

Výroba brýlových čoček

LF MU Brno

Brýlová technologie

Struktura prezentace

- Rozdělení výrobních procesů
- 1. generace – soustružení, broušení, leštění
- Výroby výslisků – lisování, lití, vstřikování
- 2. generace – cut to polish
- 3. generace – HD FreeForm
- Čočky se specifickým typem výroby
- Výroba speciálních brýlových čoček – prizmatické, bifokální, lentikulární
- Kontrolní fáze výroby

Rozdělení výrobních procesů

- 1. generace – mechanické broušení, soustružení a leštění, plastové i minerální čočky
- 2. generace – HD (high definition) soustružení a leštění (cut to polish)
- 3. generace – FreeForm
- 4. generace – cut to coat – po soustružení se čočka rovnou lakuje – budoucnost !!!

1. generace

- Klasické obrábění
 - Soustružení
 - Broušení
 - Leštění
- Výroba speciálních čoček (např. vyšší torické čočky)

Výroba polotovarů (výlisků)

- Výroba minerálních polotovarů
- Výroba plastových polotovarů

Minerální polotovary

- Kapková metoda – sklovina se odkápne do předem připravené formy a přiklopí se horní vrstvou formy (hlavou)
- Druhy minerálních polotovarů:
 - Pro nízké sférické čočky
 - Pro torické čočky
 - Pro bifokální čočky vybrušované a zatavované
 - Pro lentikulární čočky

Základní parametry minerálních výlisků

- Vrcholová lámavost základní plochy
- Konstrukční průměr budoucí čočky

Materiály pro výrobu minerálních výlisků

| Materiál (druh skla) | Korunové sklo (B 270) | PhotoGray Extra | Sklo 1,6 | Sklo 1,7 | Sklo 1,8 | Sklo 1,9 |
|--|--------------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Index lomu | 1,525 | 1,523 | 1,604 | 1,706 | 1,800 | 1,893 |
| Abbeovo č. | 59 | 57 | 40 | 30 | 25 | 31 |
| Měrná hmotnost (g/cm³) | 2,54 | 2,41 | 2,62 | 2,93 | 3,37 | 4,02 |

Plastové polotovary

| Material (plast) | <i>CR-39</i> | <i>Trivex (PPG)</i> | <i>Essilor Ormex</i> | <i>Future-X (ILT)</i> | <i>Polycarb.</i> |
|-------------------------------------|--------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------|
| Index lomu | 1,50 | 1,53 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |
| Abbeovo č. | 58 | 44 | 37 | 43 | 30 |
| Měrná hmotnost (g/cm ³) | 1,32 | 1,11 | 1,23 | 1,16 | 1,20 |

| Material (plast) | <i>MR-8 1.6</i> | <i>MR-6 1.6</i> | <i>MR-10 1.67</i> | <i>Hoya EYRY</i> | <i>MR-174 1.74</i> |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Index lomu | 1,60 | 1,60 | 1,66 | 1,70 | 1,73 |
| Abbeovo č. | 41 | 36 | 32 | 36 | 33 |
| Měrná hmotnost (g/cm ³) | 1,30 | 1,34 | 1,35 | 1,41 | 1,47 |

Výrobní technologie plastových výlisků

- 3 způsoby výroby:
 - Lisování
 - Vstřikování
 - Odlévání

Lisování

- Výroba z deskových materiálů jako je např. polymethylmethakrylát
- Z desky se vyfrézují kolečka potřebného průměru
- Soustružením se dosáhne potřebných optických parametrů
- Opracované plochy se leští
- Následně se čočka zahřeje do těstovitého stavu (150°C) a vloží se mezi dvě formy a pod tlakem 20 MPa se získá přesný tvar čočky

Vstřikování

- Sériová výroba (sluneční afokální čočky)
- Acetátcelulóza, polymethylmethakrylát ve formě granulí
- Materiál se ve vstřikovacích lisech vstřikuje do ocelové formy

