

SKLO

1. Charakteristika skla

- podchlazený roztok kovových oxidů v SiO_2
- beztvářá látka vzniklá ochlazením taveniny z SiO_2
- velká viskozita skloviny brání pohybu molekul, a tím i krystalizaci Si sloučenin při chladnutí
- **vnitřní struktura** - neuspořádaná, ale vlastnosti typické pro pevné látky
- sklovina může plynule přecházet z kapalné do tuhé fáze a zpět (možnost recyklace)

2. Suroviny na výrobu skla

Základní suroviny - vytváří tzv. sklářský kmen (směs základních surovin pro výrobu skla)

a) SKLOTVORNÉ :

SiO_2 - sklovitá složka (obsahuje sklotvorný Si)

- **sklářský písek** - čistý, bez kovových příměsí (Al, Fe), které by sklo zbarvovaly
- zrnitost dle normy (důležitá pro tavitost písku)
- pro optické sklo nesmí obsahovat více než 0,01 % oxidu železitého (barví sklo zeleně)

Oxid boritý - zlepšuje tepelnou a chemickou odolnost skel, přidává se jako kys. boritá nebo borax

b) TAVIVA A STABILIZÁTORY :

Mletý vápenec - **stabilizátor**, dodává sklu **tvrdost, chemickou odolnost !!** $\text{CaCO}_3 \rightarrow$ za vysoké teploty $\rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
Soda (Na_2CO_3) a **potas** (K_2CO_3) - **obě suroviny jsou taviva**, která **snižují T tavení surovin, ale zhoršují mechanickou a chemickou odolnost !!** $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2$ (unikající plyn čerí a míchá sklovinu)

c) NĚKOLIKASLOŽKOVÉ SUROVINY (obsahují Al_2O_3 , který zlepšuje vlastnosti levných skel)

Sklářské střepey - tvoří až 30 % až 70 % vsádky, do tavby pouze střepey stejného složení
- výrobní odpad, sběr (přísada střepey urychluje tavbu)

Horniny vyvřelé - znělec, čedič, žula

Pomocné suroviny - čistí, barví, zakalují nebo odbarvují sklovinu - tzn. upravují její vlastnosti

Čiřící suroviny – Na_2SO_4 , NaNO_3 , sloučeniny As - čističí suroviny

- vyvíjejí mnoho plynů, které sklovinu promíchávají, homogenizují (zbavují bublinek a neroztavených zrn)

Odbarvující suroviny - pro výrobu bezbarvého skla - fungují na principu doplňkových barev

- např. žlutá (Fe) + fialová (MnO_2) vznikne neutrální šed'
- zlepšují lesk, průzračnost (odstraňují vliv oxidů Fe na barvu skloviny)
- burel, sloučeniny Se, NiO (malé množství)

Barvicí suroviny - oxidy, siřníky a soli kovových prvků

- zbarvení závisí na prostředí v peci (redukční, oxidační), na druhu přísady, době tavby, složení skloviny
- | | | | |
|---|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Mn - fialově | Co - modře | Fe - zeleně, žlutohnědě | Cr - tmavozeleně |
| Se - růžově | Ag, Ti, Cd - žlutě | Ni - kouřová skla | Cu - modrozeleně , červeně |
| Au - vínově červeně, asiův purpur (rubínová) | | | |

Zakalovací suroviny - pro výrobu **neprůhledných skel (opakních)** nebo i transparentních skel

- kryolit, mastek, kazivec, SnO_2
- jemný prášek se rozptýlí ve sklovině, aniž by se roztavil !!

3. Výroba skla

- a) **tavení sklářského kmene** - dokonale promíchaná směs jemně mletých navážených surovin
- b) **teploty tavení** – 1300°C - měkké sklo, 1500°C - tvrdé sklo, 1700°C - křemenné sklo
- c) **pece - pánvové** na 150 - 2000 kg skloviny (přetržitý provoz), **vanové** až na 200 000 kg denně (nepřetržitý provoz)
- d) **děje probíhající při tavení** - únik plynů, rozklad uhličitanů na oxidy, vznik složitých křemičitanů
- e) **odsátí skloviny** (ochlazení na 1000°C) - zhroustnutí původně řídké skloviny
- f) **zpracování skloviny formováním**
- g) **chlazení formovaného skla**
- h) **zušlechťení skla zdobícími technikami**

