



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Teorie v praxi



CZ.1.07/1.1.22/02.0006

# Polymery a biopolymery

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky.

## Obsah

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Úvod .....                                             | 3  |
| 1. Plasty .....                                        | 3  |
| 1.1 Rozdělení plastů .....                             | 3  |
| 1.2 Molekulární struktura plastů .....                 | 4  |
| 1.3 Morfologie (nadmolekulární struktura) plastů ..... | 5  |
| 2. Přírodní vlákna /kompozit .....                     | 7  |
| 3. Biopolymery .....                                   | 11 |
| 4. Přípravné technologie .....                         | 11 |
| 5. Vstřikování plastů.....                             | 14 |
| 5.1 Šnekové vstřikovací stroje .....                   | 14 |
| 5.2 Forma .....                                        | 16 |
| 6. Vytlačování plastů .....                            | 18 |
| 6.1 Stroj .....                                        | 18 |
| 7. Vyfukování plastů.....                              | 19 |
| 7.1 Stroj .....                                        | 21 |
| 7.2 Forma.....                                         | 22 |
| 8. Použitá literatura.....                             | 24 |

## ÚVOD

Přesto, že plasty jsou jedním z nejdynamičtěji se rozvíjejících materiálů posledních desetiletí, jehož uplatnění lze nalézt téměř ve všech oblastech průmyslu (např. ve strojírenství, elektrotechnice, stavebnictví, dopravě, potravinářství, lékařství, farmacii atd.), nezaujímá tato problematika v osnovách středních škol dostatečné místo. Proto je snahou předkládané publikace o podrobnější seznámení studentů Střední průmyslové školy strojní a elektrotechnické a Vyšší odborné školy Liberec, rovněž tak studentů Gymnázia F. X. Šaldy s problematikou polymerních materiálů – plastů. V jednotlivých kapitolách je jednak uvedeno základní rozdělení plastů; diskutováno strukturní (molekulární, nadmolekulární) hledisko plastů; představeny biopolymerní materiály, kompozitní materiály sestávající se z přírodních vláknenných výztuží, a také nejběžnější technologie zpracování plastů.

### 1. Plasty

Plast je polymerní látka známá již od počátku dvanáctého století, jejíž *výhody a nevýhody* lze shrnout do následujících bodů. Mezi významné výhody patří především jejich nízká měrná hmotnost, výborné zpracovatelské vlastnosti, výborná korozní odolnost, nízká elektrická a tepelná vodivost (plasty jsou elektrické a tepelné izolanty). Rovněž tak schopnost tlumení rázů, chvění, atd. Naopak za nevýhodu lze považovat nízké mechanické vlastnosti, které jsou navíc silně časově (kríp, relaxace) a teplotně závislé, ekologická zatížitelnost apod.

#### 1.1 Rozdělení plastů

Plasty je možno klasifikovat podle několika hledisek, které zohledují jak původ vzniku, tak i strukturu, aplikační použití, tak i typ plastu. Plasty se dají dělit:

a) podle **použití** na plasty pro *široké použití*, pro *konstrukční aplikace* a pro *high-tech aplikace*. Pro široké použití a aplikace se používají plasty, které jsou jednak cenově nejdostupnější, ale také plasty, jejichž vlastnosti nejsou konstrukčními vlastnostmi, např. polyolefiny (PE, PP), polystyrénové hmoty (PS), polyvinylchlorid (PVC), fenolformaldehydové (PF) hmoty, apod. Plasty používané pro konstrukční aplikace mají již dostatečné mechanické vlastnosti, houževnatost, atd. Patří sem polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), polyoximetylen (POM), polymethylmetakrylát (PMMA), terpolymer(ABS), polyfenilénoxid (PPO), polyuretan (PU), epoxidové (EP) a polyesterové (UP) pryskyřice, apod. Pro high-tech aplikace (nulový kríp, výborné mechanické a chemické vlastnosti, atd.) se používají plasty jako je polysulfon (PSU), polyfenylénsulfid (PPS), tetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI) a další.

b) podle vlivu **teploty** na vlastnosti plastů se dělí na *termoplasty*, *reaktoplasty*, *kaučuky a pryže*. Termoplasty při zahřívání měknou, až přejdou do stavu taveniny, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením. Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, jedná se pouze o fyzikální proces, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Patří sem většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. Reaktoplasty, dříve nazývané termosety, v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. *vytvrzování*. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k degradaci plastu. Patří sem

fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod. Kaučuky, pryže a elastomery jsou polymerní materiály, které v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet. Během dalšího zahřívání dochází také k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. *vulkanizace*. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky donekonečna [1].

c) Podle **morfologie** se plasty dělí na *amorfní* a *semikrystalické* plasty. Amorfních plasty dosahují stoprocentní neuspořádanost struktury a jsou v přírodním stavu průhledné, tvrdé a křehké, pevné. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Semikrystalické plasty mají určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity a pohybuje se od 40 do 90 %. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se používá předpona semi. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené, houževnaté [1].

d) Podle **druhu přísad** se plasty dělí na *neplněné* a *plněné* plasty. Neplněný plast je takový plast, u kterého nejsou buď žádné přísady anebo množství přísad neovlivňuje konečné vlastnosti plastu. U plněných plastů přísady ovlivňují konečné a užité vlastnosti, které se v dané oblasti zlepšují. Dochází k tzv. synergickému efektu. Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření, apod. [2]. Dále se plniva dělí podle tvaru na jedno-dimensionální (např. vlákna), dvou-dimensionální (destičky kaolinu, talku, atd.) a tří-dimensionální plniva (např. kuličky). Dále rozeznáváme vyztužující (skleněná, uhlíková, kovová či méně účinná bavlněná krátká nebo dlouhá vlákna, atd.) a nevyztužující plniva ve formě prášku, které se přidávají většinou z důvodu snížení ceny materiálu (moučka z břidlice, kaolinu, křídly a dalších levných materiálů).

e) Podle **absorpce vody** se plasty dělí na *hydrofilní* a *hydrofobní*. Hydrofilní plasty jsou plasty, které ve styku s vodou absorbují vodu jak v plynné, tak i kapalně formě - navlhavost resp. nasákavost. Patří sem většina termoplastů, jako např. PC, POM, ABS, PA, některé pryskyřice, apod. Hydrofobní plasty jsou nenavlhavé. Patří sem PE, PP, PS, apod.

f) Podle **chemické stavby plastů** lze dělit plasty dělit např. na polyolefiny, styrenové plasty, polyamidy, polyester, polyétery, apod.

g) Podle vzniku, **výchozí suroviny**, se plasty dělí na *přírodní*, *polo-syntetické*, *syntetické*. Přírodní plasty jsou založeny na přírodních makromolekulárních látkách, např. na bázi celulózy, latexu, kaseinu, atd. Polo-syntetické jsou např. syntetické kompozity s přírodními plnivými. Syntetické plasty jsou nejčastěji vyrobeny z ropy chemickou cestou.

## 1.2 Molekulární struktura plastů

Podstatou polymerů je řetězení monomerních jednotek do polymerního řetězce. Monomerní jednotka se v daném řetězci mnohokrát opakuje. Základním prvkem řetězce je atom uhlíku, který má schopnost vzájemně se vázat a vytvářet dlouhé řetězce. Plasty jsou z obecného hlediska makromolekulární látky o molekulové hmotnosti vyšší jak  $10^4$  [2]. Čím vyšší je molekulová hmotnost, tím horší je tekutost taveniny plastů.

V zásadě existují tři druhy polymerních makromolekul: *lineární*, *rozvětvené* a *zesíťované*, viz obr.1. Lineární makromolekuly (typické pro termoplasty) vznikají tak, že se monomerní molekuly řadí jedna vedle druhé „jako korálky na šňůře perel“ a mohou se k sobě více

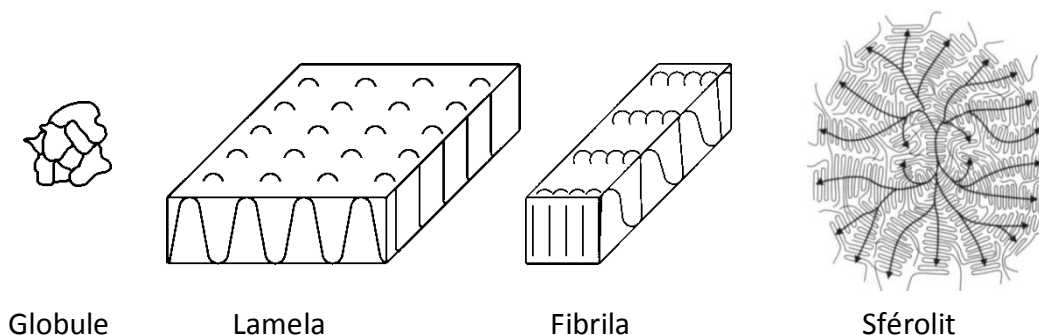
přiblížit jedna ke druhé. Polymery potom mají vyšší hustotu (např. vysoko hustotní polyethylen HDPE). Lineární makromolekuly také snáze vytvářejí shluky krystalických struktur, takže tyto polymery mají vyšší obsah krystalických podílů. HDPE má až 80 % krystalické fáze, LDPE má kolem 60% krystalické fáze. Rozvětvené makromolekuly (typické pro termoplasty) mají na základním řetězci boční větve a nemohou se k sobě tak přiblížit. Proto mají nižší hustotu (např. nízko hustotní polyethylen LDPE) a nižší stupeň krystalinity. Zesíťované makromolekuly (typické pro reaktoplasty a kaučuky) jsou makromolekuly, kdy dojde k vazebnému propojení několika lineárních nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců mezi sebou, takže vytvářejí prostorovou síť. Proto jsou tyto plasty netavitelné a nerozpustné. Polymery vykazují vysokou tvrdost, tuhost a odolnost proti zvýšené teplotě, avšak nízkou odolnost proti rázovému namáhání [1]. Síť mohou být řídké (charakteristické pro kaučuky) nebo husté (reaktoplasty).