Odlévání

- Nejdokonalejší metoda
- Přesné namíchání monomeru a iniciátoru v prostředí nasyceném dusíkem a oxidem uhličitým, čímž se brání vzdušné vlhkosti
- Směs se lije do konvexní a konkávní formy
- Polymerizace probíhá dvěma způsoby:
 - S pomocí UV-záření
 - S regulovanou teplotou přibližně 20 hodin

Výrobní postup 1. generace

- Zvolí se materiál, požadovaný poloměr křivosti druhé plochy, okrajová, resp. středová tloušťka
- Opracování probíhá na CNC strojích

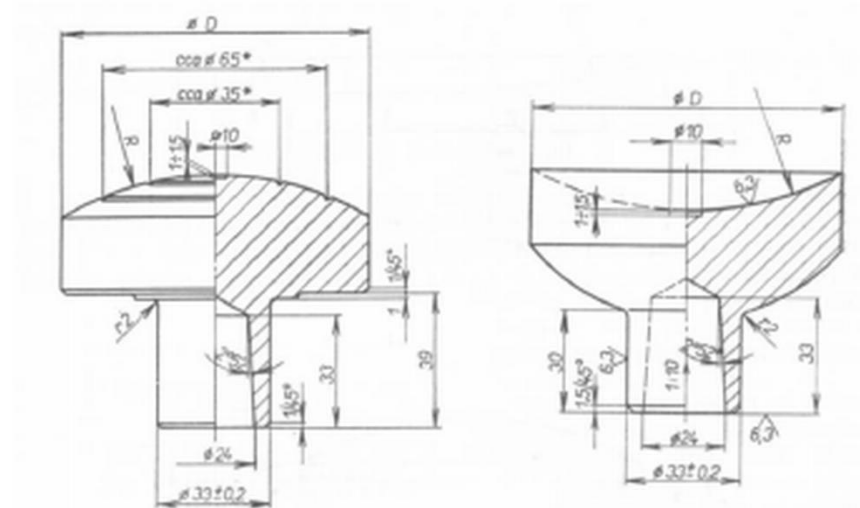


Fáze opracování

- Překrytí přední plochy polotovaru ochrannou fólií
- Natmelení speciální duralové tmelky pomocí kovu s nízkou tavitelnou teplotou
- Soustružení nebo frézování ve dvou hlavních směrech
- Broušení
- Leštění

Broušení

- Slouží k vyhlazení vysoustružené čočky
- Provádí se za pomoci nástroje zvaného šala
- Provádí se jemnou smirkovou fólií
- Broušení probíhá na speciálním brousícím stroji, který se chladí vodou
- Brousící cyklus obsahuje 2krát hrubé broušení a jemné broušení



Leštění

- Používají se speciální leštící fólie a prostředky (Al₂O₃ nebo oxidy ceria)
- Směsi se liší hustotou, abrazivní schopností a pH
- Ideální vlastnosti se projevují do 10°C, proto je nutné chladicí zařízení
- Proces je ovlivněn také tlakem čočky a leštící fólie

Kontrolní fáze

- Očištění pomocí stlačeného vzduchu
- Vizuální kontrola
- Oddělení tmelky a odstranění fólie
- Čočka je vyčištěna ve vodní lázni s přídavkem saponátu, nebo pomocí ultrazvuku
- Kontrola zakřivení čočky pomocí sférometru

Výrobní technologie 2. generace

- Cut to polish
- Přístroj na obrábění (soustruh) obsahuje řídicí jednotku, citlivý snímač, servo motor, vstup pro vkládání dat a digitální přepočet tvaru zakřivení obráběného tvaru
- Výsledné povrchové nerovnosti soustruhu jsou do 0,25 mikronů a odchylka od zakřivení do 0,3 mikronů

V čem je tedy rozdíl oproti 1. generaci?