4. Formování skloviny

DUTÉ VÝROBKY se formují :

- **ručně** - sklářskou píšťalou- kalíšky, technické a umělecké sklo , termosky, hutnické sklo

- **strojně** :

strojní foukání - automat vyfukuje sklovinu do formy pomocí stlačeného vzduchu nebo vakua (žárovky, lahve, sklenice, kalíšky ..), levnější náhrada ručního foukání

lisofoukání - kombinace formovacích technik , pro výrobu skla s tenčí stěnou

lisování - vtlačování skloviny do forem pod tlakem, nejlevnější , nejsilnější stěna

PLOCHÉ SKLO se formuje :

- **litím** - sklovina se lije na hladkou litinovou desku ohraničenou kov. lištami, po kterých jezdí uhlazovací válec, získají se průsvitné skl. desky, které je nutno dále brousit a leštit

- **válcováním - chlazený litinový stůl, po kterém přejíždí texturovaný** vyhřívaný litinový válec - touto technikou lze vyrábět sklo s plastickými vzory
Protlačováním skloviny mezi 2 válci společně s drátěným pletivem se vyrábí tabulové sklo s drátěnou vložkou.

- **plavením** - v komoře s dusíkovou atmosférou se lije sklovina na hladinu kovové lázně (Sn, Al, Pb)

Na roztaveném kovu je tabule z obou stran ideálně hladká !!!!! Neleští se !

Nejmodernější technika výroby plochého skla !

VLÁKNA se formují :

Vytlačováním řídké skloviny jemnými tryskami z platino-iridiové pícky nebo odstředováním skloviny do prostoru.

Lze získat vlákna o tloušťce až 0,001 mm. Rychle ochlazená vlákna se navíjí na cívky.

Použití - sklolamináty, izolace, bakteriální filtry, tkaniny, stříž, optická vlákna

5. Chlazení formovaného skla

Probíhá v temperovací peci nebo chladícím tunelu, kde se z počáteční T 400° - 600°C teplota postupně snižuje až na pokojovou T !

Pomalé chladnutí je nutné, aby se vyrovnalo vnitřní pnutí ve skle !

Nerovnoměrné vnitřní pnutí, vzniklé v důsledku rychlejšího chladnutí povrchu skla a pomalejšího chladnutí uvnitř stěny výrobku, může být příčinou destrukce výrobku !!!!!

6. Kalení skla

Užívá se pro zvýšení mechanické odolnosti (proti nárazu) !!

Princip - záměrně se vytváří rovnoměrné vnitřní pnutí v celém skleněném výrobku rychlým ochlazením v olejové lázni

- kalené sklo se při prudkém **nárazu rozpadá na tupohranné, drobné úlomky** - tzv. **nerozbitné sklo** (až 7 krát pevnější)

7. Výroba bezpečnostních skel

Vrstvením - na skleněné tabule se nanáší plastové fólie (polyvinylbutyral) nebo se opakovaně vrství sklo – plast (Thorax)

- počet vrstev ovlivňuje mechanickou odolnost skla (až neprůstřelné), při rozbití jen popraská , nerozpadne se

- za bezpečnostní skla lze označit i skla tvrzená (kalená)

8. Zušlechťování skla

A) MECHANICKÉ ZUŠLECHŤOVÁNÍ

Broušení - **celý povrch** - zrcadla, tabule, opt. sklo (brousí a leští se pastou)
- **malé plochy** - olovnaté křišťálové sklo, dno, okraje
- **kaménkový výbrus** = brus **tvorený z jednotlivých do hloubky vybroušených plošek (faset)**
- brusnými kotouči v kapalném prostředí (na kotouč stéká směs rozpptýlený ve vodě)
- **leštění brusu** - směsí HF + H₂SO₄

Rytí - mělké, jemné vzory se získávají **plošným odebráním skloviny = GRAVÍROVÁNÍ**
- ryje se diamantovým práškem nebo smirkem, který se nanáší společně s olejem na Cu kotoučky
- rytím se zdobí **draselné sklo** (tzv. český křišťál - např. firmy Moser)

