

4 OPTICKÉ VLÁKNA A KÁBLE

4.1 VÝROBA OPTICKÝCH VLÁKIEN

Na výrobu OV sa používajú vhodné technológie a materiály, ktoré umožňujú dosiahnuť požadovanú geometriu a profil indexu lomu.

Pre telekomunikačné účely sa používajú v súčasnosti výhradne OV na báze skiel. PCS a celoplastové OV sa používajú len na prenos na krátke vzdialenosti pri relatívne malej šírke pásma. Preto v ďalšom uvedieme stručný prehľad technológií výroby len pre sklenené OV.

Technológie výroby OV možno rozdeliť na dve základné operácie:

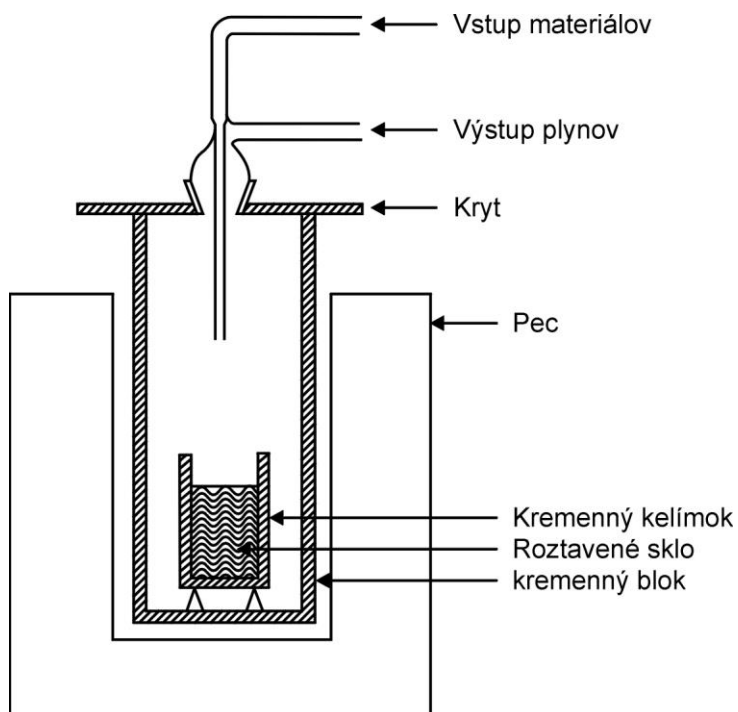
1. **Výroba čistého skla** a jeho úprava do formy tyčinky (**preformy**) vhodnej pre výrobu OV
2. **Ťahanie OV**, t.j. vytváranie konečného produktu, požadovaného OV.

Metódy prípravy čistých skiel (a teda aj preformy) možno rozdeliť zo všeobecného hľadiska do dvoch skupín:

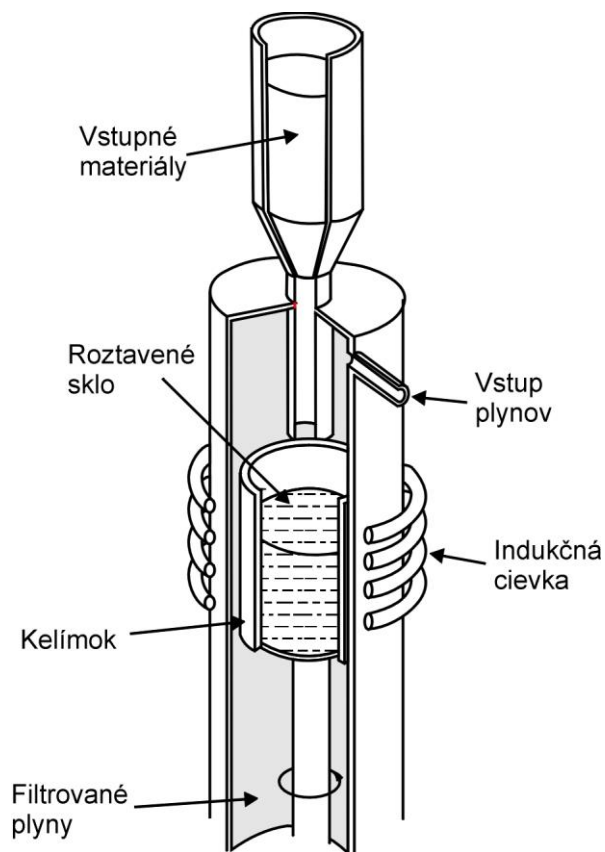
- a) **Konvenčné technológie** čistenia skiel (v ktorých sa sklo spracováva v roztavenej forme), pomocou ktorých sa vytvárajú mnohozložkové sklá,
- b) **Technológie využívajúce usadzovanie (depozíciu) z plynnej fázy**, pomocou ktorých sa vyrábajú na SiO_2 bohaté sklá s tak vysokou teplotou tavenia, že ich nie je možné spracovať konvenčnými technológiami tavenia.

4.1.1 VÝROBA PREFORMY TAVENÍM

V prvom stupni procesu sa pripraví vhodná zmes vysoko čistých práškových materiálov, ako sú SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 , Al_2O_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3 , CaCO_3 a BaCO_3 . Čistota musí byť lepšia ako 20 častíc z 10^9 (pre niektoré prímеси až 1 častica z 10^9). V ďalšom stupni sa tavením pri teplote 900 až 1300 °C vytvorí homogénne bezbublinové sklo vysokej čistoty. Homogénnosť skla sa zaručuje prebublávaním čistých plynov pri tavení (**obr. 4.1**) a tavením v indukčnej peci bez kontaminácie s okolitou atmosférou (**obr. 4.2**). Po spracovaní sa tavenina nechá stuhnúť do formy tyčinky mnohozložkového skla – preformy. Zmeny indexu lomu vyrábaného skla možno dosiahnuť zmenou jeho zloženia, resp. použitím technológie iónovej výmeny v tavenine.



Obr. 4.1
Taviaca pec na výrobu veľmi čistých skiel.



Obr. 4.2
Výroba veľmi čistých skiel použitím
mikrovlnovej indukčnej pece.

4.1.2 VÝROBA PREFORMY USADZOVANÍM Z PLYNNEJ FÁZY

Technológie s využitím usadzovania (depozície) z plynnej fázy umožňujú vyrábať na SiO_2 bohaté sklá s najvyššou priehľadnosťou (minimálnym tlmením) a s optimálnymi vlastnosťami. Tieto metódy sú založené na využití oxidácie prchavých halogenidov (SiCl_4 , GeCl_4 , SiF_4 , BCl_3 , BBr_3 , POCl_3) s kyslíkom v plynnej fáze. Čistota týchto východziech látok musí byť vysoká, koncentrácia kovových nečistôt (najmä prechodových kovov) musí byť menšia ako 1 častica z 10^9 častíc.

Zmeny indexu lomu vyrábaného skla možno dosiahnuť pomocou vhodných dopantov (TiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 , Al_2O_3 , B_2O_3 a F). Usadzovanie sa väčšinou realizuje na vhodnú podložku tvaru tyčinky alebo na vnútornú stranu trubice s vysoko čistého skla. Na prípravu preformy použitím usadzovania z plynnej fázy boli vyvinuté rôzne metódy, ktoré možno rozdeliť do dvoch skupín (**obr. 4.3**):

