



# Stavební hmoty

## Přednáška 12



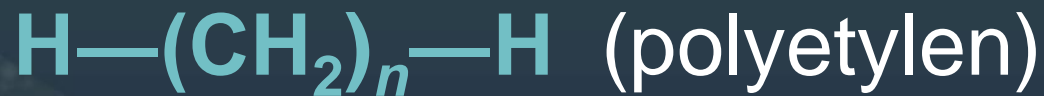
# POLYMERY



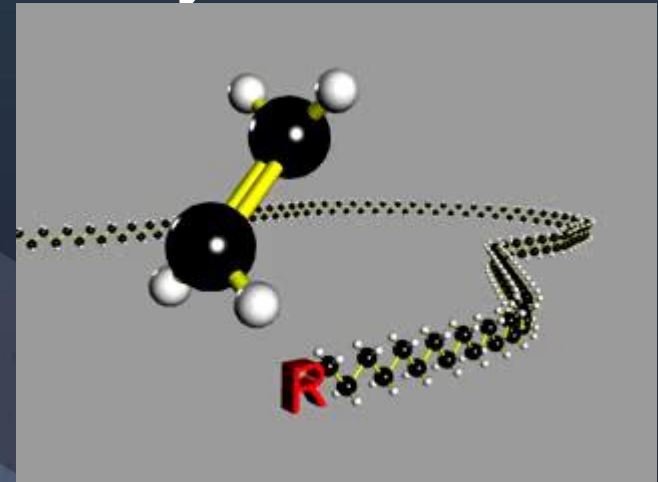


# Polymery = plasty

- *polys = mnoho, meros = část*
- makromolekulární sloučeniny, ve kterých se opakuje stejná stavební jednotka (100 - 100 000 x)



- vznik opakovanou reakcí výchozích látek
  - polykondenzace
  - polyadice
  - radikálová polymerace

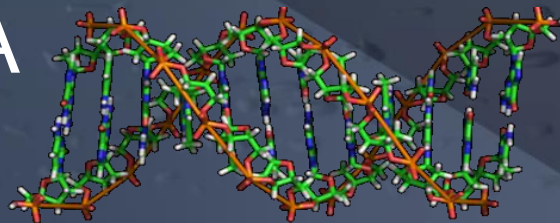
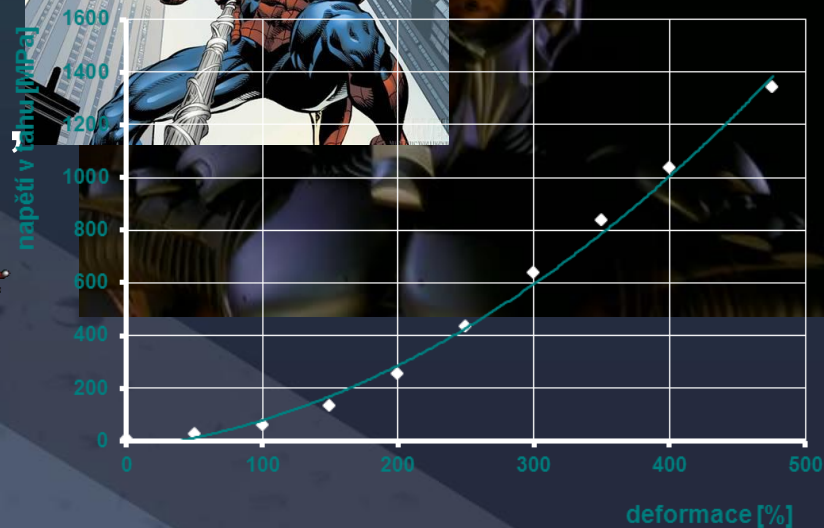






# Přírodní polymery

- **kaučuk** – latex stromu „*Hevea brasiliensis*“
- **celulóza** – bavlna, dřevo  
→ viskóza, celofán
- **škroby**
- **bílkoviny** – keratin, kolagen, kasein, DNA





# Použití plastů





# Plasty

## Termoplasty

- při zahřívání měknou, taví se a po ochlazení získávají své původní vlastnosti
- PE, PVC, PS

## Reaktoplasty

- při prvním ohřevu přejdou do plastického stavu
- další ohřev způsobí vytvrzení plastu
- vytvoření 3D struktury
- FF, PU, EP



PETE

HDPE

V

LDPE

PP

PS

OTHER



## Stavební hmoty

Polymer	Zkratka	Hustota	Pevnost v tahu	E modul (v tahu)	Tažnost
		[g/cm <sup>3</sup> ]	[MPa]	[GPa]	[%]
Polyethylen LD	LDPE	0,92	8-10	0,1-0,5	300-1000
Polyethylen HD	HDPE	0,95	15-25	0,6-1,4	100-1000
Polypropylen <sup>1</sup>	PP	0,91	30-38	0,1-0,5	300-800
Polybuten	PB	0,91	30-38	0,2-0,4	250-280
Polytetrafluorethylen	PTFE	2,17	25-36	0,4	350-550
Polyvinylchlorid	PVC	1,48	40-75	2,9-3,5	20-50
PVC měkčený	mPVC	1,25	10-25	0,1-0,4	170-400
Polystyren	PS	1,05	32-65	3,2-3,5	3-4
Houževnatý polystyren		1,05	20-50	1,8-3,0	25-60
Polymethylmetakrylát	PMMA	1,18	60-80	3,0-3,3	5-6
Polyethylenreftalát <sup>1</sup>	PET	1,37	50-80	3,00	30-300
Epoxidová pryskyřice	EP	1,2	45-60	3,5-4,0	1-2
Nenasycený polyester	UP	1,2	25-30	3,0-3,5	1
Polyisobutylen	PIB	0,92	2-6	~	>1000

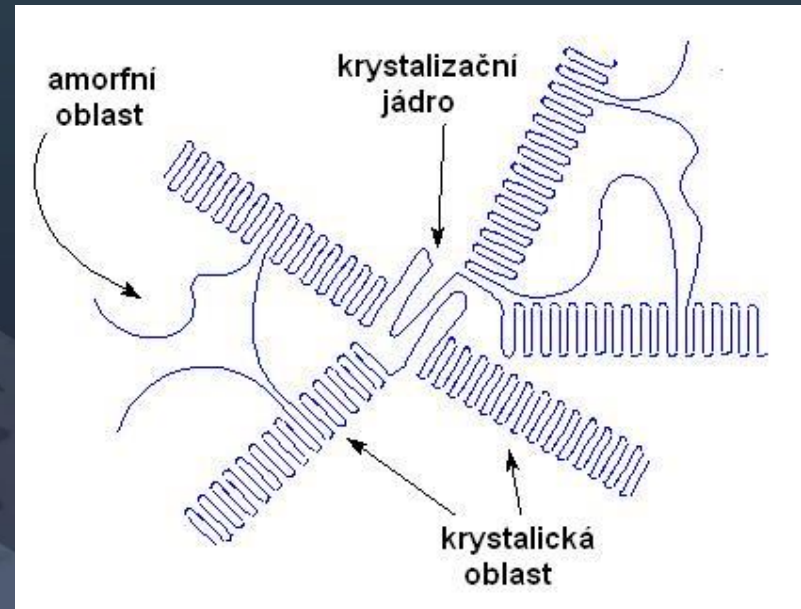
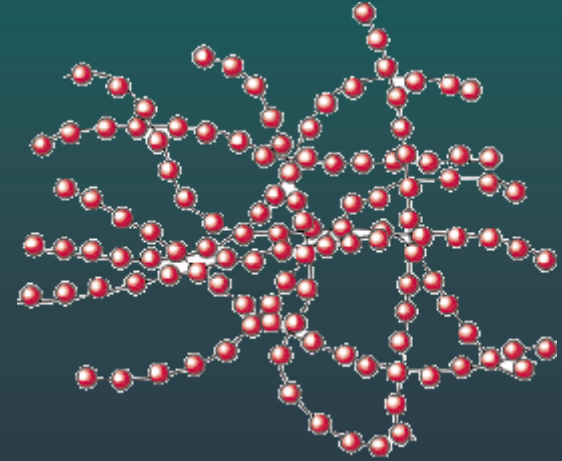
Poznámka: U plastů označených <sup>1</sup> je uvedena mez kluzu místo pevnosti v tahu





# Termoplasty

- tvořeny dlouhými lineárními makromolekulami
- tyto makromolekuly nejsou rovné (Brownův pohyb)
- oblasti s pravidelnými úseky (krystalické oblasti) zvyšují pevnost a teplotní odolnost

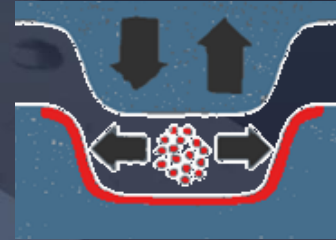
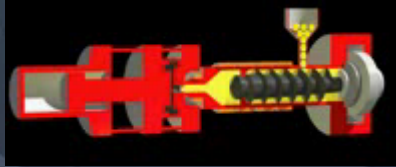






# Tvarování termoplastů

- z výroby - granulát nebo prášek
- tvarování
  - odlévání
  - vstřikování
  - lisování
  - kalandrování (válcování)





# Teplotní chování termoplastů

Polymer	Zkratka	Maximální teplota použití [°C]		Koeficient lineární teplotní roztažnosti
		krátkodobě	dlouhodobě	
Polyethylen LD	LDPE	80 - 90	60 - 75	240
Polyethylen HD	HDPE	90 - 120	70 - 80	140 - 200
Polypropylen	PP	140	100	150 - 180
Polybuten	PB	130	90	150
Polytetrafluorethylen	PTFE	300	250	100
Polyvinylchlorid	PVC	75 - 100	65 - 85	70 - 80
PVC měkčený	mPVC	55 - 65	50 - 55	120 - 210
Polystyren	(E,X)PS	60 - 80	50 - 70	60 - 80
Houževnatý polystyren		60 - 80	50 - 70	60 - 100
Polymethylmetakrylát	PMMA	85 - 100	65 - 90	70
Polyethyltereftalát	PET	200	100	70 - 80