Obr.1. Uspořádání makromolekul v polymeru [3]

### 1.3 Morfologie (nadmolekulární struktura) plastů

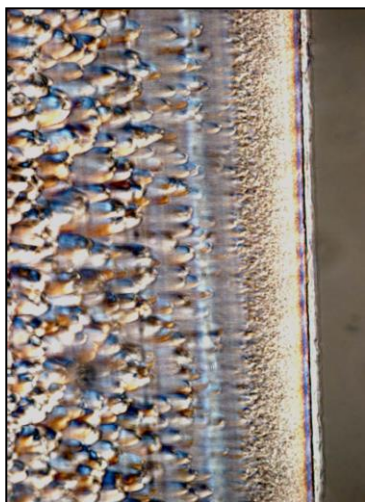
Nadmolekulární struktura (stupeň uspořádanosti makromolekul) může být popsána jednak jako *amorfní* a jednak jako *krystalická*. Termoplasty mohou mít jak amorfní, tak i semikrystalickou nadmolekulární strukturu, zatímco kaučuky a reaktoplasty pouze strukturu amorfní. *Amorfní struktura* je struktura chaotická, neuspořádaná. Základním morfologickým útvarem této struktury jsou globule (neboli klubička, viz obr. 2) o velikosti 10 ÷ 30 nm, které jsou vytvořeny z chaoticky stočených makromolekul. *Krystalická struktura* se vyznačuje určitým stupněm uspořádanosti, který se liší dle typu plastu a je závislý na podmínkách odvodu tepla (rychlost, teplota). Základním morfologickým útvarem jsou tzv. lamely, fibrily [1]. Pokud dojde ke shlukům lamel, vytváří se sférolity (viz obr. 2).



Obr.2. Morfologické útvary polymerních materiálů [4]

U reálných výrobků z krystalických polymerů se při tuhnutí z tavenin polymerů nikdy nemůže vytvořit 100% krystalický materiál, část takového polymeru je krystalická, zbylá část zůstává v amorfním stavu. Stupeň krystalické fáze udává tedy relativní podíl krystalických oblastí v plastu a vyjadřuje se v procentech.

Pro vznik semikrystalické struktury je nutná tvorba krystalizačních zárodků, na kterých vyrostou krystality. K tvorbě krystalické fáze je nutné dosáhnout potřebné teploty (teplota formy) a potřebného času k vytvoření krystalické fáze (doba dotlaku a chlazení). Hlavní prvky nadmolekulární struktury se totiž utvářejí v průběhu chlazení výrobku a to ať ve výrobním nástroji (formě) nebo mimo něho. Podmínky tuhnutí nejsou ve všech částech výrobku stejné a krystalizace je nerovnoměrná. Z technologického hlediska vzniká nestejnorodý, anizotropní materiál. Polymer chladne nejprve u stěny formy, naopak nejdéle chladne uprostřed dutiny formy, tedy v jádru plastového výrobku. Proto je u semikrystalických plastů v jádru největší stupeň krystalinity a na povrchu naopak nejmenší (viz obr. 3).



a) Struktura PE,  $T_{tm} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_s = 2\text{mm}$   
zvětšení (50x) [5]



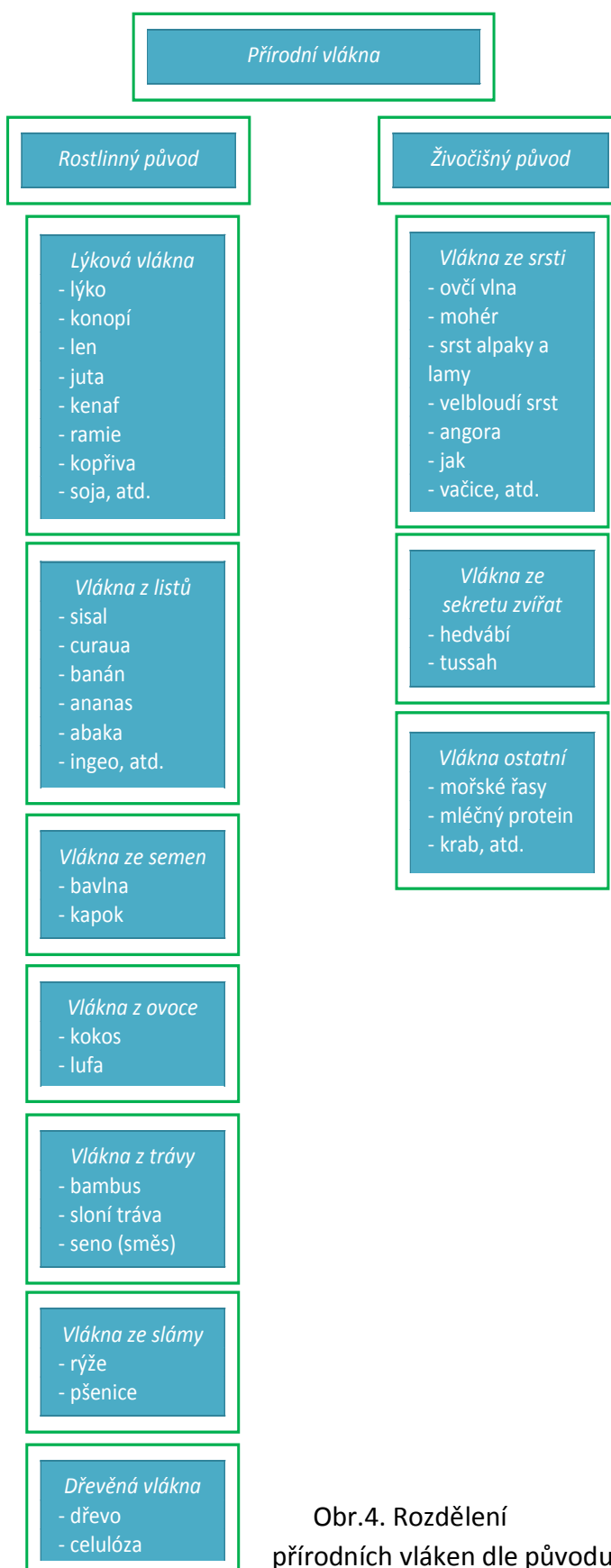
b) Struktura PE,  $T_{tm} = 80^{\circ}\text{C}$ ,  $t_s = 2\text{mm}$   
zvětšení (50x) [5]

Obr.3. Rozdíly krystalografické struktury mezi povrchem a jádrem tělesa při rozdílných technologických podmínkách

## 2. PŘÍRODNÍ VLÁKNA / KOMPOZIT

V souvislostech s neustále rostoucími požadavky na pevnostní charakteristiky a minimalizaci výrobních nákladů je vhodné z výše představeného, věnovat speciální pozornost tvorbě kompozitních materiálů. V plastikářském průmyslu je pravděpodobně nejvíce využívaným kompozitním materiálem kombinace syntetické polymerní matrice s vyztužujícím plnivem - skelnými vlákny [6]. V poslední době jsou však evidovány snahy o náhradu tohoto materiálu přírodními materiály. Výhodou přírodních vláken, oproti současně používaným materiálům, je jejich nízká hmotnost, nízká abraze (zabraňující opotřebení forem a nástrojů při technologických procesech zpracování plastů), spalitelnost, netoxičnost, biodegradabilita a především nízká cena, nezávislá na ceně ropy. Náhrada syntetických surovin za suroviny z biomasy má vést ke zlepšení vlastností materiálů, resp. výrobků, ke snížení zatížení environmentu, snížení ceny výrobku, zajištění jeho přírodního vzhledu, atd.

Přírodních vláken existuje poměrně velké množství (viz obr. 4). Z hlediska původu v podstatě existují dvě skupiny vláken, které jsou buď rostlinného (např. lýko, listí, semena, tráva, ovoce, atd.) nebo živočišného původu (ovce, lama, koza, atd.).

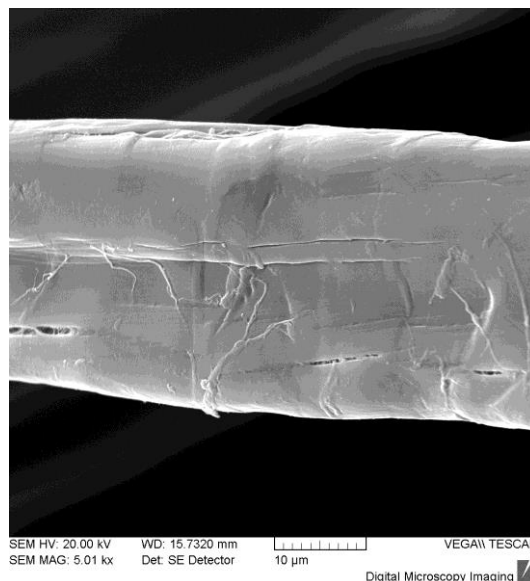


Obr.4. Rozdělení přírodních vláken dle původu

### Vláčna bambusu

Bambusové vlákno má podobné vlastnosti jako vlákno ramie (kopřiva). Získává se z bambusu, stálezelených dřevnatých trav z čeledi lipnicovitých. Bambusová vlákna mohou nasávat až čtyřikrát více vlhkosti než bavlna, dobře odolávají bakteriím a vynikají schopností neutralizovat zápach. Cenově jsou velmi levné, stojí cca 0,05 €/kg. Mikroskopické snímky vláken jsou ukázány na obr. 5. Ročně se vyrobí více jak 10 miliónů tun bambusových vláken.

