Polymery a plasty v praxi

POLYETYLEN

RNDr. Ladislav Pospíšil, CSc.

pospisil@polymer.cz

pospisil@gascontrolplast.cz

29716@mail.muni.cz

1. Historie PE
2. Názvosloví PE
3. Druhy PE
    1. Homopolymery
    2. Kopolymery
4. Výroba PE u nás a ve světě
5. Zpracování PE
    1. PE fólie
6. Doplňkové technologie
    1. Svařování
    2. Potisk
    3. Lepení
7. PE a životní prostředí
8. Oxo a biodegradovatelný PE
9. Recyklace PE

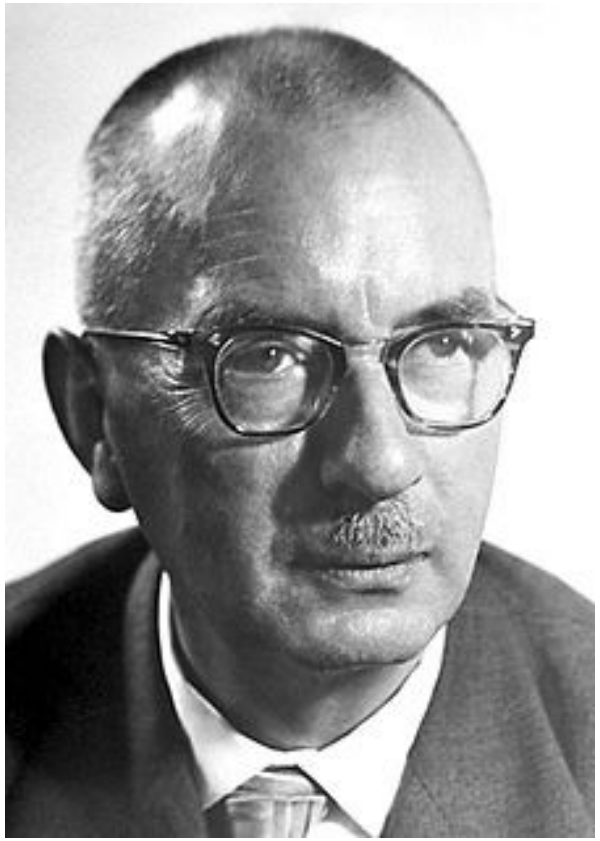
KAPITOLA 1.

Historie polyethylenu

Historie polyethylenu 1

- **1933** – objeven postup výroby LDPE u firmy ICI (Imperial Chemical Industry) ve Velké Británii
- **1938** –zahájení výroby LDPE u firmy ICI ve Velké Británii
- **1951 - 1953** - objeven postup výroby HDPE na katalytických komplexech kovů (Cr, Ti atd.)
- **1976** – LLDPE a VLDPE katalýzou metallocenonovými sloučeninami

Historie polyethylenu 2



Karl Waldemar Ziegler

Giulio Natta

Nobel Prize in Chemistry (1963)

KAPITOLA 2.

Názvosloví polyethylenu

Názvosloví polyethylenu 1
stále se lze setkat s velmi různým názvoslovím

Anglický název	Zkratka
Ultra high molecular weight polyethylene	PE-UHMW
Ultra low molecular weight polyethylene	E-ULMW nebo PE-WAX
High molecular weight polyethylene	PE-HMW
High density polyethylene	PE-HD
High density cross-linked polyethylene	PE-HDXL
Cross-linked polyethylene	PE-X nebo XLPE
Medium density polyethylene	PE-MD
Low density polyethylene	PE-LD
Linear low density polyethylene	PE-LLD
Very low density polyethylene	PE-VLD

r PE – rozvětvený polyethylen, l PE – lineární polyethylen
Toto se používalo jen v češtině

Názvosloví polyethylenu 2

- Ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE)
- Ultra-low-molecular-weight polyethylene (ULMWPE or PE-WAX)
- High-molecular-weight polyethylene (HMWPE)
- High-density polyethylene (HDPE)
- High-density cross-linked polyethylene (HDXLPE)
- Cross-linked polyethylene (PEX or XLPE)
- Medium-density polyethylene (MDPE)
- Linear low-density polyethylene (LLDPE)
- Low-density polyethylene (LDPE)
- Very-low-density polyethylene (VLDPE)
- Chlorinated polyethylene (CPE)

Názvosloví polyethylenu 3 správné SOUČASNÉ ČESKÉ názvosloví

Tab. 2.2. Třídění PE podle hustoty

Typ	Zkratka	Hustota (g/cm^3)
PE s velmi nízkou hustotou	ULDPE (Ultra-Low Density)	0,888–0,915
PE s nízkou hustotou	LDPE (Low Density)	0,910–0,955
Lineární PE s nízkou hustotou	LLDPE (Linear Low Density)	0,918–0,955
PE se střední hustotou	MDPE (Medium Density)	0,925–0,940
PE s vysokou hustotou	HDPE (High Density)	0,941–0,954
PE s vysokou molekulovou hmotností	HMW-HDPE (High Molecular Weight HDPE)	0,944–0,954 MH = 200 000–500 000
PE s ultravysokou molekulovou hmotností	UHMW-HDPE (Ultra-High Molecular Weight HDPE	0,955–0,957 MH = 3 000 000–6 000 000

Příklad názvosloví 1

- **STRUKTURNÍ NÁZEV -** poly(ethylen)
- **TRIVIÁLNÍ NÁZEV –** polyethylen (*polyetylén*)
- **ZKRATKA POLYMERU –** LDPE (*nízkohustotní – LD*, polyethylen – PE)
- **OBCHODNÍ NÁZEV -** Bralen NA 7-25 (*NA – zkratka použití*, 7-25 – číselný kód vlastností)

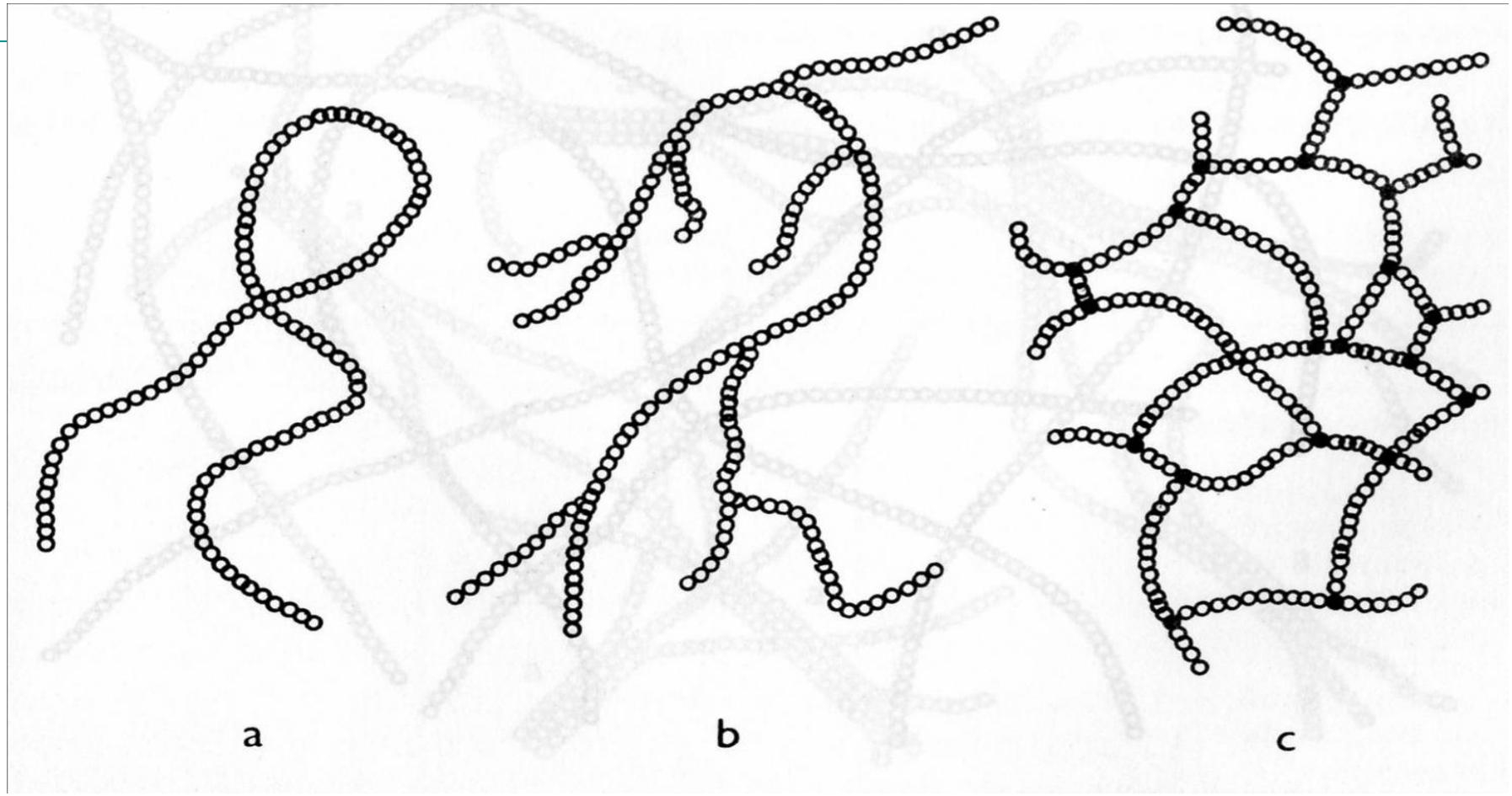
Jak se v tom všem vyznat?

- **STRUKTURNÍ NÁZEV -** musí mít každý polymer!
- **TRIVIÁLNÍ NÁZEV –** mají jen v praxi běžně používané polymery
- **ZKRATKA POLYMERU –** mají spíše jen průmyslově běžně používané polymery, ale jsou VÝJÍMKY
- **OBCHODNÍ NÁZEV –** mají jen průmyslově VYRÁBĚNÉ MATERIÁLY

KAPITOLA 3.

Druhy polyethylenu

STRUKTURA Polymerů



a – lineární, b – větvená, c - síťovaná

Druhy PE 1

- STRUKTURA
  - VLASTNOSTI
    - NÁZEV

Druhy PE 2
HOMOPOLYMER versus KOPOLYMER

HOMOPOLYMER

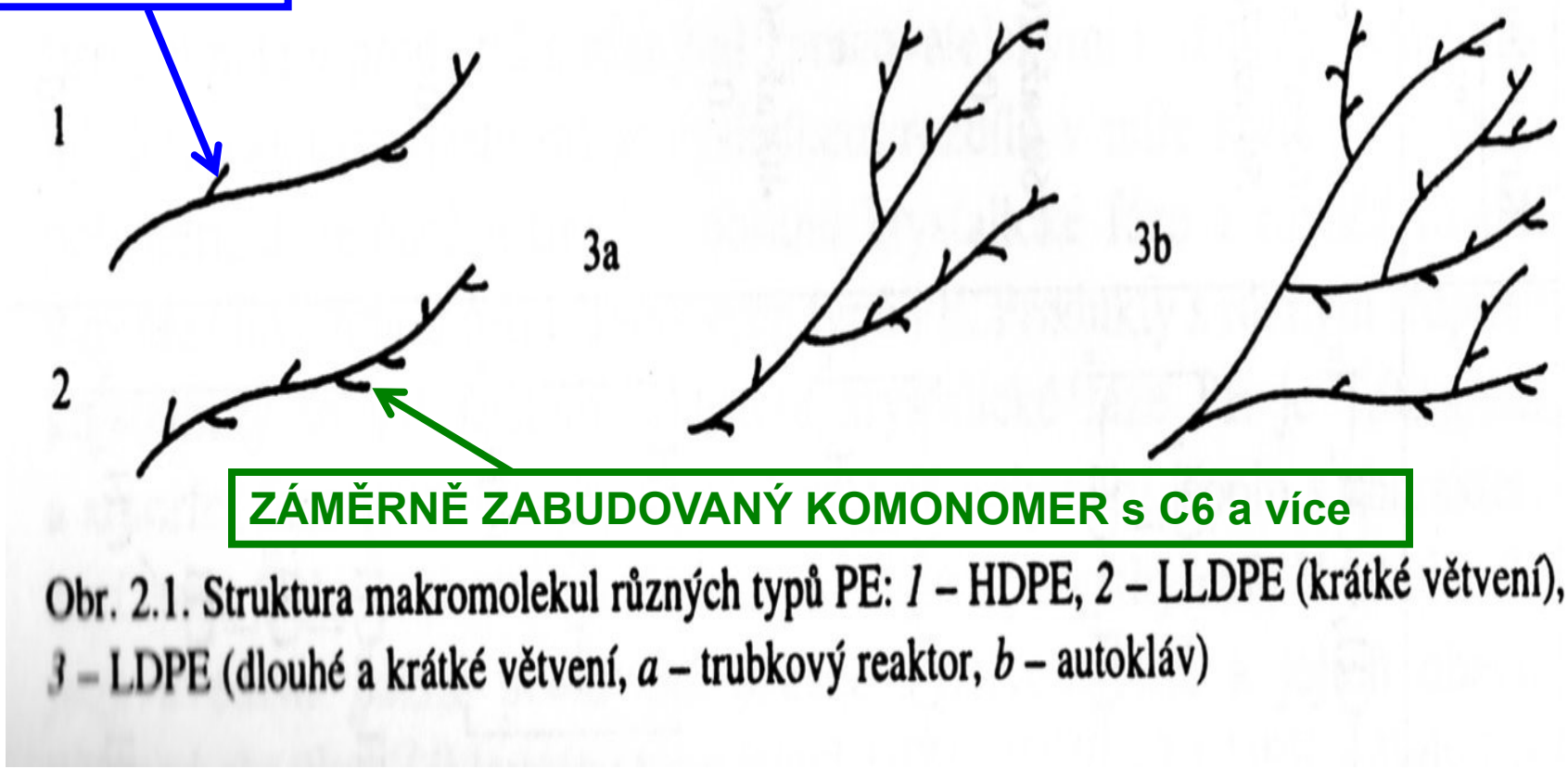
- Složen pouze z jedné suroviny, zde ETHYLEN

KOPOLYMER

- Složen kromě ETHYLENU ještě z dalších surovin
  - Olefiny (buten, hexen, …)
  - Polární komonomery (ethylenvinylacetát, akryláty, …)

Druhy PE 3

Náhodné poruchy nebo buten



ZÁMĚRNĚ ZABUDOVANÝ KOMONOMER s C6 a více

Obr. 2.1. Struktura makromolekul různých typů PE: *1* – HDPE, 2 – LLDPE (krátké větvení), *3* – LDPE (dlouhé a krátké větvení, *a* – trubkový reaktor, *b* – autokláv)

Typický semikrystalický plast

PE - typický semikrystalický termoplast

Semikrystalický

Část hmoty je krystalická a část není. Té se říká **AMORFNÍ** (**NEKRYSTALICKÁ**) část

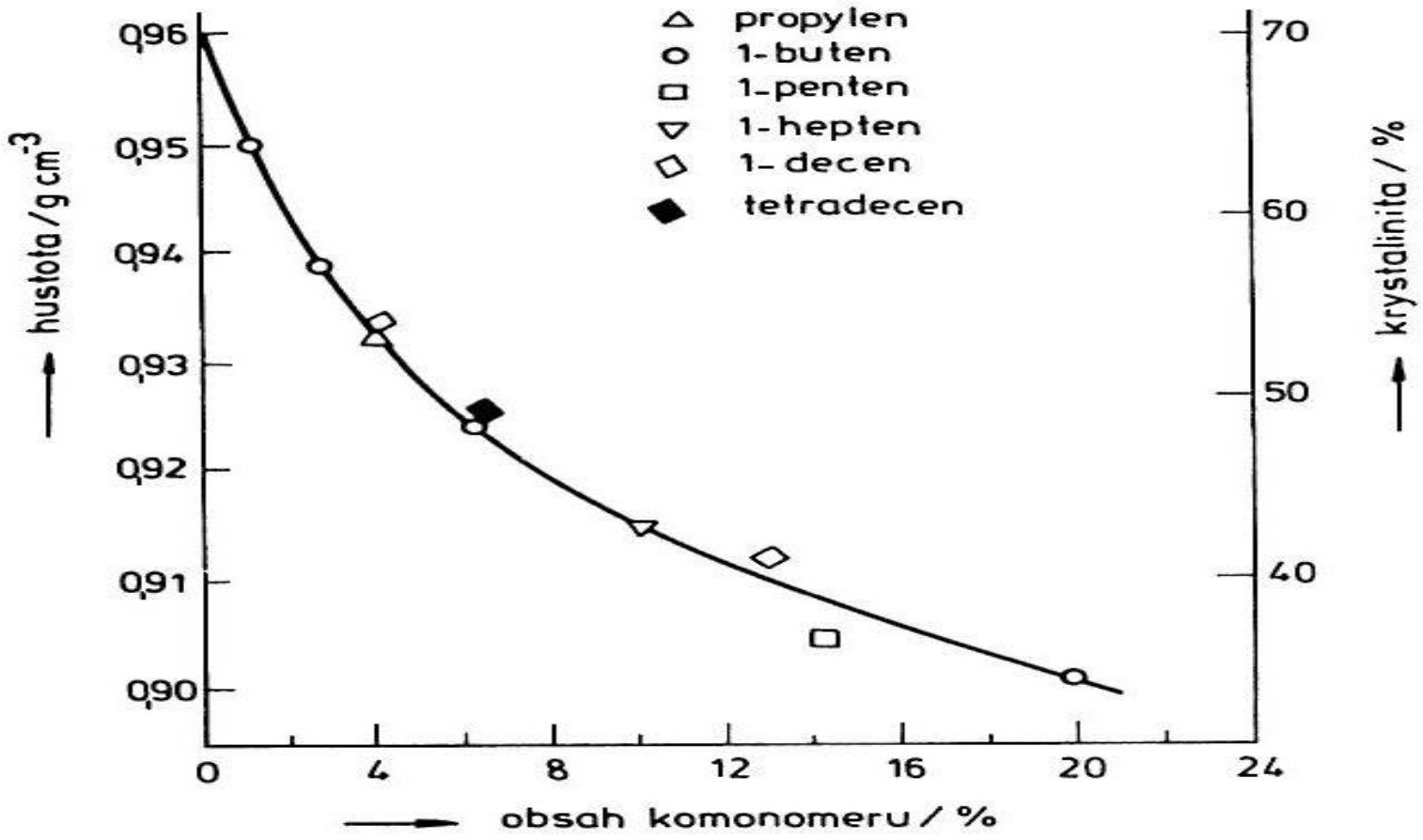
Krystalická hmota

Vyznačuje se **pravidelností struktury** ve všech třech směrech (osách x, z, a z)

Krystaly plastů

Jejich rozměry jsou, na rozdíl od např. NaCl, rozměrů 10^{-8} m na výšku (ve směru osy z) a cca. 10^{-6}m ve směru os x a y (plošně)