- Soustružení je s přesností do 0,03 D
- Je možné tedy vynechat broušení povrchu (chybí šala)
- Rameno CNC stroje se pohybuje také v ose Z (předozaďní)
- Pracuje se tedy v 3D prostředí

3. generace

- Přesnější HD obrábění z 2. generace
- Specifický soubor dat, charakteristické pro každou čočku
- V současné době rozlišujeme 2 základní druhy těchto zařízení:
 - Přehledová – tři vztažné body, vytvoření pracovního modelu pomocí softwaru
 - Improvizovaná – programově nastavitelná hlava

Princip HD FreeForm

- Polotovar se otáčí
- Nástroj vybrušuje požadované parametry v 3D
- Nástroj je řízen řídicím programem
- Během obrábění je stav opracování průběžně vyhodnocován a upravován řídicím programem

Freeform technologie



Klasické obrábění vs. HD FreeFrom

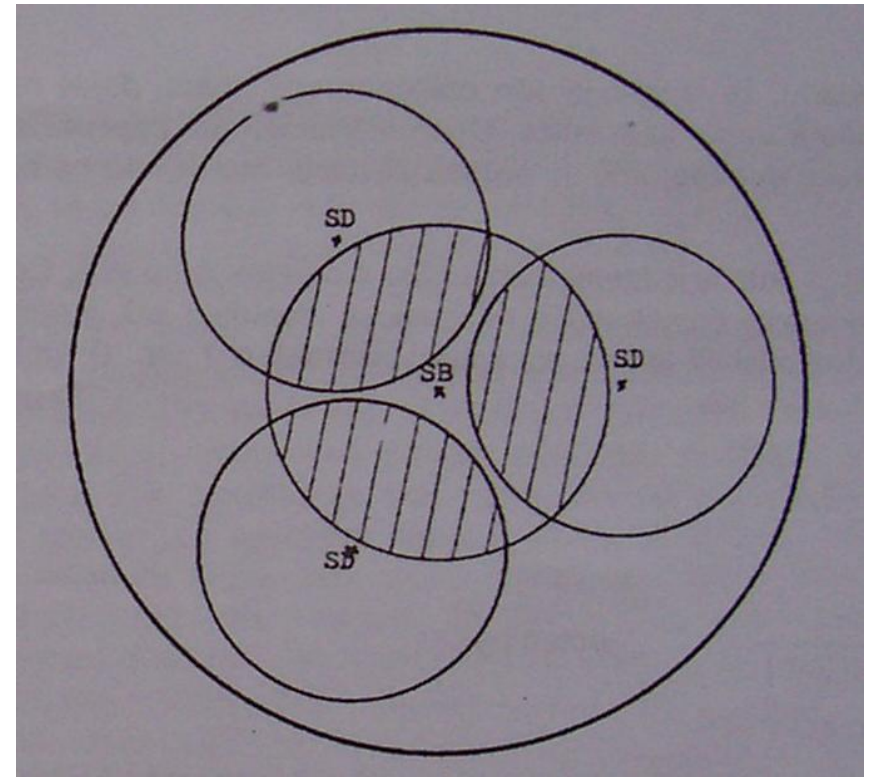
- Přesná tloušťka čočky
- Větší přesnost cylindrické hodnoty
- Nižší výrobní náklady – bez forem
- Vybroušení plochy až v optických laboratořích
- Nižší skladovací náklady – méně zásob
- Nižší pracovní náklady – bez broušení
- Větší výrobní rozsahy
- Automatizace výrobního procesu

Čočky se specifickou technologií výroby

- Bifokální brýlové čočky
 - Minerální
 - Vybrušované
 - Zatavované
 - Plastové
- Progresivní
- Cylindrické a torické čočky
- Vysokoindexové čočky

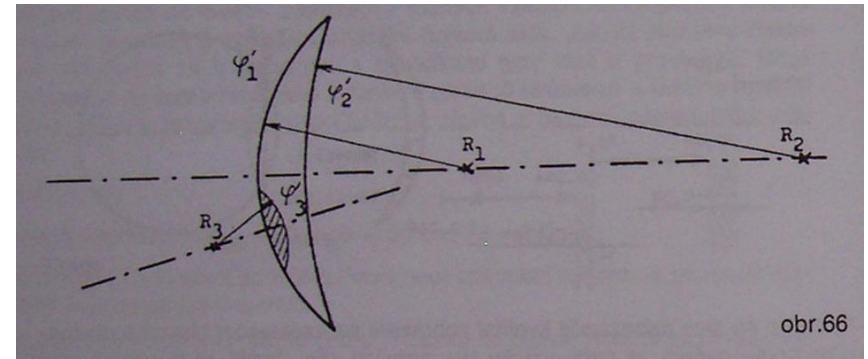
Vybrušované bifokální čočky

- Výbrus na zadní ploše čočky
- Nevýhodou je skok obrazu na předělu
- Prizmatické účinky na předělu by se měly rovnat



