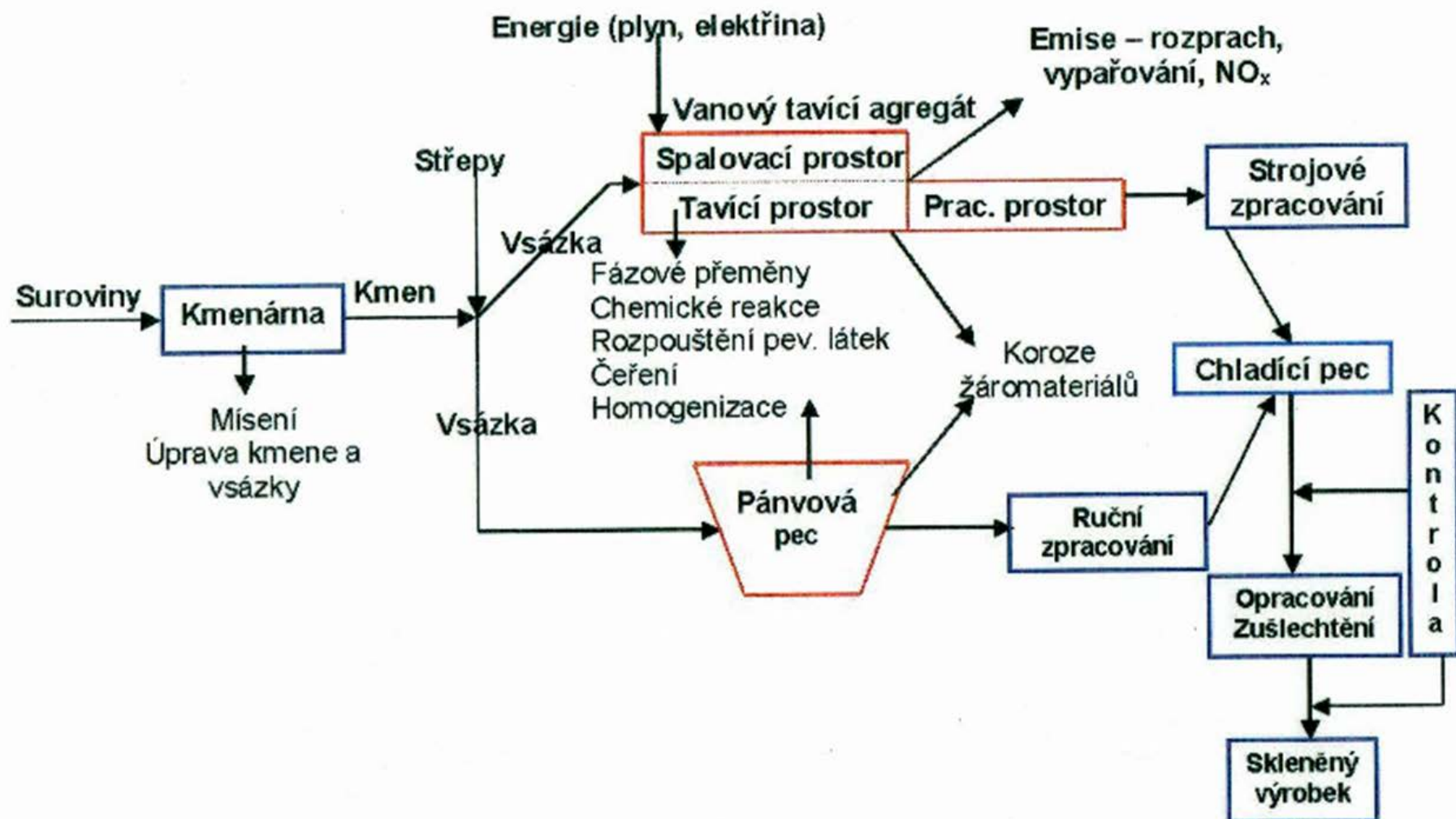


4. Technologie výroby skla

výrobní operace	výrobní zařízení	probíhající procesy
1. mísení surovin	Kmenárna	mechanické homogenizační procesy
2. tavení, čerění, homogenizace	sklářská tavící pec	chemické reakce, rozpouštění pevných látek v tavenině, transportní jevy
3. tvarování	tvarovací stroje a zařízení	mechanické tvarovací procesy
4. chlazení	chladicí pec	tepelná homogenizace
5. zpracování	speciální stroje a zařízení	mechanické, tepelné a chemické děje

SCHÉMA VÝROBY SKLA



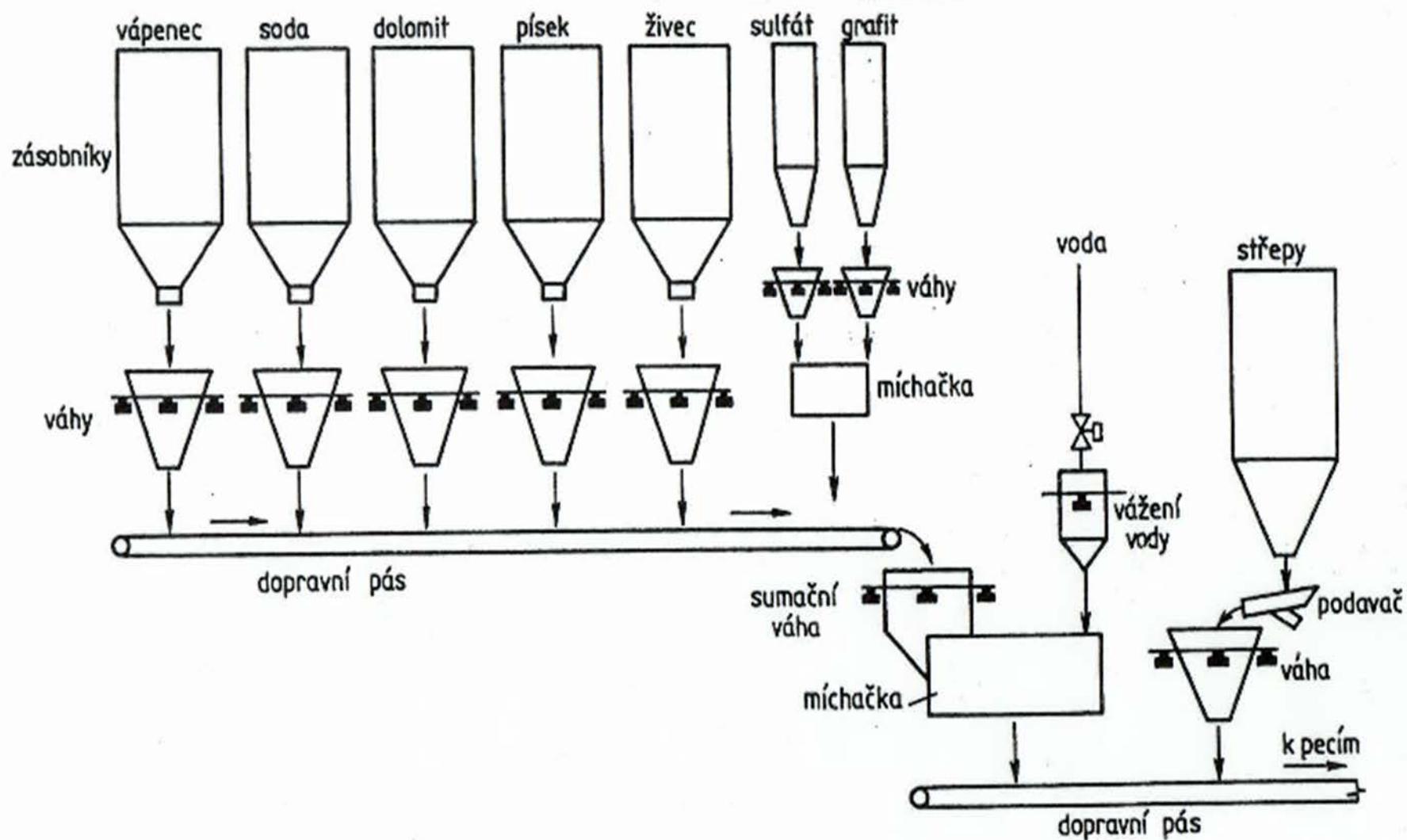
4.1 Mísení surovin

→ mísení na tzv. **sklářský kmen** (sklářská vsázka = kmen + přimíchání střepeů).

- Homogenita + zrnitost.

Kmenárny - mísení surovin, jejich vážení, doprava do zakladače, event. jejich úprava.

- Možná příprava kmene: kmen se ovlhčí vodou a lisuje do formy granulí, resp. pelet (stop segregaci jemných složek při transportu + sníží se ztráty rozprachem při zakládání do pece + zlepší se podmínky pro přestup tepla při postupném ohřívání vsázky v tavicí peci).



