4. Vytváření

- převedení polydisperzního systému výrobní směsi v kompaktní systém konkrétních geometrických rozměrů (= **výlisek**).
- změna tvaru a změna vzájemné polohy částic působením vnějších sil.

1. Lisování - formování za použití tlaku.
a) **běžné – (pístové, přetokové) -** suché až polosuché směsi, vlhkost 0 - 15 %, tlak až 200 MPa. KOP, žárovzdorniny.
b) **mžikové** - suché a polosuché směsi - dusání, vibrování (kombinace),
c) **izostatické** - suché směsi, tlak až 1000 MPa,
d) **speciální** - žárové lisování, izostatické žárové lisování apod.

2. Vytváření tažením z tvárného (plastického) těsta – z těsta 15 – 25 % vlhkost. Tlak průměrně 0,5 - 3,5 MPa. Šnekový lis.

3. Lití suspenze (břečky) do forem - vytváření složitých tvarů (např. zdravotní keramika) s vysokým obsahem vody v suspenzi (30 – 40 %).

4.1 Vytváření lisováním

- **působení jednoosého nebo tříosého tlaku na zrnitou keramickou směs**

Směs	Způsob lisování	Tlak [MPa]	Vlhkost [%]	Zařízení
suchá	pístové jedno- dvoustranné	**20 - 100**	do cca 8 %	lisy hydraulické, mechanické, pneumatické
	všestranné	**až 1000**	≈1	lisy izostatické
polosuchá (drolenka)	pístové jedno- dvou stranné	**10 - 80**	8 - 15	lisy hydraulické, mechanické
vlhká až plastická	přetokové pístové	**3 - 5**	15 - 25	lisy mechanické, pístové, přelisy

+ Přednosti lisování:

- rozměrová přesnost výlisků,
- energetická úspora při sušení výlisků,
- vysoká výkonnost a automatizace výrobní linky,
- nízká zmetkovitost i dále při sušení a výpalu.

- Problémy při lisování:

- nestejnoměrné zhutnění ve směru lisovacího tlaku,
- náročnost technického zařízení a forem a jejich opotřebení.

4.1.1 Pístové lisování ze suchých a polosuhých směsí

• **pístové lisování**: dané (hmotnostně, objemově) množství směsi se vtlačuje do formy

• **Cíl**: **maximální hutnost výlisku** → řešíme vliv:

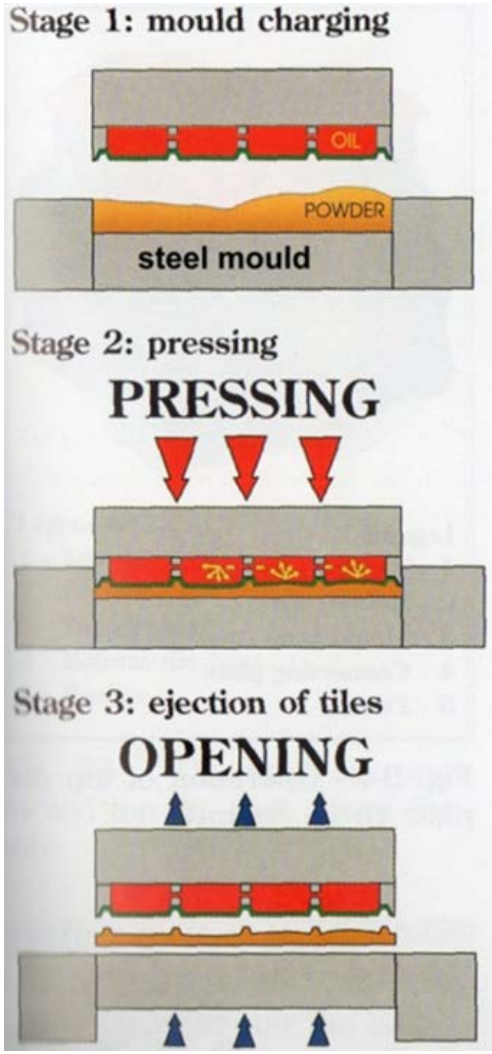
(A) vlhkosti lisovací směsi,

(B) granulometrie,

(C) lisovacího tlaku,

(D) odvzdušnění,

(E) Typu použitých surovin a lisovacího zařízení.