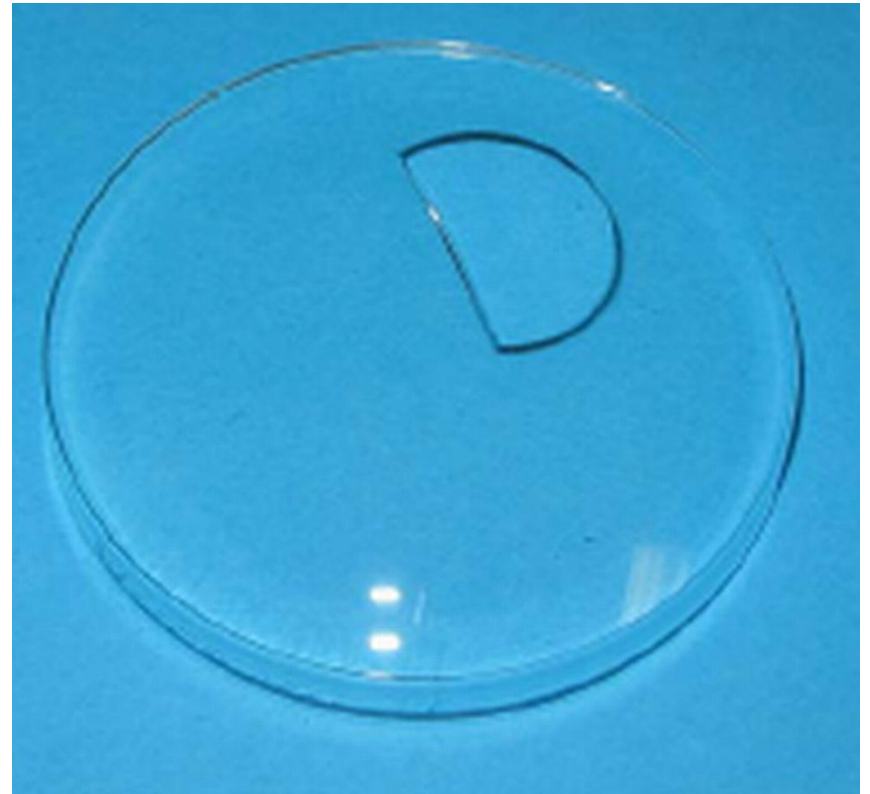
Bifokální sklo zatavované

- Do přední plochy skla se zatavil nový druh skla o vyšším indexu lomu
- PB je roven rozdílu optické mohutnosti vybroušeného základního skla a dílu přidaného



