

# Polymery a plasty v praxi

# POLYESTERY

&

# *POLYESTERY*

RNDr. Ladislav Pospíšil, CSc.

[pospisil@gascontrolplast.cz](mailto:pospisil@gascontrolplast.cz)

[29716@mail.muni.cz](mailto:29716@mail.muni.cz)

# POLYESTERY – trochu chemie

- Na rozdíl od PE, PP, PVC a PS vznikají **POLYKONDENZACÍ** (co to je, rozdíl od např. radikálově iniciované polymerace)
- **POLYKONDENZACE** – zde funkční skupiny –OH a –COOH
- **Termoplastické polyestery**
- ***Termosetické polyestery***

# POLYESTERY - trochu chemie

- **TECHNICKÝ NÁZEV:** POLYESTER
- **TRIVIÁLNÍ NÁZEV** (příklad):  
polyethylentereftalát
- **Zkratka** (příklad): PETP, PBTP, ..
- **PET – nesprávná zkratka**
- **IUPAC název** (příklad):  
poly(oxyethylenoxytereftaloyl)



# POLYESTERY

## Termoplastické polyestery

- Polyethylentereftalát, zkratka: PETP
- Polybutylentereftalát, zkratka: PBTP

## *Termosetické polyestery*

- *Patří sem mnoho polymerů různého složení, zkratka: UP (Unsaturated Polyesters – NENASYCENÉ POLYESTERY),*

# POLYESTERY – MATERIÁLY BEZPOČTU POUŽITÍ

## Termoplastické polyestery

- **Vstřikování**, hlavně jako kompozity se skleněným vláknem
- **Vytlačování**
  - Vlákna & monofily (nejrozšířenější vlákno na světě, cca. 40 mil t/rok), data se mění k vyšším > **ČÍNA**
  - Fólie
  - Vázací pásy
  - Desky
- **VYFUKOVÁNÍ lahví - od roku 1973 (USA)**

# POLYAMIDY versus POLYESTERY

## TERMOPLASTICKÉ POLYESTERY

### POLYAMIDY

- SEMIKRYSTALICKÝ TERMOPLAST
- Krystalinita jen 30 – 50 % hmot.

#### PA6

- $T_g$  (SUCHÝ) 70 °C
- $T_m$  220 °C

#### PA66

- $T_g$  (SUCHÝ) 80 °C
- $T_m$  264 °C
- **NASÁKAVOST VODY:**  
jednotky % hmot.

- SEMIKRYSTALICKÝ TERMOPLAST
- Krystalinita jen 30 – 50 % hmot

#### PBTP

- $T_g$  50 °C
- $T_m$  220 °C

#### PETP

- $T_g$  67 °C
- $T_m$  266 °C
- **NASÁKAVOST VODY:**  
**DESETINY % hmot. .**

# POLYAMIDY versus POLYESTERY

## POLYAMIDY

- Vstřikování – ↑ ↑
- Vlákna - ↓
- Fólie – ↓
- Desky – ↓
- Láhve – ↓

## TERMOPLASTICKÉ POLYESTERY

- Vstřikování - ↓
- Vlákna – ↑ ↑
- Fólie – ↑
- Desky – ↓
- Láhve – ↑ ↑ ↑

# Termoplastické polyestery - PBTP

## Polybutylentereftalát, zkratka: PBTP

- Použití: hlavně vstřikování jako kompozit s krátkými skleněnými vlákny
- Ostatní technologie (vytlačování, vyfukování) jsou minoritní
- **HLAVNÍ NEDOSTATEK PBTP i PETP oproti POLYAMIDŮM je NÍZKÁ HOUŽEVNATOST**
- **Dalším je vysoká citlivost na vlhkost při zpracování, nutno sušit < 0,03 % vody**



# Termoplastické polyestery - PETP

## Polyethylentereftalát, zkratka: PETP

- Použití: hlavně vlákna (zvlákňování z taveniny)
  - Kablík (nekonečné vlákno)
  - Hedvábí a kord (nekonečné vlákno)
  - Stříž (krátká vlákna) > směsování s vlnou, bavlnou, atd.
- **Dloužení** dvoustupňově, pak srážení nebo fixace
- **Kopolykondenzace** – kyselina isoftalová nebo 5-sulfoizoftalová > **BARVITELNOST POVRCHOVĚ**, jinak jen ve hmotě (barviva a *pigmenty* – čím se liší?)

# Termoplastické polyestery - PETP

<u>Young's modulus (E)</u>	<b>2800–3100 <u>MPa</u></b>	<b>tuhost dobrá</b>
<u>Tensile strength(<math>\sigma_t</math>)</u>	<b>55–75 MPa</b>	<b>pevnost OK</b>
<u>notch test</u>	<b>3.6 <u>kJ/m<sup>2</sup></u></b>	<b>HOUŽEVNATOST MIZERNÁ</b>
<u>Glass transition temperature (T<sub>g</sub>)</u>	<b>67 to 81 <u>C</u></b>	<b>nekrystalické části !</b>
<u>Vicat B</u>	<b>82 C</b>	<b>vtačení kruhové jehly 1 mm<sup>2</sup> do hloubky 1 mm</b>
<u>linear expansion coefficient (<math>\alpha</math>)</u>	<b>7 10<sup>-5</sup>/K</b>	<b>slušné, lepší než PP i PE</b>
<b>Water absorption (ASTM)</b>	<b>0.16</b>	<b>VÝBORNÉ! SPORTOVNÍ OŠACENÍ!</b>

# Termoplastické polyestery - PETP

## Properties

<u>Molecular formula</u>	$(C_{10}H_8O_4)_n$	
<u>Molar mass</u>	variable	Ale nižší než PP i PE, protože to je polykondenzát
<u>Density</u>	1.38 g/cm <sup>3</sup> (20 C), <sup>[2]</sup> amorphous: 1.370 g/cm <sup>3</sup> , <sup>[1]</sup> single crystal: 1.455 g/cm <sup>3</sup> <sup>[1]</sup>	Proto nelze při recyklaci oddělit od PVC flotačně
<u>Melting point</u>	> 250 C, <sup>[2]</sup> 260 C <sup>[1]</sup>	
<u>Boiling point</u>	> 350 C (decomposes)	Při hoření neskapává, na rozdíl od PP, PE a PA, což je dobré
<u>Solubility in water</u>	practically insoluble <sup>[2]</sup>	To se dá čekat!
<u>Thermal conductivity</u>	0.15 <sup>[3]</sup> to 0.24 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> <sup>[1]</sup>	Kovy mají desítky až stovky

# Termoplastické polyestery - PETP

- Charakterizují se viskozitou v roztoku, většinou **LOGARITMICKÉ VISKOZITNÍ ČÍSLO (LVČ)**
  - **VYŠŠÍ LVČ > VYŠŠÍ MW**
- Nyní se objevují snahy používat i zde **INDEX TOKU TAVENINY**
- **Já dávám přednost : LOGARITMICKÉ VISKOZITNÍ ČÍSLO**
- Jsou i jiné viskozitní charakteristiky PETP v roztoku

# LOGARITMICKÉ VISKOZITNÍ ČÍSLO (LVČ)

## **Fiber grade**

0.40–0.70 Textile

0.72–0.98 Technical, tire cord

## **Film grade**

0.60–0.70 BoPET (biaxially oriented PET film)

0.70–1.00 Sheet grade for thermoforming

## **Bottle grade**

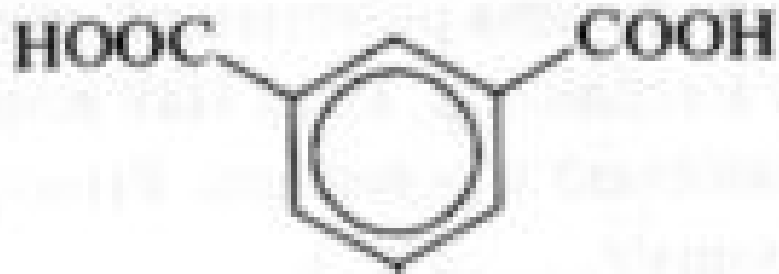
0.70–0.78 Water bottles (flat)

0.78–0.85 Carbonated soft drink grade

## **Monofilament, engineering plastic**

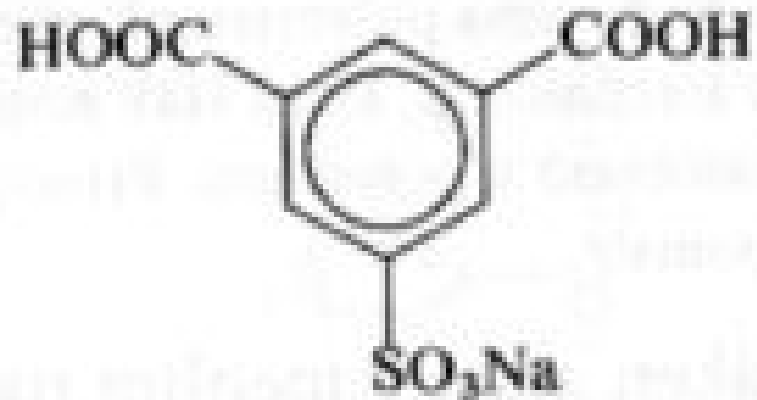
1.00–2.00

# Termoplastické polyestery - PETP



Kyselina izoftalová

Kyselina 5-sulfo sodium izoftalová



# Termoplastické polyestery – PETP fólie I

## Neorientované

- Cca. 60 – 600  $\mu\text{m}$
- Použití termoforming – blistrové balení
- Často využíván recyklát z lahví
- Koextruze s PETG (A-B nebo A-B-A > lepší svařitelnost), PETG je vrstvou A

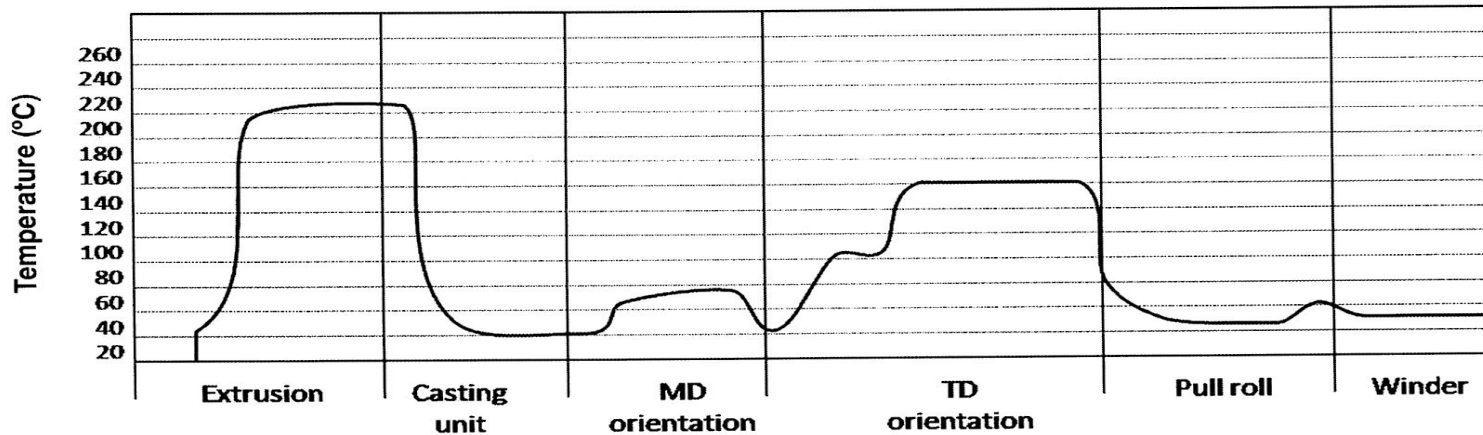
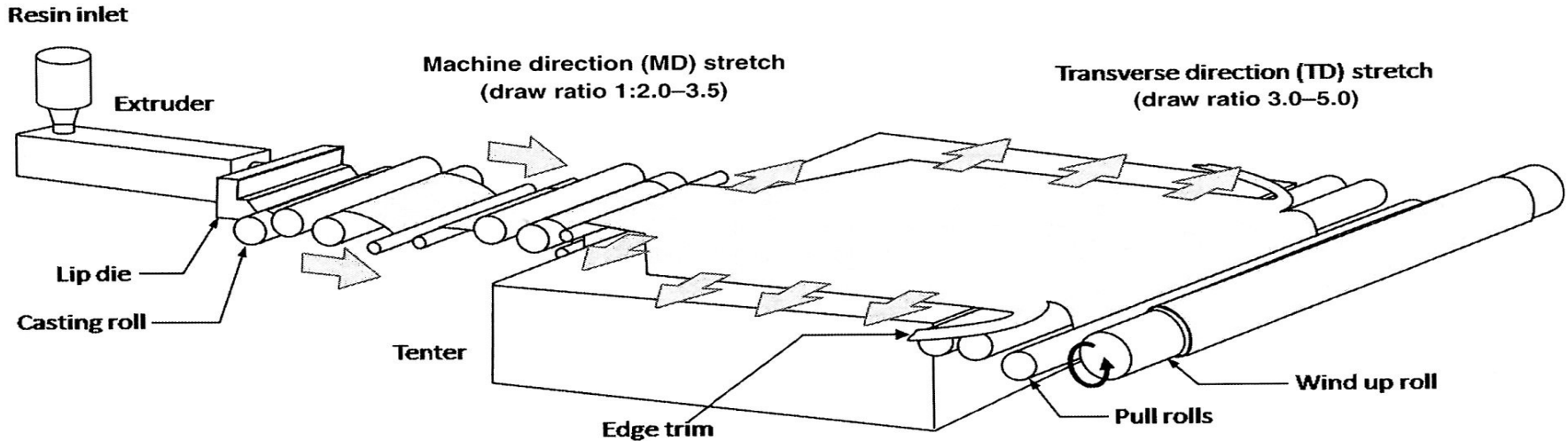
# Termoplastické polyestery – PETP fólie II