A) Vlhkost lisovací směsi

Optimální lisovací vlhkost = kritická lisovací vlhkost (viz. cvičení !)

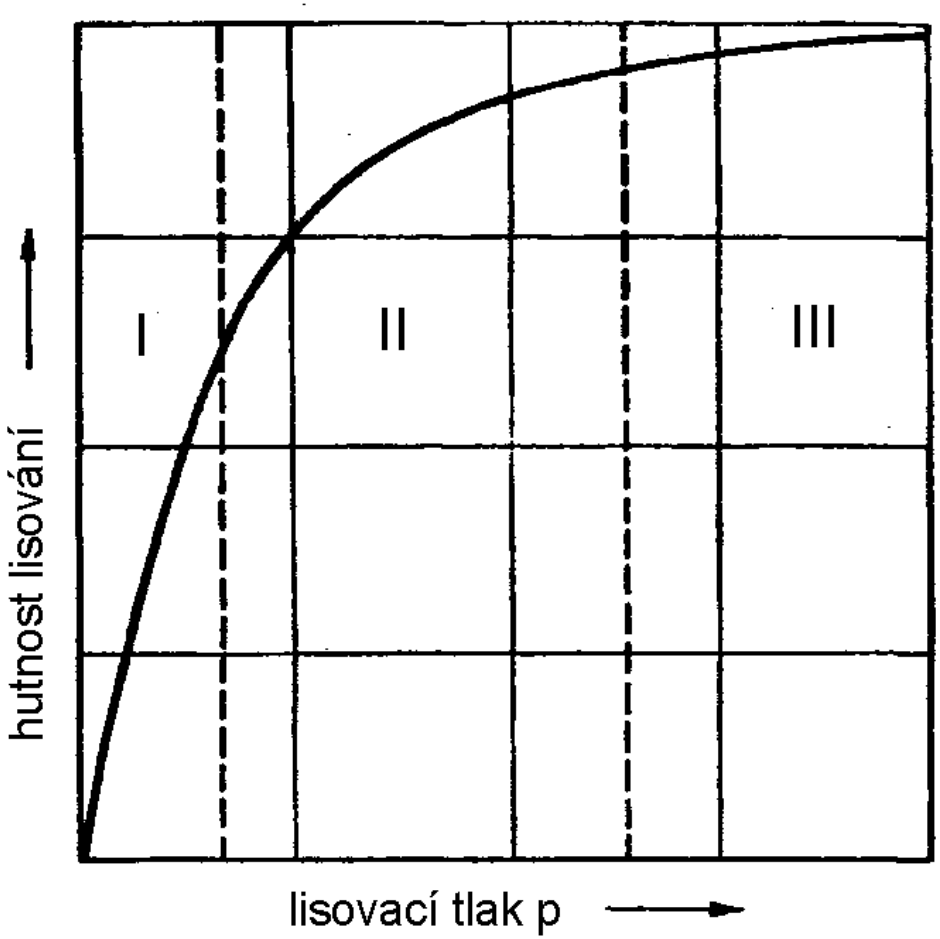
B) Granulometrie

Křivka zrnitosti – minimální mezerovitost, vyšší jemnost zrn = vyšší tření

C) Lisovací tlak

- podle vlhkosti,
- stupeň zhutnění - součinitel stlačení *Ks:*

$$K_s = \frac{h_0}{h}$$



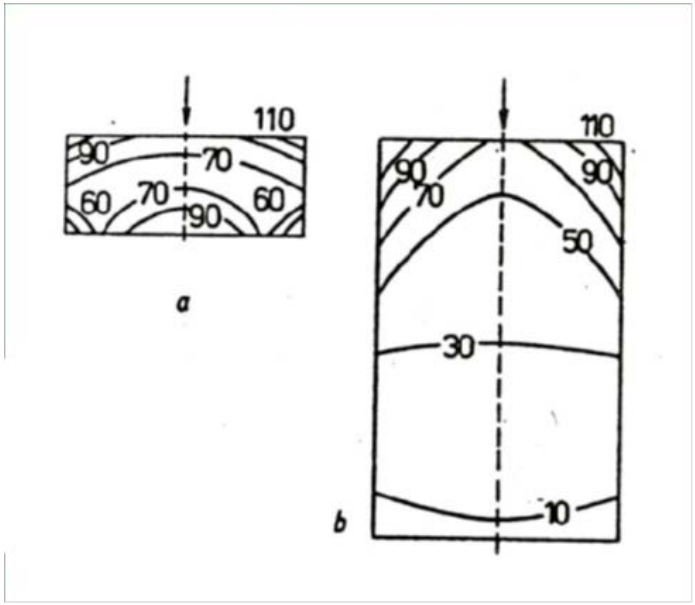
