

Možnosti přípravy PUR pěny modifikované anorganickými nanočásticemi

Bc. Jana Ištvanovič

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství polymerů
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jana IŠTVANOVIC**
Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Technologie a management**

Téma práce: **Možnosti přípravy PUR pěny modifikované
anorganickými nanočásticemi**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Připravte směsi PUR s anorganickými plnivými.
3. Zhodnoťte výsledné vlastnosti PUR směsí a jejich morfologii.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. T. J. Pinnavaia, G. W. Beall. Polymer-Clay Nanocomposites, New York: John Willey and Sons, 2000, 349 p., ISBN 0-471-63700-9.
2. Weiss Zdeněk, Kužvart Miloš. Jílové minerály, jejich nanostruktura a využití, 1.vyd., Praha: Karolinum, 2005, 281 p., ISBN 80-246-0865-5.
3. Landrock, A.H. Handbook of Plastic Foams, Dover, New Jersey: William Andrew Publishing/Noyes, 1995, ISBN: 0-8155-1357-7.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Alena Kalendová, Ph.D.
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce: 15. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce: 14. května 2010

Ve Zlíně dne 15. února 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem předložení diplomové práce je ověřit možnosti přípravy PUR pěn obsahujících anorganické nanočástice. V prvním kroku byla ověřena možnost modifikace receptury PUR pěny, tak aby i po přidavku plniva bylo dosaženo požadované struktury pěny. Jako plniva byly použity jíly typu Cloisite Na⁺, 30B, 20A, 25A, 93A, Claytone APA, HY, Kaolinit/Ag, Montmorillonit/Ag, Nanosilver.

Zkušební vzorky byly připraveny podle receptury z Molitanu a.s., Břeclav. Následně připravené materiály byly charakterizovány z hlediska vlastností. Byl sledován vliv množství plniva, mechanické vlastnosti a morfologie připravených pěn.

V konečné fázi se podařilo připravit vyhovující PUR pěny s přidavkem anorganických plniv.

Klíčová slova: PUR, nanokompozit, montmorillonit, kaolinit.

ABSTRACT

The aim of the diploma work is to verify the possibility of preparing polyurethane foams containing inorganic nanoparticles. In the first step the possibility of modifying recipes polyurethane foam was tested, so that even after the addition of filler the desired foam structure was achieved. As fillers were used clay type Cloisite Na⁺, 30B, 20A, 25A, 93A, Clayton APA, HY, Kaolinite/Ag, Montmorillonite/Ag, Nanosilver.

Test samples were prepared in accordance with the formula of the Molitan a.s., Břeclav company. Prepared PUR foams properties were tested. The influence of quantity of fillers, mechanical properties and morphology of the prepared foams were evaluated. In the final phase was prepared suitable polyurethane foam with the addition of inorganic filler.

Keywords: PUR foam, montmorillonite, kaolinite, nanocomposites.

Poděkování, motto

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucí diplomové práce, Ing. Aleně Kalendové, Ph.D. za odborné vedení, poskytování konzultací, věcné připomínky a názory při vypracování mé diplomové práce.

Dále bych chtěla, poděkovat společnosti Molitan a.s., Břeclav za možnost vypracování diplomové práce. Za odborné rady a připomínky technologovi panu Zbyňkovi Vančurovi a paní laborantce Evě Hladíkové.

Závěrem děkuji mé rodině, která byla po celou dobu studia moji velkou oporou.

„Máme své sny a právo dělat chyby.“

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYURETANY (PUR)	13
1.1 VÝROBA POLYURETANŮ	13
1.2 VSTUPNÍ SUROVINY	13
1.2.1 Polyisokyanáty, diisokyanáty.....	13
1.2.2 Polyol	14
1.2.3 Extendery	14
1.2.4 Katalyzátory	15
1.2.5 Silikonový olejový povrchový aktivátor	15
1.2.6 Ostatní přísady – retardéry hoření.....	15
1.3 TYPY PUR MATERIÁLŮ	15
2 PLNIVA	18
2.1 VZNIK PLNIV	18
2.1.1 Vyvřelé horniny	18
2.1.2 Sedimentární (usazené) horniny.....	20
2.1.3 Metamorfované horniny.....	21
2.2 TYPY PLNIV	21
2.3 VLIV PLNIV NA VLASTNOSTI.....	22
2.4 POUŽITÍ PLNIV V POLYURETANECH	23
3 JÍLOVÉ MINERÁLY	26
3.1 FYLOSILIKÁTY.....	27
3.1.1 Tetraedrická síť	28
3.1.2 Oktaedrická síť	30
3.1.3 Propojení tetraedrických a oktaedrických sítí.....	31
3.2 SKUPINA SERPENTINU.....	34
3.2.1 Kaolinit.....	34
3.3 SKUPINA SLÍD.....	35
3.3.1 Illit	35
3.4 SKUPINA SMEKTITŮ	35
3.4.1 Montmorillonit	36
3.5 MODIFIKACE JÍLOVÝCH MINERÁLŮ	37
3.5.1 Organofilizace	38
3.5.1.1 Mokrý metoda (ion - výměnná metoda)	38
3.5.1.2 Suchá metoda (ion – dipólová metoda)	38
4 NANOKOMPOZITY	40
4.1 PŘÍPRAVA NANOKOMPOZITU	41
II PRAKTICKÁ ČÁST	44
5 EPERIMENTÁLNÍ ČÁST	45
5.1 VSTUPNÍ SUROVINY	45
5.2 POSTUP PŘÍPRAVY ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	47
5.2.1 Příprava polyuretanových směsí	47

5.2.2	Výrobní postupy pro jednotlivé druhy pěn	49
5.3	DISKUSE K PŘÍPRAVĚ PĚN.....	66
6	OPRACOVÁNÍ VYROBENÝCH PUR PĚN	68
7	VISKOZITA	69
7.1	PONORNÝ ROTAČNÍ VISKOZIMETR	69
7.1.1	Stanovení viskozity na přístroji Brookfield LFV	70
7.1.1.1	Měření viskozity polyolu s i bez 3 % plniva Na ⁺ i se zbytkem směsi ..	71
7.1.1.2	Měření viskozity polyolu s 3 % plnivem 30B i se zbytkem směsi	73
7.1.1.3	Měření viskozity polyolu s 1% plnivem 30B i se zbytkem směsi	74
7.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	75
8	CHARAKTERIZACE PUR PĚN	77
8.1	STANOVENÍ VZHLEDU PUR PĚN	77
8.2	VÝSLEDKY VZHLEDU PUR PĚN	77
8.3	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	78
9	POČTY PÓRŮ PUR PĚN	79
9.1	POSTUP PRO ODEČET PÓRŮ	79
9.1.1	Výsledky počtu pórů PUR pěnách	80
9.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	80
10	PROPUSTNOST PÓRŮ	81
10.1	VÝSLEDKY PROPUSTNOSTI PÓRŮ	81
10.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	82
11	MIKROSKOPIE	83
11.1	FOTKY PUR PĚN ZE SVĚTELNÉHO MIKROSKOPU	84
11.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	90
12	RTG ANALÝZA.....	91
12.1	VÝSLEDKY RTG ANALÝZY	92
12.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	93
13	OBJEMOVÁ HMOTNOST	94
13.1	STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI PUR PĚN.....	94
13.1.1	Výsledky objemové hmotnosti PUR pěn	95
13.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	97
14	ODRAZOVÁ PRUŽNOST.....	98
14.1	STANOVENÍ ODRAZOVÉ PRUŽNOSTI Z ODSKOKU KULIČKY U PUR PĚN	98
14.1.1	Výsledky odrazové pružnosti z odskoku kuličky PUR pěn	99
14.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	100
15	TRVALÁ DEFORMACE.....	101
15.1	STANOVENÍ TRVALÉ DEFORMACE V TLAKU PUR PĚN.....	101
15.1.1	Výsledky trvalé deformace v tlaku PUR pěn	102
15.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	104
16	SAG FAKTOR.....	106
16.1	STANOVENÍ SAG FAKTORU V PUR PĚNÁCH.....	106
16.1.1	Výsledky Sag faktoru v PUR pěnách.....	108

16.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	110
17	ODPOR PROTI STLAČENÍ	111
17.1	STANOVENÍ ODPORU PROTI STLAČENÍ V PUR PĚNÁCH	111
17.1.1	Výsledky odporu proti stlačení	112
17.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	114
18	HOŘLAVOST	115
18.1	STANOVENÍ HOŘLAVOSTI PUR PĚN	115
18.1.1	Výsledky hoření PUR pěn.....	117
18.2	ZÁVĚR – DISKUSE VÝSLEDKŮ	119
	ZÁVĚR	120
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	122
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	124
	SEZNAM OBRÁZKŮ	125
	SEZNAM TABULEK.....	132

ÚVOD

Polyuretan je tradičním a velmi rozšířeným materiálem používaným v mnoha oblastech. Zcela dominantně se prosadil při výrobě matrací a automobilových sedaček, kde zprostředkovává kontakt mezi ležící a sedící osobou. Patří tedy do skupiny II. vibroizolačního stupně. Jeho mechanické vlastnosti zásadním způsobem ovlivňují komfort ležení i sezení jak ve statickém, tak v dynamickém stavu. Dále polyuretany představují třídu polymerů, která je unikátní co do šíře palety dosažitelných vlastností a tedy i jejích aplikací. Polyuretany se připravují měkké, polotuhé i tuhé a patří mezi deset objemem výroby největších typu polymerů. [1] V roce 2007, celosvětová spotřeba polyuretanů surových materiálů byla nad 12 miliónů tun, průměrné každoroční tempo růstu je asi o 5 %. [2]

Polymerní nanokompozity představují aktuální trend v materiálovém výzkumu. Pojem nanotechnologie se začal používat na začátku 90. let a představuje zpracování a výrobu systémů obsahující plnivo, které má nejméně jeden rozměr řádově 10^{-9} m. Od začátku 90. let se začíná zaznamenávat mnoho teoretických poznatků o nanokompozitních materiálech, které se přenášejí do praxe. [4] Nanokompozitní plniva jsou testována v řadě polymerních matic jako např. polyamid, polyetylen, polypropylen, polyetylentereftalát a také v polyuretanech. Velký potenciál v nanokompozitní oblasti představují také lehčené materiály. [3]

Cílem diplomové práce bylo ověřit možnosti přípravy PUR pěn obsahujících anorganické nanočástice. Zjistit vliv nanoplňiv na vybrané vlastnosti PUR pěn určených pro výrobu matrací. Vybranými vlastnosti jsou: měření viskozity u vstupních surovin, počet pórů, propustnost pórů, morfologie, objemová hmotnost, odrazová pružnost, stlačení trvalé deformace, odpor proti stlačení, sag faktor, hořlavost.

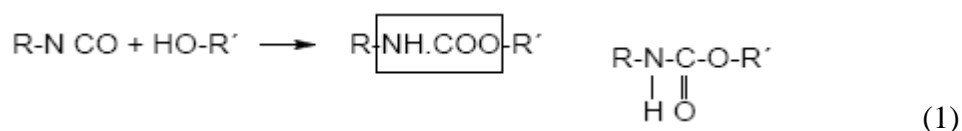
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYURETANY (PUR)

Polyuretany (PUR) jsou jedním z nejvíce užívaných plastů na světě, mají širokou použitelnost. Největší výhodou kterou polyuretany poskytují je jejich variabilita, jak v oblasti hotových výrobků, tak ve snadnosti výroby a použití. [5, 6]

1.1 Výroba polyuretanů

Polyuretany vznikají reakcí více- funkčních izokyanátů s alkoholy, uretany = estery kyseliny karbamové:



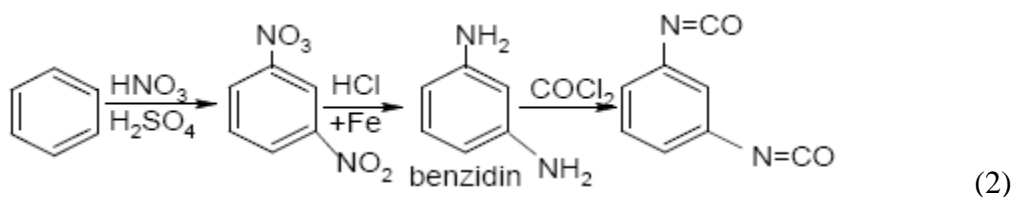
V praxi musí reakce izokyanátů s polyhydroxisloučeninami provádět v bezvodém prostředí, neboť může dojít k odštěpení CO_2 a ke vzniku močovinových vazeb. Reakce probíhají za teploty 20°C kvantitativně, za silného tepelného zbarvení, kde nevznikají žádné vedlejší produkty. Kombinací různých polyisokyanátů s polyalkoholem se dají připravit produkty nejrůznějších vlastností. [1]

1.2 Vstupní suroviny

Základními surovinami pro přípravu PUR jsou polyisokyanáty, polyoly, extendery, katalyzátory a silikonové olejové povrchové aktivátory.

1.2.1 Polyisokyanáty, diisokyanáty

Z 95 % jsou aromatické – jsou reaktivnější a levnější než alifatické. Nevýhodou aromatických diisokyanátů je žloutnutí vlivem světla a kyslíku.



(2)

Nejdůležitějšími typy jsou:

- Diisokyanatotoluen TDI, který se používá pro výrobu měkkých pěn a zčásti elastomerů.
- Diisokyanatodifenylmethan MDI, který slouží pro přípravu elastomerů, polotvrdých a tvrdých integrálních pěn.
- Diisokyanatonaftalen – je vysoce reaktivní a používá se pro mechanicky náročné elastomery. [1]

Isokyanáty jsou dráždivé jedy, protože snadno reagují se sloučeninami obsahující aktivní vodík, tedy také s tkáněmi lidského těla. Dráždivé účinky se projevují na kůži jako alergie nebo dermatózy, dále mohou pálit nebo slzet oči, dráždit ke kašli, který může předcházet plicním otokům. [1]

1.2.2 Polyol

Používá se jako polyolová složka pro výrobu měkkých blokových PUR pěn. Při použití nesmí nasáknout vzdušnou vlhkostí, protože by to ovlivnilo kvalitu finálního výrobku. [6]

V praxi používáme hlavně polyesteralkoholy a polyetheralkoholy.

- Polyesteralkoholy se vyrábí polyesterifikací dikarboxylových kyselin a přebytku diolu. Produkty mají vyšší tvrdost a jsou odolné vůči povětrnostním vlivům a zvýšené teplotě. Jedinou nevýhodou je snažší hydrolyzovatelnost.
- Polyetheralkoholy se připravují polymerací propylenoxidu nebo jeho směsí s etylenoxidem. Slouží pro přípravu nátěrových hmot. [1]

1.2.3 Extendery

Ovlivňují povahu a hustotu fyzikálního i chemického zesílení, hrají důležitou roli v konečných vlastnostech PUR. Reaktivnější jsou aromatické diaminy, které se používají v kombinaci s méně reaktivními předpolymery na bázi TDI. Naproti od hydroxysloučenin, ty jsou méně reaktivní a používají se v kombinaci s reaktivnějšími produkty na bázi MDI. [1]

1.2.4 Katalyzátory

Použitím vhodných katalyzátorů je možno ovlivnit nejen celkovou rychlost reakce, ale i poměr rychlostí reakce vedoucích k prodloužení lineárního řetězce, které uvolňují CO₂ pro tvorbu pěny. [1]

1.2.5 Silikonový olejový povrchový aktivátor

Povrchový aktivátor je velmi důležitý pro řízení procesu zpěňování.

Má dvě funkce:

- Napomáhat směšování složek na vytvoření homogenní kapaliny
- Stabilizovat bubliny v pěně během rozpínání a tak zabránit zhroucení před polymerací kapalinové fáze. [7]

1.2.6 Ostatní přísady – retardéry hoření

Obecně lze dosáhnout zvýšení požární odolnosti pomocí impregnace, přidavkem grafitu nebo retardéry hoření. Retardéry jsou látky obsahující fosfor, halogen a dusík. Nejčastěji se využívají ve stavebnictví, čalounictví, nábytkářství a automobilech. [8]

1.3 Typy PUR materiálů

A. Lehčené hmoty:

- **Měkké** – z celkového objemu výroby tvoří asi 50 %. Téměř 90 % z nich se připravuje v blocích, jako hydroxylovou složku můžeme použít lineární nebo slabě rozvětvené polyestery kyseliny adipové a diethylenglykol, nebo polyetery, které dávají stálější výrobek.

Připravují se kontinuálně v pracujících zpěňovacích strojích s míchací hlavou, do které se přivádí všechny potřebné látky včetně pomocných.

Zde se míchadlem za vysokých otáček vytvoří homogenní kapalina, která se lije do forem, kde bez přívodu tepla napění vzniklým CO₂. Zvětšování objemu probíhá krátce (1-2 minuty), ale výrobek může být z formy vyjmut až po 10 – 20 min. – vzniká „MOLITAN“. [1]

- **Tvrdé** – z celkového objemu výroby tvoří 30 %. Hydroxylová složka je silně rozvětvená. Připravuje se v uzavřených nebo otevřených formách. Mají uzavřené póry, vzhledem k rychlejší výstavbě polymerní sítě. Pracuje se dvoustupňově – napřed se připraví předpolymer, který se může omezeně skladovat. Později se vypěňuje přidáním H₂O. [1]
- **Polotvrdé** – připravuje se v blocích o hustotě 100 – 150 kg/m³, používají se jako izolační desky (bloky). [1]

B. Integrální pěny:

Jedná se o lehčené hmoty, v nichž se během přípravy ve formě vytvoří pórovité jádro a nepórovitá kůra, která je integrální součástí výrobku. Hustota pěny od středu ke kraji vzrůstá. Jako nadouvadlo slouží CClF₃. V závislosti na teplotním gradientu mezi teplotou formy a vnitřku pěny dochází k rozdělení pórů: čím nižší je teplota formy, tím tlustší je kůra.