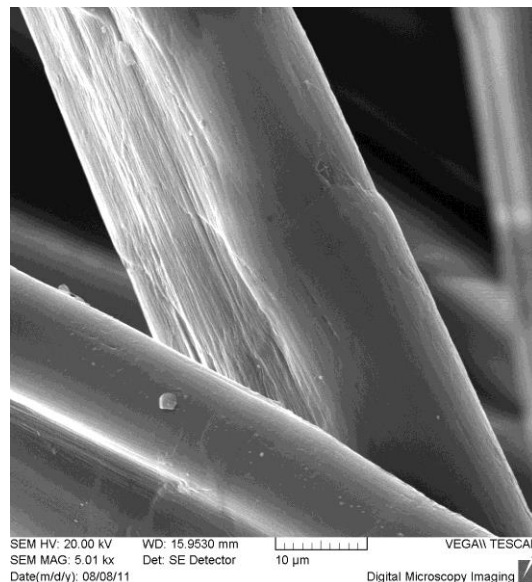
Obr.5. Mikroskopické snímky přírodních bambusových vláken (SEM)



### Vláčna banánovníku

Vláčna z banánovníku textilního se také nazývají abaka nebo také manilské konopí. Rostlina má kolem 20 listů, z jejichž žilek se získávají až dva metry dlouhá vlákna. Ze 100 kg listů se získá průměrně 13 kg vláken. Vláčna z vnějších listů jsou hrubší a tmavší, vnitřní část je jemnější. Vláčna se vyznačují značnou odolností proti účinkům mořské vody a pevnost je až do 70 cN/tex (asi jako polyester). Cena vláken je kolem 0,3 €/kg. Mikroskopické snímky vláken jsou ukázány na obr. 6.

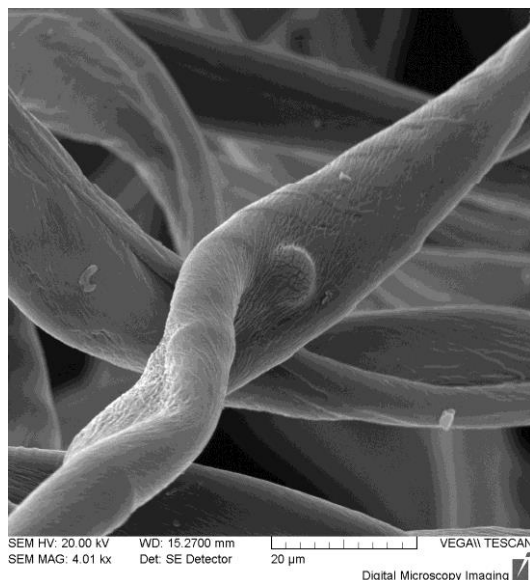
Obr.6. Mikroskopické snímky přírodních banánových vláken (SEM)



### Vláčna bavlny

Bavlna je nejdůležitější ze všech plodin pěstovaných pro výrobu textilního vlákna. Vláčna se získávají z plodu keře bavlníku. Bavlna má dobrou pevnost v tahu (245–373 mN/tex) a v oděru, která se za mokra dokonce asi o 20 % zvyšuje. Cena vláken je od 1,5 do 2,5 €/kg. Mikroskopické snímky vláken jsou na obr. 7.

Obr.7. Mikroskopické snímky přírodních bavlněných vláken (SEM)



## Vlákná buničiny

Buničina se vyrábí jak z jednoletých, tak i z víceletých rostlin. Buničina obsahuje zhruba 85 % celulózy, 14 % hemicelulózy a 1 % ligninových podílů. Její vlastnosti se liší podle způsobu výroby, založené vždy na chemickém rozrušení dřevní hmoty ve vodném prostředí účinkem chemických činidel. Těmi jsou buď látky vytvářející vhodné alkalické prostředí, např. varné roztoky hydroxidu a sulfidu sodného získávaného přímo v procesu ze síranu sodného (sulfátový postup), nebo prostředí kyselé s varnými roztoky hydrogensířičitanů, bisulfitů (sulfitový postup). V současné době se cena pohybuje kolem 0,45 €/kg dle nakupovaného objemu. Mikroskopické snímky vláken jsou ukázány na obr.

8.

## Vlákná juty

Jutové textilní vlákno, zkráceně juta, se získává z různých druhů jutovníku, který roste jen ve vlhkých tropických podmínkách. Roční světová produkce obnášela v roce 2007 asi 3,2 miliony tun. Mikroskopické snímky vláken jsou ukázány na obr. 9.

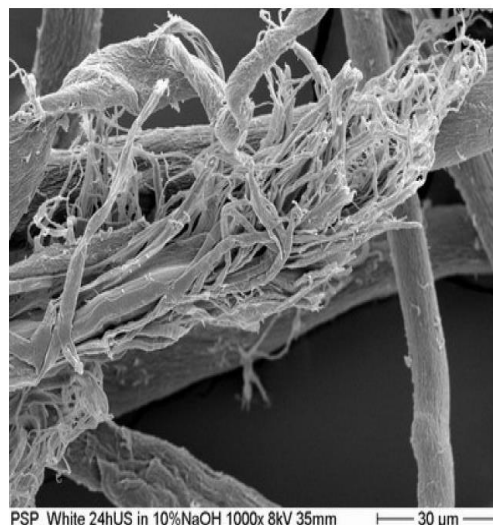
Obr.9. Mikroskopické snímky přírodních jutových vláken (SEM)

## Vlákná kokosu

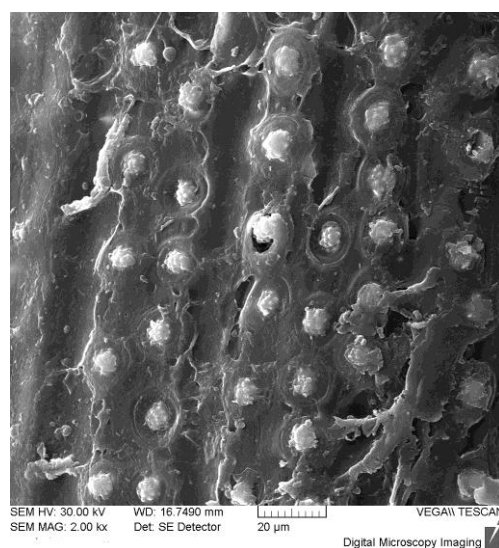
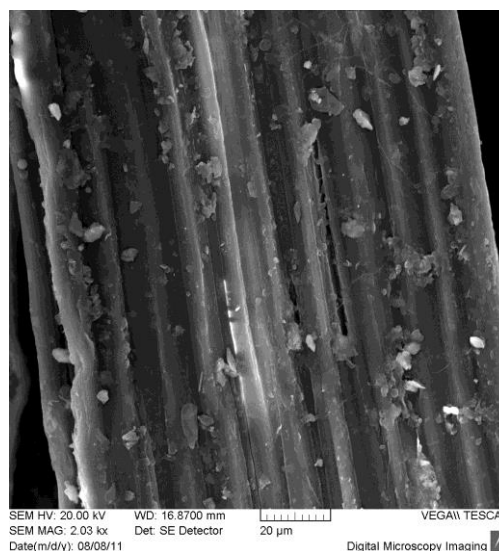
Kokosové vlákno pochází z kůry plodů kokosové palmy. Kvalitní pružná vlákna se získávají z nedozrálých ořechů. Kůra plodů se několik měsíců máčí v mořské vodě, aby se svazky vláken uvolnily od pektinového obalu, a pak se rozvolňují na jednotlivá vlákna k dalšímu použití. Světová produkce se odhaduje na 600 000 tun za rok. Délka je 15-35 cm, tloušťka 0,3-1 mm (cca. 25x hrubší než bavlna).

Vlákno má vysokou pevnost v oděru, je pružné a odolné proti hnilobě a dobře izoluje proti hluku. Mikroskopické snímky vláken jsou ukázány na obr. 10.

Obr.10. Mikroskopické snímky přírodních kokosových vláken (SEM)



Obr.8. Mikroskopické snímky přírodních vláken buničiny (SEM)



## Vláčna konopí

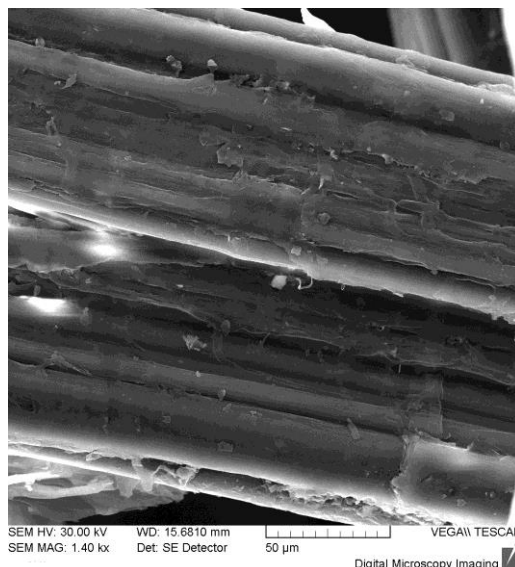
Konopná vlákna se získávají ze stonku konopí setého. Pevnost vlákna, která za sucha dosahuje až 690 mN/tex, je v průměru vyšší než u lnu a zvyšuje se za mokra až o 20%. Konopí má ze všech přírodních vláken nejlepší odolnost proti vlivům povětrnosti. Rostlina může dosáhnout až 3,5 m délky. Výnos surové slamy se pohybuje mezi 5 a 11 t/ha, výrobní náklady na tunu konopné slámy se kalkulují, např. v Německu, na cca. 250 €. Ze slámy se dá získat průměrně 28 % vláken pro textilní a technické účely a 55 % pazdeří na stavební materiál, slámu pro stáje, aj. Mikroskopické snímky vláken jsou na obr. 11.



Obr.11. Mikroskopické snímky přírodních vláken konopí (SEM)

## Vláčna lnu

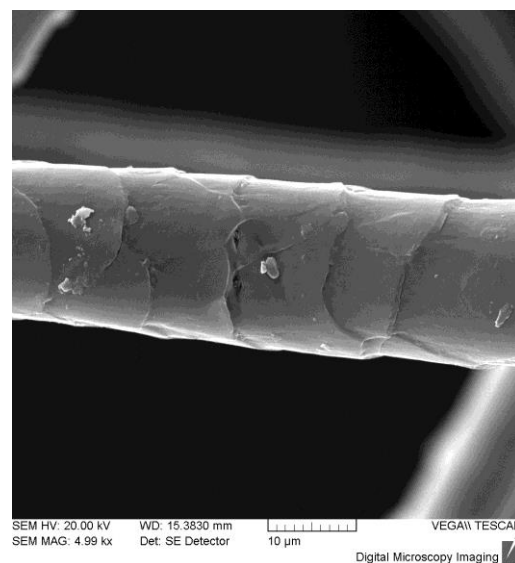
Lněné textilní vlákno se získává ze stonku lnu setého. V surovém lnu tvoří jednotlivá 20 – 50 mm dlouhá vlákna. Elementární vlákno je v průměru o něco delší a s 5 – 8 cN/dtex pevnější než například bavlna. Pevnost za mokra se zvyšuje až o 20 %. Vlákna mají malou pružnost a dobrou vodivost tepla. Mikroskopické snímky vláken jsou ukázány na obr. 12.