1. Hydrolýza v plameni:

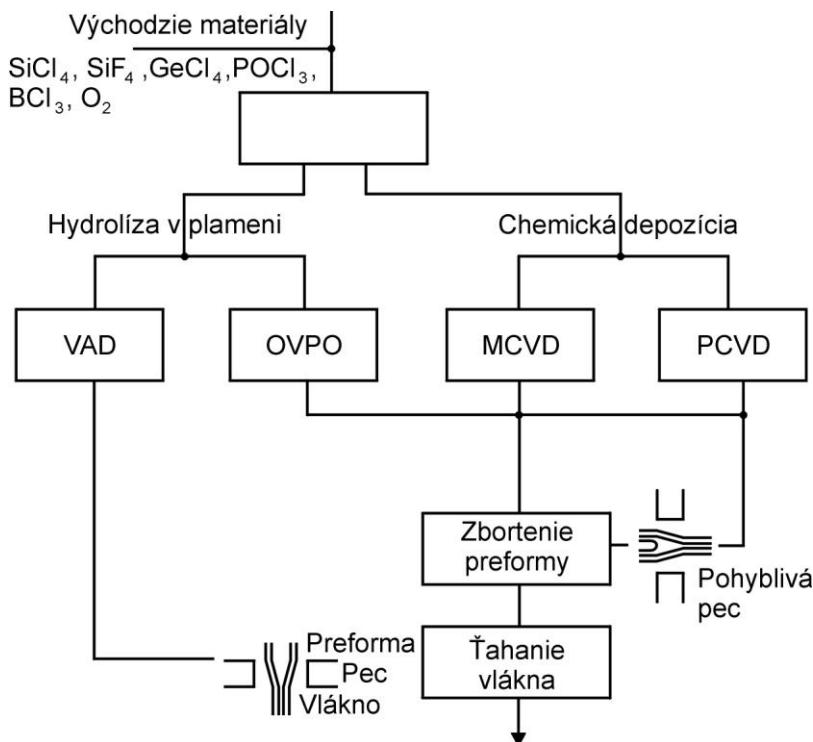
- a) **VAD** (Vapor Axial Deposition – axiálne usadzovanie z plynnej fázy),
- b) **OVPO** (Outside Vapor Phase Oxidation – vonkajšie usadzovanie z plynnej fázy)

2. Chemické usadzovanie z plynnej fázy

- a) **MCVD** (Modified Chemical Vapor Deposition – modifikované chemické usadzovanie z plynnej fázy), ktoré sa tiež nazýva:

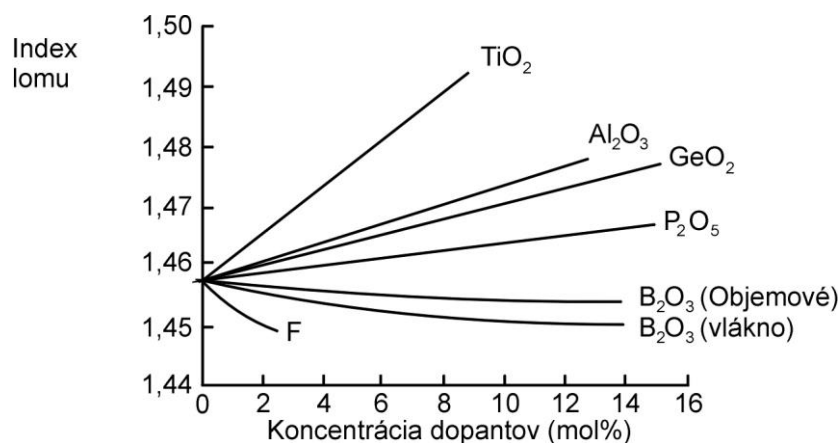
IVPO (Inside Vapor Phase Oxidation – vnútorné usadzovanie z plynnej fázy),

- b) **PCVD** (Plasma – Activated Chemical Vapor Deposition – plazmou aktivované chemické usadzovanie z plynnej fázy).



Obr. 4.3
Schematická ilustrácia rôznych metód výroby
Preformy usadzovaním z plynnej fázy.

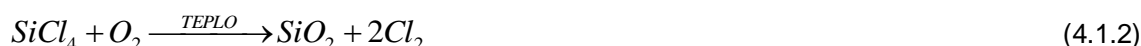
Pri chemickom usadzovaní sa na vhodnú podložku ukladajú vrstvy sklenených sadzí. Zmenou koncentrácie dopantov vo východnom materiále možno spojitou meniť index lomu takto vzniknutých vrstiev a teda vytvárať OV s požadovaným profilom indexu lomu (gradientným, stupňovitým). Vplyv koncentrácie rôznych dopantov na zmenu indexu lomu vyrábaného skla je na obr. 4.4.



Obr. 4.4

Zmena indexu lomu kremenného skla pri rôznej koncentrácii dopantov.

Metóda OVPO (obr. 4.5) využíva hydrolyzu halogenidových pár v kyslík-vodíkovom plameni. Kremeň (SiO₂) sa získava hydrolyzou SiCl₄ podľa týchto chemických reakcií.



Dopanty sú vnášané do OV vo forme pár GeCl₄, pričom v plameni prebiehajú tieto chemické reakcie



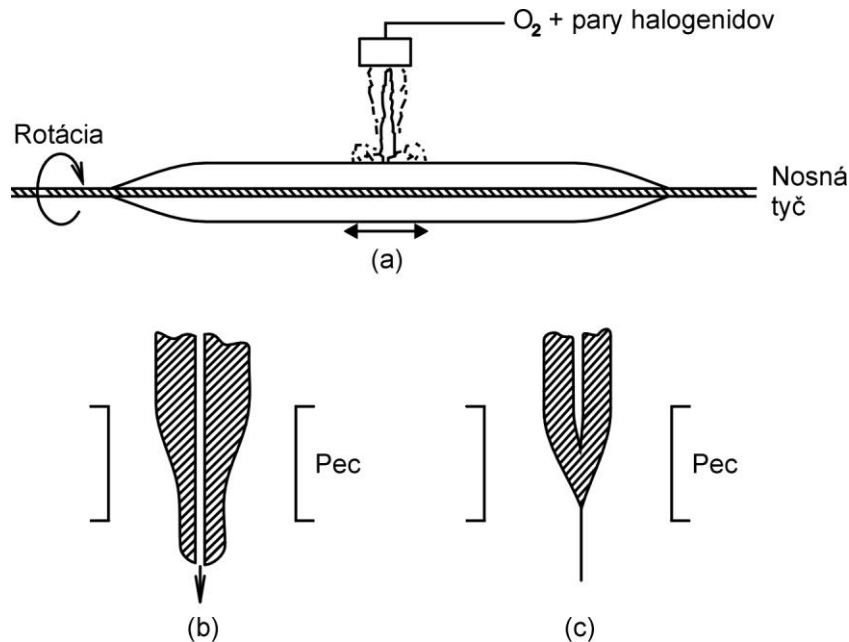
alebo



Získané sklo sa usadzuje vo forme tenkých vrstiev sklenených sadzí na studenú otáčajúcu sa tyčinku. Horák sa pohybuje dopredu a dozadu pozdĺž tyčinky až kým sa nenanesie potrebný počet vrstiev sklenených sadzí (v praxi okolo 200). Po skončení tohto procesu sa tyčinka odstráni a sadzová preforma sa slinuje. Z jednej preformy je možné vytiahnuť až niekoľko km OV (okolo 10 km). Metóda dovoľuje relatívne presné nastavenie profilu indexu lomu OV, čo umožňuje výrobu gradientných OV so súčynom B_{opt}·L okolo 3 GHz.km. Čistota vyrobenej preformy závisí od čistoty východných materiálov ale aj od koncentrácie voľných OH iónov vytvorených v procese výroby preformy. Typická koncentrácia OH iónov je medzi 50 až 200 ppm. Je možné ďalej znížiť koncentráciu voľných OH iónov sušením preformy v procese slinovania. Toto umožňuje dosiahnuť tlmenie OV okolo 1 dB.km⁻¹ pri λ=1,2 μm a 1,8 dB.km⁻¹ pri λ=1,55 μm. Nevýhodou metódy OVPO je potreba tyčinky pre výrobu preformy a neumožňuje kontinuálnu výrobu OV.