PE – VLIV KOMONOMERACE NA HUSTOTU A KRYSTALINITU



Obr. 2.6. Vliv obsahu komonomeru na hustotu kopolymerů ethylenu

PE – VLIV KOMONOMERACE NA HUSTOTU A KRYSTALINITU

Tab. 2.4. Srovnání některých typických vlastností základních druhů polyethylenů

Vlastnost	LDPE	LLDPE	HDPE
Hustota, g/cm^3	0,915–0,935	0,910–0,925	0,941–0,967
Teplota tání, °C	106–112	125	130–133
Pevnost v tahu, MPa	7–17	14–21	18–30
Prodloužení při přetržení, %	100–700	200–1200	100–1000
Modul pružnosti, MPa	415–795	248–365	689–1654
Tvrdost, Shore D	45–60	41–53	60–70

PE – HUSTOTA A MECHANIKA

Tab. 2.4. Srovnání některých typických vlastností základních druhů polyethylenů

Vlastnost	LDPE	LLDPE	HDPE
Hustota, g/cm^3	0,915–0,935	0,910–0,925	0,941–0,967
Teplota tání, °C	106–112	125	130–133
Pevnost v tahu, MPa	7–17	14–21	18–30
Prodloužení při přetržení, %	100–700	200–1200	100–1000
Modul pružnosti, MPa	415–795	248–365	689–1654
Tvrdost, Shore D	45–60	41–53	60–70

PE – HUSTOTA, index toku a MWD

Tab. 2.5. Vliv změny hustoty, indexu toku taveniny a stupně polydisperzity ($\overline{M}_w/\overline{M}_n$) na užitné vlastnosti lineárních polyethylenů HDPE a LLDPE
(+ růst, – pokles, 0 bez vlivu)

Vlastnost	Žádoucí tendence	Potřebná změna		
		hustoty	indexu toku taveniny	stupně polydisperzity
tuhost	+	+	0	0
tvrdost	+	+	0	0
teplota měknutí	+	+	0	0
mez pevnosti v tahu	+	+	–	0
tažnost	+	–	–	0
rázová houževnatost	+	–	–	–
teplota křehnutí	–	–	–	+
permeabilita	–	+	0	0
chemická odolnost	+	+	0	0
odolnost proti tvorbě trhlin pod napětím	+	–	–	+

Vliv struktury PE na jeho krystalinitu (podíl krystalické fáze) a na jeho vlastnosti

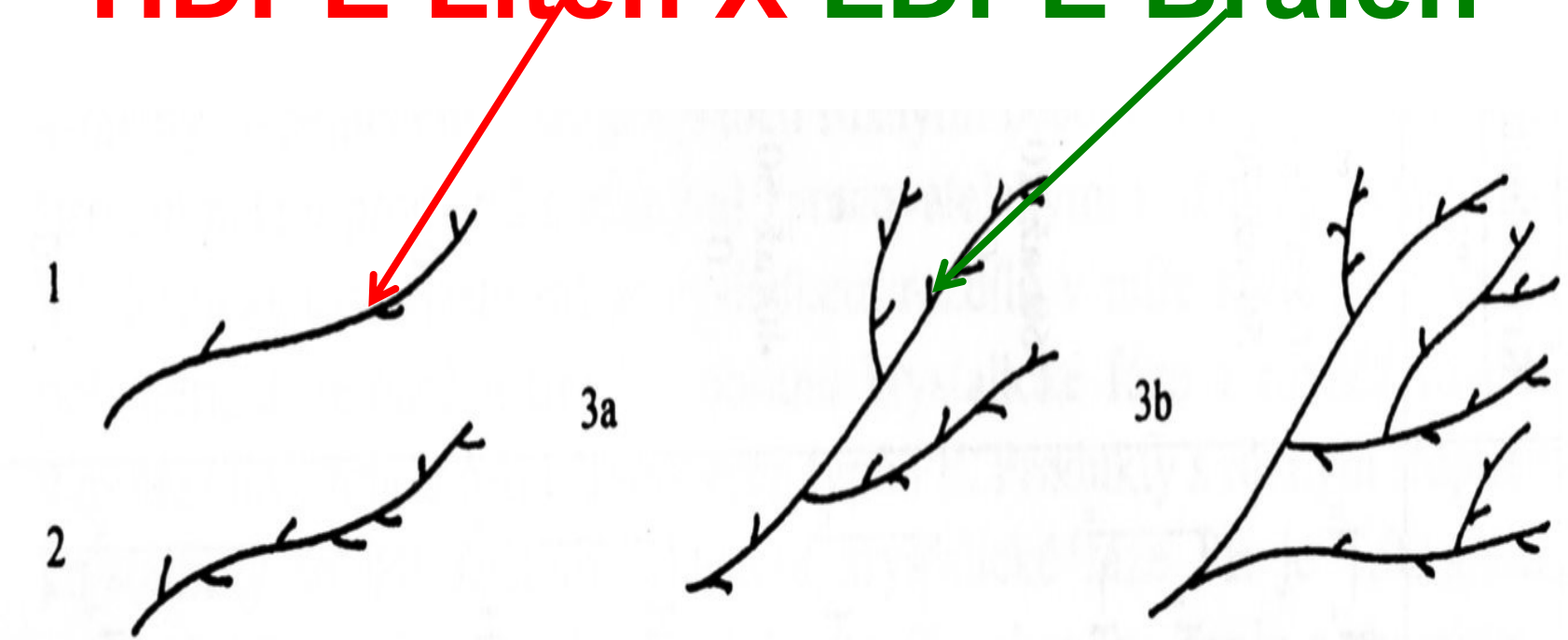
Rozvětvený PE

- Větvení **brání** krystalizaci
- Krystalická fáze má vyšší hustotu než nekrystalická
- Větvený PE má proto **nižší** hustotu
- Krystalický PE má vyšší mez kluzu
- Větvený PE je proto **méně** tuhý

Lineární PE

- Linearita **podporuje** krystalizaci
- Krystalická fáze má vyšší hustotu než nekrystalická
- Lineární PE má proto **vyšší** hustotu
- Krystalický PE má vyšší mez kluzu
- Lineární PE je proto **více** tuhý

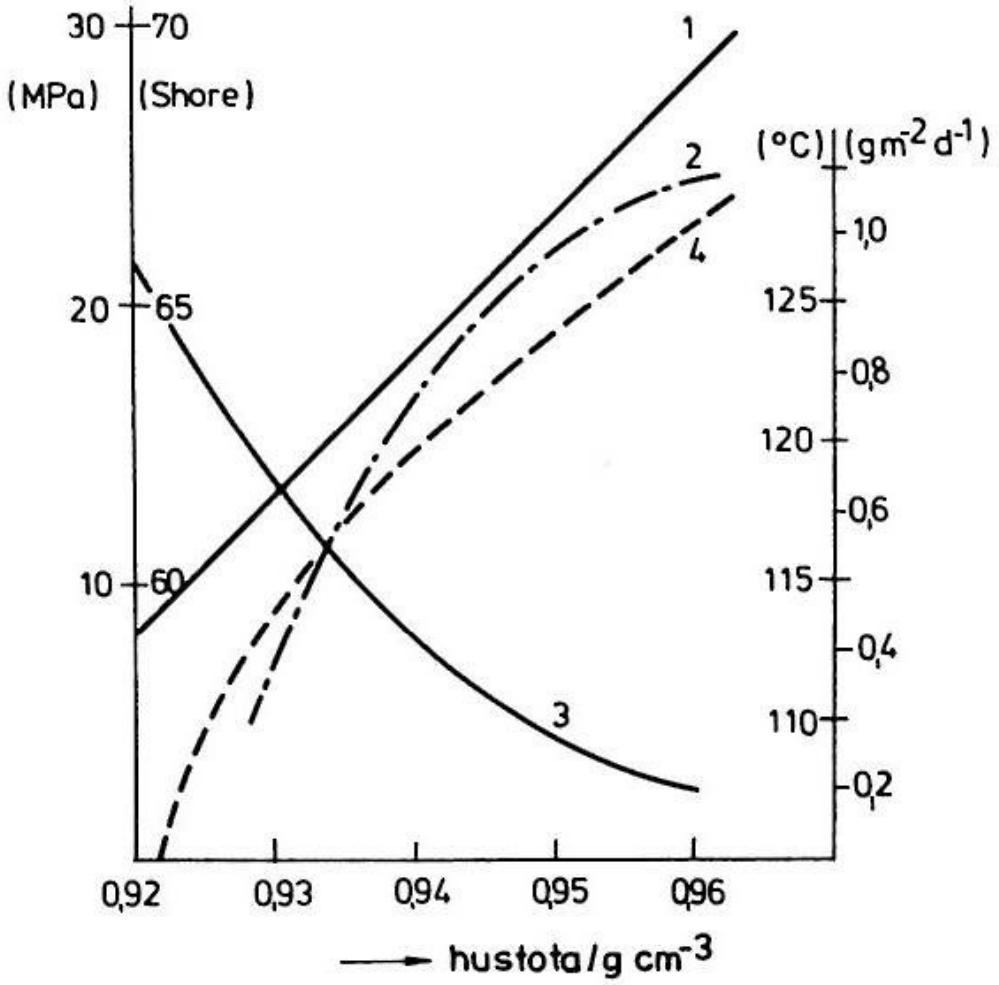
HDPE Liten X LDPE Bralen



Obr. 2.1. Struktura makromolekul různých typů PE: *1* – HDPE, 2 – LLDPE (krátké větvení), *3* – LDPE (dlouhé a krátké větvení, *a* – trubkový reaktor, *b* – autokláv)

Typické semikrystalické plasty

PE – vliv hustoty na vlastnosti



Obr. 2.5. Závislost vlastností polyethylenu na hustotě při 23 °C

1 — pevnost v ohybu (MPa), *2* — tvrdost Shore, *3* — propustnost pro vodní páru fólií o tloušťce 100 μm ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$), *4* — tvarová stálost za tepla podle Vicata (°C)

HDPE Liten X LDPE Bralen

Liten MB 71

ITT	7 – 8,5
Vstřikovací typ	
Hustota	962 kg/m^3
Napětí na mezi kluzu v tahu	26 MPa
Teplota měknutí podle Vicata	126 °C
Tvrdost Shore D	58

Bralen NA 7-25

ITT	7 – 8
Vstřikovací typ	
Hustota	921 kg/m^3
Napětí na mezi pevnosti v tahu	17 MPa
Teplota měknutí podle Vicata	88 °C
Tvrdost Shore D	42

PE – vliv kopolymerace na hustotu

Olefinický kopolymer

- Olefiny (buten, hexen, … decen (C 10))
- Negativní vliv na krystalinitu > nižší hustota

Polární komonomery

– Polární komonomery (ethylenvinylacetát, akryláty, …) mají negativní vliv na krystalinitu > nižší hustota

– Polární komonomery vyšší molekulovou hmotnost než ethylen > vyšší hustota

– **Vyšší molekulová hmotnost obvykle převáží > vyšší hustota, ale často nižší než pro HDPE**

Nejběžnější kopolymery ethylenu

Tab. 2.7. Kopolymery ethenu

Zkratka	Komonomer	Obsah komonomeru, %	—R	Typ polymerace
EMA	Methylakrylát	20–40	$—COOCH_3$	Radikálová
EEA	Ethylakrylát	15–30	$—COOCH_2CH_3$	Radikálová
EVA	Vinylacetát	5–50	$—OCOCH_3$	Radikálová
EVOH	Vinylalkohol	27–48	—OH	Hydrolýza EVA
EAA	Kyselina akrylová	3–20	—COOH	Radikálová
EMAA	Kys. methakrylová	1–10	$—CH_3$, —COOH	Radikálová
EPM	Propen	40–50	$—CH_3$	Koordinační
EPDM	Propen + dien	40–50/3–5	$—CH_3$, —C=C—	Koordinační

Výroba PE u nás a ve světě

- **LDPE** – Slovnaft Bratislava, cca. 180 000 t/rok
- **HDPE** – Unipetrol Litvínov, cca. 250 000 t/rok

LDPE ve světě

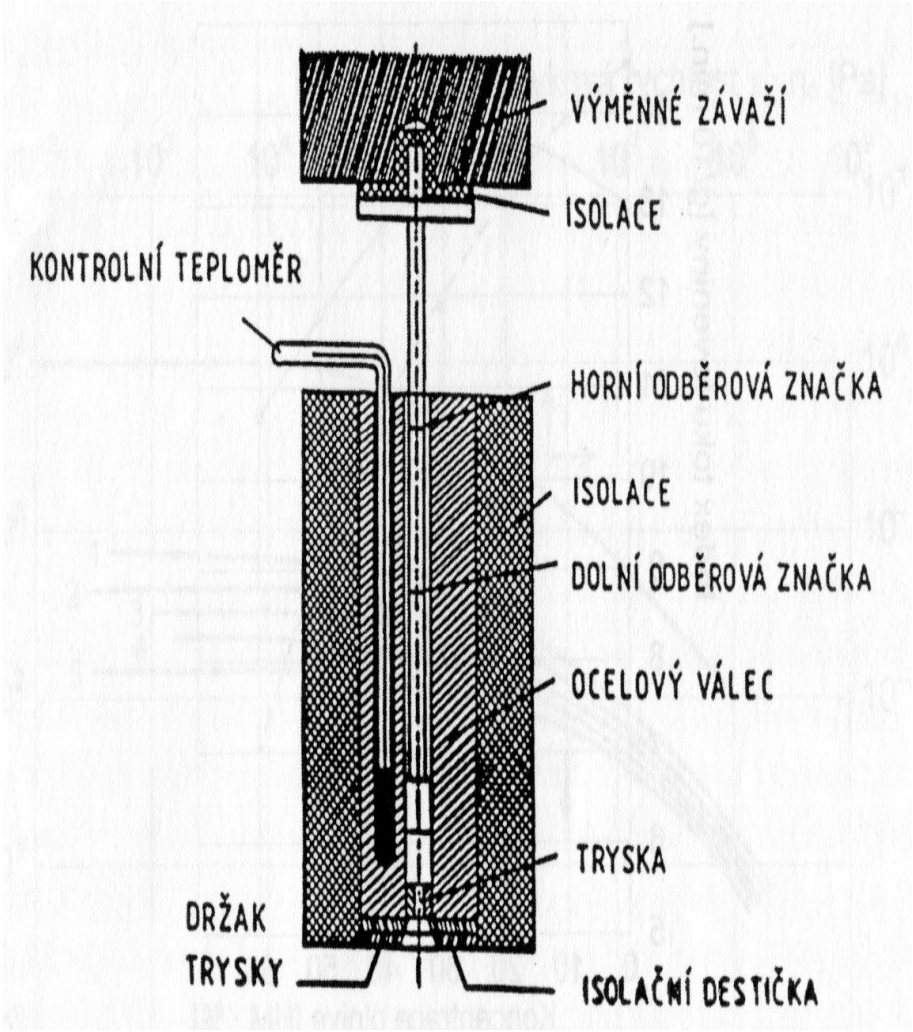
- **Cca. $25*10^6$ t/tok**

HDPE ve světě

- **Cca. $30*10^6$ t/tok**

Čísla z Asie nejsou spolehlivě dostupná

Index toku taveniny POLYETYLENU



INDEX TOKU TAVENINY (190/2,16)	g/10 min	0.15
INDEX TOKU TAVENINY (190/5)	g/10 min	0.70
INDEX TOKU TAVENINY (190/21,6)	g/10 min	16.00

Když začneme hledat na Internetu www.unipetrol.cz

LITEN FB 29 je kopolymer s širokou distribucí molekulových hmotností a základní aditivací, vhodný pro výrobu „papírových fólií“ pro obalovou techniku o doporučené tloušťce nad 15 µm.

Vlastnost	Jednotka	Typická hodnota
INDEX TOKU TAVENINY (190/2,16)	g/10 min	0.15
INDEX TOKU TAVENINY (190/5)	g/10 min	0.70
INDEX TOKU TAVENINY (190/21,6)	g/10 min	16.00
HUSTOTA	kg/m^3	950
NAPĚTÍ NA MEZI KLUZU	MPa	24
TAŽNOST NA MEZI KLUZU	%	10.0
OHYBOVÝ MODUL	MPa	1050
VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST CHARPY 23˚C	kJ/m^2	12.0
VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST CHARPY -30˚C	kJ/m^2	5.0
TEPLOTA MĚKNUTÍ DLE VICATA	°C	125
TVRDOST SHORE D	-	60
ESCR F50; 50°C; 100% DETERGENT	h	250

KAPITOLA 4.

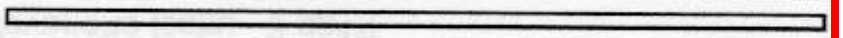
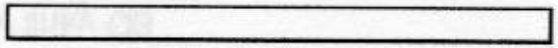
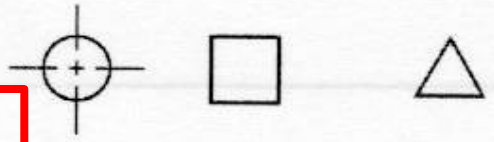
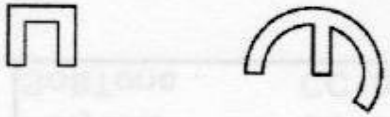
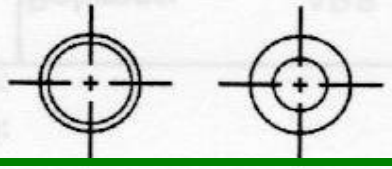
Zpracování polyethylenu

Typy POLYETYLENU podle použití

- **Vstřikovací**
- **Vytlačovací**
  - **Fóliové,**
  - **Deskové,**
  - **Trubkové,**
  - **Vláknařské (Liten LS 87)**
- **Vyfukovací**
- **Páskové**
- **Jiné a různé (Bralen SA 200-22 atd.)**

Desky versus fólie
Trubky versus roury
(spíše se používá zdrobnělina - trubičky)

Table 1 Typical extruded product shapes

Films	$t < 0.01$ in.	
Sheets	$t > 0.01$ in.	
Profiles	Strand	
	Open	
	Hollow chamber	
Tubes	$d < 1.0$ in.	
Pipes	$d > 1.0$ in.	

