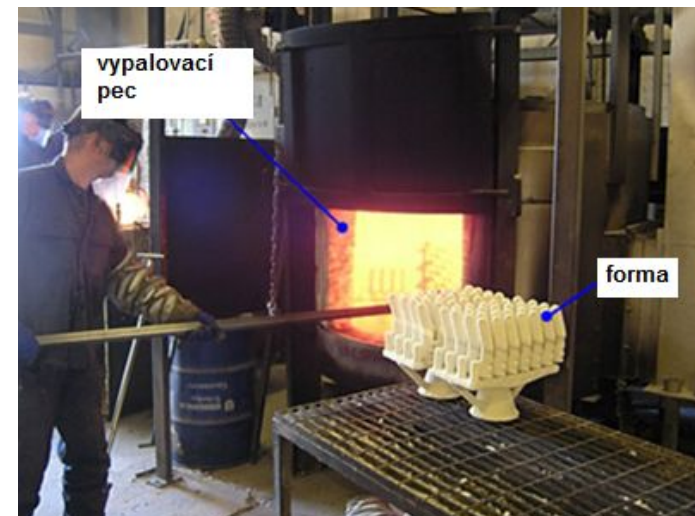
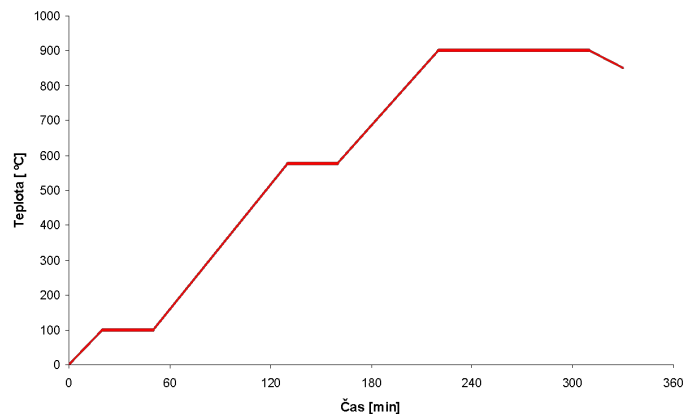
- teplota páry – 160-180°C
- pracovní tlak – 6-9 atm.
- nárůst tlaku na prac. tlak za 3-5 s
- řízená rychlost snižování tlaku



Keramizační žíhání skořepin

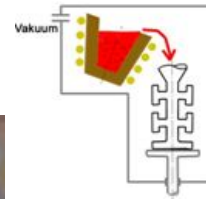
TŘI HLAVNÍ DŮVODY ŽÍHÁNÍ (VYPALOVÁNÍ) SKOŘEPIN

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



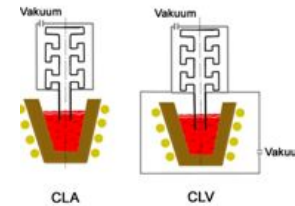
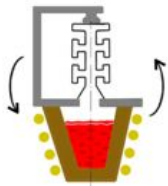
Odlévání

- 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)