Metóda VAD (obr. 4.6) umožňuje kontinuálnu výrobu preformy a teda aj OV. Využíva usadzovanie sklenených sadzí na jeden koniec otáčajúcej sa poréznej preformy. Porézna preforma je ťahacou tyčou vyťahovaná do uhlíkovej pece, kde pri teplote 1500 °C nastáva slinovanie a dehydrovanie preformy zohrievaním v atmosfére SOCl₂ podľa reakcie





Obr. 4.5
Výroba OV metódou OVPO

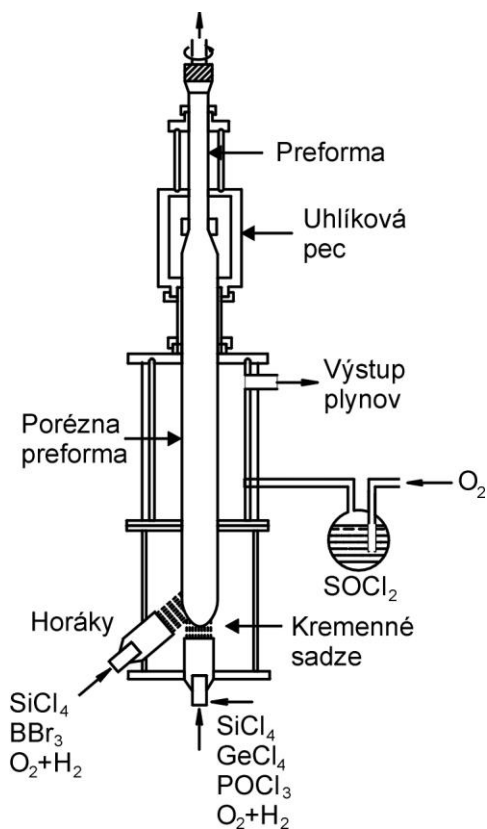
Požadovaný profil indexu lomu možno dosiahnuť nastavením vhodnej koncentrácie dopantov (GeCl_4) v kyslíko-vodíkovom plameni. OV vyrábané metódou VAD majú relatívne vyššiu koncentráciu voľných OH iónov. Dosahované tlmenia pri $\lambda=1,18 \mu\text{m}$ sú od 0,7 do $2,0 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}$.

Chemické usadzovanie je metóda často používaná na výrobu ochranných SiO_2 vrstiev v polovodičovom priemysle. Metóda MCVD je modifikáciou tejto metódy za účelom výroby OV. Metóda MCVD, tiež nazývaná metóda IVPO, využíva pre výrobu preformy proces usadzovania sklenených sadzí vo vnútri vhodnej otáčajúcej sa kremennej trubice (**obr. 4.7**). Sklenené sadze (časti skla) vytvárané v horúcej zóne pohyblivého horáku sa pohybujú v smere prúdenia plynov a usadzujú sa na studené steny trubice.

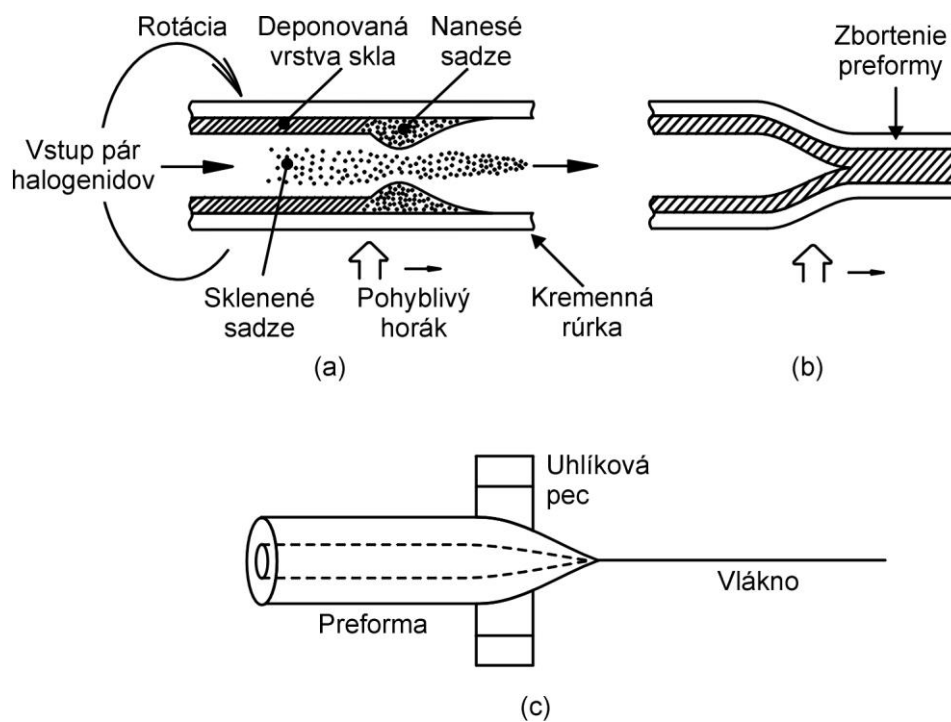
Teplota v reakčnom priestore je medzi $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ až $1600 \text{ }^\circ\text{C}$, t.j. prebieha väčšinou reakcia typu (4.1.2) až (4.1.4). Tieto reakcie redukovávajú koncentráciu voľných OH iónov, čo umožňuje výrobu OV s menším tlmením. Horúca zóna sa pohybuje tam aj späť pozdĺž reakčnej trubice, až sa vytvorí požadovaná vrstva skla. Zmeny indexu lomu možno nastaviť koncentráciou dopantov (GeCl_4 a POCl_3) v prúde reagentov. Po depozícii sa teplota horáku zvýši na $1700 \text{ }^\circ\text{C}$ až $1900 \text{ }^\circ\text{C}$ a vykoná sa kolaps (zošúverenie) dutej preformy na kompaktnú sklenú preformu. Z preformy sa pri teplote medzi $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ až $2200 \text{ }^\circ\text{C}$ ťahá OV. Metóda IVPO je výhodná, pretože umožňuje výrobu OV s najmenším tlmením. Minimálna hodnota tlmenia GeO_2 dopovaných OV je $0,2 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}$ pri $\lambda=1,55 \mu\text{m}$. Typické hodnoty tlmenia sú 2,8; 0,45 a $0,35 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}$ pri $\lambda=0,82$; 1,3 až $1,5 \mu\text{m}$. Metóda IVPO tiež umožňuje výrobu OV s najväčším súčinom $B_{\text{opt}}\cdot L$. Pre mnohovídné gradientné OV sa dosahuje súčin $B_{\text{opt}}\cdot L$ pri $\lambda=1,25 \mu\text{m}$ $4,3 \text{ GHz}\cdot\text{km}$ pri $\lambda=1,29 \mu\text{m}$ $4,7 \text{ GHz}\cdot\text{km}$. Teda hoci metóda IVPO neumožňuje kontinuálnu výrobu OV, je vhodná na hromadnú výrobu OV s veľmi dobrými prenosovými vlastnosťami.

Variantom metódy MCVD (IVPO) je metóda PCVD, ktorá využíva plazmu na dodanie energie pre oxidáciu halogenidov v plynnej fáze. Reakčná zóna (**obr. 4.8**) je aktivovaná pohyblivou mikrovlnovou pecou (frekvencia 2,45 GHz). Reakčná zóna s plazmou sa pohybuje tam aj späť pozdĺž usadzovacej trubice, čím sa usadzuje rovnomerná vrstva sadzí na stenách trubice. Usadzovanie je kruhovo symetrické, teda nie je potrebné otáčanie trubice a tiež usadzovanie je s vysokou účinnosťou (prakticky 100%). Usadzovanie môže vzniknúť už pri teplotách okolo $500 \text{ }^\circ\text{C}$. V praxi sa používajú teploty okolo $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ dosahované stacionárnou pecou. Vysoká účinnosť usadzovania a rýchly pohyb mikrovlnovej pece umožňuje nanášať veľmi tenké, dobre definované vrstvy sklenených sadzí. Je možné preto touto metódou vyrábať preformy (a teda aj OV) s veľmi presným profilom indexu lomu (na preformu možno definovaným spôsobom naniesť až 2000 vrstiev). Boli vyrobené OV s gradientným profilom indexu lomu, ktorý je dobrou aproximáciou optimálneho parabolického indexu lomu. Typické

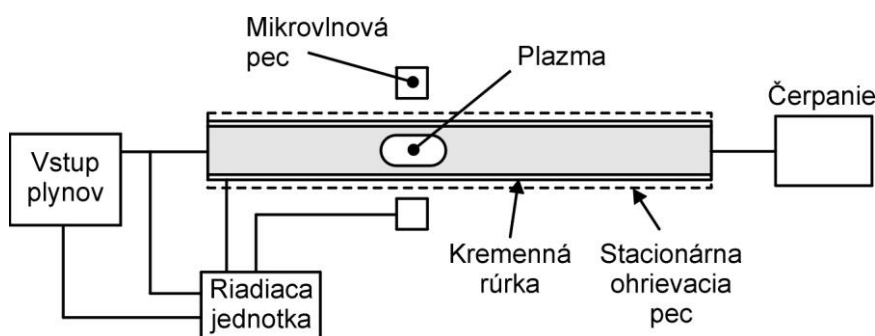
hodnoty disperzie sú menšie ako $0,8 \text{ nskm}^{-1}$ pre optické vlákna s tlmením medzi 3 až 4 dB.km^{-1} pri vlnovej dĺžke $\lambda=0,85 \text{ }\mu\text{m}$.