## ORIENTO VANÉ

- Většinou BIAXIÁLNÍ ORIENTACE (BOPET)
- Cca. 10 – 150  $\mu\text{m}$
- Použití – balení a elektrotechnika
- Často koextruze s PP či PE (A-B nebo A-B-A > lepší svařitelnost), PP či PE je vrstvou A
- Téměř nikdy není využíván recyklát z lahví

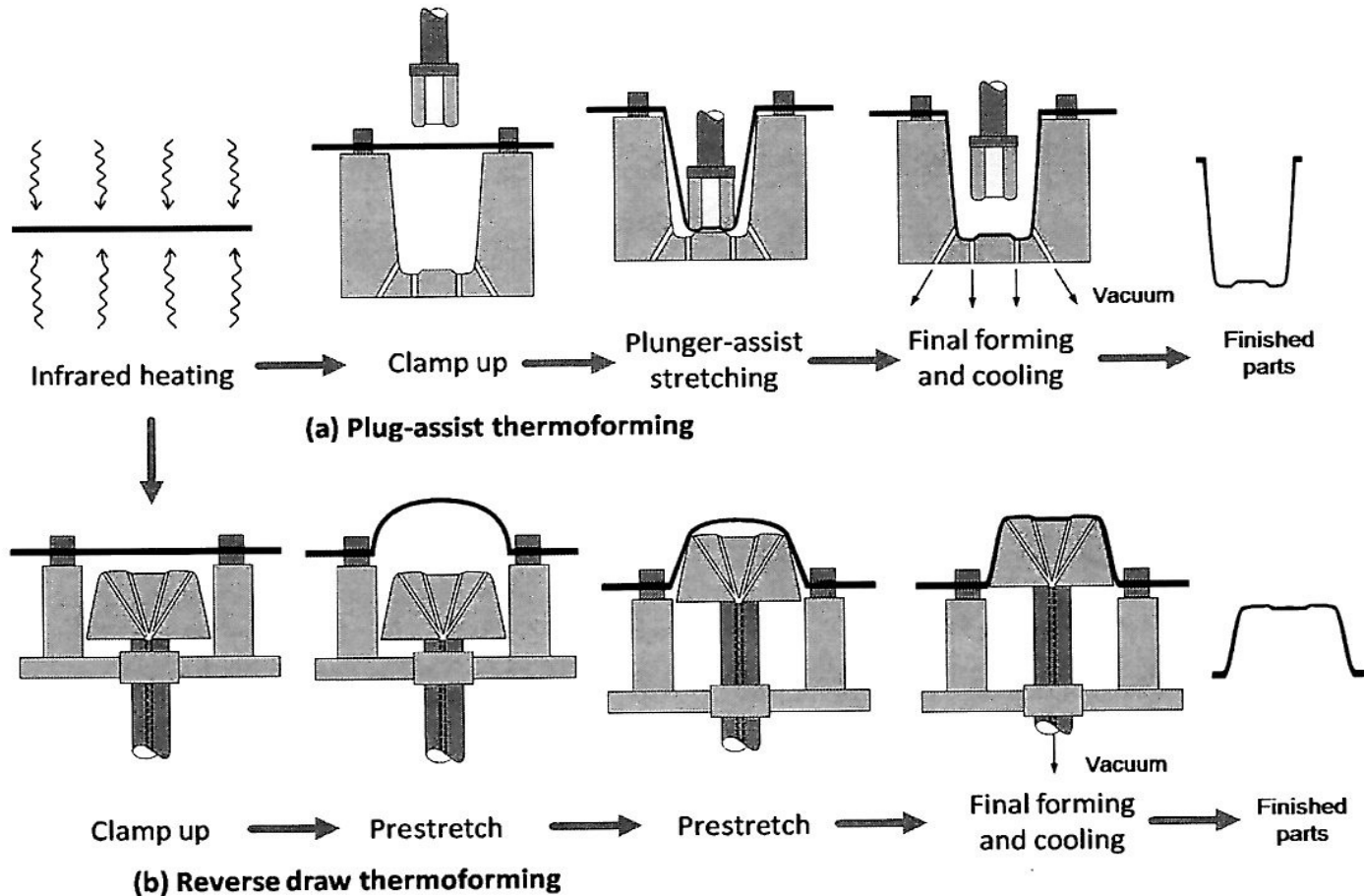


# Termoplastické polyestery – PETP fólie II (BOPETP)



**FIGURE 14.11** Biaxial oriented extrusion cast film machine and typical temperature conditions used during biaxial orientation film casting. Adapted from Refs 18, and 63.

# Termoplastické polyestery – PETP fólie III (termoforming)



**FIGURE 14.18** Thermoforming of heated sheet over a female mold using plug-assist drawing and a male mold using reverse drawing processes.

# PETP fólie v práci restaurátora a konzervátora

- **Separáční fólie** při zažehlování (obdobou jsou fólie na pečení) > lze jít do cca. 200 °C
- **Transparentní obálky na dokumenty**
- **Tkané i netkané podložky při restaurování obrazů (RENTOALÁŽ - CO TO JE?)**

# PETP fólie na pečení



## VÝHODA PETP VLÁKEN:

Možnost opatrného žehlení

# Termoplastické polyestery PETP láhve

- DRUHÉ NEJROZŠÍŘENĚJŠÍ POUŽITÍ
- **Začátek roce 1973 v USA**
- Postupně vytlačil z balení minerálek a dalších nealkoholických nápojů PVC
- Technologie: ISBM (**Injection Stretch Blow Moulding**)
- Předlisek > ohřátí > rozfouknutí
- Vratné X nevratné láhve
- Recyklace PETP

STRETCH BLOW MOLDING

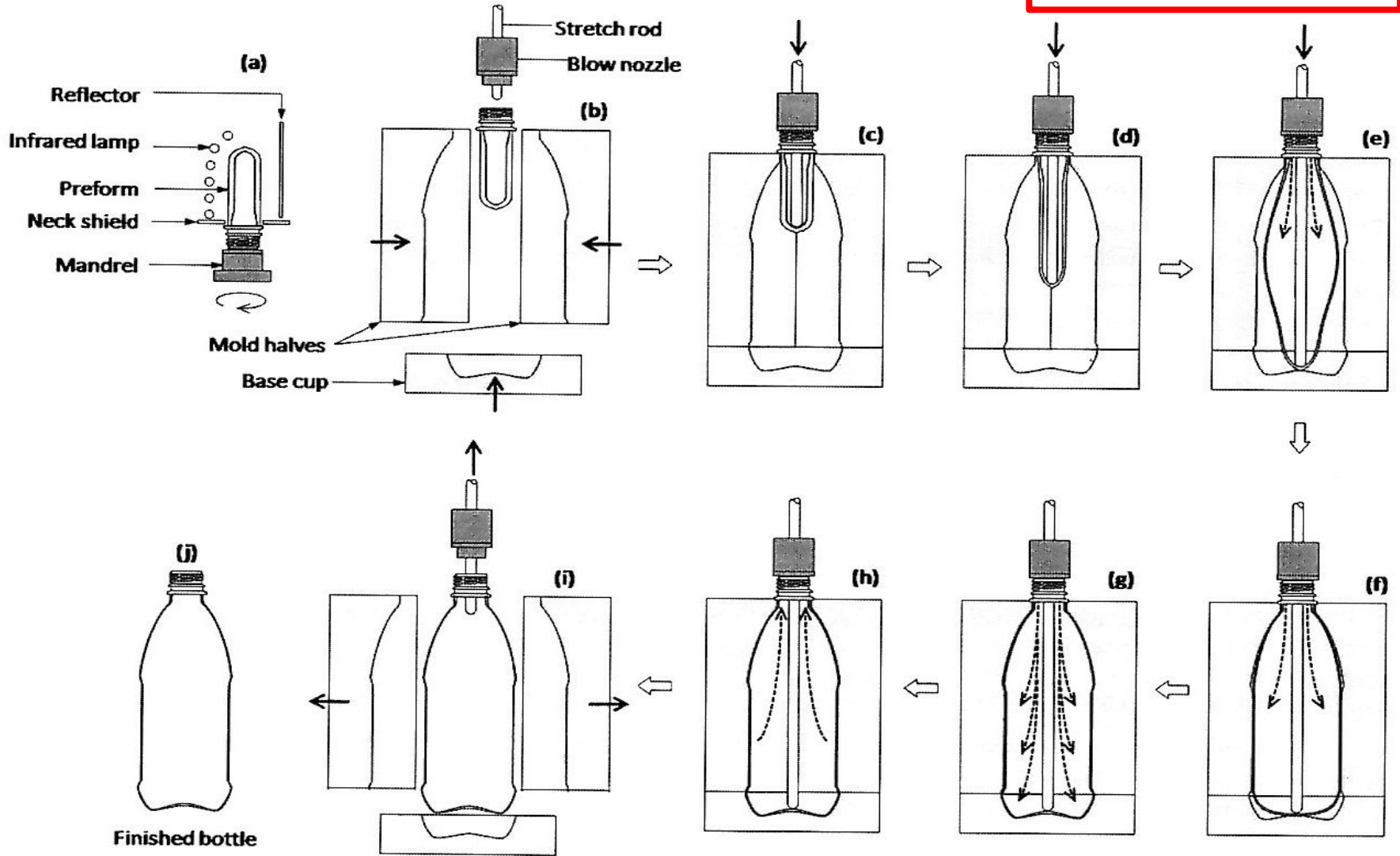
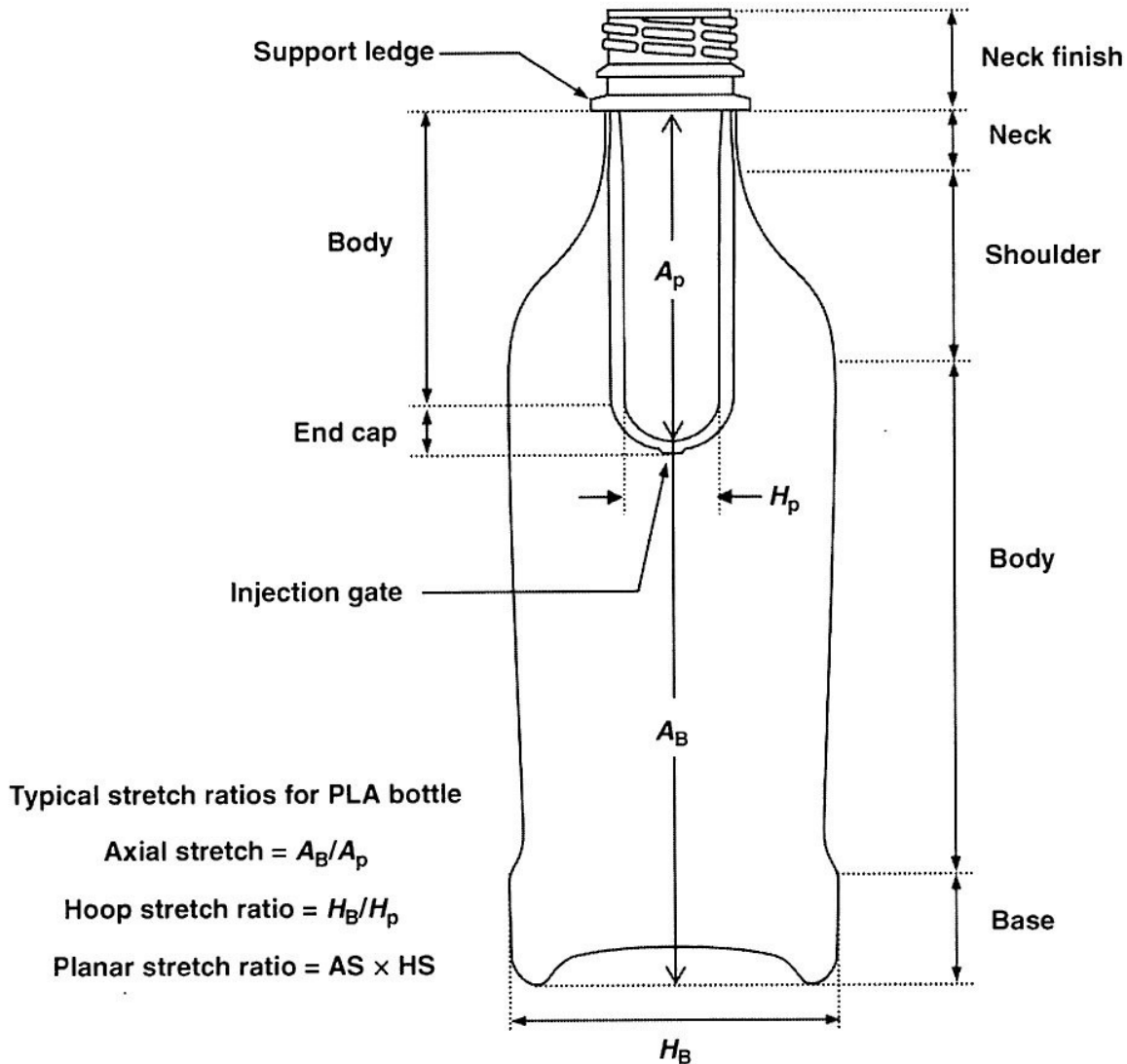


FIGURE 14.14 Injection stretch blow molding of PLA bottle.