Obr.12. Mikroskopické snímky přírodních lněných vláken (SEM)

## Vláčna ovce

Surová vlna obsahuje v průměru jen méně než polovinu váhového množství vláken, 10–45 % je tuk a pot, 5–20 % jsou nečistoty. Mimo toho mohou vlákna pojmout až 20 % vlhkosti. Tuk a pot se odstraňuje praním a rostlinné příměsi se karbonizují. Čistě vlákno sestává z keratinu, pigmentu a chemicky vázané vlhkosti. Z chemických prvků je 50 % zastoupen uhlík, 40 % kyslík a dusík. Povrch vlákna je šupinovitý (viz obr. 13). Zvláštní struktura řetězcové molekuly dává vláknu vynikající pružnost a ohebnost, ale tím je také méně pevná než jiná vlákna. Cena vláken se pohybuje kolem 0,8 €/kg.



Obr.13. Mikroskopické snímky přírodních ovčích vláken (SEM)

### 3. BIOPOLYMERY

Biopolymery jsou makromolekulární látky biologického původu, které tvoří základ živých soustav, a které vznikají kondenzací malých molekul (monomerů).

Díky své chemické struktuře jsou snadno biologicky rozložitelné a po splnění své funkce se opět stanou součástí přírodního cyklu. Biopolymery se od syntetických polymerů liší především stavbou polymerního řetězce, který vždy obsahuje kyslík nebo dusík, a složitější strukturou molekul. Právě přítomnost těchto prvků umožňuje biopolymerům biologický rozklad [7].

Biopolymery jsou vhodnou alternativou ke konvenčním plastům zejména pro výrobu výrobků na jedno použití, jako jsou pytle na odpady a kompost, servírovací předměty určené pro rychlé občerstvení (přístroje, kelímky, tácky), obaly pro potravinářský průmysl (kelímky od jogurtů, lahve pro vodu apod.), nebo produkty používané v zemědělství (mulčovací fólie, ochranné fólie apod.).

Kromě využití biopolymerů jako alternativy ke konvenčním plastům v obalové technice mohou být tyto polymery využity i ke zcela novým aplikacím, např. pro výrobu vysoce specializovaných biomedicínských materiálů. Mezi tyto se řadí moderní obvazové materiály, vstřebatelné šicí materiály, speciální ortopedické náhrady zajišťující mechanickou integritu poraněných kostí při jejich hojení nebo prvky umožňující zapouzdření a řízené uvolňování léčiv.

Jaké další aplikační oblasti se budou dále rozšiřovat, závisí na rozvoji výrobních a zpracovatelských technologií.

Biopolymery na bázi obnovitelných zdrojů můžeme rozdělit na dvě základní skupiny:

- Biopolymery přírodního původu produkované živými organismy:
  - polysacharidy (škrob, celulóza, lignin, chitin a chitosan)
  - proteiny (kolagen, želatina, kasein, zein, gluten)
  - polyestery produkované mikroorganismy (PHA – PHB, PHV, PHH)
- Speciální „syntetické“ biopolymery získávané chemickými syntézami z přírodních monomerů (PLA, PGA)

První skupinu tvoří biopolymery přírodního původu, které jsou produkovány živými organismy (rostlinami, zvířaty a mikroorganismy) jako vysokomolekulární látky. Druhou skupinu tvoří speciální biopolymery, někdy označované jako syntetické. Tyto materiály jsou syntetizovány z tzv. biomolekul – monomerů, které se v přírodě nacházejí, ale nevykazují parametry vysokomolekulárních látek. Chemickými reakcemi jsou z nich vytvářeny biodegradovatelné polymery, které vykazují vlastnosti skutečných biopolymerů.

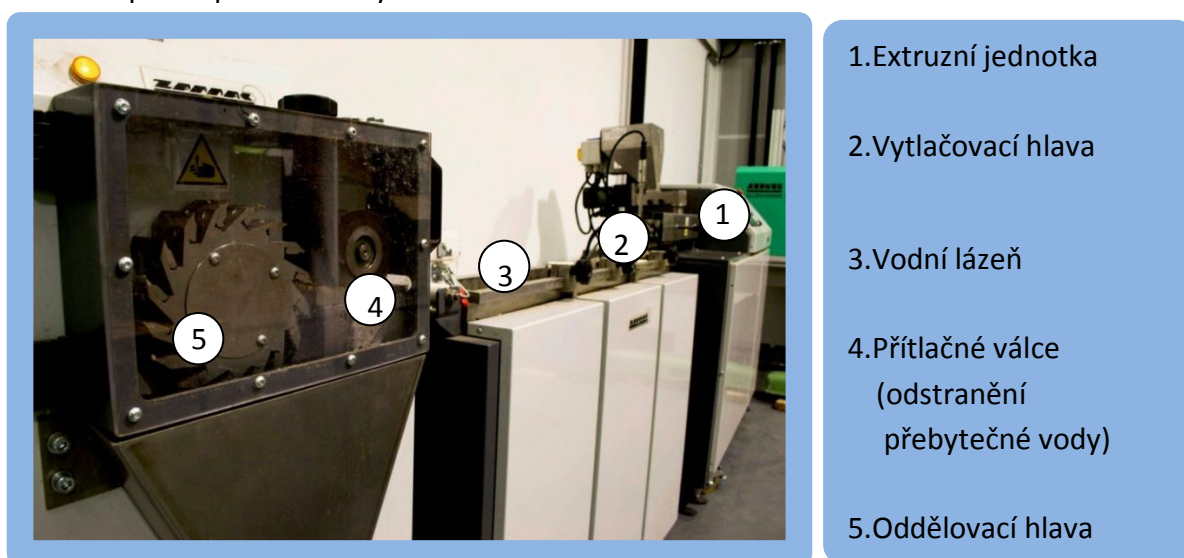
V současné době patří mezi nejvíce využívané biologicky rozložitelné plasty škrobové polymery, kyselina polymléčná (PLA) a polyhydroxyalkanoáty (PHA) [8].

### 4. PŘÍPRAVNÉ TECHNOLOGIE

V polymerních materiálech, tak jak se v praxi používají, není až na výjimky zastoupena jenom samotná makromolekulární látka, nýbrž téměř vždy se do nich přidávají přísady, viz

kapitola 1, které v širokém rozsahu ovlivňují jejich výsledné vlastnosti [2]. Kromě typu a množství přísad je dalším důležitým prvkem jejich vzájemná distribuce. Proto jsou za účelem dosažení maximální rovnoměrnosti rozložení komponent před finální stupeň výroby zařazovány mísící stanoviště. Na dnešním trhu je možné nalézt několik typů míchacích zařízení. Mezi nejstarší zařízení patří horizontální bubnové, pásové či vertikální lopatkové „míchačky“ určené pro míchání práškových hmot, lepidel, past, kaší. Modernějšími zařízeními jsou například vysokootáčkové fluidní „míchačky“ dosahující obvodových rychlostí až 60 m/s a speciální míchačky, které dosahují míchacího účinku rozdělováním taveniny do několika proudů, jejich následným směřováním a opětovným rozdělením [1].

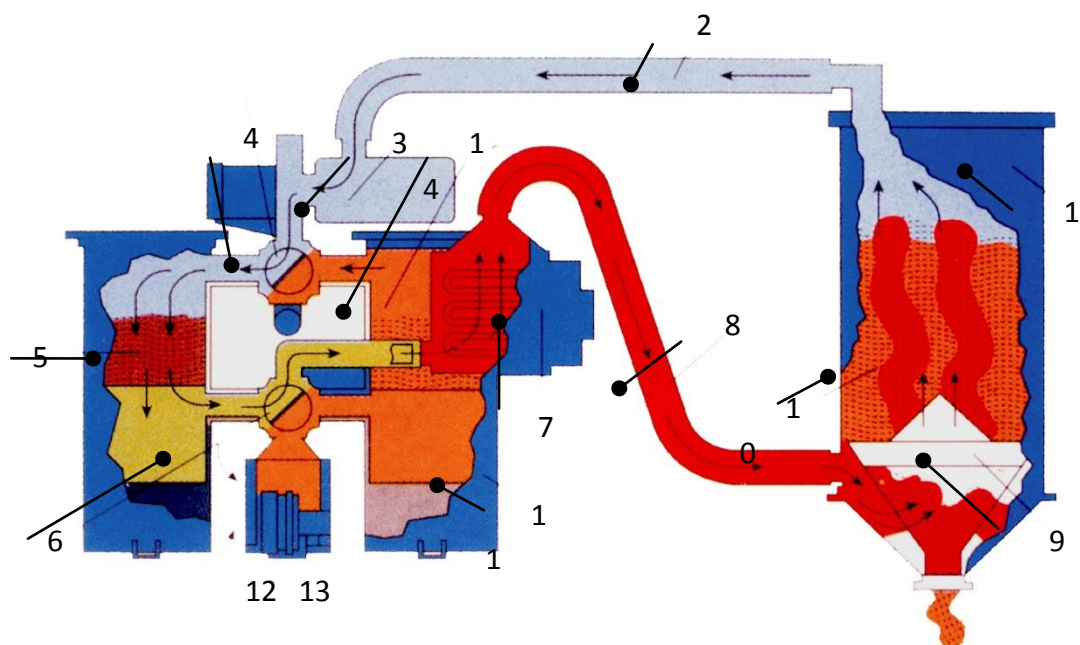
Finálním stupněm přípravy kompozitního materiálu je granulace. Granulace je proces, kde je materiál termicky zpracováván a tvarován do tvaru válečků, čoček, krychliček nebo kuliček (dáno technologií výroby), které se vyznačují dobrou mísitelností a sypností. Z hlediska technologického lze proces granulace rozdělit na granulaci za studena, za tepla, granulaci suchou a granulaci pod vodou. Mezi nepoužívanější způsoby granulace patří granulace za studena vytlačováním strun. Vytlačované struny jsou vedeny přes vodní ochlazovací lázeň k „dělicí hlavě“, kde jsou po odstranění přebytečné vody sekány, viz obr. 14. Výhodou granulace za studena je vysoká produktivita (až 2000 kg/h), na druhou stranu je potřeba počítat se zvýšeným obsahem vody v granulátu, zvláště u silně navlhavých a hydrofobických materiálů. Tyto limity odstraňuje granulace za tepla. Granulace za tepla je však vhodná pouze pro materiály s dostatečnou viskozitou.