Obr. 4.6
Výroba preformy metódou VAD.



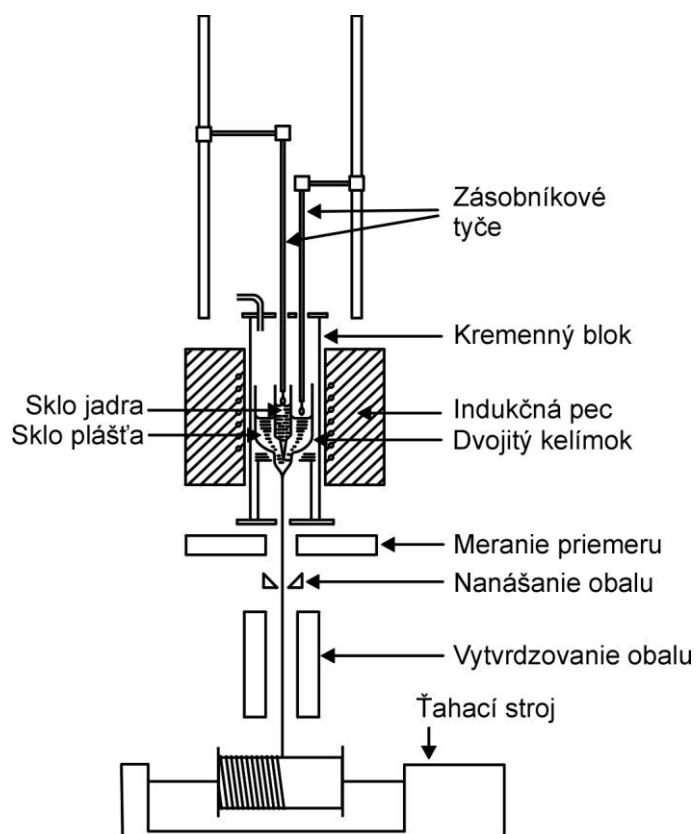
Obr. 4.7
Výroba preformy metódou IVPO (MCVD).



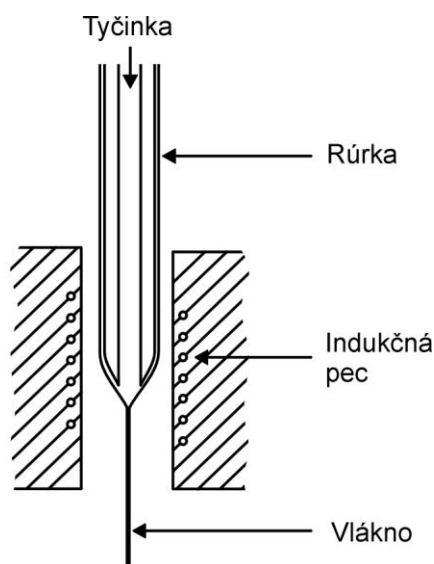
Obr. 4.8
Výroba preformy metódou PCVD

4.1.3 ŤAHANIE OPTICKÝCH VLÁKIEN

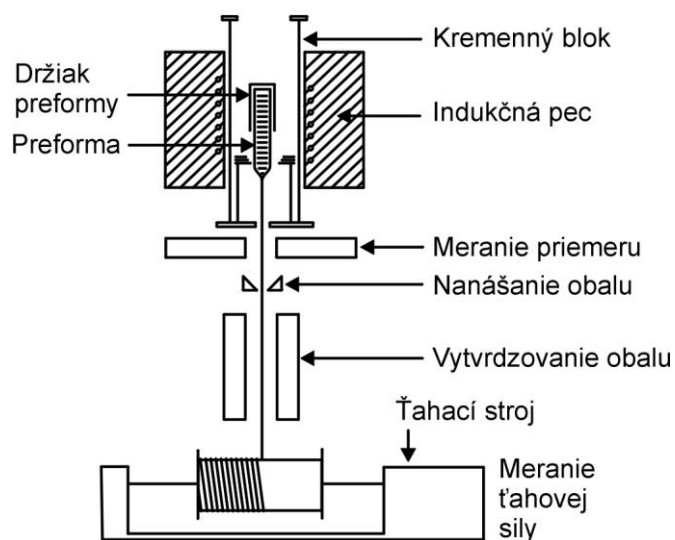
Tradičné technológie ťahania optických vlákien vhodné na výrobu OV s veľkou NA boli založené na využití metódy dvojitého kelímku (**obr. 4.9**) alebo metódy tyčinka-rúrka (**obr. 4.10**). Súčasné technológie využívajú predovšetkým metódy ťahania OV z preformy (**obr. 4.11**). Celkový proces ťahania OV zahŕňa niekoľko operácií, ktoré musia na seba naväzovať. Je to vlastné ťahanie OV z preformy, nanášanie ochranného obalu a jeho vytvrdenie. Treba pripomenúť, že technológia ťahania OV veľmi ovplyvňuje jeho funkčné vlastnosti (napr. je potrebné dodržať priemer vlákna pri ťahaní s presnosťou $\pm 1\%$).



Obr. 4.9
Metóda dvojitého kelímka.



Obr. 4.10
Metóda tyčinka-rúrka.



Obr. 4.11
Ťahanie OV z preformy.

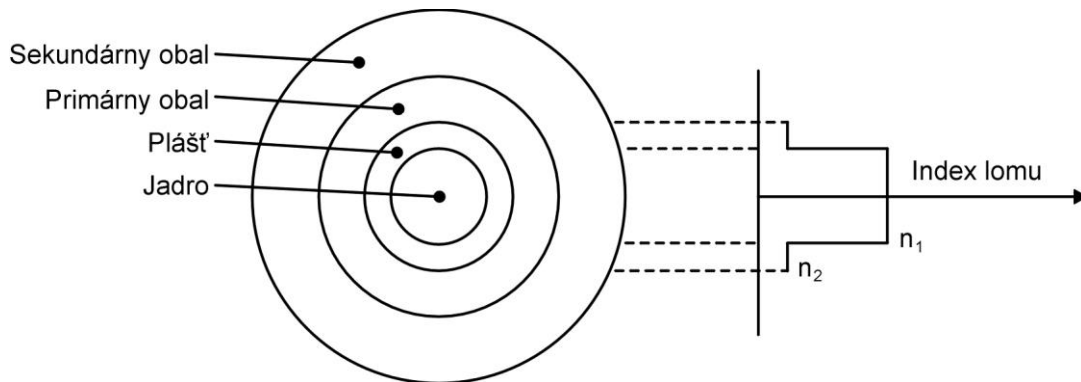
Preto sa vyžaduje dokonalá stabilita mechanických, teplotných a elektrických prvkov ťahacej linky. Vzhľadom na to, že pevnosť nechráneného OV po vytiahnutí rýchle klesá (pôsobením vplyvu ovzdušia – najmä vlhkosti), treba na povrch OV ihneď po vytiahnutí naniesť vhodný obal. Technológia ťahania OV je v súčasnosti dobre zvládnutá. Vyrábajú sa automaticky a aj kontinuálne pracujúce ťahacie linky.

Vývoj v oblasti zlepšovania ťahania OV smeruje k zlacneniu procesu, najmä zvyšovaním kvality a rýchlosti ťahania (ohraničená najmä rýchlosťou vytvrdzovania ochranného obalu).

4.2 TYPICKÉ PARAMETRE OPTICKÝCH VLÁKIEN

Vzhľadom na plánovaný trend aplikácií OV pre rôzne komunikačné aj nekomunikačné účely je vhodné uviesť prehľad typických parametrov v súčasnosti existujúcich OV.