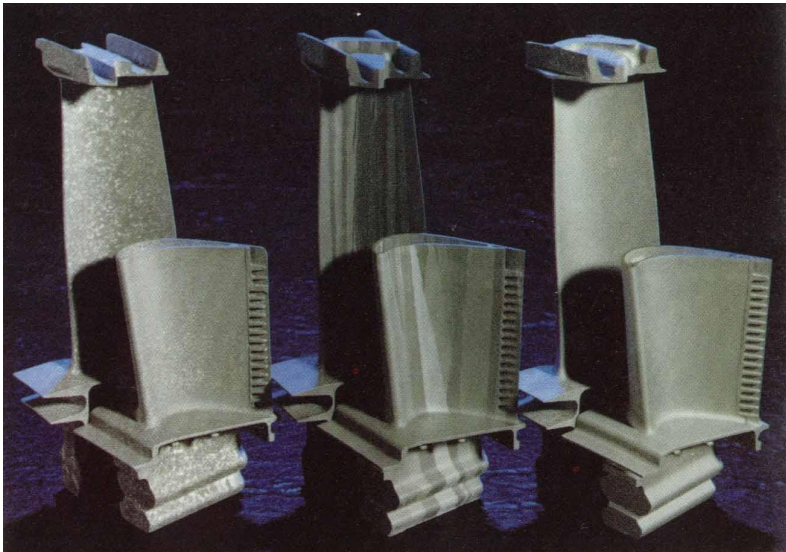
Dokončující operace

- 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

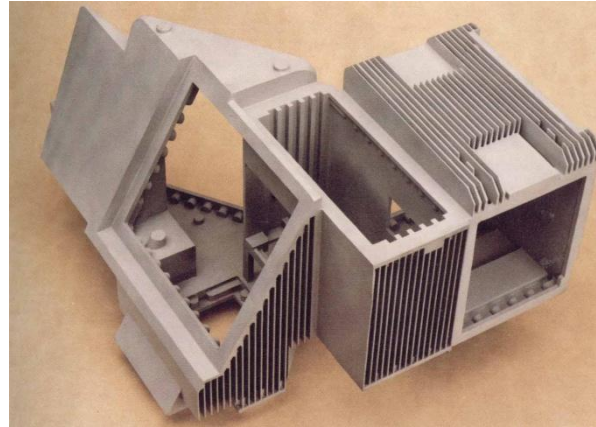


Superslitiny na bázi Ni, odléváno ve
vakuu
- odlitky pro energetiku

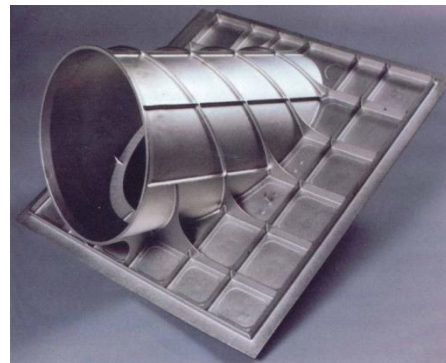
Odlitky výroba technologií vytavitelného modelu



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



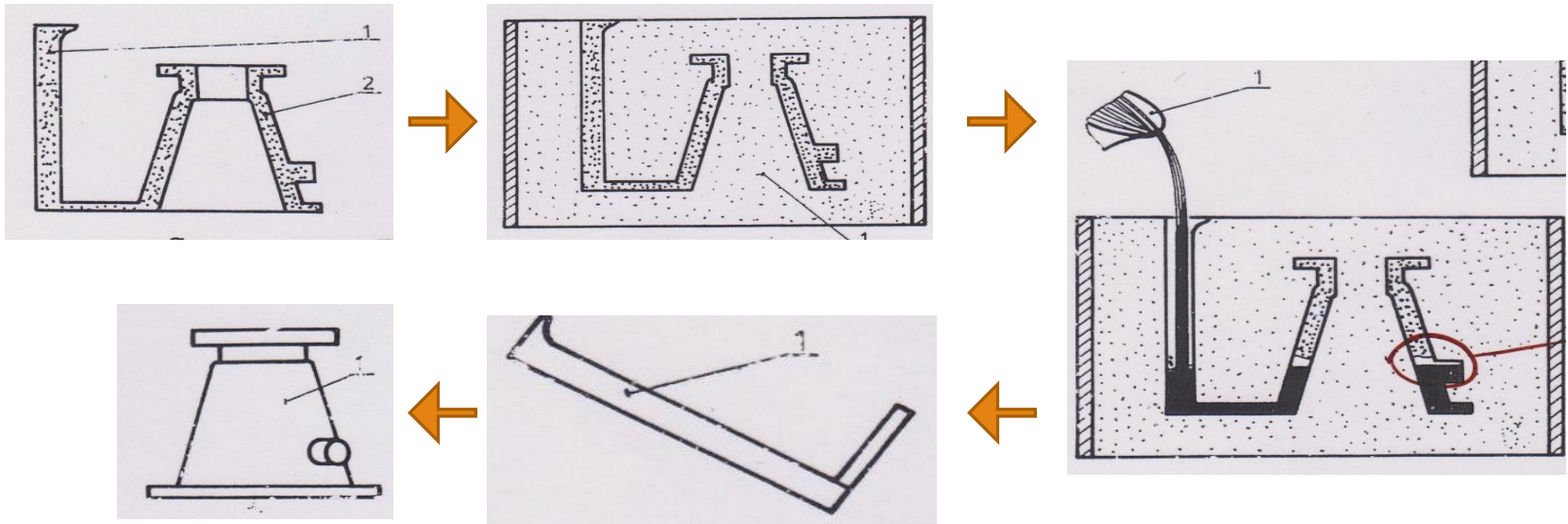
Odlitek kontrolního systému v
tanku – Al slitina