Obr.14. Extruzní vytlačovací linka, granulace za studena vytlačováním strun

Jak již bylo uvedeno, některé polymerní materiály mají vysokou schopnost absorpce vody (nejvíce absorbují vodu materiály obsahující v makromolekule skupiny -OH-, -COOH-, -NH-, -O-), v takovýchto případech hovoříme o navlhavých polymerech. Mezi velmi navlhavé polymerní materiály patří např. POM, PMMA, PVC, PA6, PUR a mezi materiály, které nenavlhají prakticky vůbec např. PE, PP, PS. Vlhkost vázaná v materiálu je velmi nežádoucím prvkem. Během zpracování, totiž způsobuje tvorbu vodních pár v tavenině a evokuje tak vznik povrchových vad produktu (šmouhy, bubliny). Kromě vzniku vzhledových vad dochází

rovněž k zhoršení mechanických vlastností (snížení pevnosti, tuhosti), zhoršení fyzikálních, dielektrických, tepelných vlastností a změně reologického chování taveniny (zvýšení tekutosti) [9]. Je nutné si také uvědomit, že kromě navlhavosti polymerního materiálu kompozitu musí být brána v potaz i navlhavost jeho přísad, zejména plniv. Některé plniva, a to zejména organická plniva na bázi celulózy (bavlna, dřevěná moučka, kokos, juta, kenaf, atd.) jsou totiž silně hydrofobická a zapříčiňují, že i nenavlhavé polymery je nutno před zpracovatelským procesem sušit. Sušení je uskutečňováno ve speciálních zařízeních, sušárnách (viz obr. 15), kde hlavními technologickými parametry jsou teplota, relativní vlhkost a doba sušení. Se stoupající teplotou a klesající relativní vlhkostí cirkulujícího média (vzduchu) klesá doba nezbytná k sušení. Teplota procesu však musí být volena obezřetně, neboť příliš velká hodnota tohoto parametru by mohla vést k degradaci materiálu (rozkladu polymerního řetězce). Ve výrobních podnicích se nejčastěji můžete setkat s vysoce produktivními talkovými sušárnami a sušárnami snižující podíl vlhkosti v materiálu pomocí kontinuálního proudění suchého vzduchu (rosný bod  $-50^{\circ}\text{C}$ ).

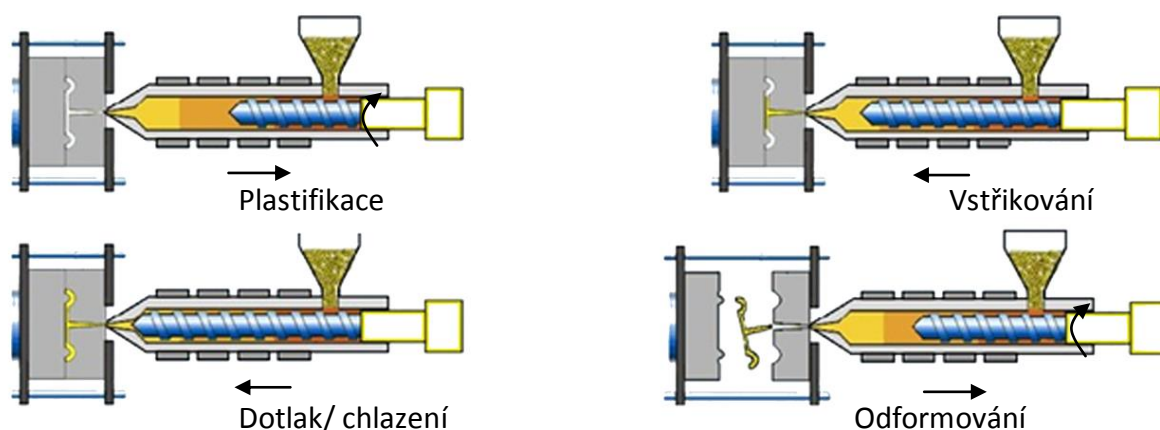


1 – Zásobník materiálu, 2 - vlhký vzduch, 3 – dvoustupňový filtr, 4 – čtyřcestný ventil (sušení), 5 – proces sušení, 6 – čtyřcestný ventil (ohřívání), 7 – proces ohřívání, 8 – proud čistého suchého vzduchu, 9 – vzduchový difuzor, 10 – materiál v počáteční fázi sušení, 11 – regenerační sušící věž, 12 – reaktivační filtr, 13 - reaktivační ohřívač

Obr.15. Schéma sušení polymerních materiálů [10]

## 5. VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikovací plastů je cyklický ani-izotermický, nestacionární, vysoce produktivní tvářecí proces zhotovující tvarově složité výrobky o vysoké rozměrové přesnosti. Jedná se o nejrozšířenější způsob zpracování polymerních materiálů, jehož využití naleznete ve všech odvětvích průmyslu. První vstřikovací stroj- pístový, byl vynalezen již koncem devatenáctého století (1872) braty Hayttesovými [11]. Nízká produktivita této výrobní varianty však byla důvodem nahrazení pístových strojů výkonnějšími šnekovými stroji (1947), jež jsou používány s určitými úpravami dodnes.



Obr.16. Princip vstřikovacího procesu

Princip výrobního procesu lze charakterizovat následovně (obr. 16): Plast v podobě granulí se nasype do násypky; granule jsou unášeny otáčejícím se šnekem; vlivem třecích sil a dodané tepelné energie (elektrické topné zóny) dochází k jejich tavení; natavený materiál je hromaděn v ústí šneku; po skončení plastikační fáze (šnek se otáčí a zároveň „ustupuje“) následuje fáze vstřikovací – plnění dutiny formy taveninou pod vysokým tlakem (šnek koná pouze axiální pohyb směrem vpřed); poté co je dutina zcela zaplněna výrobek chladne- odvod tepelné energie temperačním systémem formy; v okamžiku dostatečné tvarové stability produktu dochází k otevření formy; sejmutí výrobku z formy; opětovnému uzavření formy a celý cyklus se kontinuálně opakuje.

### 5.1 Šnekové vstřikovací stroje

Na dnešním trhu je možné nalézt několik typu vstřikovacích strojů, jako např. stroje s horizontální či vertikální polohou vstřikování; stroje se sloupkovým či bez-sloupkovým vedením; stroje s před-plastikací či bez před-plastikace; stroje pro termoplasty, reaktoplasty či kaučuky; stroje s hydraulickým, elektrickým či kombinovaným pohonem a mnoho dalších variant [1]. Mezi nejpoužívanější produkční variantou patří horizontální hydraulické sloupkové šnekové vstřikovací stroje. Za zmínku však stojí, že během několika posledních let prudce vrůstá prodej plně elektrických strojů (Japonsko 50%, USA 25-35%, Evropa 3%). Výhodou těchto strojů je totiž energetická úspora (až 50%), vyšší účinnost, přesnost el. pohonů a jejich nižší hlučnost. Na druhou stranu je nutno počítat s vyššími nároky na údržbu a servis, konstrukčními úpravami starších forem (tahače jader), atd.

Zaměříme-li se podrobněji na konstrukci vstřikovacích strojů, můžeme ve vstřikovacím systému nalézt tři základní funkční jednotky. Těmito jednotkami jsou vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka a řídicí jednotka, viz obr. 17.



Obr.17. Funkční jednotky vstřikovacího stroje [12]

### Vstřikovací jednotka

Hlavním úkolem vstřikovací jednotky je plastifikace polymerních materiálů, tedy dosažení takové viskozity materiálu, která za působení vnějších sil umožňuje jeho tok a zaplnění dutiny formy. Šnekové vstřikovací jednotky se sestávají z násypky tlakové komory, topných zón, šneku, trysky a pohonů. Charakteristickými parametry jednotek je plastikační kapacita  $Q_p$  [kg/h] udávající maximální objem taveniny, kterou je stroj schopen převést do plastického stavu za jednotku času a také vstřikovací kapacita  $Q_v$  [cm<sup>3</sup>] představující maximální možný objem vstřikované taveniny v jednom produkčním cyklu [2]. Na hodnoty vstřikovací i plastikační kapacity má zásadní vliv konstrukce šneku, jeho geometrie, průměr, délka, kompresní poměr, atd. Z hlediska funkčnosti je možné šneky rozdělit do třech částí a to částí dopravní, kompresní a homogenizační. Dopravní část šneku, kde je kompresní poměr nejmenší slouží k stlačování (vytěsnění vzduchu) a posunutí vstupujícího materiálu (granulátu) do dalších fází procesu. Vstupující polymer nesmí v lokaci pod násypkou vytvořit tzv. „zátku“ znemožňující jeho další transfer. Proto je ohřev materiálu situován až na konci dopravní části šneku. V následující části šneku, kompresní části, dochází k intenzivnímu tání granulátu. Materiál zde taje v důsledku působení třecích sil (2/3 potřebné energie na plastifikaci materiálu) a tepelné energie předané topnými zónami. Úkolem poslední části šneku, kde je kompresní poměr nejnižší, je dosažení maximální homogenity taveniny.

### Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zajištění pohybové disponibility výrobního nástroje, tj. jeho zavírání a otevírání. Charakteristickým parametrem jednotky je velikost uzavírací síly, která nesmí být nižší než je síla taveniny působící na stěny formy (daná vstřikovacím tlakem a plochou průřezu produktu do dělicí roviny). Takovýto případ by totiž způsobil pootevření formy a tvorbu nesprávných výrobků, tzv. „zmetků“. Současné moderní vstřikovací stroje mají, s cílem zefektivnění strojních časů, programovatelnou rychlost a sílu uzavírání nástroje. Mezi nejpoužívanější uzavírací systémy stále patří systémy hydraulické, mechanické a také systémy hydraulicko-mechanické (hybridní) [1].