Schematic representation of a bottle, showing their key features and main stretch ratios used for preform design.

# Od monomeru k výrobku PETP klasický postup z NEOBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

- **Ropa** > destilace > **pyrolýzní  
BENZIN**
- Štěpení na kratší uhlovodíky > dělení  
produktů > **ethylen**
- **Ethylenoxid**
- **Ethylenglykol**



# Od monomeru k výrobku PETP

## Biopostup z

# OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

- **GREEN PETP** > cukrová třtina > sacharóza > ethanol > dehydratace
- **ETHYLEN**
- **Ethylenoxid**
- **Ethylenglykol**

# Biopostup OBNOVITELNÉ ZDROJE

## Versus

## klasický postup NEOBNOVITELNÉ ZDROJE

- ZÁKLADEM JE VŽDY ETHYLEN
- ODLIŠNOST JE JEN V JEHO ZDROJI
- VLASTNÍ POLYKONDENZACE MUSÍ  
BÝT STEJNÁ

# Mattoni chystá revoluční ecoláhev

## V čem to může spočívat?

- škrob
- etanol
- etylén
- etylenoxid
- **ETYLÉNGLYKOL**

Karlovarské minerální vody (KMV) chystají novou ecoláhev, vyrobenou z třiceti procent ze složek rostlinného původu.

„Tato litrová láhev, v níž je třetina plastu nahrazena rostlinnou složkou pocházející ze zpracování cukrové třtiny, představuje revoluci na trhu balených vod,“ zdůraznil generální ředitel KMV Alessandro Pasquale.

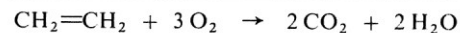
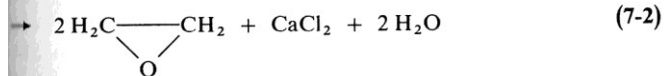
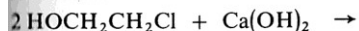
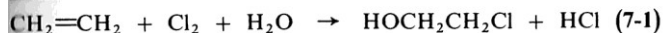
Ecoláhev bude stoprocentně recyklovatelná. KMV ji uvedou na tuzemský trh v následujících týdnech s novým produktem – Mattoni s extra jemnou perlivostí. Balena bude po šesti ecoláh-vích v plastové fólii, vyrobené až z devadesáti procent z obnovitelných zdrojů.

KMV investovaly v minulých letech desítky miliónů korun do ekologických investic a inovací. Například do vysoce efektivní výrobní technologie, přesunutí části dopravy ze silnice na železnici či do vývoje odlehčené lahve. Díky tomu ve firmě výrazně poklesla spotřeba plastu i energie.

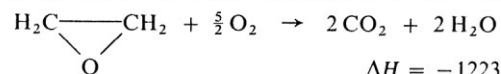
„Věříme, že uvedením ecoláhev nastavíme v ČR nový standard celému trhu balených vod a potvrdíme trend zdravého životního stylu, který je nám vlastní,“ uvedl Pasquale. (jn)

Ilustrační foto KMV



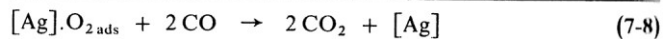
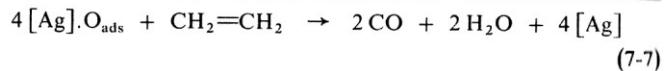
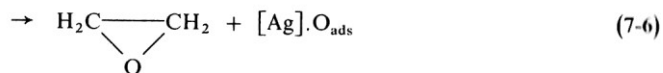


$$\Delta H = -1327 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (7-4)$$



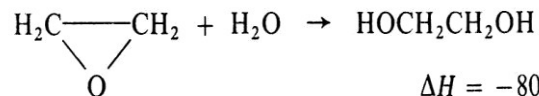
$$\Delta H = -1223 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (7-5)$$

## Vedlejší reakce



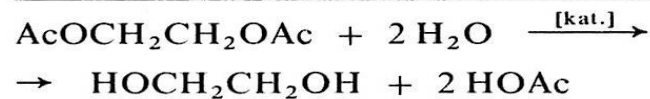
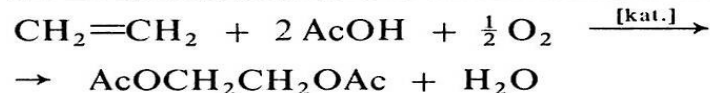
[Ag] = stříbrný katalyzátor

## Vedlejší reakce



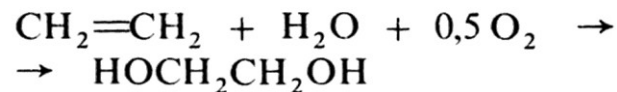
$$\Delta H = -80 \text{ kJ mol}^{-1} \quad (7-9)$$

## Hydrolýza ethylenoxidu



## Diacetylace a jeho následná hydrolýza

2. jednostupňová oxidační hydratace ethylenu:



## Nejmodernější postup

# Coca-Cola unveils 100% renewable PET bottle

*Rebecca Coons*

The Coca-Cola Company says it has produced the world's first polyethylene terephthalate (PET) bottle from plant materials.

The beverage giant has since 2009 distributed more than 35 billion bottles in nearly 40 countries using a version of PlantBottle packaging, which is made from up to 30% plant-based materials. The renewable portion of these bottles came from biobased ethylene glycol.

To achieve a 100% renewable PlantBottle, Coca-Cola partnered with Virent in 2011 to advance BioFormPX technology to produce para-xylene from renewable resources. In 2014, The Coca-Cola Company made an additional, unspecified investment to support an expansion of Virent's demonstration plant capacity to help scale-up the separation and purification steps of the production process and produce large quantities of BioFormPX.

By 2020, Coca-Cola aims to use PlantBottle packaging for all new PET plastic bottles, the company says.

The Coca-Cola Company continues its innovative leadership commitment to sustainability and is a valuable partner for Virent. Their support of our plans for the BioFormPX material in the next generation of PlantBottle packaging is critical in attracting manufacturing investment from the PET supply chain." says Lee Edwards, Virent CEO.

About six years ago, the beverage giant the Coca-Cola Company (Atlanta, Georgia / United States; [www.coca-colacompany.com](http://www.coca-colacompany.com)) had presented the first "Plant Bottle" produced 30 percent based on renewable raw materials. Now, the former vision of a bottle 100% Bio based was fulfilled. At the "World Expo - Milan" ([www.expo2015.org](http://www.expo2015.org)) the company has introduced a fully recyclable bottle, whose raw materials comes from sugar cane and the remains of its processing. Visually and functionally it does not differ from the Cola bottles from traditional PET, it is said from Atlanta. "Today a pioneering milestone for the packaging portfolio of our company is used," R&D Chief Nancy Quan explains the significance of the premiere for Coca-Cola. The consumer-oriented company seeking sustainability for the packaging (see most recently the KIWeb of the 15.10.2014) for a long time. The "Plant Bottle" be used in the future in several size variants for water, sparkling, juice and tea drinks. The brand is today known in more than 40 countries around the world.

## **09 Jun 2015: Coca-Cola produces the first PET bottle made entirely from plants**

PlantBottle packaging pushes the boundaries on sustainable innovation by using groundbreaking technology to create a fully recyclable plastic bottle made from renewable plant materials.

PlantBottle packaging is TheCoca-ColaCompany's vision to develop a more responsible plant-based alternative to packaging traditionally made from fossil fuels and other non-renewable materials. PlantBottle packaging uses patented technology that converts natural sugars found in plants into the ingredients for making PET plastic bottles. The packaging looks, functions and recycles like traditional PET but has a lighter footprint on the planet and its scarce resources.

Nancy Quan, Global Research and Development Officer, TheCoca-ColaCompany said "Today is a pioneering milestone within our Company's packaging portfolio. Our vision was to maximize game-changing technology, using responsibly sourced plant-based materials to create the globe's first fully recyclable PET plastic bottle made entirely from renewable materials. We are delighted to unveil the first bottles here at World Expo - a world-class exhibition where sustainable innovation is celebrated."

PlantBottle packaging maintains the high quality package consumers expect but with the added benefit of being made from renewable materials. It can be used for a variety of packaging sizes and across water, sparkling, juice and tea beverage brands. Today, the company uses sugarcane and waste from the sugarcane manufacturing process to create PlantBottle packaging. Both materials meet TheCoca-ColaCompany's established sustainability criteria used to identify plant-based ingredients for PlantBottle material. These guiding principles include demonstrating improved environmental and social performance as well as avoiding negative impacts on food security.

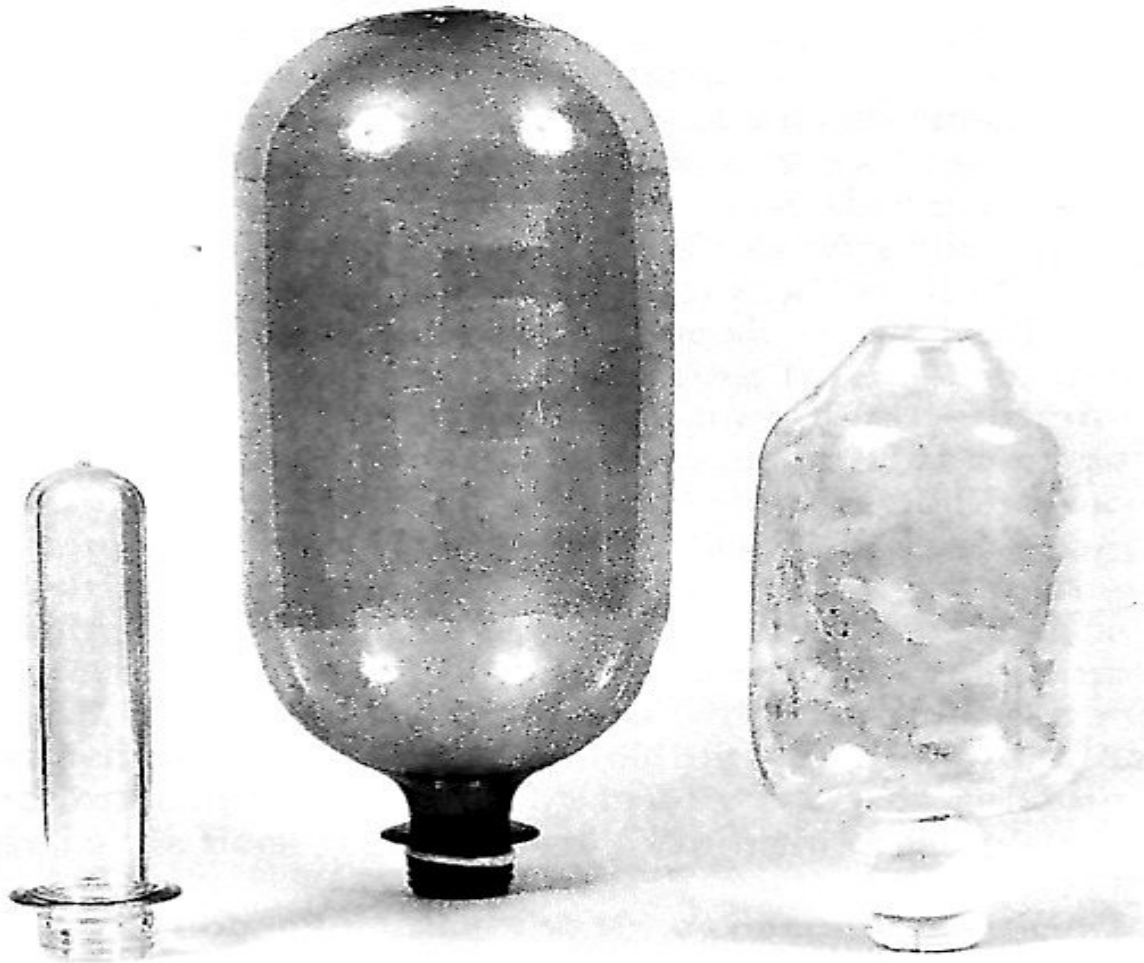
TheCoca-ColaCompany plans to continue investment in its award-winning PlantBottle packaging.