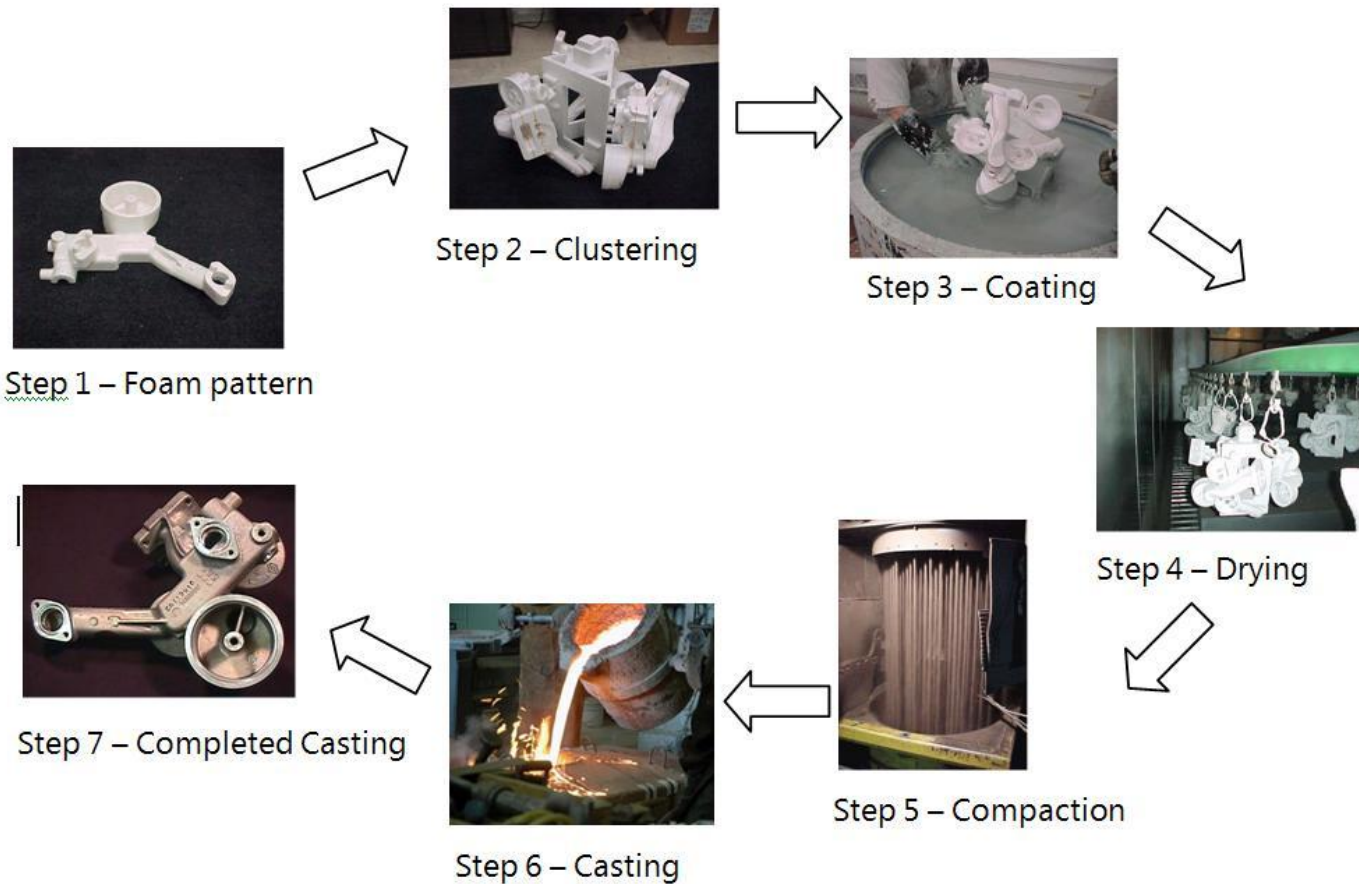
Část helikoptéry
V-22 – Ti slitina

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



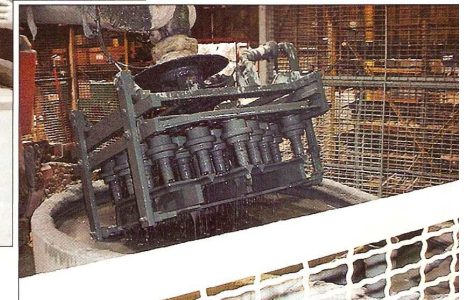