1 in = 1 inch = 25,4 mm

0,01 in = 0,254 mm = 254 μm

Typy POLYETYLENU podle použití

Tab. 2.6. Zpracování polyethylenu (USA 1995, %)

Technologie	LDPE	HDPE	LLDPE
Fólie	58	19	66
Extruze a vrstvení	13	7	<1
Vstřikování	6	18	10
Vyfukování	<1	35	<1
Izolace drátů a kabelů	4	<1	3
Ostatní	19	20	22

HD POLYETYLEN Liten – ITT a použití

- **Vstřikovací – 3 – 25 g/10 minut**
- **Vytlačovací**
  - **Fóliové, – 0,1 – 0,20 g/10 minut**
  - **Deskové, – 0,1 – 0,20 g/10 minut**
  - **Trubkové, – 0,1 – 0,20 g/10 minut**
- **Vyfukovací – 0,1 – 0,25 g/10 minut**
- **Páskové – cca. 0,50 g/10 minut**
- **Vláknařské (Liten LS 87) - 25 g/10 minut**

LD POLYETYLEN Bralen – ITT a použití www.slovnaft.sk

- Vstřikovací – 2 – 20 g/10 minut
- Vytlačovací
  - Fóliové, – 0,3 – 3 g/10 minut
  - Deskové, – 0,3 – 2 g/10 minut
- Vyfukovací – 0,3 g/10 minut
- Speciální – 7 – 200 g/10 minut (7-25, 70-21, 200-22)

Podle jakých kritérií je možno rozdělovat fólie

- Technologie výroby
- Tloušťky
- Materiálu
- Počtu vrstev
- Použití
- Vlastností
- Stability při venkovní expozici
- ……

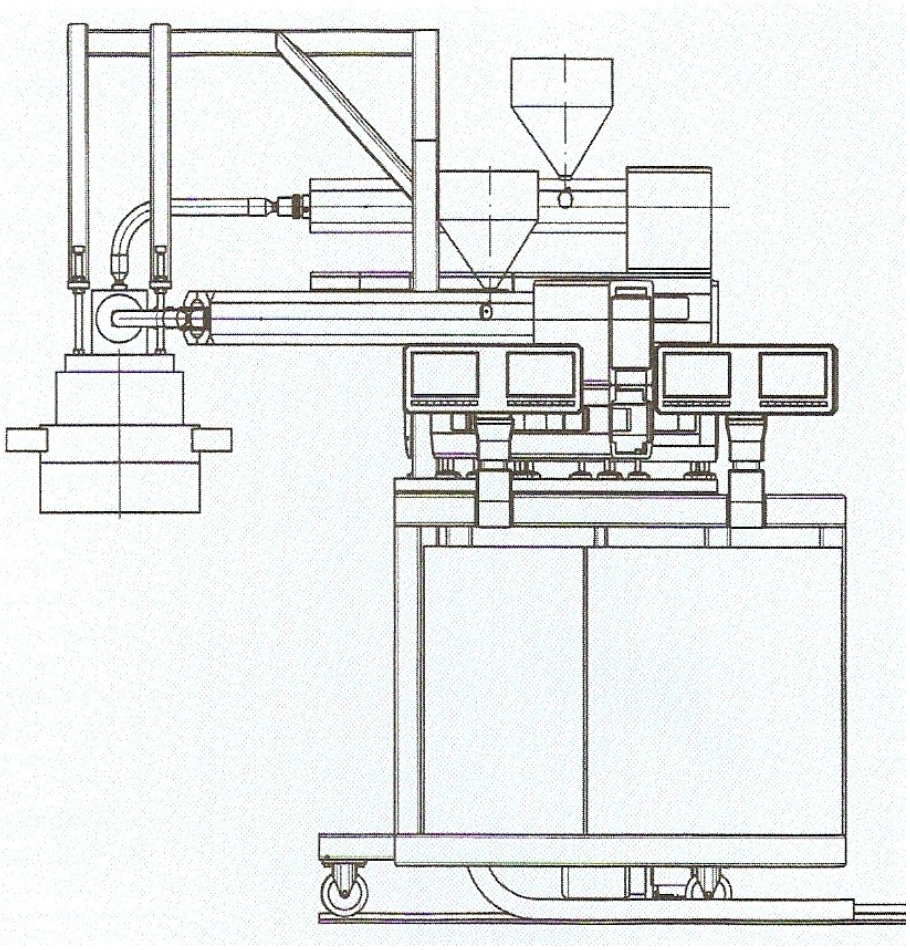
Základní typy fólií – jak je možno rozdělovat

- Vytlačované – kalandrované
- Vytlačované – odtah dolů X nahoru
- Chlazené vzduchem – chlazené vodou
- Jednovrstvé – vícevrstvé
- Ploché – tubulární
- Orientované – neorientované
- .....

Vytlačované tubulární fólie– odtah dolů

Chlazení vzduchem – nejběžnější, hlavně LDPE, LLDPE, HDPE a jejich směsi

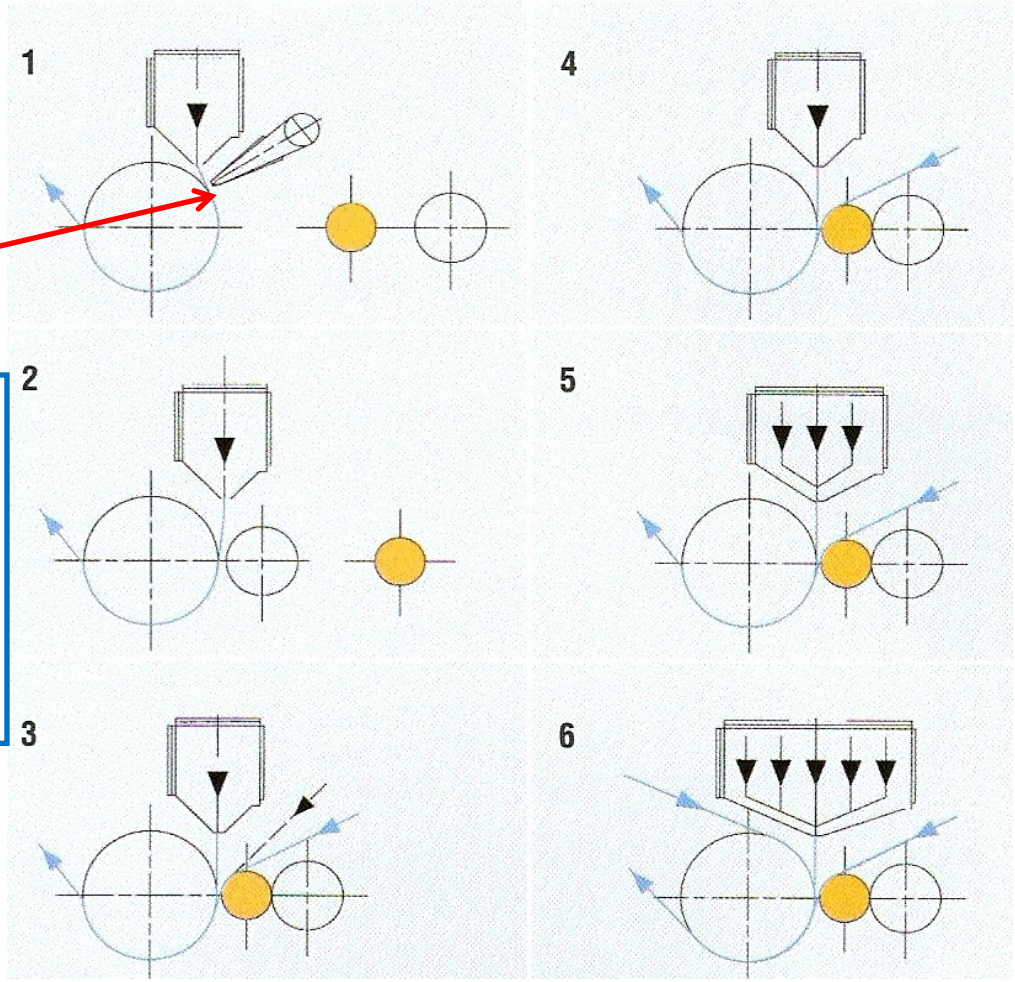
Chlazení vodním prstencem – méně běžné, hlavně u PP > PROČ?



Vytlačované ploché fólie – chlazení na válci

Vzduchový nůž (přítlak taveniny k chladícímu válci) – PP

Přítlak taveniny k chladícímu válci elektrostaticky - PET



Kalandrované fólie

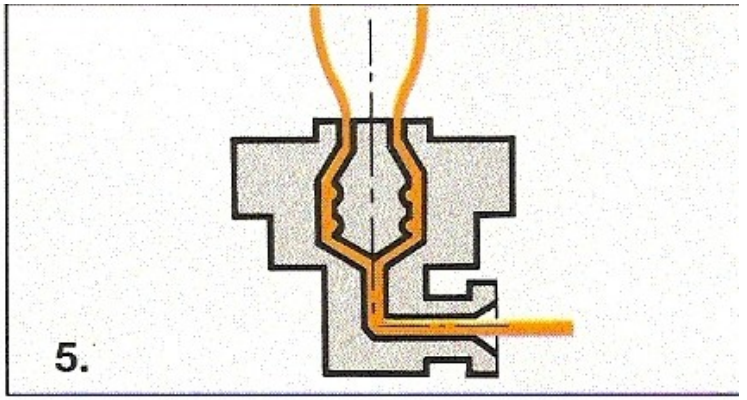
- Dominantní technologie u měkčeného i tvrdého PVC
- Lze kalandrovat i PP
  - Sestava kalandrovací linky
  - **Výhody a nevýhody kalandrování**

Vytlačování jako dominantní technologie výroby fólií (mimo PVC)

- **HDPE, LDPE, LLDPE, ULDPE ...**
- PP
- PET
- PA6, PA6.6
- PS
- HIPS
- ……

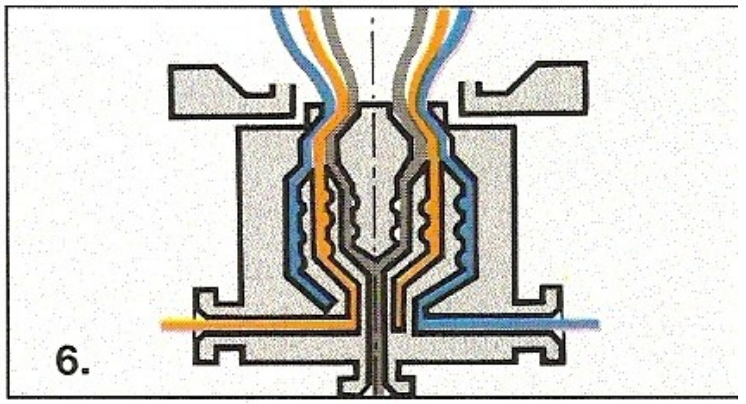
Film blowing lines

– film blowing with air cooling
– film blowing with water cooling.



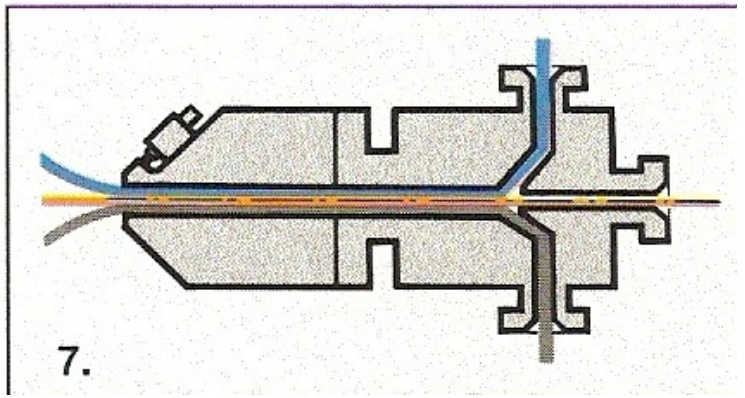
Co-extrusion film blowing lines

– 3 layers using 2–3 extruders
– 5 layers using 3–5 extruders
– 7 layers using 5–7 extruders.



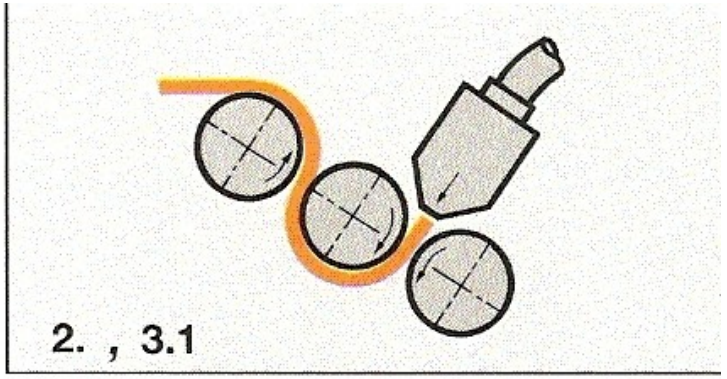
Co-extrusion flat film lines

– of 2–7 layers
– for films or sheets.



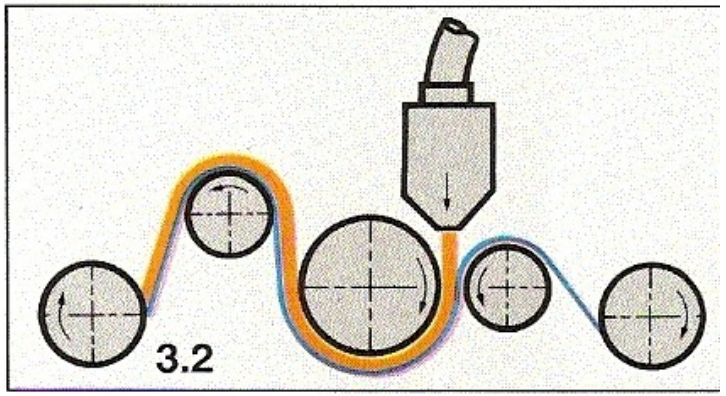
Laboratory film and sheet lines

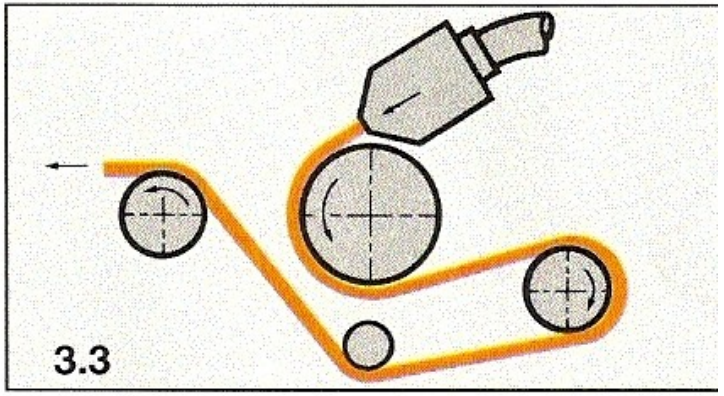
– designed as flat film line or
– smoothing calender line.



Modular system for flat film lines

3.1. finishing calenders
3.2. laminating and coating lines
3.3. cast film lines
3.4. mono-axial stretching lines.





Vlastnosti fólií I
přednáška dr. Kučery

- **Normy** – většinou popisují postup zkoušení a nikoli vlastnosti požadované pro daný výrobek
  - www.astm.org
  - www.iso.org
  - **www.cni.cz**
  - .....

Vlastnosti fólií II

- **Hygienické požadavky –** stanovují dnes tzv. **MIGRAČNÍ LIMITY** pro dané aditivum do daného modelového prostředí (simulantu)
- Dříve existovaly zákonné normy přímo udávající povolené maximální koncentrace daného aditiva v daném plastu pro danou aplikaci
- **FDA** X **BGA** X **předpisy EU**
- Speciální případ - měkčené PVC

Normy X Hygienické požadavky

- **Hygienické požadavky – závazný právní předpis > Ministerstvo zdravotnictví**
- **Normy – pokud se týkají vlastností fólií, nejsou právně závazné a jejich využívání je věcí dohody mezi dodavatelem a odběratelem**
- ***Normy jsou závazný právní předpis, pokud se týkají ohrožení zdraví nebo života lidí, např. elektrotechnické normy***

Fólie na bázi LDPE a LLDPE
Zpracovatelské vlastnosti (blokace, tření) – dr. Kučera

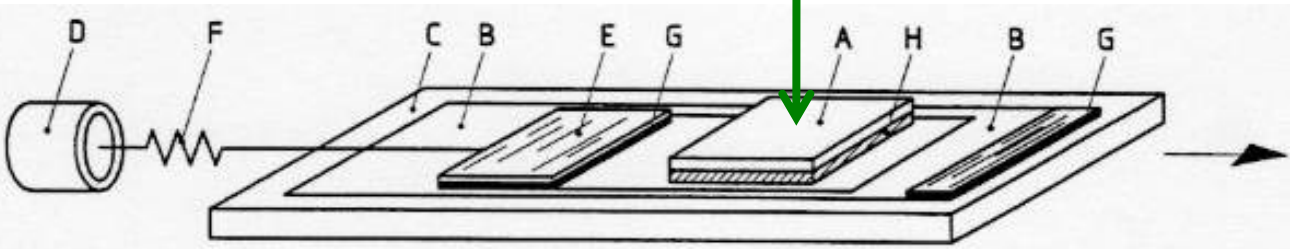
- Co to je blokace fólií a jak se měří
  - **ČSN EN ISO 11502 – Stanovení odolnosti proti přilnutí**
  - **ISO 11502:1995 – Determination of blocking resistance**
  - **ASTM D3354-04 Standard Test Method for Blocking of Plastic Film by the Parallel Plate method**

Fólie na bázi LDPE a LLDPE Zpracovatelské vlastnosti (tření) dr. Kučera

- Co to je tření fólií a jak se měří
  - **ČSN EN ISO 8295 – Stanovení koeficientu tření**
  - **ISO 8295:1995 – Determination of the coefficients of friction**
  - **ASTM D1894-06 Standard Test Method for Static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Film and Sheeting**

ČSN EN ISO 8295 – Stanovení koeficientu tření (statický, dynamický) dr. Kučera

Měření:
- fólie X fólie
- *fólie X jiná podložka*



Legenda

A Saně
B Zkušební tělesa
C Pohyblivý stůl
D Snímaci cela
E Pomocná deska deska
F Pružina
G Oboustranná lepicí páska
H Plsť

Obrázek 1 – Příklad zařízení s pohyblivým stolem pro měření koeficientu tření

PLOCHA saní A = 40 cm^2
CELKOVÁ HMOTNOST
saní A = 200 ± 2 g
NORMÁLOVÁ SÍLA
1,96 ± 0,02 N
Statický koeficient > pružina
Dynamický koeficient > pevné propojení

Adtiva pro nastavení hodnot tření fólií

- **Tření –amidy mastných kyselin**
  - Vliv základního polymeru – LDPE X PP
  - LDPE X HDPE (Zn stearát)
  - Typické koncentrace – nebezpečí předávkování > .....

Adtiva pro nastavení hodnot blokace fólií

- **Blokace –** částicová aditiva (silika, mastek, křemelina ...
  - **ESM** – rozměry částic
  - Vliv základního polymeru – LDPE X PP
  - LDPE X HDPE
  - Typické koncentrace > nebezpečí předávkování > .....