**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

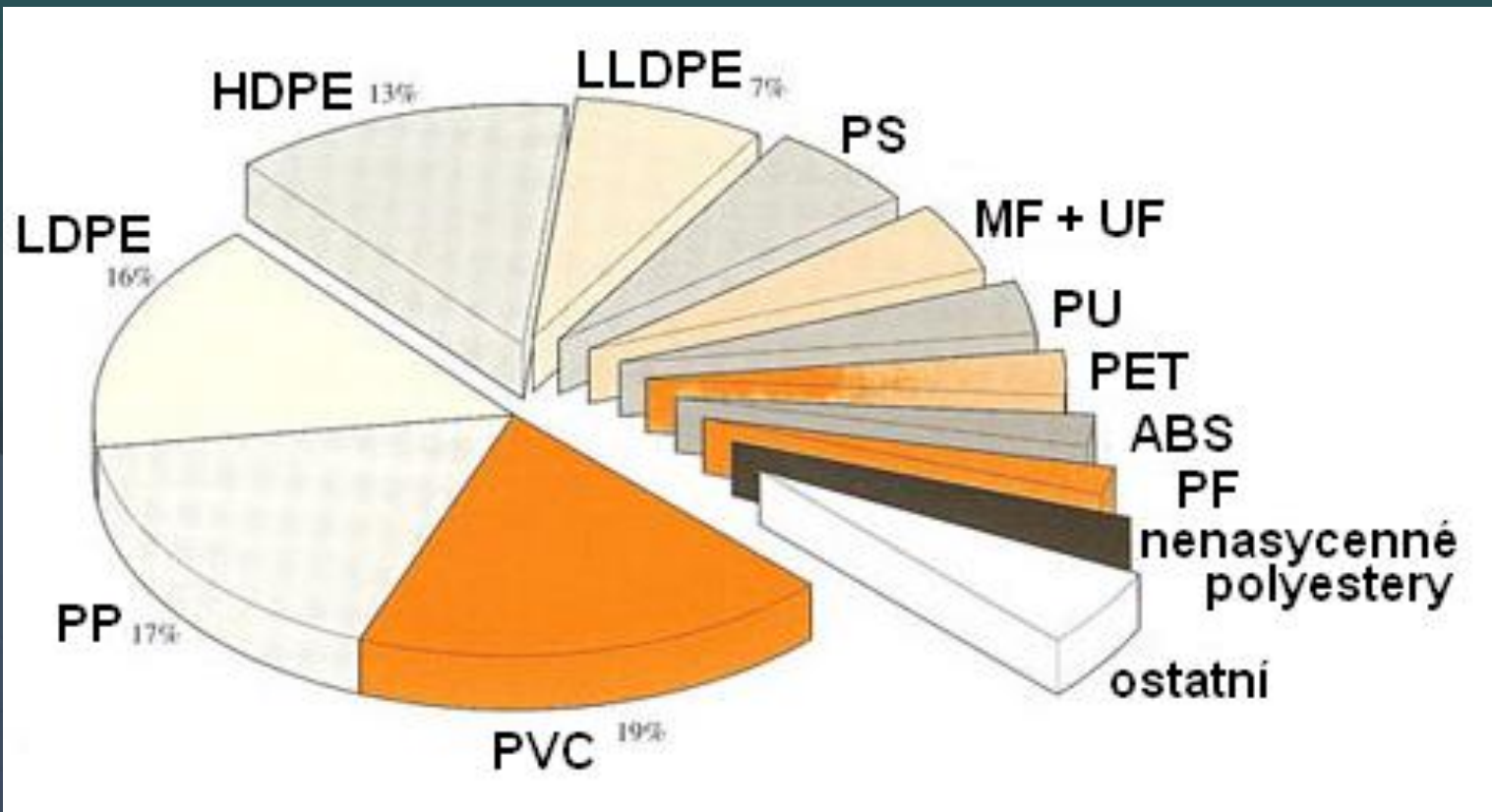
Stavební fakulta ČVUT v Praze



**Stavební hmoty**



# Spotřeba plastů

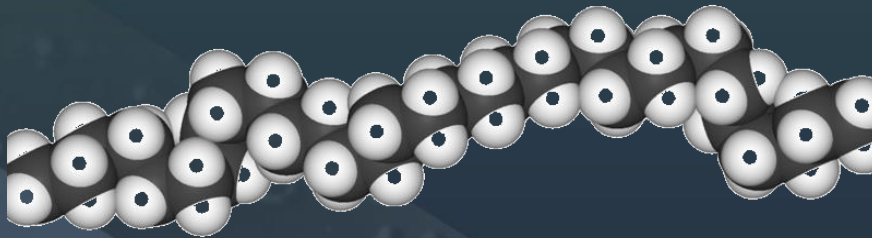






# Polyetylen PE

- nejběžnější polymer (80 mil. tun/rok)
- výroba z etylenu



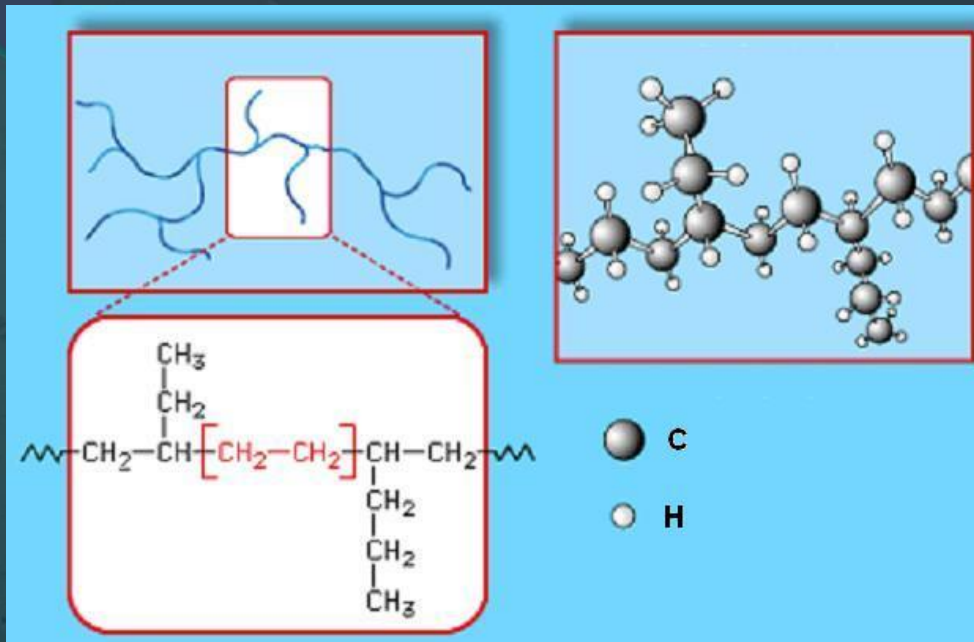
- vysokotlaký (nizkohustotní) - **LDPE**
- nizkotlaký (vysokohustotní) - **HDPE**



# Nízkohustotní polyetylén LDPE

- LD = low density (hustota 0,910 – 0,940 g.cm<sup>3</sup>)

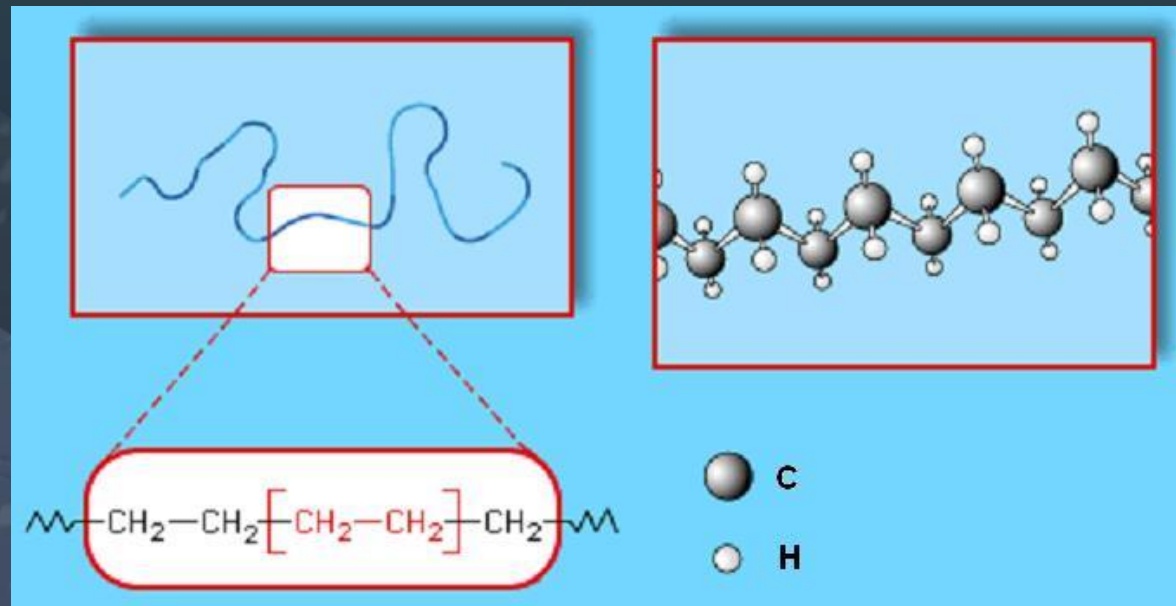
- na 1000 atomů uhlíku v základním makromolekulárním řetězci - 8 až 40 dále rozvětvených bočních řetězců





# Vysokohustotní polyetylén HDPE

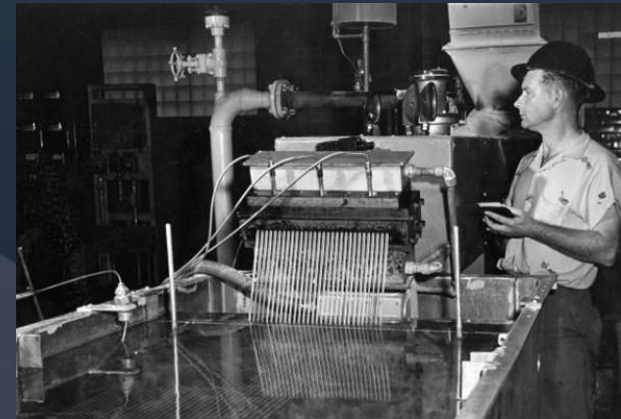
- **HD = high density** (hustota  $\geq 0,940 \text{ g/cm}^3$ )
- makromolekulární řetězec je přímý, málo větvený





# Výhody PE

- dobře ohebný v tenké vrstvě
- LPDE – dobrá tvarová paměť
- HDPE – vyšší pevnost, snáší i vroucí vodu
- za normální teploty dobrá chemická odolnost ( středně koncentrované kyseliny, louhy a rozpouštědla - i HF!)
- zdravotně nezávadný
- dobře se recykluje







# Nevýhody PE

- špatně se lepí → spojování horkým vzduchem
- nízká odolnost vůči rozpouštědlům za vyšší teploty
- některé látky do PE difundují ( tuky, uhlovodíky..)
- malá povětrnostní stálost – zvyšování pomocí stabilizátorů (saze)
- hořlavý, odkapává





# Výrobky z LDPE

- smrštitelné a bublinkové fólie
- paropropustné fólie
- separační vrstvy
- obalové fólie s inhibitory koroze
- izolace tunelů (lepší požární vlastnosti)