More information: [www.coca-colacompany.com](http://www.coca-colacompany.com)

# **Kde se můžete dovědět více?**

- **Přednášky – PŘÍRODNÍ POLYMERY**
- **STUDIUM LITERATURY – ČLÁNKY, PATENTY, .....**





**FIGURE 6.3.** Stretch-blow molded polyester bottle. (a) Injection molded preform, (b) blown bottle, and (c) much of the elastic stretch recovered on reheating.

# PETP versus PETG

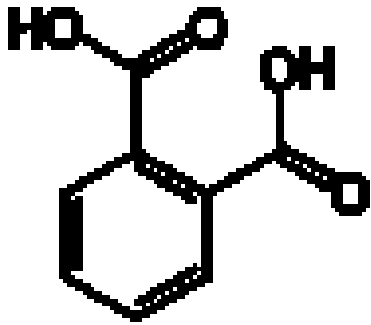
## PETP

- Etylenglykol + kyselina tereftalová (para kyselina)
- Krystalizuje
- **KRYSTALICKÁ ČÁST** > vysoký b.t. ( $T_m$ ) > 245 – 250 °C
- **AMORFNÍ ČÁST** >  $T_g$  > cca. 70 °C

## PETG

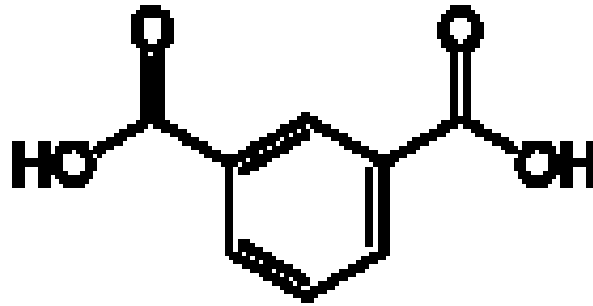
- **G – glassy = amorfní**
- Etylenglykol & jiné dioly + kyselina tereftalová a jiné izomery kyseliny ftalové
- **Nekrystalizuje**
- $T_g$  > cca. 70 °C, podle složení

# PETP versus PETG



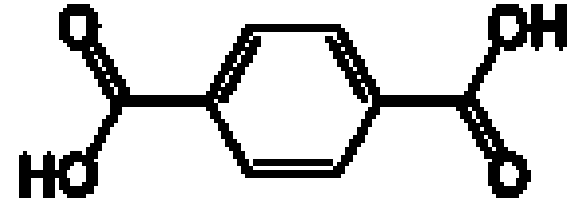
**phthalic acid**

**(*ortho*-phthalic acid)**



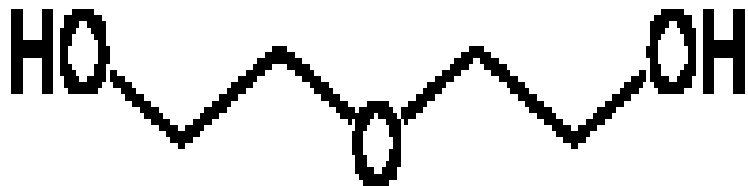
**isophthalic acid**

**(*meta*-phthalic acid)**

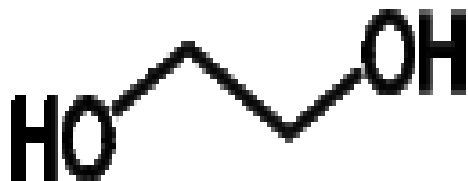


**terephthalic acid**

**(*para*-phthalic acid)**

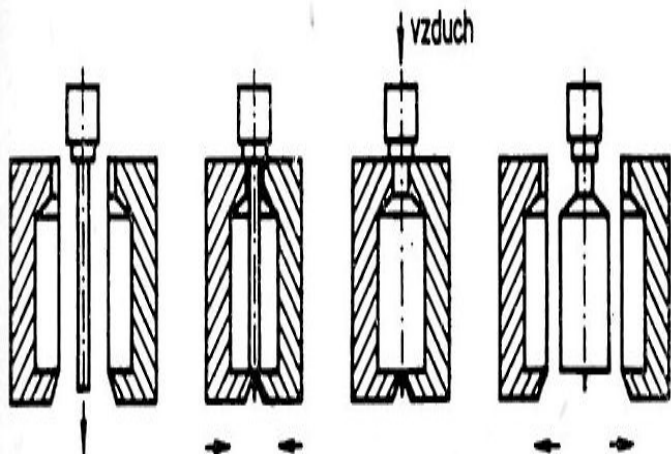


**Diethylenglykol**

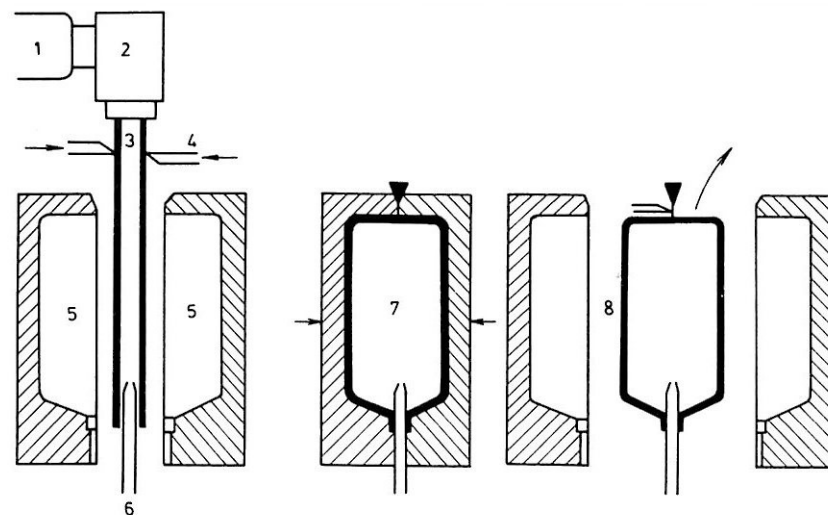


**Ethylenglykol**

# PETG – výroba lahví extruzní vyfukování (Extrusion Blow Moulding)



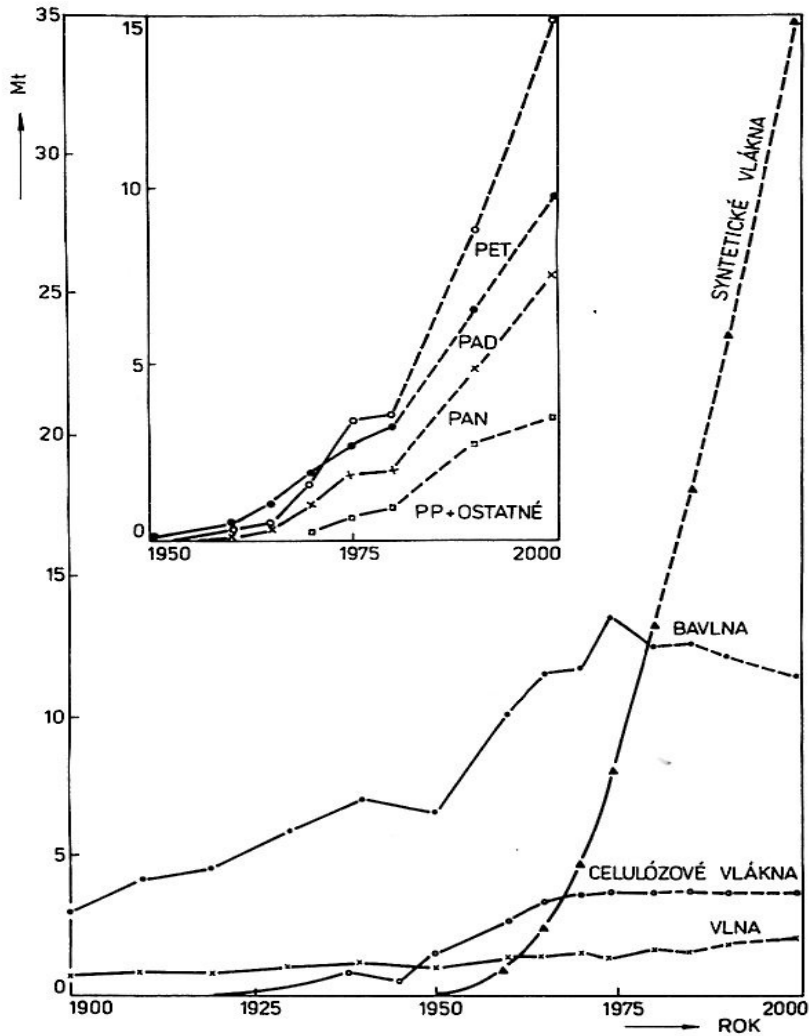
Obr. 7-251. Princip  
vytlačovacího vyfukování  
dutých těles [2]



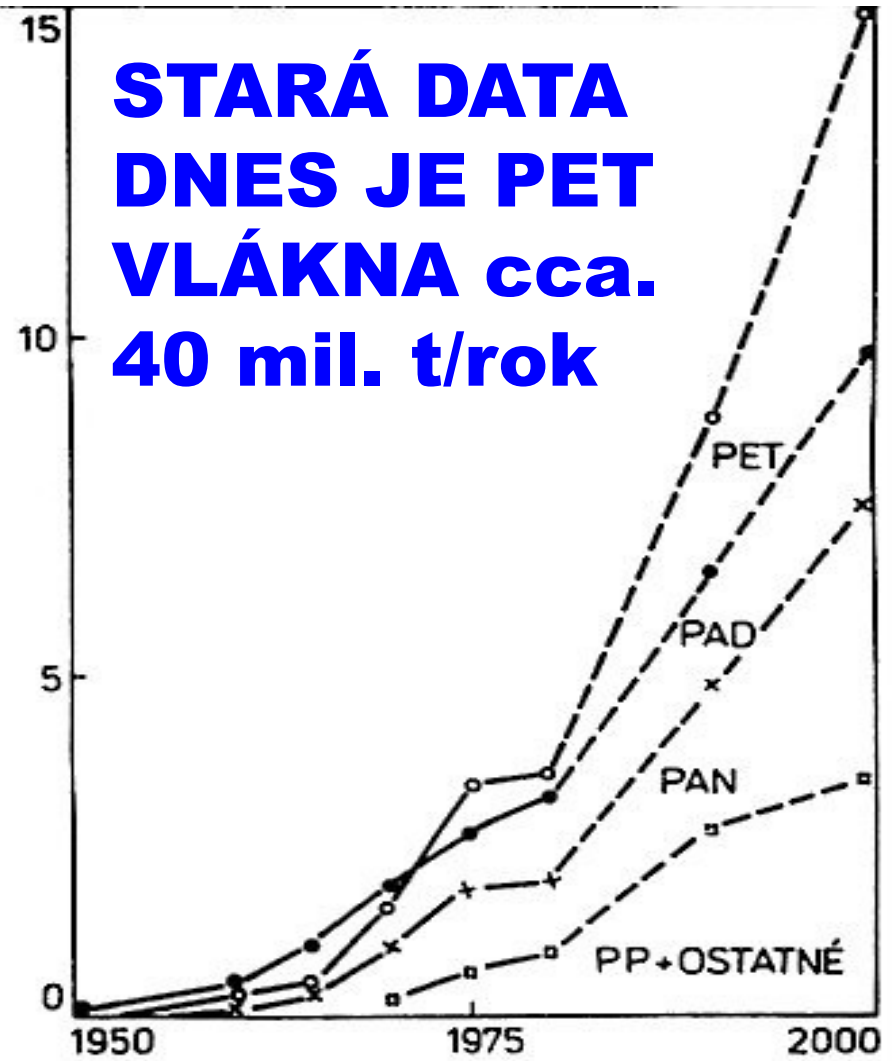
Obr. 24.3. Vytlačování s vyfouknutím pro výrobu dutých těles (vyfukování spodem pomocí trnu)