- **Měkké integrální pěny** – k jejich výrobě se používají výšemolekulární polyethery a přidává se jen nepatrné množství nízkomolekulárních polyolů jako síťovadel. [1]
- **Tvrdé integrální pěny** – při jejich přípravě se pracuje s kratšími polyethery pro dosažení silného zesílení. [1]

C. Vlákna a filmy z lineárních polyuretanů:

K přehřátému diolu (90 °C) se nechá přitékat 30 až 60 min diisokyanát, důsledkem exotermické reakce vystoupí teplota na 190 až 200 °C, kde se udržuje až do žádoucího polymeračního stupně (sleduje se měřením viskozity). Získaný produkt se vytlačuje ve formě pásků, vláken. Lze zpracovávat i za přítomnosti vzduchu, vzdušný kyslík nezpůsobuje hnědnutí a odbourávání roztaveného polyuretanu. Je výhodné přidávat nepatrné množství antioxidantů. [1]

D. Nátěrové hmoty:

Lze rozdělit na jednosložkovou pojiva (vytvrzovaná teplem nebo vlhkostí, uretanové alkydy) a dvousložkovou pojiva (vytvrzovaná polyolemem nebo katalyzátorem). [1]

E. Lepidla:

Polyisokyanáty jsou mimořádně výhodné ke slepování různých materiálů, např. kaučuku s celulosovými vlákny, kovy, sklem apod. Polyisokyanáty pro lepidla mají mít min. tři vysoce reaktivní izokyanátové skupiny. Pro tyto účely používají hlavně surový tris (p-isokyanatofenyl)-methan, produkt fosgenace anilinformaldehydové pryskyřice a bezbarvý tris (p-isokyanatofenyl) fosfát. Druhou složku dvousložkového lepidla tvoří polyesteralkoholy. Polyestery s větším obsahem hydroxylových skupin dávají pevnější a tvrdší spoje, polyestery s malým obsahem hydroxylových skupin dávají spoje houževnaté a elastické.

Vynikající lepící efekt má řadu příčin. Isokyanátové skupiny reagují s vodním filmem na povrchu lepené části a odstraňují tuto rušivou mezivrstvu, na jejímž místě vzniká vrstvička polymočoviny, která s kovy vytváří cheláty a následkem silných vodíkových vazeb lpí na skle, celulóse aj. Elastická vrstva lepidla má pak vynikající mechanické pevnosti. Polyester-isokyanátová lepidla jsou výhodná pro náročné spoje nejrůznějších materiálů od kovů po kaučuk. [1]

F. Další aplikace polyuretanů:

Polyuretanová pojiva se uplatňují také při výrobě syntetických usní vhodných na svršky obuvi, kde nahrazují přírodní usně. Tyto vícevrstvé materiály se připravují impregnací netkané vrstvy polyethylentereftalátových a polypropylenových vláken roztokem polyuretanového elastomeru v dimethylformamidu. Povrch je zpravidla lakován polyuretanovým lakem. Materiály mají dobrou elasticitu i při teplotách pod 0 °C a díky vhodné technologii i dobře propouštějí vodní páru, což je předpokladem pro jejich použití v obuvnictví. [1]

2 PLNIVA

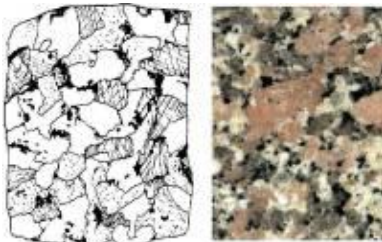
Plniva jsou přísady do polymerů, které svoji strukturou, fyzikálními vlastnostmi, ale i chemickým složením velmi podstatně liší od polymerní matrice. Plniva ovlivňují tvrdost a modul pružnosti polymerů. Nejčastěji se používají polymery plněné organickými nebo anorganickými plnivými. Velmi důležité je zvolit adekvátní množství plniva tak, aby se zabránilo nežádoucím vlastnostem. [9]

2.1 Vznik plniv

Plniva vznikají následnou úpravou z hornin. Horninami se zabývají geologické vědy – mineralogie a petrografie.

Na základě petrografického složení a podle vzniku dělíme horniny:

- Vyvřelé – vzniklé tuhnutím magmatu (Obr. 1), (hlubinné a výlevné),
- Sedimentární – vzniklé v procesech zvětrávání – transportu – sedimentace – diagenese a metamorfózy,
- Metamorfované – vzniklé z obou předešlých procesů metamorfózy (Obr. 2), (přeměny chemickými pochody především změnou teploty a tlaku). [10]



Obr. 1. Nepravilná struktura (vlevo).

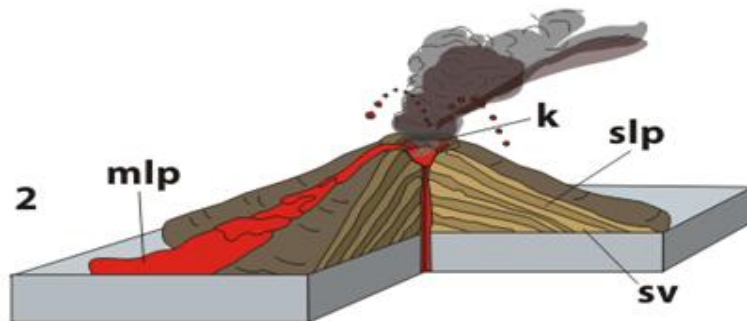
Obr. 2. Rovnoběžná struktura (vpravo).



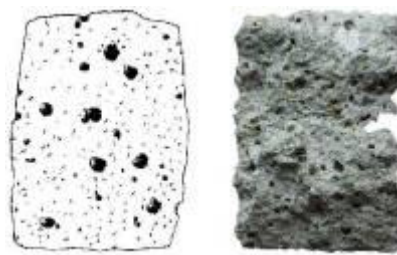
2.1.1 Vyvřelé horniny

Nerosty vyvřelých hornin vykrytalizovaly z magmatu nebo lávy (Obr. 3). Jsou chemicky složité a hlavními součástmi vyvřelých hornin jsou silikáty. Vyvřeliny se tvoří tuhnutím magmatu nebo lávy a to v různých hloubkách. [10] Hlavními minerály magmatu jsou křemen, živce, olivín, pyroxeny, amfiboly a slídy. Velikost jejich krystalů závisí na rychlosti ochlazování magmatu. [11]

Magma buď proniká do zemské kůry v hloubce a pak tvoří intruzivní tělesa nebo se rozlévá na zemský povrch a pak tvoří výlevná (vulkanická) tělesa, které jsou i předmětem ložné těžby. [10]



Obr. 3. Sopka; k - kráter, mlp - mladý lávový proud, slp - starý lávový proud, sv – sopečné.



Obr. 4. Pórovitá struktura.

Podle obsahu SiO_2 (křemene) v magmatu rozlišujeme vyvřeliny:

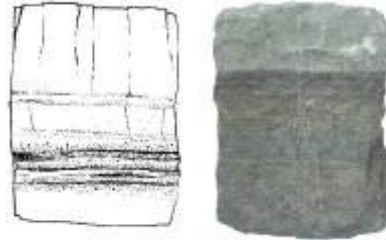
- Kyselé (obsah SiO_2 nad 65%) - žula, granit, ryolit,
- Neutrální (obsah SiO_2 52% – 65%) – syenit, diorit, andezit,
- Bazické (obsah SiO_2 45% - 52%) – gabra, čedič,
- Ultrabazické (obsah SiO_2 pod 45%) – peridotit, pikrit. [10, 12]

Vyvřeliny lze rozdělit podle tuhnutí magma v hloubce:

- Hlubinné (plutonické),
- Žilné (intruzivní),
- Výlevné (efuzivní). [10]

2.1.2 Sedimentární (usazené) horniny

Vznikly přemístěním a usazením úlomků a produktů zvětrávání starších hornin (Obr. 5). [10]



Obr. 5. Vrstevnatá struktura.

Základní dělení:

- **Mechanické (úlomkovité, klastické)**
 - nejčastěji křemen, který je mechanicky velmi odolný,
 - méně živce, slídy, pyrit. [10]
- **Chemogenní a chemické**
 - soli: sádrovec, anhydrid, sůl kamenná, soli draselné a hořečnaté,
 - uhličitany: chemogenní vápence a dolomity,
 - křemičité horniny: opály, jaspisy. [10]
- **Organogenní, biogenní**
 - uhličitánové: vápence a dolomity tvořené schránkami odumřelých organismů,
 - křemité: sypké i zpevněné horniny tvořené schránkami odumřelých organismů nebo částmi jejich skeletu,
 - železité: bahenní železné rudy tvořené hydroxidy železa vysráženými životní činností organismů,
 - fosforečné: fosfority (výkaly a kosterní zbytky organismů bohaté sloučeninami fosforu). [10]

2.1.3 Metamorfované horniny

Metamorfózou označujeme přeměnu hornin z původních hornin vyvřelých, usazených (nebo starších metamorfovaných) při zvýšené změně teploty a tlaku. [10]

Základní dělení:

- Regionální – probíhá při ponoření hornin do hlubších částí zemské kůry krystalické břidlice např. (fylity, svory a ruly),
- Kontaktní – přeměna horniny za vysokých teplot na styku se žhavotekutou taveninou např. (magma, láva). [10]

2.2 Typy plniv

Základní typy plniv:

- Organická: dřevěná moučka, kaseinová moučka, textilní a papírová vlákna,
- Anorganická: Amorfní – oxid křemičitý, křemičitany,
Krystalická – kaolíny, křída, oxid zinečnatý, barit. [9]

Dělení podle výskytu: přírodní (kapitola 2.1) a syntetická.

Dělení podle tvaru částic:

- Vlákennitá – křída, kaolín, vápenec, těživec, břidlice.
Mají malou adhezi k povrchu polymerů. S velkou adhezí se dodávají saze ve formě prášku, které mají velmi dobrý ztužující účinek.
- Nevlákennitá – prášky, granule. [9]

Z hlediska vlivu plniv na rozhodující fyzikálně-chemické vlastnosti směsí se plniva dělí na aktivní a neaktivní. Rozdělení plniv na aktivní a neaktivní má však relativní význam, aktivita plniva je totiž podmíněna v podstatě vzájemnou adhezí plast – plnivo a mění se změnou charakteru použití polymerní matrice. Ve zvoleném polymerním systému můžeme plnivo aktivovat vhodným způsobem jeho přípravy, případně chemickou úpravou jeho povrchu. Interakce mezi plnivem a plastem ovlivňuje např. modul pružnosti, pevnost

v tahu, tažnost houževnatost, tepelnou tvarovou stálost apod. Aktivní plniva se všeobecně nazývají ztužovač. Aplikací neaktivních plniv se ovlivňuje ekonomické hledisko výroby, lze tak totiž snížit cenu výrobku, resp. ušetří se polymer při stejné spotřebě základní suroviny. [13, 9, 14]

Výstižnější klasifikace plniv, zohledňující jejich chemický charakter, všeobecné a speciální fyzikální vlastnosti i geometrii jejich částic je rozdělení do následujících skupin:

- Minerální disperzní plniva – uhličitán vápenatý a jeho modifikace, kaolín, oxid křemičitý, speciální minerální plniva.
- Kovová elektrovedivá, tepelnovedivá a magnetizovatelná disperzní plniva. Elektricky vedivá a tepelnovedivá plniva – prášky kovů jejich slitin – železo, hliník, měď, cín, zinek, nikl, bronz. Magnetizovatelná plniva – měkké a tvrdé ferritové prášky.
- Plniva se současným účinkem retardace procesů hoření – oxid antimonitý, hydratovaný oxid hlinitý, různé typy anorganických a organických retardérů hoření.
- Organická plniva a plniva pro speciální účely – saze, dřevěná moučka, celulóza, juta, konopí, škrob.
- Mikrosférická plniva – plniva s částicemi kuličkovitého tvaru.
- Šupinkovitá a plošná plniva – slída a jiná šupinkovitá plniva.
- Krátkovláknitá plniva – azbest, monokrystaly jehličkovitého tvaru.
- Dlouhovláknitá plniva – skleněná vlákna, čedičová vlákna, organická vlákna s vysokým modulem pružnosti, bórová vlákna, uhlíková vlákna, keramická vlákna, kovová vlákna. [15]

2.3 Vliv plniv na vlastnosti

Při výběru plniv je zapotřebí zohlednit určité požadavky, které jsou určujícími faktory pro vhodnost použitého plniva.

Výběrem plniv pro konkrétní aplikaci v polymeru se hodnotí následující vlastnosti:

- Specifický povrch,
- Tvar a velikost částic,
- Chemické složení,

- Hustota, sypná hmotnost,
- Vlastnosti: - Fyzikálně-mechanické (olejové číslo, tvrdost),
 - Optické (index lomu, barevný odstín),
 - Tepelné (tepelná vodivost, roztažnost, specifická kapacita),
 - Elektrické (elektrický odpor, permitivita).

Vlastnosti ideálního plniva je možno definovat:

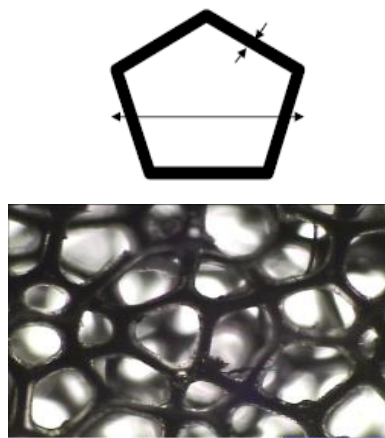
- Nízká navlhavost,
- Přiměřená hustota,
- Nízký obsah nečistot,
- Zlepšuje požadované fyzikálně-chemické vlastnosti polymeru,
- Bezzapáchavost,
- Nízká cen,
- Zanedbatelný vliv na opotřebení materiálů,
- Vyhovující barevné vlastnosti,
- Chemická stabilita,
- Tepelná stabilita,
- Nehořlavost,
- Dobrá dispergovatelnost,
- Nízký rozpustnost ve vodě a v organických rozpouštědlech,
- Distribuce velikosti částic.

Žádné plnivo však nesplňuje v celém rozsahu všechny uvedené požadavky na vlastnosti a při jeho výrobě a aplikaci je nutné zvolit kompromis mezi jeho vlastnostmi a požadovanými vlastnostmi plněného polymerního materiálu. [1]

2.4 Použití plniv v polyuretanech

Plnivo v PUR pěně upravuje tuhost, zlepšuje izolační vlastnosti výrobku, zvyšuje životnost a snižuje cenu. [16]

Základní strukturální buňkou polyuretanové pěny je 12 - boký pětihran (Obr. 6).



Obr. 6. 12 - boký pětihran polyuretanové pěny.

Do polyuretanových pěn se přimíchávají různá organická a anorganická plniva, která zlepšují mechanické, tepelné, elektrické, antibakteriální vlastnosti pěn. Podle zvoleného typu plniva se volí určitý % obsah. Nejdůležitější je postup přípravy, kde musí dojít dokonalému rozložení jílových plniv. [17]

Nejčastěji používaná průmyslová plniva v polyuretanových pěnách:

- Křída – druh velmi jemnozrnného vápence,
- Tuha,
- Skleněné plniva,
- Tkanina. [2]

Jen jedna publikovaná publikace (v USA) demonstrovala, že nanoplňniva zlepšují tepelnou izolaci a stárnoucí vlastnosti PUR pěny: [16]

- Closite 10A (až do 10 %), zlepšuje se tepelná izolace,
 - Closite 30B,
 - Montmorillonit syntetizovaný s organickými upravenými vrstevnatými křemičitany.
- [16]

Zkouší se zavádět plnivo Nanosilver (nanostříbro), který vede ke zlepšení antibakteriálních vlastností. Tato technologie efektivně působí jak do vnitřní struktury materiálu, tak na jeho povrch. Využívá se ve zdravotnických zařízeních – ničí bakterie. [17]

Princip působení:



Obr. 7. Antibakteriální účinek stříbra.

Stříbro má bezpečné a účinné antibakteriální působení (Obr. 7). Ionty stříbra ovlivňují látkovou výměnu buněčného systému bakterií, potlačují dýchání a bazální metabolismus na elektronové úrovni a dopravu substrátu v buněčné membráně. Baktericidní a fungicidní účinek stříbra je dán jeho přímým průnikem do bakterie a jeho reakcí s – SH skupinami oxidačních metabolických enzymů, bakterie tak hyne „udušením“. Další antibakteriální účinek je způsoben uvolňováním aktivního kyslíku. U bakterií také nevzniká rezistence vůči stříbru, což je velká výhoda proti široce používaným antibiotikům.

Technologie zaručuje, že získané antibakteriální vlastnosti v materiálech zůstávají prakticky beze změny po velmi dlouhou dobu nebo dochází k jejich poklesu jen velmi pomalu v závislosti na způsobu jejich aplikace. Její efekt tak není snížen ani při opakovaném několikanásobném povrchovém čištění nebo praní. [17]

3 JÍLOVÉ MINERÁLY

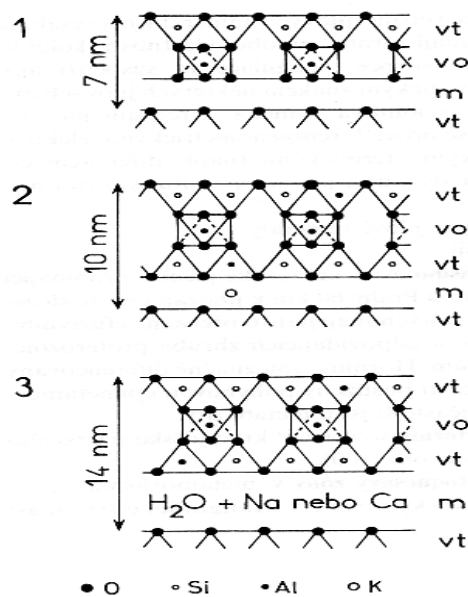
Jílové minerály tvoří asi 4 % objemu zemské kůry. Jsou důležitou součástí půd a mnoha sedimentárních hornin, např. jíly, jílovce, jílové břidlice. [18] Vznikají zvětráváním primárních silikátů (živců) vyvřelých a metamorfovaných hornin. [10] Mají obrovský praktický význam v nejrozmanitějších technologiích. Z technologického hlediska jsou za jílové minerály považovány takové, jejichž částice jsou menší než 2 μm . Obvykle to bývají rozmanité silikáty s vrstevnatou strukturou, dále oxidy a hydroxidy železa, hliníku a manganu, různé formy oxidu křemičitého, uhličitany, zeolity atd., pokud jsou ovšem dostatečně jemnozrné. Za jílové minerály jsou považovány pouze jemně krystalované silikáty o rozměrech pod 0,005 mm s vrstevnatou krystalovou strukturou, optickým mikroskopem nepozorovatelné.