HDPE

# Výrobky z HDPE

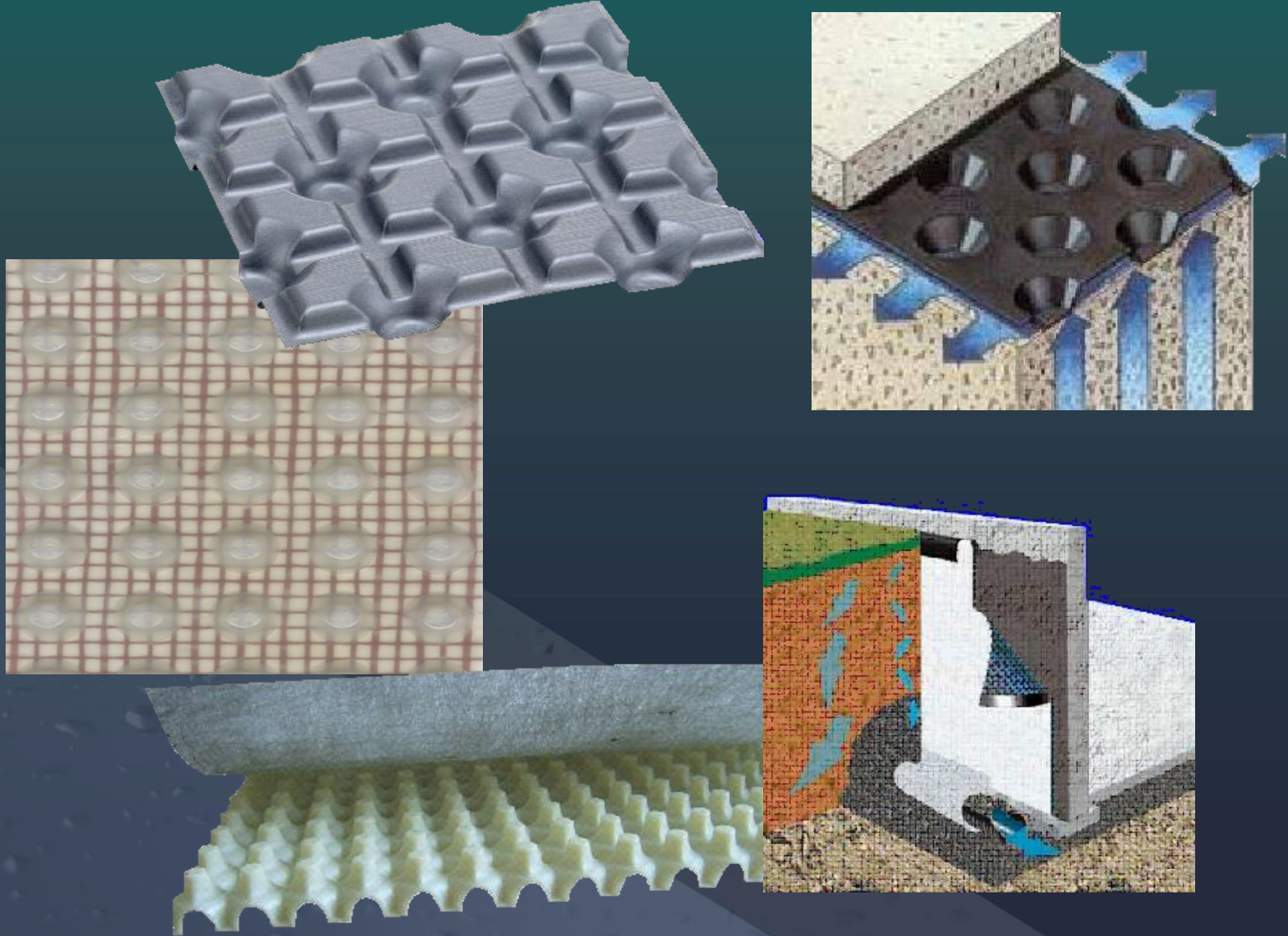
- fólie – hladké i profilované, drenážní, protiradonové, proti ropě, izolační a těsnící folie odpadních vod
- desky – vystýlky nádrží, odpodních jímek
- potrubí – voda, kanalizace







# Profilovaná folie

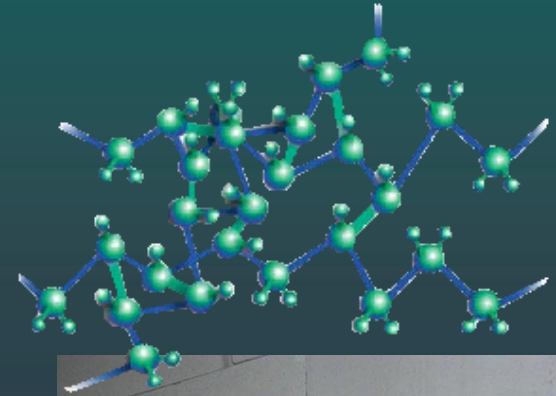






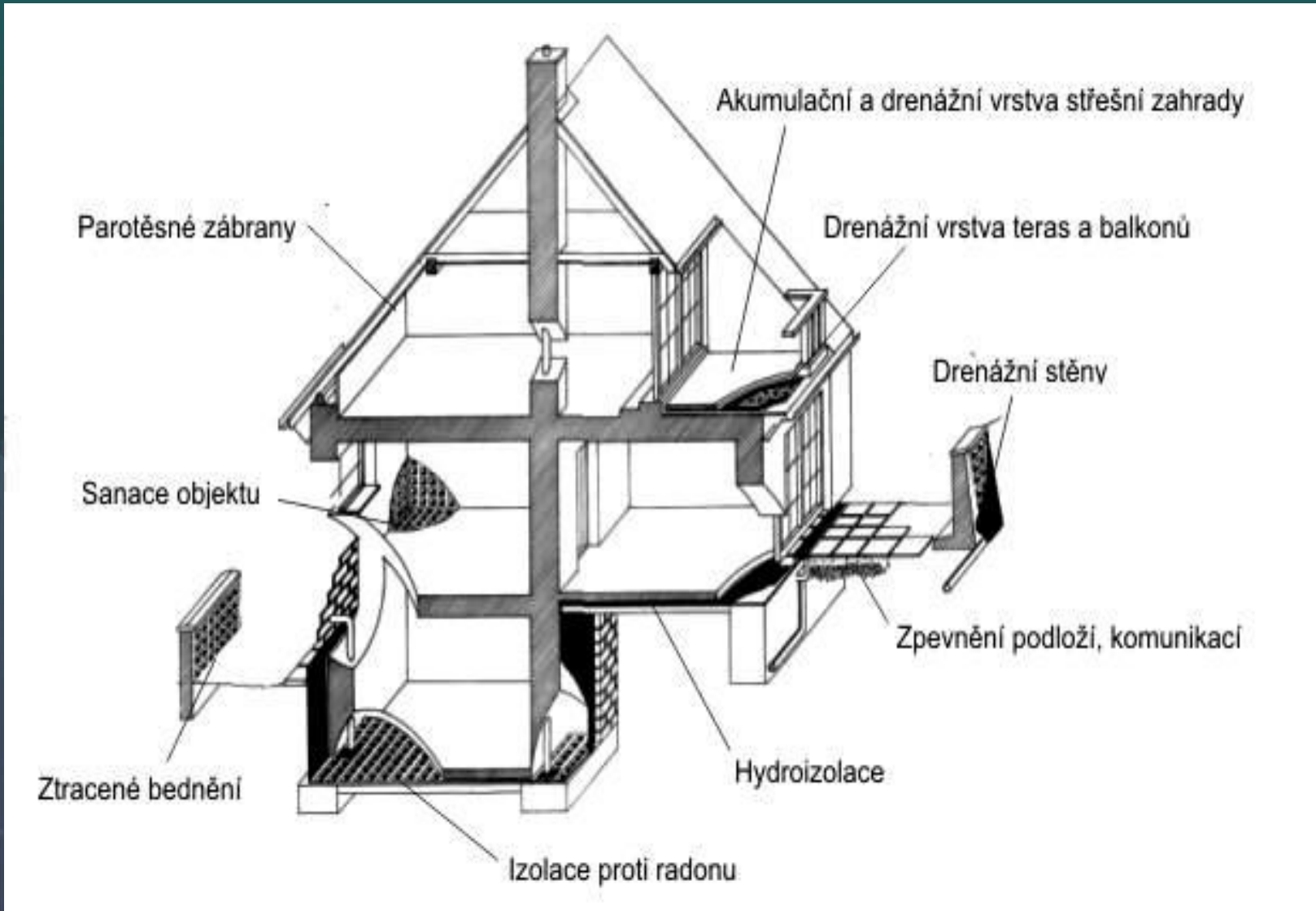
# PE trubky a tvarovky

- sesíťovaný HDPE –  
- PEX





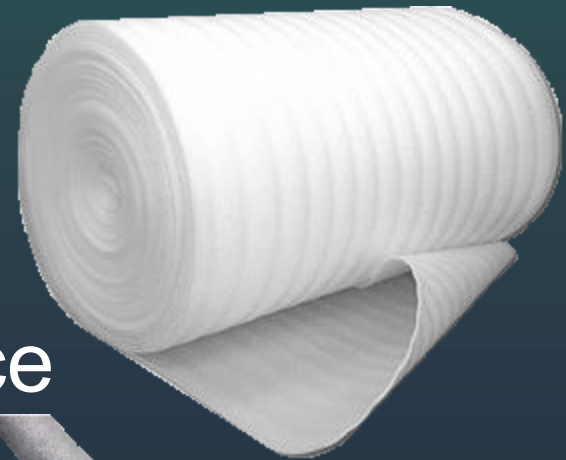
# Použití PE folii na stavbě





# Expandovaný PE

- vytlačování roztaveného PE syceného plynem → pěnová hmota
- $\rho_v = 35 \text{ kg.m}^{-3}$
- $\lambda \approx 0,045 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- tepelné a akustické izolace
- izolace potrubí
- parozábrana (+ LDPE)
- reflexní folie (+ Al folie)
- Mirelon







# Degradace PE

- přirozeně
  - několik set let
- bakterie Sphingomonas
  - během 3 měsíců 40 %
- přídavek aditiv
  - 2 měsíce až 6 let



**Daniel Burd**  
(nar. 1992)



**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze

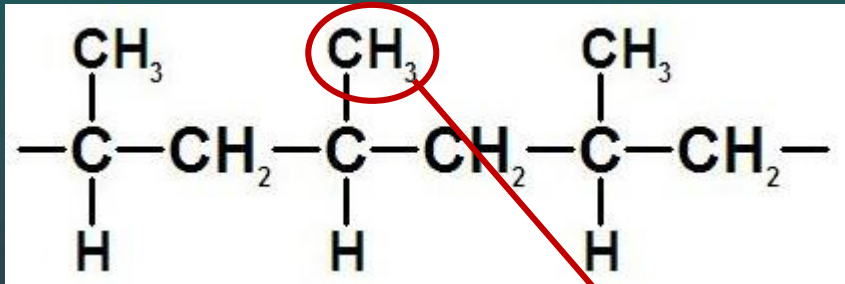


**Stavební hmoty**



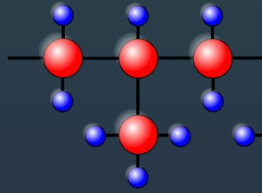


# Polypropylen PP



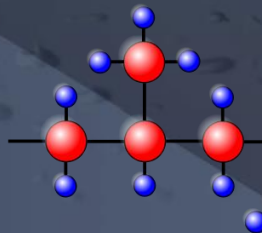
metylová skupina

- isotaktický



- syndiotaktický

- ataktický

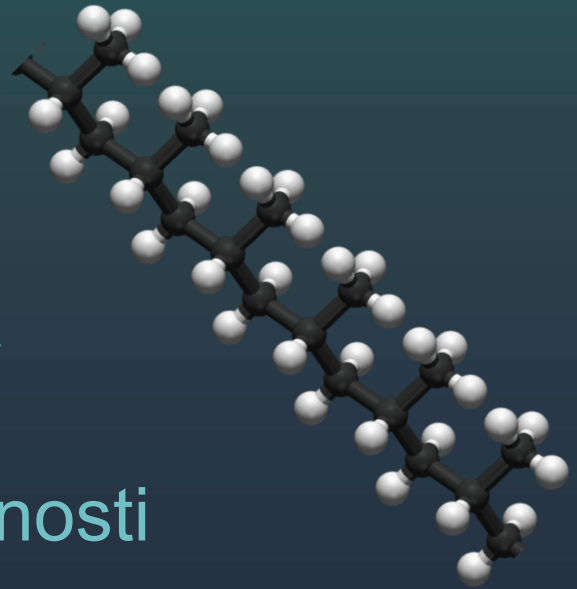




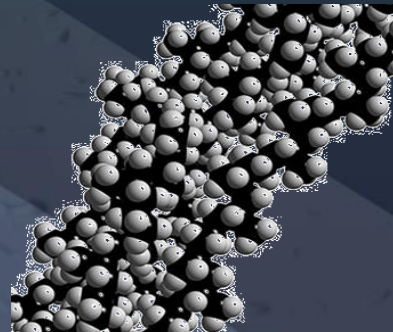
# Vlastnosti PP



- **isotaktický PP** – podobný HDPE
  - vyšší pevnost
  - dobrá odolnost vůči oděru
  - vyšší bod tání ( $\sim 165\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
  - křehký při teplotách  $< 0^{\circ}\text{C}$  (modifikace kaučuky)
  - malá odolnost vůči povětrnosti