Obr. 56. Schema kmenárny s jednokomponentními váhami, podle [352]. Kmenárna je vybavena tensometrickými váhami, včetně sumární váhy. Minoritní složky se míchají jako předsměs. Stěpy se přidávají až na pás vedoucí k pecím

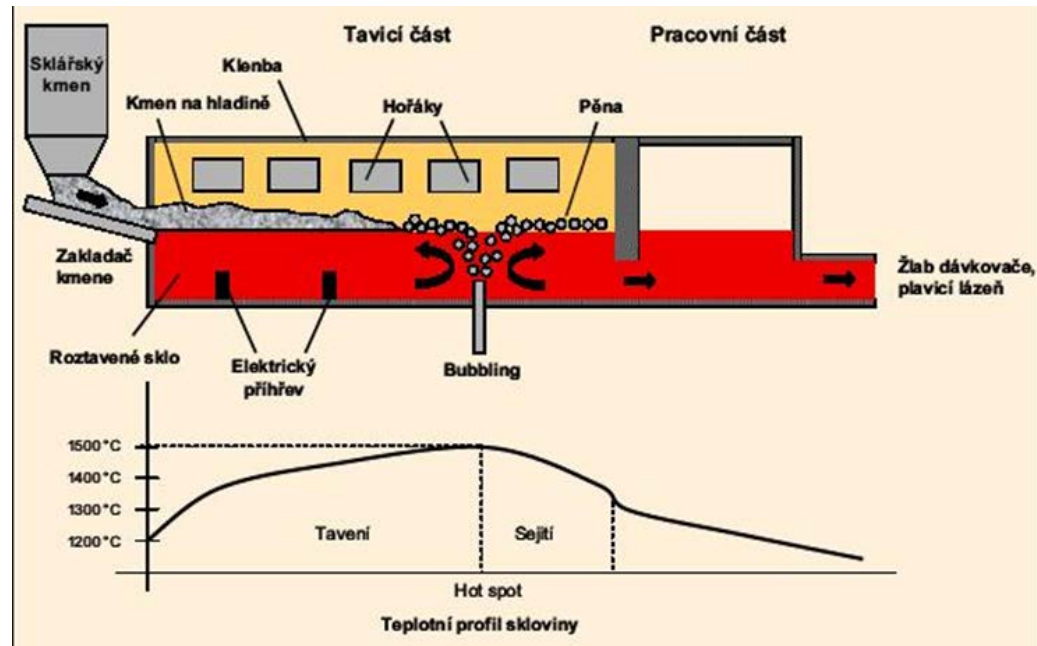
4.2. Tavení skla

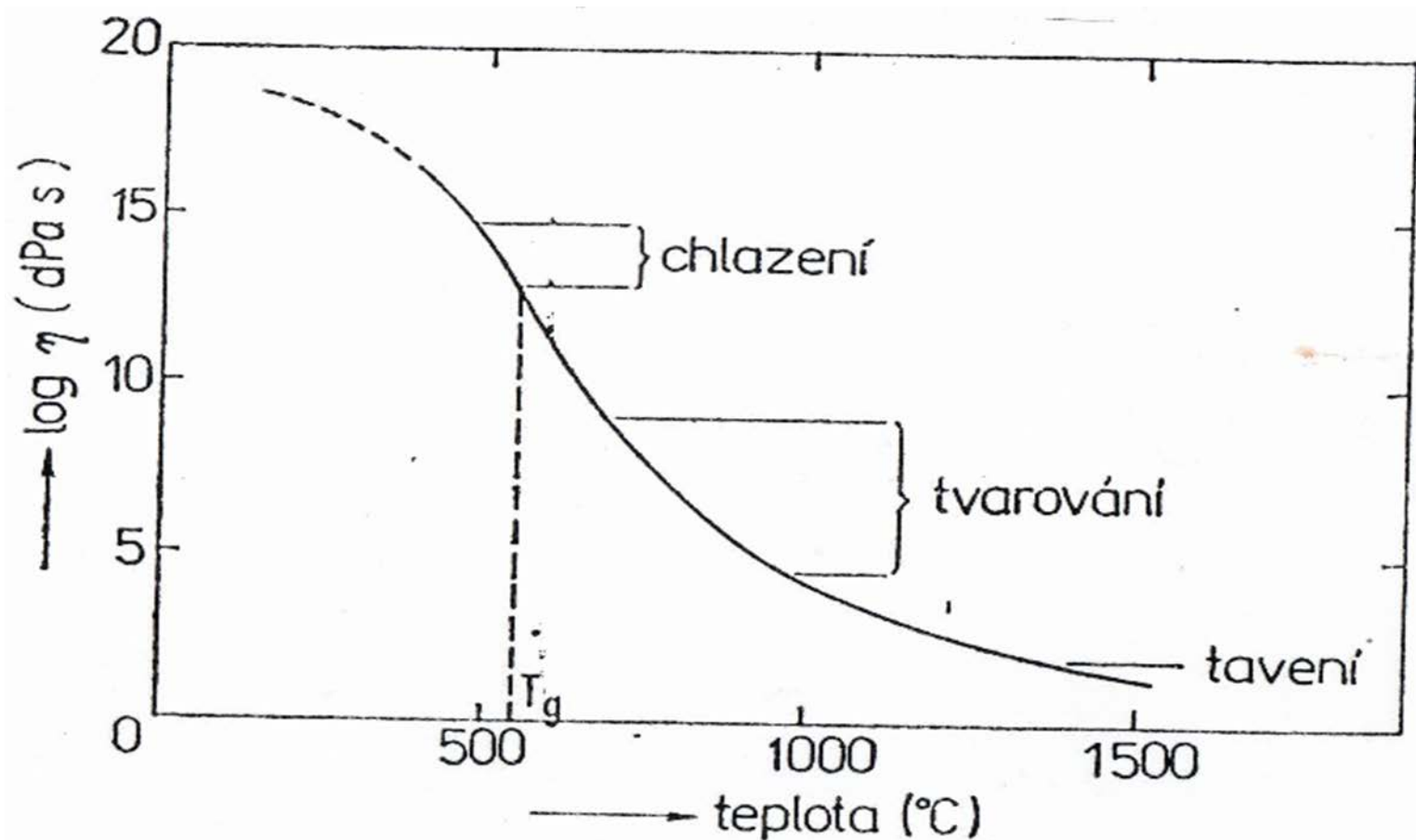
- Obvykle 1400 – 1600 °C (podle typu kmene, způsobu tvarování,...)
- Pece pánvové, vanové – reakce:

1. Rozklad některých uhličitánů.

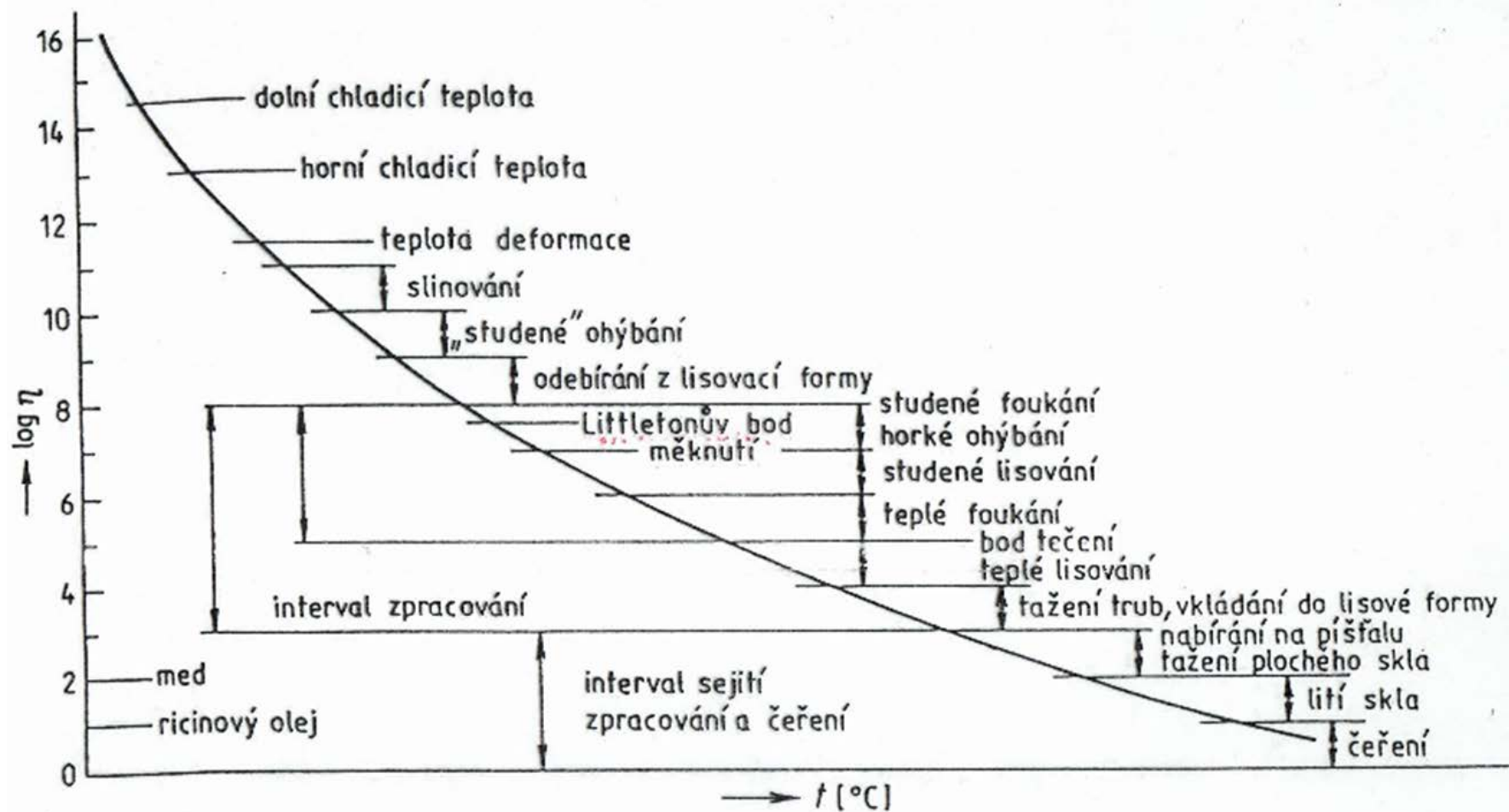
2. Chem. reakce mezi kyselými a bazickými složkami.

3. Čeření skla.