Základní jílové minerály bez příměsí jsou bílé, příměsí však často způsobují zbarvení žlutavé, zelenavé, modravé nebo hnědavé. [10]

Mezi hlavní jílové minerály patří (Obr. 8):

- Kaolinit – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$,
- Halloysit – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
- Montmorillonit – $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$,
- Illit – $(\text{KH}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$,
- Dickit - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. [10]

Ve větší míře se vyskytují ve vzájemných směsích nebo s dalšími minerály. [18]

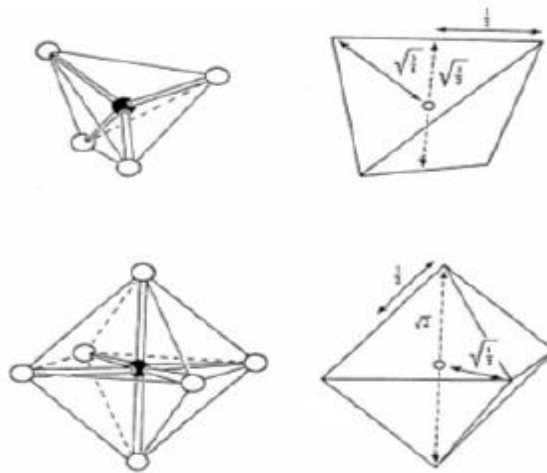


Obr. 8. Základní mřížky. 1. Kaolinit, 2. Illit, 3. Montmorillonit; vt – vrstvička tetraedrů kyslíku s atomem křemíku uprostřed, vo – vrstvička oktaedrů kyslíku s atomem hliníku uprostřed, m – mezivrstevní prostor (u montmorillonitu snadno vniká voda, což vede k bobtnání). [18]

3.1 Fylosilikáty

Fylosilikáty se řadí mezi jílové minerály, které mají vrstevní stavbu struktury tzv. vrstevnaté silikáty, které patří do skupiny tektitů. Jejich strukturu tvoří síť tetraedrů $[TO_4]$ a oktaedrů $[MA_6]$, (Obr. 9).

Pod označením T se používají centrální kationty tetraedrů, např. Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Li^+ . Pod označením M se používají centrální kationty oktaedrů, např. Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Li^+ . Pod označením A se používají anionty, které vstupují jako některé anionty oktaedrů, např. O^{2+} , OH^+ , F^- . [19]



Obr. 9. Schéma tetraedru (nahore) a oktaedru (dole). Černé plné kroužky značí centrální kationty a prázdné kroužky anionty.

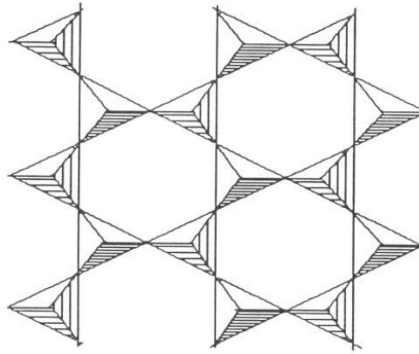
Fylosilikáty se dále dělí na tzv. planární fylosilikáty (slídy, kaolinit) a neplanární fylosilikáty (antigorit, chryzotil). Struktura planárních fylosilikátů je tvořena spojitými dvojrozměrně periodickými sítěmi tetraedrů a oktaedrů. U neplanárních fylosilikátů dochází k periodickému narušení planární fylosilikátové struktury, ohnutí nebo cylindrickému svinutí fylosilikátových sítí. Obecnou vlastností fylosilikátů je dokonalá štěpnost. [19, 20, 21]

Struktura fylosilikátů:

- Tetraedrická,
- Oktaedrická.

3.1.1 Tetraedrická síť

Tetraedrická síť je dvojrozměrná periodická síť (Obr. 10) složená z tetraedrů SiO_4 .

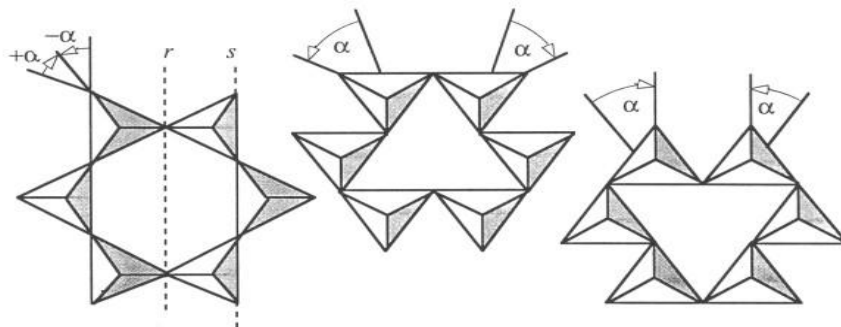


Obr. 10. Tetraedrická síť.

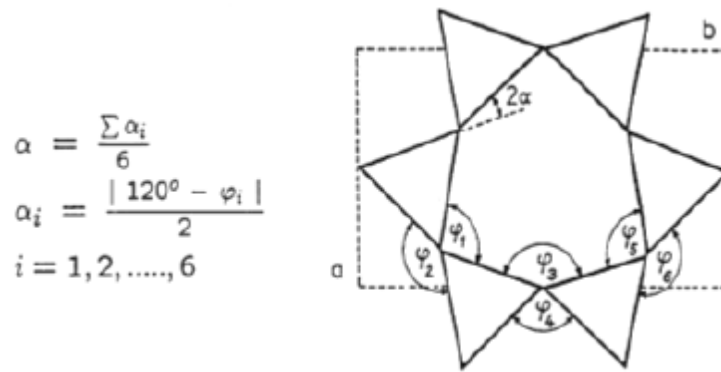
Tetraedry jsou spojeny třemi vrcholy a čtvrtý vrchol směřuje na libovolnou stranu kolmo na rovinu sítě tetraedrů. V ideálním případě mají hexagonální symetrii.

Do tetraedrických pozic mohou vstupovat centrální atomy Fe^{3+} , Al^{3+} , Ge^{4+} . [19]

Rotací tetraedrů dochází k desymetrizaci nebo k ditrigonalizaci, a tím se celá síť deformuje (Obr. 11). Hodnota ditrigonalizace je vyjadřována = úhlem rotace tetraedrů α . Je-li $\alpha = 0^\circ$, jedná se o idealizovanou hexagonální síť (Obr. 12). [19]



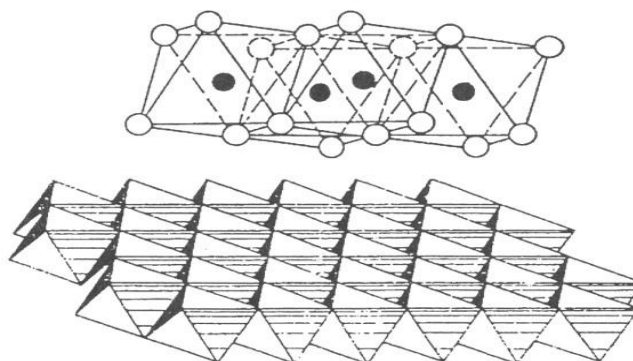
Obr. 11. Deformace tetraedrické sítě.

Obr. 12. Výpočet úhlu rotace tetraedrů α v tetraedrické síti.

Ve struktuře fylosilikátů samostatná tetraedrická síť neexistuje. Vždy je těsně spojena se sítí oktaedrů přes rovinu vrcholových tetraedrických kyslíků, které jsou hlavní příčinou ditrigonalizace tetraedrické sítě. Ditrigonalizace vede ke zmenšení laterálních rozměrů tetraedrické sítě, dochází k redukci parametrů základní buňky **a** a **b**. Velikost úhlu rotace tetraedrů α může být ovlivněna laterálního rozměrového nesouhlasu tetraedrické a oktaedrické sítě, vlivem silového pole mezivrstevních kationtů. [19]

3.1.2 Oktaedrická síť

Druhým základním stavebním prvkem struktury fylosilikátů je síť oktaedrů (Obr. 13), které spolu sdílejí nejen vrcholy, ale i polovinu hran. [19, 21]



Obr. 13. Oktaedrická síť (nahore) a polyedrickém (dole) zobrazení.

Centrálními kationty oktaedrů jsou nejčastěji Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} či Li^+ . Centrální pozice oktaedrů v síti mohou být v konkrétním fylosilikátu obsazeny stejnými nebo různými kationty, ale mohou také zůstat neobsazené. Podle způsobu obsazení centrálních pozic lze rozdělit oktaedrické sítě do tří skupin:

- Homo-oktaedrické,
- Meso-oktaedrické,
- Hetero-oktaedrické.

Jednotlivé typy oktaedrických sítí mohou však být rozlišeny jen podrobnou strukturní analýzou fylosilikátů. Na první pohled jsou jednoduché, ale v praxi jsou obtížně proveditelné. [19]

Oktaedrické sítě ve fylosilikátech mohou být také rozděleny podle obsazení oktaedrických aniontů např. O^{2-} , OH^+ , Cl^- či F^- . Velikost oktaedrů v sítích fylosilikátů a tím míra jejich deformace jsou ovlivněny způsobem obsazení oktaedrických pozic a kvalitou kationtů, jimiž jsou tyto pozice obsazeny. [19]

Rozdělení oktaedrických sítí podle relativní velikosti oktaedrů:

- Stejně velké oktaedry,
- Čtyři různá uspořádání trojice oktaedrů, z nichž jsou dva oktaedry stejně velké a třetí se od nich liší velikostí,
- Různá uspořádání s odlišnou velikostí oktaedrů. [19]

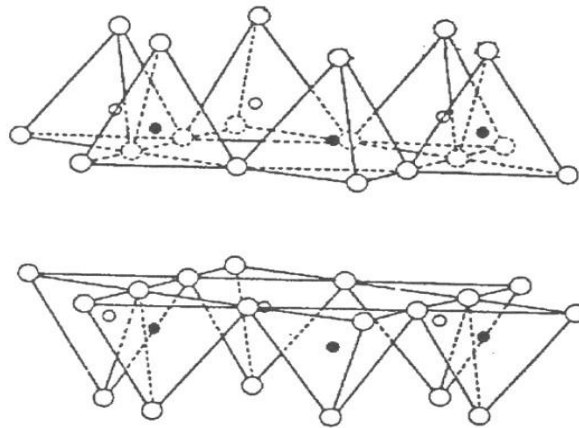
3.1.3 Propojení tetraedrických a oktaedrických sítí

Ve strukturách fylosilikátů může docházet ke spojení dvou tetraedrických sítí nebo ke spojení tetraedrické a oktaedrické sítě. [19, 21]

Jednotlivé typy sítí se propojují následujícími způsoby:

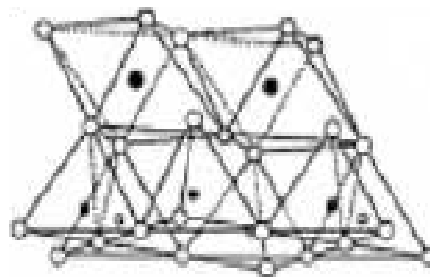
I. Spojením dvou tetraedrických sítí přes roviny bazálních kyslíků (Obr. 14):

- Pomocí slabých van der Waalových mezimolekulových sil,
- Pomocí kationtů a bazálními kyslíky vytváří koordináční polyedry, vzniklé vazby mají iontový charakter,
- Pomocí kationtů s hydratačními obaly, vzniklé vazby jsou slabší.



Obr. 14. Propojení dvou tetraedrických sítí přes slabé van der Waalsovy mezimolekulární síly.

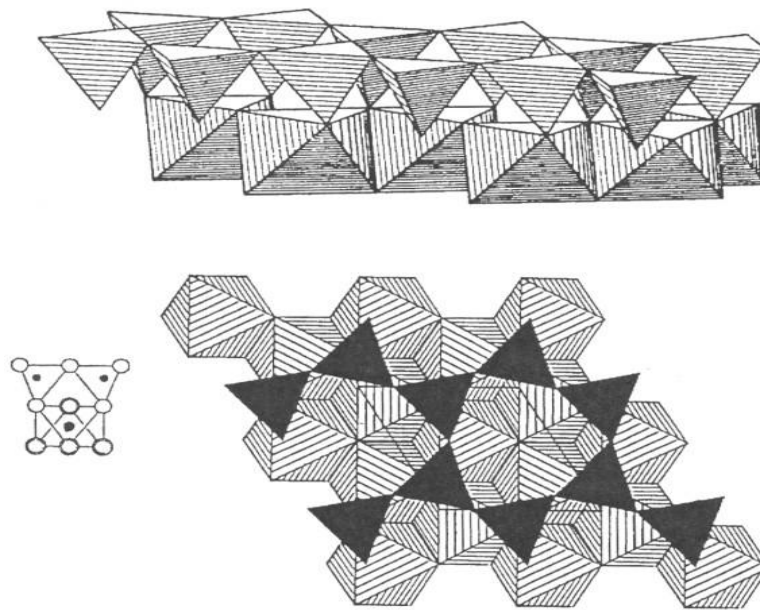
II. Spojení oktaedrické a tetraedrické sítě přes společnou rovinu kyslíkových atomů s charakterem polarizovaných kovalentních vazeb (Obr. 15). Vyskytuje se u všech fylosilikátů.



Obr. 15. Spojení oktaedrické a tetraedrické sítě přes kyslíkový atom.

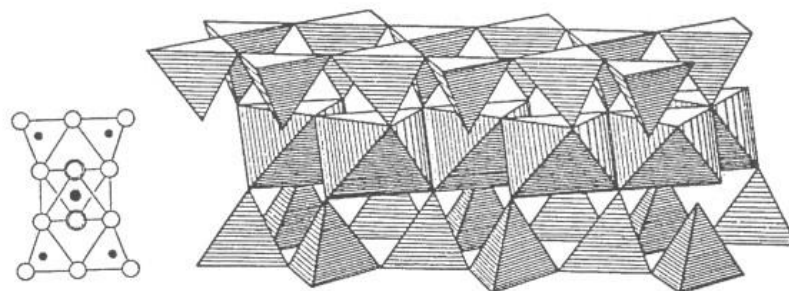
Díky tomuto spojení může docházet ke vzniku dvou typů strukturních jednotek neboli vrstev:

- **Vrstvy 1:1** (t-o vrstvy), (Obr. 16) jsou takové, kde se propojuje jedna tetraedrická s jednou oktaedrickou sítí. Mají společnou jednu rovinu kyslíkových atomů. [21] Nesdílené kyslíkové atomy tetraedrů vytváří rovinu tzv. bazálních kyslíků. [19]



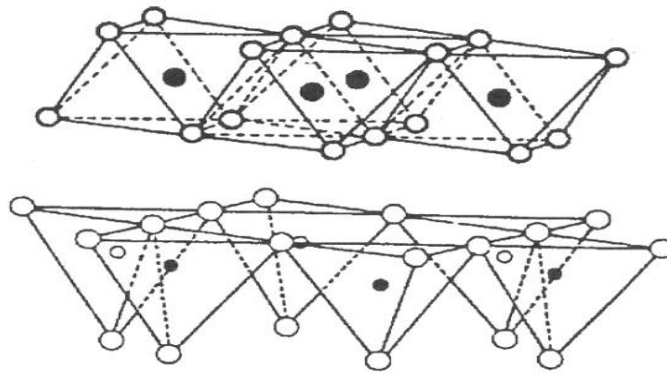
Obr. 16. Vrstvy 1:1 (t-o vrstva).

- **Vrstvy 2:1 (t-o-t)**, (Obr. 17) jsou spojením jedné oktaedrické a dvou tetraedrických sítí, kde mají společné dvě roviny kyslíkových atomů. Tetraedrické sítě mají opačnou polaritu, tedy připojují se každá z jedné strany. [21] Nesdílené kyslíkové atomy vytváří dvě roviny tzv. bazálních kyslíků. [19]



Obr. 17. Vrstvy 2:1 (t-o-t vrstva).

III. Spojení oktaedrické a tetraedrické sítě přes rovinu bazálních kyslíků tetraedrické sítě a rovinu aniontů OH^- oktaedrické sítě (Obr. 18). Toto spojení je realizováno pomocí vodíkových vazeb. [19]



Obr. 18. Spojení oktaedrické a tetraedrické sítě přes rovinu bazálních kyslíků.

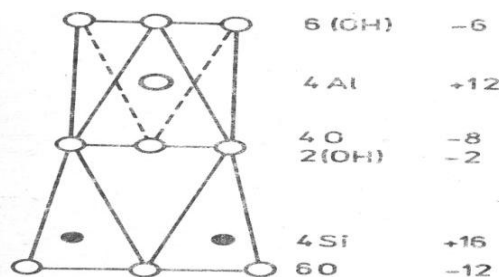
Popsané způsoby spojení sítí vytvářejí předpoklady pro kladení sítí na sebe, a to ve směru kolmém na tyto sítě. Sítě mohou být oproti druhé různě orientované. [19]

3.2 Skupina serpentinu

Tato skupina minerálů obsahuje vrstvy typu 1:1 (Obr. 19), které jsou propojeny pomocí vodíkových vazeb.

3.2.1 Kaolinit

Chemické složení je definováno vzorcem $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Barva je bílá, žlutá, nahnědlá nebo načervenalá. Pokud je zvlhlý, pak je plastický. Kaolinit je součástí „kaolínu“, což je reziduální přeplavená hornina, obsahující vedle práškového kaolinitu rovněž zrna křemene, případně další minerály. [21]



Obr. 19. Nábojová bilance kaolinitu.

3.3 Skupina slíd

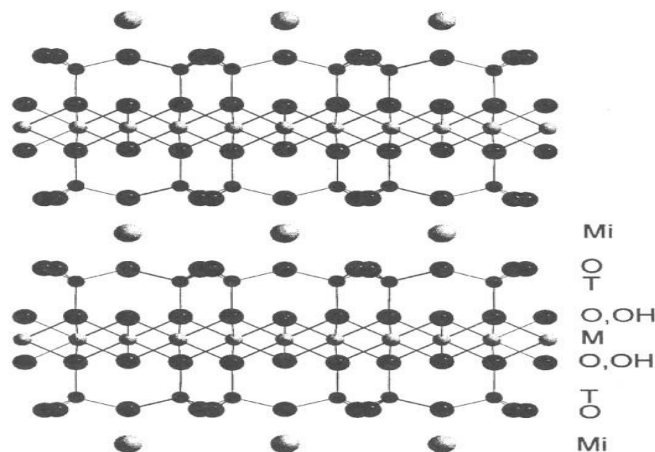
Tato skupina minerálů obsahuje vrstvy 2:1 (Obr. 20), ve kterých je uložena jedna oktaedrická a dvě tetraedrické sítě, které mají opačnou polaritu.