4.2.1 MNOHOVIDOVÉ STUPŇOVITÉ OPTICKÉ VLÁKNA



Obr. 4.12
Typická štruktúra mnohovidového OV.

Mnovidové OV môžu byť vyrobené z mnohozložkových skiel alebo z dopovaného kremenného skla. Tieto OV majú väčšie priemery jadra a teda väčšiu NA, čo umožňuje efektívne naviazanie nekoherentných zdrojov svetla (LED). Vlastnosti týchto vlákien závisia od zloženia. (Najlepšie vlastnosti sa dosahujú pre OV vyrobené z dopovaného kremenného skla.)

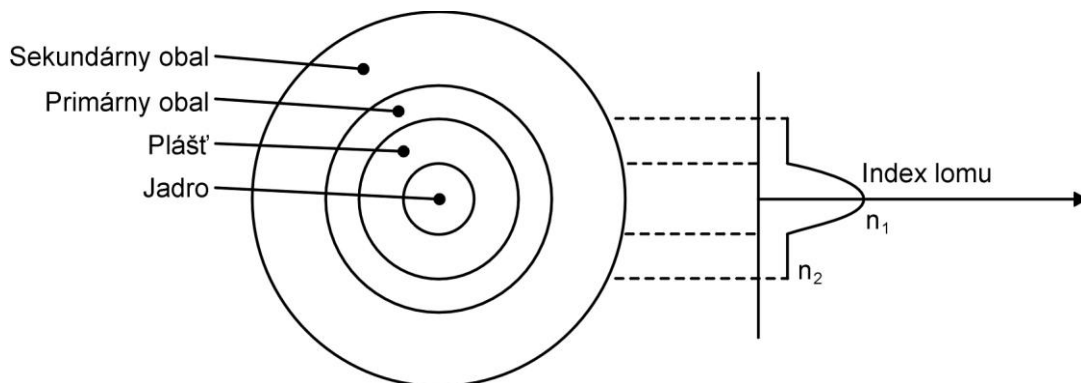
Geometrická štruktúra:

Priemer jadra:	40 až 400 μm
Priemer plášťa:	125 až 500 μm
Priemer ochranného obalu:	250 až 1000 μm
Numerická apertúra:	0,16 až 0,5

Vlastnosti:

Timeň:	4 až 50 dB.km^{-1} – ohraničená absorpciou alebo rozptylom a silne závisí od metódy výroby OV (pri $\lambda=0,85 \mu\text{m}$ pre mnohozložkové skla $\alpha \approx 40 \text{ dB.km}^{-1}$ a pre dopované kremenné skla je $\alpha \approx 5 \text{ dB.km}^{-1}$)
Šírka pásma. vzdialenosť:	6 až 25 MHz.km
Aplikácie:	krátke vzdialenosti, obmedzená šírka pásma, nízka cena.

4.2.2 MNOHOVIDOVÉ GRADIENTNÉ OPTICKÉ VLÁKNA



Obr. 4.13
Typická štruktúra gradientného OV.

Tieto OV majú gradientný profil indexu lomu a môžu byť vyrobené z mnohozložkových skiel alebo z dopovaného kremenného skla. Sú vyrobené z čistejších materiálov a dokonalejšou

technológiou ako mnohovidové stupňovité OV, preto majú vo všeobecnosti lepšie vlastnosti. Tieto OV majú menší priemer jadra ako mnohovidové stupňovité OV, hoci ich vonkajšie priemery sú rovnaké. Typická štruktúra OV je na **obr. 4.13**.

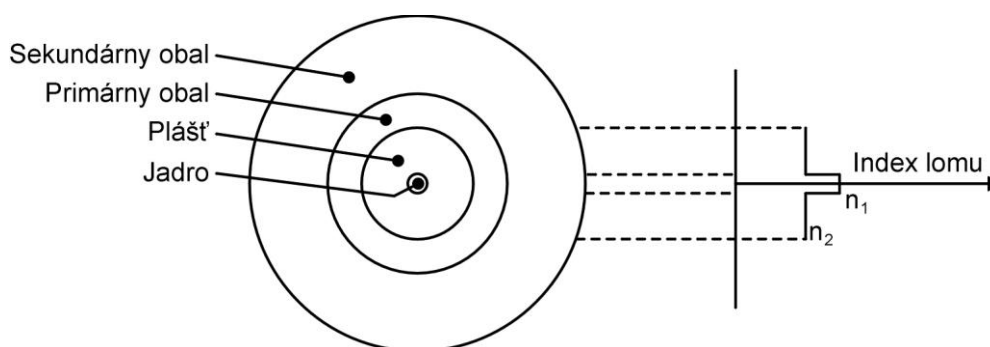
Geometrická štruktúra:

Priemer jadra:	30 až 60 μm , normalizovaná hodnota 50 μm pre telekomunikačné aplikácie
Priemer plášťa:	100 až 150 μm , normalizovaná hodnota 125 μm pre telekomunikačné aplikácie
Priemer ochranného obalu:	250 až 1000 μm
Numerická apertúra:	0,2 až 0,3

Vlastnosti:

Tlmenie:	2 až 10 $\text{dB}\cdot\text{km}^{-1}$ – ohraničené rozptylom
Šírka pásma. vzdialenosť:	0,15 až 2 $\text{GHz}\cdot\text{km}$
Aplikácie:	stredné vzdialenosti, stredná šírka pásma, použitie mnohovidových nekoherentných (LED) aj koherentných (LD) zdrojov svetla.

4.2.3 JEDNOVIDOVÉ OPTICKÉ VLÁKNA



Obr. 4.14

Typická štruktúra jednovidového OV.

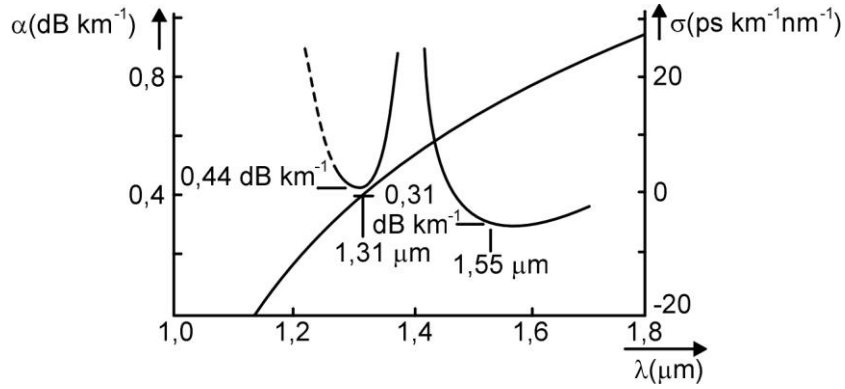
Jednovidové OV môžu byť stupňovité alebo gradientné. Vzhľadom na to, že prínos gradientného profilu indexu lomu nie je pre jednovidové OV tak význačný ako pre mnohovidové OV, sú súčasne komerčne dostupné jednovidové OV výhradne stupňovité. Sú to vysokokvalitné OV s veľkou šírkou pásma vyrobené z dopovaného kremenného skla určené najmä pre telekomunikačné účely. Hoci majú jednovidové OV malý priemer jadra, priemer ich plášťa musí byť približne desaťnásobok priemeru jadra a priemer ich ochranného obalu je porovnateľný s priemerom obalu mnohovidových OV. Typická štruktúra jednovidového OV je na **obr. 4.14**. Vlastnosti vysokokvalitných jednovidových OV možno posúdiť použitím **obr. 4.15** až **4.17**, kde sú znázornené závislosti tlmenia a disperzie od vlnovej dĺžky.