Funkce antibloku u fólií

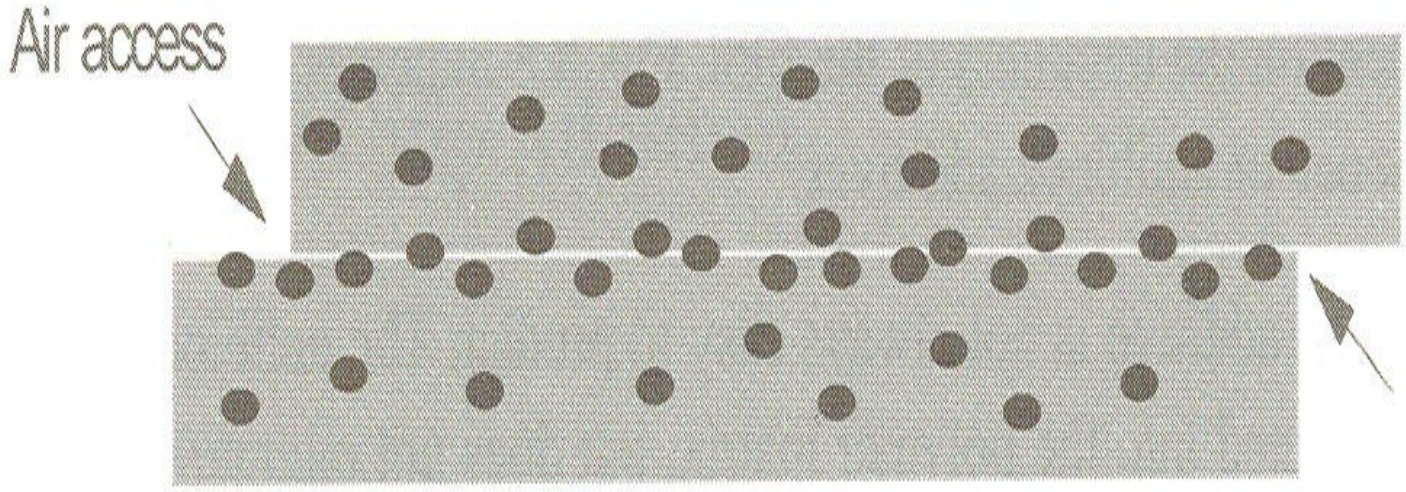
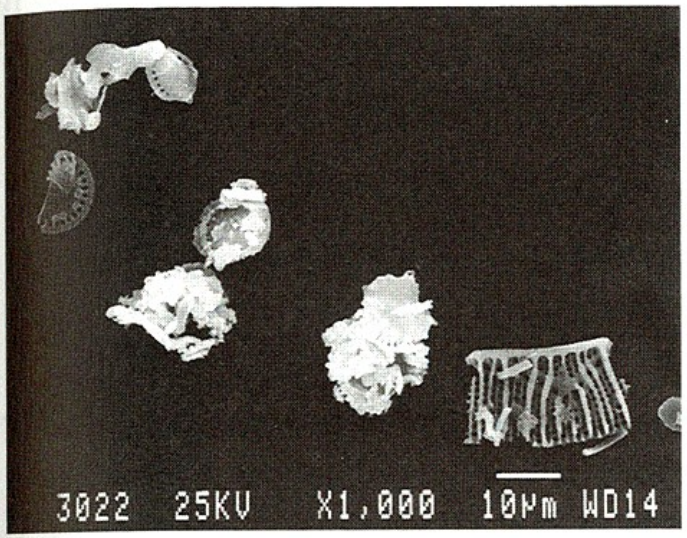
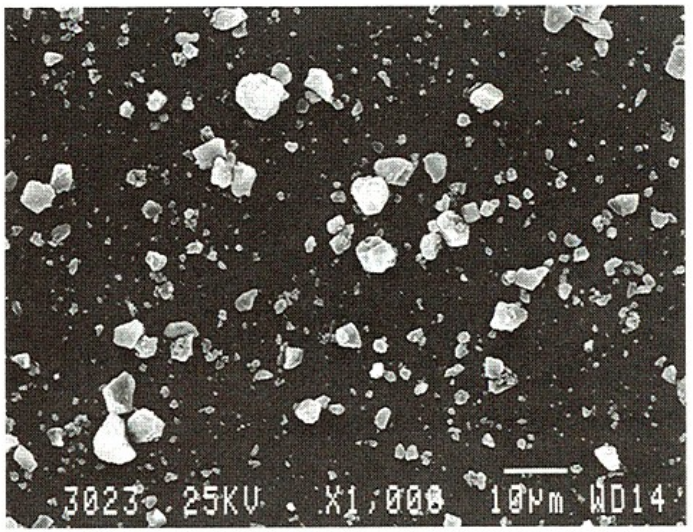


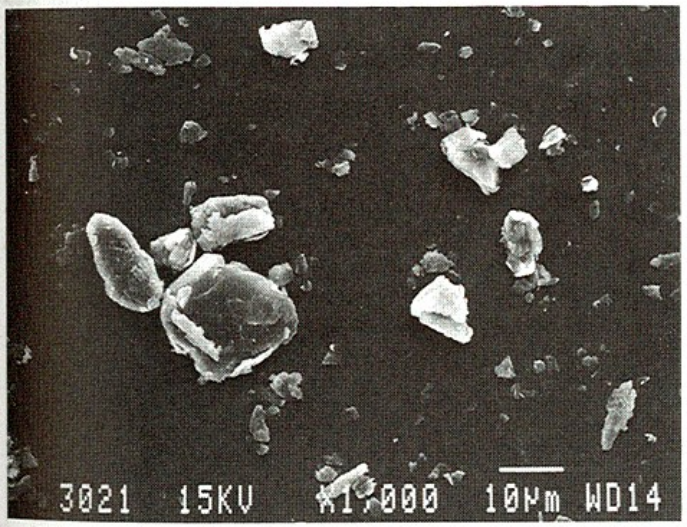
Fig. 8.9 Antiblock additive in polymer film



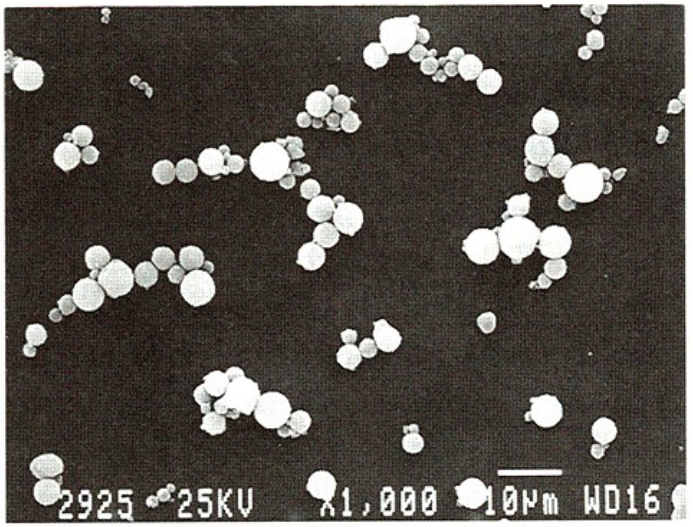
a: natural silica



b: synthetic silica



c: talc



d.: sperical organic antiblocking aids

Fig. 7.3 Scanning electron micrographs

Funkce kluzného činidla u fólií

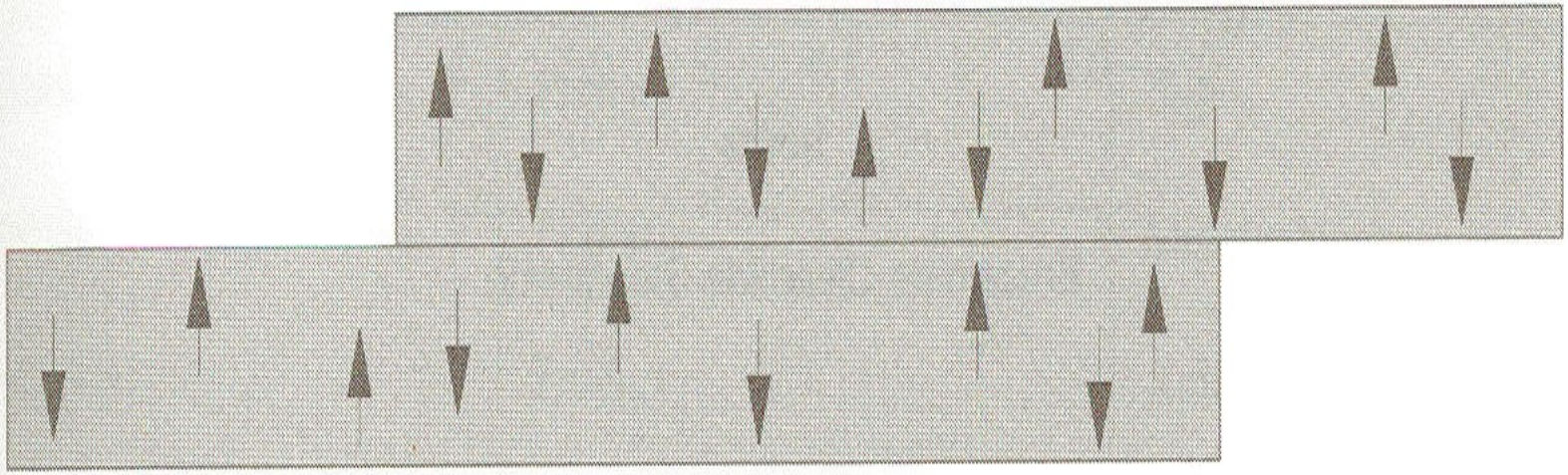


Fig. 8.1 Migration of slip additives to the film surface

Migrace kluzného činidla u fólií

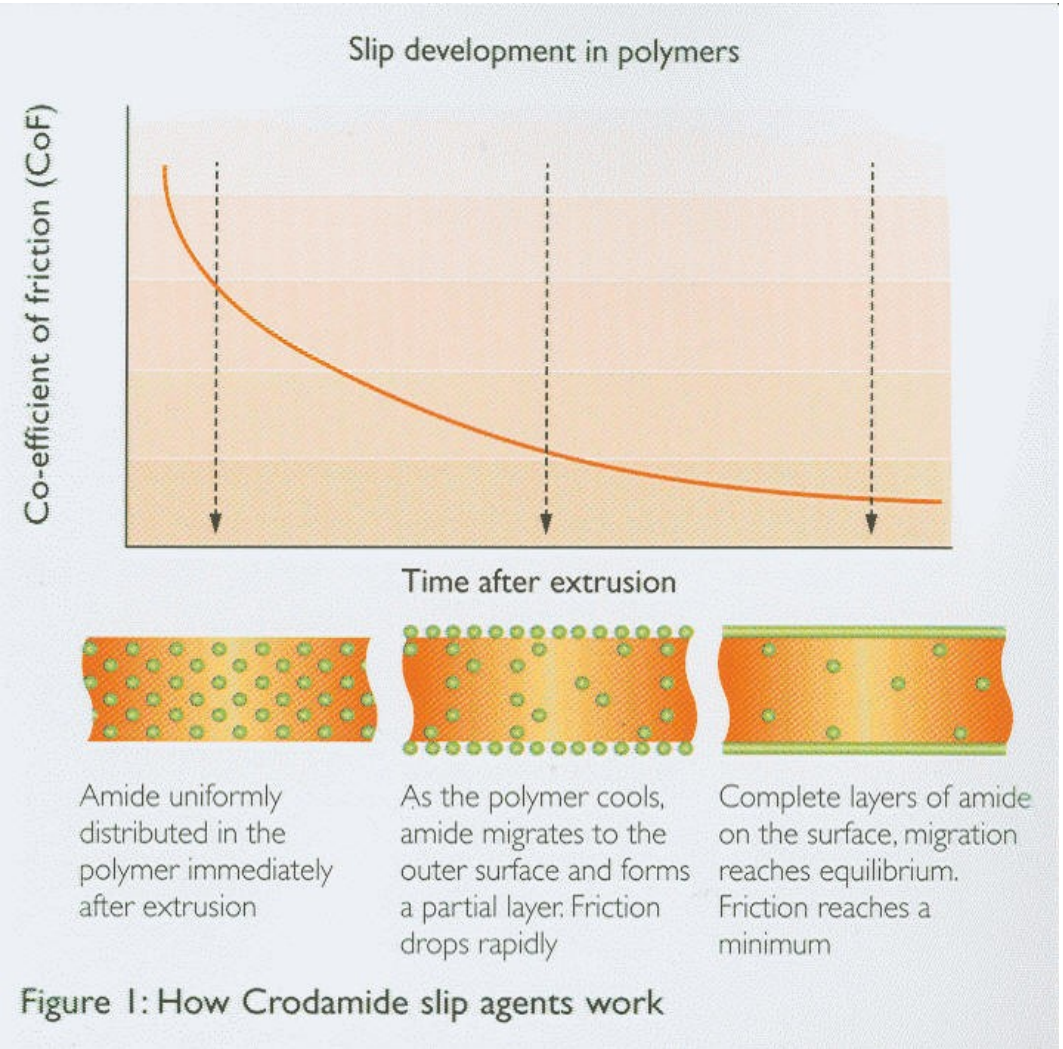


Figure 1: How Crodamide slip agents work

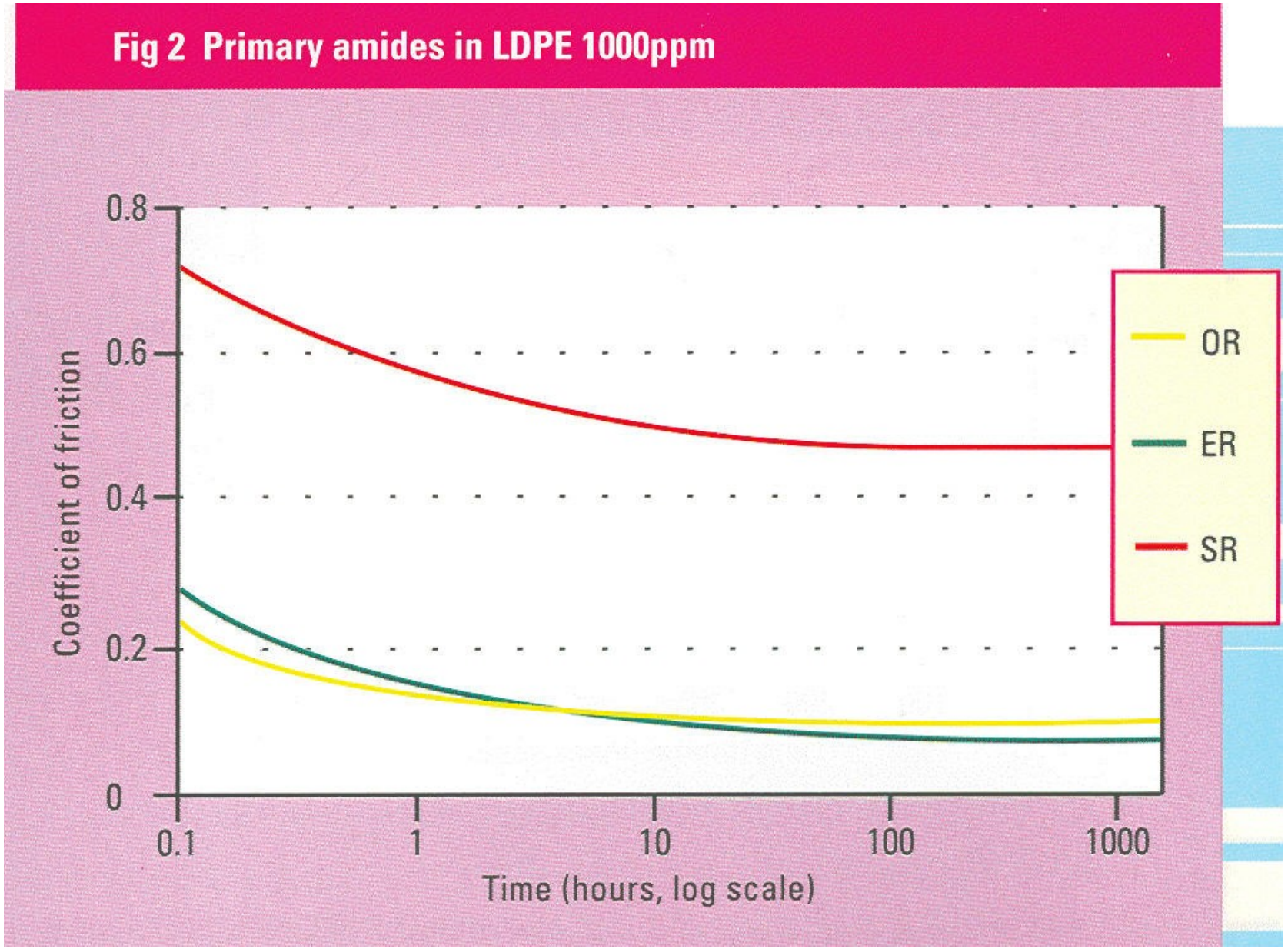
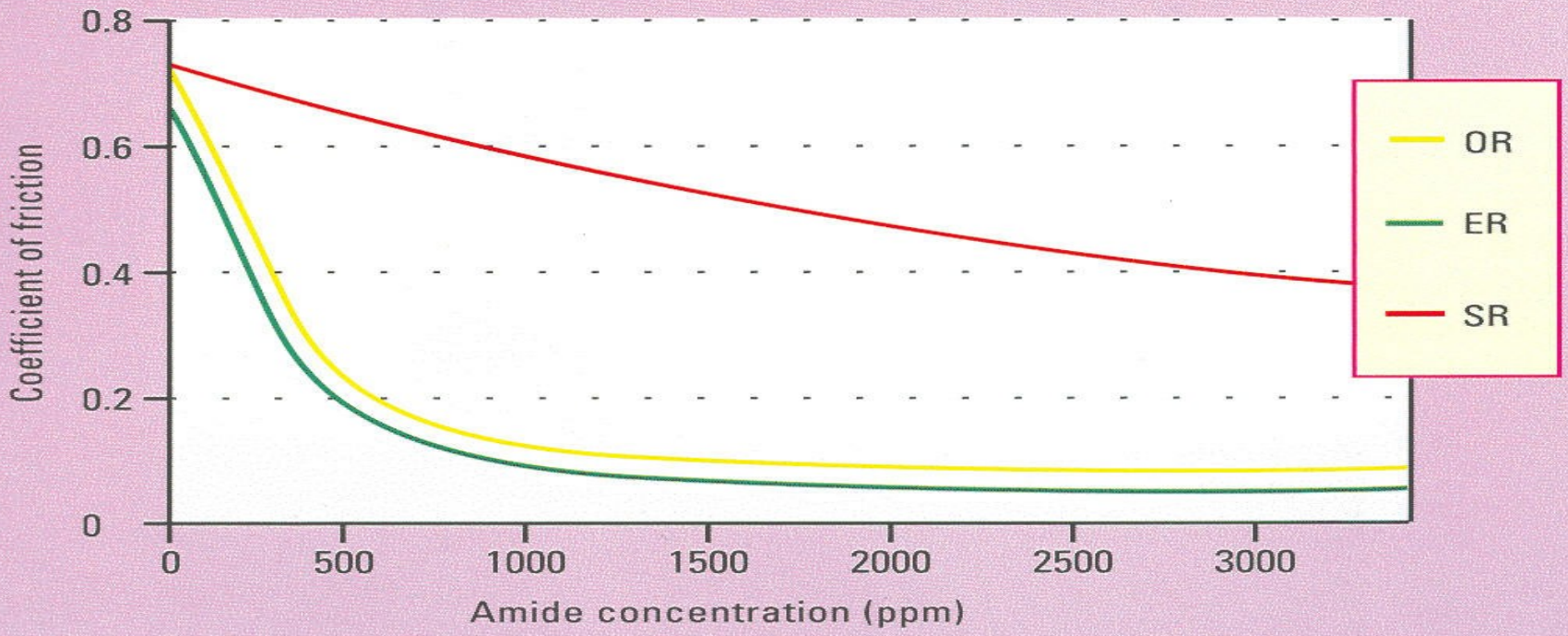


Fig 2 Primary amides in LDPE 1000ppm
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Coefficient of friction
0.1
1
10
100
1000
Time (hours, log scale)
OR
ER
SR

Fig 1 One day CoF vs amide concentration primary amides in LDPE



Crodamide primary amides are used as slip and antiblock agents in polyolefins and other polymers. They function as such by migrating to the polymer surface where they exert a lubricating effect.