1 – šnekový vytlačovací stroj, 2 – vytlačovací hlavice, 3 – vytlačovaná hadice,  
4 – oddělovací zařízení, 5 – rozdělená forma, 6 – zavádění tlakového vzduchu,  
7 – uzavřená forma s vyfouknutým dutým tělesem, 8 – otevřená forma a vyhození výrobku

# PETP vlákna (PET, PES český název)



Obr. 1-2. Svetová produkcia vlákien (rok 1900—2000)



*hustota*

Tabuľka 4-6

**Mechanické vlastnosti vlákien (orientačné hodnoty pre vlákna s priemernými vlastnosťami)**

Vlastnosti Vlákna	Pevnosť (cN dtex <sup>-1</sup> )	Ťažnosť (%)	Modul pružnosti (cN dtex <sup>-1</sup> )	Pevnosť za mokra (%)	Ťažnosť za mokra (%)	Reverzibilnosť pri 2% predĺžení	Priemerná tuhosť (cN dtex <sup>-1</sup> )
Vlna 1	1,0 ÷ 2,0	20 ÷ 40		80 ÷ 90		99	3,5
Bavlna 2	2,7 ÷ 4,3	3 ÷ 10		100 ÷ 110		75	43,0
Viskóзовé 3	3,0	15 ÷ 30	47 ÷ 60	44 ÷ 72	20 ÷ 40	70 ÷ 100	6 ÷ 16
Acetátové 4	1,3	23 ÷ 45	36	60 ÷ 70	35 ÷ 50	94	5,0
Polyamidové PAD 6 PAD 6.6	3,7 ÷ 5,2 2,7 ÷ 5,4	26 ÷ 40 26 ÷ 40	9 ÷ 44	85 ÷ 90 85 ÷ 90	20 ÷ 47 30 ÷ 70	100 100	20,0 16,2
Polyaramidové (Kevlar) 5	19,3	4		100	4		405
Polyesterové (PET) 6	4,1 ÷ 4,5	19 ÷ 23	80 ÷ 114	100	19 ÷ 23	97	19
Polypropylénové 7	2,7 ÷ 6,3	25 ÷ 75	80	100	25 ÷ 75	100	18 ÷ 45
Polyakrylonit- rilové	2,0 ÷ 2,9	20 ÷ 28	25	1,6 ÷ 1,9	26 ÷ 34		9

*47 ÷ 6*

217

# PETP recyklace a použití recyklátu

- Fyzikální recyklace – dominantní > **PŘEDNÁŠKY**
- Chemická recyklace (děláno v **LABORATORNÍCH CVIČENÍCH**) – v praxi zatím málo výrobních jednotek

## Použití recyklátu

- **Vlákna jako STŘIŽ > ČLR > textilní výrobky > „mezikontinentální PETovod“**
- Vázací pásy
- Fólie na termoforming
- Kompozity na vstřikování
- Orientované pásy textilní

# POLYESTERY – MATERIÁLY BEZPOČTU POUŽITÍ

Výzkum a vývoj termosetických polyesterů má centrum v Pardubicích, a to jak na TU (dříve VŠCHT) Pardubice, tak ve výzkumném ústavu **SYNPO** (dříve VÚSPL)

- *Kompozitní materiály se skleněným vláknem*
- *Lepidla*
- *Tmely*
- *Nátěrové hmoty (alkydy)*



# **Nátěrové hmoty (alkydy)**

Dikarboxylová kyselina nebo její anhydrid

+

Alkoholy s třemi nebo čtyřmi –OH skupinami

**PŘÍKLAD:**

**Kys. Ftalová (ftalahydrid)**

+

**Glycerol nebo pentaerytritol**

**Pro zlepšení rozpustnosti se přidávají  
mastné kyseliny a/nebo kalafuna**

# POLYESTEROVÁ lepidla a tmely

## Rozdíly

- **LEPIDLA** – obvykle nízkoviskózní, bez anorganických plniv, nanášejí se jen v tenké vrstvě
- **TMELY** – středně až vysokoviskózní, obsahují organická (např. dřevitá moučka) nebo anorganická plniva (kovové prášky, vápenec, mastek atd.) případně i pigmenty a barviva, nanášejí se v silné vrstvě, zaplňují spáry atd.

# **POLYESTEROVÉ tmely**

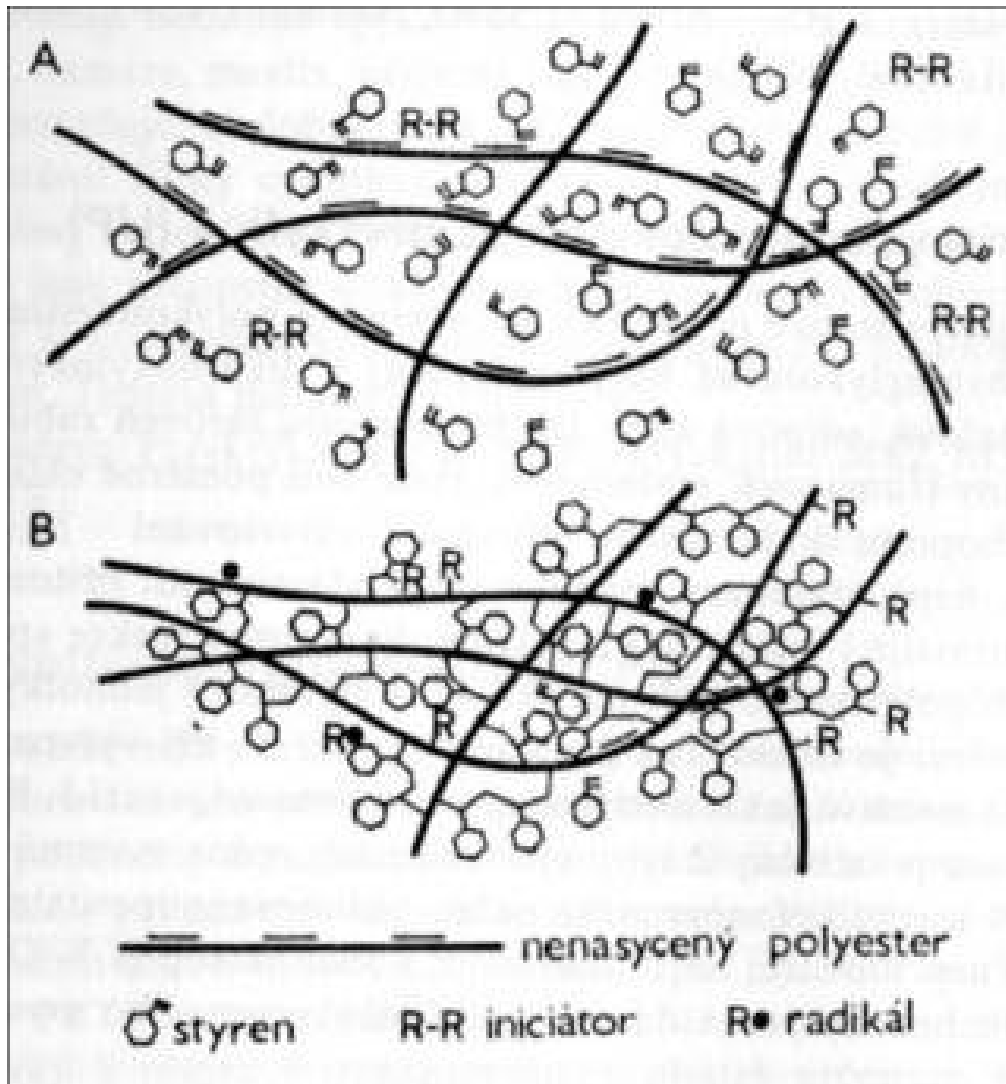
**UP dávají možnost téměř nekonečného množství receptur tmelů**

- **POLYMERBETON** – směs UP + písek + kamenivo + cement + anorganická plniva + pigmenty + ... > restaurování kamene, jinak technické použití (ACO Přebyslav)
- **Tmely s dřevitou moučkou** – opravy dřeva. Moučku lze mít různé zrnitosti i druhu dřeva, možnost dobarvení

# **POLYESTEROVÉ** *kompozitní materiály* *se skleněným vláknem*

- **UP** = Roztoky nenasycených polyesterů v polymerace schopných monomerech
- Při vytvrzování (sít'ování) dochází k reakci (obvykle iniciované peroxidy) nenasycených polyesterů a nenasyceného monomeru (obvykle styrén)

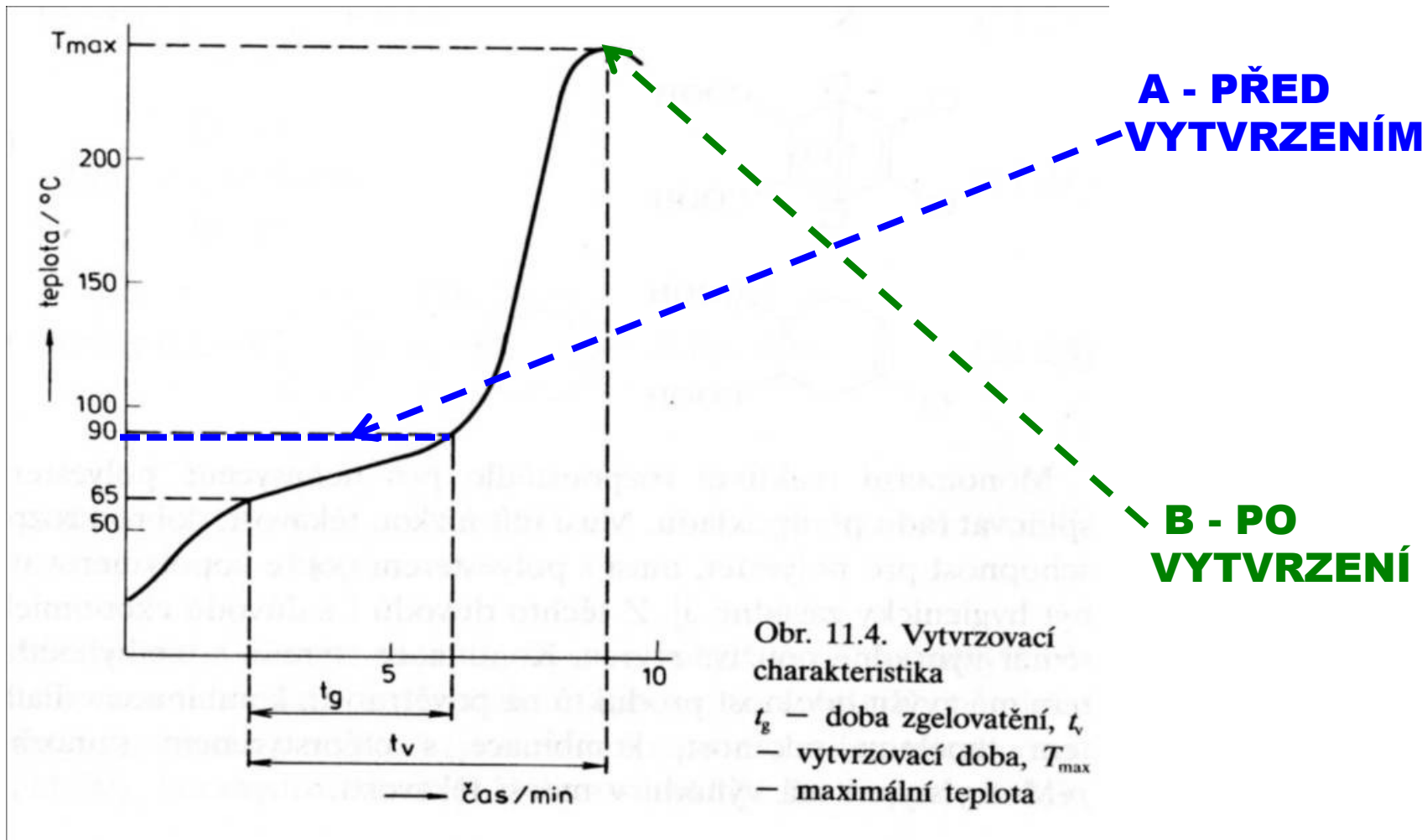
# NENASYCENÉ POLYESTERY



**A - PŘED VYTVRZENÍM**

**B - PO VYTVRZENÍ**

# NENASYCENÉ POLYESTERY - vytvrzování

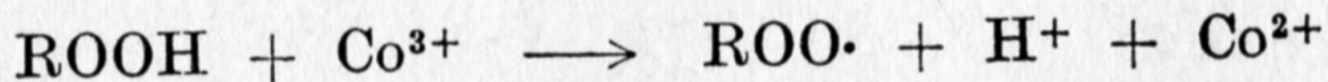
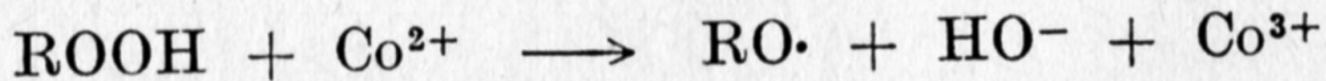