Podle mechanismu propojení jednotlivých vrstev můžeme rozlišit tři skupiny slíd:

- Právě slídy,
- Křehké slídy,
- Mezivrstevně deficitní slídy. [21]

3.3.1 Illit

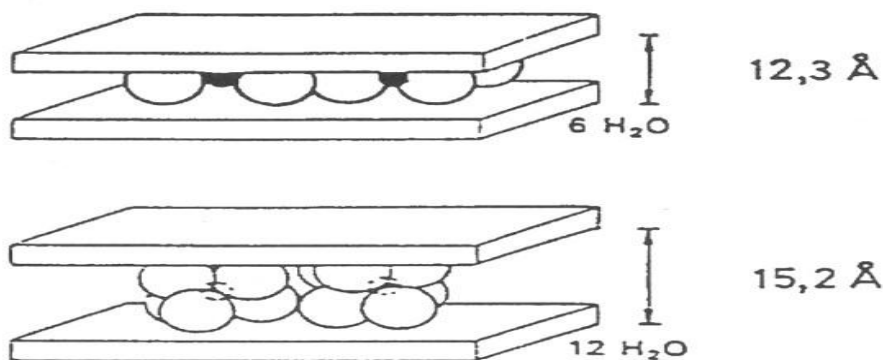
Chemické složení je definováno vzorcem $K_{0,65}Al_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$. Bývá celistvý, velmi jemnozrný. Barva je bílá nebo světle šedá. [21]



Obr. 20. Schéma struktury slíd složené z vrstev 2:1, které jsou vázány mezivrstevními kationty.

3.4 Skupina smektitů

Významnou vlastností těchto struktur je schopnost přijímat do mezivrstevních prostor různé typy kationtů, které jsou zpravidla koordinovány s molekulami vody (Obr. 21). Tento vstup je spojen s prodlužováním strukturního parametru, tato vlastnost se označuje jako bobtnavost. [21]

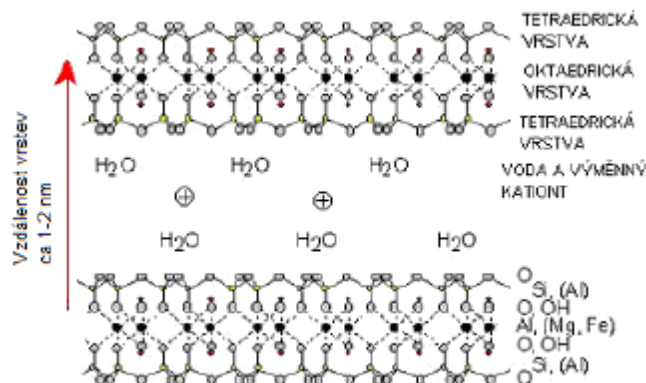


Obr. 21. Se zvětšujícím množstvím vody v mezivrstvě smektitů se zvětšuje jejich mřížkový parametr ve směru osy.

3.4.1 Montmorillonit

Patří do skupiny smektitů. Chemické složení vyjadřuje vzorec $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$. V současné době nejvíce používaný vrstevnatý jílový minerál (Obr. 22) v oblasti nanosystému polymer – jílu (MMT). Tvoří hlavní složku skupiny bentonitových hornin, nejčastěji používané v těžebním, kosmetickém a farmaceutickém průmyslu.

Přírodní typy smektitů mají obvykle mezivrství obsazeno společně kationty různého typu a typ převažujícího kationtu výrazně ovlivňuje vlastnosti smektitů. Převaha sodíku ovlivňuje reologické vlastnosti, tj. viskozitu. Proto je důležité, aby byla mezivrstva obsazena jen jedním typem kationtu. To lze zajistit např. vícenásobným sycením příslušným kationtem z vodného roztoku jeho chloridů, dusičnanů nebo octanu. [19] Kationty nejsou stejně vyměnitelní a výměna reakce neprobíhá často kvantitativně. Vzhledem k heteroiontovému obsazení mezivrstev přírodních smektitů lze říct, že se jedná o výraznou převahu vyměněného kationtu v mezivrsteví. [20, 22, 4]



Obr. 22. Struktura Montmorillonitu.

Barva je bílá, šedá nebo narůžovělá. [21] Krystaly jsou průsvitné, masy bývají obvykle matné. Jejich nejvýraznější vlastnost je schopnost přijímat a odevzdávat vodu v závislosti na prostředí a vnějších podmínkách. [23, 24]

3.5 Modifikace jílových minerálů

Jílové minerály jsou vrstevnaté materiály, které jsou vysoce hydrofilní. Úpravy jílových materiálů jsou dané jejím použitím podle různých oblastí, kdy jsou pro jednotlivé účely vyžadovány specifické hodnoty některých vlastností, důležité pro danou oblast. Přírodní formy smektitů mají především mezivrstev obsazeno společně kationty různých typů, přičemž převládající typ kationtů výrazně ovlivňuje vlastnosti smektitů. Reologické vlastnosti ovlivňuje převaha sodíků. Z tohoto důvodu může být jedním ze způsobů modifikace vícenásobné syčení minerálu příslušným kationtem, abychom získali co nejvyšší obsah jednoho kationtu v mezivrstev. Takto upravený smektit získává mnohem vyšší tepelnou stabilitu. Možným způsobem modifikace jílových minerálů je tzv. interkalace pomocí organických látek. Pak hovoříme o tzv. organofilizaci.

Hydrofobní charakter u polymerních materiálů a hydrofilita montmorillonitu může sebou nést velké komplikace. K dosažení obdobné polaritě obou složek, je nutné složky chemicky upravit právě pomocí organofilizace. [19, 4]

3.5.1 Organofilizace

Jedná se o úpravu jílového minerálu organickými molekulami. Dochází k mezerní organické sloučeniny do mezivrstvy, která upravuje vlastnosti minerálu potřebné pro jeho funkci jako nanoplniva v polymerních kompozitech a současně se zvětší vzdálenost mezi vrstvami. [10, 13]

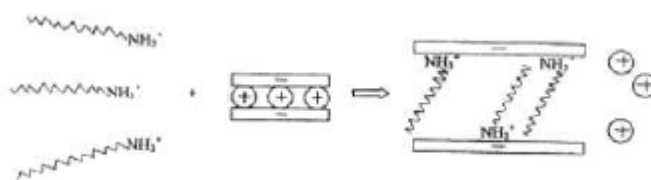
Existují dva hlavní způsoby organofilizace:

- Mokrý metoda (Ion- výměnná metoda),
- Suchá metoda (Ion- dipólová metoda). [10]

3.5.1.1 Mokrý metoda (ion - výměnná metoda)

Tato reakce využívá schopnosti montmorillonitu vstřebávat kationty a udržet je ve stavu, který umožňuje jejich výměnu (Obr. 23). Celý proces probíhá ve vodném prostředí. Po ukončení procesu se musí promývat povrch produktu, kvůli tvorbě soli. Ion-výměnná kapacita se udává v miliekvivalentech na 100 g. U montmorillonitu je rozsah od 80 do 150 meg/100 g. Konduktometrickou titrací se montmorillonit nasytí NH_4^+ nebo Ba^{2+} . Organofilizačním činidlem jsou alkylaminové ionty, aminokyseliny. [1]

Aminokyseliny obsahují aminoskupinu – NH_2 a karboxylovou skupinu – COOH . V mírně kyselém prostředí se proton z karboxylu přesouvá na aminovou skupinu nebo při vyšší kyselosti se aminová skupina protonizuje za vzniku aminového iontu. Pak je možná iontová výměna mezi kationtem obsahujícím skupinu – NH_4^+ a kationty jílu (většinou se jedná o Na^+). [19]

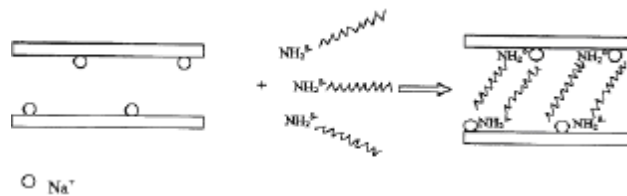


Obr. 23. Organofilizace jílu ion-výměnnou metodou.

3.5.1.2 Suchá metoda (ion – dipólová metoda)

Metoda je založena na přitažlivosti dvou dipólů (Obr. 24). K organofilizaci se používají látky schopné indukovat záporný dipól, který je schopný interakce s kladnými ionty umístěnými v mezi vrstvi jílu (většinou Na^+). Při této metodě nevznikají vedlejší produkty. Or-

ganofilizace neprobíhá ve vodném prostředí. Metoda je univerzální a jednoduchá. Jako organofilizační činidla se používají organické sloučeniny s alkylovými řetězci a polární skupinou. [4]



Obr. 24. Organofilizace jílu ion-dipólovou metodou.

Výsledek organofilizace může být různého stupně, jedná se o dvě úrovně:

- 1) První úroveň je delaminace, kdy se jedná se o přítomnost částečně rozpadnutých částic montmorillonitu.
- 2) Druhá úroveň je exfoliace, kdy dochází k indikaci zcela rozpadnutých částic montmorillonitu na jednotlivé lístky. [4, 13]

4 NANOKOMPOZITY

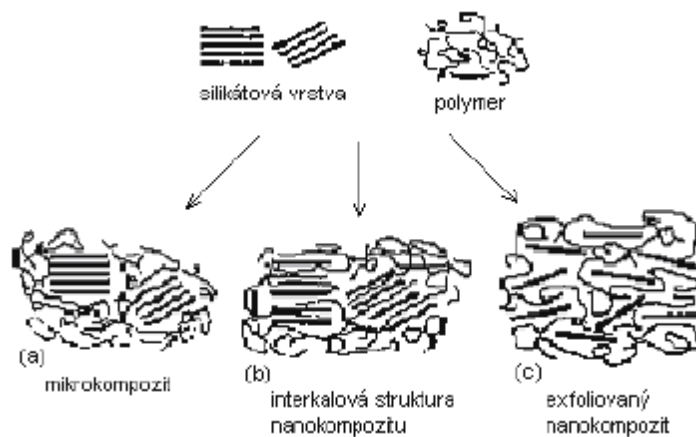
Nanokompozity jsou materiály složené ze dvou nebo více různých složek, z nich alespoň jedna se v materiálu vyskytuje ve formě částic o velikostech jednotek až desítek nanometrů.

Úlohou matrice je nést a pevně spojovat jednotlivé nanočástice a eventuálně bránit jejich přímému kontaktu mezi sebou. Důvodem použití aktivní plniv ve formě nanočástice jsou její kvalitativně odlišné fyzikální vlastnosti oproti „objemovému“ materiálu. To je způsobeno např. monodoménovou strukturou nanočástic, vysokým poměrem počtu povrchových a vnitřních atomů v nanočásticích.

Vlastnosti nanokompozitů se odvíjejí jednak od složení, ale zároveň od velikosti částic, jejich morfologie a uspořádání. Kompozitní materiály mají velmi široké použití např. ukládání informací, elektromechanické, magnetické měniče, antiseptická vlákna atd. [3]

Vznikají tři typy kompozitů (Obr. 25) závislé na podmínkách přípravy a na složkách, které obsahují.

- 1) Mikrokompozit.
- 2) Intervalovaná struktura nanokompozitu, kdy natažené polymerní řetězce jsou vmezeřeny mezi vrstvy plniva. Jsou výjimečné svou uspořádanou strukturou pravidelně se střídajících polymerních a anorganických vrstev.
- 3) Exfoliovaný (delaminovaný) nanokompozit, kdy silikátové vrstvy tvoří tenké destičky a jsou rovnoměrně dispergovány v polymerní matrici. [3]



Obr. 25. Tři typy kompozitních materiálů.

Nanokompozity patří mezi populární materiály s příznivým poměrem hmotnosti a ceny, zlepšení mechanických vlastností např. zvýšená pevnost, tuhost, tvrdost, odolnost proti hoření, tepelná stabilita atd. Tyto uvedené vlastnosti jsou dosaženy dokonalým rozvrstvením a homogenizováním extrémně tenkých šupinek nanoplňiva v polymeru. [3]

Zmíněných vlastností lze dosáhnout s mnohem nižším plněním (2 až 6 %) ve srovnání s konvenčními typy plniv (20 až 60 %). Za zlepšení je zodpovědná velká mezifázová plocha polymer/plnivo, kdy montmorillonit může v ideálním případě vytvořit mezifázovou plochu až $750 \text{ m}^2/\text{g}$ plniva. V praxi se obvykle dosahuje hodnot 500 až $600 \text{ m}^2/\text{g}$. Tato hodnota je mnohem vyšší než při použití běžných typů plniv (50 až $100 \text{ m}^2/\text{g}$). [4]

4.1 Příprava nanokompozitu

Nanokompozity lze připravit in situ polymerací v přítomnosti vhodně modifikovaného montmorillonitu či roztokovou polymerací. Další způsob přípravy je zamíchání upraveného plniva do taveniny polymeru na vhodném kompoundačním zařízení.

Při získávání nanomateriálu polymer/jíl se specifickými vlastnostmi mícháním v tavenině, které zajišťují dokonalou dispergaci nanočástic v polymerní matici, je důležité vypracovat postup přípravy, který bude zahrnovat počáteční úpravy jílu a vhodný způsob zamíchání předem upraveného plniva do polymeru. [4]

Nanokompozit je stejně jako kompozitní materiál složen z více složek. Jejich vlastnosti se navzájem doplňují a dotvářejí fyzikální vlastnosti konečného produktu. Předpona nano charakterizuje velikost částic plniva v nano jednotkách. Polymerní nanokompozit s jílovým minerálem je složen z jílových částic, ty jsou interkalovány pomocí interkalačního činidla či přímo pomocí polymerních řetězců, obaleny a stmeleny polymerní matricí. [3]

Ve výzkumu je možné zaznamenat široké pole potenciálně významných materiálů, které jsou na bázi heterogenních anorganických/organických struktur, ale i struktur polymer/polymer. Mnohdy se jedná o vysoce specializované materiály mající uplatnění v specializovaných oborech jako je např. automobilový průmysl, stavebnictví, medicína, kosmonautika. [22, 4]

Typy nanokompozitních materiálů:

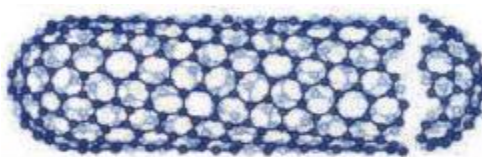
- Nanokompozity na bázi uhlíkových trubiček (např. struktura armachair Obr. 26 a cik – cak Obr. 27 mají vysoký stupeň symetrie, spirálová Obr. 28 má střední průměr),



Obr. 26. Struktura armachair.



Obr. 27. Struktura cik – cak.



Obr. 28. Struktura spirálová.

Délka uhlíkových nanotrubic závisí na podmínkách syntézy a pohybuje se od desítek mikrometru až po stovky mikrometrů a více.

- Nanokompozity na bázi oxidů kov,
- Nanokompozity na bázi nanostrukturálních siloxanů,
- Nanokompozity na bázi vrstevnatých materiálů (syntetické i přírodní). [3]

Nejintenzivněji se zkoumají materiály na bázi uhlíkových nanotrubiček a vrstevnatých materiálů – jílu. V případě nanokompozitů na bázi vrstevnatých jílu je nejvíce používán jako zdroj nanoplniva minerál montmorillonit. Důvodem zájmu o vrstevnaté jíly je jejich schopnost přijímat do své krystalické struktury organické látky. A také z ekonomického hlediska je použití vrstevnatých jílu velkou předností zejména pro jejich snadnou dostupnost z přírodních zdrojů. [22, 3]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 Vstupní suroviny

Zkušební vzorky byly připraveny podle poskytnuté receptury (Tab. I) Molitan a.s., Břeclav. Jedná se o pěny etherového typu s objemovou hmotností 30 kg/m³.

Tab. I. Receptura PUR pěny.

Surovina	Navážka (g)
Polyol	300
H ₂ O separátní (demineralizovaná)	10,2
Zpěňovadlo dipropylenglycol	0,6
Stabilizátor (Silikonový kopolymer polyeteru)	3,0
Síťovací katalyzátor na bázi Sn	0,6
Barvivo fialová modř	10 kapek
TDI	133,56
CELKEM	447,81

Přehled použitých nanoplňiv a jejich charakteristiky znázorňuje (Tab. II). Jily byly modifikovány pomocí ion-výměnné metody.

Tab. II. Charakteristika použitých nanoplňiv.

Plnivo	Charakteristika	Mezivrstevní vzdálenost d (nm)	Dodavatel
Cloisite Na ⁺	Přírodní montmorillonit sycený Na ⁺ ionty.	1,17	Rockwood Adittives Ltd.
Cloisite 30B	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{N}^+ - \text{T} \\ \\ \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	1,85	Rockwood Adittives Ltd.

Plnivo	Charakteristika	Mezivrstevní vzdálenost d (nm)	Dodavatel
Cloisite 20A	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{N}^+ - \text{HT} \\ \\ \text{HT} \end{array}$	1,77	Rockwood Adittives Ltd
Cloisite 25A	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{N}^+ - \text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3) \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{HT} \qquad \qquad \qquad \text{CH}_2 \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$	1,87	Rockwood Adittives Ltd.
Cloisite 93A	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{N}^+ - \text{HT} \\ \\ \text{HT} \end{array}$	2,36	Rockwood Adittives Ltd.
Claytone APA	Vznikají modifikací kvartérní amoniové soli s bentonitem.	3,52	Rockwood Adittives Ltd.
Claytone HY	Vznikají modifikací kvartérní amoniové soli s bentonitem.	3,34	Rockwood Adittives Ltd.
Kaolinit/Ag	Z roztoku 0,1M AgNO ₃ .	0,71	Technická univerzita Ostrava, zdroj Rokospol, a.s.
Montmorillonit Na+/Ag	Z roztoku 0,1M AgNO ₃ .	1,17	Technická univerzita Ostrava, zdroj Keramost, a.s.
Nanosilver	Roztok nanostříbra. (čistota 99,9 % Ag)	-	NanoTrade, s.r.o., Olomouc.

5.2 Postup přípravy zkušebních vzorků

5.2.1 Příprava polyuretanových směsí

Všechny zkušební vzorky obsahují různá plniva v určitém procentuálním zastoupení. Kromě referenčních vzorků s označením PUR 1-1 bez stání a PUR 1 se stáním 0 % plniva. Označení bez stání znamená, že všechny komponenty podle receptury se smíchaly hned a se stáním se smíchaly až po 15 min, kromě TDI. Zjistilo se že, mezi takto připravenými referenčními vzorky nebyl při napěňování rozdíl, obě pěny se chovaly stejně.

Postup přípravy PUR pěn:

- 1) Při výrobě PUR pěn se nejprve smíchal polyol + separátní H₂O + zvolené plnivo v určitém procentuálním zastoupení (0,5 %, 1 %, 2 % a 3 %). Tyto komponenty se zamíchaly tyčinkou a nechaly se stát 15 min (interkalace jílu).
- 2) Po 15 min se do směsi přidalo zpěňovadlo dipropylenglycol, stabilizátor, síťovací katalyzátor a barvivo. Tato směs se míchala 5 min při 2 000 ot/min (Obr. 29).