Pískování - zdrsnění povrchu skla **prudce vrhaným proudem písku - sklo má matný vzhled !!**
(osvětlovací sklo, cejchování nápojového skla)

B) HUTNICKÝMI TECHNIKAMI (VÝROBA TZV. HUTNICKÉHO SKLA = SKLA ZDOBENÉHO U PECE)

Přejímání - vnější strana výrobku je tvořena barevným sklem naneseným na vrstvě čirého skla
- typický výrobek - **český přejímaný broušený křišťál !! (nápojové a dekorativní sklo)**

Podjímané sklo - vnitřní strana je tvořena barevným sklem, vnější vrstva je čirá
- typický výrobek - **šenovské podjímané rvté a malované sklo (svítidla, vázy, dózy ..)**

Nitkování - na horký povrch se navíjí **tenká nitka barevného skla, plastický dekor !**

Sítování - na nabrané sklovině se vytvoří síť ze skleněných vláken, která se převrství další vrstvou skloviny a vyfoukne se.
Vlákna vytvoří **uvnitř skloviny vzor. Povrch výrobku je hladký !**

Mramorování - obalení horké skloviny nabrané na sklářské píšťale v rozemletém barevném skle a opětovné natavení skloviny.
Při vyfukování vzniká efektní žíhaný dekor.

Ledování - obdoba mramorování, ale na obalení se užívá pouze **bílé rozemleté sklo (efekt ledových květů)**

Trhlinkování - krakelování - ponoření horké vyfouknuté baňky do mokřých pilin, povrch ihned popraská a následným otavením v peci se získá **trhlinkový pavučinkový dekor !**

C) CHEMICKÉ ZUŠLECHŤOVÁNÍ

Leptáním - HF- vzor se vyryje do vosku naneseného na povrchu předmětu nebo se místa, která nemají být leptána, zakryjí lakem. Pak se výrobek ponoří do HF ! Sklo získává matný vzhled !! Vzor se vytváří ručně, šablonou, pantografem

D) KOMBINOVANÉ TECHNIKY

Lazurování - zabarvení skla **difuzí kovových iontů do povrchu skloviny zatepla** (tenká barevná vrstva)
- zabarvení je **transparentní**
- lazurované výrobky se zdobí **rytím** (např. Egermann)
- **užívají se soli Cu - tenká červená vrstvička, Fe - tenká světle nebo tmavě žlutá vrstvička**
- výrobky se po nanesení lazury znovu zahřívají v peci při 450 °C (vypalovací T ovlivňuje sytost barvy lazury)

Irisování - na žhavý výrobek se před vstupem do chladicí pece nanese **kovová sůl ve formě par** (Ti, Bi, Sn, Cu, Sr), která způsobuje interferenci dopadajícího světla. **Vzniká duhový lesk !!**

Listr - na povrch vychladlého skla se nanáší **olejové roztoky solí těžkých kovů** (směs Co, Cr, Bi, Mn), které po vypálení vytvoří **tenký tuhý povlak s duhovým efektem !**

Sklářský email - tzv. MALOVANÉ SKLO - malované štětcem, stříkané přes šablonu. Vypálením při T = 500° – 800°C se barvy roztaví a dokonale se spojí s povrchem.

Složení - prášek z barevného lehce tavitelného skla a olej nebo terpentýn !!

Při použití husté pasty lze vytvářet plastické ozdoby (květy) na povrchu skla tzv. vysoký smalt !!!

Vyřadování Ag - zrcadla, ozdoby, termosky (Ag se vyloučí z AgNO₃ působením redukujících cukrů)

- Zlacení** - práškové Au + tavivo + pojivo, pojivo se v peci spálí a na skle zůstává pouze čistý kov !
Z pece vychází po vypálení **matné nebo lesklé zlato**, dodatečně lze zlato vyleštit achátem.
Mezi nejužívanější techniky patří pravý zlatý lept, kdy se získá plastický zlatý dekor pomocí HF a stafáž (ozdobné linky na okraji výrobku) !!