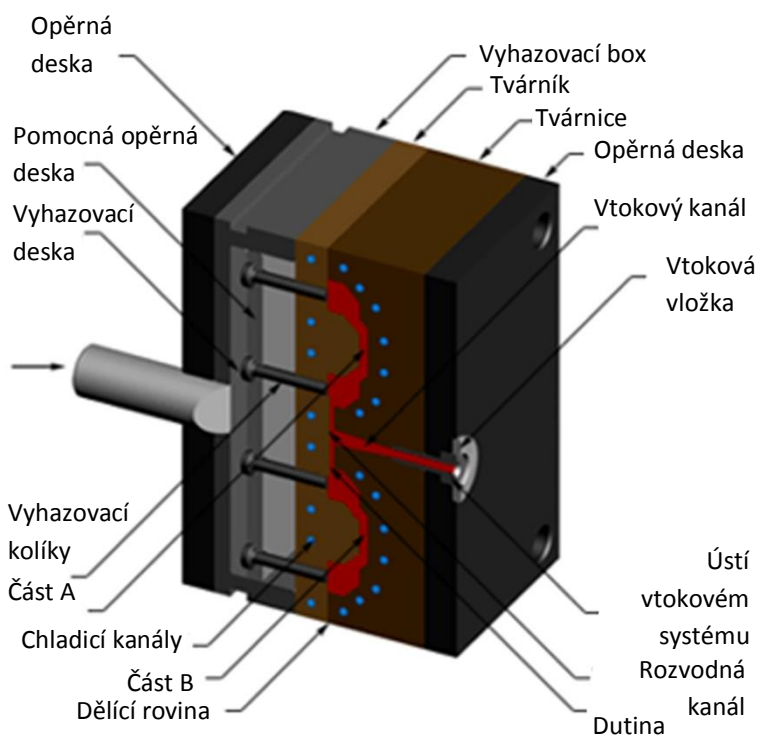
### Řídící jednotka

Řídící jednotka zajišťuje vzájemnou komunikaci jednotlivých členů soustavy vstřikovacího stroje a umožňuje (prostřednictvím ovládacího rozhraní) časové nastavení a kontrolu teplotně – tlakových charakteristik. Mezi základní nastavitelné procesní parametry patří například teplota taveniny, temperační teplota formy, otáčky šneku, rychlost pohybu a dráha šneku, vstřikovací tlak a dotlak, časy plastikace, injektáže, dotlaku, strojní časy, atd.

## 5.2 Forma

Výrobními nástroji vstřikovacího procesu zajišťující dosažení žádaného tvaru a rozměrů výrobku jsou formy. Vstřikovací formy jsou komplexní výrobní nástroje, které umožňují přívod taveniny polymeru od vtokové trysky stroje přes soustavu kanálů, neboli vtokový systém, do jednotlivých kavit výrobků; tuhnutí výrobku, díky odvodu tepelné energie přes temperační systém a od-formování výrobku, které je zajištěno vyhazovacím mechanismem.

Typická vstřikovací forma, viz obr. 18, se sestává ze standardizovaných dílů, jako jsou rozpěrky, středící kroužky, vtokové vložky; upínacích, opěrných desek, desek tvárníků, které mají pozitivních tvar výrobku, jež je zvětšený o smrštění výrobku a tvárnice negativního tvar výrobku. Vstřikovací formy lze rozdělit z hlediska konstrukce vstřikovacího stroje na formy s vtokem kolmým na dělicí rovinu a s vtokem do dělicí roviny; podle násobnosti na jedno a více násobné; podle konstrukčního řešení na dvou deskové, třídeskové, etážové, čelistové, vyšroubovovací, atd. Jako materiál vstřikovacích forem jsou vzhledem k vysokým zpracovatelským tlakům (desítky MPa) používány



Obr.18. Forma pro technologii vstřikování plastů [13]

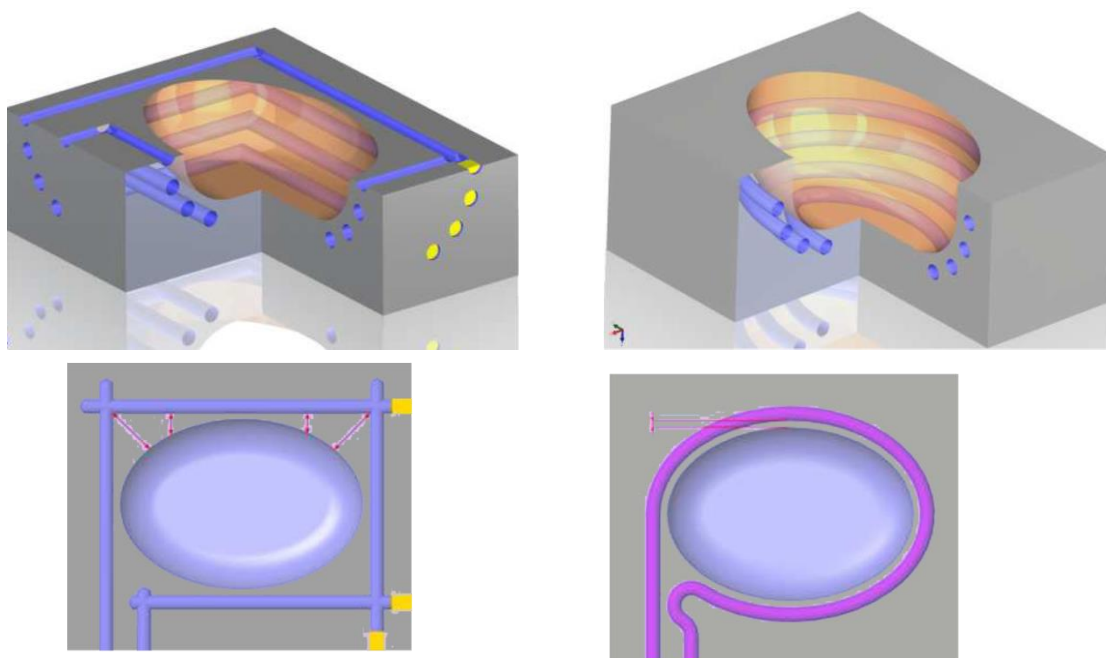
výhradně nástrojové oceli.

### **Vtokový systém**

Vtokový systém je jednou z nejdůležitějších částí formy, neboť vtokový kanál prodlužuje dráhu, kterou musí tavenina protéci, což se projevuje v negativním snížení teploty taveniny a vstřikovacího tlaku. Proto by měl být volen optimální tvar kanálů, s co nejkratší délkou a co největším průřezem.

### **Temperační systém**

Hlavní úkolem temperačního systému je rovnoměrný odvod tepelné energie ze všech lokací tuhnoucího výrobku. Ve vstřikovacích formách jsou proto realizovány temperační okruhy, zpravidla vrtané kanály, jejichž vzájemné propojení umožňuje cirkulaci chladiva. Důvod využívání technologie vrtání je nutno hledat v jednoduchosti a ekonomičnosti této výrobní technologie. Technologické limity vrtání, respektive frézování však bohužel v některých případech neumožňují optimálně kopírovat tvar produktu (viz obr. 19) a dosáhnout tak rovnoměrného teplotního odvodu. Tyto limity jsou impulsem pro hledání nových cest tvorby temperačních kanálů. Relativně novým a zřejmě velice zajímavým řešením je tzv. „Conformal“ chlazení – temperační kanály ideálně kopírující tvar produktu. Jako chladiva je používáno nejčastěji vody, pouze v případech kdy je vyžadována teplota temperačního média vyšší, než je bod varu vody (vstřikování tekutých silikonů, atd.) jsou za tímto účelem aplikovány oleje.



Obr.19. Nevýhody klasického způsobu konstrukce chladicích systémů vstřikovacích forem

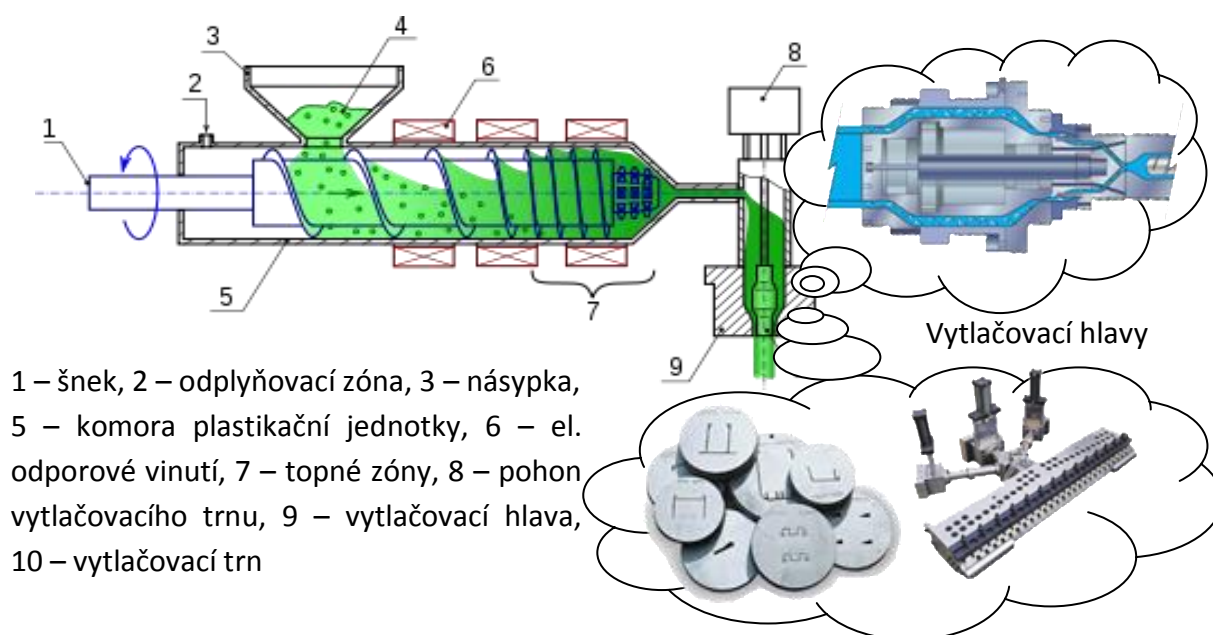
### **Vyhazovací systém**

Úkolem vyhazovacího systému je zajištění automatického od-formování výrobku. V současnosti existuje několik způsobů vyhazování, které jsou voleny dle geometrických

specifikací výrobku. Mezi nejčastěji používané systémy patří například vyhazovací systémy se stírací deskou, se stíracími kroužky a s trubkovým vyhazovačem.