Obr. 29. Míchadlo s 2 000 ot/min.

- 3) Po zamíchání směsi se přidalo TDI.
- 4) Připravená směs s TDI se krátce zamíchala cca 10 s při 2 000 ot/min a rychle nalila do předem připravené formy (25 l kanistr se separační fólií), dochází k rychlému zpěňování směsi a uvolňuje se CO₂ a močovina (Obr. 30).
- 5) Vyrobena PUR pěna se nechala ztuhnout a vyžrát 24 hod.



Obr. 30. Ukázka pění PUR pěny.

Pomocí tohoto postupu s mírnými modifikacemi, jejichž přehled podává kapitola 5.2, byly získány následující vzorky (Tab. III).

Popis vyrobených PUR pěn:

Tab. III. Vyrobené zkušební vzorky a postup jejich přípravy.

Postup přípravy jednotlivých vzorků je rozepsán v následující kapitole.

Pěny	% obsah	Typy plniv	Č. postupu přípravy	Poznámka
PUR 1-1	0 %	-	1.	Referenční vzorek bez stání.
PUR 1	0 %	-	1.	Referenční vzorek se stáním.
PUR 2-1	3 %	30B	2.	Bez stání.
PUR 3-1	3 %	Na ⁺	2.	Bez stání.
PUR 2	3 %	30B	3.	15. min stání
PUR 3	3 %	Na ⁺	3.	15. min stání
PUR 4	0,5 %	Na ⁺	3.	15. min stání
PUR 5	3 %	Na ⁺	4.	15. min stání
PUR 6	1 %	Na ⁺	4.	15. min stání
PUR 7	0,5 %	Na ⁺	4.	15. min stání
PUR 8	1 %	Na ⁺	5.	15. min stání
PUR 9	2 %	Na ⁺	4.	15. min stání
PUR 10	1 %	Na ⁺	6.	15. min stání
PUR 11	3 %	Na ⁺	6.	15. min stání
PUR 12	1 %	Na ⁺	7.	15. min stání
PUR 13	3 %	Na ⁺	7.	15. min stání
PUR 14	1 %	Na ⁺	8.	15. min stání
PUR 15	3 %	Na ⁺	8.	15. min stání
PUR 16	1 %	30B	6.	15. min stání
PUR 17	1 %	30B	7.	15. min stání
PUR 18	1 %	30B	8.	15. min stání
PUR 19	1 %	30B	9.	15. min stání

Pěny	% obsah	Typy plniv	Č. postupu přípravy	Poznámka
PUR 20	1 %	Na ⁺	9.	15. min stání
PUR 21	1 %	Na ⁺	10.	15. min stání
PUR 22	1 %	Na ⁺	10.	15. min stání
PUR 23	3 %	20A	7.	15. min stání
PUR 24	3 %	25A	7.	15. min stání
PUR 25	3 %	93A	7.	15. min stání
PUR 26	3 %	APA	7.	15. min stání
PUR 27	3 %	HY	7.	15. min stání
PUR 28 A	1 %	20A	10.	15. min stání
PUR 28 B	1 %	20A	10.	1. hodina stání
PUR 29	1 %	25A	10.	15. min stání
PUR 30	1 %	93A	10.	15. min stání
PUR 31	1 %	APA	10.	15. min stání
PUR 32	1 %	HY	10.	15. min stání
PUR 33	2 %	Kaolinit/Ag	7.	15. min stání
PUR 34	2 %	Montmorillonit/Ag	7.	15. min stání
PUR 35	3 %	Na ⁺	7.	15. min stání
PUR 36	2 %	Nanosilver	7.	15. min stání
PUR 37	2 %	Nanosilver	7.	15. min stání
PUR 1-4.hod	3 %	Na ⁺	11.	4. hodiny stání
PUR 2-2. hod	3 %	Na ⁺	11.	2. hodiny stání
PUR 3-6. hod	3 %	Na ⁺	11.	6. hodin stání

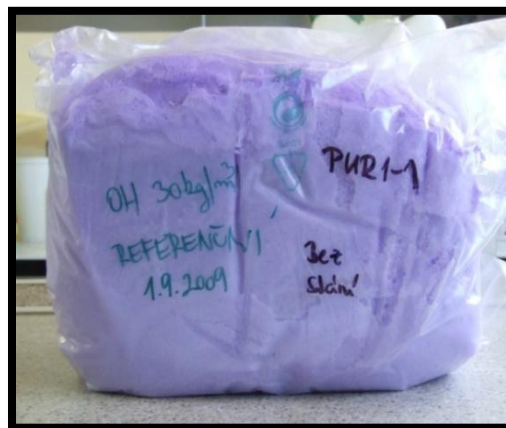
5.2.2 Výrobní postupy pro jednotlivé druhy pěn

1) Příprava referenčních vzorku (PUR 1 stáním, PUR 1-1)

Smíchaly se všechny složky směsi (polyol, H₂O, zpěňovadlo, stabilizátor, síťovací katalyzátor - s původní navázkou 0,6 g a barvivo) kromě TDI. Směs se krátce zamíchala, 1 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo se cca 10 s při 2 000 ot/ min. Směs se nalila do formy (kanystr + separační fólie). U pěny PUR 1 je postup stejný jako PUR 1-1, jen s tím rozdílem, že připravená směs se nechala 15 min odstát. Po odstátí se míchala 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo se cca 10 s při 2 000 ot/ min. Pěny po napěnění (Obr. 31 PUR 1, Obr. 32 PUR 1-1).



Obr. 31. PUR 1 referenční se stáním.



Obr. 32. PUR 1-1 referenční bez stání.

2) Příprava 3 % směsi Cloisite Na⁺ a 30B (PUR 2-1, PUR 3-1)

Smíchaly se všechny složky směsi (polyol, H₂O, zpěňovadlo, stabilizátor, síťovací katalyzátor - s původní navázkou 0,6 g a barvivo) a byl přidán jednou jííl s 30B a po druhé s Na⁺, kromě TDI. Krátce zamíchalo cca 1 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo se cca 10 s při 2 000 ot/ min. Nalilo do formy (kanystř + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 33 PUR 2-1, Obr. 34 PUR 3-1).



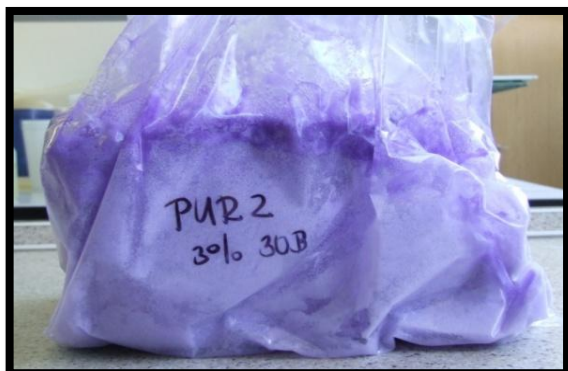
Obr. 33. PUR 2-1 (3 % 30B).

Obr. 34. PUR 3-1 (3 % Na⁺).

3) Příprava 0,5 % a 3 % směsi Cloisite Na⁺ a 30B (PUR 2, PUR 3 PUR 4)

Smíchaly se všechny složky směsi (polyol, H₂O, zpěňovadlo, stabilizátor, síťovací katalyzátor - s původní navázkou 0,6 g a barvivo) a byl přidán jednou jííl 30B a po druhé Na⁺ v různém % zastoupení, kromě TDI. Složky byly promíchány tyčinkou a nechány 15 min odstát. Po odstátí se zamíchalo cca 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo se

cca 10 s při 2 000 ot/ min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 35 PUR 2, Obr. 36 PUR 3, Obr. 37a,b PUR 4).



Obr. 35. PUR 2 (3 % 30B).



Obr. 36. PUR 3 (3 % Na⁺).



Obr. 37a. PUR 4 (0,5 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



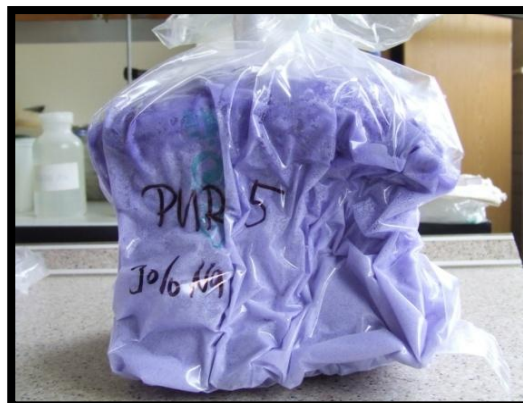
Obr. 37b. PUR 4 (0,5 % Na⁺)
vyfoceno po 7 dnech.

4) Příprava 0,5 %, 1 %, 2 %, 3 % směsi Cloisite Na⁺ (PUR 5, PUR 6, PUR 7, PUR 9)

Smíchaly se složky směsi (polyol + H₂O + jílna Na⁺), které byly promíchány tyčinkou a nechány 15 min od stát, pak se přidal sířovací katalyzátor - s upravenou navázkou 0,45 g a zbytek směsi (zpěňovadlo, stabilizátor, barvivo), kromě TDI a vše se zamíchalo cca 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo cca 10 s při 2 000 ot/min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 38a,b PUR 5, Obr. 39a,b PUR 6, Obr. 40a,b PUR 7, Obr. 41a,b PUR 9).



Obr. 38a. PUR 5 (3 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 38b. PUR 5 (3 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech



Obr. 39a. PUR 6 (1 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 39b. PUR6 (1 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 40a. PUR 7 (0,5 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 40b. PUR7 (0,5 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 41a. PUR 9 (2 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 41b. PUR9 (2 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.

5) Příprava 1 % směsi Cloisite Na⁺ (PUR 8)

Smíchaly se složky směsi (polyol + H₂O + jílna⁺), které byly promíchány tyčinkou a nechány 15 min odstát, pak se přidal síťovací katalyzátor - s upravenou navázkou 0,45 g a zbytek směsi (zpečňovadlo, stabilizátor - s upravenou navázkou na 2,25 g, barvivo), kromě TDI se vše zamíchalo cca 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo cca 10 s při 2 000 ot/min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 42a,b).



Obr. 42a. PUR 8 (1 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 42b. PUR 8 (1 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.

6) Příprava 1 % a 3 % směsi Cloisite Na⁺ a 30B (PUR 10, PUR 11, PUR 16)

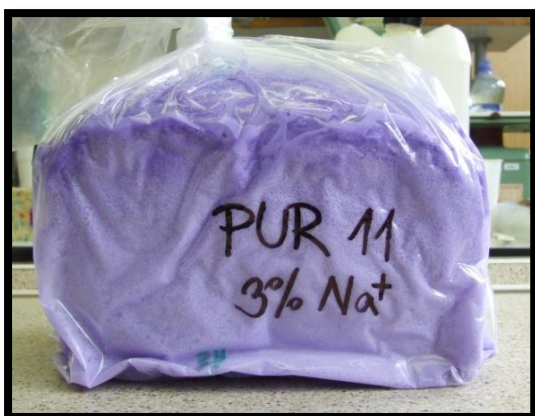
Smíchaly se složky směsi (polyol + H₂O + jí), které byly promíchány tyčinkou a nechány 15 min odstát, pak se přidal síťovací katalyzátor - s upravenou navázkou 0,30 g a zbytek směsi (zpeňovadlo, stabilizátor, barvivo), kromě TDI se vše zamíchalo cca 5 min při 2 000 otá/min. Přidalo se TDI a míchalo cca 10 s při 2 000 ot/min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 43a,b PUR 10, Obr. 44a,b PUR 11, Obr. 45a,b PUR 16).



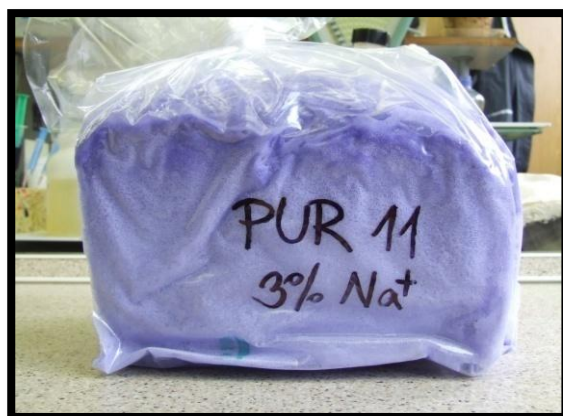
Obr. 43a. PUR 10 (1 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 43b. PUR10 (1 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 44a. PUR 11 (3 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 44b. PUR 11 (3 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 45a. PUR 16 (1 % 30B)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 45b. PUR16 (1 % 30B)
vyfoceno po 7. dnech.

7) Příprava 1 %, 2 % a 3 % směsi Cloisite Na⁺, 30B, 20A, 25A a 93A a Claytone APA, HY, Kaolinit/Ag a Montmorillonit/Ag , Nanosilver (PUR 12, PUR 13, PUR 17, PUR 23, PUR 24, PUR 25, PUR 26, PUR 27, PUR 33, PUR 34, PUR 35, PUR 36, PUR 37)

Smíchaly se složky směsi (polyol + H₂O + jí), které byly promíchány tyčinkou a nechány 15 min odstát, pak se přidal síťovací katalyzátor - s upravenou navázkou 0,15 g a zbytek směsi (zpeňovadlo, stabilizátor, barvivo fialová modř), kromě TDI se vše zamíchalo cca 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo cca 10 s při 2 000 ot/min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 46a,b PUR 12, Obr. 47a,b PUR 13, Obr. 48a,b PUR 17, Obr. 49a,b PUR 23, Obr. 50a,b PUR 24, Obr. 51a,b PUR 25, Obr. 52a,b PUR 26, Obr. 53a,b PUR 27, Obr. 54a,b PUR 33, Obr.55a,b PUR 34, Obr. 56a,b PUR 35, Obr. 57a,b PUR 36, Obr. 58a,b PUR 37).



Obr. 46a. PUR 12 (1 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 46b. PUR12 (1 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 47a. PUR 13 (3 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 47b. PUR13 (3 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 48a. PUR 17 (1 % 30B)
vyfoceno po napěnění.



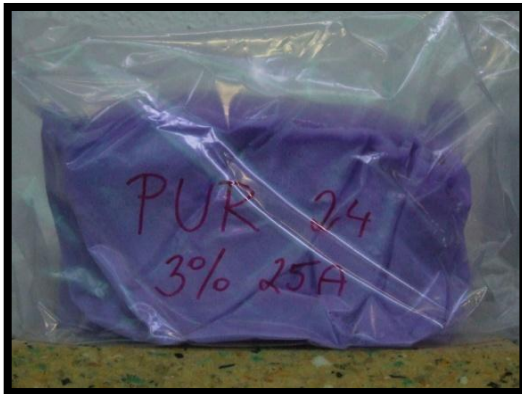
Obr. 48b. PUR17 (1 % 30B)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 49a. PUR 23 (3 % 20A)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 49b. PUR 23 (3 % 20A)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 50a. PUR 24 (3 % 25A)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 50b. PUR 24 (3 % 25A)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 51a. PUR 25 (3 % 93A)
vyfoceno po napěnění.



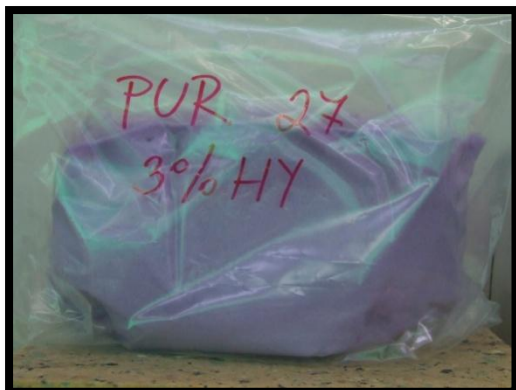
Obr. 51b. PUR 25 (3 % 93A)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 52a. PUR 26 (3 % APA)
vyfoceno po napěnění.



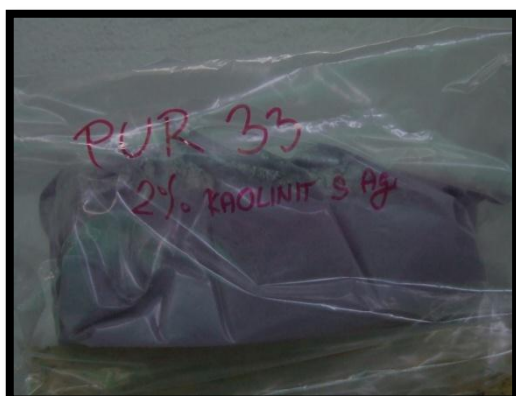
Obr. 52b. PUR 26 (3 % APA)
vyfoceno po 7. dnech.



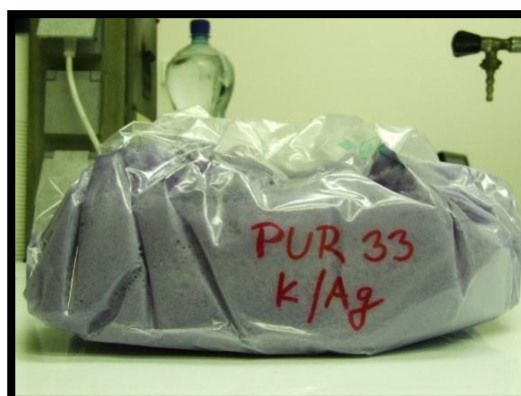
Obr. 53a. PUR 27 (3 % HY)
vyfoceno po napěnění.



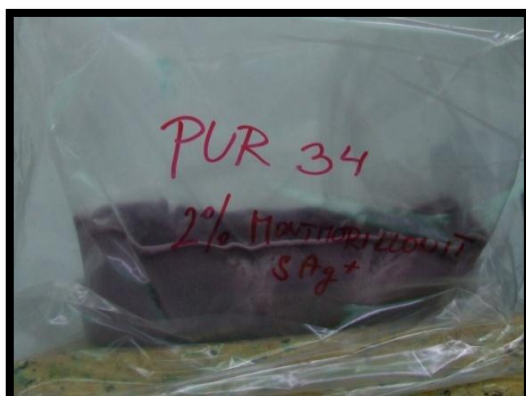
Obr. 53b. PUR 27 (3 % HY)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 54a. PUR 33 (2 % K/Ag)
vyfoceno po napěnění.