9. VADY SKLA

VÝROBNÍ VADY (VZNIKLÉ PŘI TAVENÍ, FORMOVÁNÍ A CHLAZENÍ) :

- bubliny** - nedokonalé čerení skloviny
kaménky - nedokonalé protavení kmene, z vyzdívků
šlírů (šmouhy) - nedokonalé zhomogenizování skloviny, šmouhy s nestejným lomem světla
šel - nerovnoměrné vnitřní pnutí (sklo snadno praská), vzniká špatným chlazením
vady povrchu - nedolisování, ostré švy, rýhy
tvárové deformace - zejména u nápojového skla

VADY VZNIKLÉ PŘI ZUŠLECHŤOVÁNÍ

zasekaný brus, probroušená stěna, vady dekoru, nedoleptání, poleptání málo chráněných ploch, oděr Au dekoru .

VADY VZNIKAJÍCÍ VE SFÉŘE OBĚHU:

- slepnutí** - vlivem vysoké vlhkosti a agresivních solí povrch skla zmatovat
mechanické poškození (praskliny) - lze odhalit zkouškou poklepem na prodejně)

10. HODNOCENÍ SKLA

Posuzování vzhledu:

odhalení zjevných vad - šlírů, kamének, bublin, nestejnětloušťky stěn, odhalení tvarových odchylek, porovnání rozměrů se standardem, vizuální kontrola dekoru

Posuzování vnitřního pnutí: pomocí polarizačního přístroje (místa s vnitřním pnutím tvoří v polarizovaném světle barevnou duhu)

Posuzování tepelné odolnosti: vzorek se vystaví změně teploty, sleduje se porušení (10°C – 100°C – 10°C)

Posuzování mechanické odolnosti: pomocí kyvadlového ocelového kladívka. Sleduje se vzdálenost kladívka od předmětu v okamžiku první destrukce.

Zkoušení skleněných výrobků na prodejně – poklepem (subjektivní zkouška odhalí praskliny !!)

11. DRUHY SKLA DLE POUŽITÍ

a) OZDOBNÉ SKLO

Dekoratивní - figurky, vázy, květiny, plastiky, dózy, bižuterie, knoflíky, vánoční ozdoby

KRYSTALÉRIE = přechod mezi užitkovým a ozdobným sklem !! (popelníky, vázy, dózy ..)

Figurky a bižuterie - z tyčinek a trubiček, které se tvarují nad kahanem

Perly - foukáním z trubiček do forem

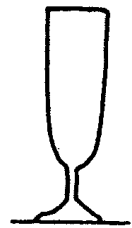
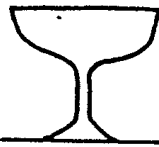
Knoflíky, korále - lisování z barevných tyčinek

b) TECHNICKÉ SKLO - laboratorní, stavební, optické, průmyslové ...

c) UŽITKOVÉ SKLO - **varné skleněné nádobí, nápojové sklo, obalové sklo** (lahve, sklenice, flakóny ...)
- **osvětlovací sklo** - Duplex opál, Triplex opál (mléčné 2 až 3 vrstvy s křišťálovou vrstvou)
(má propouštět a rozptylovat světelné paprsky, malá rozpínavost při změně T)

Základní tvary nápojového skla : kalíšek (s nožkou), odlivka (bez nožky) !!!

Podle druhu nápoje volíme tvar skla, objem a barvu !!



2-2,5 dl



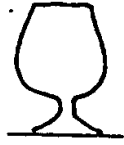
1-1,5 dl



2 dl



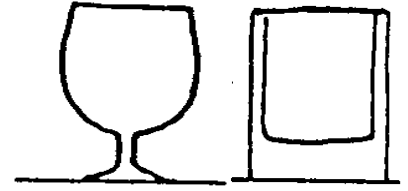
2 dl →



2 dl



2 dl



Ořech



○

○

○

○

○

○

12. DRUHY SKLA DLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ

sodno - vápenaté sklo - $\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O}$ - **tzv. francouzské sklo** - obalové sklo, tabulové sklo, stavební sklo
- měkké, tažné, tvárné - vhodné pro tenkostěnné výrobky

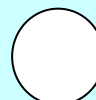
draselno - vápenaté sklo - tzv. **český čistý křišťál** - **dražší nápojové sklo, vhodné pro rytí, lesklé, tvrdé**, dobře se barví

sodno - draselno - vápenaté - $\text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO}$ - **levné nápojové sklo**

draselno - olovnaté sklo - olovnatý křišťál - $\text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{PbO}$ - **měkké, vysoký index lomu, odraz světla, těžké**
Obsahuje **přídavek suříku** ! Je vhodné pro broušení - opt. hranoly, čočky, užitkové a ozdobné sklo .