# VYTVRZOVÁNÍ POLYESTEROVÉ PRYSKYŘICE – trochu chemie

## PEROXIDY - vlastní iniciátory = zdroje radikálů

Typ	Vzorec	Příklad
hydroperoxydy	$R-O-O-H$	terc.butylhydroperoxid
$\alpha$ -hydroxy- a $\alpha$ -peroxy-hydroperoxydy a peroxydy	$\begin{array}{c} O-O- \\ \diagup \\ C \\ \diagdown \\ O- \end{array}$	ketonperoxydy a aldehydperoxydy (methylethylketonperoxid)
peroxydy	$R-O-O-R$	di-terc.butylperoxid
peroxyestery	$R(\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-O-R)_n$	terc.butylperoxybenzoát
diacylperoxydy	$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-R'$	dibenzoylperoxid

## URYCHLOVAČ > zrychluje rozklad peroxydů



# VYTVRZOVÁNÍ POLYESTEROVÉ PRYSKYŘICE – trochu chemie

**PEROXIDY** - vlastní iniciátory = zdroje  
radikálů

**URYCHLOVAČ** > zrychluje rozklad  
peroxidů

**URYCHLOVAČ**

- umožňuje vytvrzování za běžných teplot (okolo 20 °C)
- jen málo systémů umožňuje vytvrzování pod 15 °C



# VYTVRZOVÁNÍ POLYESTEROVÉ PRYSKYŘICE – iniciace X inhibice

**Styrén by při delším skladování samovolně polymeroval > zvýšení viskozity > horší zpracovatelnost.**

**Podobně se stabilizuje i styrén samotný**

**Proto se do UP přidává INHIBITOR  
RADIKÁLOVÉ POLYMERACE, obvykle  
HYDROCHINON. Ten převání vzniklé radikály  
na takové, které polymeraci neiniciují. Na  
začátku vytvrzování musí INHIBITOR  
zreagovat a až pak se rozběhne naplno  
polymerace 'sít'ování UP styrénem**

# **POLYESTEROVÉ kompozitní materiály** **se skleněným vláknem**

- **Kyselinová složka** – obvykle maleinanhydrid či kyselina fumarová
- **Diolová složka** – obvykle etyleglykol nebo propylenglykol
- **Sít'ující monomer** – obvykle styrén
- **Iniciátor** – redox systém na bázi organického peroxidu
- **UP jsou zásadně dvousložkové (pryskyřice + styrén)**
- **SKLENĚNÉ VLÁKNO je buď sekané, kontinuální nebo jako textilie (tканá nebo netkaná)**

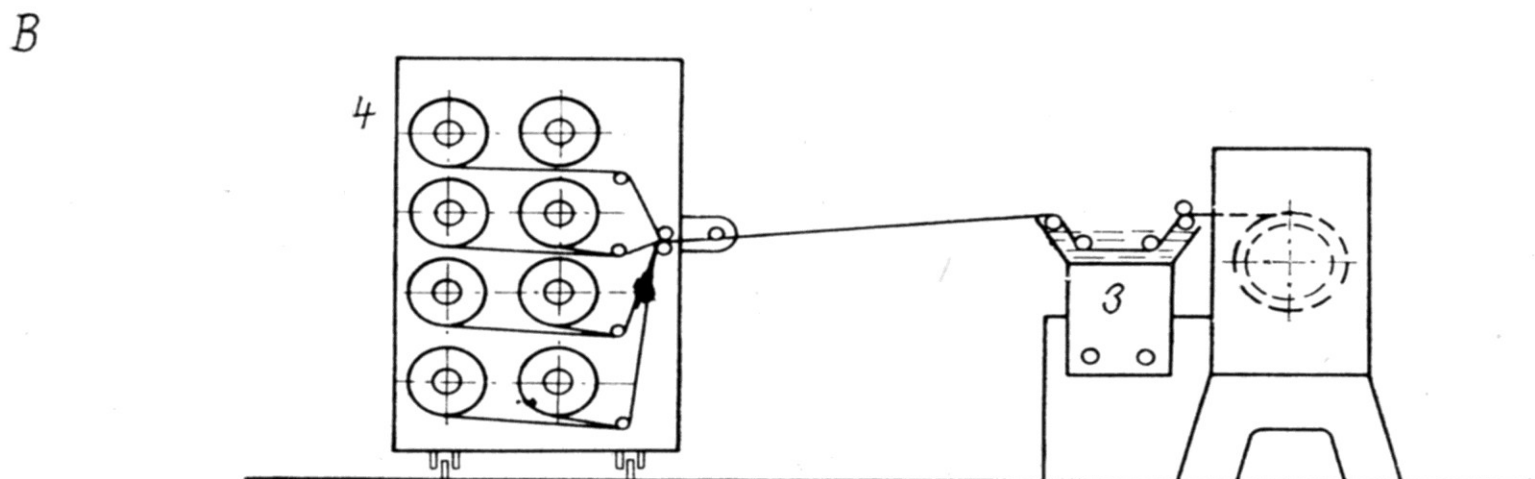
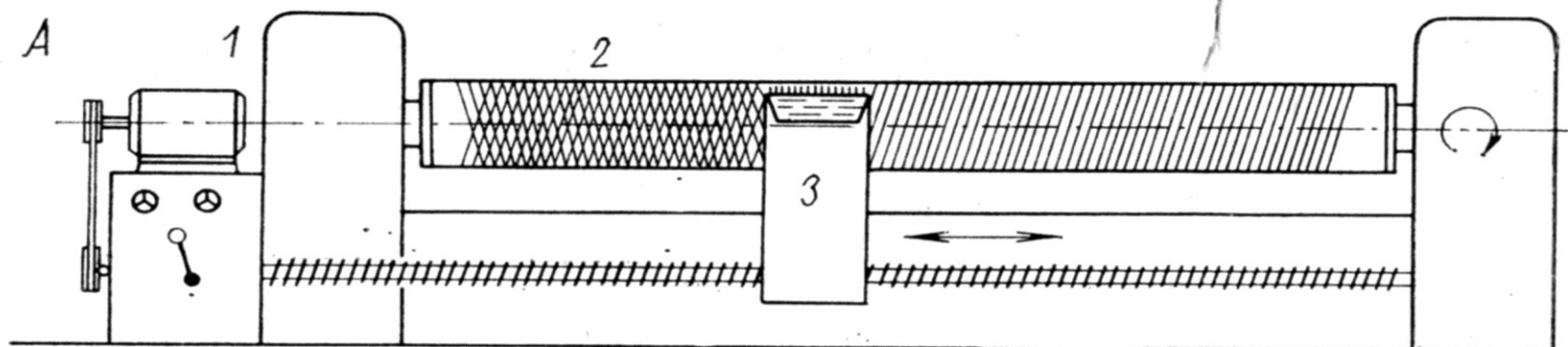
# **POLYESTEROVÉ kompozitní materiály se skleněným vláknem**

- **Výroba UP v České republice –  
SPOLCHEMIE Ústí nad Labem**
- **Lepidla a tmely na bázi UP v České  
republice - SPOLCHEMIE a různé menší  
firmy**
- **Prepregy – co to je, použití**

# POLYESTEROVÉ Prepregy

- **Skleněná tkanina** je prosycena , včetně iniciátoru a dalších aditiv (např. pigmenty, zahušťovače atd.)  
**UP (při dané teplotě není iniciace nebo jen minimální reakce) s min. obsahem styrénu**
- Potaženo LDPE fólií, která se nelepí na UP (má separační prostředky)
- Udělá se z toho návin a je uloženo – doba skladování 6 – 9 měsíců při 23 °C
- **U zpracovatele se udělá přířez**
- **Vytopený lis**
- **Výrobek**

# Výroba tyčí a trubek menšího průměru



Obr. 83. Princip navíjecího zařízení (soustruhový systém)

1 - pohon, 2 - ovíjený trn, 3 - pohyblivá vanička s pryskyřicí, 4 - rovingové cívky

# GEL -COAT

**S tímto pojmem se můžete u UP často setkat.**

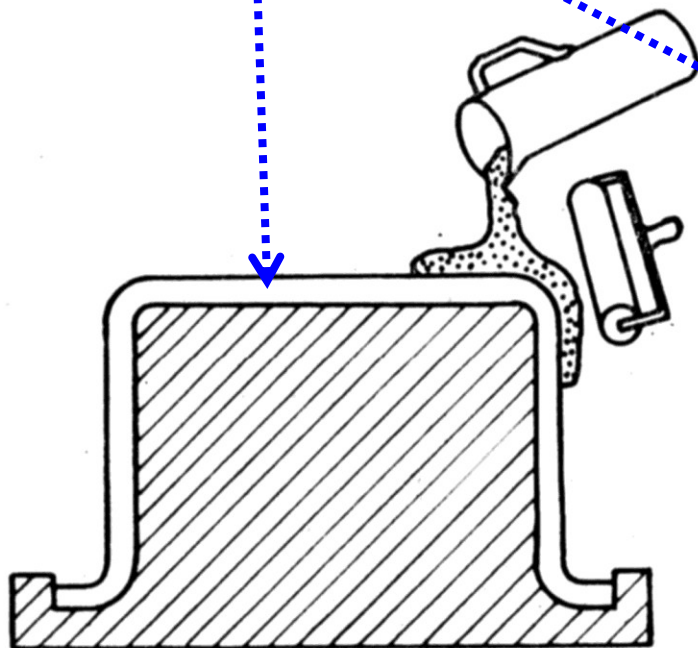
## Co to je?

- vrstva na pohledové straně výrobku,
- vrstva z UP bez plniv a výztuží,
- vrstva z UP o vysoké pevnosti a odolnosti proti poškrábání,
- musí mít vhodné viskozitní vlastnosti, nejlépe tixotropní, aby nestékala z povrchu formy,
- nanáší se jen cca. 0,5 – 1,0 mm vrstva,
- nechá se sesít'ovat jen do stavu gelu, aby na ni dobře chytla hlavní vrstva laminátu,
- brání vnikání vody do laminátu,
- .....