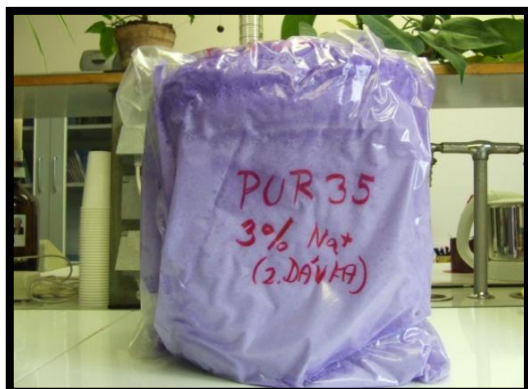
Obr. 54b. PUR 33 (2 % K/Ag)
vyfoceno po 7. dnech.



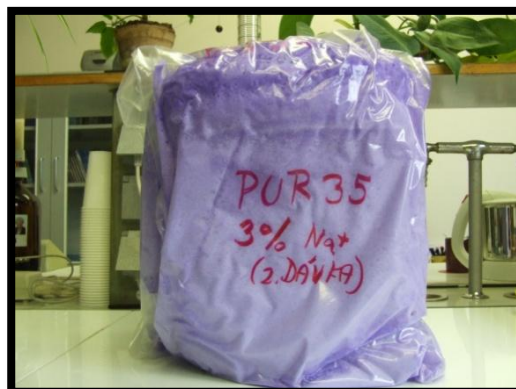
Obr. 55a. PUR 34 (2 % M/Ag)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 55b. PUR 34 (2 % M/Ag)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 56a. PUR 35 (3 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 56b. PUR 35 (3 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 57a. PUR 36 (2 % Nanosilver)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 57b. PUR 36 (2 % Nanosilver)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 58a. PUR 37 (2 % Nanosilver)
vyfoceno po napěnění.



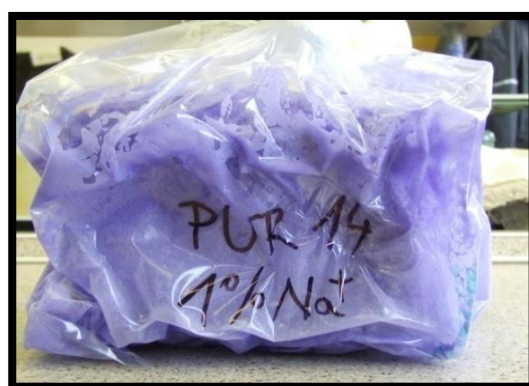
Obr. 58b. PUR 37 (2 % Nanosilver)
vyfoceno po 7. dnech.

8) Příprava 1 % a 3 % směsi Cloisite Na⁺ a 30B (PUR 14, PUR 15, PUR 18)

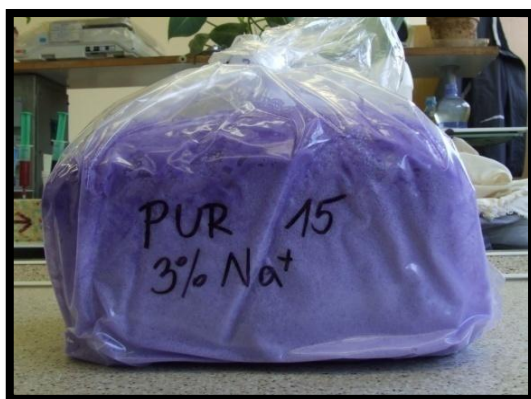
Smíchaly se složky směsi (polyol + H₂O + jíly různého typu a % zastoupení), které byly promíchány tyčinkou a nechány 15 min odstát, pak se přidal síťovací katalyzátor - s upravenou navázkou 0,15 g a zbytek směsi (zpeňovadlo, stabilizátor - s upravenou navázkou na 2,25 g, barvivo), kromě TDI se vše zamíchalo cca 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo cca 10 s při 2 000 ot/min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 59a,b PUR 14, Obr. 60a,b PUR 15, Obr. 61a,b PUR 18).



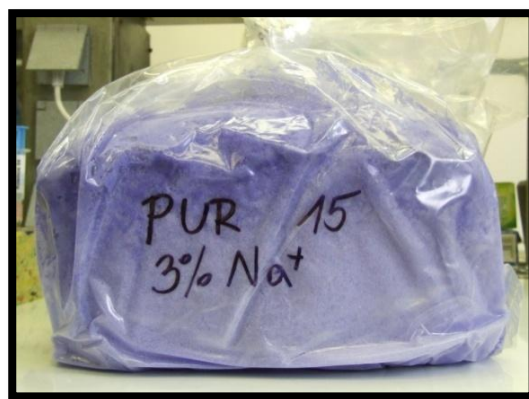
Obr. 59a. PUR 14 (1 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 59b. PUR 14 (1 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 60a. PUR 15 (3 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 60b. PUR 15 (3 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 61a. PUR 18 (1 % 30B)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 61b. PUR 18 (1 % 30B)
vyfoceno po 7. dnech.

9) Příprava 1 % směsi Cloisite Na⁺ a 30B (PUR 19, PUR 20)

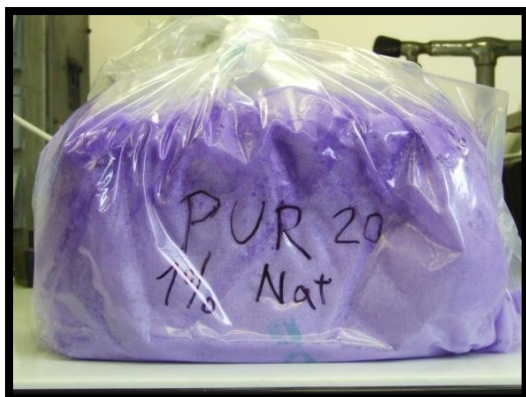
Smíchaly se složky směsi (polyol + H₂O + jííl různého typu), které byly promíchány tyčinkou a nechány 15 min odstát, pak se přidal síťovací katalyzátor - s upravenou navázkou 0,10 g a zbytek směsi (zpeňovadlo, stabilizátor, barvivo), kromě TDI se vše zamíchalo cca 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo cca 10 s při 2 000 ot/min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 62a,b PUR 19, Obr. 63a,b PUR 20).



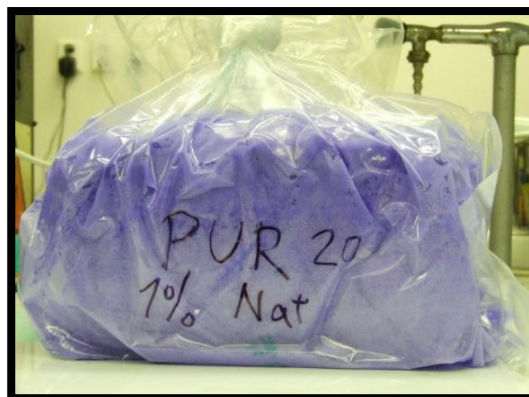
Obr. 62a. PUR 19 (1 % 30B)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 62b. PUR 19 (1 % 30B)
vyfoceno po 7. dnech.



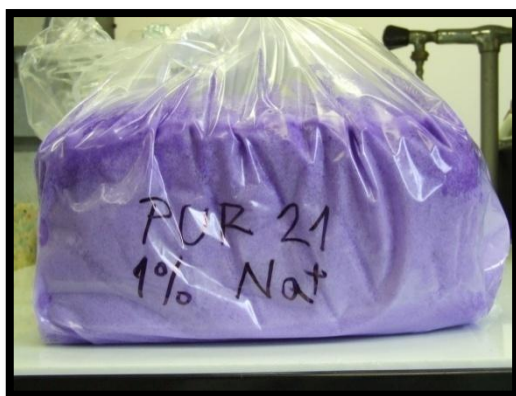
Obr. 63a. PUR 20 (1 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 63b. PUR 20 (1 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.

**10) Příprava 1% směsi Cloisite Na⁺ a 30B (PUR 21, PUR 22, PUR 28A,
PUR 28B, PUR 29, PUR 30, PUR 31, PUR 32)**

Smíchaly se složky směsi (polyol + H₂O + jí), které byly promíchány tyčinkou a nechány 15 min odstát, u pěny PUR 28B necháno 1. hod odstát, pak se přidal zbytek směsi (zpečňovadlo, stabilizátor, barvivo, bez síťovacího katalyzátoru), kromě TDI se vše zamíchalo cca 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo cca 10 s při 2 000 ot/min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 64a,b PUR 21, Obr. 65a,b PUR 22, Obr. 66a,b PUR 28A, Obr. 67a,b PUR 28B, Obr. 68a,b PUR 29, Obr. 69a,b PUR 30, Obr. 70a,b PUR 31, Obr. 71a,b PUR 32).



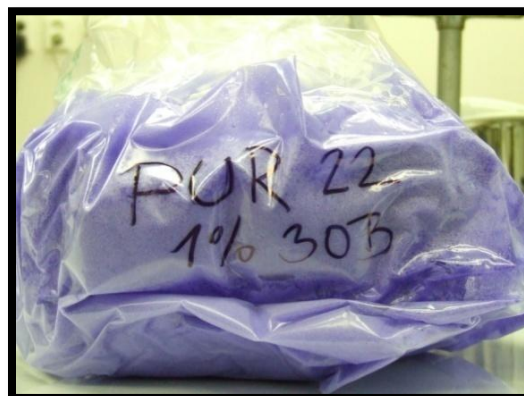
Obr. 64a. PUR 21 (1 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



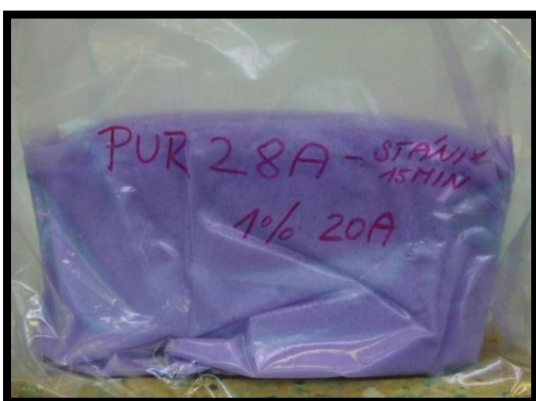
Obr. 64b. PUR 21 (1 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 65a. PUR 22 (1 % 30B)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 65b. PUR 22 (1 % 30B)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 66a. PUR 28A (1 % 20A)
vyfoceno po napěnění.



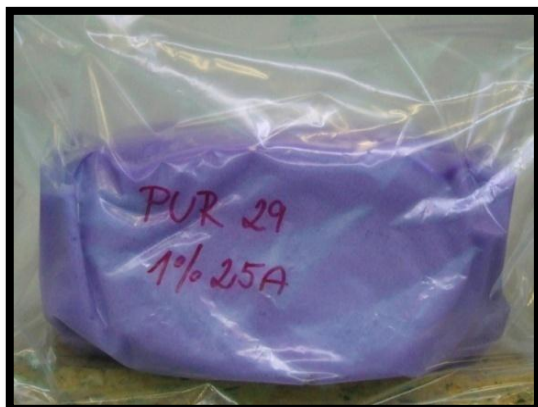
Obr. 66b. PUR 28A (1 % 20A)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 67a. PUR 28B (1 % 20A)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 67b. PUR 28B (1 % 20A)
vyfoceno po 7. dnech.



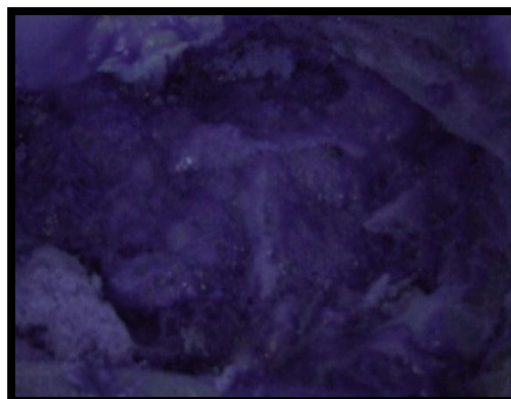
Obr. 68a. PUR 29 (1 % 25A)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 68. PUR 29 (1 % 25A)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 69a. PUR 30 (1 % 93A)
vyfoceno po napěnění.



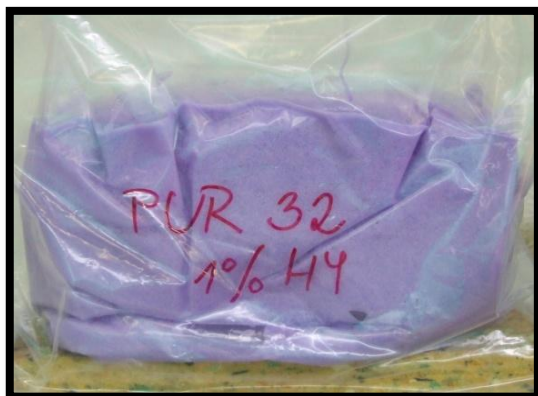
Obr. 69b. PUR 30 (1 % 93A)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 70a. PUR 31 (1 % APA)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 70b. PUR 31 (1 % APA)
vyfoceno po 7. dnech.



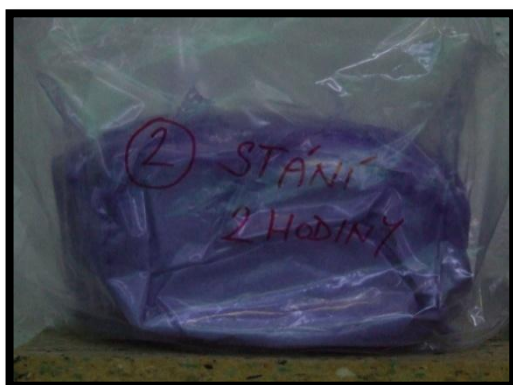
Obr. 71a. PUR 32 (1 % HY)
vyfoceno po napěnění.



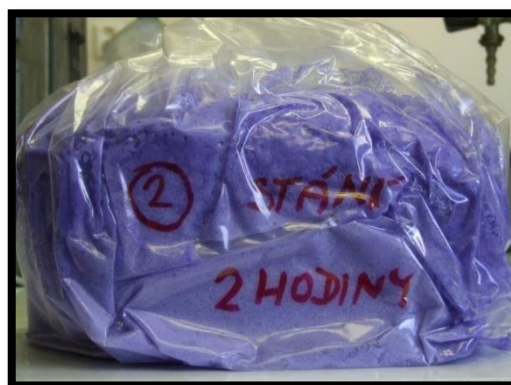
Obr. 71b. PUR 32 (1 % HY)
vyfoceno po 7. dnech.

11) Vliv doby interkalace na pěnu - příprava 3 % směsi Cloisite Na⁺

Smíchaly se složky směsi (polyol + H₂O + jí), které byly promíchány tyčinkou a nechány stát postupně 2. hod, 4. hod, 6. hod, pak se přidal síťovací katalyzátor - s upravenou návázkou 0,15 g a zbytek směsi (zpeňovadlo, stabilizátor, barvivo fialová modř), kromě TDI se vše zamíchalo cca 5 min při 2 000 ot/min. Přidalo se TDI a míchalo cca 10 s při 2 000 ot/min. Nalilo do formy (kanystr + separační fólie). Pěny po napěnění (Obr. 72a,b PUR 1-4. hod, Obr. 73a,b PUR 2-2. hod, Obr. 74a,b PUR 3-6. hod).



Obr. 72a. PUR 2- stání 2. hod (3 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 72b. PUR 2- stání 2. hod (3 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.



Obr. 73a. PUR 1- stání 4. hod (3 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 73b. PUR 1- stání 4. hod (3 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech



Obr. 74a. PUR 3- stání 6. hod (3 % Na⁺)
vyfoceno po napěnění.



Obr. 74b. PUR 3- stání 6. hod (3 % Na⁺)
vyfoceno po 7. dnech.

5.3 DISKUSE K PŘÍPRAVĚ PĚN

Příprava PUR pěn byla rozdělena do několika fází. V prvním kroku byly připraveny referenční materiály. Následně bylo do původní receptury přidáno dané množství plniva. Nejdříve bylo testováno plnivo Cloisite Na⁺ (přírodní typ jílu) a Cloisite 30B (modifikovaný typ jílu) v množství 3 %. Výsledky z tohoto kroku nebyly nijak uspokojivé (Obr. 35, 36). Hlavním důvodem byl obsah síťovacího katalyzátoru ve směsi, který způsoboval přesíťování PUR pěn, kde docházelo ke kolapsu bublin - vznikaly uzavřené póry. Z tohoto důvodu jsme přistoupili k úpravě původní receptury. Bylo postupně snižováno množství síťovacího katalyzátoru z 0,6 g na 0 g ve směsi. Na základě připravených směsí bylo vy-

bráno jako optimální množství 0,15 g katalyzátoru (Obr. 47a,b). Dále byl testován vliv změny zastoupení stabilizátoru dutinek pěny. Významný vliv nebyl prokázán (Obr. 42a,b; 59a,b; 61a,b). Rovněž byl sledován vliv doby interkalace na výslednou pěnu a vliv koncentrace plniva. Tímto způsobem byly připraveny tři typy pěn se stejným % obsahem plniva Cloisite Na⁺. Z prvních pozorování se zdálo, že čím delší doba interkalace jílu ve směsi tím celkový vzhled pěny byl lepší i po 7. dnech si pěna zachovala původní tvar (Obr. 74a,b).

V následném kroku byly testovány různé typy plniv. Pro přípravu PUR pěny modifikované těmito typy plniv byl na základě získaných pěn vybrán postup č. 7. Jako nevhodné se jeví plniva Cloisite 30B, 25A, 93A, Claytone APA, HY, Montmorillonit/Ag. Jako nejvhodněji zvolené plnivo se jeví přírodního typ Cloisite Na⁺.

6 OPRACOVÁNÍ VYROBENÝCH PUR PĚN

Vyrobené PUR pěny se nejprve ořezaly, zbavily se krajové kůry. Vzorky se řezaly na provozní vertikální pile (Obr. 75) na jednotlivé rozměry, které byly uvedeny v jednotlivých normách podle různé zkoušky. Po nařezání vzorků následovaly zkoušky na PUR pěných.