Hutnost výlisku v závislosti na lisovacím tlaku

Oblasti deformací částic:
I – orientace a posun smykem,
II – plastická deformace,
III – porušování zrn

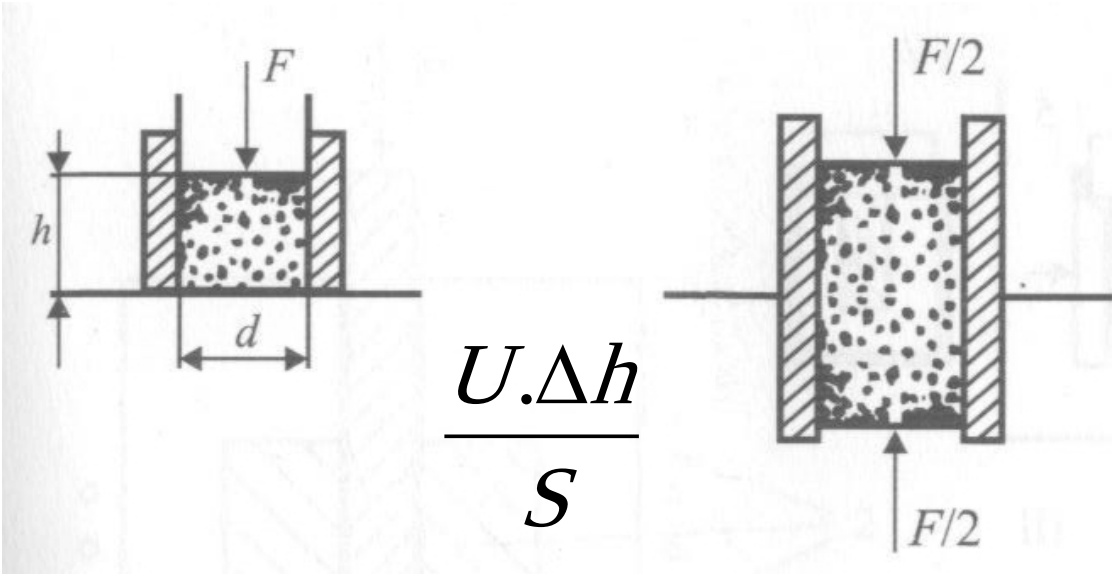
Citlivost k lisování = malá změna lisovacího tlaku vyvolá velké zhutnění (x i malé změny tlaku, např. třením o stěnu formy, vyvolají nerovnoměrné zhutnění).
Problém - velké tloušťky výlisků, jednostranné lisování.