Dle vyhlášky EU a nařízení vlády ČR se křišťálová skla dělí do 3 skupin a označují se nálepkami :

Zlatá **Vysoce olovnaté křišťálové sklo** obsahuje více než 30 % PbO
Olovnaté křišťálové sklo obsahuje více než 24 % PbO



Stříbrná **Křišťálové sklo Krystalin** obsahuje více než 10 % PbO
(nebo směsných oxidů)



Stříbrná **Křišťálové sklo** obsahuje více než 10 % PbO
(nebo směsných oxidů)



boro - křemičitá skla - $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ - **chemicky a tepelně odolná** - **laboratorní, varné sklo** - **SIMAX , PYREX, PYROFLAM**

křemenné sklo - čistý tavený SiO_2 (T tání vyšší než 1700°C), **vysoká chemická a tepelná odolnost**

speciální skla - Mo, zinečnaté, barnaté

horninová skla - tavením krystal. hornin s alkáliemi (např. čedič, znělec), jsou **chemicky a mechanicky odolná**
- dlaždice, roury, laborat. výlevky, izolační vlákna

13. VLASTNOSTI SKLA

Závisí na chemickém složení skla, jeho čirosti a zušlechtní.

Vhodnou skladbou surovin se vytváří požadované vlastnosti technických skel.

1) Mechanické vlastnosti - Tvrdost

Posuzuje se **tvrdost vrypová, brusná, vtisková** (dle tvrdosti lze sklo rýt ocelí, diamantem, karborundem)

Pořadí skel dle tvrdosti : **nejměkčí – K-Pb.... Na skla, Na-K skla K skla – B-Si – křemenná skla – nejtvrđší**

Křehkost se snižuje **zakalováním (tvrzením)** – Arcopal, Durit, Arcaroc (tupohranné úlomky)
vrstvením (skleněné tabule se spojují plastovou fólií) ... THORAX

2) Optické vlastnosti

Propustnost pro UV záření – **snižuje přídavek Fe, Zr (tzv. UV stop skla** chrání zboží před vyblednutím)
(pohlcují všechny složky UV záření)

- zvyšuje přídavek B, Li, Be

- běžné Na sklo pohlcuje **zejména UV A záření a méně UV B**, Si sklo má 92 % propustnost pro UV B a UV C !

Propustnost pro IČ – **snižuje přídavek 2 % FeO** - **tzv. determální skla, jsou modrozelená !!**

Propustnost pro viditelné záření – běžné Na sklo propouští 91 - 92 % viditelné části spektra

Sníženou propustnost pro viditelné záření mají : **reflexní skla** (zrcadlová, irisovaná)
dynamická skla (s vrstvou tekutých krystalů)
elektrocitlivá skla (s vrstvou elektrolytu mezi 2 deskami)
barevná skla (filtry)

Nejlepší světelnou propustností, indexem lomu světla a odrazem světla se vyznačují skla optická !!
(korunové, flintové, ED, LD ..)

3) Chemická odolnost

Chemická odolnost se zvyšuje přidávkem B, Al, Mg, Ba !! Tzv. **slepnutí skla** je projevem narušení povrchové vrstvy.

Podle odolnosti vůči kyselinám a zásadám se sklo řadí do 3. tříd !!

Podle odolnosti vůči vodě a páře se sklo řadí do 5 hydrolytických tříd (dle výluhu při varu drti ve vodě) :

- 1.třída - chemicky odolná skla (ampule)
- 2.třída - rezistentní skla (potrubí)
- 3.třída - tvrdá přístrojová skla (okenní)
- 4.třída - měkká skla přístrojová (užitková)
- 5.třída - měkká skla (bílé lahvé)

4) Tepelná odolnost

Tepelná odolnost skla **se zvyšuje přidávkem B** ! Nejvyšší odolnost má **varné a laboratorní sklo**, nižší žárovkové sklo.