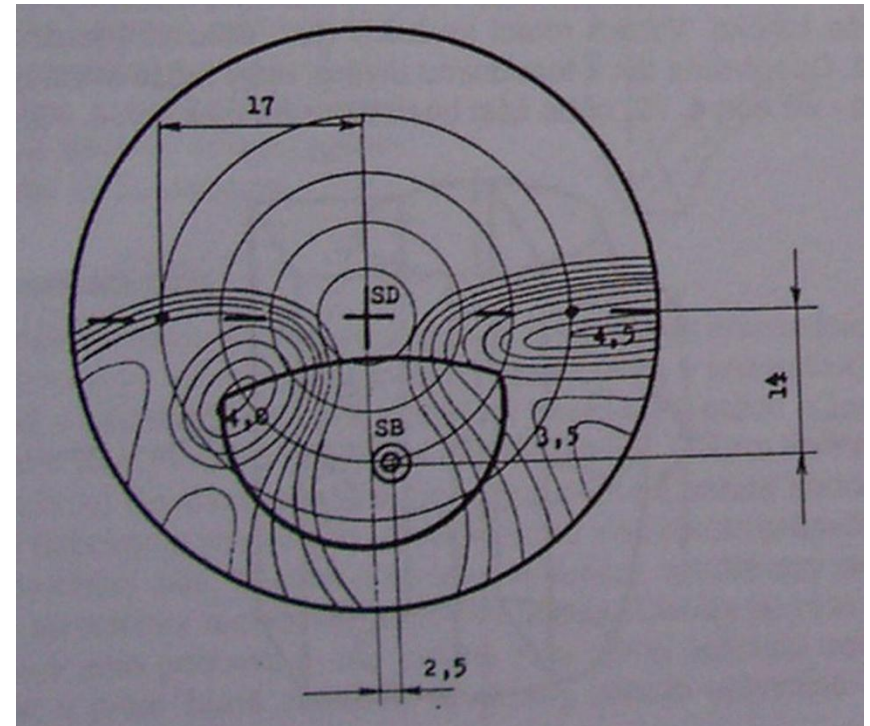
Plastové bifokální čočky

- Lití do formy
- Opracování zadní plochy
- Segment do blízka je vystouplý z povrchu čočky



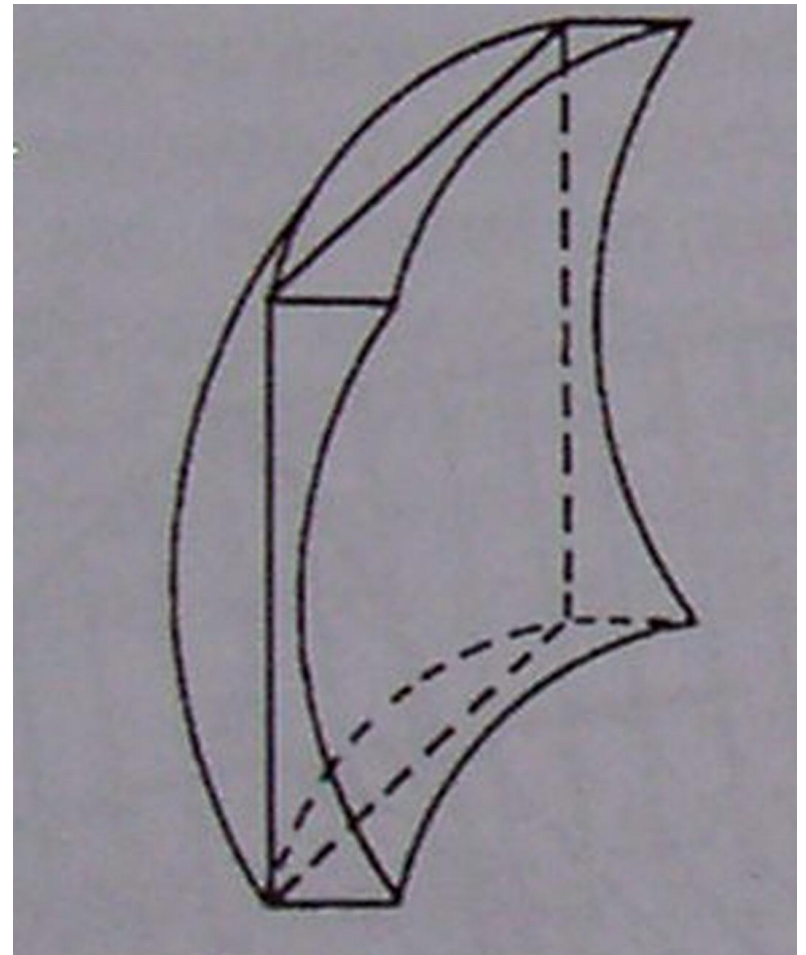
Progresivní čočky

- Lití do formy s progresivním profilem
- Progresivní úprava zadní plochy čočky metodou FreeForm



Cylindrické a torické čočky

- Plan-cylindrické
- Sféro-cylindrické
- Sféro-torické
 - nejmenší stupeň astigmatismu šikmých paprsků