The choice of **Crodamide** and its concentration depends upon polymer type and degree of lubricity required.

Crodamide ER and **Crodamide OR** are effective slip agents (see figures 1, 2, 3 and 4).

DÁVKOVÁNÍ kluzného činidla u fólií

MÁLO

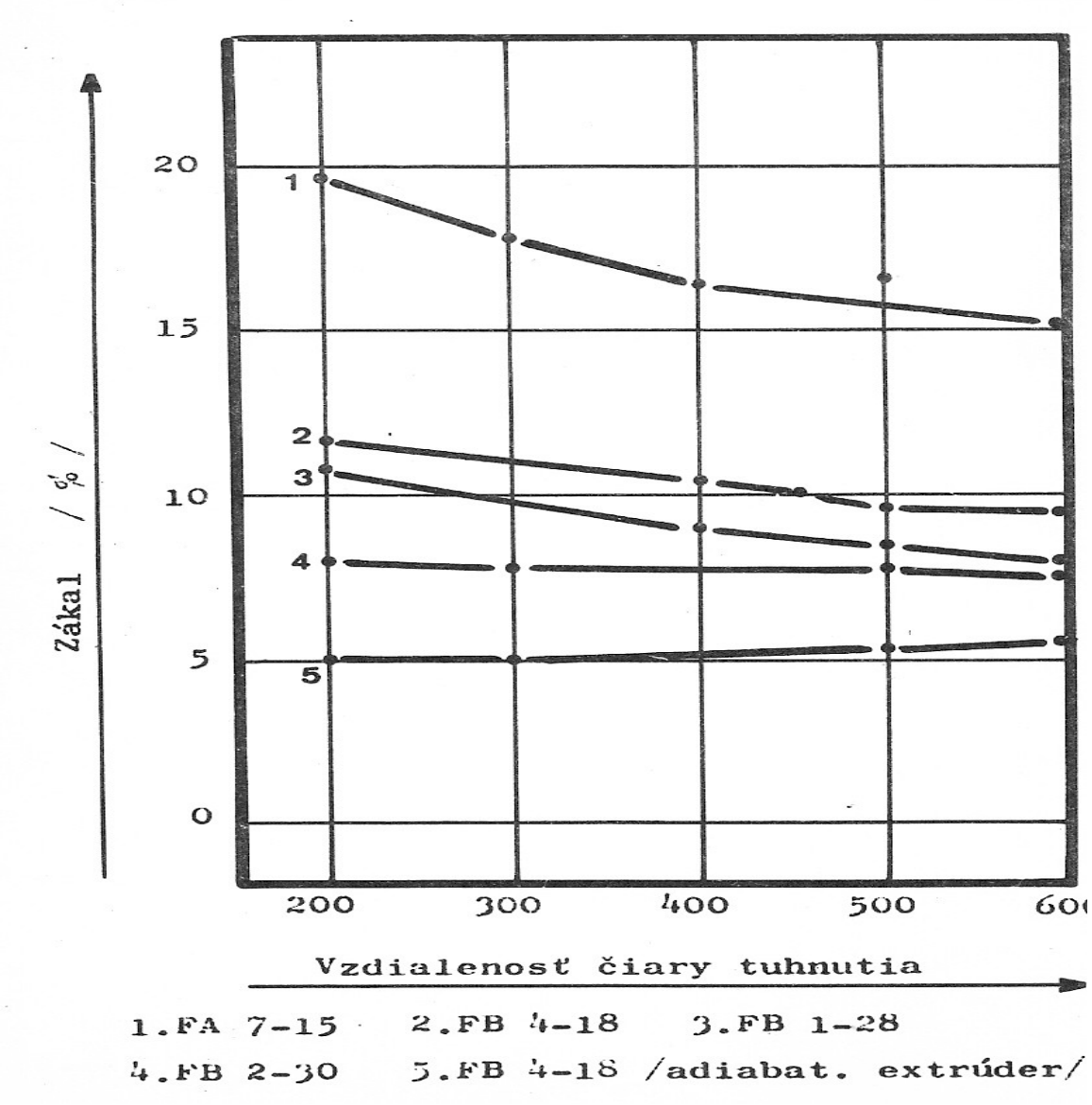
- ŠPATNÉ KLUZNÉ VLASTNOSTI
- DLOUHÁ DOBA DO ÚČINNOSTI

MOC

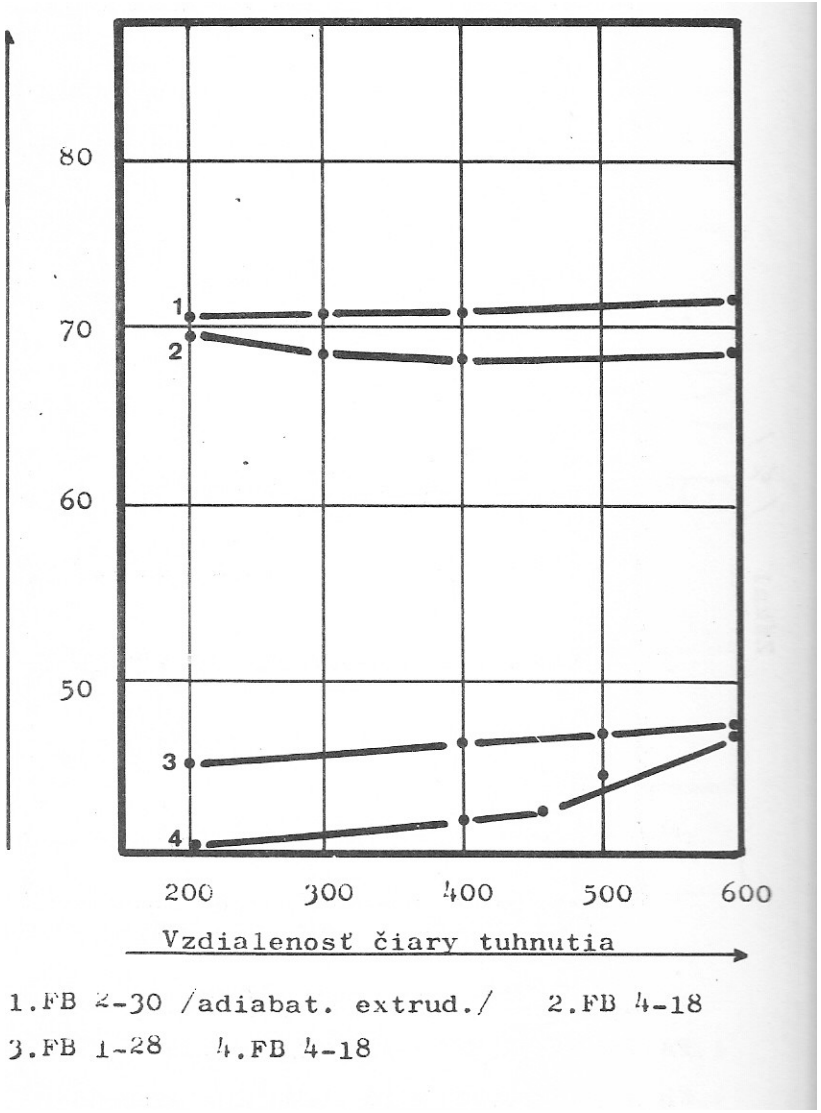
- Náviny se rozjíždějí
- Zhoršená svařitelnost
- Zhoršené optické vlastnosti
- Vyšší cena receptury

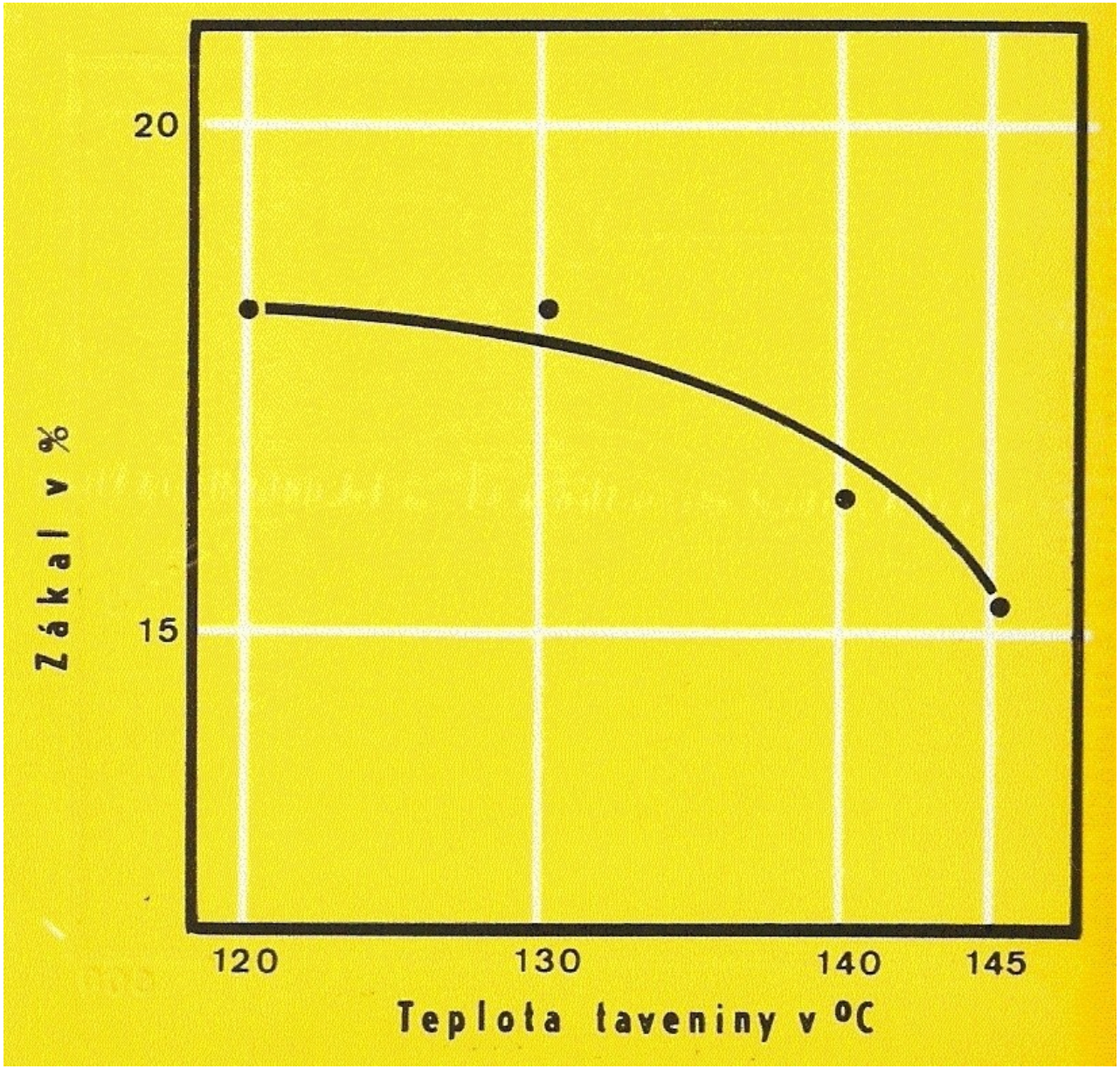
Fólie na bázi LDPE a LLDPE - *Optické vlastnosti (zákal, lesk)*

- **Měření > normy**
- Vlivy aditivace
  - Maziva
  - Antibloky
- Vlivy technologie
  - Teplota taveniny
  - Rozfukovací poměr
  - Vzdálenost čáry tuhnutí


Zákal / % /
20
15
10
5
0
1
2
3
4
5
200
300
400
500
Vzdialenosť čiary tuhnutia
1.FA 7-15 2.FB 4-18 3.FB 1-28
4.FB 2-30 5.FB 4-18 /adiabat. extrúder/

LESK - vliv čáry tuhnutí




20
15
Zákal v %
120
130
140
145
Teplota taveniny v °C

Propustnost PE fólií pro páry a plyny 1

Tab. 23.41. Vliv stupně krystalinity PE na permeabilitu

Stupeň krystalinity α	Permeabilita P $(10^{-15}\ \mathrm{mol\ m\ s^{-1}\ N^{-1}})$	
	pro O_2	pro N_2
0,3	4	1,2
0,4	1	0,3
0,8	0,1	0,05

Propustnost PE fólií pro páry a plyny 2

Tab. 23.43. Koeficient permeability P (10^{-16} mol m s^{-1} N^{-1}) jednoduchých plynů pro různé polymery za teploty místnosti [56]

Plyn	O_2	N_2	CO_2	H_2O
PAN	0,001	—	0,006	1 010
PVDC	0,018	0,003	0,097	3,3
PVC	0,15	0,04	0,54	924
PC	4,7	0,84	26,9	4 700
PS	8,8	2,7	35,3	4 300
PEMA	4,3	0,74	17	—
PMMA	—	—	—	4 420
CA	2,7	—	8,1	22 800
PA 6	0,124	—	0,54	2 342
PE (hustota 0,964 g cm^{-3})	1,34	3,3	6,1	40,3
PE (hustota 0,922 g cm^{-3})	23	—	94	302
PP (hustota 0,907 g cm^{-3})	7,4	1,5	31	218
PTFE	16,5	—	42,7	110
PETP	0,12	—	0,57	588
PVAC	—	—	—	33 600
NR	78	32	514	8 740
BR	64	22	464	17 000
IR	4,4	—	17,4	403
SI-pryž	2 030	940	10 900	134 000
celofán	—	—	—	614 500

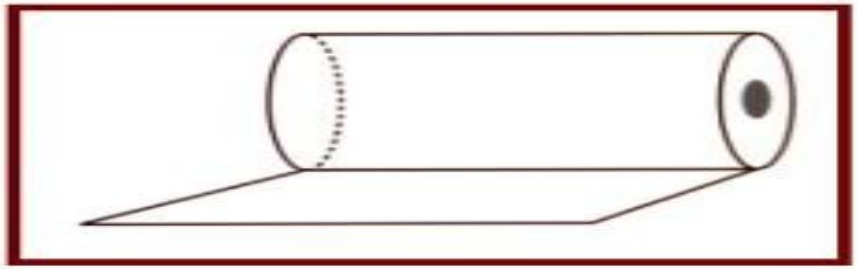
Obecně o typech LDPE pro vyfukované fólie

- Indexy toku od 0,3 do 7 g/10 minut (190 °C, 2,16 kg)
- Hustoty od 918 do 924 kg/m^3
- Tloušťky do cca. 15 μm
- Napětí na mezi kluzu v tahu 9 – 12 MPa
- Nižší indexy toku > VYŠŠÍ Napětí na mezi kluzu v tahu
- Teploty zpracování 110 – 200 °C podle IT

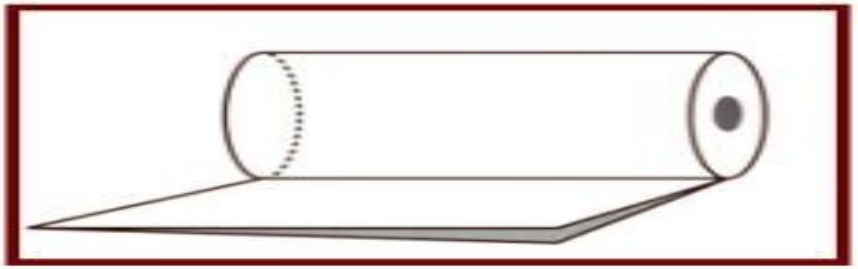
LDPE pro vyfukované fólie – PŘÍKLAD NABÍDKY

Základní nabídka LDPE fólie

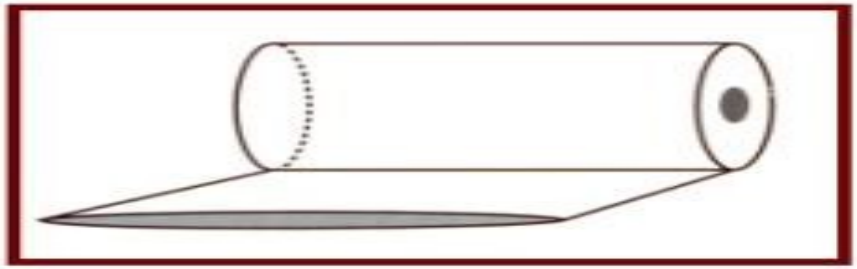
Název fólie	Jakost	Tloušťka fólie (µm)	Šířka role (mm)	Barva
hadice, polohadice, plochá	I	40 až 200	70 až 1 600	transparent
hadice, polohadice	recyklát	40 až 200	150 až 500	transparent
hadice, polohadice	recyklát	50 až 200	510 až 1000	transparent
hadice, polohadice	recyklát	40 až 200	150 až 500	barevná
hadice, polohadice	recyklát	50 až 200	510 až 1000	barevná