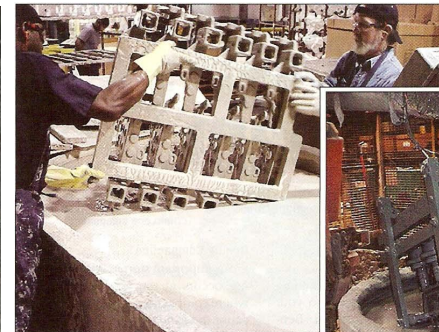
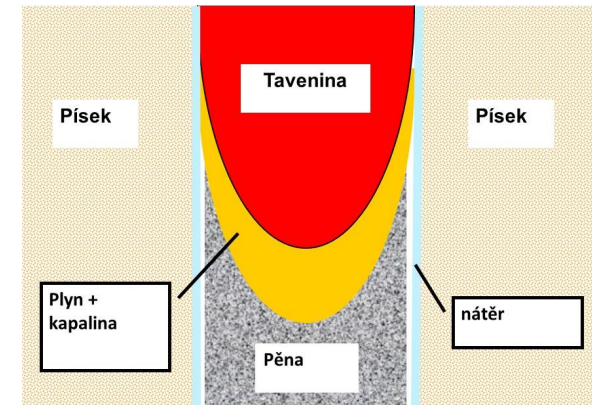
Princip technologie



Nátěr modelu

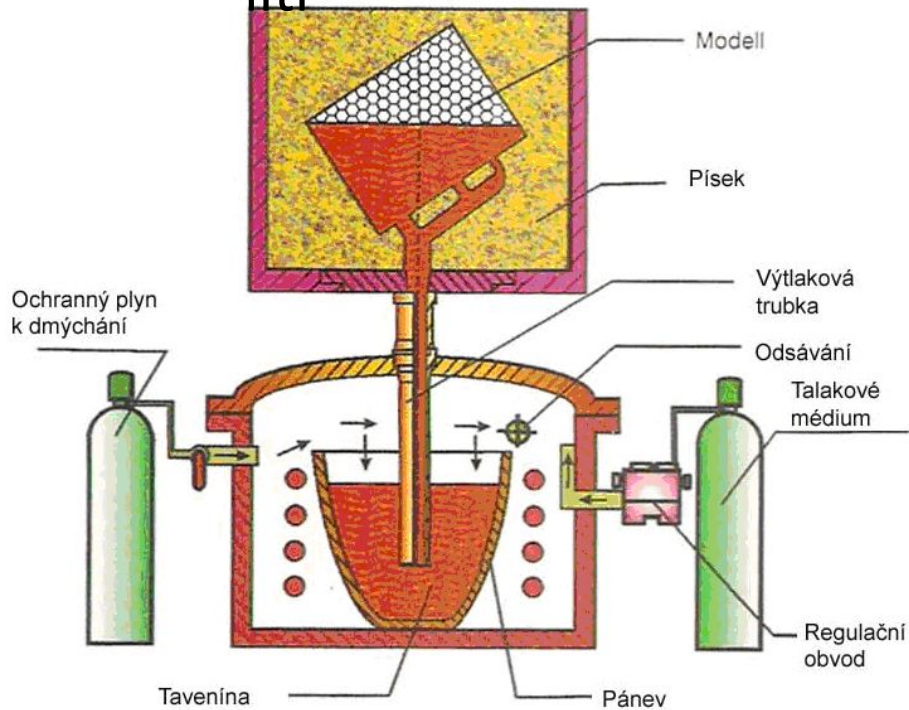
FUNKCE NÁTĚRU:

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

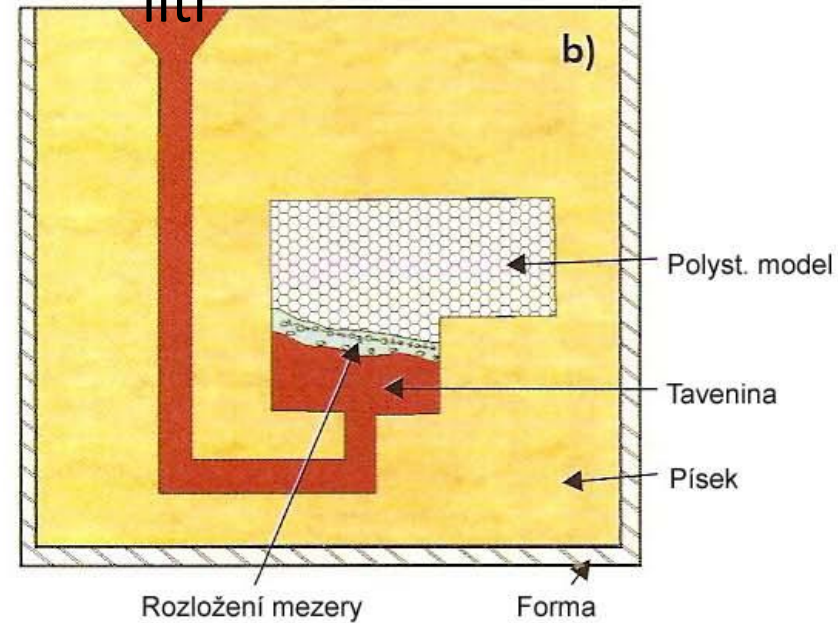


Odlévání

nízkotlaké lití



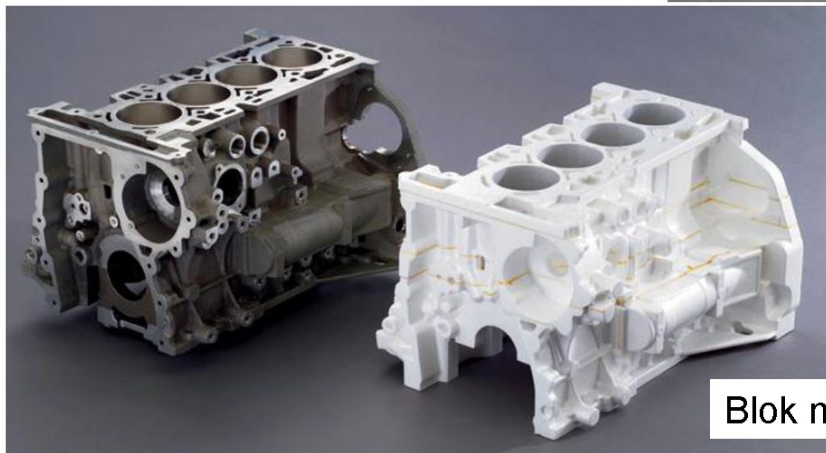
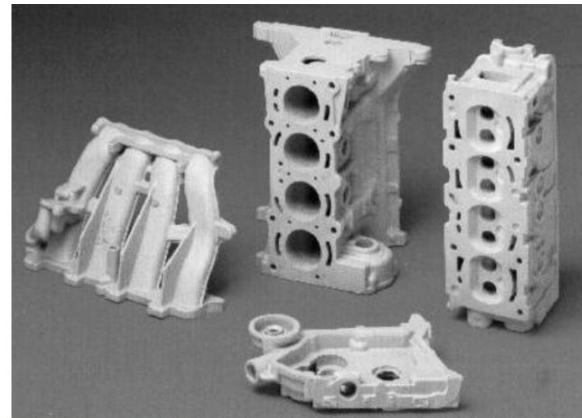
gravitační lití