Tření - při pohybu částic tření částic o stěny formy (**vnější tření**) a mezi částicemi navzájem (**vnitřní tření**) $\Rightarrow$ ztráta energie a snížení účinku lisovacího tlaku při zhutňování směsi.
Nebezpečí textury – omezení – volba jednoosého nebo dvouosého lisování

$$\frac{p_2}{p_1} = -\exp\left(\frac{U.K.\mu.\Delta h}{S}\right)$$



p_2...tlak na spodní ploše výlisku [Pa],
p_1...použitý lisovací tlak [Pa],
U...obvod půdorysu formy [m],
S... lisovaná plocha formy [m^2],
$\Delta h = h_0 - h_1$...rozdíl mezi násypnou výškou h_0 a výškou výlisku h_1 [m],
μ...součinitel tření o stěny formy,
K...poměr radiálního a axiálního napětí v tlaku, jako vyjádření vnitřního tření.
μ se stoupajícím tlakem klesá a hodnota K stoupá $\Rightarrow$ $K.\mu$ = 0,1 – 0,4.



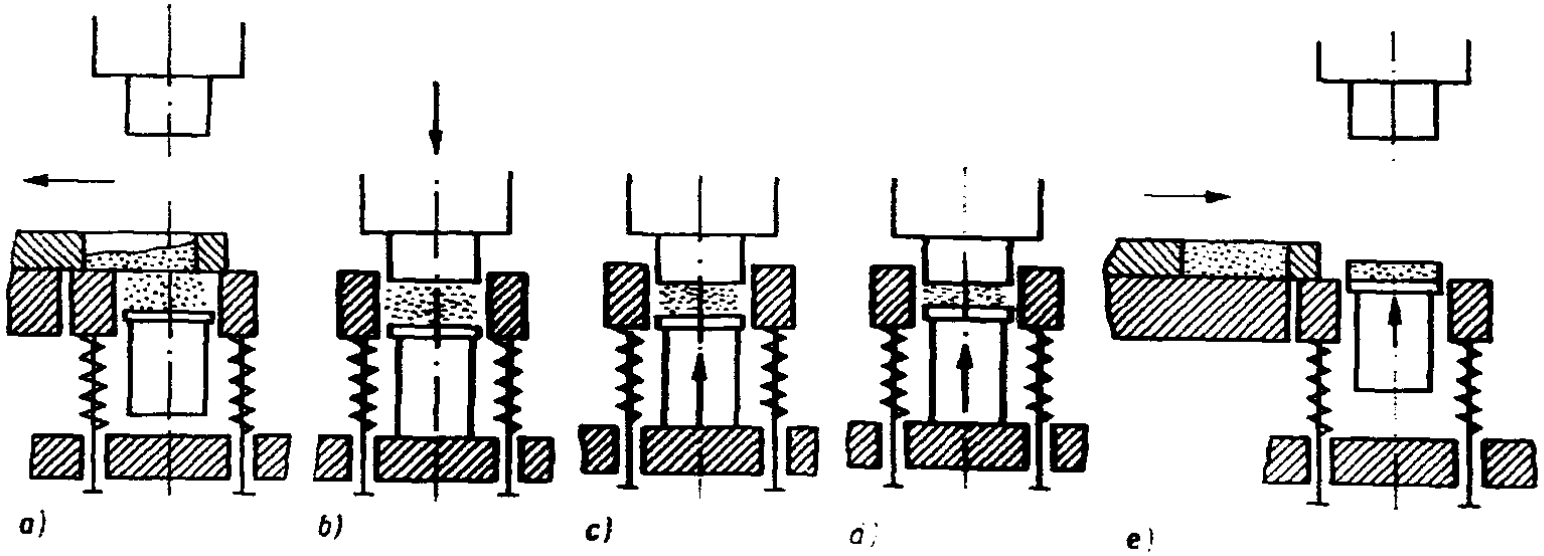
$$\frac{U.\Delta h}{S}$$

$< 0{,}5 \Rightarrow$ postačuje jednostranné lisování

$> 2 \Rightarrow$ nutností je dvoustranné lisování

Opatření ke snížení tlakových ztrát při jednoosém lisování:

- výběr vhodného formátu pro vytváření lisováním ze suché směsi (výška výlisku do 1/3 rozměru),
- optimální obsah lisovací vlhkosti,
- snížení vnitřního a vnějšího tření - nižší vnitřní tření mají zrnité směsi částic podobných koulím s malým obsahem nejjemnějších zrn,
- výběr surovin - vhodnější magnesiumsilikátové suroviny (mastek, talek) - vykazují lepší kluzné vlastnosti než alumosilikátové,
- přísada lisovacích chemických prostředků (nenasycené mastné kyseliny,…)



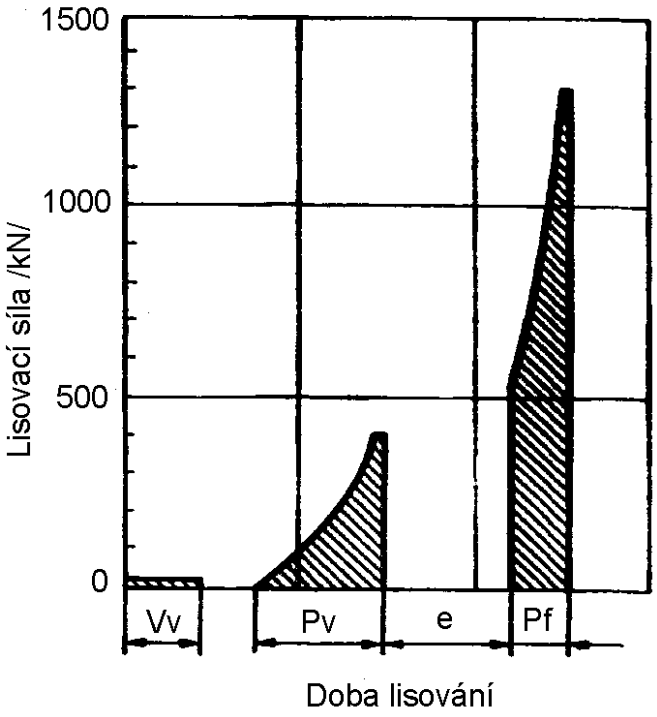
Dávkování směsi do formy: objemové x hmotnostní

Lisování: na tlak x na doraz (tlak podle navážky)

D) Odvzdušnění

defekty pravděpodobnější při vyšším podílu jemných částic.

Stupňovitý lisovací proces: předlisování tlakem asi do 1/3 konečného tlaku → odvzdušnění → dolisování.