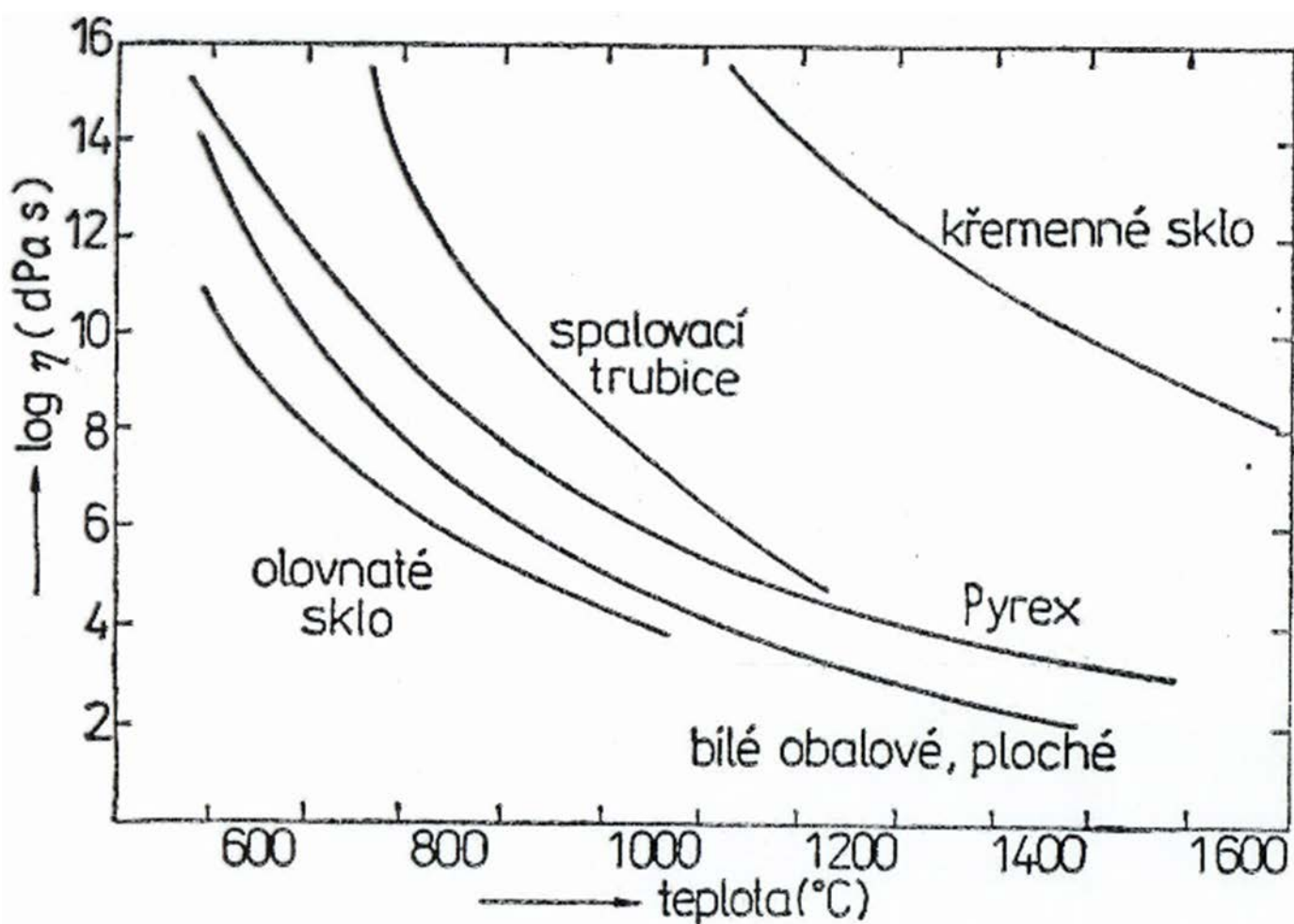




Obr. 73. Závislost viskozity běžného sodnovápenato-křemičitého skla na teplotě



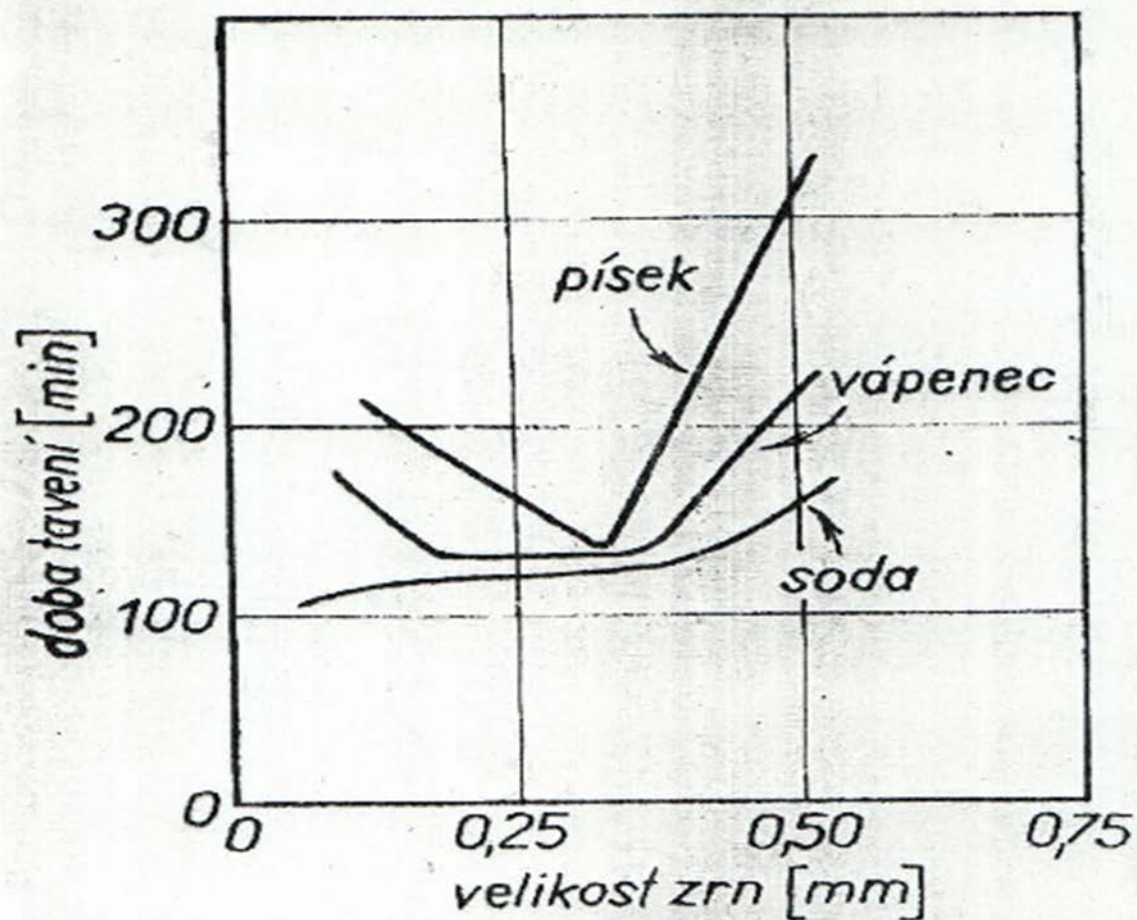
Obr. 5. Vymezení hlavních technologických procesů na viskozitní křivce skla [106]



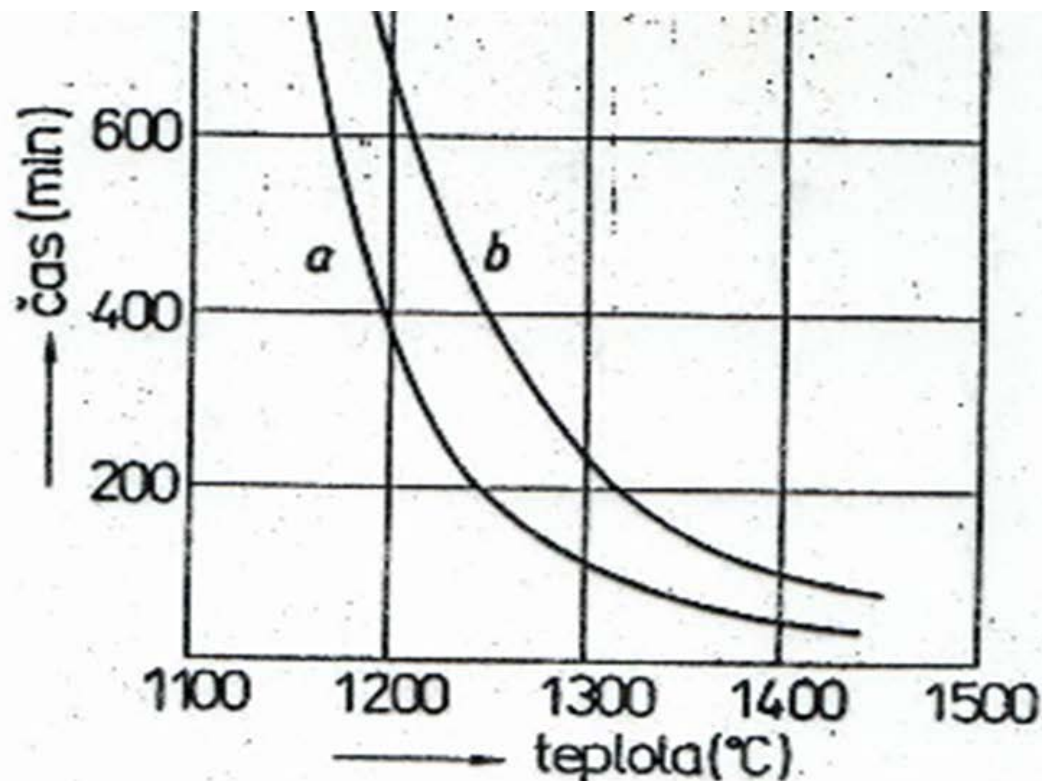
Obr. 74. Viskozita některých průmyslově vyráběných skel

4.3. Tvarování skla

- a) tažení (tabulová skla, vlákna, trubice),
- b) lití (dnes zejména ploché sklo - Float),
- c) lisování (obalová skla),
- d) vyfukování (strojní - obalová skla, ruční - užitková, často zdobená skla),
- e) lisofoukání - kombinace lisování a vyfukování (lahvová skla).