- **ataktický PP**
  - těstovitý
  - malá pevnost

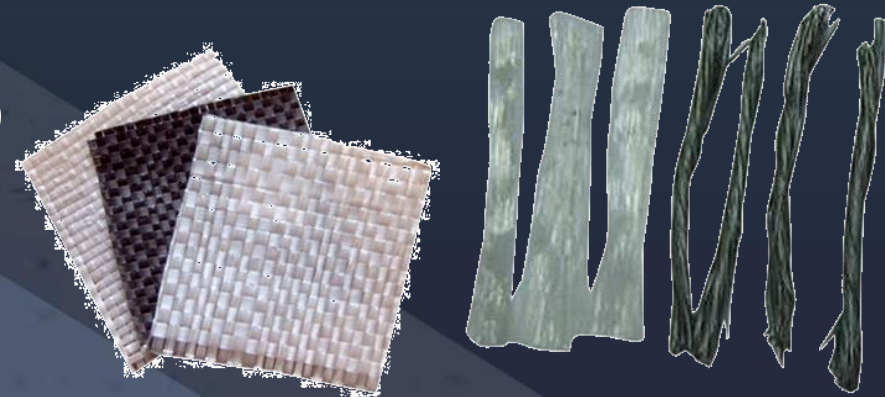






# Použití PP

- kanalizační potrubí
- desky
- geotextilie
- vlákna
  - monofilamentní
  - fibrilovaná
  - vysokopevnostní
- APP – přísada do lepidel a asfaltů

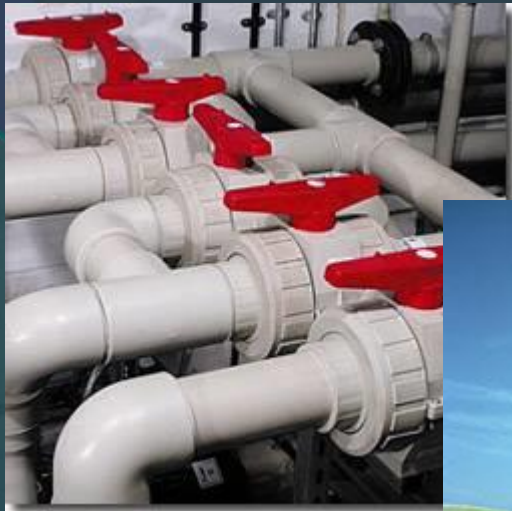






# Kanalizační potrubí

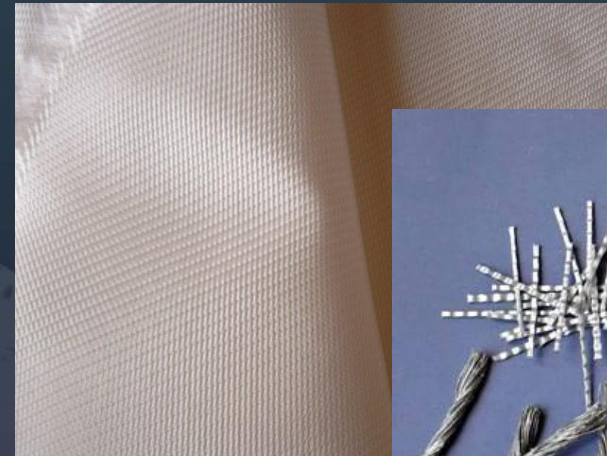
- silnostěnné trubky z PP plněného kamennou moučkou – méně hlučné





# PP vlákna

- málo krčivá
- biologicky stálá
- neodolávají UV záření
- špatně obarvitelná
- geotextilie
- vláknobeton
- monofilamentní
- fibrilovaná







# PP vlákna do betonu

- 0,9 kg (1 balení) vláken do 1 m<sup>3</sup> čerstvé směsi betonu, malty či omítky.
- 1 balení - 150 miliónů drobných vláken.
- speciální povrchová úprava (lubrikace) - usnadňuje velmi rychlé, snadné a rovnoměrné rozptýlení
- k míchání směsi postačí autodomíchávač, i běžné míchačky





# Ostatní polyolefiny

- **polyizobutylene (PIB)**
  - lepidla
  - **butylkaučuk** (směs PIB a izoprenu) - z běžných kaučuků nejnižší propustnost plynu, dobrá odolnost proti kyslíku a ozonu
  - **tlumicí prvky**
- **poly-1-buten** (vysoká molekulová hmotnost, vysoká pevnost a odolnost)





**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze

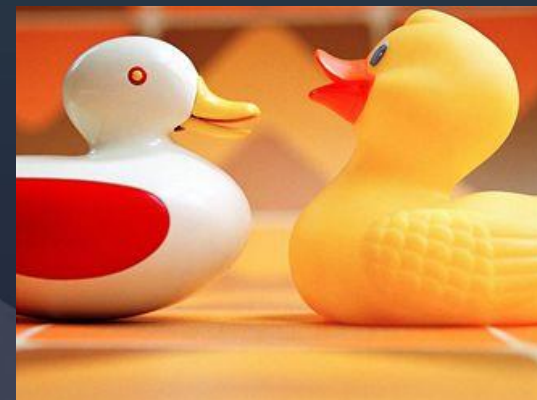
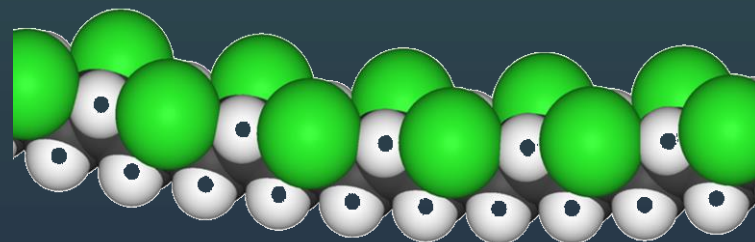
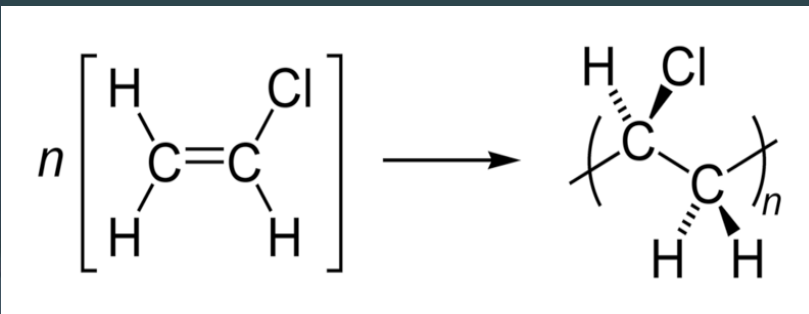
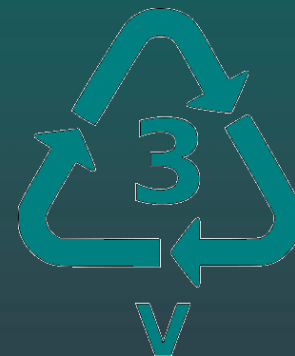


**Stavební hmoty**





# Polyvinylchlorid PVC





# Vlastnosti PVC

- hustota:  $1380 \text{ kg/m}^3$
- teplota varu:  $212 \text{ }^\circ\text{C}$
- čisté PVC - tvrdé a křehké →  
změkčování
- méně tepelně stálý → stabilizátory
- samozhášivý, ale při hoření uvolňuje  
jedovaté látky (fosgen)
- velmi dobře se lepí
- špatná recyklace



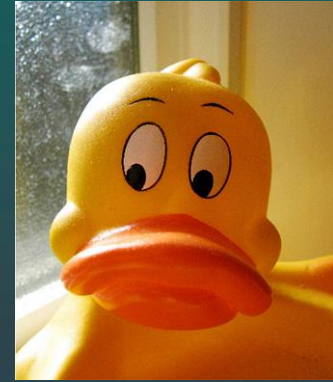


# Změkčování PVC

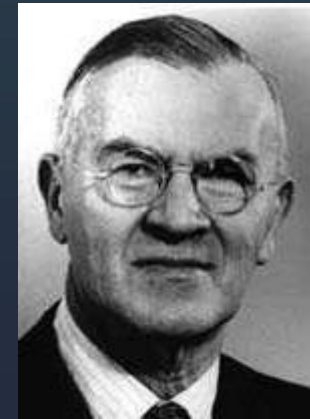
- **tvrdý PVC** = méně než 12 %  
změkčovadel - **novodur**
- **měkčený PVC (mPVC)** = 20 - 40 %  
změkčovadel – **novaplast, igelit**
- **neměkčený PVC (PVC-U)** =  
změkčovadla jen v míře nutné pro  
zpracování (výrobu)



# Změkčovadla PVC



- ftaláty (estery kyseliny vtalové )
- postupně vytěkávají (křehnutí)
  - řada z nich podezírána ze zdravotní závadnosti - suspektní karcinogenní a endokrinní účinky (DEHP, DBP)
  - dnes většinou omezovány nebo nahrazovány jinými změkčovadly (adipáty, citráty)



Waldo Semon  
(1898-1999)



# Výrobky z tvrdého PVC

- desky
- trubky
- instalátérské armatury
- korugované kanalizační roury
  - dobré lepení a svařování
  - snadné tvarování v horké vodě nebo vzduchu
  - použití do 60 °C

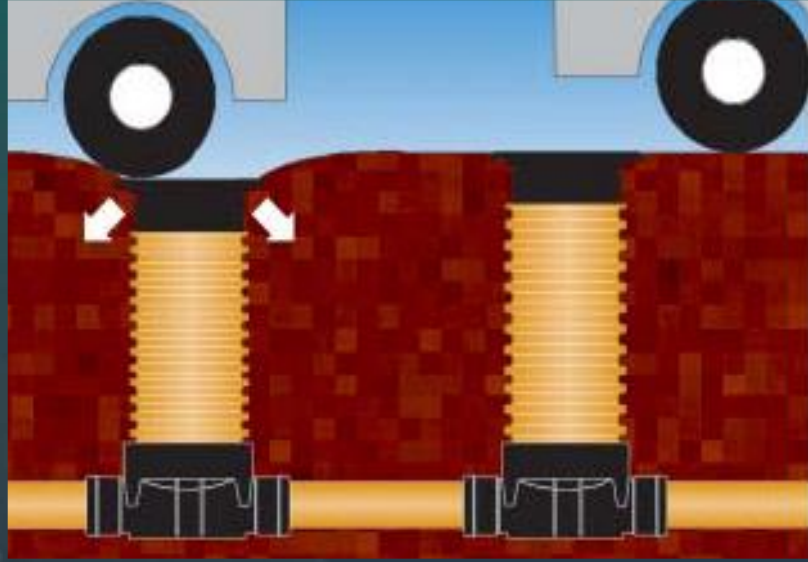






Stavební hmoty

# Korugované roury



Katedra materiálového inženýrství  
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze