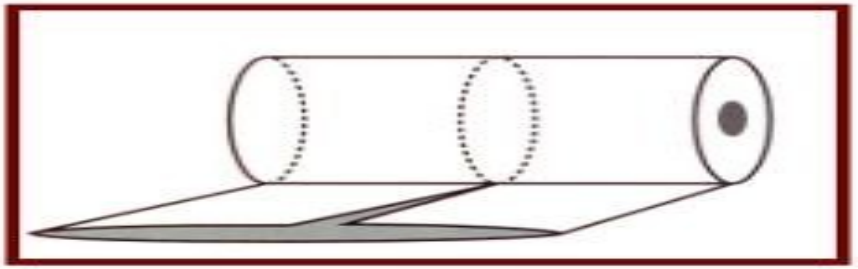
plochá fólie



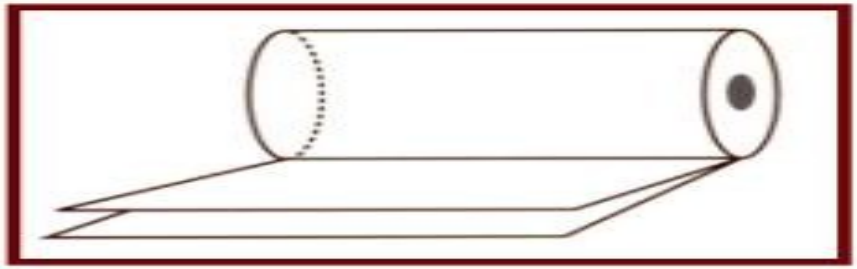
polohadice



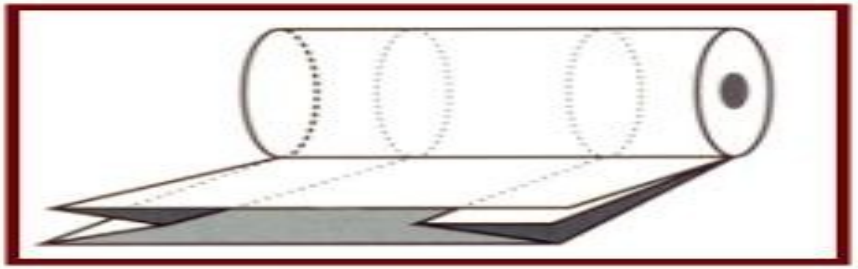
hadice



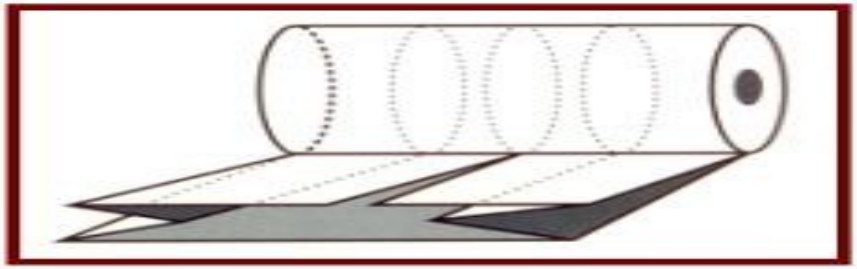
polohadice řezaná středem



dvojitý návin ploché fólie



hadice s bočními sklady



hadice s bočními sklady řezaná středem

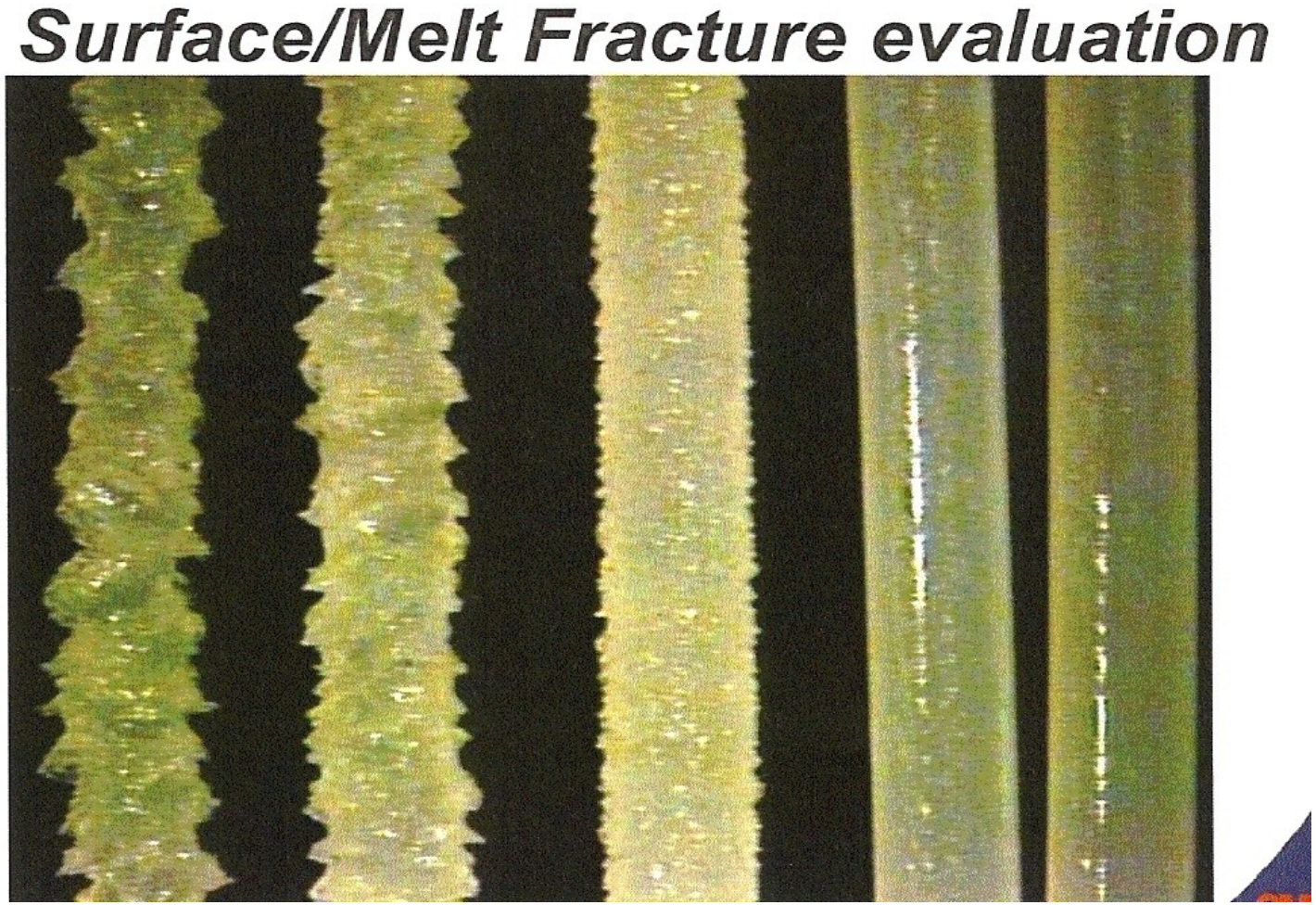
LDPE X LLDPE

- Polymerace
- Struktura řetězce
- Vliv na teplotu tání (maximum na DSC)
- Hustoty
- Směsování s LDPE a HDPE
- Zpracovatelské problémy
- Ceny a kapacity

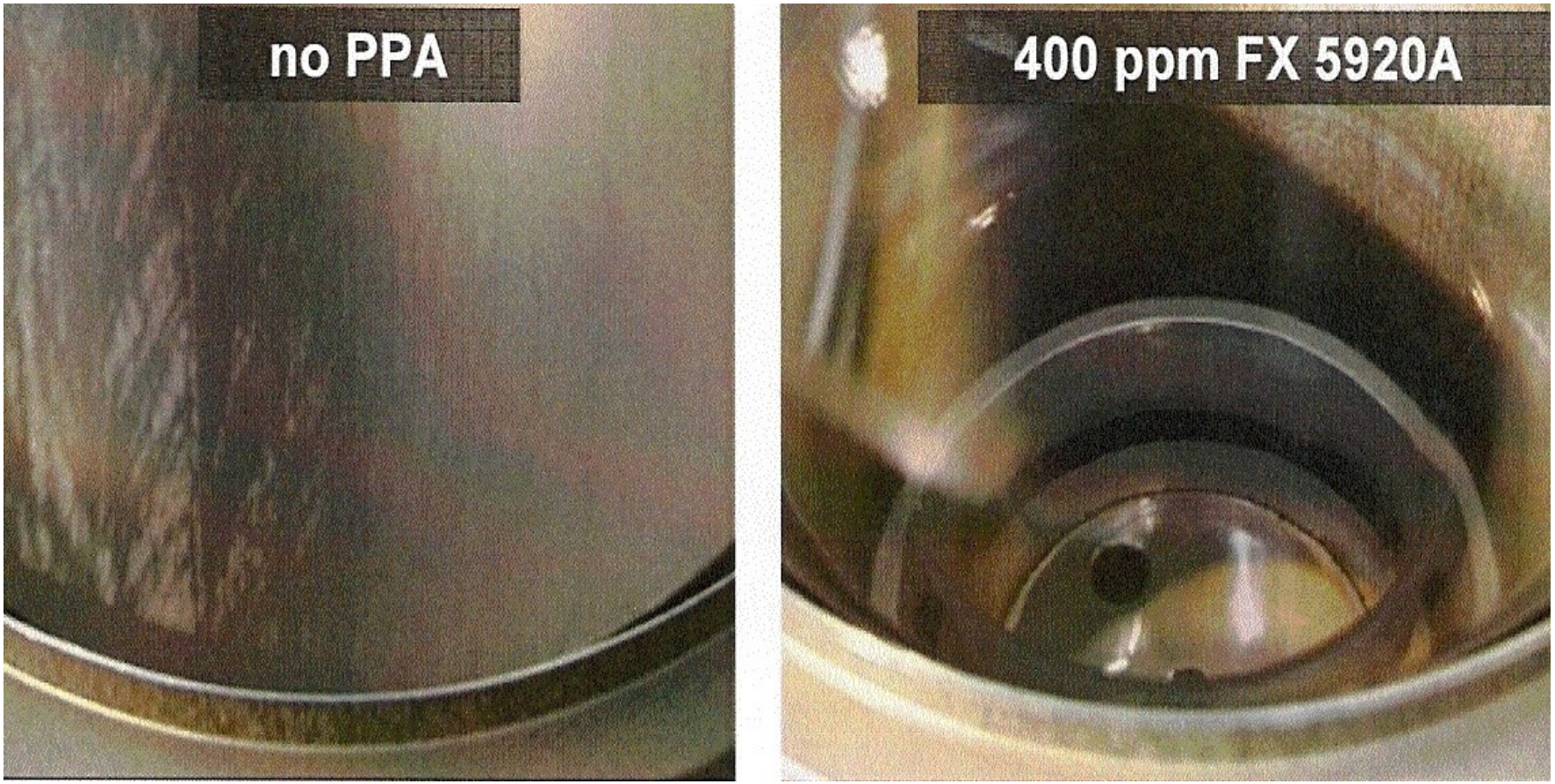
LLDPE - Zpracovatelské problémy

- **LOM TAVENINY = MELT FRACTURE**
- **Jeho řešení**
  - **Směsování s LDPE**
  - **Aditivace (materiály, koncentrace)**
  - **Technologie**
    - **Stroj**
    - **Nastavení**

Lom taveniny (Melt Fracure)



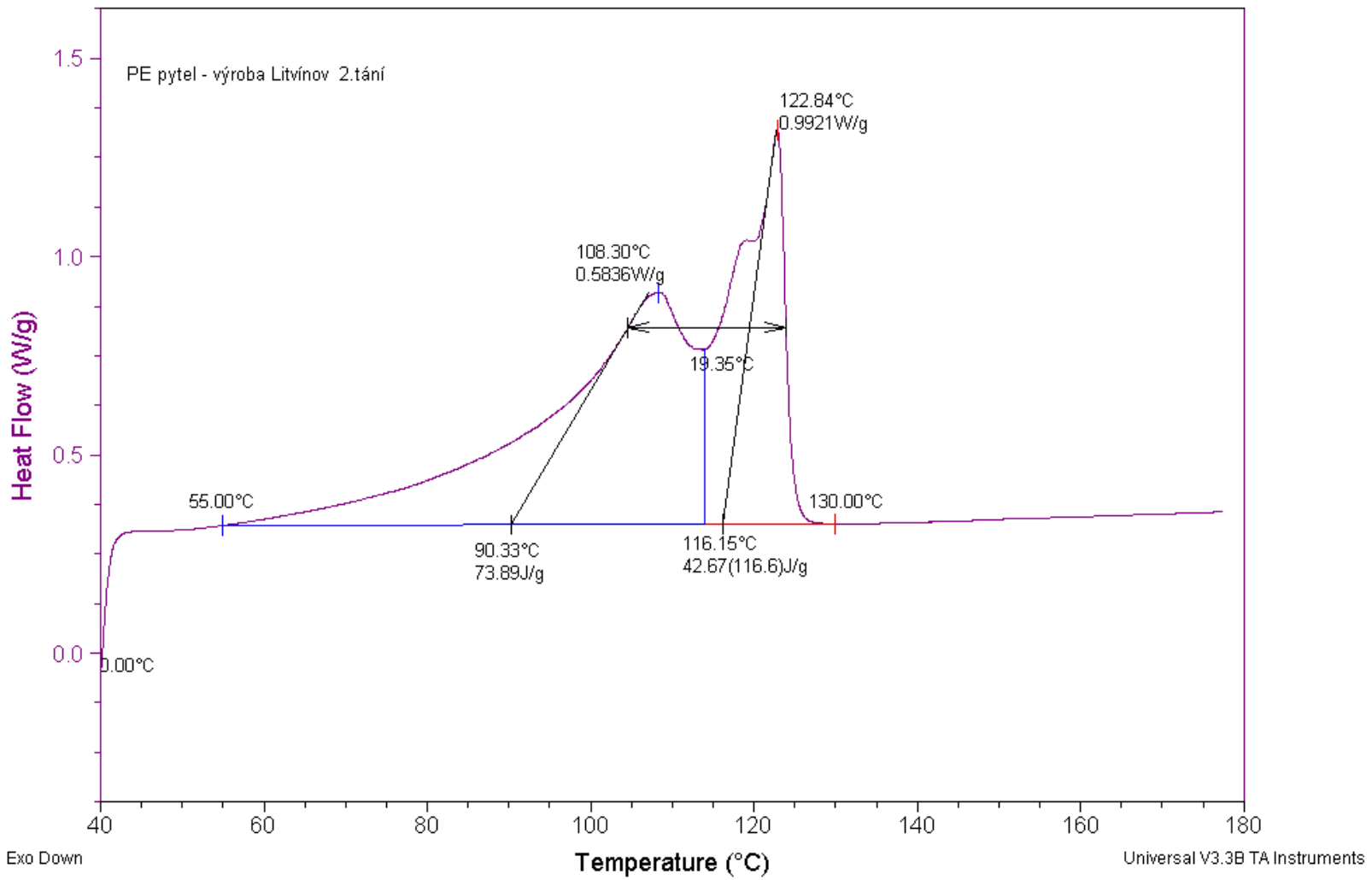
Lom taveniny (LLDPE fólie)



PŘÍKLAD - Pytel na balení horkého PP granulátu

Problém shovatelnosti palet na dvě a více vrstev

- Analýza problému
- Návrh na řešení
  - Materiál
  - Technologie
  - Aditivace
  - Zpracovatelnost
  - Zkoušení


Sample: Pytel - v.roba Litv_nov
Size: 3.1410 mg
Method: 1.-2.tani- polymery
DSC
File: \\Pc144\ta\Data\DSC\testy\Pytle.001
Operator: Bartaskova
Run Date: 10-May-07 16:58
Instrument: DSC Q100 V7.0 Build 244
PE pytel - výroba Litvínov 2.tání
122.84°C
0.9921W/g
108.30°C
0.5836W/g
19.35°C
55.00°C
130.00°C
90.33°C
73.89J/g
116.15°C
42.67(116.6)J/g
0.00°C
Heat Flow (W/g)
Temperature (°C)
Exo Down
Universal V3.3B TA Instruments

PŘÍKLADY VÝROBKŮ POLYMER INSTITUTE BRNO

- Antislip
- Kluzné koncentráty
- Antiblokovací koncentráty
- Oxodegradabilní koncentráty
- Koncentráty s biodegradabilním aditivem
- ……

Problémy a perspektivy fólií z termoplastů 1

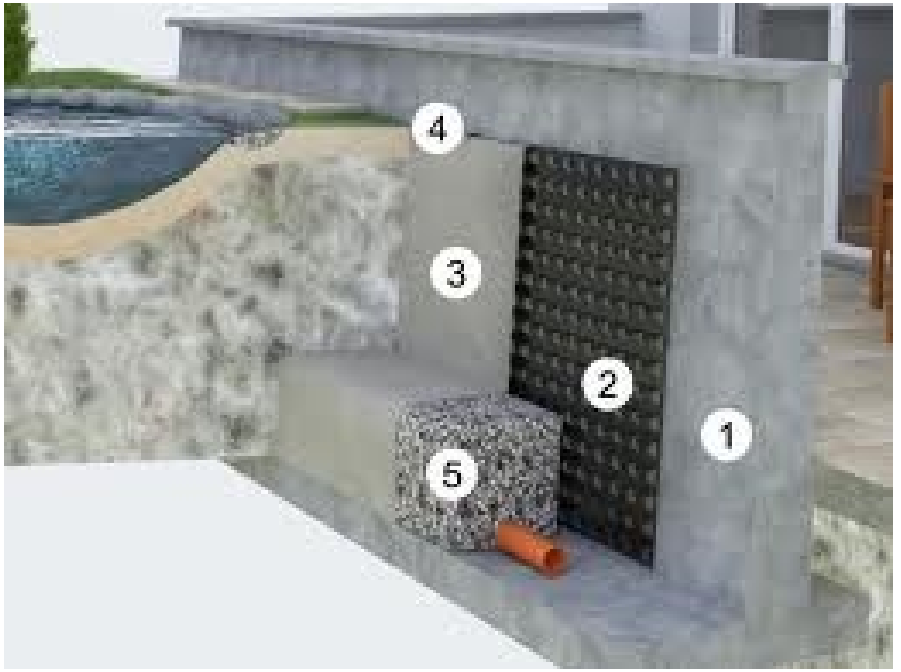
- U jednovrstvých fólií je malá přidaná hodnota
- U vícevrstvých fólií z různých materiálů jsou problémy s recyklací i technologického odpadu, naotž uživatelského
- Obecně je recyklace uživatelského odpadu omezeně využitelná – kde je možná a vhodná a kde není?

Problémy a perspektivy fólií z termoplastů 1

- U vícevrstvé fólie z jedné skupiny materiálů, např. PE či PP
- I přes problémy se bude rozvíjet skupina vícevrstvých fólií na bázi různých materiálů, hlavně pro balení potravin a drahých výrobků
- Oxodegradovatelné fólie
- Biodegradovatelné fólie ? PLA? Přídavky biodegradabilnívch aditiv? Jakých?