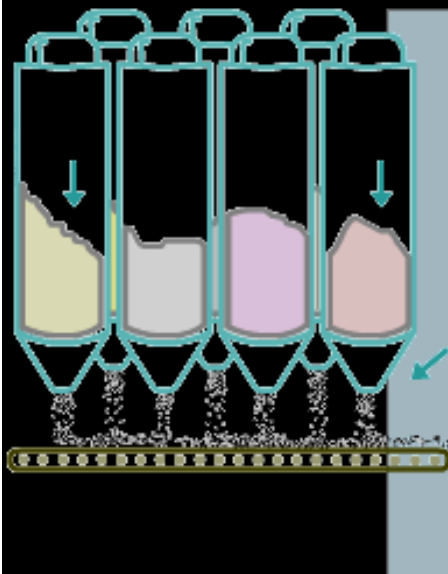
Obr. 7. Vliv velikosti částic písku, vápence a sody na dobu tavení skla obsahujícího 73,6 % SiO_2 , 11,9 % CaO a 14,0 % Na_2O při 1 427 °C. Zrnitost ostatních složek byla 0,19 až 0,30 mm [8]



Obr. 110. Vliv teploty na dobu tavení skla 73,5 hmot. % SiO_2 —
 —10,0 % CaO —16,5 % Na_2O
 při zrnitosti SiO_2 :
 a — 0,125 až 0,150; b — 0,25 až
 0,43 mm (Preston a Turner, 1940)

Tvarování skla – (1) ploché sklo – metoda FLOAT

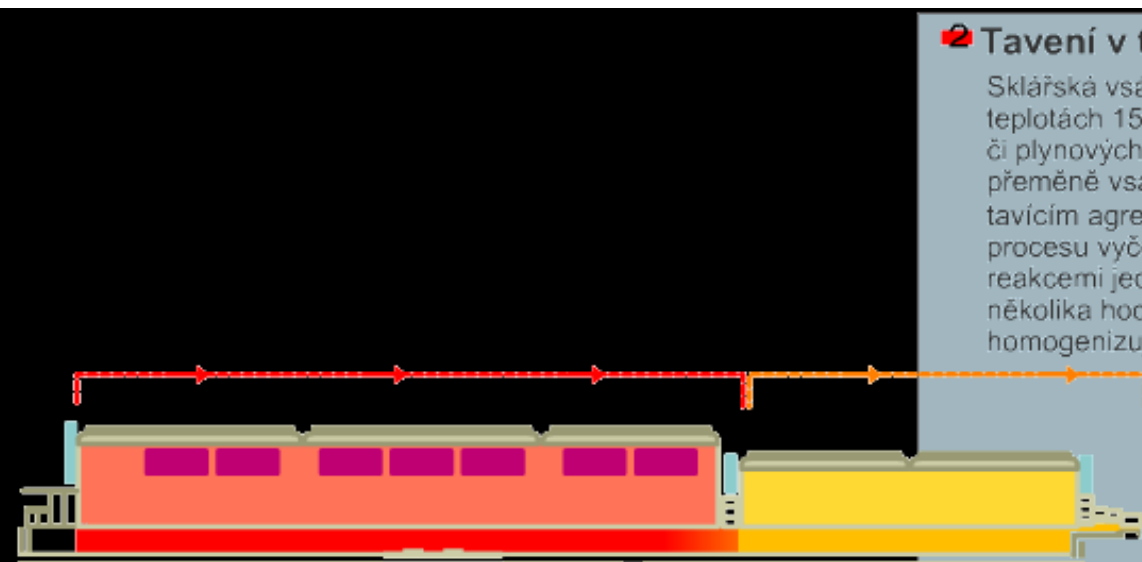
- "**float**" = ploché sklo i způsob jeho výroby.
- Float = základní sklo, z něhož se odvozují téměř všechny výrobky z plochého skla (čiré i barvené) - velké tabule (obvykle 6 x 3,21 m).
- Technologie float = „plavení“ roztaveného skla na hladině tekutého **cínu** (hladký povrch).
- **Sklářský kmen**: 73 % sklářský písek, 15 % sody, 10 % vápna a 2 % různých přísad (čeřiva).



1 Zakládání vsázky

Suroviny – především písek, soda, vápenec a dolomit – jsou skladovány odděleně v zásobnících, v sílech. Po té jsou suroviny na navažovacích linkách odváženy podle receptury odpovídající typu skla. Dále jsou smíchány a následně dopraveny do zásobníků před tavící agregát (pec). Během transportu je ke kmeni přidáno ještě požadované množství skleněných střepů. Tak vzniká vsázka. Všechny tyto operace jsou plně automatizované.

<<Zpět



2 Tavení v tavícím agregátu

Sklářská vsázka je tavena v tavícím agregátu (peci) při teplotách 1550 – 1600°C pomocí výkonných olejových či plynových hořáků. V průběhu tavení dochází k přeměně vsázky ve sklovinu, která postupně proudí v tavícím agregátu. V oblasti nejvyšších teplot dochází k procesu vyčeření plynů vzniklých rozkladnými reakcemi jednotlivých surovin. Sklovina se během několika hodin zbaví bublin a tepelně i chemicky se homogenizuje.

<<Zpět

3 Plavení skla

Jak sklovina vytéká z tavicího agregátu, natéká do plavící lázně na hladinu roztaveného cínu, kde je pomocí principu plavení vytvarována do nepřetržitého pásu skla. Z jednoho konce lázně na druhý postupně klesá teplota skloviny i cínu z 1100°C na 600°C. Aby mělo sklo požadovanou tloušťku a šířku, jsou do lázně skrze boční těsnění vloženy tvarovací nástroje tzv. top rolny, které pomáhají mechanicky upravovat parametry taženého pásu skla. Samotný pohyb je zajištěn pomocí tahu válců chladící pece.

<<Zpět

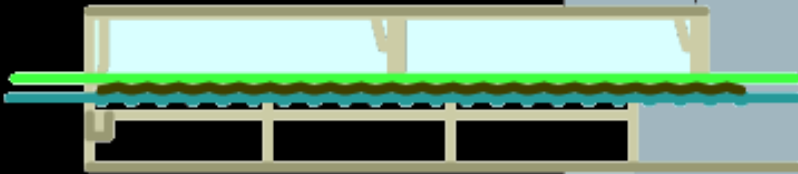
4 Nanášení vrstev na skleněný pás

Povlaky kovových oxidů jsou aplikovány na skleněný pás při vysokých teplotách. Při reakci se sklem často vznikají odpadní produkty, které jsou následně odtahovány do čistících jednotek, kde jsou neutralizovány.

<<Zpět

5 Chlazení skla

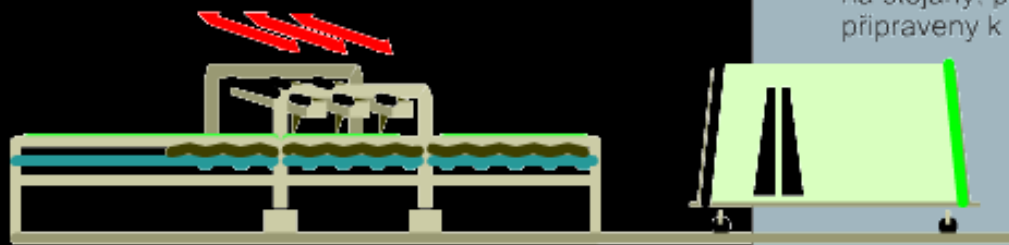
Sklovina přetvořená v plavící lázni do formy nekonečného, zatím plastického, skleněného pásu je vyzdvihnuta pomocí zvedacích válců z cinu a je dále vtažena do tunelu chladicí pece, tzv. chladičky. Zde je skleněný pás postupně, částečně automaticky, ochlazován podle chladicí křivky. Cílem je zajistit perfektní rovinnost a eliminovat nerovnoměrnost vnitřního mechanického napětí, které by mohlo způsobovat lomy. Skleněný pás vystupuje z chladičky s teplotou okolo 60 – 80°C a je připraven k řezání.