Vysokoindexové čočky

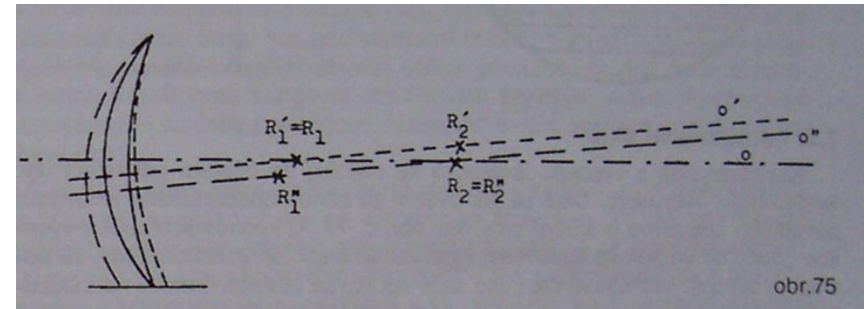
- S rostoucím indexem lomu materiálu stoupá jeho měrná hmotnost a disperze

Speciální brýlové čočky a jejich výroba

- Prizmatické čočky
- Lentikulární čočky
- Samozabarvovací čočky
- Polarizační čočky

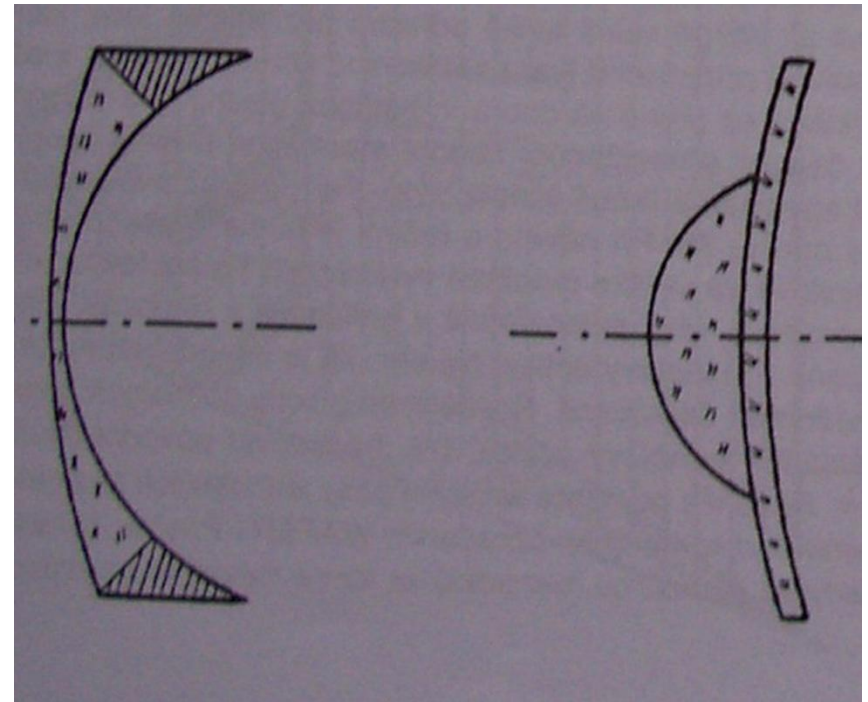
Prizmatické brýlové čočky

- Prizmatický efekt získáme vychýlením středu křivosti R_1 nebo R_2
- Nevýhodou je nárůst tloušťky, hmotnosti a disperze



Lentikulární čočky

- U konvexních čoček (např. afakie) se tmelí silná spojka na opticky neutrální nosné sklo
- U konkávních čoček se tvoří výbrus ze zadní strany čočky
- Použití u čoček nad +/- 8D



Samozabarvovací brýlové čočky

- Minerální – halogenidy stříbra jsou obsaženy v materiálu brýlové čočky
- Transition – aktivní molekuly jsou obsaženy v tenké vrstvě materiálu
- Aktivace molekul pomocí UV světla

Polarizační čočky

- Polariod – spojení CAB s PVA polarizační vrstvou
- Polarizační vrstvu je možné zalisovat i do minerálních čoček
- Spojení CR-39 s polarizačním materiálem
- V současné době se polarizační čočky ve formě výlisků vyrábí samostatně, pak následuje jejich opracování za účelem získání definitivní optické mohutnosti