Geometrická štruktúra:

Priemer jadra:	3 až 10 μm
Priemer plášťa:	50 až 125 μm
Priemer obalu:	250 až 1000 μm
Numerická apertúra:	0,08 až 0,15 obyčajne $\approx 0,10$

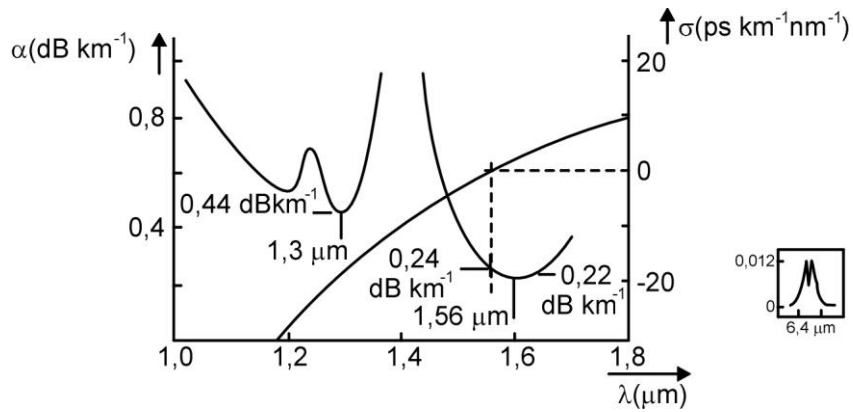
Vlastnosti:

Tlmenie:	2 až 5 $\text{dB}\cdot\text{km}^{-1}$ – ohraničené rozptylom $\approx 1 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}$ pri $\lambda=0,85 \mu\text{m}$, $0,2 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}$ pri $\lambda=1,55 \mu\text{m}$
Šírka pásma. vzdialenosť:	500 $\text{MHz}\cdot\text{km}$ (pri $\lambda=0,85 \mu\text{m}$ max. $\approx 40 \text{ GHz}\cdot\text{km}$, pri $\lambda=1,55 \mu\text{m}$ max. $\approx 100 \text{ GHz}\cdot\text{km}$)
Aplikácie:	veľmi veľké vzdialenosti, veľmi veľká šírka pásma, jednovidové lasery.



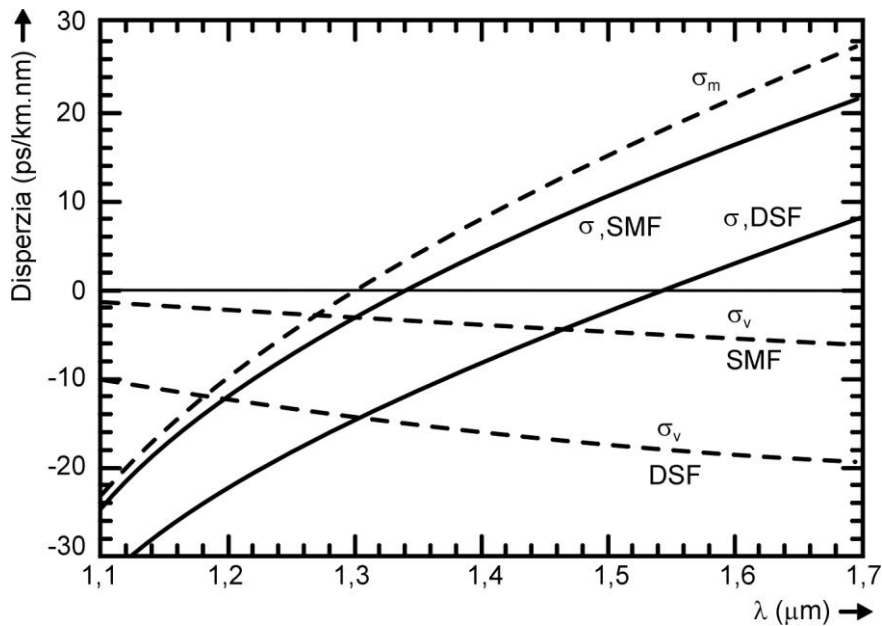
Obr. 4.15

Útlmová a disperzná charakteristika vysokokvalitného jednovládového OV so stupňovitým profilom indexu lomu.



Obr. 4.16

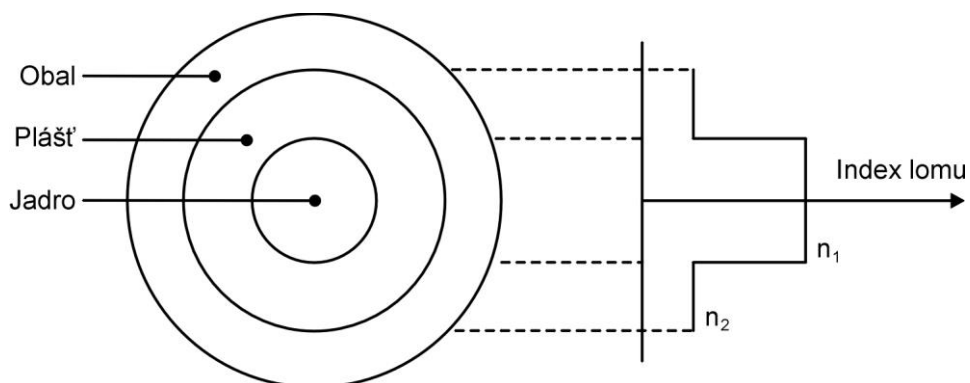
Útlmová a disperzná charakteristika vysokokvalitného jednovládového OV s trojuholníkovým profilom indexu lomu.



Obr. 4.17

Celková disperzia σ a príspevok materiálovej σ_m a vlnovodovej σ_v disperzie pre SMF a DSF.

4.2.4 OPTICKÉ VLÁKNA S PLASTOVÝM PLÁŠŤOM



Obr. 4.18
Typická štruktúra PCS optického vlákna.

Optické vlákna s plastovým plášťom sú mnohovidové a majú stupňovitý alebo gradientný profil indexu lomu. Najčastejšie sú to vlákna typu PCS (Plastic Clad Silica), t.j. s kremenným jadrom a plášťom zo silikónového kaučuku. PCS vlákna sú lacnejšie, ako celosklené vlákna, ale vo všeobecnosti majú horšie prenosové vlastnosti. Typická štruktúra PCS vlákna je na **obr. 4.18**.

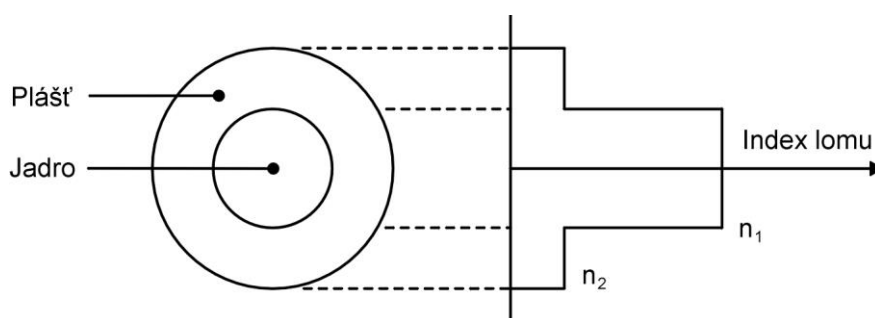
Geometrická štruktúra:

Priemer jadra:	stupňovité	100 až 500 μm
	gradientné	50 až 100 μm
Priemer plášťa:	stupňovité	300 až 800 μm
	gradientné	125 až 150 μm
Priemer obalu:	stupňovité	500 až 1000 μm
	gradientné	250 až 1000 μm
Numerická apertúra:	stupňovité	0,2 až 0,5
	gradientné	0,2 až 0,3

Vlastnosti:

Tímenie:	stupňovité	5 až 50 dB.km^{-1}
	gradientné	4 až 15 dB.km^{-1}
Šírka pásma. vzdialenosť:	stupňovité	5 až 25 MHz.km
	gradientné	200 až 400 MHz.km
Aplikácie:	krátke vzdialenosti, malá šírka pásma, nízka cena, jednoduché ukončenie OV.	

4.2.5 CELOPLASTOVÉ OPTICKÉ VLÁKNA



Obr. 4.19
Typická štruktúra celoplastového OV.

Celoplastové optické vlákna sú stupňovité a majú veľký priemer jadra aj plášťa, preto väčšinou ani nemajú ochranný obal. Tieto OV sú veľmi lacné a menej náročné pre manipuláciu ako sklenené. Ich prenosové vlastnosti (zvlášť v infračervenej oblasti) sú však slabšie, čo ohraničuje ich aplikáciu na komunikačné účely. Celoplastové OV však majú veľkú NA, čo umožňuje efektívne naviazanie rôznych nekoherentných mnohovidových zdrojov svetla. Typická štruktúra celoplastového OV je na **obr. 4.19**.