# Průhledné PVC desky

- výroba **biaxiálním protahováním** → zvýšení pevnosti a odolnosti proti nárazům
- ekonomicky zajímavá alternativa k polykarbonátům







# Výrobky z měkčeného PVC

- hydroizolační folie

- obyčejné
- střešní
- bazénové
- skládkové



- tvarové kusy

- kouty, rohy, vpusti,  
odvětrání







# Výrobky z měkčeného PVC

- podlahoviny
  - ne linoleum !
  - dlaždice (lehké  $< 5 \text{ kg/m}^2$ )
- ochranné povlaky





# PVC podhledová folie

- biaxiálně napjatá folie
- při instalaci zahřátí na 60 °C
- po vychladnutí smrštění  
→ dokonale rovný podhled







# Nánosované textilie

- nanesení silně měkčeného PVC na technickou textilií
- nafukovací haly

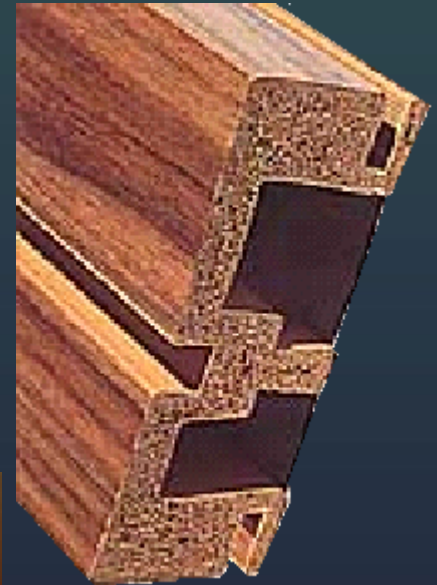






# Lehčené PVC

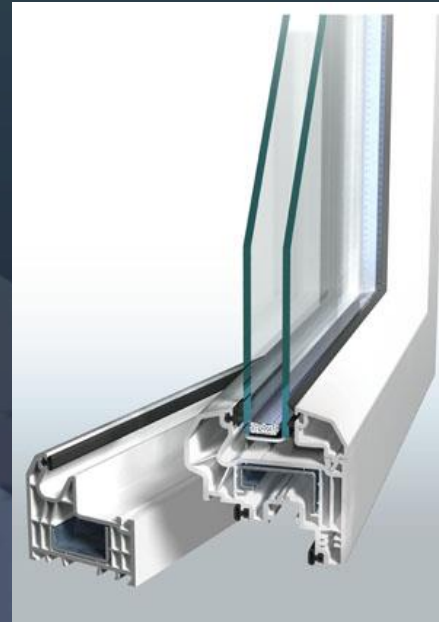
- nadouvání chemicky vyvíjeným plynem
- nadouvání pomocí nízkovroucí sloučeniny
- sycení plynem
- lehčené profily, kazety





# Kopolymerní PVC

- s přísadou chlorovaného polyetyleny -  
povětrnostně odolný →  
→ okenní rámy, okapové žlaby,  
fasádní panely



**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



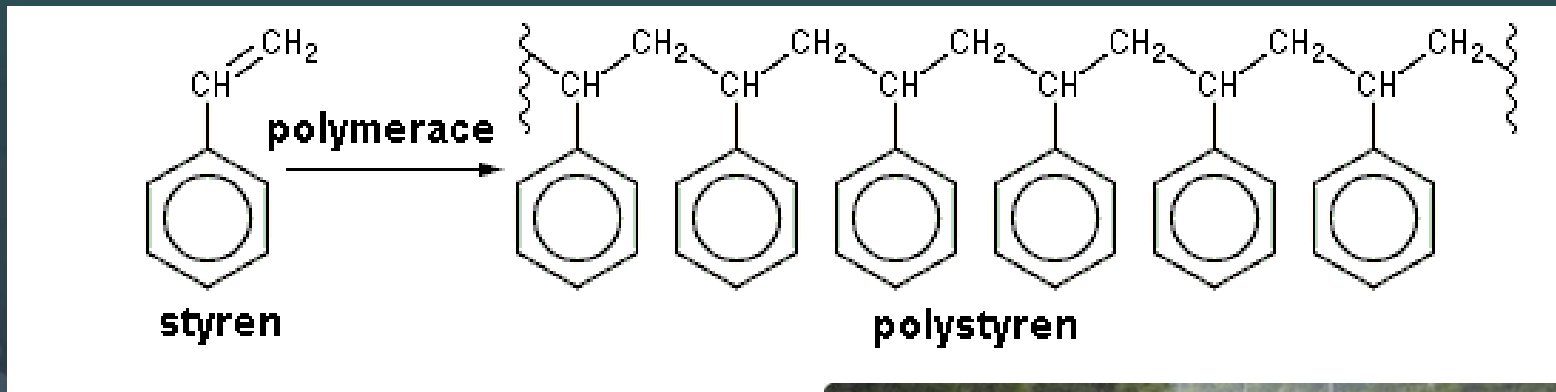
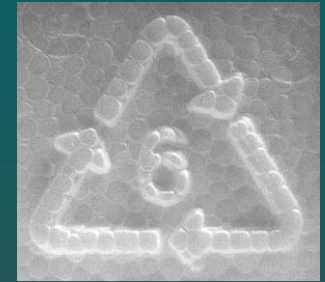
**Stavební hmoty**







# Polystyren PS



- tvrdý a křehký
- největší užití jako lehčený
  - expandovaný EPS
  - extrudovaný XPS







# Expandovaný polystyren EPS

## Vlastnosti:

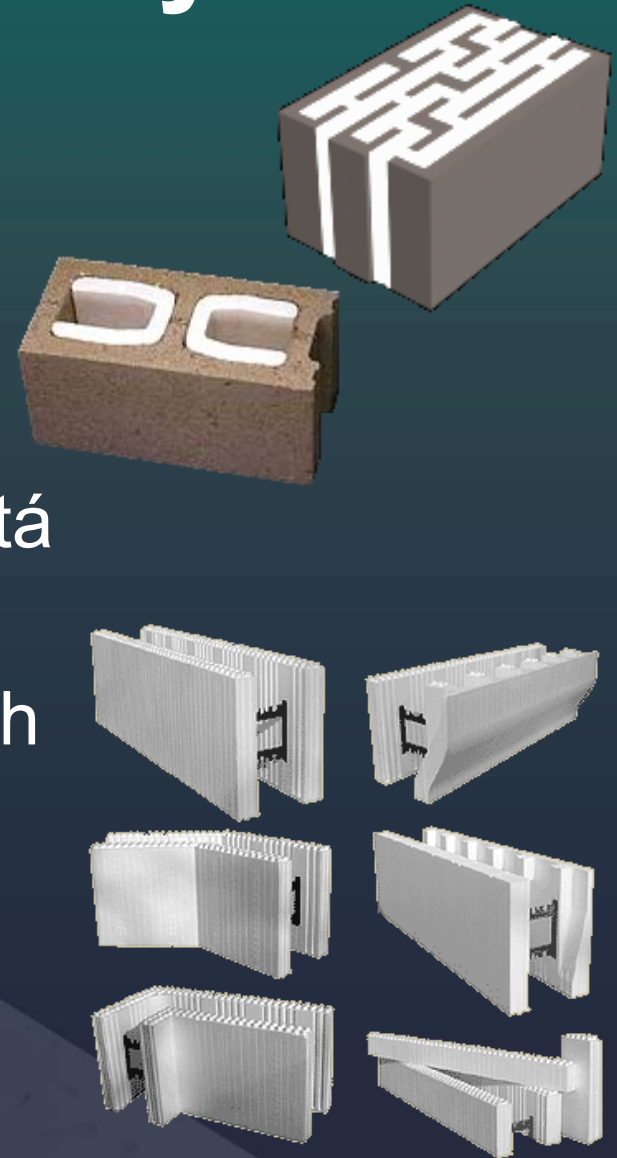
- $\rho_V = 5-100 \text{ kg.m}^{-3}$  (běžně 20, 25 a 35  $\text{kg.m}^{-3}$ )
- $\lambda \approx 0,04 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$   
 $\lambda \rho = 0,02714 + 5,1743 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_V + (0,173606/\rho_V)$
- hořlavý, po přidavku retardéru - samozhášivý
- velké objemové změny - vytěkávání pentanu, teplotní změny
- nasákavost 1 - 5 %
- snadné řezání a lepení





# EPS - výrobky

- tepelně izolační výrobky
  - bloky a desky
  - izolace potrubí
  - kombinované desky (+ sádkarton, dřevovláknitá deska, asfaltový pás)
  - izolační vrstva v kusových výrobcích
  - ztracené bednění
  - granulát





# Zateplování EPS

- pouze stabilizované desky
- nesmí být vynechán okrajový pás lepidla a použity dostatečně dlouhé kotvy
- systémové řešení
- do výšky 22,5 m





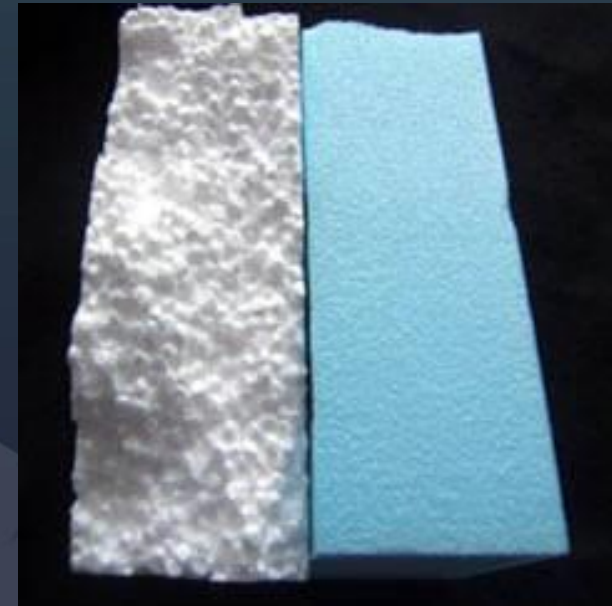
# Extrudovaný polystyren XPS

## Výroba:

- vstřikování nadouvadla do PS taveniny
- nadouvadla - dříve freony, nyní fluorované uhlovodíky bez chloru a oxid uhličitý

## Vlastnosti

- $\rho_v = 25, 40, 45 \text{ kg.m}^{-3}$
- $\lambda \approx 0,025 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$
- nižší nasákavost (0,2%)
- vyšší pevnost







# XPS -vlastnosti

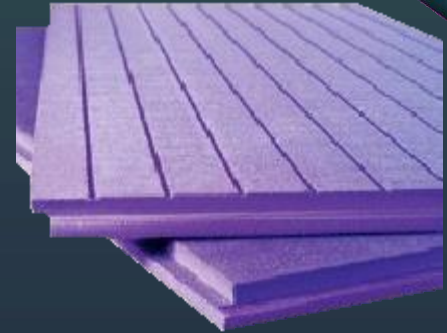
parametr		typ		
		25	38-40	45
objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	28-43		
měrná tepelná vodivost	W/mK	0.028	0.025	0.024
hořlavost	-	těžce hořlavý (B1-DIN)		
nasákavost po 28 dnech	% obj.	0.2		
pevnost v tlaku při 10% stlačení	MPa	0.22	0.50	0.7
souč. tepelné roztažnosti	1/K	70x10 <sup>-6</sup>		
faktor difúzního odporu	-	80-250		