Kontrolní fáze výroby

- Normy:
 - ČSN EN ISO 8980-1 a ČSN EN ISO 8980-2
 - Základní požadavky pro optické a geometrické vlastnosti brýlových čoček s neopracovaným okrajem
- Tolerance při měření fokometrem
- Geometrická tolerance
- Tolerance tloušťky
- Tolerance víceohniskových segmentů
- Kontrola materiálu a povrchové jakosti

Tolerance hodnot při měření fokometrem

| Lámavost v meridiánu s největší absolutní hodnotou | Tolerance lámavosti každého meridiánu | Tolerance cylindrické lámavosti | |
|--|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | | $\geq 0,00$ a $\leq 0,75$ | $\geq 0,75$ a $\leq 4,00$ |
| $\geq 0,00$ a $\leq 3,00$ | $\pm 0,12$; ($\pm 0,12$) | $\pm 0,09$; ($\pm 0,12$) | $\pm 0,12$; ($\pm 0,18$) |
| $> 3,00$ a $\leq 6,00$ | $\pm 0,12$; ($\pm 0,12$) | $\pm 0,12$; ($\pm 0,12$) | $\pm 0,12$; ($\pm 0,18$) |
| $> 6,00$ a $\leq 9,00$ | $\pm 0,12$; ($\pm 0,18$) | $\pm 0,12$; ($\pm 0,18$) | $\pm 0,18$; ($\pm 0,18$) |
| $> 9,00$ a $\leq 12,00$ | $\pm 0,18$; ($\pm 0,18$) | $\pm 0,12$; ($\pm 0,18$) | $\pm 0,18$; ($\pm 0,18$) |
| $> 12,00$ a $\leq 20,00$ | $\pm 0,25$; ($\pm 0,25$) | $\pm 0,18$; ($\pm 0,18$) | $\pm 0,25$; ($\pm 0,25$) |
| $> 20,00$ | $\pm 0,37$; ($\pm 0,37$) | $\pm 0,25$; ($\pm 0,25$) | $\pm 0,25$; ($\pm 0,25$) |

| Lámavost cyl. v dioptriích | $\geq 0,50$ | $> 0,5$ a $\leq 0,75$ | $> 0,75$ a $\leq 1,50$ | $> 1,50$ |
|---------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|----------|
| Tolerance směru osy ve stupních | ± 7 | ± 5 | ± 3 | ± 2 |

Geometrická tolerance

- Rozměry čoček mají tyto označení:
 - Rozměry d_n udávané výrobcem
 - Efektivní rozměry d_e , které jsou brány jako skutečné rozměry
 - Užité rozměry d_u , které se týkají využitelné plochy
- Pro kulaté čočky platí:
 $d_u \geq d_n - 2 \text{ mm}$

Tolerance tloušťky

- Efektivní tloušťka se měří ve vztažném bodě kolmo k přední ploše čočky
- Nesmí se lišit od hodnoty stanovené výrobcem o více než $\pm 0,3$ mm

Tolerance víceohniskových segmentů

- Rozměr segmentu se nesmí lišit od udané hodnoty o více než $\pm 0,5$ mm
- V případě páru nesmějí být vzájemné rozdíly větší než $\pm 0,7$ mm

Kontrola materiálové a povrchové jakosti

- V zóně o průměru 30 mm kolem referenčního bodu ani na ploše segmentu nesmí mít čočka žádný vnitřní povrchový kaz, který by rušil vidění
- To samé se také týká referenčního bodu do blízka
- Mimo tyto zóny jsou přípustné drobné izolované vady materiálu
- Při kontrole se čočka prohlíží proti ostrému rozhraní světla a tmy proti černému pozadí bez zvětšovacích pomůcek

Děkuji za pozornost

- Literatura:
 - Najman, L.: Dílenská praxe očního optika, Brno: IDVPZ, 2001
 - Rutrle, M.: Brýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí, Brno IDVPZ, 2001
 - Polášek, J.: Technický sborník oční optiky, Praha: SNTL, 1975