Obr. 75. Vertikální pil

7 VISKOZITA

Viskozita vyjadřuje míru schopnosti kapaliny klást odpor proti pohybu svých částic. Je způsobena kohezí částic a vyjadřuje míru vnitřního tření za pohybu. [25]

Základní dělení viskozity:

Kinematická viskozita – je definována jako podíl dynamické viskozity a hustoty:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3)$$

K měření kinematické viskozity se používají přístroje, u kterých síla způsobuje tok (smykové napětí) vyvozované tíhou kapaliny, závislou na hustotě. Používají se kapilární nebo výtokové viskozimetry. [26]

Dynamická viskozita – je obecně funkcí teploty, smykového spádu, času, případně dalších veličin. Vyjadřuje míru vnitřního tečení v tekutině velikostí odporu, který tekutina klade pohybu těles. Nejedná se o univerzální materiálovou konstantu a z toho důvodu je dynamická viskozita, stanovená za určitých konkrétních podmínek, označována jako zjevná (zdánlivá). Dynamická viskozita je podle Newtonova zákona daná poměrem tečného napětí a rychlostního gradientu:

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{d_w}{d_x}} \quad (\text{Pa} \cdot \text{s}; \text{Pa}, \text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{m}) \quad (4)$$

Používají se ponorné rotační viskozimetry (Brookfield), které měří krouticí moment, potřebný k rotaci vřetene různých tvarů ponořeného do vzorku. [26]

7.1 Ponorný rotační viskozimetr

Princip rotačního viskozimetru spoívá v určení viskozity ze síly potřebné pro otáčení předmětu ve zkoumané kapalině. Rotor tvaru válce nebo disku je ponořen do kapaliny a je měřená síla, která je potřebná pro překonání odporu proti otáčení. Rotor je připraven na

hřídeli motoru, která se otáčí určitou rychlostí. Na základě znalosti rychlosti otáčení a geometrie rotoru se pomocí viskozimetru určuje krouticí moment motoru a z něj viskozita kapaliny. [27, 26, 28]

7.1.1 Stanovení viskozity na přístroji Brookfield LFB

Podmínky testu:

Norma ČSN ISO 2555 (64 0346). Plasty - Pryskyřice v kapalném, emulgovaném nebo dispergovaném stavu – Stanovení zdánlivé viskozity podle Brookfielda.

- Typ viskozimetru A
- Vřeteno číslo 3
- Počet otáček 30 min^{-1}
- Teplota zkušebních vzorků 25 °C

Viskozimetr (Obr. 76) s ochranným třmínkem se upevní do stojanu. Kádinka (o průměru 90 mm až 92 mm a výšce 115 mm až 160 mm) se naplní zkoušeným vzorkem tak, aby pokud možno nebyly vmíchány vzduchové bubliny. Potom se vloží do lázně na dobu dostatečnou k dosažení požadované teploty (doporučuje se 23, 25, 40, 55, 70, 85 a 100 °C). Pokud vzorek obsahuje těkavé látky nebo je hydrofobický, během zkoušky se uzavírá těsnícím víčkem. Do kádinky, umístěné v temperační lázni, se pomalu pod úhlem asi 45° ponoří vřeteno. Poloha vřetene se změní na vertikální a jeho hřídél se upevní do přístroje. Pomocí vodováhy se ověří svislá poloha vřetene a zajistí se, aby jeho spodní okraj byl nejméně 10 mm nade dnem kádinky a zároveň bylo ponořeno po spodní okraj značky na hřídéli. Do zkoušeného vzorku se pak ponoří teploměr. Po ustálení teploty v požadovaném rozsahu se spustí motor a míchá se při požadované rychlosti otáčení. Po dosažení stabilní hodnoty se ukazatel měřidla zablokuje a zaznamená se příslušný údaj. Motor se znovu spustí a provede se další měření. Po každém měření se vřeteno vyjme z přístroje a řádně se omyje ve vhodném rozpouštědle. [29]



Obr. 76. Brookfield viskozimetr.

Měření viskozity se provádělo z důvodu zjištění interkalačních schopností vybraných jíílů v PUR směsi. Důvodem byly rovněž první nezdařené pokusy přípravy PUR pěn. Struktura pěny je totiž velmi úzce spojena právě s viskozitou směsi. Z tohoto důvodu byly pomocí měření viskozity zjištěny odchylky od původní receptury. Viskozita tak byla testována jak u vstupních surovin bez přídavku plniv tak i u směsí s plnivem Cloisite Na⁺ a 30B v 1 % a 3 % zastoupení. Zkoušel se rozdíl mícháním tyčinkou a rychlostním míchadlem s 2 000 ot/min v různých časových intervalech. Ve směsi nesměly být přítomny vzduchové bubliny.

7.1.1.1 Měření viskozity polyolu s i bez 3 % plniva Na⁺ i se zbytkem směsi

Tab. IV. Viskozita polyolu s 3 % plnivem Na⁺ i se zbytkem směsi.

Polyol	Viskozita (m*Pa*s)				Ø	%
po ručním zamíchání	644	640	644	640	642	100
Polyol a Na⁺ (3 %)						
po ručním zamíchání	844	840	836	832	838	130
po zamíchání 5 min při 2 000 otáček/min	476	484	488	492	485	76
po 20 min. stání (2 000 ot/min)	624	628	632	636	630	98
po 40 min. stání (2 000 ot/min)	680	676	684	688	682	106
po 1. hod	728	724	732	736	730	114
po 2. hod	756	752	760	768	759	118
po 3. hod	736	740	744	748	742	116
po 4. hod	720	724	728	732	726	113
po 5. hod	716	712	720	724	718	112
po 24. hod	664	668	672	-	668	104
2. den	608	612	616	-	612	95
3. den	600	604	608	-	604	94
8. den	624	628	632	-	628	98
9. den	596	600	604	-	600	93
14. den	648	644	652	-	648	101

Polyol a voda	Viskozita (m*Pa*s)				Ø	%
po ručním zamíchání, měřeno hned	712	716	708	-	712	111
po ručním zamíchání, měřeno se stáním	732	728	736	-	732	114
Polyol a Na⁺ (3 %) a voda						
po ručním zamíchání	1072	1068	1064	1060	1066	166
po zamíchání 2000 otáček/min	780	788	792	784	786	122
po 20. min stání	876	880	884	888	882	137
Po 40. min stání	924	928	932	940	931	145
po 1. hod	952	960	964	968	961	150
po 2. hod	1008	1012	1016	1020	1014	158
po 3. hod	992	984	988	996	990	154
po 4. hod	960	956	948	952	954	149
po 24. hod	980	984	988	-	984	153
2. den	916	920	924	-	920	143
3. den	932	936	940	-	936	146
8. den	848	852	856	-	852	133
9. den	832	836	840	-	836	130
14. den	852	856	860	-	856	133
Polyol + voda a zbytek směsi						
po ruční zamíchání	752	748	744	-	748	117
po zamíchání 2000 otáček/min	904	880	848	852	871	136
po 20. min stání	936	932	928	924	930	145
po 40. min stání	904	908	900	896	902	140
po 1. hod	900	904	896	892	898	140
po 2. hod	764	760	756	752	758	118
po 3. hod	664	660	656	652	658	102
po 24. hod	652	656	660	-	656	102
2. den	640	644	648	-	644	100
3. den	720	724	728	-	724	113
8. den	768	772	776	-	772	120
9. den	724	728	732	-	728	113
14. den	744	748	752	-	748	117
Polyol + voda + Na⁺ (3 %) a zbytek směsi						
po ručním zamíchání	904	888	884	872	887	138
po zamíchání 2000 otáček/min	900	904	896	892	898	140
po 20. min stání	1056	1052	1048	1044	1050	164
po 40. min stání	1144	1140	1136	1132	1138	177
po 1. hod	1168	1164	1160	1156	1162	181
po 2. hod	1100	1096	1092	1088	1094	170
po 24. hod	880	884	888	-	884	138
2. den	816	820	824	-	820	128
3. den	776	780	784	-	780	121
8. den	776	780	784	-	780	121
9. den	736	740	744	-	740	115
14. den	764	768	772	-	768	120

7.1.1.2 Měření viskozity polyolu s 3 % plnivem 30B i se zbytkem směsi

Tab. V. Viskozita polyolu s 3 % plnivem 30B i se zbytkem směsi.

Polyol	Viskozita (m ³ Pa*s)				Ø	%
	644	640	644	640		
po ručním zamíchání	644	640	644	640	642	100
Polyol a 30B (3 %)						
po ruční zamíchání	836	840	844	848	842	131
po zamíchání 2000 otáček/min	452	456	460	464	458	71
po 20 min stání	548	544	552	-	548	85
po 40 min stání	632	636	640	-	636	99
po 1. hod	692	696	700	-	696	108
po 2. hod	796	792	800	804	798	124
po 3. hod	824	820	816	-	820	128
po 4. hod	808	804	800	-	804	125
po 5. hod	772	776	780	784	778	121
po 24. hod	736	740	744	-	740	115
2. den	732	736	740	-	736	115
3. den	740	744	748	-	744	116
6. den	728	732	736	-	732	114
7. den	664	668	672	-	668	104
8. den	660	664	668	-	664	103
9. den	644	648	652	-	648	101
10. den	648	652	656	-	652	102
13. den	532	536	540	-	536	83
Polyol a 30B (3 %) a voda						
po ručním zamíchání	1012	1016	1020	1024	1018	159
po zamíchání 2000 otáček/min	736	732	728	724	730	114
po 20 min stání	888	892	896	900	894	139
po 40 min stání	924	928	932	936	930	145
po 1. hod	972	976	980	984	978	152
po 2. hod	1040	1044	1048	1052	1046	163
po 3. hod	1080	1084	1088	1092	1086	169
po 4. hod	1020	1024	1028	1032	1026	160
po 5. hod	1012	1008	1004	1000	1006	157
po 24. hod	1020	1024	1028	-	1024	160
2. den	992	996	1000	-	996	155
3. den	1008	1012	1016	-	1012	158
6. den	1016	1020	1024	-	1020	160
7. den	920	924	928	-	924	144
8. den	940	944	948	-	944	147
9. den	904	908	912	-	908	141
10. den	900	904	908	-	904	141
13. den	800	804	808	-	804	125
Polyol + voda + 30B (3 %) a zbytek směsi						
po ručním zamíchání	1068	1064	1060	1056	1062	165
po zamíchání 2000 otáček/min	952	948	944	940	946	147
po 20. min stání	1116	1112	1108	1104	1110	173
po 40. min stání	1116	1112	1108	1104	1110	173
po 1. hod	1112	1108	1104	1100	1106	172
po 2. hod	1084	1080	1076	1072	1078	170
po 3. hod	968	964	960	956	962	150
po 4. hod	948	944	940	936	942	147
po 24. hod	956	960	964	-	960	150

Polyol + voda + 30B (3 %) a zbytek směsi	Viskozita (m*Pa*s)				Ø	%
2. den	920	924	928	-	924	144
3. den	952	956	960	-	956	149
6. den	928	932	936	-	932	145
7. den	836	840	844	-	840	131
8. den	844	848	852	-	848	132
9. den	848	852	856	-	852	133
10. den	828	832	836	-	832	130
13. den	728	732	736	-	732	114

7.1.1.3 Měření viskozity polyolu s 1% plnivem 30B i se zbytkem směsi

Tab. VI. Viskozita polyolu s 1% plnivem 30B i se zbytkem směsi.

Polyol	Viskozita (m*Pa*s)				Ø	%
po ručním zamíchání	644	640	644	640	642	100
Polyol a 30B (1 %)						
po ruční zamíchání	752	756	0	0	754	117
po zamíchání 2000 otáček/min	424	428	432	436	430	67
po 20. min stání	564	568	572	576	570	89
po 40. min stání	616	620	624	628	622	97
po 1. hod	624	628	632	-	628	98
po 2. hod	596	600	604	608	602	94
po 3. hod	508	512	516	-	512	80
po 4. hod	612	616	620	-	616	96
po 24. hod	576	580	584	-	580	90
2. den	632	636	640	-	636	99
3. den	616	620	624	-	620	97
6. den	572	576	580	-	576	90
7. den	552	556	560	-	556	87
8. den	596	600	604	-	600	93
10. den	644	648	652	-	648	101
13. den	636	640	644	-	640	100
20. den	612	616	620	-	616	96
Polyol a 30B (1 %) a voda						
po ruční zamíchání	868	872	876	880	874	136
po zamíchání 2000 otáček/min	524	528	532	536	530	83
po 20. min stání	660	664	668	-	664	103
po 40. min stání	704	708	712	716	710	111
po 1. hod	712	716	720	724	718	112
po 2. hod	692	696	700	704	698	109
po 3. hod	708	712	716	-	712	111
po 4. hod	716	720	724	-	720	112
po 24. hod	652	656	660	-	656	102
2. den	656	660	664	-	660	103
3. den	644	648	652	-	648	101
6. den	660	664	668	-	664	103
7. den	616	620	624	-	620	97
8. den	632	636	640	-	636	99
10. den	748	752	756	-	752	117
13. den	684	688	692	-	688	107
20. den	720	724	728	-	724	113

Polyol + voda + 30B (1 %) a zbytek směsi s Kosmosem 29	Viskozita (m*Pa*s)				Ø	%
po ruční zamíchání	876	880	884	888	882	137
po zamíchání 2000 ot/min	860	856	852	848	854	133
po 20. min stání	916	912	908	904	910	142
po 40. min stání	904	900	896	892	898	140
po 1. hod	908	912	904	900	906	141
po 2. hod	820	816	812	808	814	127
po 3. hod	776	780	784	-	780	121
po 24. hod	748	752	756	-	752	117
2. den	784	788	792	-	788	123
3. den	780	784	788	-	784	122
6. den	732	736	740	-	736	115
7. den	692	696	700	-	696	108
8. den	724	728	732	-	728	113
10. den	804	808	812	-	808	126
13. den	764	768	772	-	768	120
20. den	656	660	664	-	660	103
Polyol + voda + 30B (1 %) a zbytek směsi bez Kosmosu 29						
po ruční zamíchání	860	856	852	848	854	133
po zamíchání 2000 otáček/min	880	876	872	868	874	136
po 20 min stání	960	956	952	948	954	149
po 40 min stání	980	976	972	968	974	152
po 1. hod	936	940	944	948	942	147
po 2. hod	868	872	876	880	874	136
po 3. hod	840	836	832	828	834	130
po 24. hod	644	648	652	-	648	101
2. den	664	668	672	-	668	104
3. den	628	632	636	-	632	98
6. den	700	704	708	-	704	110
7. den	620	624	628	-	624	97
8. den	612	616	620	-	616	96
10. den	700	704	708	-	704	110
13. den	676	680	684	-	680	106
20. den	656	660	664	-	660	103

7.2 Závěr – diskuse výsledků

Z naměřených výsledků viskozity vyplývá, že změřený polyol vykazuje nižší viskozitu oproti polyolu s obsahem 1 % nebo 3 % plnivem Na⁺ a 30B. Což souvisí jednak se samotným přídavkem plniva a také s interkalačními pochody probíhajícími v jílu. Nárůst lze pozorovat jak u směsi Na⁺, tak u směsi s 30B. Z měření vyplývá, že nejvyšší viskozitu měla celková receptura s plnivem a zdá se tedy, že v této směsi také dochází nejlépe k interkalaci. Zajímavý je fakt, že viskozita u všech testovaných materiálů po určitou dobu roste a pak začíná klesat. Teplota směsi se při měření udržovala na 25 °C pomocí vodní lázně. Směsi

byly před měřením vždy ručně promíchány, aby byla dosažena rovnoměrná homogenita směsi, takže vliv usazování částic plniva lze vyloučit.

Pokud se podíváme na % zastoupení plniva, tak nejméně ovlivnil viskozitu směsi přídavek 1% plniva. Vzhledem k faktu, že obě plniva ovlivňují viskozitu podobně lze předpokládat, že stejný výsledek bude i u Cloisite Na⁺. Pro přípravu směsi by podle viskozity tedy mělo být nejlepší plnění 1 %.

8 CHARAKTERIZACE PUR PĚN

Souběžně s přípravou pěn, byly hodnoceny některé jejich vlastnosti. Výsledky testů jsou zobrazeny níže.

8.1 Stanovení vzhledu PUR pěn

Zkouška se provádí za podmínek ČSN 64 5401 a vnitřním postupem KP-0-00171. Vzhled se posuzuje vizuálně na zkušebním tělese 80 x 80 x 50 mm porovnáním s referenčním vzorkem. Posuzuje se četnost, velikost a tvar pórů a pravidelnost struktury pěny. Četnost, velikost a tvar pórů a pravidelnost struktury pěny musí odpovídat referenčnímu vzorku. [30]

8.2 Výsledky vzhledu PUR pěn

Tab. VII. Vzhled pórů.

Pěny	Plnění [%]	Vzhled pórů
PUR 1 st	-	Pravidelná struktura kulatých pórů, výjimečný výskyt větších pórů
PUR 1-1	-	Pravidelná struktura kulatých pórů, výjimečný výskyt větších pórů
PUR 2-1	3 % 30B	Pravidelná struktura s úplně jemnými póry, bez přítomnosti větších pórů
PUR 3-1	3 % Na ⁺	Pravidelná struktura s jemnějšími póry, výjimečně větší póry
PUR 4	0,5 % Na ⁺	Pravidelná struktura s jemnějšími póry, bez přítomnosti větších pórů
PUR 5	3 % Na ⁺	Pravidelná struktura s hodně jemnými póry, bez přítomnosti větších pórů
PUR 6	1 % Na ⁺	Pravidelná struktura s hodně jemnými póry, bez přítomnosti větších pórů
PUR 7	0,5 % Na ⁺	Nepravidelné sestavení struktury, na určitých místech shluky větších a menších pórů
PUR 9	2 % Na ⁺	Nepravidelná struktura, kraje jsou jemnější a ve středu výskyt větších pórů
PUR 10	1 % Na ⁺	Pravidelná struktura s hodně jemnými póry, bez přítomnosti větších pórů
PUR 11	3 % Na ⁺	Pravidelná struktura kulatých pórů místy výskyt i větších pórů
PUR 13	3 % Na ⁺	Pravidelná struktura kulatých pórů místy výskyt i větších pórů
PUR 14	1 % Na ⁺	Pravidelná struktura s hodně jemnými póry, bez přítomnosti větších pórů
PUR 15	3 % Na ⁺	Z větší části pravidelná struktura kulatých pórů, místy výskyt větších pórů
PUR 20	1 % Na ⁺	Pravidelná struktura, na povrchu drsnější, výskyt větších pórů
PUR 21	1 % Na ⁺	Pravidelná struktura, na povrchu drsnější, výskyt větších pórů
PUR 22	1 % 30B	Pravidelná struktura, na povrchu drsnější, výskyt větších pórů
PUR 23	3 % 20A	Pravidelná struktura, na povrchu drsnější, výskyt větších pórů

Pěny	Plnění [%]	Vzhled pórů
PUR 24	3 % 25A	Pravidelná struktura, na povrchu drsnější, výskyt větších pórů
PUR 35	3 % Na ⁺	Pravidelná struktura kulatých pórů místy výskyt i větších pórů
PUR 36	2 % Nano-silver	Pravidelná struktura jemných pórů
PUR 37	2 % Nano-silver	Pravidelná struktura jemných pórů
PUR1 stání 4. hod	3 % Na ⁺	Pravidelná struktura, stejný výskyt jak menších tak i větších pórů
PUR2 stání 2. hod	3 % Na ⁺	Pravidelná struktura, stejný výskyt jak menších tak i větších pórů
PUR3 stání 6. hod	3 % Na ⁺	Pravidelná struktura, stejný výskyt jak menších tak i větších pórů

8.3 Závěr – diskuse výsledků

Velikost pórů ovlivňuje složení PUR směsi, vstupující plnivo, teplota, tlak, způsob zamíchání a stání pěny. Z uvedených výsledků vyplývá, že vyrobené PUR pěny mají ve většině případů pravidelnou strukturu. Výjimku tvoří pěny PUR 7 a PUR 9 s plnivem Cloisite 0,5 % a 2 % Na⁺. Jako nejlepší se jeví pěny PUR 11, PUR 13, PUR 35, PUR 1- stání 4. hod, PUR 2- stání 2. hod, PUR 3- stání 6. hod s 3 % plnivem Cloisite Na⁺.