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

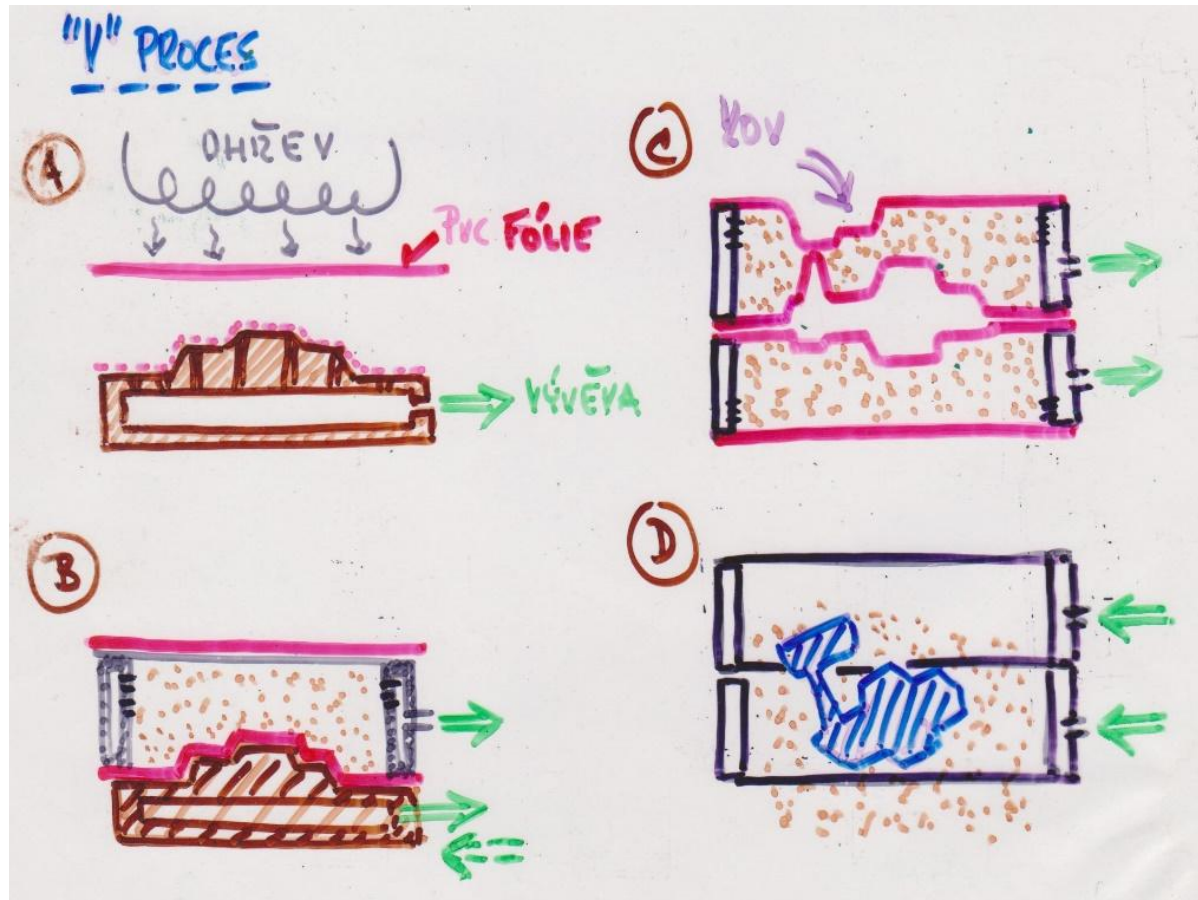
III a IV generace poživ

III generace – fyzikální vazby

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