<<Zpět

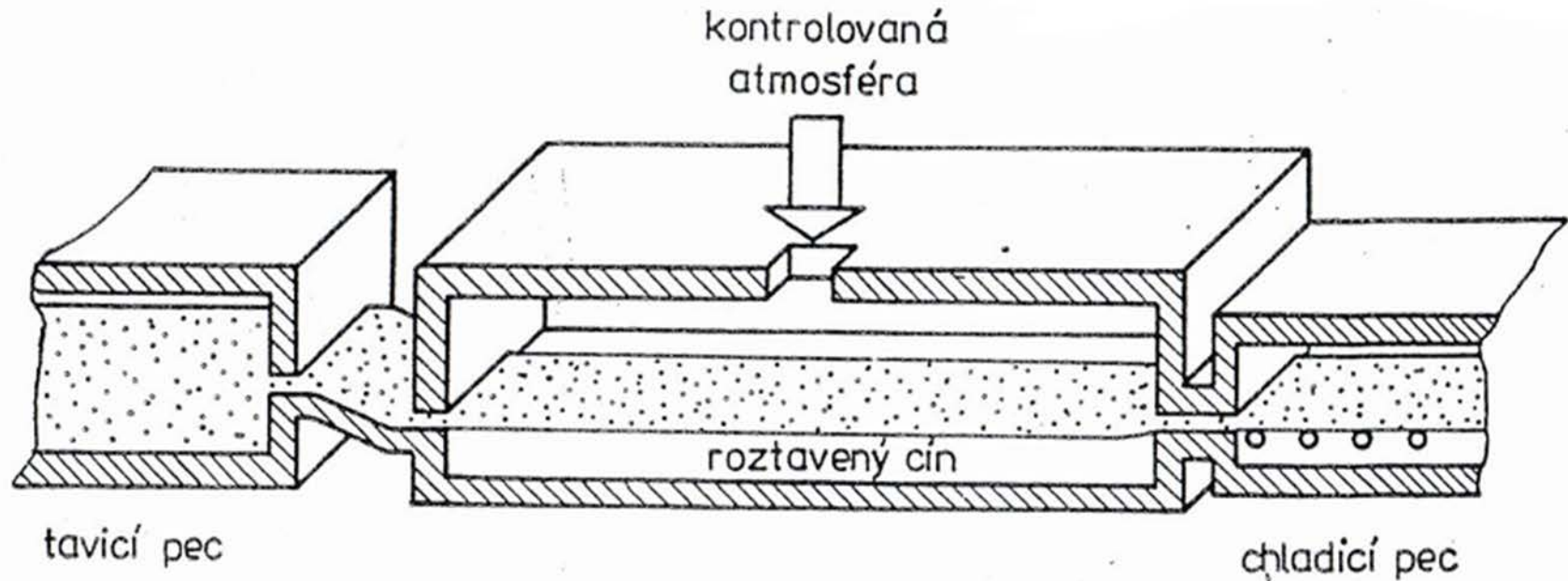
6 Řezání

Po vychlazení je nejprve pás skla zkontrolován pomocí detektoru vad a pak automaticky nařezán na různé velké tabule (max. rozměr: 600 x 321cm). Tabule jsou rozděleny do jednotlivých zakázek podle zákazníkem požadovaných rozměrů a úrovně kvality a pomocí automatizovaných snímacích zařízení naloženy na stojany, popřípadě do dřevěných obalů. Poté jsou tabule skla připraveny k expedici.



<<Zpět

7.2 Výroba plochého skla systémem float



Obr. 150. Princip výroby plochého skla systémem Float (plavené sklo) (Pilkington, 1969)

<https://www.youtube.com/watch?v=OVokYKqWRZE&index=7&list=PLhueIyiH2kCT3y2JNQ2-JUjGFj278H2zk>

7.2. Výroba plochého skla systémem float

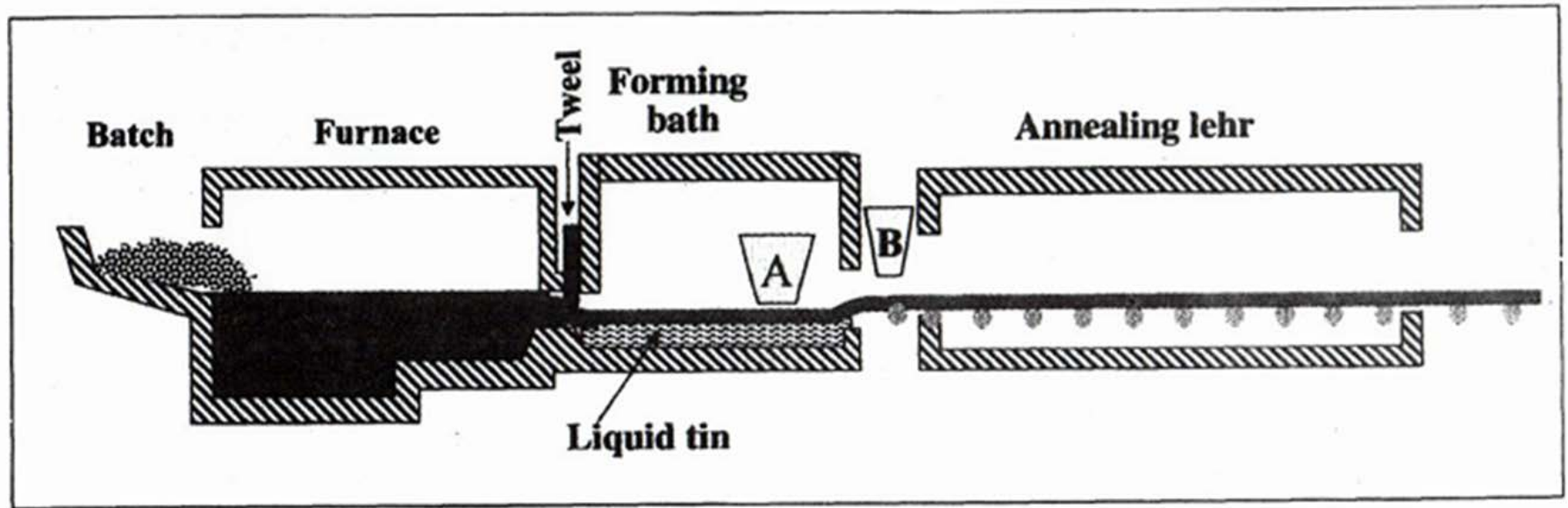
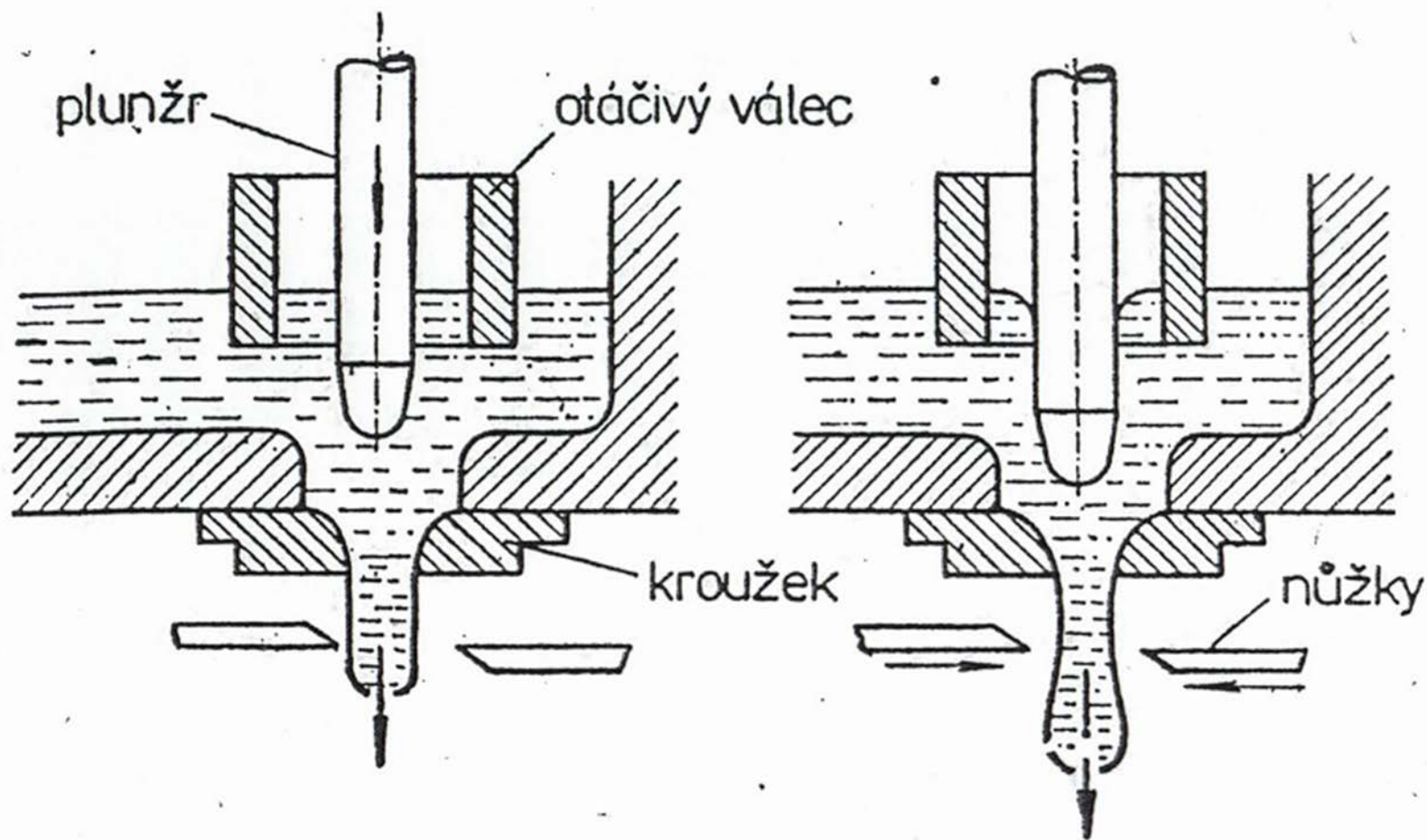