Nopková (nopová) fólie

- **Vytlačení silné černé (PROČ?) fólie**
- **Vytvarování komolých kuželů (PROČ?)**
- **Přiložení k vlhké vnější stěně (JAK ORIENTOVAT?)**
- **MECHANISMUS ÚČINKU**



Nopková (nopová) fólie – PŘÍKLADY POUŽITÍ

Bublinková fólie

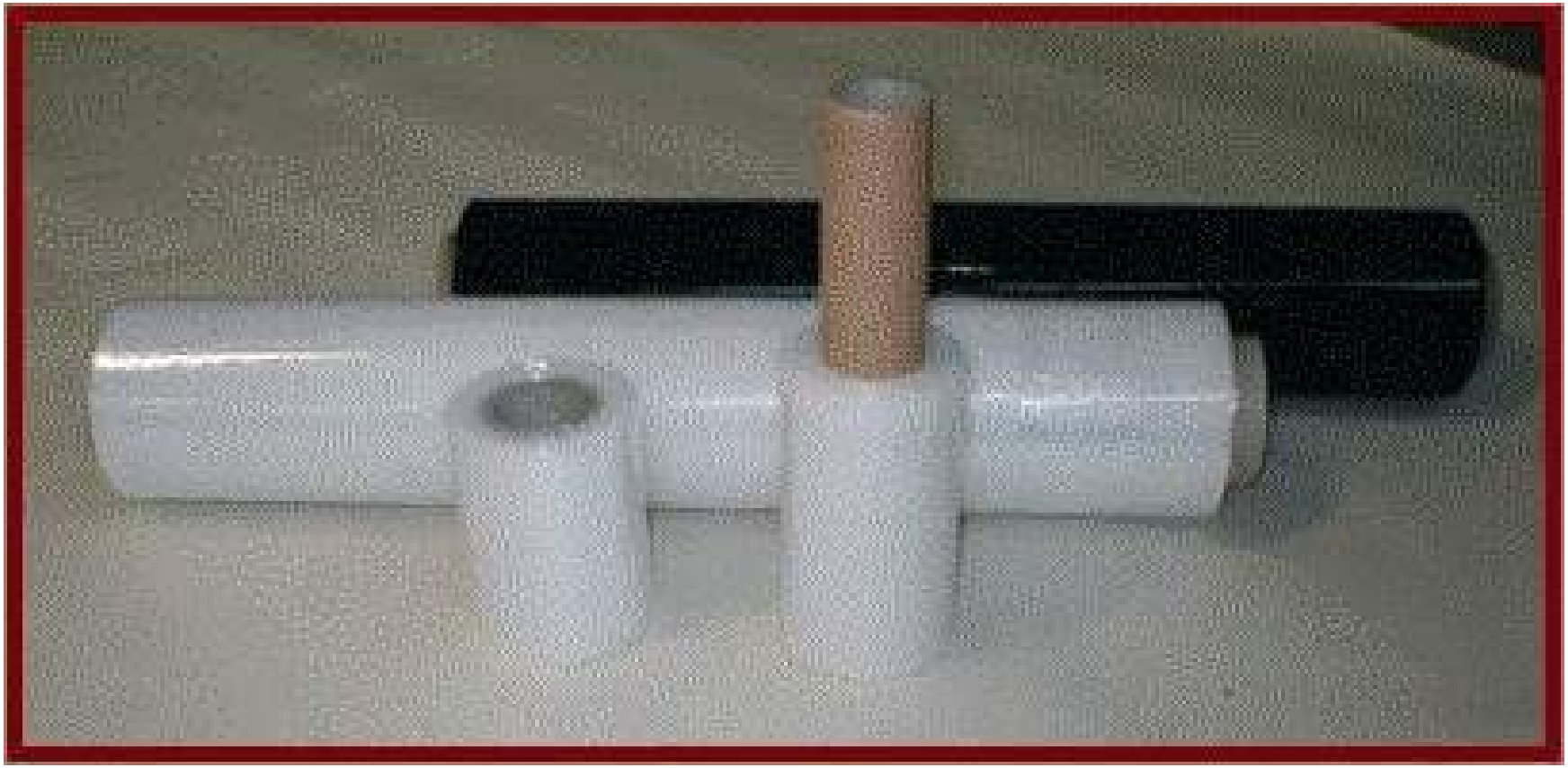
- **Co to je ?**
- **Proč právě PE a jaký?**
- **Kde se používá?**
- **MECHANISMUS ÚČINKU**
- **Jak zlepšit její vlastnosti a proč?**

Bublinková fólie
může být VÍCEVRSTVÁ, složená z různých plastů

Průtažná fólie (angl. Stretch film, *slangově „strečka“)*

- **Co to je ?**
- **Proč právě PE a jaký?**
- **Přísady a proč (EVA, polyizobutylen)?**
- **Kde se používá?**
- **MECHANISMUS ÚČINKU**

Průtažná fólie (angl. Stretch film, *slangově „strečka“*)



Základní nabídka ruční průtažné fólie

Šířka fólie (mm)	Tloušťka fólie (µm)	Barva
100	23	transparent
120	23	transparent
250	23	transparent
500	19, 20, 23	transparent
500	23	černá

Základní nabídka strojové průtažné fólie

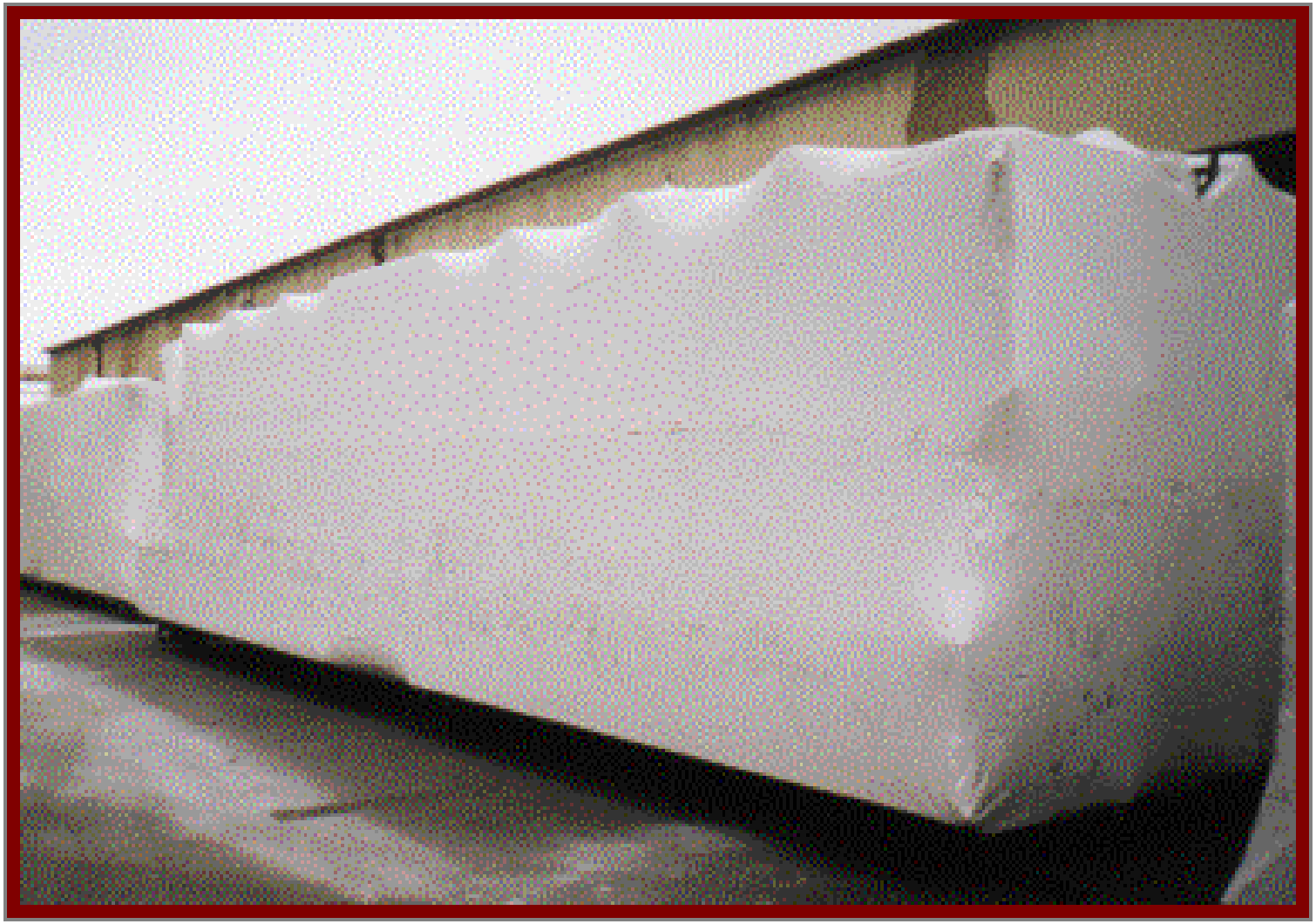
Šířka fólie (mm)	Tloušťka fólie (µm)	Barva
500	23	transparent

Smršťovací fólie (angl. Shrink film, *slangově „smršťovačka“)*

- **Co to je ?**
- **Proč právě PE a jaký?**
- **Přísady a proč (EVA, polyizobutylen)?**
- **Kde se používá?**
- **MECHANISMUS ÚČINKU**

Smršťovací fólie (angl. Shrink film, *slangově „smršťovačka“)*

Teplem smrštitelná polyetylénová fólie. Používá se jako obalový materiál zajišťující fixaci zboží na paletách, úložných prostředcích nebo podložkách a současně jako ochrana proti prachu, vlhkosti a povětrnostním podmínkám. **Efektu smrštění se dociluje zahřátím fólie tepelným zdrojem v tunelu (komoře) nebo ve volném prostoru pomocí ručního hořáku na propan butan**



Základní nabídka LDPE teplem smrštitelné fólie – PŘÍKLAD

Název fólie	Jakost	Tloušťka fólie (µm)	Šířka role (mm)	Barva
hadice, polohadice, plochá	I	25 až 200	80 až 2100*	transparent**

Pod smršťovací fólii je vložena ještě další mechanická a/nebo antikorozní ochrana

Antikorozní fólie

- **Co to je ?**
- **Proč právě PE a jaký?**
- **Přísady (vypařovací inhibitory koroze) a proč?**
- **Kde se používá?**
- **MECHANISMUS ÚČINKU (železné X neželezné kovy)**

Antikorozní fólie

Polyetylénová antikorozní fólie. **Zajišťuje protikorozní ochranu kovových výrobků** uvnitř obalu, molekulami vypařovacích inhibitorů. Fólie obsahuje vhodné směsi chemických sloučenin (**inhibitory koroze**), které uvolňují do okolí netoxické páry, zpomalující nebo zastavující korozní děje.

Fólie jsou dodávány v sortimentu jako jednoduchou fólii, hadici nebo polohadici.

PIB dodává koncentrát pro výrobu antikorozních fólií

Antikorozní fólie – příklady nabídky

Základní nabídka jednoduché fólie

Tloušťka fólie (µm)	Šířka role (mm)	Délka role (m)
50	1500	300
100	1500	200
150	1500	100

Základní nabídka polohadice fólie

Tloušťka fólie (µm)	Šířka role (mm)	Délka role (m)
100	100	500
100	150	500
100	200	500
150	300	500
150	400	500
150	500	300
150	600	300

Vícevrstvé fólie

- **Co to je ?**
- **Proč právě PE a jaký?**
- **Další vrstvy a proč?**
- **MECHANISMUS ÚČINKU**
- **Kde se používá?**
- **……..**

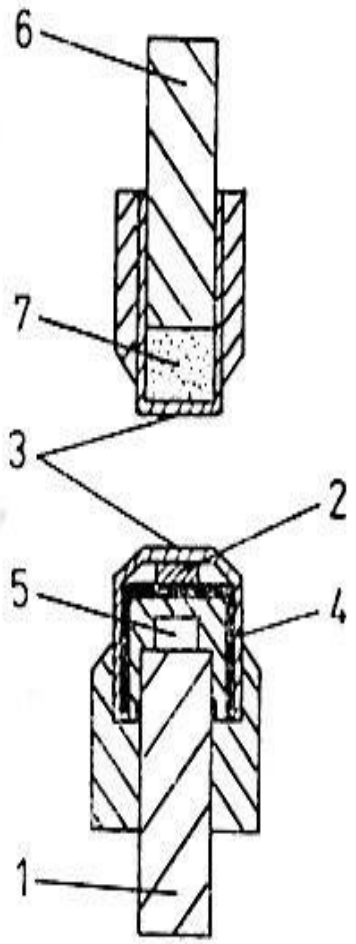
Fólie s aditivy proti orosování
(angl. ANTIFOG)

- **Co to je ?**
- **Proč právě PE a jaký?**
- **Další vrstvy a proč?**
- **MECHANISMUS ÚČINKU**
- **Kde se používá?**
- **Kombinace s UV stabilizátory**
- **……..**

KAPITOLA 6.

Doplňkové technologie

Svařování PE fólií 1



JEDNOTLIVÉ KROKY PROCESU

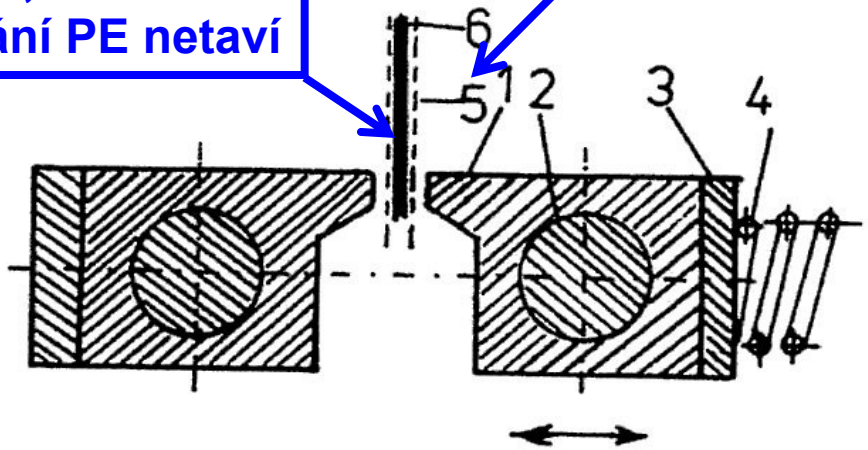
- ÚPRAVA POVRCHU
- OHŘÁTÍ
- STLAČENÍ
- MOLEKULÁRNÍ DIFŮZE
- OCHLAZENÍ

Obr. 7-334. Svařovací a přítlačná čelist [2]
1 — svařovací čelist, *2* — odporový pásek, *3*, *4* — izolační vrstvy, *5* — kanálek pro chlazení vodou, *6* — přítlačná čelist, *7* — pružná vložka

Svařování PE fólií 2

Kondukční svařování (obr. 49) se uplatňuje většinou ke spojování fólií do tloušťky asi desetiny milimetru. Tlustší fólie lze svářet páječkou, která má prodloužitelné teplé rameno s různě tvarovaným koncem. Změnou délky ramena se reguluje teplota. Páječkou nahřátá místa se pak spojí přitlačením válečkem. Uplatňuje se hlavně pro polyolefiny a vinylové polymery.

5 – může být fólie z teflonu, PET, PA či celofánu, která se při teplotě svařování PE netaví



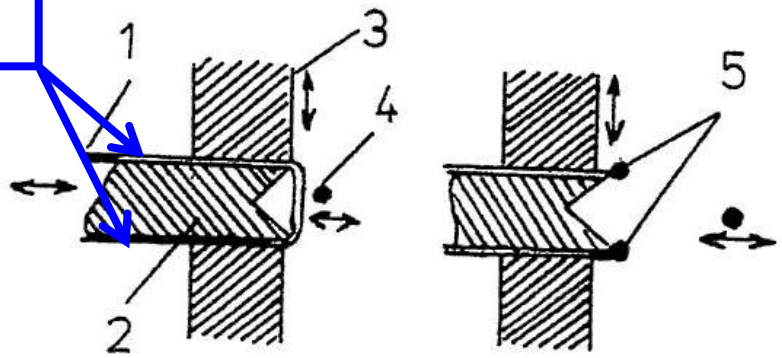
Obr. 49. Schéma zařízení pro kondukční svařování.

1 -svařovací čelist, 2 -topný článek, 3 -izolace, 4 -pružina s dorazem, 5 -ochranná vložka, 6 -svařovaná fólie

Svařování PE fólií 3

Impulzní svařování sáláním je znázorněno na obr. 53. Trvale vyhřívaný odporový drát je umístěn v blízkosti napnuté fólie tak, aby ji teplo z něj sálající protavilo a vytvořilo současně dva vysoce kvalitní svary. Této metody se používá např. v obalové technice při výrobě a uzavírání sáčků. Moderní automaty mají výkon až několik desítek tisíc svarů za pracovní směnu.

Tady jsou dvě fólie na sobě!



Obr. 53 Schéma svařování sálavým impulzem.

1 -svařovaná fólie, 2 -vložka, 3 -upínací čelist,
4 -žhavený odporový drát, 5 -dvojice svarů

Svařování PE fólií 4

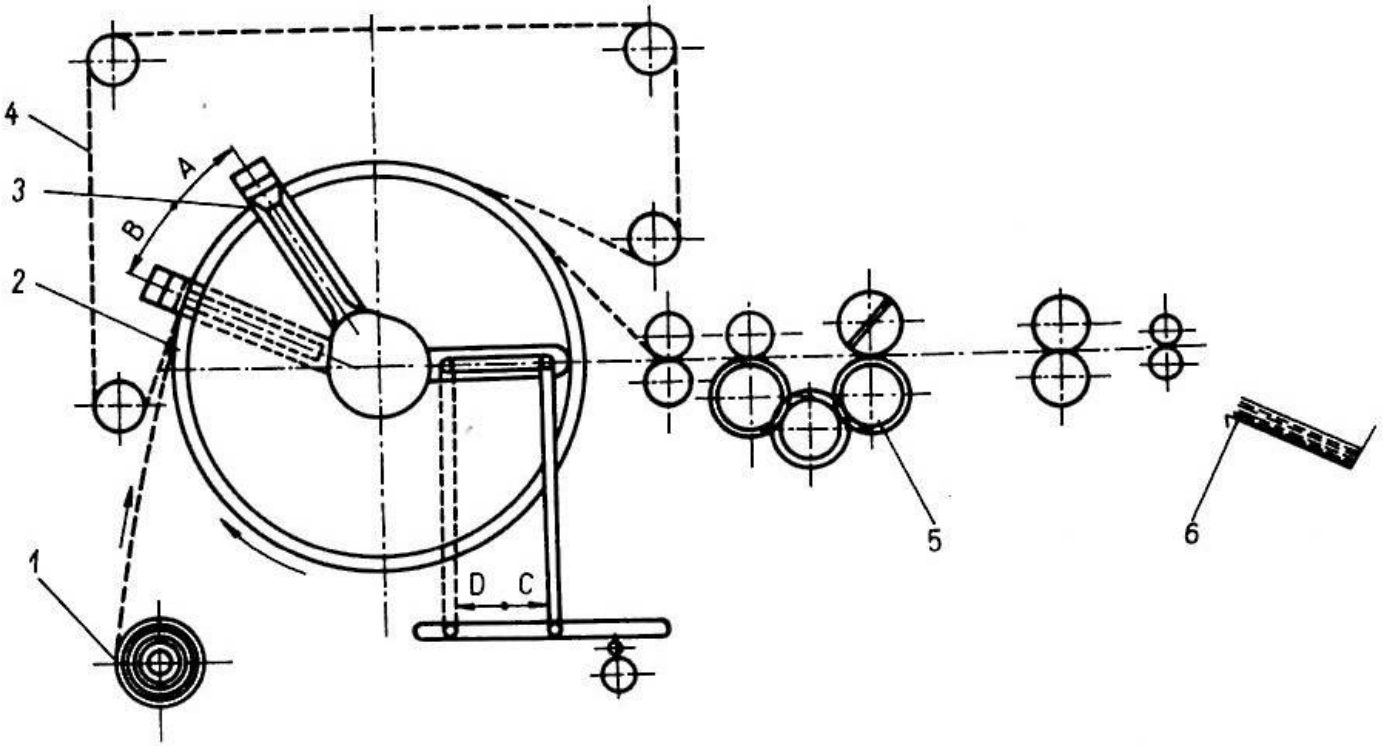


Fig. 85. Schematic representation of an automatic machine for welding of bags /15/