# XPS - výrobky

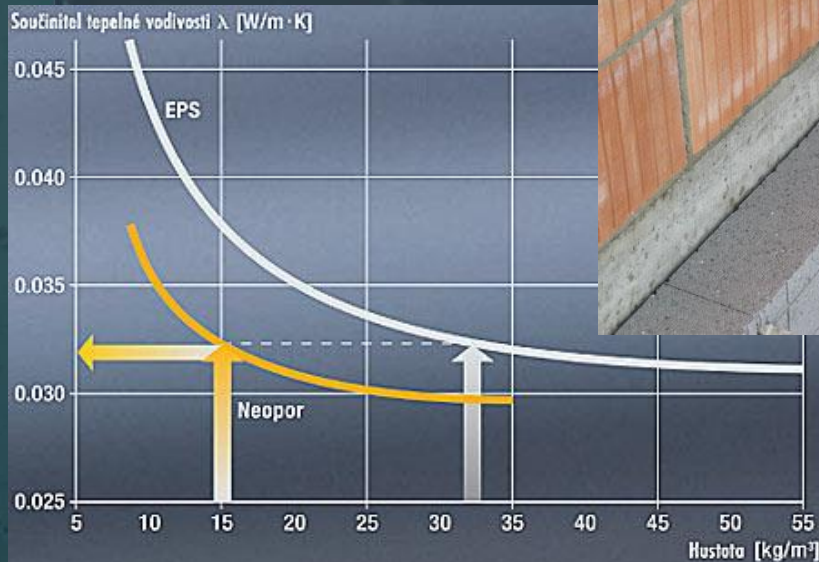
- jako EPS
- všude, kde se uplatní nižší nasákavost a vyšší pevnost
  - obrácené střechy
  - pod suché dlažby
- probarvování ve hmotě





# Šedý polystyren - Neopor

- přidání velmi jemného grafitového prášku do hmoty → brání prostupu tepla a odráží ho
- při nižší  $\rho_v$  nižší  $\lambda$





**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



**Stavební hmoty**





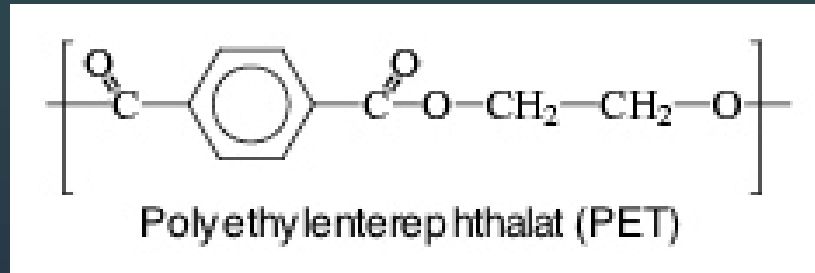
# Polyestery



- výroba polykondenzací
- vláknotvorné - tkaniny

- **PET**

- lahve
- geotextilie
- tkaniny





# PET - recyklace

- folie
- geotextilie
- tvarovky
- plotové prvky
- desky



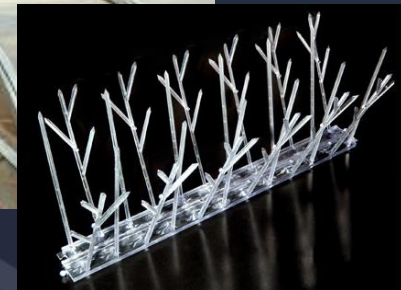




# Polyestery

## Polykarbonáty PC

- průhledné, bezbarvé
  - dobré mechanické vlastnosti
  - dobrá povětrnostní odolnost
  - relativně malé objemové změny
- prosvětlovací prvky





# Polyestery

## Polymetylmetakrylát PMMA

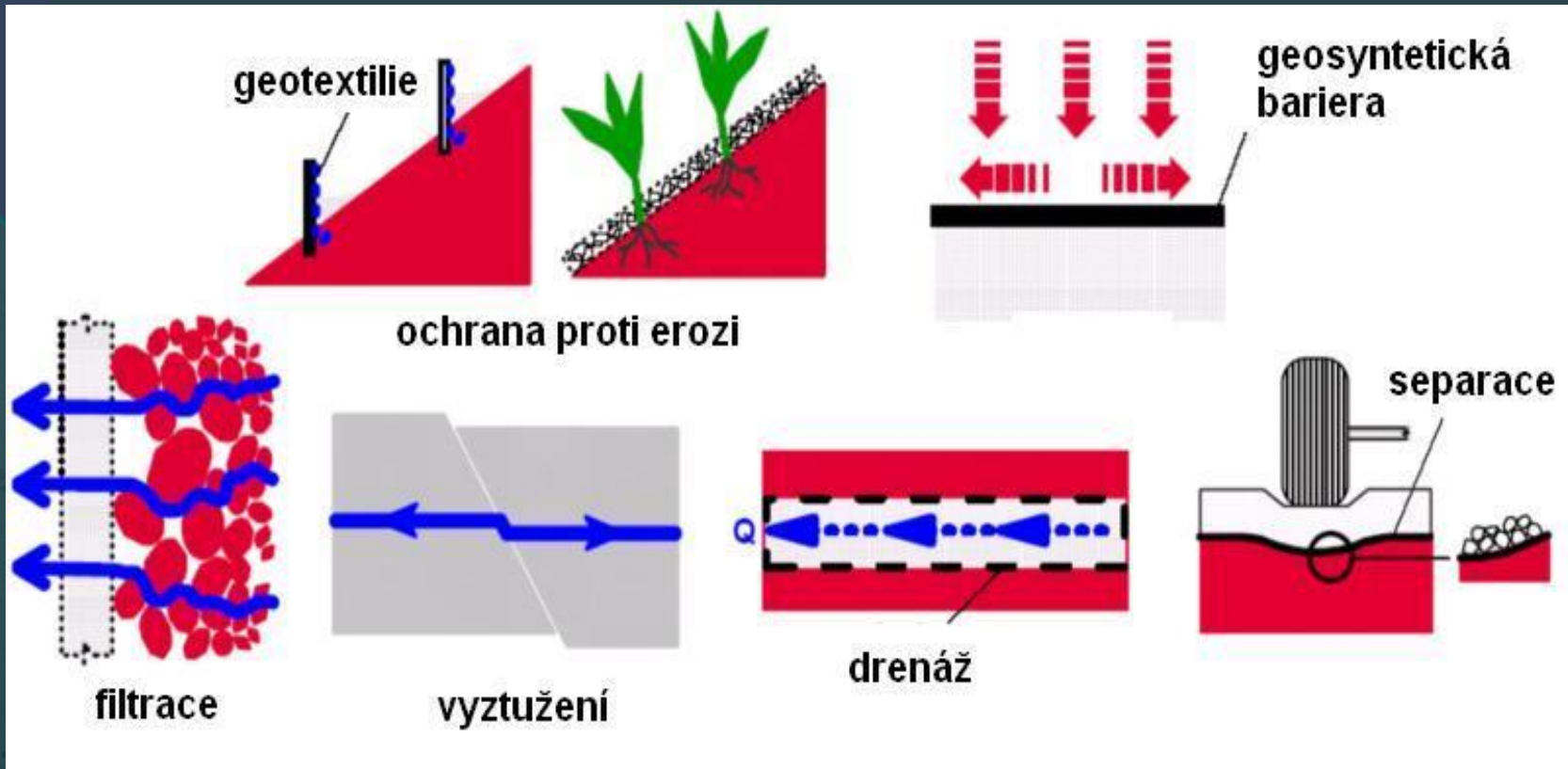
- „plexisklo“
- pružný a ohebný
- malá povrchová tvrdost
- vysoká rázová houževnatost
- nutné rozměrové ustálení teplem





# Geosyntetické materiály

- ploché výrobky určené k zabudování do země

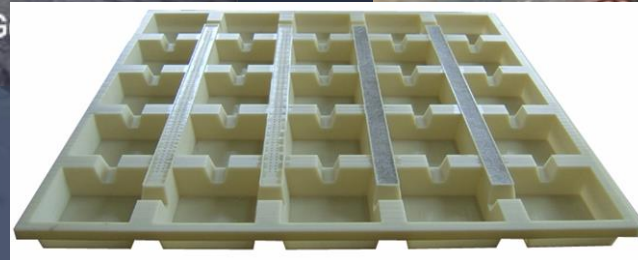
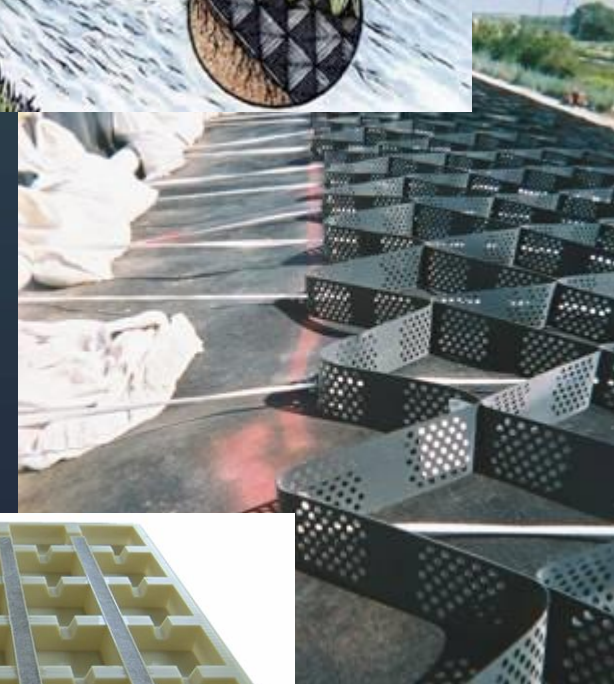
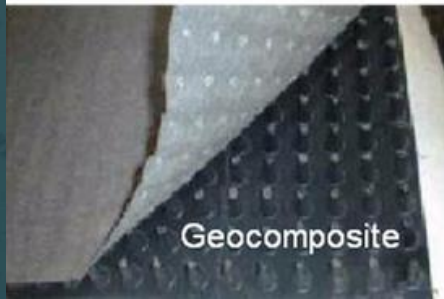