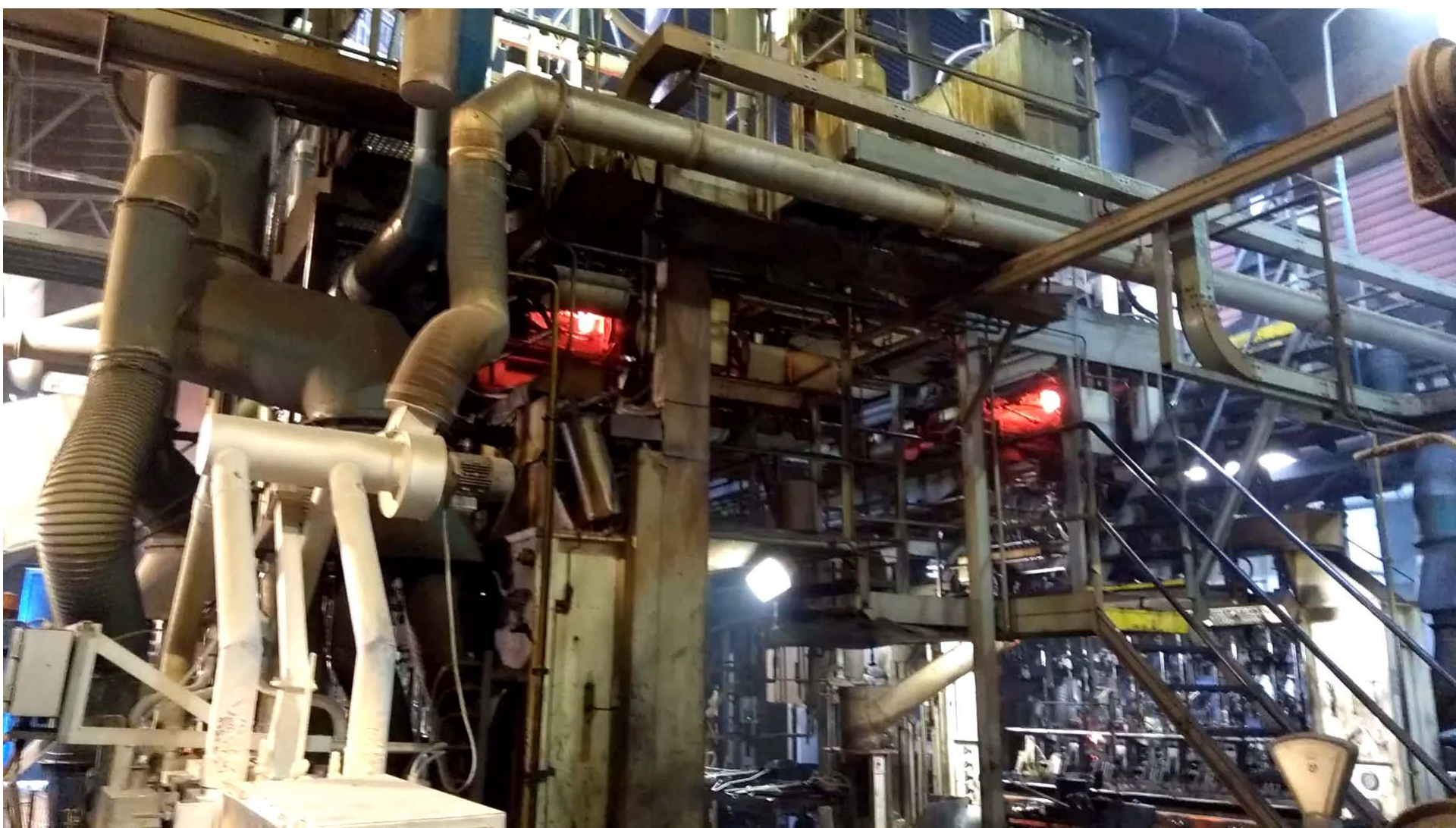
Fig. 2. Schematic diagram of a float-glass manufacturing system. Locations for (A) CVD and (B) spray pyrolysis coating are shown on this diagram.

7.3. Výroba obalového skla – dávkovač kapek



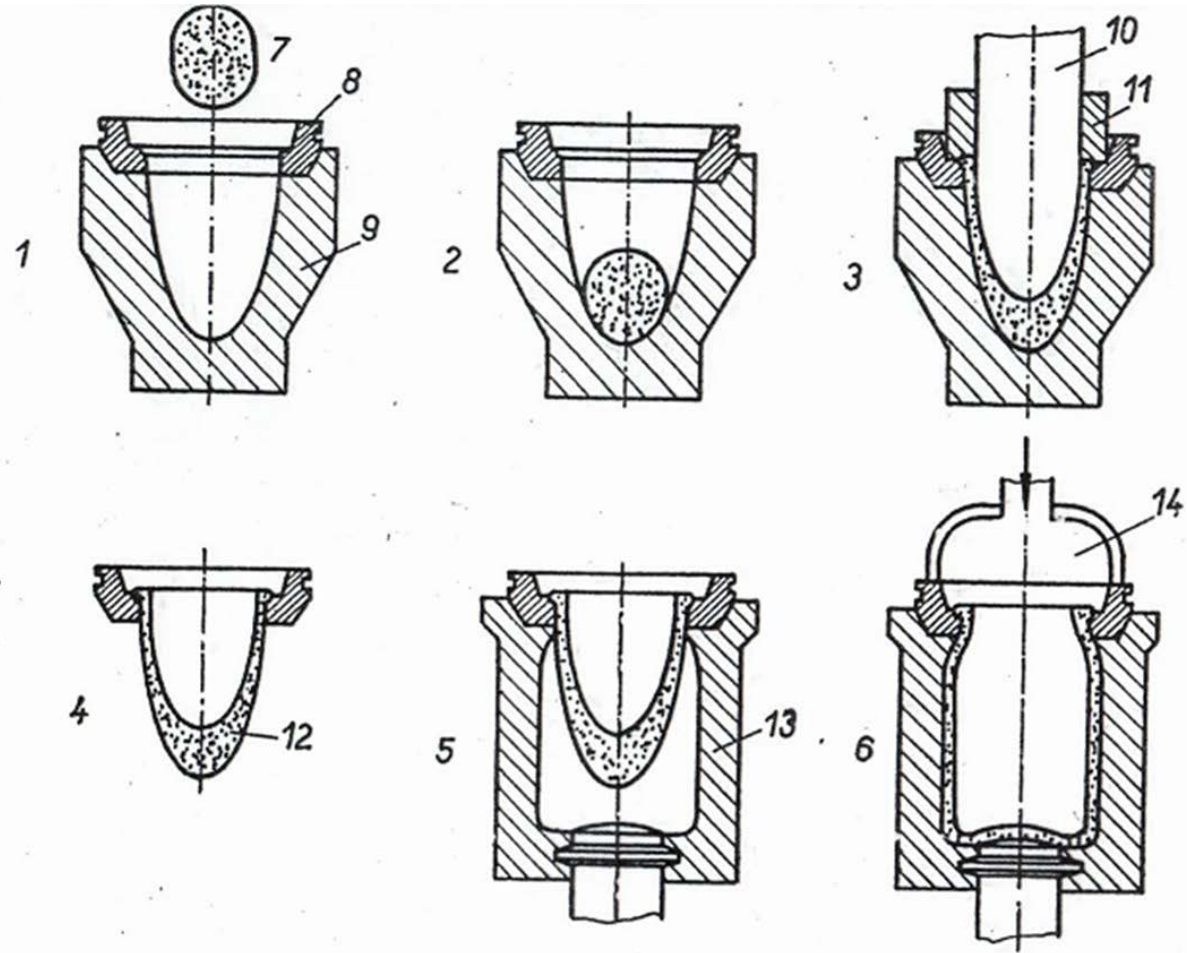
Obr. 147. Schéma kapkového dávkovače skloviny (feedru)

7.3. Výroba obalového skla – dávkovač kapek



7.3. Výroba obalového skla – lisofoukací způsob

- 1. krok: vylisování předtvaru
- 2. krok: vyfouknutí tvaru do formy



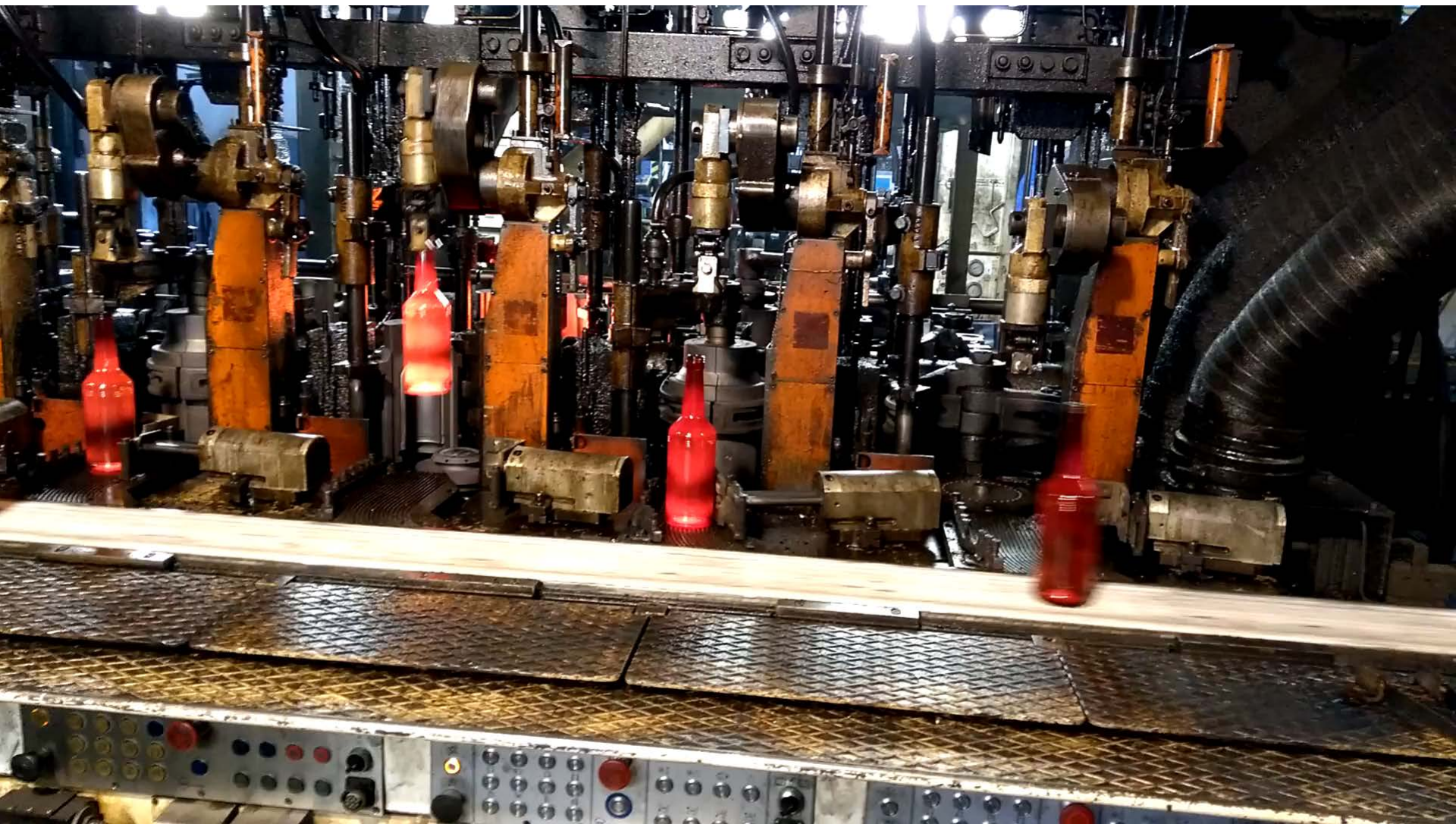
Obr. 146. Postup tvarování při lisofoukacím způsobu (Staněk, 1971):