Geometrická štruktúra:

Priemer jadra:	200 až 600 μm
Priemer plášťa:	450 až 1000 μm
Numerická apertúra:	0,5 až 0,6

Vlastnosti:

Ťmenie:	350 až 1000 $\text{dB}\cdot\text{km}^{-1}$ (pri $\lambda=0,65 \mu\text{m}$)
Šírka pásma. vzdialenosť:	nie je obvyčajne uvádzaná, pretože prenos je ohraničený na vzdialenosť desiatok m
Aplikácie:	veľmi krátke vzdialenosti, veľmi nízka cena, jednoduché a lacné ukončenie OV

4.3 OPTICKÉ KÁBLE

Proti vplyvom okolitého prostredia a proti mechanickým pôsobeniam pri vkladaní OV do kábelovodov, zeme a mora sa tieto chránia káblováním. Funkcie káblovania sú aj pre OV podobné ako pri káblovaní kovových vodičov. Funkcie káblovania OV možno zo všeobecného hľadiska rozdeliť do štyroch hlavných oblastí:

- Ochrana OV. Hlavná funkcia optického kábla je ochrana OV pred poškodením a zlomením pri inštalácii a počas prevádzky (životnosti) OV.
- Stabilizácia prenosových charakteristík OV. Káblované OV musí mať stabilné prenosové vlastnosti, ktoré sú porovnateľné (len o málo horšie) ako pre nekáblované OV. Najčastejším problémom je vzrast ťmenia káblovaného OV (vplyvom mikroohybov), ktoré musí mať minimalizované vhodnou technológiou káblovania.
- Ťahová sila kábla. Optické káble musia mať podobné mechanické vlastnosti, ako káble s kovovými vodičmi, pretože sú v praxi ukladané do kábelovodov rovnakými technológiami. Tieto mechanické vlastnosti zahŕňajú odolnosť voči ťahovej sile, tlaku, ohnutiu, skrúteniu a vibráciám. Vzhľadom na ohraničenú pevnosť a malú ťažnosť OV je potrebné do optických káblov zabudovať zvláštne ťahové a nosné prvky.
- Identifikácia a hromadné spojenie OV. Pre optické káble s veľkým počtom OV je potrebné zaručiť vhodné usporiadanie a vhodnú geometrickú stabilitu rozmiestnenia OV, ktoré umožňujú ich jednoduchú identifikáciu a použitie metód hromadného spojovania OV.

4.3.1 ŤAHOVÁ SILA KÁBLA

Optické vlákna pre telekomunikačné aplikácie sú výhradne vyrobené z kremenného, resp. mnohozložkového skla. Tieto materiály sú krehké a vykazujú až po dosiahnutie bodu lomu temer dokonalú pružnosť. Vlastný materiál skla bez porúch je vysoko pevný. Teoretická sila súdržnosti (tzv. kohezívna sila) je určená vzťahom

$$S_t = \sqrt{\frac{\gamma_p E}{4l_a}} \quad (4.3.1)$$

kde γ_p je povrchová energia materiálu, E – Youngov modul pružnosti a l_a – vzájomná vzdialenosť atómov. Teoretická sila súdržnosti je podstatne zmenšená v materiáloch s poruchami (trhlinami).

V procese výroby OV vznikajú objemové a povrchové poruchy (obr. 4.20). Podstatným spôsobom ovplyvňujú silu súdržnosti materiálu najmä povrchové trhliny. Zmenšenie sily súdržnosti pri výskyte trhlín možno v analytickom tvare vyjadriť Griffithovou teóriou. Táto predpokladá, že mechanické napätie v trhlíne je sústredené v jej vrchole (obr. 4.21). Pre intenzitu mechanického napätia v trhlíne platí

$$K_I = SY\sqrt{C} \quad (4.3.2)$$

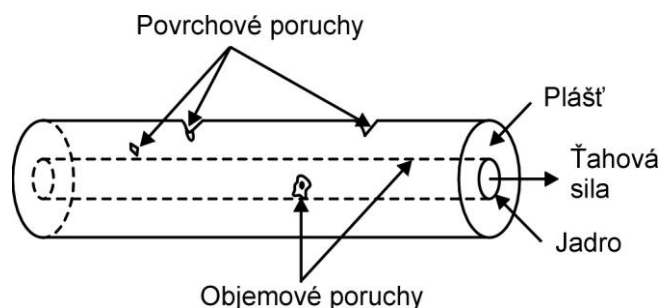
kde S je makroskopické napätie OV, Y je konštanta určená tvarom trhliny (napr. $Y = \sqrt{\pi}$ pre trhlínu eliptického tvaru) a C je hĺbka trhliny. Z teórie možno odvodiť kritickú intenzitu mechanického napätia

$$K_{IC} = \sqrt{2E\gamma_p} \quad (4.3.3)$$

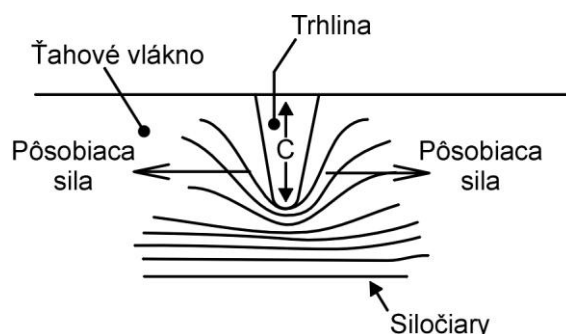
Dosadením zo vzťahu (4.3.3) do (4.3.2) dostaneme Griffithov vzťah pre napätie lomu

$$S_f = \sqrt{\frac{2\gamma_p E}{Y^2 C}} \quad (4.3.4)$$

V procese výroby OV môže vzniknúť viacej povrchových trhlín. Rozhodujúcim spôsobom sa vo vzťahu (4.3.4) uplatní tá trhlina, ktorá má najväčšiu hĺbku. Trhliny vznikajú na povrchu OV mechanickým aj chemickým pôsobením. Na ochranu vlákien pred vznikom trhlín sa toto ihneď po vyrobení pokrýva pružným plastovým ochranným obalom.



Obr. 4.20
Objemové a povrchové poruchy (trhliny) v OV.



Obr. 4.21
Eliptická povrchová trhlina OV.

Ďalším z mechanizmov, ktorý znižuje napätie lomu OV, je tzv. napätová korózia OV. Táto vzniká kombinovaným pôsobením vody (vlhkosti) a povrchových trhlín. Povrch vrcholu trhlíny je korodovaný vodou pri pôsobení zväčšeného napätia. Tento mechanizmus spôsobuje rast trhlín a teda znižovanie napätia lomu OV. Na ochranu OV preto treba v optických kábloch používať ochranné pokrytie proti prenikaniu vody, resp. vzdušnej vlhkosti.

Na výpočet deštrukcie optických vlákien pôsobením napätia sa používa Weibullova štatistika. Podľa nej je pravdepodobnosť pretrhnutia OV F pri pôsobení napätia S určená vzťahom

$$F = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{S}{S_0} \right)^m \left(\frac{L}{L_0} \right) \right\} \quad (4.3.5)$$

kde m je Weibullov distribučný parameter, S_0 je parameter mierky, L je dĺžka OV a L_0 je konštanta s rozmerom dĺžky. K Weibullovej štatistike musíme uvážiť aj vplyv napäťovej korózie pri danom napätí. Vplyv napäťovej korózie je možné odhadnúť použitím empirického vzťahu medzi rýchlosťou narastania trhliny v_c a pôsobiacou intenzitou mechanického napätia K_I v trhlne

$$v_c = AK_I^n \quad (4.3.6)$$

kde n je konštanta (tzv. susceptibilita korózie – pre sklo od 15 do 50) a A je konštanta určená zložením skla. Vzťah (4.3.6) umožňuje určiť čas, za ktorý dôjde k pretrhnutiu OV pri pôsobení určitého napätia.