# Geosyntetické materiály

- PE, PET, PP, PA



**Katedra materiálového inženýrství  
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze

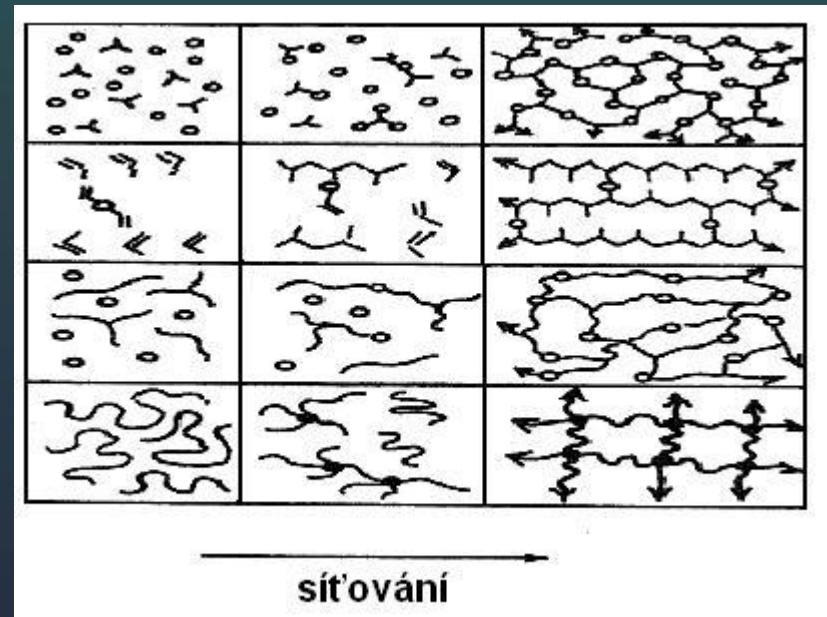
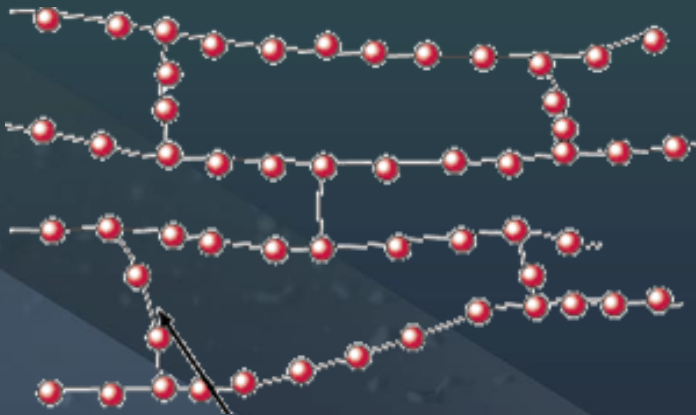


**Stavební hmoty**



# Reaktoplasty

- vytváří prostorovou síť



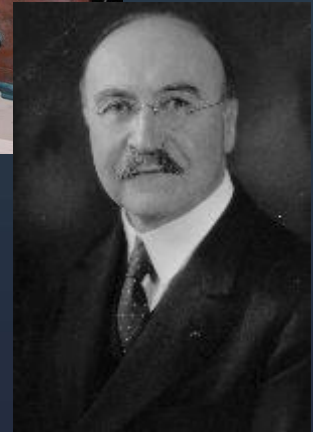
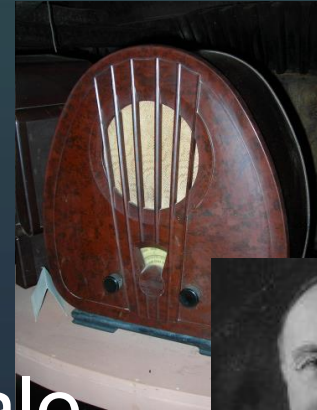
- vytvrzené - tvarové výrobky
- nevytvrzené - pojivo, nátěr, lepidlo





# Formaldehydové kondenzáty

- **fenolformaldehydové pryskyřice**
  - tepelně izolační desky z minerálních nebo skleněných vláken
  - desky s dřevěným plnivem
  - pojivo do kyselinovzd. malt
- možnost emisí z nedokonale vytvrzeného pojiva (močovinoformaldehydové pryskyřice se již nepoužívají)



**L. H. Baekeland**  
(1863-1944)



# Fenolická pěna

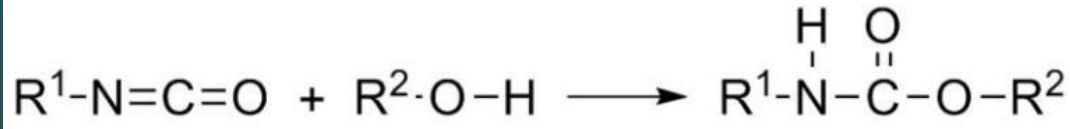
- $\rho_V = 40 \text{ kg.m}^{-3}$
- $\lambda \approx 0,04 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$
- nízká pevnost
- dobrá teplotní odolnost
- nízká cena

objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	30-80
pevnost v tlaku	[MPa]	0.1-0.15
souč. tepelné vodivosti	[W/mK ]	0.04 pro 40 kg/m <sup>3</sup>
nasákavost	[%.]	11% obj, 270% hmot.
hořlavost	[-]	C2
odolnost teplotě		
krátkodobá	[°C]	200
dlouhodobá		150

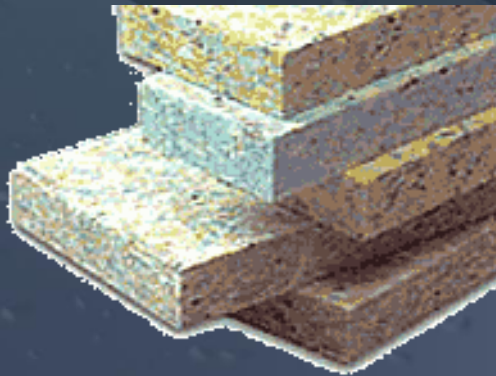
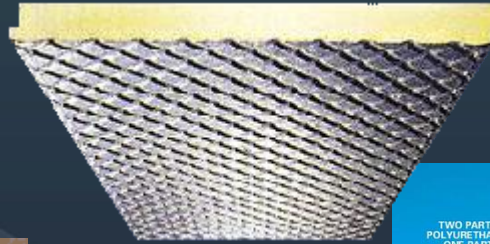




# Polyuretany PUR



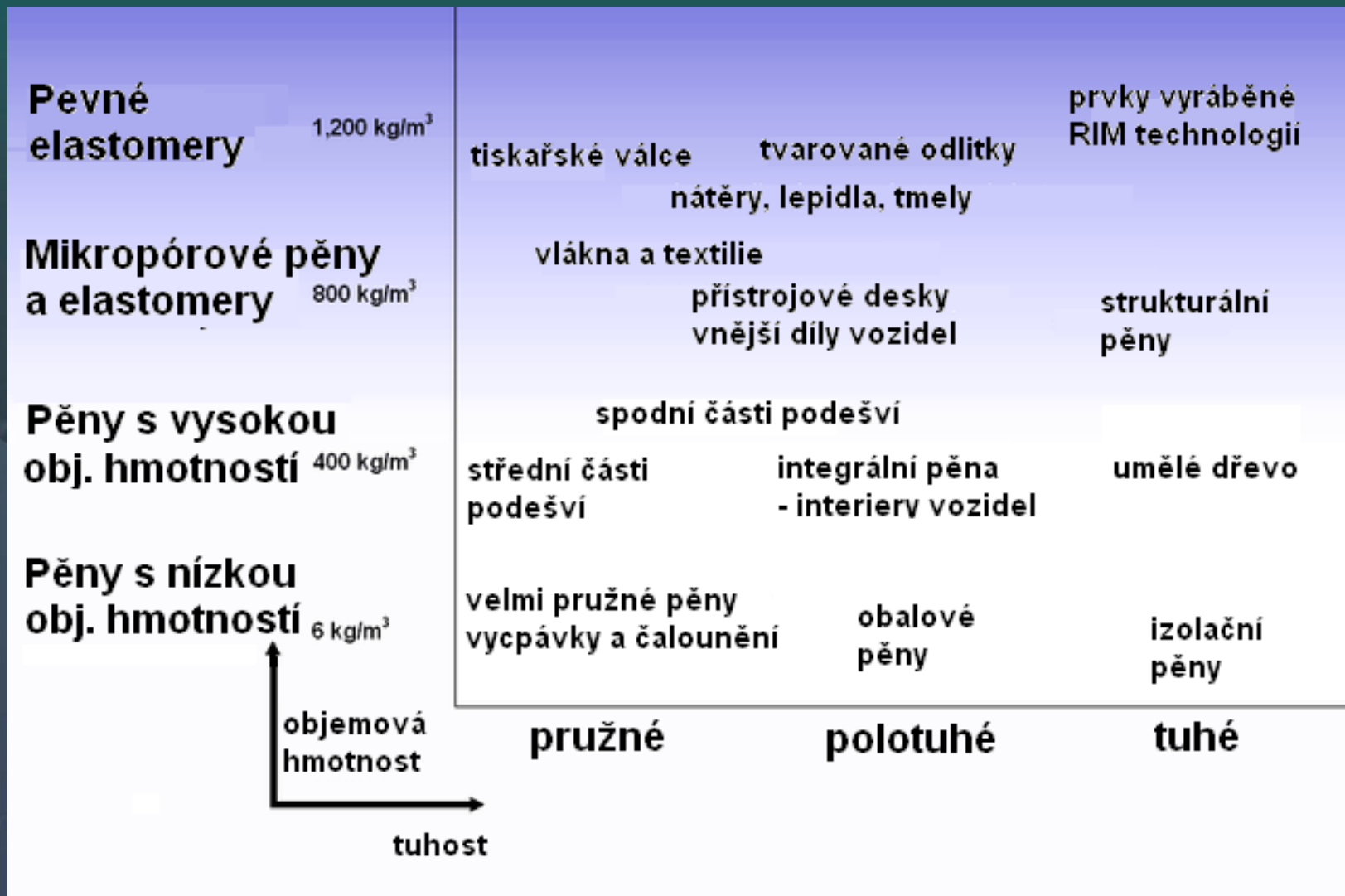
- nátěrové hmoty
- lepidla
- pěňná hmota





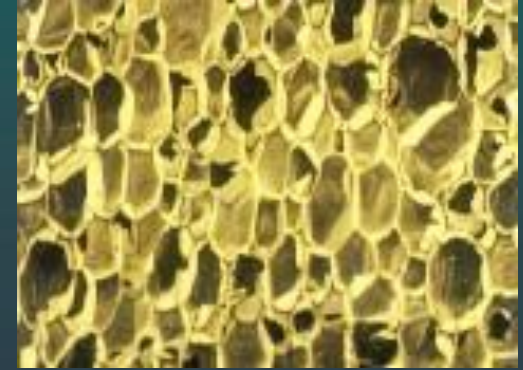


# Použití PUR



- dvousložková
- vysoká pevnost
- $\lambda = 0,03 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$
- nenasákavá