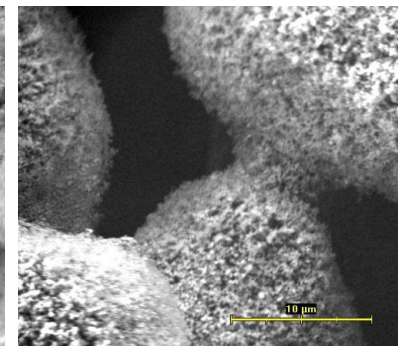
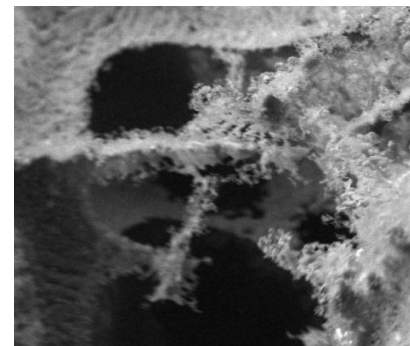
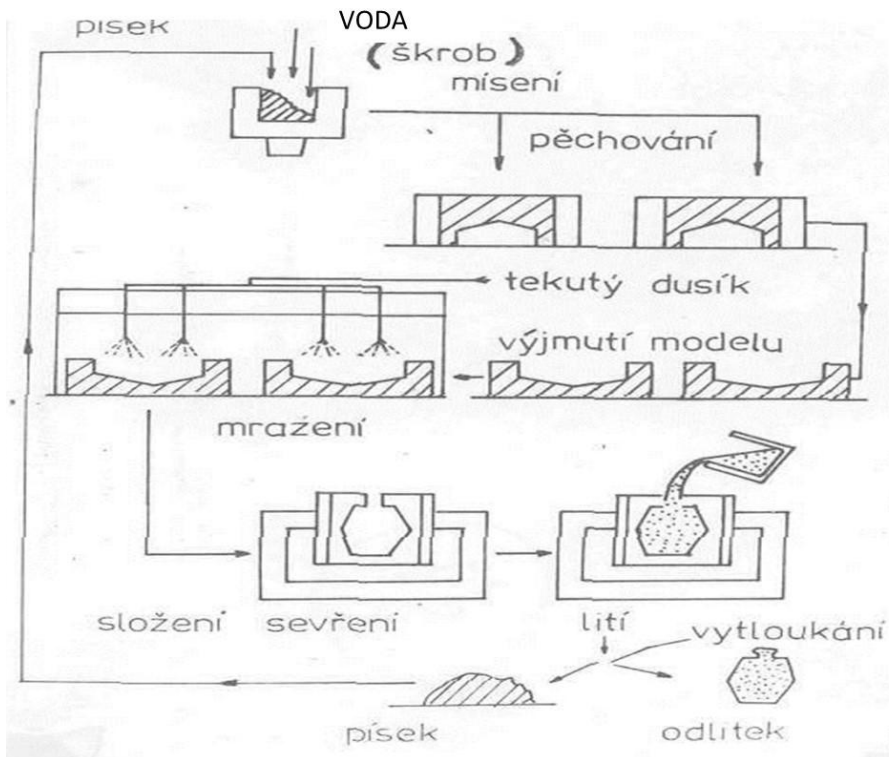
IV generace – biogenní pojiva