4.3.2 PRÍKLADY KONŠTRUKCIE OPTICKÝCH KÁBLOV

Pri návrhu optických káblov sa v praxi vychádza zo základných skúseností s káblami s kovovými vodičmi. Optický kábel vo všeobecnosti pozostáva z týchto hlavných častí:

- Z jedného alebo viacerých optických vlákien, z ktorých každé je chránené primárnym obalom, nanášaným ihneď pri ťahaní OV. Ako materiál pre primárnu ochranu sa používajú oxido-akrylové živice, silikón a etylén-vinylacetát.
- V prípade potreby môžu byť OV v optickom kábli kombinované so žilami s kovovými vodičmi (napr. pre napájanie opakovačov).
- Z nosných a ťahových prvkov, tvorených ocelovými drôťmi a vrstvami z plastových, textilných alebo sklenených vlákien.
- Z ďalších výplňových a obalových vrstiev (sekundárneho obalu), ktorých úlohou je chrániť OV umiestnené v duši kábla proti vplyvu okolitého prostredia. Ako materiály pre sekundárny obal optického kábla sa používajú polyetylén, polypropylén, polyamid a rôzne fluór-kopolyméry.

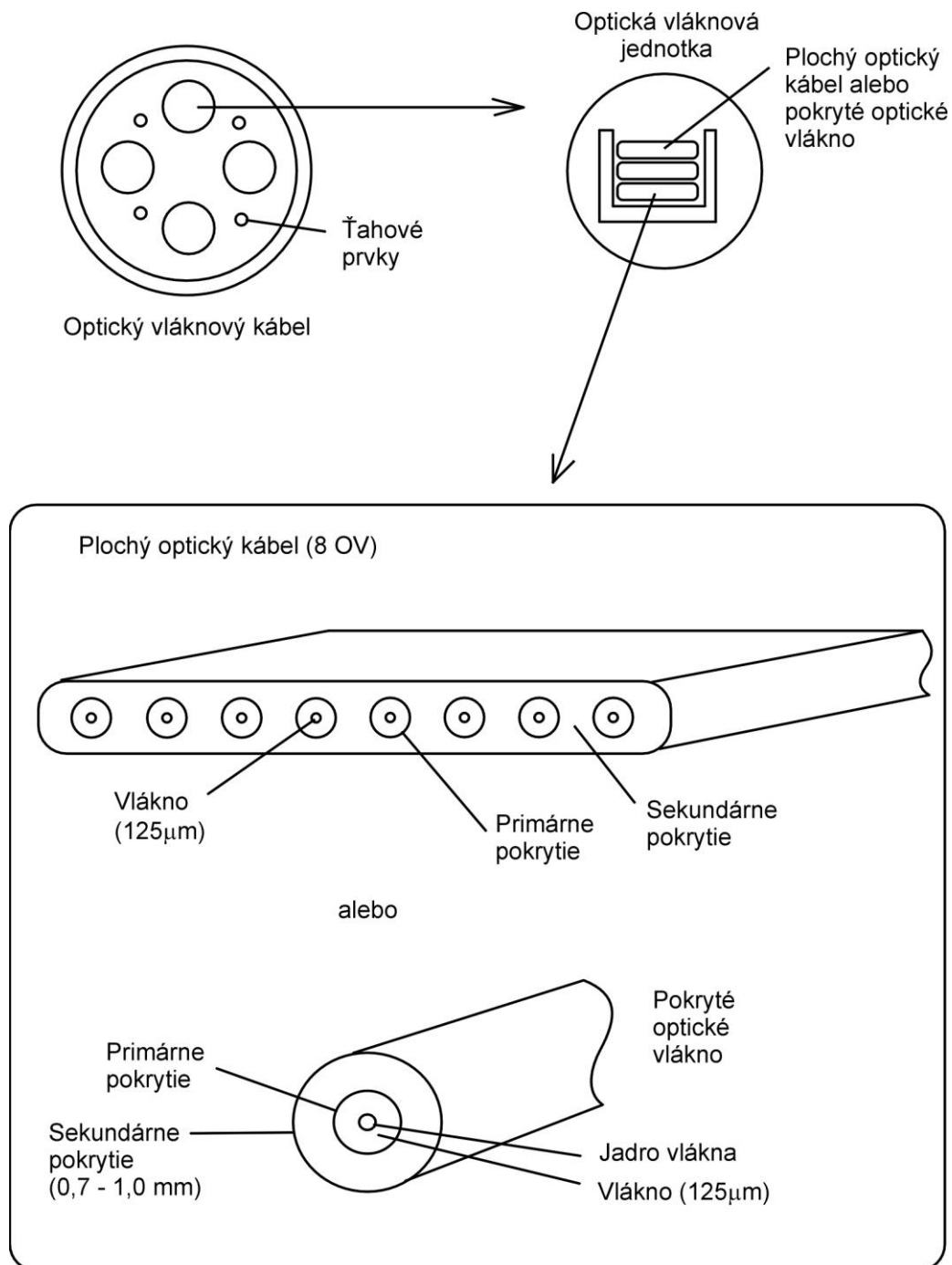
Optické vlákna sú pre optické prenosové systémy používané vo forme optického kábla. Z hľadiska štruktúry optických vlákien sa v súčasnosti používajú dva základné typy optických káblov:

- Jednotlivé optické vlákna pokryté ochrannými vrstvami
- Optické káble v tvare plochých optických káblov.

Štruktúra pokrytých optických vlákien je znázornená na **obr. 4.22**. Kábové vlákno (125 μm) je pokryté dvoma ochrannými vrstvami: primárnou a sekundárnou. Priemer tohoto vlákna je potom v rozmedzí 0,5 – 1 mm. Ploché optické káble majú štruktúru optických vlákien usporiadanú v riadku a sekundárne vrstvy týchto vlákien majú podobu akýchsi pásikov. Na **obr. 4.22** je znázornený prípad, kedy optický kábel pozostáva z ôsmich optických vlákien. V súčasnosti sa používa usporiadanie 4, 8, 12 optických vlákien.

Optický kábel s optickou vláknovou jednotkou je schematicky znázornený na **obr. 4.22**. Optický vláknový kábel (stručne - optický kábel) s vysokým počtom optických vlákien je tvorený z jednotiek (celkov) ktoré obsahujú niekoľko optických káblov typu 1) alebo 2) a ťahové prvky.

Obyčajne sú optické káble samonosné. Ťahové prvky sú dielektrické. Podľa toho, akú majú odolnosť voči požiaru sa delia na indoor (do budov) a outdoor (pre vonkajšie aplikácie).



Obr.4.22
Optické káble s optickou vláknovou jednotkou.

Najdôležitejšie parametre pri návrhu OVKS sú:

- vlnová dĺžka
- prenosová rýchlosť
- prenikateľná dĺžka
- zdroj svetla
- optický detektor a iné.

Ďalej je to návrh káblovej trasy a technická inštalácia kábla. Väčšinou je konštrukcia káblovej siete skutočne prvoradá. Inštalácia kábla, spojenie optických vlákien využívaním metód spojovania alebo metód optického konektora a spojenia káblov sa robí postupne (sekvenčne).

Po konštrukcii káblovej siete nasleduje testovanie meraním optických strát. Vo všeobecnosti sa používa metóda optickej reflektometrie OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Niekedy je tiež meraná aj základná šírka pásma. Spolu s káblovou sieťou je inštalované aj prenosové zariadenie. Nakoniec sa celý optický prenosový systém testuje. Aj keď pohľad na optické káble je podobný ako na kovové káble, optické káble majú mnoho výhodnejších vlastností. Porovnanie optických a kovových káblov je v tabuľke 4.1.

Tabuľka 4.1

POROVNANIE OPTICKÝCH A KOVOVÝCH KÁBLOV

	100 - vlákňový optický kábel	1000 – vlákňový optický kábel	Optický versus kovový kábel *
Vonkajší priemer	~ 15 mm	~ 40 mm	~ 1/3 – 1/2
Hmotnosť	~ 0,2 kg/m	~ 1,4 kg/m	~ 1/15 – 1/8
Prenosové straty #			~ 1/1000
* keď porovnáваме 100 - párový a 1000 - párový kovový kábel # Predpokladaná prenosová rýchlosť je 100 MB/s			