14. VÝROBCI SKLA v ČR

Olovnatý křišťál s obsahem PbO více než 24 % Crystalex, Rückl, Zahn, Rosssi

Zdobí se **broušením kaménkovým brusem, přejímáním, zlacením, vysokým smaltem !!**

Lazurované sklo **Egermann** (červené nebo žluté lazury zdobené rytím – typické motivy !!!)

Novoborské sklo – zlacené barevné sklo zdobené malbou a vysokým smaltem, vysoce dekorativní !!

Podjímané sklo **Šenovské sklo** (Kamenický Šenov), bílá vrchní vrstva zdobená rytím a malbou, barevně podjímané !!

Moser – draselné sklo zdobené rytím a pravým zlatým leptem !!



Otázky k tématu sklo

1. Charakteristika skla !
2. Proč sklovina během chladnutí nekrystalizuje ?
3. Jak se dělí skla dle teploty tavby !
4. Co je sklářský kmen ?
5. Proč je nutné sledovat obsah Fe ve sklářském písku ?
6. Jaký význam mají taviva a stabilizátory obsažené ve sklářském kmenu ?
7. Které pomocné suroviny jsou nezbytné při výrobě skla ? Jaký mají technologický význam ?
8. Základní fáze výroby skla !
9. Jakými způsoby se tvaruje duté sklo ? Který postup formování poskytuje nejmasivnější výrobky ?
10. Který způsob formování plochého skla je v současnosti považován za nejdokonalejší ? Proč ?
11. Jak se vyrábí skla s drátěnou vložkou a texturovaná skla ?
12. Jakými postupy se získávají skelná vlákna ?
13. Uveďte příklady praktického využití skleněných vláken !
14. Čím se liší gravírování a broušení skla ?
15. Co je kaménkový brus ?
16. Čím se leští broušené sklo ?
17. Jaký vzhled mají skleněné pískované výrobky ?
18. Kterou kyselinou se leptá sklo ?
19. Jaký vzhled má irisované a listrované sklo ?
20. Co je pravý zlatý lept ? Co je zlatá stafáž ?
21. Co je lazurování skla ? Jakou barvu má lazurované sklo Egermann ?
22. Co je vysoký smalt ?
23. Které techniky zušlechťování skla se označují jako hutnické ?
24. Jaký vzhled má krakelované sklo ?
25. Čím se liší podjímané a přejímané sklo ?
26. Které základní druhy skla rozlišujeme podle chemického složení skloviny ?
27. Jak se dělí a označuje křišťálové sklo dle vyhlášky EU ?
28. Jaké vlastnosti jsou typické pro olovnatý křišťál ?
29. Které faktory výrazně ovlivňují vlastnosti skla ?
30. Jakými postupy se upravují mechanické vlastnosti skla ?
31. Seřadte základní druhy skel dle tvrdosti !
32. Který prvek výrazně zlepšuje tepelné a chemické vlastnosti skla ?
33. Které druhy skel se vyznačují vysokou chemickou odolností ? Které nízkou ?
34. Do jakých tříd chemické odolnosti lze zařadit používané druhy skel ?
35. Která skla se vyznačují nejlepšími optickými vlastnostmi ?
36. Propouští běžné sodné sklo UV záření ?
37. Která chemická sloučenina snižuje propustnost pro UV, IČ záření ?
38. Jaké použití má reflexní sklo ?
39. Jak se vyrábí zrcadlové sklo a irisované sklo ?
40. Čím se liší dynamická a elektrocitlivá skla ?
41. Co je krystalérie ?
42. Jaká kritéria se uplatňují při výběru nápojového skla ?
43. Čím se liší kalíšek a odlivka (tumbler) ?
44. Jak se nazývají základní tvary kalíšků ?
45. Co je ořech ?
46. Který prvek je typický pro Římanku ? Pro Napoleónku ?
47. Které kalíšky jsou vhodné na sekt ?
48. Rozdělte vady sklářského zboží podle jejich vzniku !
49. Jak se zkouší skleněné zboží na prodejně ?
50. Které parametry skla se kontrolují při výstupní či laboratorní kontrole ?
51. Charakterizujte sklářské výrobky, které jsou typické pro ČR !
(výrobky nejznámější výrobců skla v ČR)
52. Uveďte prodávané značky – varného a tvrzeného skla !