# Výroba dílů z laminátů pojených UP

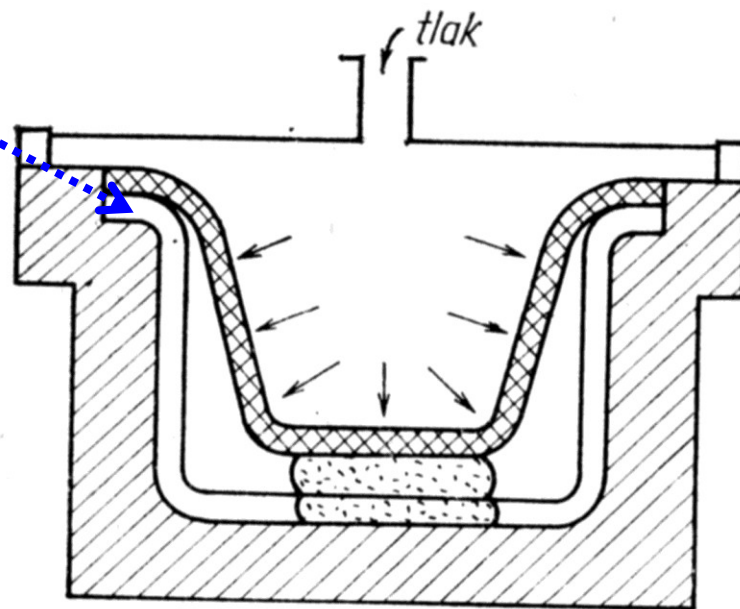
- forma musí být ošetřena separačním nánosem (silikonový nebo parafínový olej)

**SKLENĚNÁ VÝZTUŽ  
(TKANINA NEBO ROHOŽ  
(NETKANÁ TEXTILIE))**



Obr. 80. Ruční kladení laminátů

**Hmota již obsahuje plniva  
a aditiva (pigmenty, UV  
stabilizátory, retardéry  
hoření atd.)**



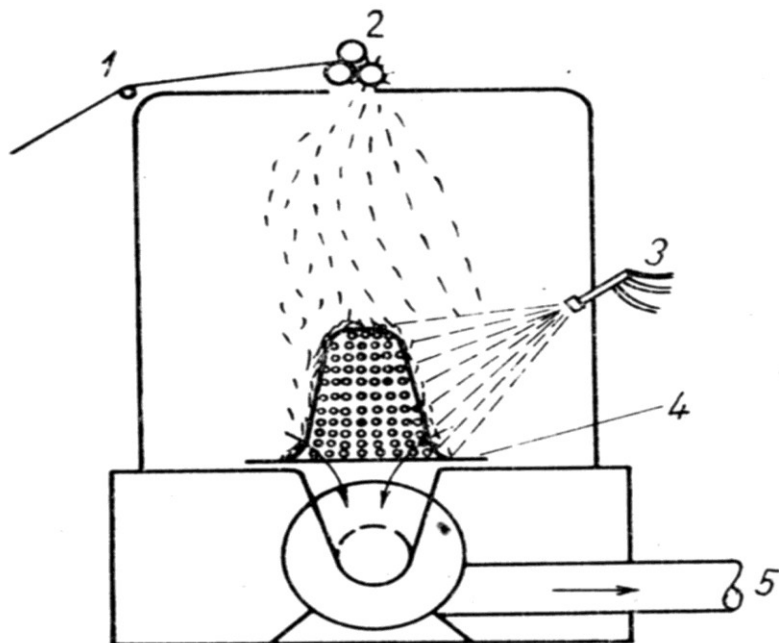
Obr. 81. Laminování pod tlakem s pryžovou plachetkou

# Výroba dílů z laminátů pojených UP

- forma musí být ošetřena separačním nánosem (silikonový nebo parafínový olej)

Hmota již obsahuje plniva a aditiva (pigmenty, UV stabilizátory, retardéry hoření atd.)

Lze použít i směšovací pistoli, v níže se seká kontinuální vlákno a zároveň mísí s UP



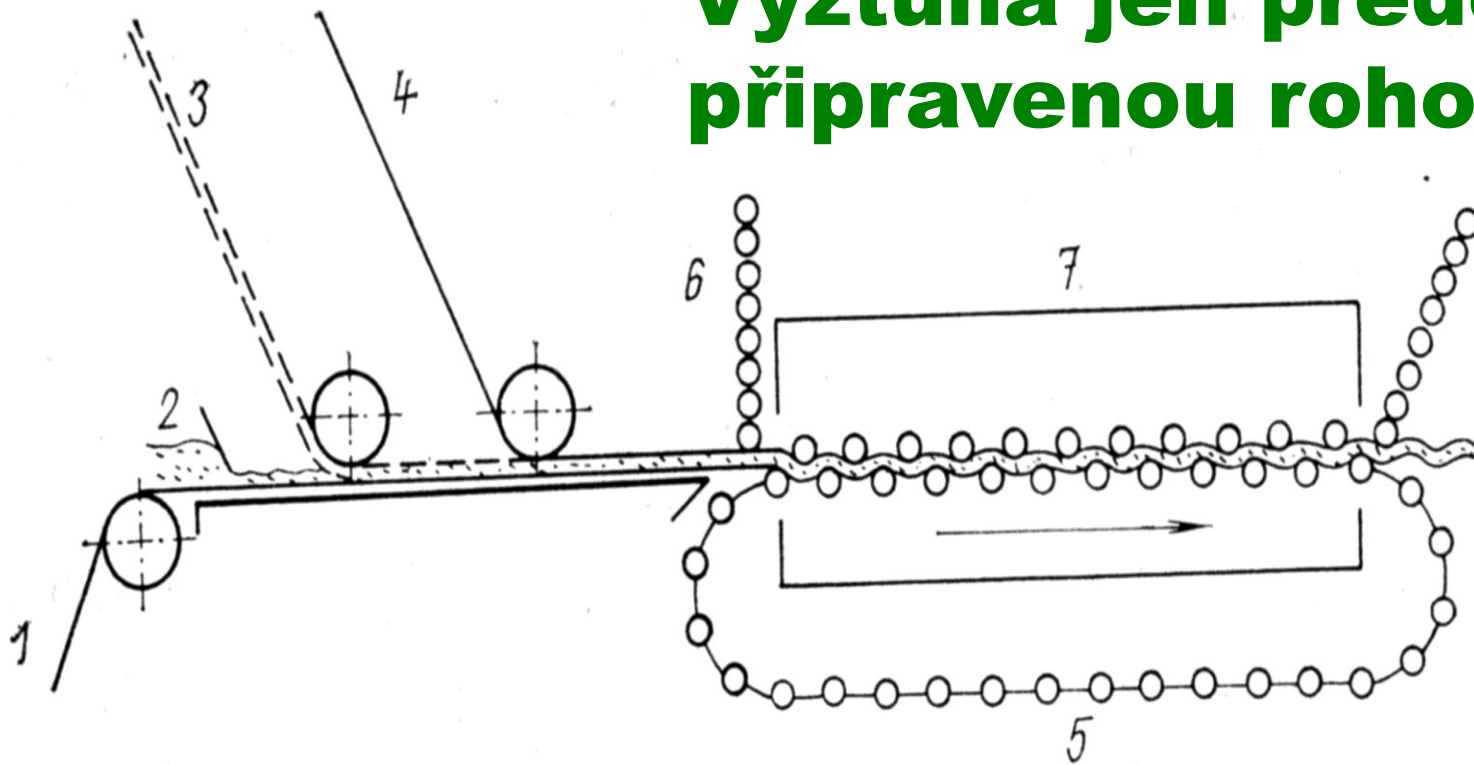
Obr. 82. Schéma činnosti předformovacího stroje

1 - pramének, 2 - sekací zařízení, 3 - stříkání pojiva, 4 - otočný stůl s formou, 5 - odsávání



# Výroba desek na střechu a jiné použití 1

## Výztuha jen předem připravenou rohoží (3)

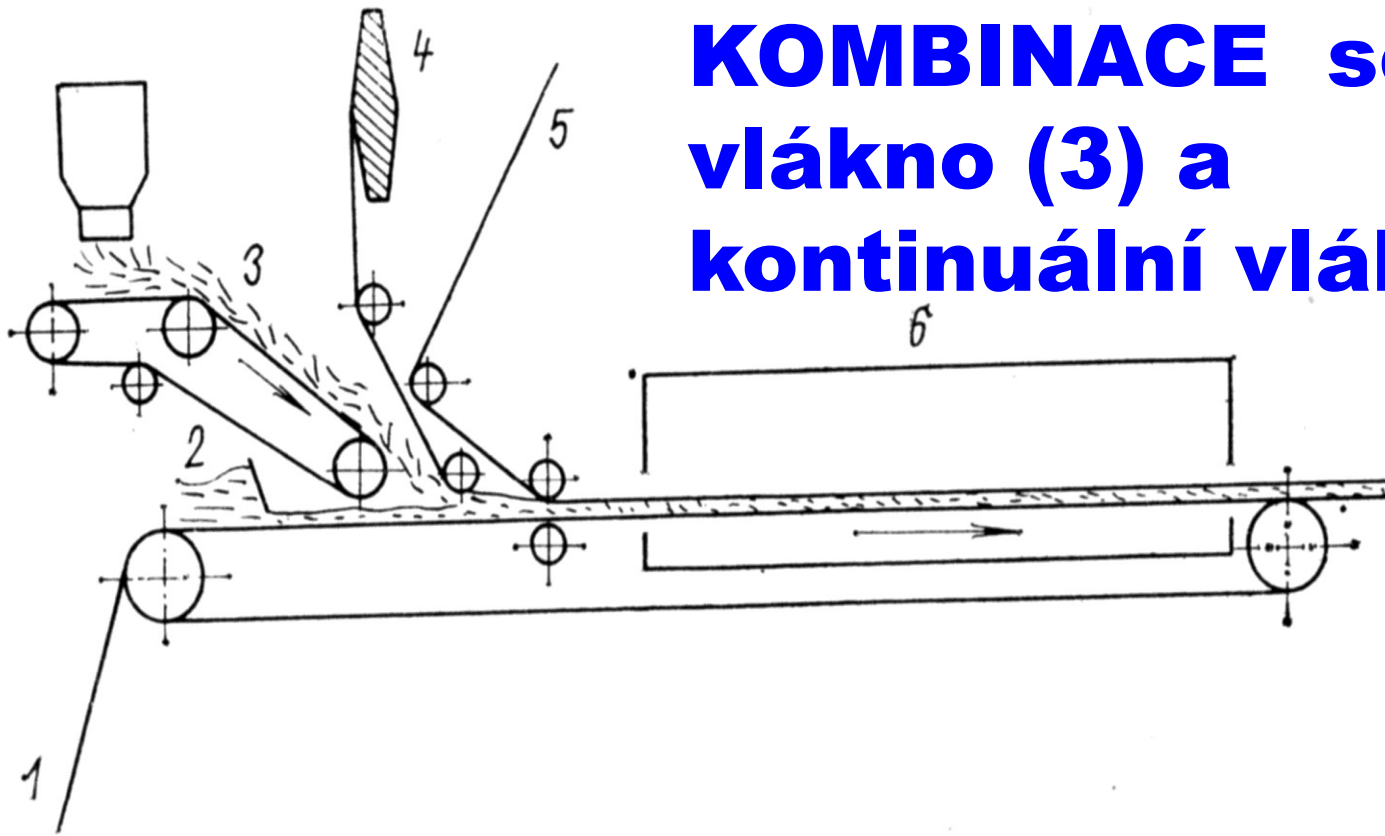


Obr. 84. Princip výroby příčně zvlňených laminátových desek

1 - fólie, 2 - pryskyřice, 3 - skleněná rohož, 4 - krycí fólie, 5 - nekonečný pás s tvarovacími válci, 6 - tvarovací válce jako protiforma, 7 - vyhřívací zóna

# Výroba desek na střechu a jiné použití 2

**KOMBINACE** sekané vlákno (3) a kontinuální vlákno (4)



Obr. 85. Princip výroby podélně zvlněných a rovných laminátových desek  
1 - fólie, 2 - pryskyřice, 3 - stroj na výrobu rohože, 4 - cívka se skleněným vláknem, 5 - krycí fólie, 6 - vyhřívací zóna

# Lepení POLYESTERŮ

- Používají se nenasycené polyestery > UP
- Proti stékání se přidávají plniva, nejlepší je asi  $\text{SiO}_2$  s řetízkovou strukturou primárních nanočástic „Fumed silica“ > TIXOTROPNÍ VLASTNOSTI > teče je je-li vystaven smykovému napětí
- Pružnost spoje > delší  $-\text{CH}_2-$  řetězec dikarboxylové kyseliny nebo dialkoholu (kys. adipová, diethylenglykol)

# Chemická kotva z POLYESTERŮ

- Je to v principu úloha, kterou si můžete udělat v praxi,
- V kartuši musejí být před použitím složky odděleny, aby nezreagovaly předčasně,
- Jejich smíchání probíhá až v SMĚŠOVAČI, což je nástavec na kartuši,
- Vzhledem k udávané době vytvrzení musí být systém silně katalyzován (peroxid, aktivátor),
- Kvůli konzistenci, aby ho z vložené síťky nevyteklo, jsou tam ASI TIXOTROPNÍ PŘÍSADY
- MÁM S POUŽITÍM DOBRÉ ZKUŠENOSTI

# Chemická kotva z POLYESTERŮ

## CHEMICKÉ KOTVENÍ

- pevné ukotvení ve všech typech materiálů, zejména tam, kde jiné systémy nefungují: beton, duté cihly, prachovité či rozpadající se zdi, stěny nerovnoměrné konzistence
- kdekoli potřebujete upevnit velkou zátěž
- nahrazuje tradiční ukotvení a mechanická řešení (hmoždinky)
- RYCHLÉ POUŽITÍ SE STANDARDNÍ PISTOLÍ

### STŘEDNÍ A VYŠŠÍ ZATÍŽENÍ



### POLYESTER

- univerzální použití
- rychleschnoucí
- střední a vyšší zatížení
- omezená chemická odolnost
- nedoporučuje se na mokré a vodou zaplněné díry
- velmi dobré tepelné a mechanické vlastnosti