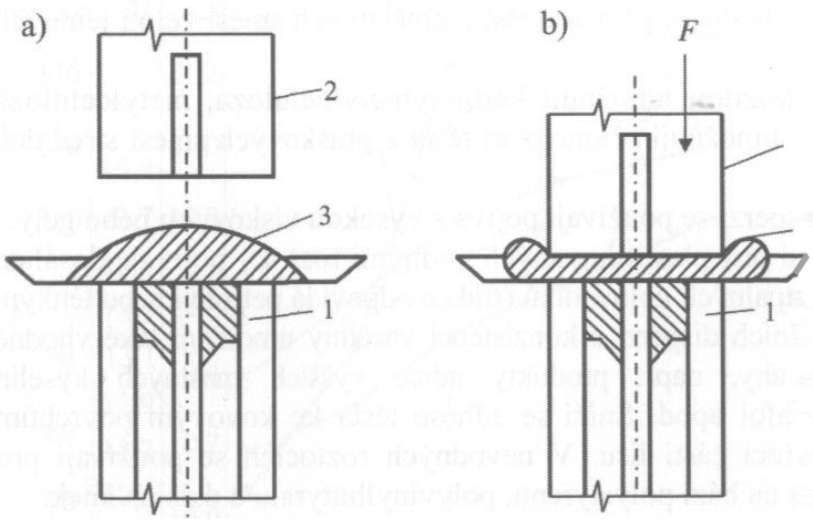


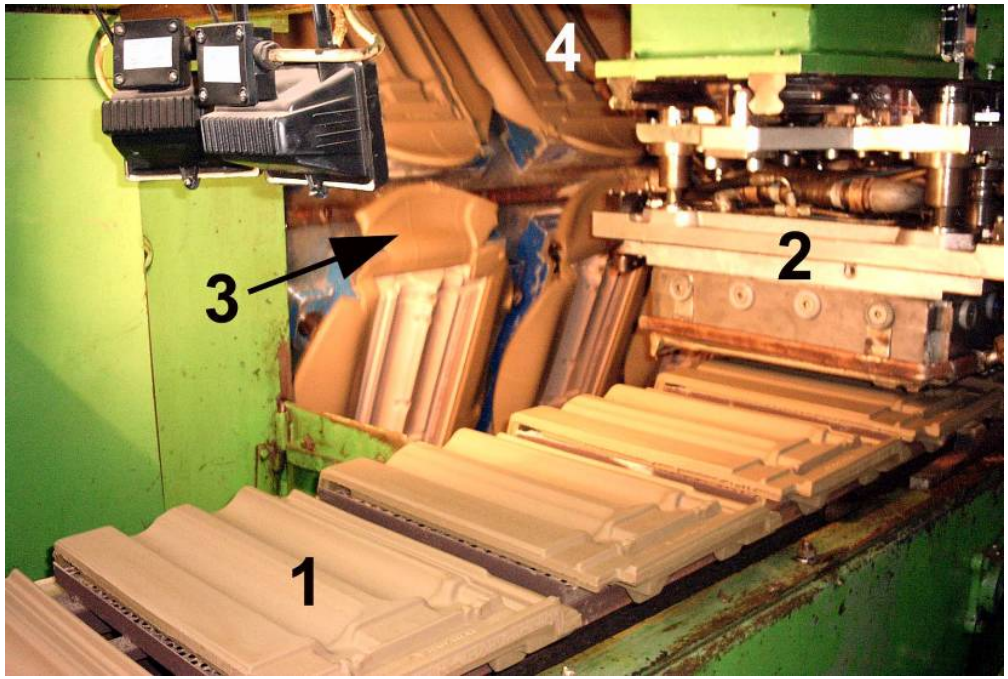
- Po vytlačení výlisku často relaxace napětí (pružné deformace) = zvětšení objemu (až 8 % ve směru lisování).
- příčina: obsah vzduchu v pórech, pružnost částic nebo zvýšená vlhkost