1 a 2 — plnění přední formy, 3 — lisování, 4 — přenášení baňky, 5 a 6 — vyfukování konečného tvaru, 7 — dávka skloviny, 8 — ústní forma, 9 — přední forma, 10 — razník, 11 — lisovací kroužek, 12 — baňka, 13 — konečná forma, 14 — foukací hlava

7.3. Výroba obalového skla – lisofoukací způsob



7.3. Výroba obalového skla – lisofoukací způsob



7.3. Výroba obalového skla – foukací způsob

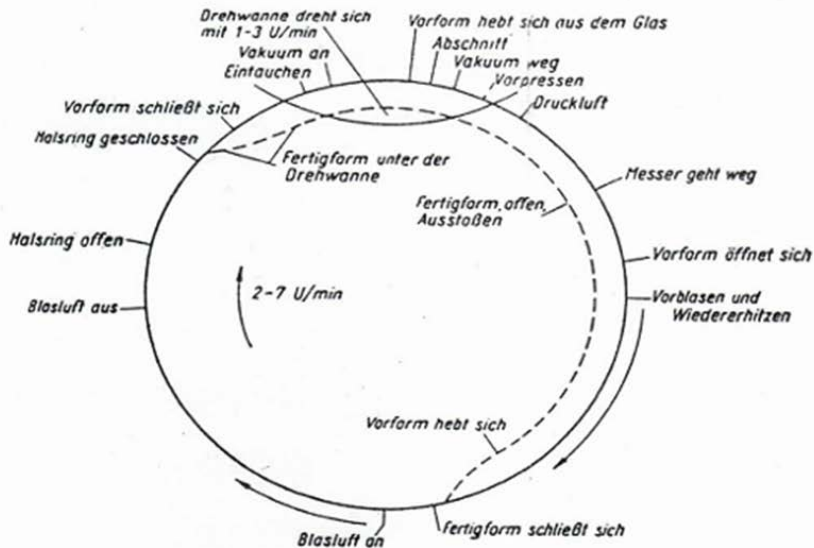
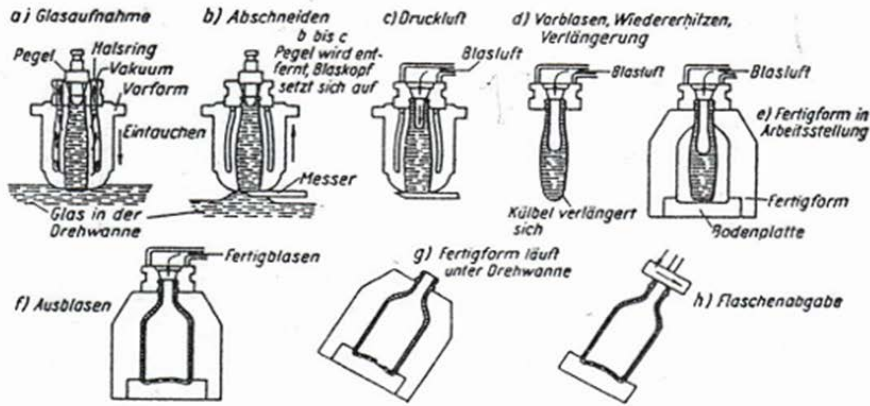


Abb. 12.19: Arbeitsweise der Owens - Saug - Blas - Maschine

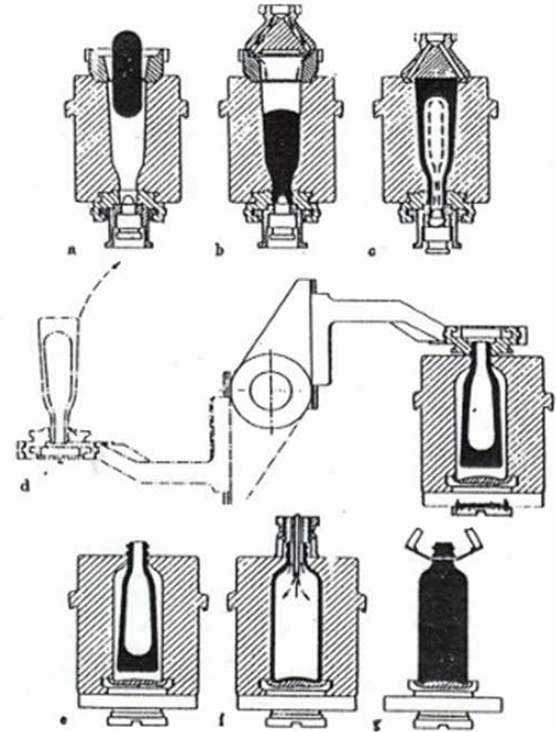


Abb. 12.28: Funktionsschema für die Kübel- und Flaschenformung bei der Hartford-IS-Maschine, Blas-Blas-Verfahren

- a Tropfenzuführung
- b Festblasen
- c Vorblasen
- d Übergabe von der Vor- zur Fertigform
- e Wiedererwärmung
- f Fertigblasen mit Innenkühlung
- g Entnahme

7.3. Výroba obalového skla – lisovací způsob

- Forma (1)
- Razník (2)
- Kroužek (3)
- Horší kvalita povrchu → leštění plamenem

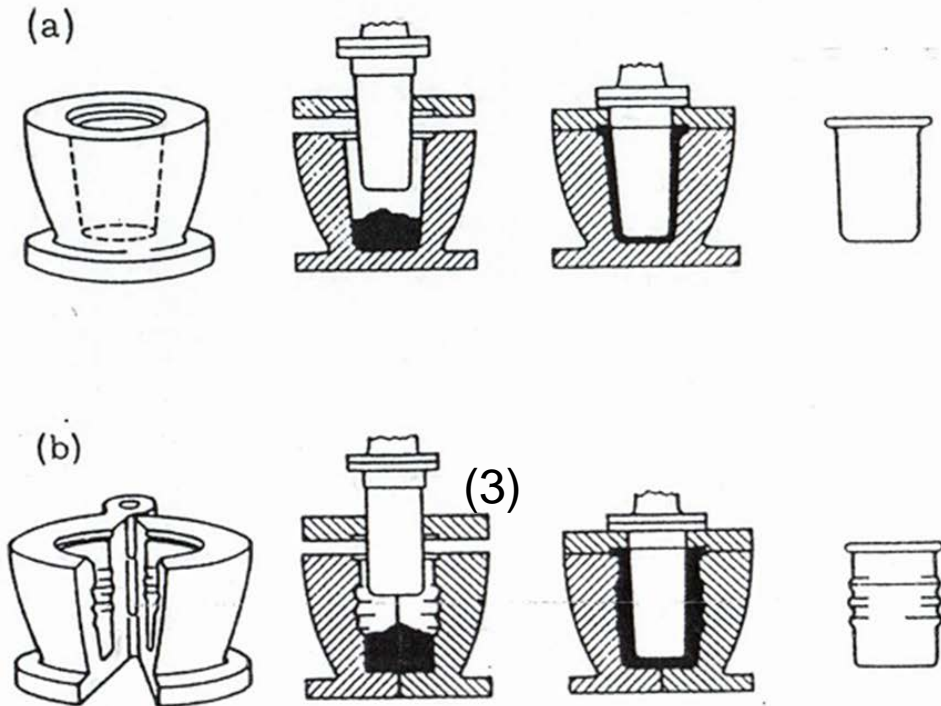
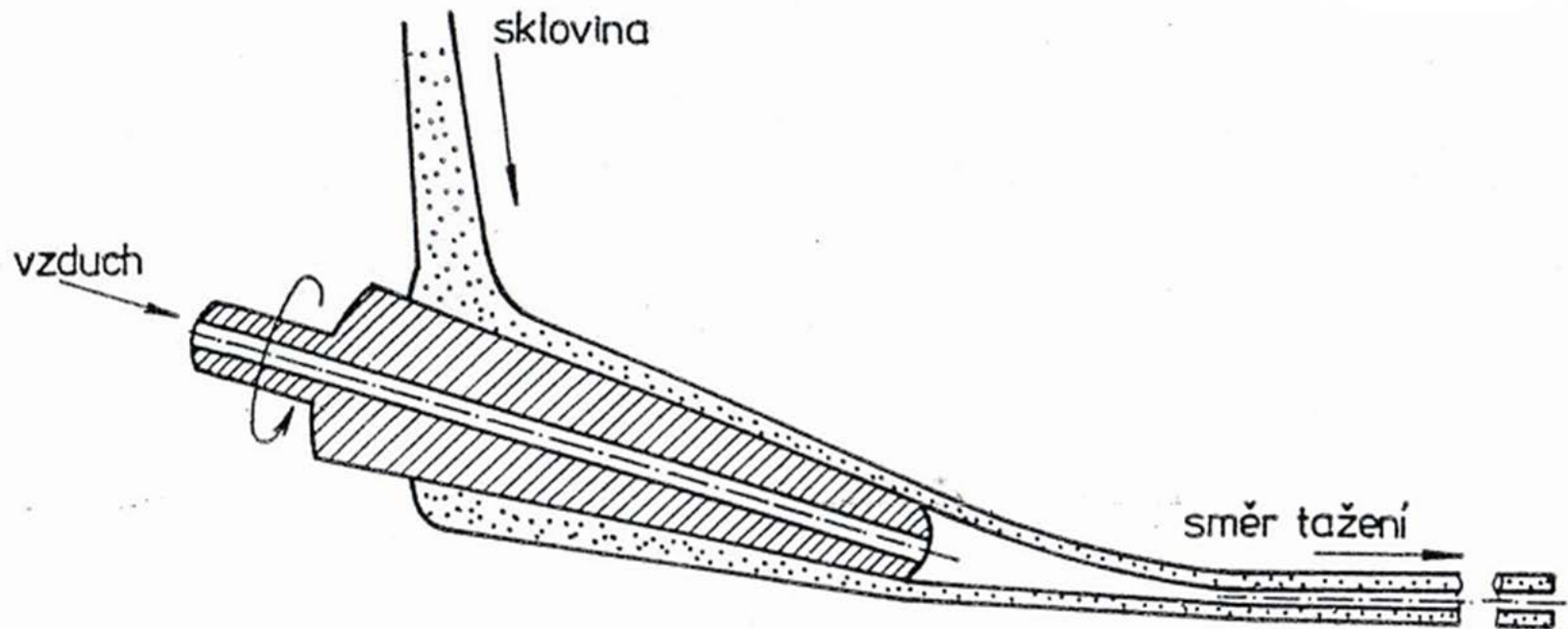