1 - the material to be welded, 2 - rubber-coated cylinder, 3 - tilting (swinging) welding knife, 4 - infinite separation belt, 5 - cutting device, 6 - stack equipment

JEDNOTLIVÉ KROKY PROCESU

- **ÚPRAVA POVRCHU – u PE obvykle není potřeba, případně omytí vymigrovaných aditiv (týká se spíše desek)**
- **OHŘÁTÍ – pro fólie PE většinou PULZNĚ, 0,1 – 1,0 sec**
- **STLAČENÍ – 0,1 – 0,15 MPa**
- **MOLEKULÁRNÍ DIFŮZE – u PE fólií velmi krátká doba**
- **OCHLAZENÍ – závisí na tloušťce fólie, někdy chlazené kleště**

Způsoby svařování PE fólií 1

Tepelným impulsem

- 0,1 – 1,0 sec
- Ohřev svařovací lišty elektricky

Tlakovým impulsem

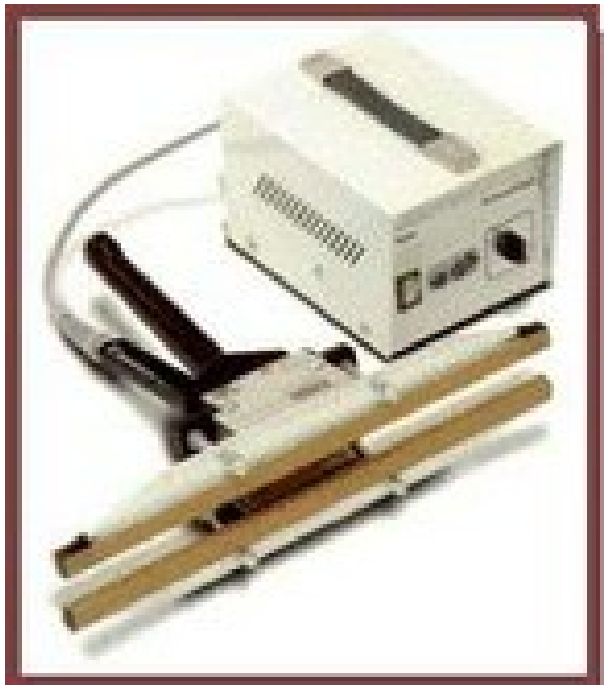
- Trvale vyhřívaný nůž nebo kolečko
- Pohybují se se svařovanou fólií
- Přitlačení na krátkou dobu k svařované fólii

Způsoby svařování PE fólií 2

Svařovacími kleštěmi

- Pro malosériové či živnostenské použití
- NASTAVOVANÉ PARAMETRY
  - Teplota (instrumentálně)
  - Doba stisku (ručně)
  - Přítlak (ručně)

Způsoby svařování PE fólií 3

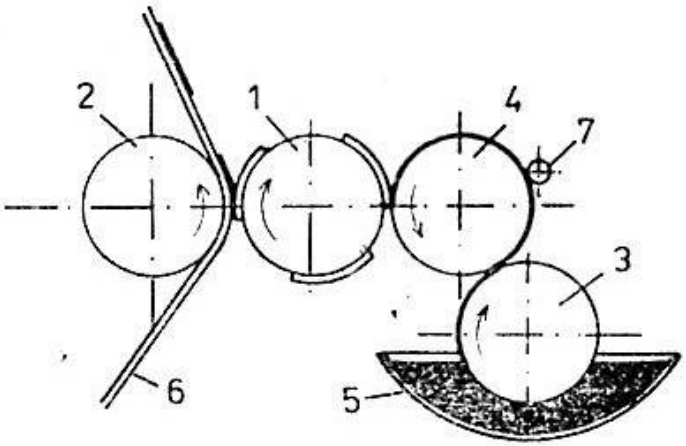


http://www.excolo.cz/

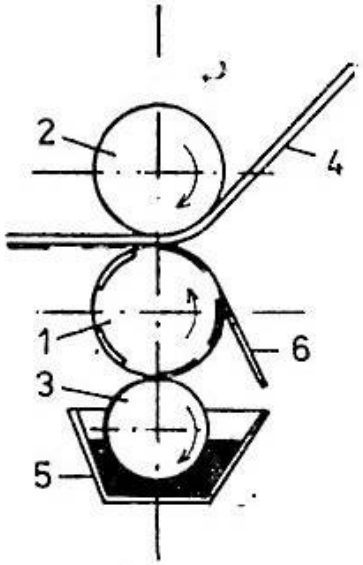
Potisk PE fólií 1

- Nepolární povrch vyžadující úpravu
- Nejběžnější je oxidace plynem
  - Plamenem
  - **Korónou (nyní pro fólie běžnější)**
  - UV zářením (spíše malé výrobky, např. kelímky)
- Někdy se dává i MEZIVRSTVA
  - Často PU nebo akrylátové disperze

Potisk PE fólií 2



Obr. 7-346. Tisková jednotka pro tisk z výšky [2]
1 — tiskový válec, *2* — podložní válec,
3 — nanášecí válec, *4* — přenášecí válec,
5 — nádržka s barvou (barevník), *6* — fólie,
7 — stírací váleček



Obr. 7-347. Tisková jednotka pro tisk z hloubky [2]
1 — tiskový válec, *2* — podložní válec,
3 — nanášecí válec, *4* — fólie,
5 — barevník, *6* — stírací nůž

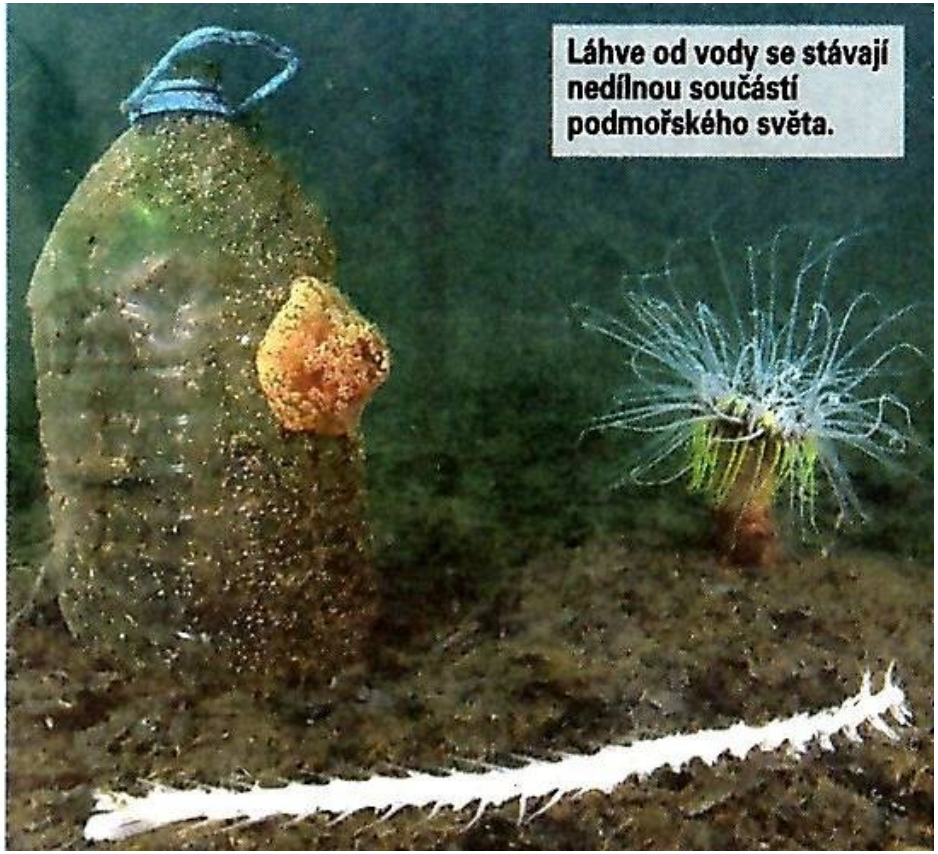
Lepení PE fólií

- Nepolární povrch vyžadující úpravu
- Nejběžnější je oxidace plynem
  - **Korónou (nyní pro fólie běžnější)**
- Někdy se používá oxidace kapalinami
- **Fólie z PE se obecně lepením nespojují**
- Silné fólie, např. skluznice lyží, mají zalisovanou textilní mezivrstvu
- Tzv. KONSTRUKČNÍ SPOJE se u PE obecně lepením nedělají

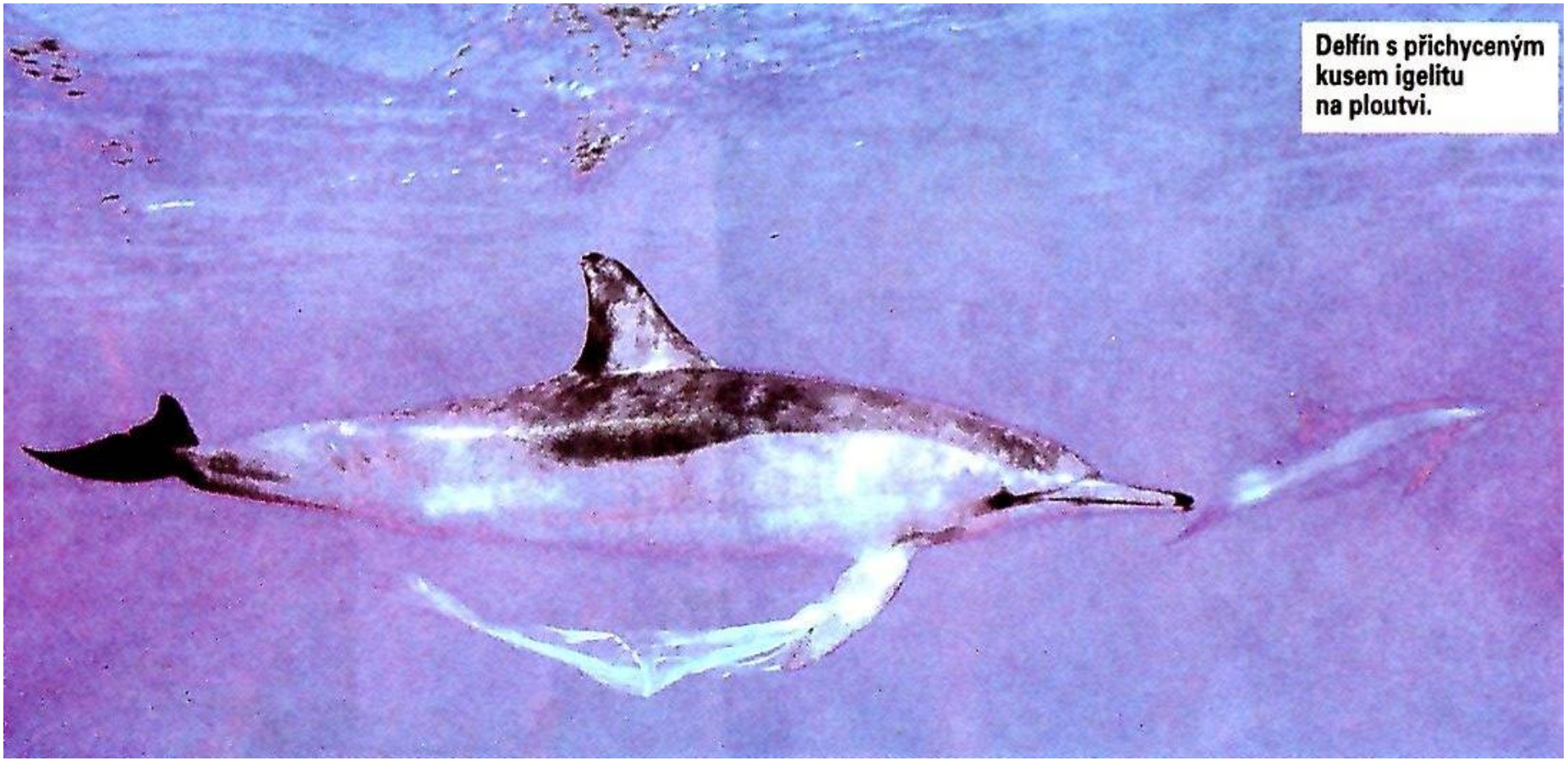
KAPITOLA 7.

PE a životní prostředí

Umělé hmoty
se nevyhýbají
ani korálům.


Láhve od vody se stávají
nedílnou součástí
podmořského světa.

To asi IGELIT nebude, ale spíše PE



Umělohmotný odpad zatěžuje moře. Čím dál ničivěji

Odpad se časem mění na mikroplast, který není lidským okem viditelný.

Plasty představují devadesát procent

Moře již dnes obsahuje plnou desetinu všech na světě vyrobených umělých hmot nejrůznějších typů. Jen pětina plastických hmot znečišťujících oceány pochází z lodí či ropných plošin, většina se do moří dostává z pevniny. Přinesou je tam jak vodní toky, tak vítr, zejména mohutné bouře. Právě plasty představují 90 procent veškerého odpadu ve světovém oceánu.

Podle některých výpočtů zachytí každý kilometr čtvereční mořské plochy 47 tisíc různě velkých kusů plastů. I když se 70 procent umělých hmot, které se dostaly do moře, nakonec usadí na dně, zbytek oceán unáší a shromažďuje jej na určitých místech, nejčastěji tam, kde se stýkají jednotlivé mořské proudy nebo kde se vytvářejí rozsáhlé víry.

O čem můžete zkusit popřemýšlet :

- Jaké plasty jsou asi jednotlivé kusy?
- Jakou můžou mít hustotu?
- Jakou můžou mít odolnost proti UV záření a kyslíku?
- Co se asi rozpadne nejsnaději a co bude odolávat dlouho?
- Jak by jste situaci navrhovali řešit?
- **Kdo by měl řešení hradit?**

European Union looks to reduce consumption of plastic bags

By PlasticsToday Staff

Published: November 4th, 2013

By charging or banning plastic bags, the European Commission believes its new proposal will reduce plastic bag use by 80% in European Union member states.

However, this is not an outright EU-wide ban. The EC said that member states will design for themselves the measures they deem most effective, which includes charges, national reduction targets or a ban under certain conditions.

PE a životní prostředí 1

- Na rozdíl od NO_x a SO_x polétavého prachu či aerosolů je PE ve formě fólií dobře vidět pouhým okem >> je veřejností považován, spolu s lahvemi z PET, za hlavního škůdce pro životní prostředí
- PE fólie ovšem neuvolňuje do životního prostředí žádné plynné, kapalné ani pevné látky, které by byly zásadně škodlivé

PE a životní prostředí 2

- PE fólie ale může být hrozbou pro
  - Živočichy při požití
  - Živočichy při uvíznutí
  - Bránit průniku slunečního záření do vody
  - Bránit průniku kyslíku záření do vody

KAPITOLA 8.

Oxo a Bio degradace PE

Oxo a Bio degradace PE 1

- **PE degraduje V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ především účinkem kombinace kyslíku a UV záření, případně kombinace kyslíku a tepelné energie**
- **Degradace radioaktivním zářením je možná, ale vzácná**
- **Přímá biodegradace PE není možná**

Oxo a Bio degradace PE 2

- **Oxo degradace** je „popoháněna“ přítomností kovů přechodné valence a nenasycenými mastnými kyselinami > **DEGRADOVATELNÉ SÁČKY A ODNOSNÉ TAŠKY**
- **Bio degradace** je ve skutečnosti jen biodegradací aditiv v PE fólii, např. škrobu

KAPITOLA 9.

Recyklace PE

Recyklace PE 1

- První technicky vyspělá recyklace UŽIVATELSKÉHO ODPADU byla patrně provozována již před rokem 1990 v JZD Slušovice
- Dnes se recyklují hlavně tyto fólie:
  - Pytle
  - Smršťovací fólie,
  - Průtažné fólie
- Recyklace folníků nemá smysl, protože materiál je silně zdegradován a špinavý

Recyklace PE 2 - PROBLÉMY

- Míchání různých typů PE a různých aditivací > problémy při primárním i sekundárním zpracování (např. svařování)
- Lze obvykle zpracovat jen na černou barvu
- Výhodnější je využití na vstřikování nenáročných výrobků, např. květináčů

Plastic Identification Code	Type of plastic polymer	Properties	Common Packaging Applications	Glass Transition and Melting Temperatures (°C)
	Polyethylene terephthalate (PET, PETE, PETP)	Clarity, strength, toughness, barrier to gas and moisture.	Soft drink, water and salad dressing bottles; peanut butter and jam jars	**Tm = 250** **Tg = 76**
	High-density polyethylene (HDPE)	Stiffness, strength, toughness, resistance to moisture, permeability to gas.	Water pipes, hula hoop rings, five gallon buckets, milk, juice and water bottles; grocery bags, some shampoo / toiletry bottles	**Tm = 130** **Tg = -125**
	Polyvinyl chloride (PVC)	Versatility, ease of blending, strength, toughness.	Blister packaging for non-food items; cling films for non-food use. Not used for food packaging as the plasticisers needed to make natively rigid PVC flexible are usually toxic. Non-packaging uses are electrical cable insulation; rigid piping; vinyl records.	**Tm = 240;** **Tg = 85**
	Low-density polyethylene (LDPE)	Ease of processing, strength, toughness, flexibility, ease of sealing, barrier to moisture.	Frozen food bags; squeezable bottles, e.g. honey, mustard; cling films; flexible container lids.	**Tm = 120;** **Tg = -125**

Plastic Identification Code	Type of plastic polymer	Properties	Common Packaging Applications	Glass Transition and Melting Temperatures (°C)
	Polypropylene (PP)	Strength, toughness, resistance to heat, chemicals, grease and oil, versatile, barrier to moisture.	Reusable microwaveable ware; kitchenware; yogurt containers; margarine tubs; microwaveable disposable take-away containers; disposable cups; plates.	**Tm = 173; Tg = -10**
	Polystyrene (PS)	Versatility, clarity, easily formed	Egg cartons; packing peanuts; disposable cups, plates, trays and cutlery; disposable take-away containers;	**Tm = 240 (only isotactic); Tg = 100 (atactic and isotactic)**
	Other (often polycarbonate or ABS)	Dependent on polymers or combination of polymers	Beverage bottles; baby milk bottles. Non-packaging uses for polycarbonate: compact discs; "unbreakable" glazing; electronic apparatus housings; lenses including sunglasses, prescription glasses, automotive headlamps, riot shields, instrument panels;[43]	**Polycarbonate: Tg = 145; Tm = 225**