4.1.2 **Lisování z vlhké směsi**

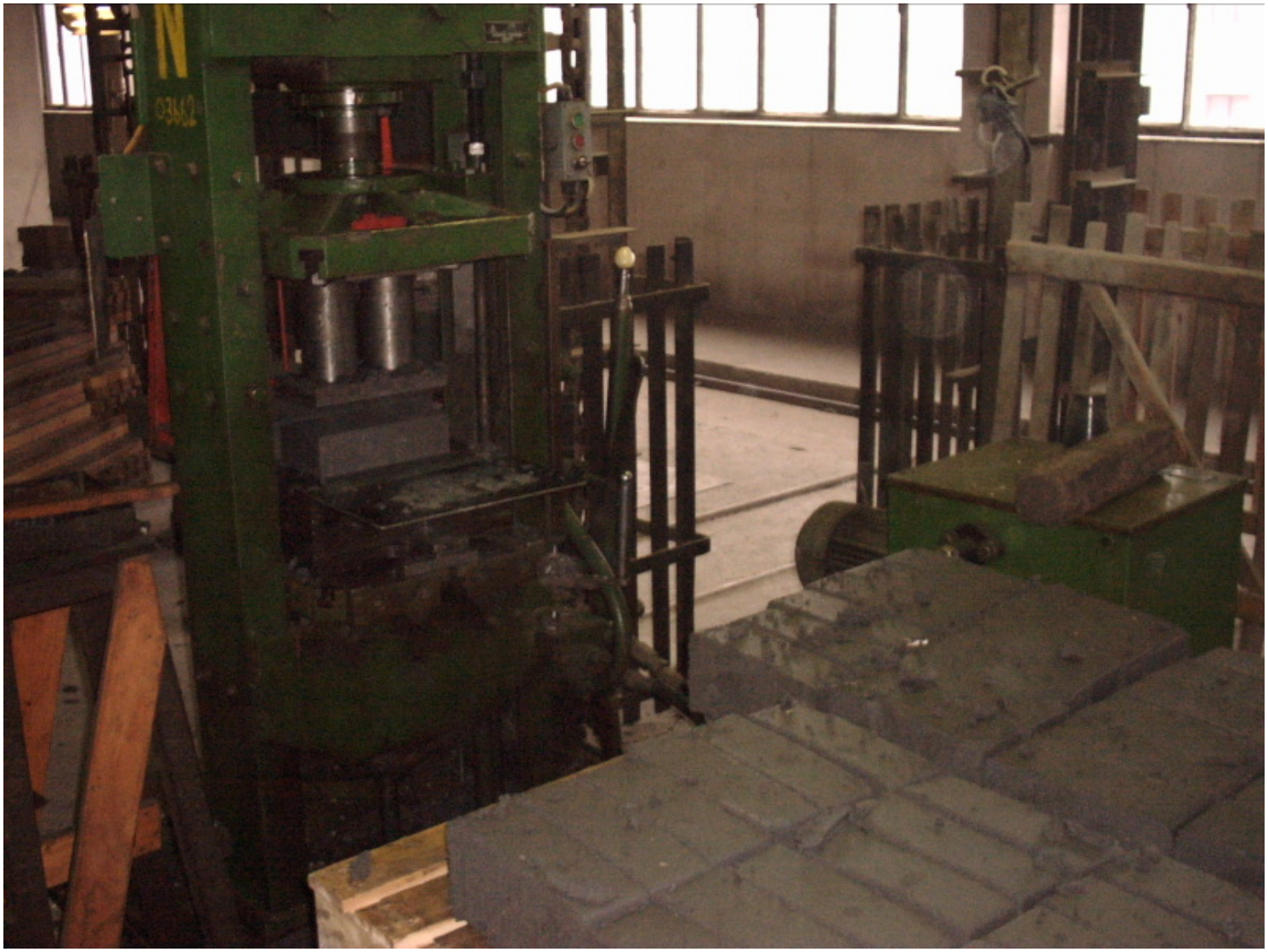
Vlhkost 15 - 25 % (plastické vlastnosti), postačí malé tlaky (do 30 MPa) - směs se snadno přetváří.

- **přetokové** - dávkuje se větší množství směsi - přebytek se odstraní přetokem vhodnou konstrukcí formy. Razník do formy nevstupuje - vytváří horní povrch výlisku





- **Pístové:** často předlisování tvaru na šnekovém lisu → pístové lisování



4.1.3 **Mžikové lisování**

- působení dynamickým tlakem ve velmi krátkých časech.

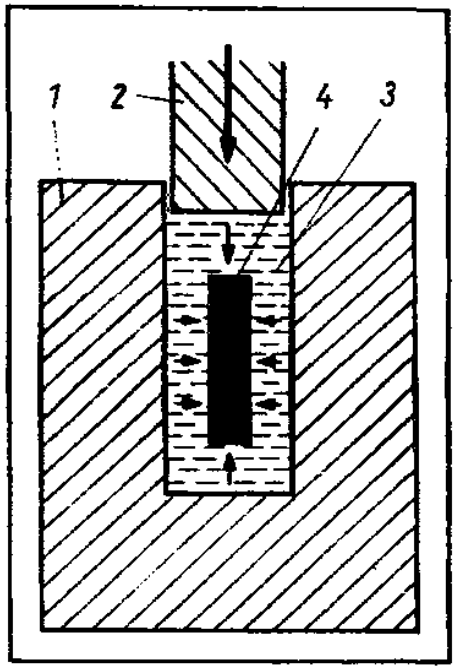
• **dusání** - výlisky velkých formátů nebo složitých tvarů žárovzdorných výrobků. V rozebíratelné formě se el. pěchem zhutňují vrstvy nasypané zavlhlé směsi. Mechanický ráz působí asi 0,006 s, frekvencí asi 10 s^{-1} = statický tlak 10 – 20 MPa + vibrace,