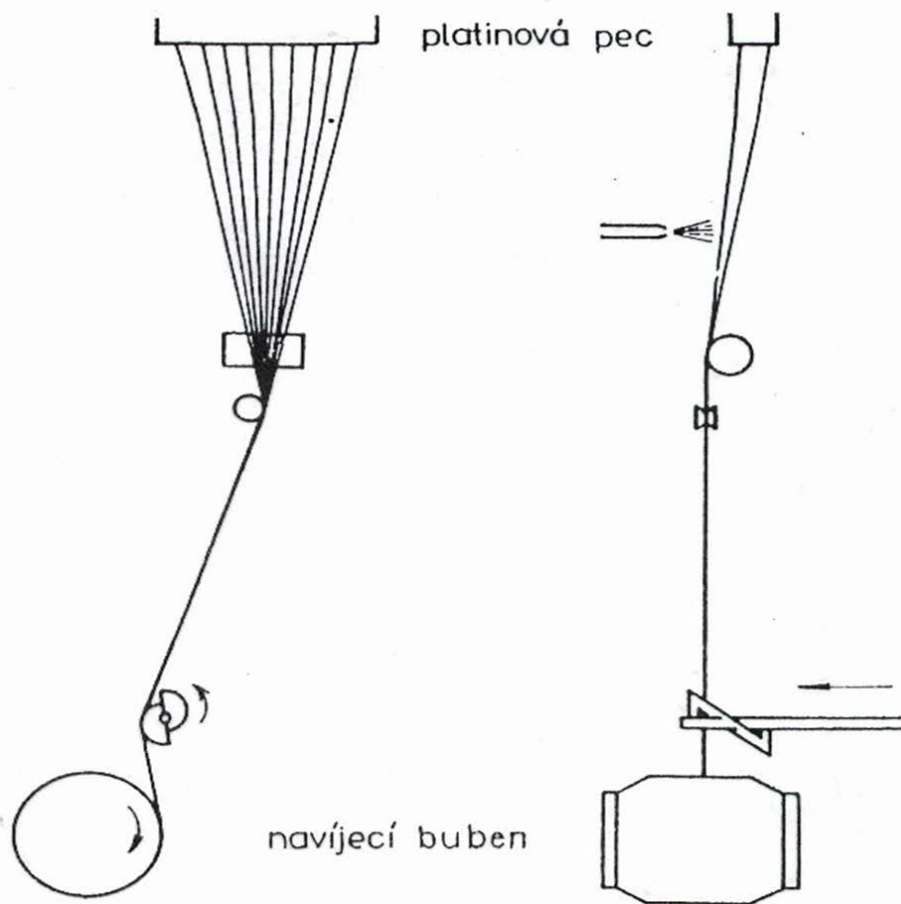
Abb. 12.36: Preßformen für die Herstellung von Preßglas
(a) einteilige Form (Blockform)
(b) zweiteilige Form

7.4. Výroba trubic



Obr. 151. Výroba trubic způsobem podle Dannera

7.5. Výroba skleněných vláken



Obr. 152. Schéma tažení nekonečných vláken (Loewenstein, 1973)

	E-Glas	AR-Glas	S-Glas
SiO ₂	54	61	65
B ₂ O ₃	10	-	-
Al ₂ O ₃	14	0.3	25
CaO	17.5	4.9	-
MgO	4.5	0.1	10
Na ₂ O		14.3	
K ₂ O		2.7	
TiO ₂		6.5	
ZrO ₂		10.2	

7.5. Výroba skleněných vláken

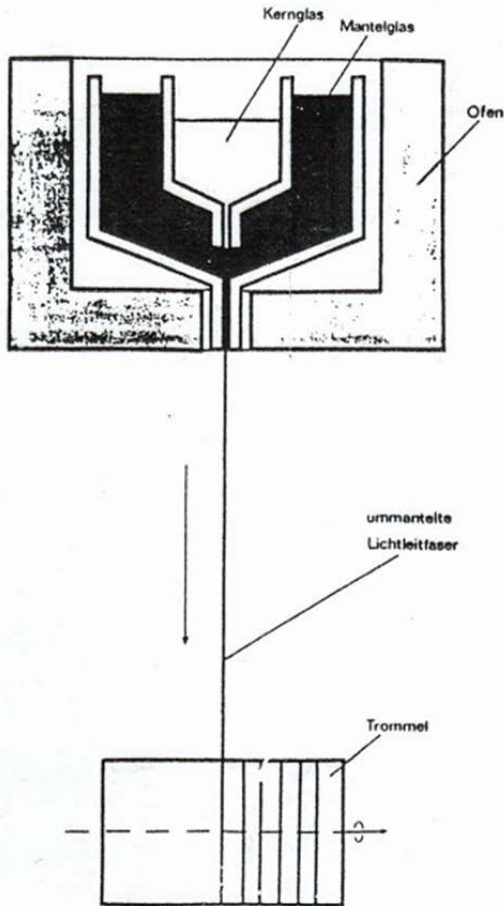


Abb. 12.44: Herstellung von endlosen ummantelten optischen Glasfasern nach dem Doppeltiegel-Verfahren

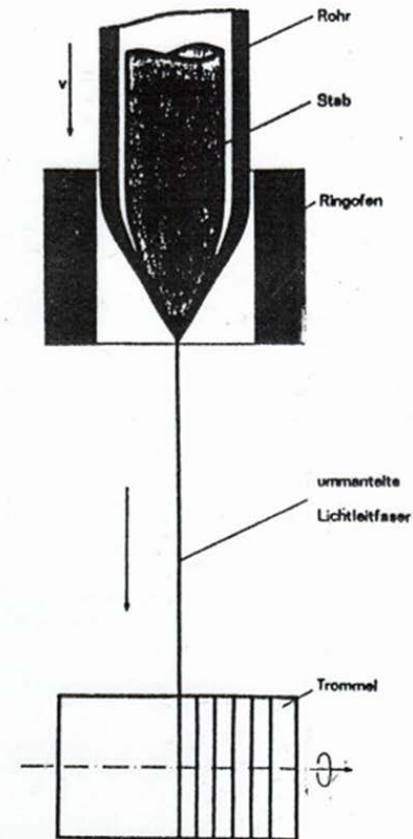


Abb. 12.45: Herstellung von endlosen optischen Glasfasern nach dem Stab/Rohr-Ziehverfahren

Izolační skla: na sklo nanесeny tenké, téměř neviditelné vrstvy oxidů kovů, které zvyšují jeho izolační vlastnosti před teplem a/nebo chladem.

Vrstvená skla: 2 či více skleněných tabulí, mezi něž je vložena 1 nebo více polyvinylbutyralových mezivrstev (PVB fólií), které jsou spojeny dohromady. Vrstvená skla jsou skla bezpečnostní.

Tvrzená (kalená) skla: zahřátí do bodu měknutí (650°C) a následné velmi rychlé zchlazení. Tvrzená skla, pětkrát odolnější než skla obyčejná, jsou také skla bezpečnostní.

Dvojskla: 2 tabule skla jsou po obvodu spojeny kovovou mřížkou a prostor mezi nimi je vyplněn suchým vzduchem nebo plynem. Tvoří tak hermeticky uzavřený celek sloužící k tepelné nebo zvukové izolaci.

Zrcadla: na jednu stranu skla nanесena slabá vrstva stříbra chráněná lakem.

Protipožární skla: tabule skla jsou spojeny 1 nebo více protipožárními vrstvami, které se v případě požáru zpění a vytvoří ochrannou vrstvu.

4.4. Chlazení skla

- nestejněměrné ochlazování (povrch vs. střed) \Rightarrow velké napětí a hrozí praskání,

Nutno řízeně chladit (běžně tunelové pece):

1. Vyhřátí na T_h (pokud došlo k ochlazení na teplotu nižší).
2. Udržování skla na T_h pro odstranění trvalého napětí.
3. Pomalé chlazení (ne vznik trvalého napětí).
4. Rychlejší ochlazování na okolní teplotu.