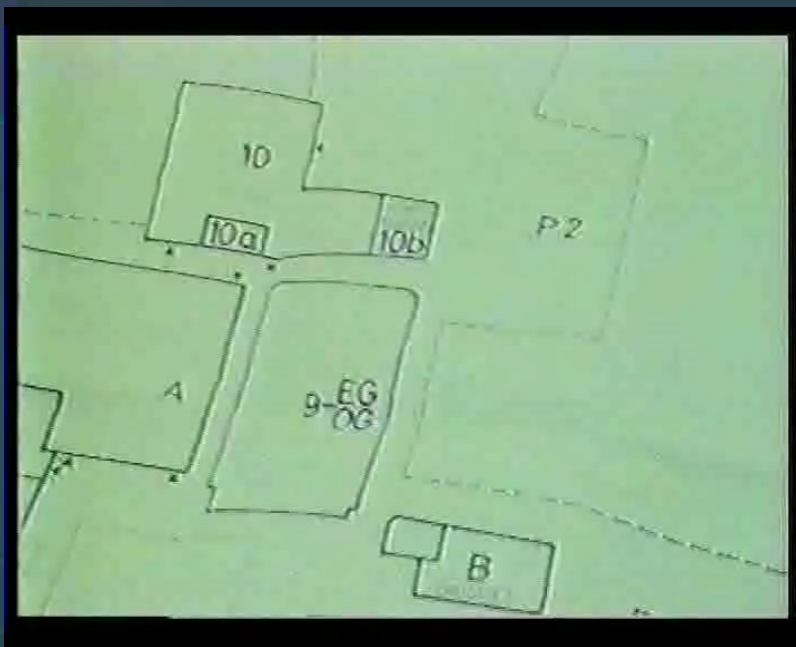
# PUR pěna





# Stavební výrobky z PUR pěny

- tepelná + hydroizolace střech - nástřik na stavbě
- prefabrikované desky

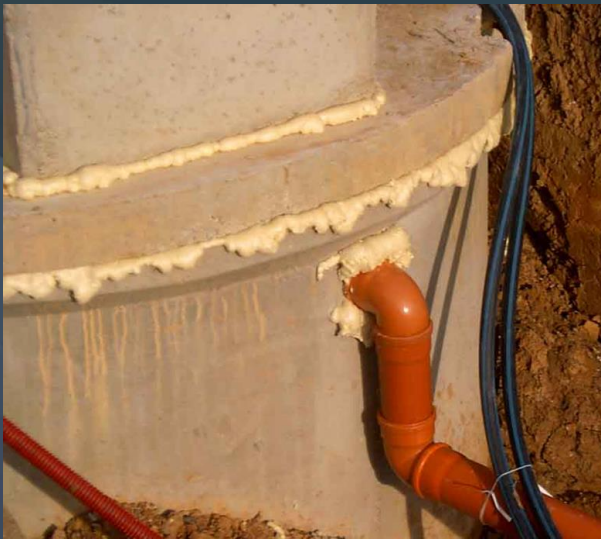






# PU montážní pěna

- montážní!
- menší pevnost a trvanlivost





# Epoxidy

- pojiva do dvousložkových hmot – potřebují tvrdící složku
- výborná adheze k podkladu
- vytvrzují za velkého rozsahu teplot
- vytvrzený produkt je chemicky a mechanicky odolný
- malé objemové změny
- problém - požární odolnost





# Epoxidy - výrobky

- nátěrové hmoty
- tmely
- polymerbetony
- penetrační nátěry
- lepidla

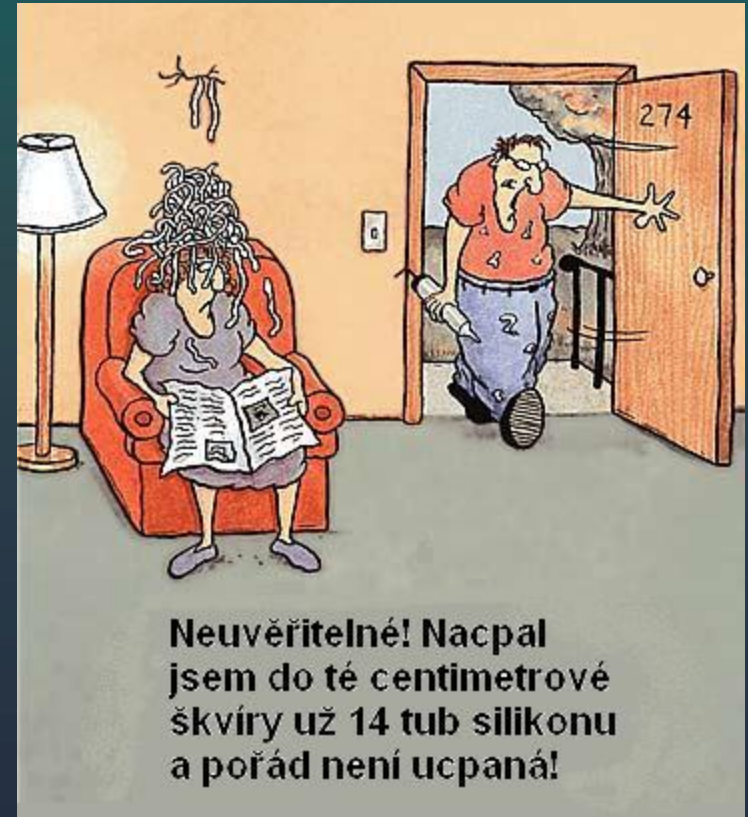
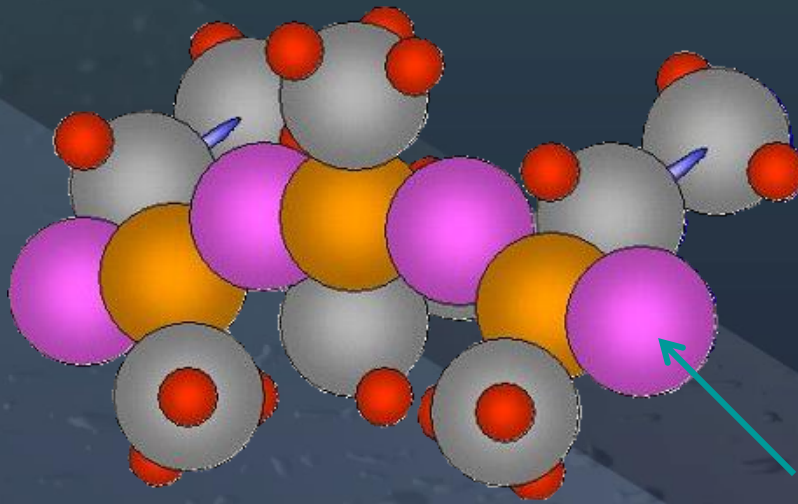






# Silikony

- $[R_2SiO]_n$
- kaučuky
- pryskyřice



siloxanový řetězec  
(...-Si-O-Si-O-Si-O-...)



# Silikony - výrobky

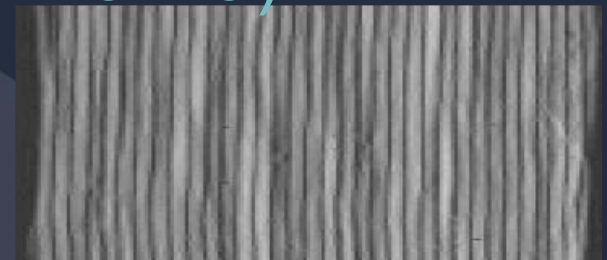
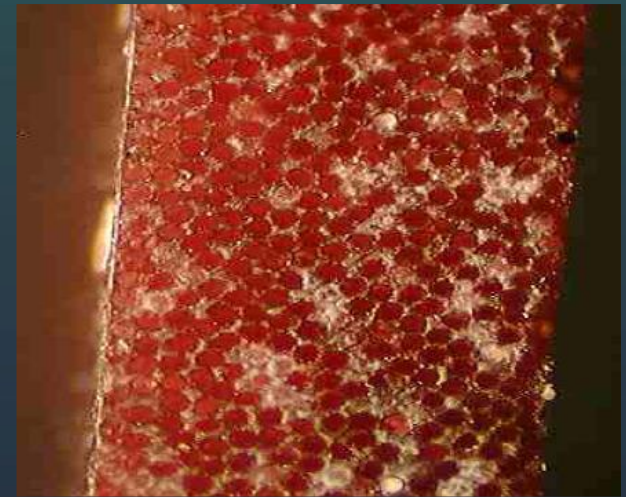
- „jednosložkové“ tmely  
(vytvrzování vzdušnou vlhkostí)
  - velmi dobré adhezní vlastnosti, ale některé tmely reagují kyselě → nevhodné pro betony, sádrokarton
  - menší chemická odolnost – liší se podle typu
- dvousložkové kaučuky – tekutější
- silikonové těsnící provazce
- hydrofobizace  
(omítek, silikátových povrchů)





# Kompozity s reaktoplasty

- polymerní matrice (pojivo) + výztužná složka (plnivo)
- plněné pojivo
- pojené plnivo
- výztuž:
  - granulární
  - lamelová
  - vláknitá (dlouhá a krátká vlákna)
  - plošná







# Polymerbetony

- + vysoké pevnosti
- + rychlý nárůst pevnosti
- + i velmi tenké vrstvy
- + odolnost vůči agresivnímu prostředí



- nejsou žáruvzdorné
- cena
- nutné kvalitní rozmíchání



# Vlastnosti polymerbetonů

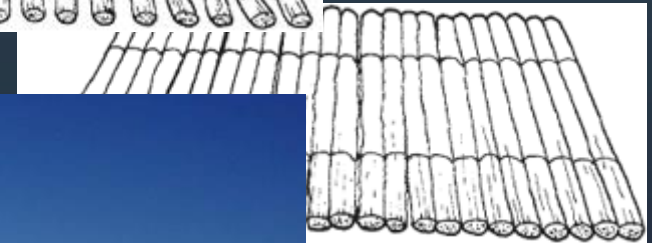
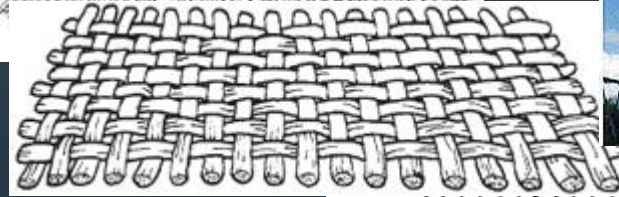
		polymer- beton	beton
hustota	kg/m <sup>3</sup>	1 900 - 2400	2500-2700
modul pružnosti	GPa	10 - 40	15 - 40
pevnost v tahu	MPa	4 - 25	1 - 5
pevnost v tlaku	MPa	50 - 210	6 - 60
tepelná vodivost	W/mK	1,5 - 2	1,28 - 1,54
koef. teplotní roztlačnosti	10 <sup>6</sup> K <sup>-1</sup>	10 - 50	9 - 12
nasákavost hmotnostní	%	0,02 – 1	6 - 13





# Skelné lamináty

- skelná vlákna, rohože, tkaniny (50-80% skla )

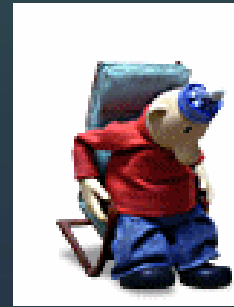






# UF .....

## a je to za námi...



# Děkuji za pozornost.

# DOTAZY?



# Zkouška

- termíny: v KOSu - celkový čas cca 4 hod

## *Písemná část:*

- **písemný otázkový test** (10 čtených otázek)
  - bez podkladů !
  - definice, rovnice, užití, výjimečně číselné hodnoty
  - ne čísla norem, číselné hodnoty, firemní názvy
- **3 příklady**
  - povolena kniha Stavební hmoty (i vytištěná) + kalkulačka
  - 1. čára zrnitosti – směs
  - 2. fyzikální vlastnosti ( vlhkost, pórovitost, objemová hmotnost...)
  - 3. mechanické vlastnosti (pevnost, modul pružnosti...)



# Zkouška

→ z písemné části **2 známky** - vyhlášení cca 1-2 hodiny po skončení písemky.

**! Kdo nepřijde bez omluvy na vyhlášení výsledků dostane F bez ohledu na známky z písemky !**

## Ústní část:

- je možné přímo zapsat **horší** z obou známek
- chce-li student lepší známku, musí k ústnímu přezkoušení
- pokud je výsledek **F+** jiná známka, pak je výsledkem zkoušky **F** 😞