## 6. VYTLAČOVÁNÍ PLASTŮ

Vytlačování polymerních materiálů a kompozitů je kontinuálním technologickým procesem, při němž je roztavený termoplast tlačěn (tvářen), nejčastěji otáčejícím se šnekem, přes profilovací otvor do volného prostoru, kde chladne. Vytlačováním se vyrábějí profily konstantního i proměnného průřezu (U, L), finální výrobky jako např. trubky, tyče, ale i polotovary (desky, fólie) určené k dalšímu zpracování (tvarování, vyfukování). Mezi technologickou aplikaci vytlačování patří rovněž oplášťování vodičů.



Obr.20. Schéma vytlačovacího stroje s vyznačenými funkčními částmi, typy vytlačovacích hlav

### 6.1 Stroj

Vytlačovací stroje se obdobně jako vstřikovací stroje sestávají z násypky pracovního válce, elektrických odporových pásů (topných zón), šneku obsahující dopravní, kompresní a homogenizační zónu (obr. 20). Rozdíl oproti vstřikovacímu stroji spočívá v pohybu šneku, který vykonává pouze rotační pohyb, a také v zakončení pracovního válce. Na konec pracovního válce jsou upínány příčné podélné, šikmé či široko-štěrbínové vytlačovací hlavy volené dle požadovaného vytlačovaného profilu. Vytlačovaný profil je následně veden do kalibrační (podtlakové, předvalkové) a ochlazovací části výrobní linky, kde dochází k tvarové a rozměrové fixace profilu. V poslední fázi výroby je extrudovaný produkt navíjen, dělen, případně potištěn. Vytlačovací stroje je možné dělit dle počtu šneků na jedno a více šnekové se stejným nebo rozdílným smyslem otáčení. Výhodou více-šnekových strojů je dosažení lepšího prohnětení a tedy homogenity materiálů. Dvou-šnekové stroje se výhodou využívají

pro zpracování špatně zpracovatelných hmot, a hmot citlivých na smykové nebo tepelné namáhání.

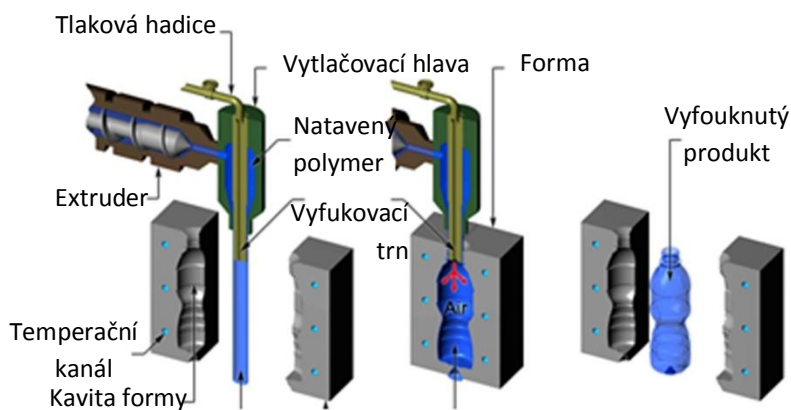
## 7. VYFUKOVÁNÍ PLASTŮ

Vyfukování je nízkotlakou technologií, která má majoritní postavení v produkci více či méně uzavřených výrobků o objemech několika ml, až po velkorozměrné produkty. Vyfukované produkty se uplatňují především v automobilovém, transportním a balicím průmyslu. V podobě nádrží na kapaliny kanystrů, barelů a lahví. Dále pak při výrobě hraček, elektroniky, farmaceutických, zahrádkářských, sportovních potřeb či volnočasových příslušenství.



Obr.21. Ukázka výrobků produkovaných technologií vyfukování [14]

Technologii vyfukování lze rozdělit na dva základní typy a to extruzní neboli vytlačovací vyfukování a vstřikovací vyfukování. Princip technologie **extruzního vyfukování**, která je jednoznačně nejrozšířenější technologií produkce dutých výrobků (2/3 produkce) [15] spočívá v převedení polymerního materiálu do plastického stavu, kdy hmota vykazuje dostatečnou tvarovatelnost (PP, PE cca 180°C), ale přitom si udržuje potřebnou soudržnost; extruzi polotovaru – parizonu tvaru „trubky“ protlačováním taveniny přes příčnou vytlačovací hlavu) a tvarování tlakovým vzduchem. Pro zajištění tvarové stability musí být dodaná tepelná energie opět odebrána. Výrobek tedy chladne ve vyfukovací formě za stálého působení tlaku (fáze chlazení). Po dosažení dostatečné tvarové stability dochází k odvětrání tlakového vzduchu, vyjmutí výrobku a následně se celý proces kontinuálně opakuje. Jsou-li porovnány časové charakteristiky jednotlivých fází procesu, je zřejmé, že jednoznačně nejdelší část zaujímá doba chlazení. Ta v závislosti na tvaru, velikosti, tloušťce, použitém materiálu činí řádově desítky sekund, až minuty, což v procentuálním vyjádření odpovídá 50 - 80% celkové doby výroby [15].



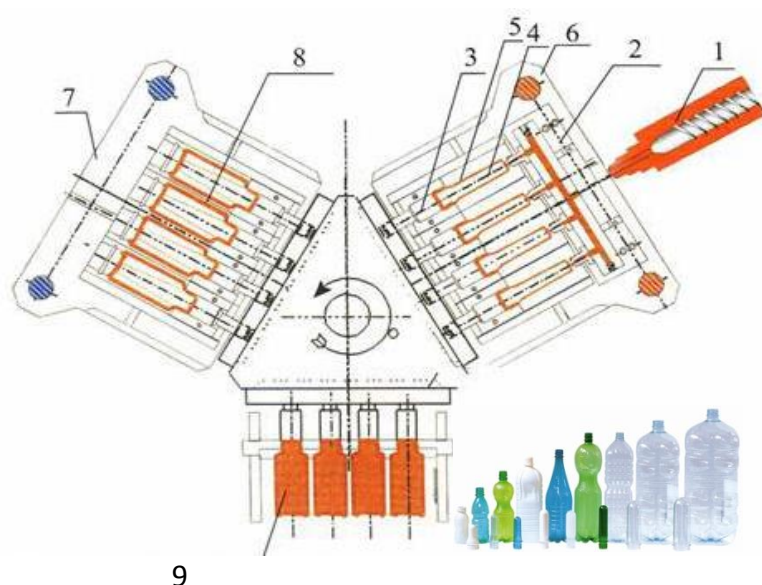
Obr.22. Princip extruzního vytlačování



Obr. 23 Nepřímý způsob vytlačování

Přímým vytlačováním parizonu s následným vyfouknutím se vyrábějí dutá tělesa do objemu několika litrů. U větších těles by proces tvorby polotovaru trval příliš dlouho. Docházelo by k výrazným diferencím v distribuci teplot parizonu (vlivem ochlazování na vzduchu) a k protahování parizonu (vlivem působení gravitačních sil), což by mohlo způsobit tvorbu značně nerovnoměrné tloušťky stěny produktu [2]. Proto se velké nádoby, jako např. sudy, nádrže, atd. vyrábějí na vytlačovacích strojích se zásobníkem zplastikované hmoty, kde je tavenina hromaděna. Jakmile je zásobník naplněn, je hmota během několika sekund vytlačena mezi čelisti vyfukovací formy. Další fáze výroby již probíhají běžným způsobem.

Další vyfukovací technologií zhotovující více či méně uzavřené duté produkty je **vstřikovací vyfukování**. Hlavní rozdíl mezi oběma technologiemi spočívá v tvorbě polotovaru zvaného „preforma“ (polo-uzavřená nádobka obsahující hrdlo s kompletním závitem), který zde není tvořen extruzí šneku nýbrž na vstřikovacím stroji. Preforma, která se nachází ještě v plastickém stavu, je následně přesunuta do vyfukovací jednotky, kde dochází stejně jako v předcházejícím případě k tvarování tlakovým vzduchem, chlazení a od-formování výrobku. Další možností je oddělení obou výrobních fází. V tomto případě nastává zchladnutí předlisku, jeho přemístění (do jiného výrobního podniku), opětovné uvedení do tvárného stavu a vyfouknutí produktu na vyfukovacím stroji. Výhodou vstřikovacího vyfukování je, že pokud se používá živý vtok, tak prakticky neexistuje technologický odpad; hrdlo se závitem i dno mají vysokou kvalitu, neboť neobsahují svar; lze vyrábět předlisky s proměnnou tloušťkou stěny a dosáhnout tak rovnoměrné tloušťky stěny u odstupňovaných výrobků. Nevýhodou je potřeba dvou forem; složité výrobní zařízení; plast musí být vhodný jak pro vyfukování, tak i pro vstřikování; velikost výrobků je omezena velikostí předlisku [1]. Z hlediska ekonomického je tato technologie využívána především pro výrobu velkých sérií a mezi nejznámější produkty patří PET lahve.



1. Vstřikovací jednotka
2. Vtokový systém
3. Uchycení trnu na otočný systém
4. Preforma
5. Ocelový trn
6. Fáze vstřikování
7. Fáze vyfukování
8. Kavita vyfukovací formy
9. Výrobek

Obr.24. Proces výroby vstřikovacího vyfukování (nepřerušovaný) [16]

## 7.1 Stroj

**Extruzní vyfukovací** stroje se stávají z plastikační jednotky, vyfukovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicí jednotky.