V proces

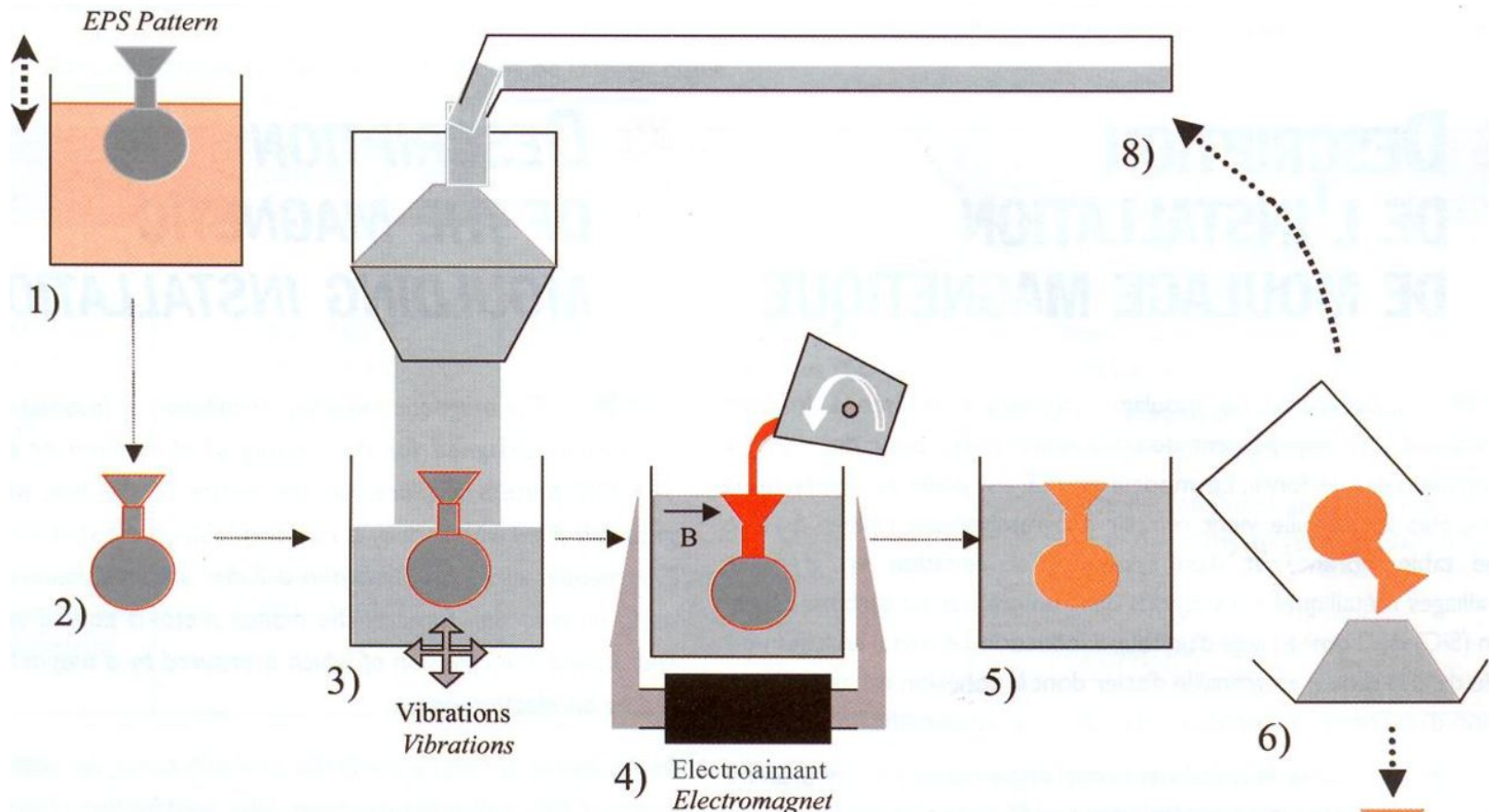


EFF SET Proces – zmrazené formy

směs – voda + ostřivo + přísady
vyplnění dutiny formy
zmrazení pomocí CO_2 nebo N_2
zmrazení s modelem nebo bez
modelu (přísada škrobu)



VITTMOSER II – magnetické pole



Děkuji za pozornost