### VYSOKÁ ZATÍŽENÍ I DO VLHKÉHO PROSTŘEDÍ

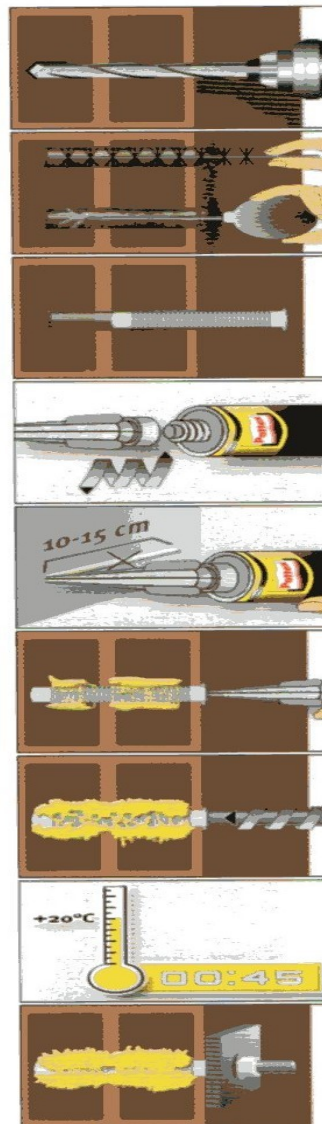


### VINYLESTER

- protipožární odolnost F 120
- velmi dobré tepelné a mechanické vlastnosti
- nejvyšší chemická odolnost reagující pryskyřice
- národní a evropské osvědčení k použití na cihlové zdi a beton

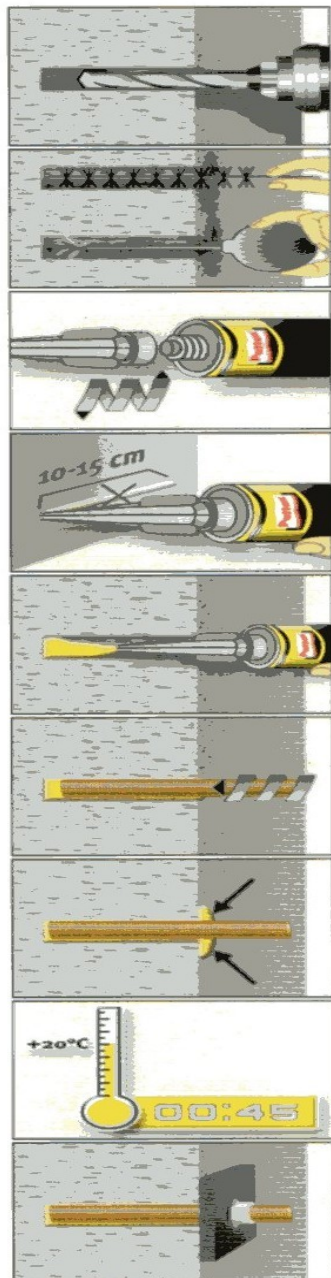
## NÁVOD K POUŽITÍ

### DUTÝ MATERIÁL

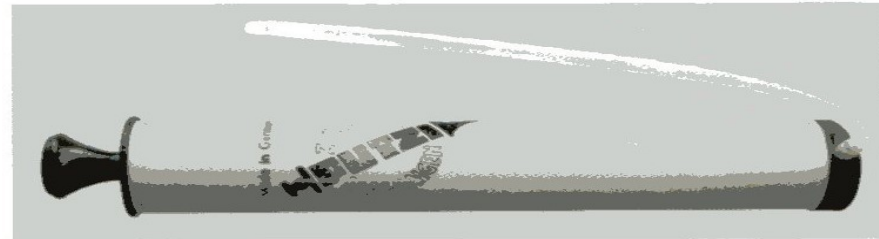


1. Vyrtejte otvor (bez pomoci příklepu !!!)
2. Otvor řádně vyčistěte pomocí kartáčku a pumpičky (minimálně 2x opakujte)
3. Vložte do otvoru sítko pro chemickou kotvu
4. Po odšroubování uzávěru odřízněte vršek a našroubujte statický směšovač
5. Vytlačte prvních cca 10-15 cm neprobarvené směsi (správná barva je šedá)
6. Vyplňte otvor směrem ode dna nahoru kotvicí maltou
7. Otáčivým pohybem natočte kotvicí prvek (závitovou tyč, svorník atd.)
8. Nechejte maltu vytvrdit
9. Upevněte kotvený prvek a dotáhněte utahovacím momentem

## PEVNÝ MATERIÁL



1. Vyrtejte otvor (nejlépe pomocí příklepu)
2. Otvor řádně vyčistěte pomocí kartáčku a pumpičky (minimálně 4x opakujte)
3. Po odšroubování uzávěru odřízněte vršek a našroubujte statický směšovač
4. Vytlačte prvních cca 10-15 cm neprobarvené směsi (správná barva je šedá)
5. Vyplňte otvor směrem ode dna nahoru kotvicí maltou
6. Otáčivým pohybem natočte kotvicí prvek (závitovou tyč, svorník atd.)
7. Zkontrolujte správnou polohu kotvicího prvku v otvoru
8. Nechejte maltu vytvrdit
9. Upevněte kotvený prvek a dotáhněte utahovacím momentem



ČISTICÍ VZDUCHOVÁ PUMPIČKA NA OTVORY



KARTÁČ NA ČIŠTĚNÍ OTVORŮ



SÍTKA DO DUTÝCH MATERIÁLŮ

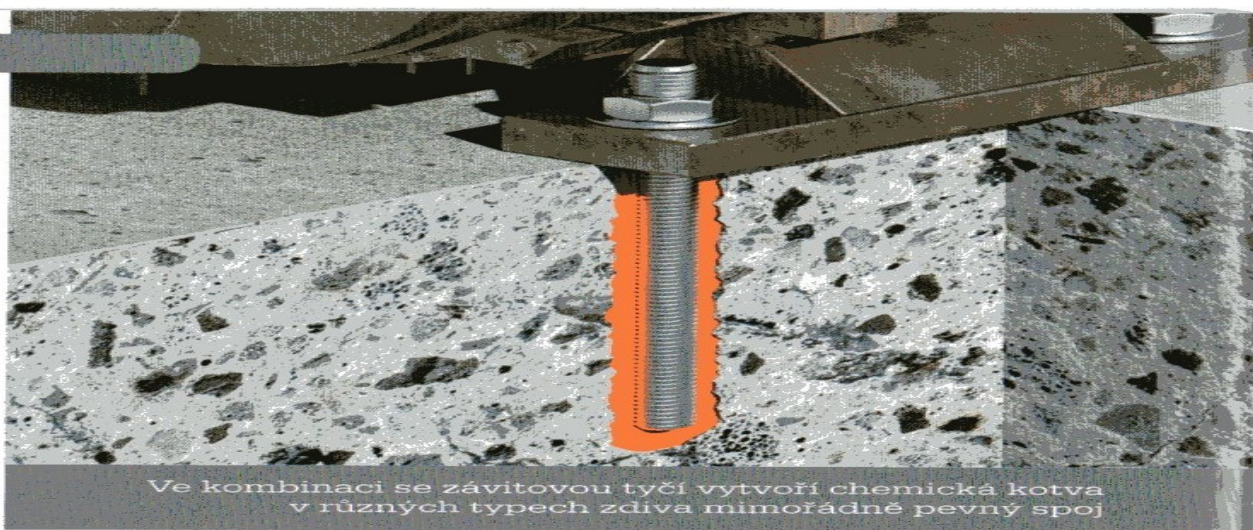


KOTVICÍ ZÁVITOVÉ TYČE



STATICKÝ SMĚŠOVAČ PRO CHEMICKOU KOTVU

Specifický druh lepidel představují chemické kotvy. Přirovnat je lze k dvousložkovým lepidlům, tvrdnoucím teprve po smíchání. Chemické kotvy využijete k velmi pevnému ukotvení šroubů do zdiva.



Ve kombinaci se závitovou tyčí vytvoří chemická kotva v různých typech zdiva mimořádně pevný spoj

# CHEMICKÉ KOTVY

**Ch**emická kotva či chemická malta je směs na bázi polyesteru či epoxidu, která dokáže díky chemické reakci po smíchání příslušných složek vytvrdnout do mimořádně pevné konzistence.

Ideálním materiálem pro upevnění do chemických kotev jsou závitové tyče různých průměrů



Do vyvrтанého otvoru ve zdivu vtlačíte směs pomocí aplikátoru na kartuši a do takto vyplněného otvoru poté zasunete spojovací prvek, obvykle závitová tyč. Po vytvrdnutí lze na takový prvek bez obav upevnit i velmi těžké předměty. Například pro upevnění spacích pater, bojlerů, polic pro velké zatížení či závěsných klozetových mís.

vyvíklání, ani když je spoj pravidelně namáhaný v tahu. Chemická kotva zvládne opravdu vysokou zátěž a navíc si můžete z jednotlivých výrobků vybrat právě podle kritéria síly v tahu, kterou zvolený typ kotvy snese.

Kotvy vybírejte podle materiálu, do kterého hodláte šrouby či závitové tyče ukotvit. Kotvy do některých materiálů (např. betonu) mohou být dražší než kotvy do pórobetonu nebo cihel.

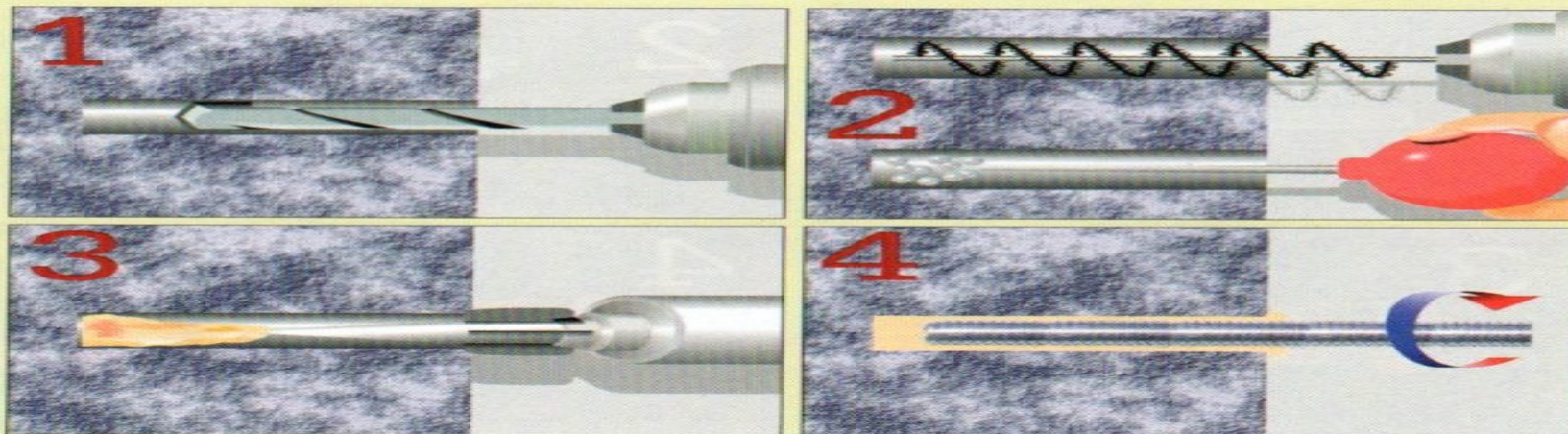
Ke kotvě v kartuši bývají přiloženy dva aplikační nástavce



Základní set obvykle obsahuje kromě kartuše i dvojici aplikátorů a někdy i sítky a šrouby

**Toto je směšovač – spirála s pootočenými závity**

# POSTUP KOTVENÍ DO DUTÉHO ZDIVA



## KOTVENÍ DO DUTÝCH MATERIÁLŮ

V případě kotvení do dutých cihel či tvárnic je nutné vrtat díry bez použití příklepu. Jen tak nerozbijete v tvárnici duté komůrky, které ke kotvení potřebujete. Do vyvrtaného a vyčištěného otvoru pak vložíte plastovou nebo kovovou sítku. Jde vlastně o váleček, podle jehož průměru je nutné volit vrták a vyvrtat otvor příslušné



Pro použití v dutém zdivu jsou určeny kovové nebo plastové sítky, skrze jejichž otvory malta pronikne do zdiva



velikosti. Chemická malta pak při tvrdnutí „prolézá“ otvory v sítkce a vytvoří i v pórovitém či dutém materiálu dostatečně pevné spojení. Další postup je shodný s aplikací chemické malty do pevných materiálů (viz schéma).

V obou případech použitý statický směšovač včas odšroubujte a vyhodte. Kartuši dobře uzavřete a můžete ji použít opakovaně, ovšem vždy s novým směšovačem.



# **Co si můžete udělat v laboratorních cvičeních ohledně POLYESTERŮ?**

- **Vytvrzování nenasyčených polyesterů**
- **Chemická recyklace PETP v alkalickém prostředí**