*Plastikační jednotka* obsahuje - násypku; pohon šneku (elektromotor); komoru, ve které je uložen šnek; topné zóny a vytlačovací hlavu. Šnek má jen krátkou dopravní a kompresní část, ale dlouhou část hnětací. Důležité je, aby pracoval bez pulsací. Pulsace by totiž mohly evokovat tvorbu nerovnoměrné tloušťky stěny či dokonce vznik bublin. Plastikační kapacita vytlačovacího stroje musí být v souladu s kapacitou vyfukovací jednotky. Topné zóny musí umožnit regulovatelnost teplot komory, při minimálním kolísání nastavených hodnot. Vytlačovací hlava, nejčastěji příčná s kruhovou hubicí by měla umožnit regulovatelnost tloušťky stěny parizonu, centrování parizonu a snadnou výměnu hubice.

*Vyfukovací jednotka* zajišťuje tvarování parizonu tlakovým vzduchem o parametrech 0,5 až 1,5 MPa. Základními prvky vyfukovací jednotky jsou zařízení zajišťující tlakový vzduch (kompresor); vyfukovací a kalibrační trn. Kalibrační trn je svou geometrií navržen, tak aby zajistil vylisování otvoru v hrdle (včetně tvorby tvarových částí, jako např. závitů lahve). Jelikož každý výrobek má svá geometrická specifika, je nutné zajištění snadné demontovatelnosti kalibračního trnu. Vyfukovací trn slouží jednak pro přívod tlakového média do vnitřních prostor produktu, ale také k odvodu části tepelné energie, k čemuž je využíváno konstrukční úpravy trnu umožňující cirkulaci kapalného média.

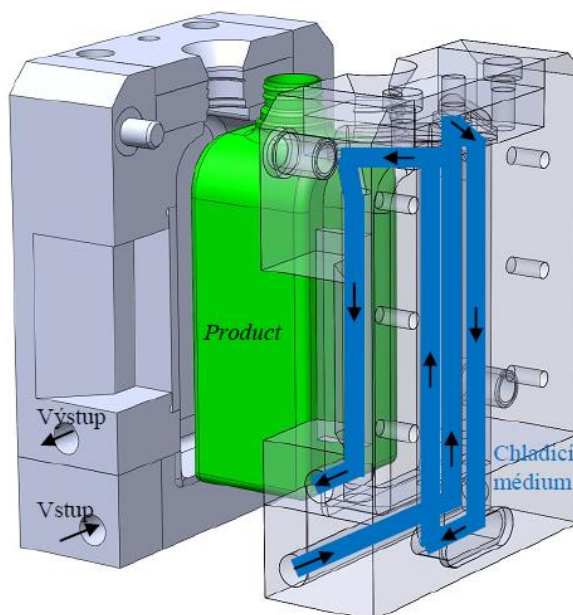
Primárním úkolem *uzavírací jednotky* je zajištění bezpečného uzavření formy během fáze tvarování a chladnutí. Oproti technologii vstřikování, zde není materiál tvarován tak vysokými tlaky, což umožňuje aplikace jednodušších konstrukčních variant uzavíracích jednotek. Nejběžnější používané způsoby uzavírání jsou pneumaticky ovládané mechanismy, jako např. klika, zuby, hřeben, páka, klíny.

*Řídící jednotka* je „mozkem“ celého výrobního zařízení, který umožňuje nastavení a kontrolu všech procesních parametrů (teplot topných zón, otáček šneku, strojních časů, doby vyfukování, chlazení, odvětrávání, atd.). U moderních extruzních vyfukovacích strojů řídící jednotka umožňuje také programovatelný průběh vytlačování parizonu s cílem zajistit co nejvíce rovnoměrnou tloušťku stěny produktu (úspora materiálu). Tloušťku parizonu lze například měnit buď axiálním pohybem trnu v hubici, nebo naopak pohybem hubice při konstantní poloze trnu. Nejmoderněji řešený způsob zrovnoměnění tloušťky stěny spočívá v použití flexibilního prstence, kde dva pohony (např. servo-hydraulické) deformují dynamicky flexibilní prstenec pomocí natahování a stlačování, což umožňuje vytvářet požadovanou obvodovou tloušťku parizonu. Zároveň je možno použít axiální změny polohy vytlačovacího trnu či hubice.

**Vstřikovací vyfukovací** stroje se rovněž sestávají z vyfukovací, uzavírací a řídící jednotky, jejichž funkce je obdobná jako u extruzních vyfukovacích strojů. Hlavní rozdíl mezi oběma technologiemi spočívá v plastikační jednotce. Jelikož byla plastikační jednotka vstřikovacího stroje podrobně vysvětlena v kapitole 4 nebude zde dále rozebírána.

## 7.2 Forma

Vyfukovací formy slouží k tvarování polymerního materiálu a jeho fixaci za pomoci odvodu tepelné energie. Při konstrukci vyfukovacích forem pro extruzní vyfukování je nutno věnovat pozornost správnému řešení svařovacích hran, mezi kterými dochází k stisknutí parizonu a oddělení jeho přebytku (ve dně a okolí hrdla). Místa svaru musí být navržena tak, aby bylo zajištěno pevné spojení plastu. Dalším důležitým faktorem procesu tvarování produktu je odvodu vzduchu. Polotovár (parizon, preforma), totiž zaujímá z konečného objemu výrobku pouze malou část, asi 20%. Z dutiny formy musí být proto během procesu tvarování vytlačeno poměrně velké množství vzduchu. Uzavřený vzduch by totiž bránil správnému vytvarování výrobku či v krajním případě mohl dokonce způsobit vznik vad výrobku. K odvedení vzduchu ve většině případů stačí nerovnosti v dělicí rovině. V případě, že tomu tak není, je třeba dodatečně vytvořit ve formě odvodu vzdušňovací drážky. Další funkcí formy je fixace tvaru produktu odvodem tepelné energie, zchlazením produktu. Tepelná energie z roztaveného polymeru je ve vyfukovacím procesu odváděna jednak pomocí vnějšího systému, chlazením ve formě, a také pomocí plynného média přiváděného do vnitřních částí formy, čili vnitřního chladicího systému. Temperační systém formy si lze představit jako systém vrtaných kanálů, které jsou vzájemně propojeny, což umožňuje cirkulaci chladiva, standardně vody, viz obr. 25. Jsou-li porovnány oba systémy, je zřejmé, že vnější chladicí systém dosahuje výrazně vyšších



účinností. Důvodem je obecně špatná tepelná vodivost vyfukovacího/ chladicího média, kde je standardně používán vzduch o teplotě okolí. Z hlediska efektivity chladicího procesu je proto výhodné udržovat teploty cirkulujícího média v temperančních okruzích formy na co nejnižších hodnotách. Je však nezbytné vyvarovat se příliš nízkým teplotám (méně jak 5°C, dle klimatických podmínek) ochlazující formu pod rosný bod. Takovéto ochlazení totiž evokuje kondenzaci vody na povrchu forem a způsobuje vznik povrchových vad výrobků. Navíc velké rozdíly v odvodu tepelné energie na rozhraní stěna formy/ roztavený polymer/ interní prostředí mohou způsobit tvorbu nežádoucích jevů, jako vznik nerovnoměrné struktury, vnitřního pnutí či dokonce deformací produktu [17], [18].

Jak již bylo představeno, vyfukovací formy nejsou vystaveny takovým tlakům, jako při technologii vstřikování, což umožňuje použití materiálů nižších pevnostních specifikací. S výhodou tak mohou být využity materiály s vyšší tepelnou vodivostí, jako slitiny hliníku a mědi.

## 8 Použitá literatura

- [1] LENFELD P.: Technologie II. – 2. Část (Zpracování plastů). Skripta. Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7372-020-5.
- [2] KREBS, J. Teorie zpracování nekovových materiálů. VŠST Liberec, 1991.
- [3] [on line 03.2014] <http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm>
- [4] [on line 03.2014] <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/vip.htm>
- [5] BĚHÁLEK, L.; POUPA, T.: Morphology of Polymeric parts and their physical – mechanical properties in dependence on the thermal load of mould. In Acta Mechanica, 2.B/2006. Košice: TU v Košicích, 2006. ISBN 1335 – 2393.
- [6] LEWIN, M. Handbook of Fiber Chemistry. 3rd Edition, CRC Press, Taylor&Francis Group, 2007.
- [7] MOHANTY, K., A., MISRA, M., DRZAL, L., T. Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites. CRC Press, Taylor&Francis Group, 2005.
- [8] KROISOVÁ, D.: Biodegradovatelné polymery – úvod do problematiky. TU v Liberci, 2009. 78 s. ISBN 978-80-7372-468-9.
- [9] BĚHÁLEK, L.: Navlhavost a sušení plastů. Výukový text. KSP TUL, 2014.
- [10] [on line 04.2015] <http://www.ptonline.com/knowledgecenter/Plastics-Drying/Drying-Basics>
- [11] BRYCE, D. M. :Plastic Injection Molding: Manufacturing Startup and Management. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1999.
- [12] [on line 05.2014] <http://www.arburg.com/en/>.
- [13] [on line 05.2014] <http://www.mimpim.com/news/show.php?itemid=43>
- [14] [on line 05.2014] <http://www.ulai-india.com/blow-molding-machines.php>
- [15] ROSATO, D. V., ROSATO, A.V, DiMATHIA, D.P. Blow Moulding Handbok. München: HanserGardner Publications, 2004. p 199-2015, 243. ISBN 1-56990-343-3.
- [16] [on line 05.2014] <http://www.foodplastics.com.au/Products/Bottles/IBM-Process.aspx>
- [17] MICHAELI W., BRUMMER T. Reduction of cooling time by using atomized water in blow molding. In: Annual Technical Conference, Ohio, USA, 2007, vol 5, 2007, p 2137-2141.
- [18] JEONG. S. YU, DILHAN M. KALYON. Microstructure development in blow molded amorphous engineering plastics. Rubber and Composites Processing and Applications journal, 1991, vol 15, no 2, p 95-101.

## **Polymery a biopolymery**

Pavel Brdlík

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.