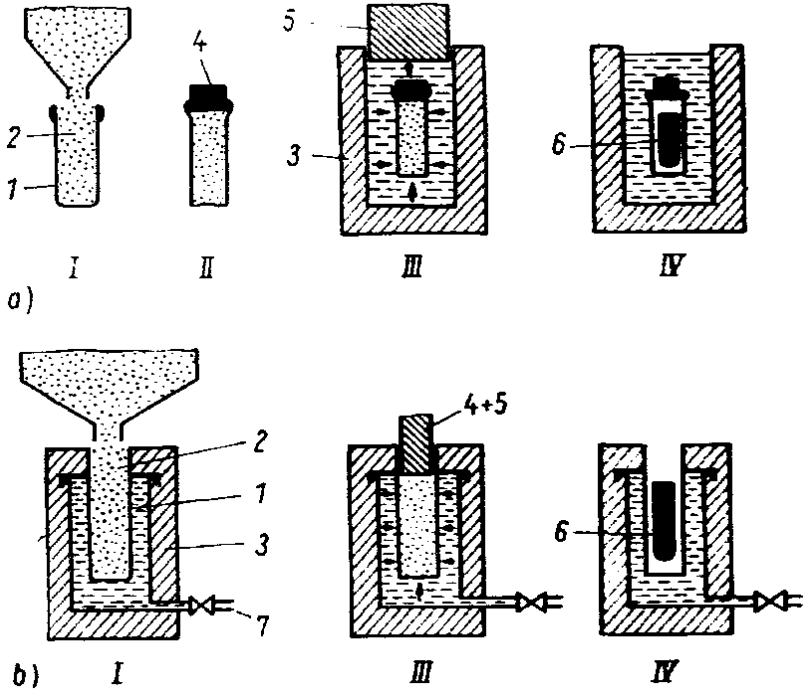
• vibrolisování,

• úderové lisování - u silně ostřených směsí nebo výlisků větší tloušťky - údery z výšky padajícího beranidla.

4.1.4 **Izostatické lisování**

rovnoměrné všesměrné působení hydrostatického tlaku na lisovací směs (granulát)





- vysoké tlaky (až 1000 MPa).
- podle druhu tlakového media (kapalina, plyn nebo elastomery), podle typu formy (suchá nebo mokrá forma) a podle teploty (běžná teplota, teplé lisování od 20 do 500 °C a lisování žárové až do 1800 °C).
- forma z elastomeru, který nereaguje s lisovanou směsí.

Výhody:
- rovnoměrné působení tlaku a
- vysoká homogenita výlisku bez textury a
- dosažení vysoké pevnosti výlisků.

Nevýhody:
- obtížné plnění a vyprazdňování formy a
- časově náročný proces s nízkou produktivitou.
- lisovací směs se výrazně zhutňuje (až o 40 %),
- nelze docílit ostrých hran výlisku a dokonalou rovinatost ⇒ opracování (obrábění)

- **dopružování** (cca + 0,1 % objemu) výlisků pozorovatelné až 48 hodin po odformování (vyšší při vyšším obsahu jílových minerálů, při hrubší zrnitosti lisované směsi) - nad 100 MPa již minimální.
- nutnost dokonalého odvzdušnění

Kvaziizostatické lisování – gumová forma pevně uchycena v kovové matrici. V kovové matrici je tlaková kapalina, která přenáší tlak na gumovou formu. Lisuje se v běžném lise.