Změny ve struktuře pěny byly způsobené vlivem použitého plniva a jeho procentuálního zastoupení a jeho doba stání (interkalace) jílu. Na celkový vzhled PUR pěn měl velký význam i vstupující obsah síťovacího katalyzátoru.

Z takto připravených pěn se dá pomocí lupy zjistit obsah počtu pórů obsažených v PUR pěnách.

9 POČTY PÓRŮ PUR PĚN

Stanovení počtu póru u PUR pěn se provádí podle kontrolního postupu PND 44-1014-98 a vnitřním postupem KP-0-00170. Pro odečet póru se používá lupa se zvětšením 10x. [31]

9.1 Postup pro odečet póru

Pro stanovení zkoušky se použila zkušební tělesa ve tvaru kvádrů o rozměrech 80 x 80 x 50 mm. Stanovení se provádělo na 3 zkušebních vzorkách. Na zkušební vzorek se položila lupa (Obr. 77), tak, aby střed lupy se kryl se středem zkoušené plochy. Počet póru se stanovil počítáním vždy na délce 10 mm podél přímek procházejících středem plochy 80 x 80 mm a rovnoběžně se stranami plochy 80 x 80 mm. Výsledné hodnoty počtu póru se stanovily výpočtem jako aritmetický průměr hodnot počtu póru získaných na jednotlivých zkušebních tělesech. [31]



Obr. 77. Lupa se zvětšením 10x.

9.1.1 Výsledky počtu pórů PUR pěnách

Tab. VIII. Počty pórů.

Pěny	Plnění [%]	Měření			Ø Měření	Odchylky [%]	[%] zastoupení pórů
		1.	2.	3.			
PUR 1se stáním	-	26	25	24	25	0,5	100
PUR 1-1	-	25	24	26	25	0,5	100
PUR 2-1	3 % 30B	20	20	23	21	2,1	84
PUR 3-1	3 % Na ⁺	17	18	22	19	3,7	76
PUR 4	0,5 % Na ⁺	26	29	26	27	1,3	108
PUR 5	3 % Na ⁺	28	25	28	27	1,7	108
PUR 6	1 % Na ⁺	27	29	28	28	1,3	112
PUR 7	0,5% Na ⁺	23	25	24	24	0,8	96
PUR 9	2 % Na ⁺	25	22	25	24	1,1	96
PUR 10	1 % Na ⁺	25	26	24	25	0,5	100
PUR 11	3 % Na ⁺	22	23	21	22	1,3	88
PUR 13	3 % Na ⁺	21	20	19	20	1,9	80
PUR 14	1 % Na ⁺	16	19	19	18	2,6	72
PUR 15	3 % Na ⁺	23	26	23	24	1,3	96
PUR 20	1 % Na ⁺	18	18	21	19	2,5	76
PUR 21	1 % Na ⁺	18	16	20	18	2,8	72
PUR 22	1 % 30B	20	23	23	22	1,4	88
PUR 23	3 % 20A	19	22	19	20	2,3	80
PUR 24	3 % 25A	18	21	21	20	1,9	80
PUR 35	3 % Na ⁺	19	22	22	21	1,5	84
PUR 36	2 % Nanosilver	25	26	27	26	0,8	104
PUR 37	2 % Nanosilver	26	26	23	25	1,0	100
PUR 1- st 4. hod	3 % Na ⁺	20	21	25	22	2,3	88
PUR 2- st 2. hod	3 % Na ⁺	21	24	21	22	1,8	88
PUR 3- st 6. hod	3 % Na ⁺	18	24	21	21	2,5	84

9.2 Závěr – diskuse výsledků

U referenčních vzorků byl zjištěný počet pórů 25. Všechny vyrobené pěny se k danému počtu póru přibližují. Nelze zde přesně určit, která pěna a s jakým plnivem je nejlepší. Pěna s nejnižším počtem póru je pěna PUR 21 a PUR 14 s 1% Na⁺. PUR 21 byla vyrobená bez přídavku síťovacího katalyzátoru. I ostatní směsi připravené bez katalyzátoru podle čísla postupu přípravy 10, vykazují nižší obsah pórů v PUR pěnách. Bylo to způsobeno tím, že se do směsi nepřidal katalyzátor. U této pěny byl také zjištěn drsnější povrch a byl zjištěn i výskyt větších pórů. To způsobilo, že pěna oproti ostatním měla nižší počet pórů.

10 PROPUSTNOST PÓRŮ

Propustnost pórů hraje velikou roli při výrobě matrací. Žádoucí je, aby připravené PUR pěny měly propustné - otevřené póry, musí docházet k odvětrávání (vlhkosti a potu) pěny.

Stanovení propustnosti póru v PUR pěnách se provádělo podle vnitřního postupu KP-0-00170. Orientační stanovení propustnosti se stanovuje u vzorků tak, že se do pěny z jedné strany foukne vzduch. Pokud vzduch projde skrze póry na druhou stranu, pak se jedná se o propustnou pěnu s otevřenými póry. Při nepropustnosti vzduchu je pěna nepropustná, uzavřené póry. [31]

10.1 Výsledky propustnosti pórů

Tab. IX. Propustnost pórů.

Pěny	Plnění [%]	Propustnost pórů
PUR 1	-	OTEVŘENÉ
PUR 1-1	-	OTEVŘENÉ
PUR 2-1	3 % 30B	UZAVŘENÉ
PUR 3-1	3 % Na ⁺	UZAVŘENÉ
PUR 4	0,5 % Na ⁺	UZAVŘENÉ
PUR 5	3 % Na ⁺	UZAVŘENÉ
PUR 6	1 % Na ⁺	UZAVŘENÉ
PUR 7	0,5 % Na ⁺	UZAVŘENÉ
PUR 9	2 % Na ⁺	UZAVŘENÉ
PUR 10	1 % Na ⁺	UZAVŘENÉ
PUR 11	3 % Na ⁺	OTEVŘENÉ
PUR 13	3 % Na ⁺	OTEVŘENÉ
PUR 14	1 % Na ⁺	OTEVŘENÉ
PUR 15	3 % Na ⁺	OTEVŘENÉ
PUR 20	1 % Na ⁺	ČÁSTĚČNĚ OTEVŘENÉ A UZAVŘENÉ
PUR 21	1 % Na ⁺	ČÁSTĚČNĚ OTEVŘENÉ A UZAVŘENÉ
PUR 22	1 % 30B	ČÁSTĚČNĚ OTEVŘENÉ A UZAVŘENÉ
PUR 23	3 % 20A	OTEVŘENÉ
PUR 24	3 % 25A	OTEVŘENÉ
PUR 35	3 % Na ⁺	OTEVŘENÉ
PUR 36	2 % Nanosilver	OTEVŘENÉ
PUR 37	2 % Nanosilver	OTEVŘENÉ
PUR 1 stání 4. hod	3 % Na ⁺	OTEVŘENÉ
PUR 2 stání 2. hod	3 % Na ⁺	OTEVŘENÉ
PUR 3 stání 6. hod	3 % Na ⁺	OTEVŘENÉ

POZNÁMKA: Vzhledem ke zborcení struktury pěny se nehodnotily směsi PUR 2, 3, 8, 12, 16, 17, 18, 19, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34.

10.2 Závěr – diskuse výsledků

Propustnost pórů je u těchto materiálů velmi důležitá z hygienického hlediska. Referenční materiál měl póry otevřené. U připravených vzorků se také z větší části jedná o pěny s otevřenými póry. Mezi pěny s otevřenými póry tak patří PUR 11, PUR 13, PUR 14, PUR 15, PUR 23, PUR 24, PUR 35, PUR 36, PUR 37, PUR 1- stání 4. hod, PUR 2- stání 2. hod, PUR 3- stání 6. hod. Mezi materiály s uzavřenými póry byly PUR 2-1, PUR 3-1, PUR 4, PUR 5, PUR 6, PUR 7, PUR 9, PUR 10. Na formu pórů měl zásadní vliv síťovací katalyzátor. Při množství 0,6 a 0,45 g síťovacího katalyzátoru byly připraveny pouze pěny s uzavřenými póry. Při použití katalyzátoru v množství 0,1 a 0 g jsme získali pěny se smíšenými póry tj. otevřenými i uzavřenými (PUR 20, PUR 21, PUR 22). Při použití 0,15 g katalyzátoru byla vždy získána otevřená pórovitá struktura pěny. Změna % plnění jílu se na prodyšnosti materiálu neprojevila.

11 MIKROSKOPIE

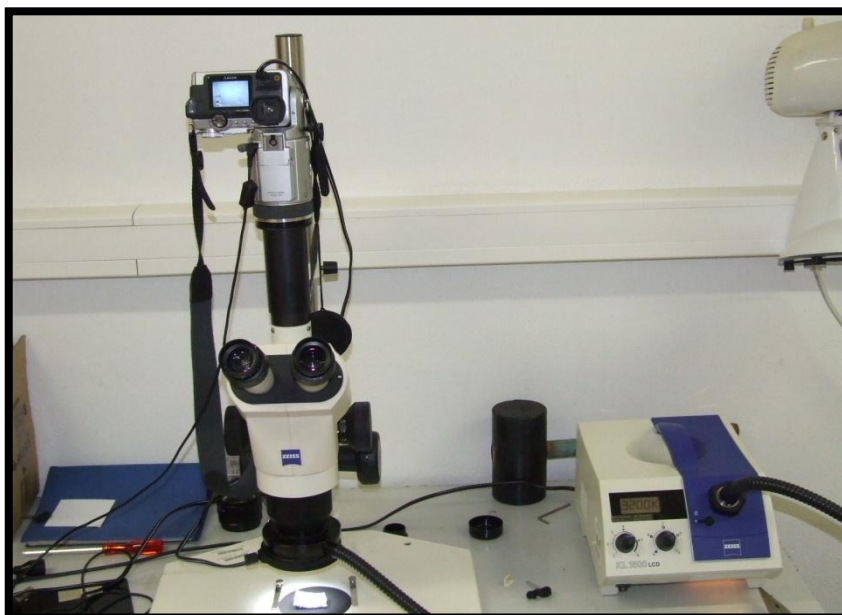
Mikroskopické metody umožňují přímé zobrazení a analýzu morfologie polymerů. Těchto metod je možno úspěšně využít pro hodnocení krystalických útvarů u polymerů. Vyznačují se obecně vysokou rozlišovací schopností, umožňující rozlišit detaily určité velikosti. Pomocí optických nebo elektronových mikroskopů tak lze zvětšit rozlišovací schopnost lidského oka. [9]

Nejčastěji se používají dva typy mikroskopů:

- Světelný – k zobrazení zvětšeného objektu se používá viditelná část spektra elektromagnetického vlnění nebo přílehlé oblasti.
- Elektronový - objekt pozorován v elektronovém svazku optické soustavy mikroskopu je tvořen až čtyřmi skupinami elektromagnetických čoček. [9]

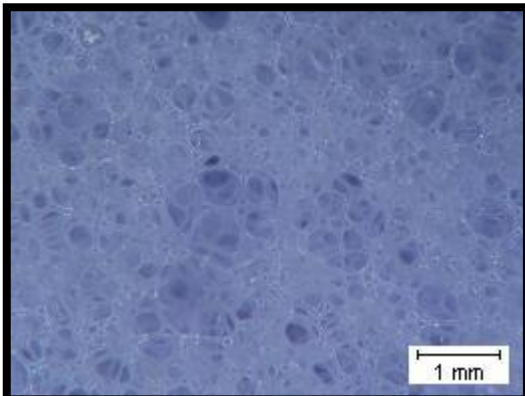
Stanovení mikroskopie pomocí (Obr. 78):

- Stereomikroskop – Zeiss STEMI 2000C, opatřený fotoaparátem,
- Zdroj studeného světla KL 1500,
- Nařezané vzorky o rozměru (2x1x5 cm).

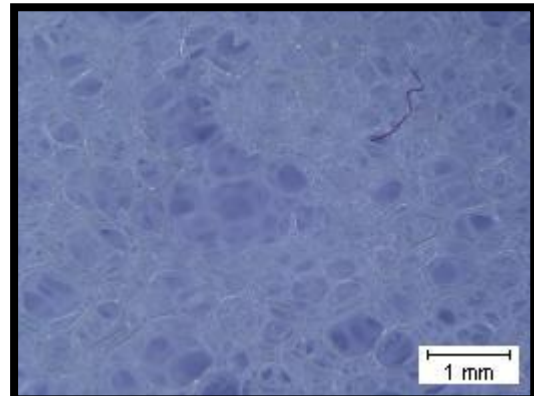


Obr. 78. Světelný mikroskop typu STEMI 2000C.

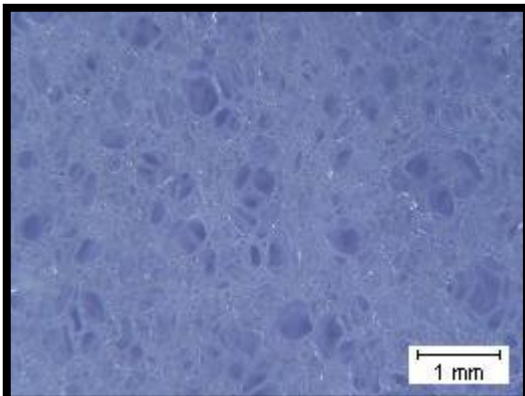
11.1 Fotky PUR pěn ze světelného mikroskopu



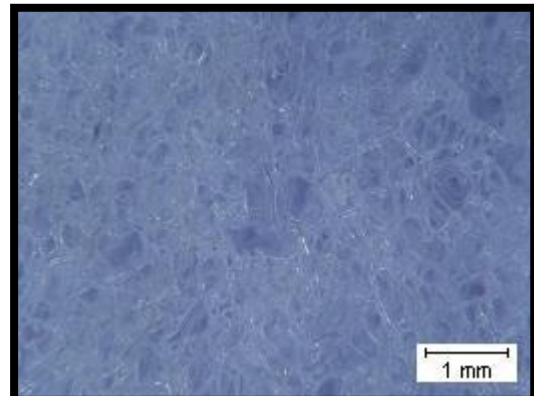
Obr. 79. Struktura PUR 1 referenční.



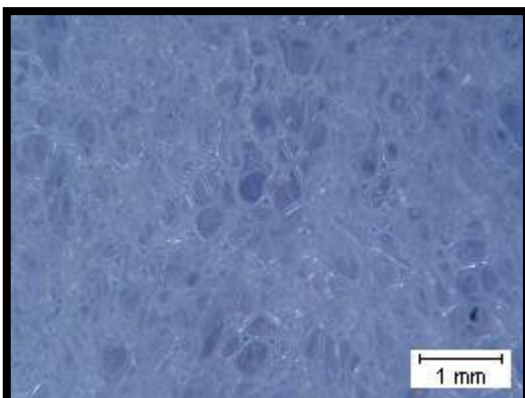
Obr. 80. Struktura PUR 1-1 referenční.



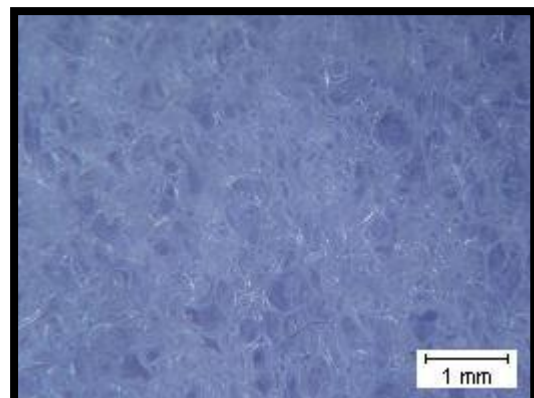
Obr. 81. Struktura PUR 4 směsi s 0,5 % Cloisite Na⁺.



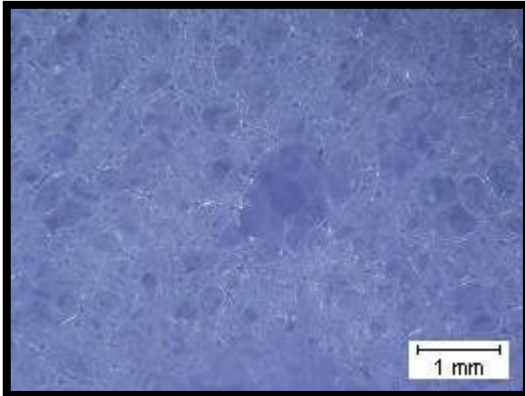
Obr. 82. Struktura PUR 3 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



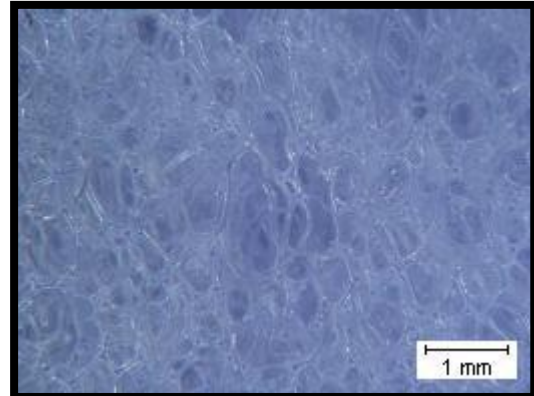
Obr. 83. Struktura PUR 3-1 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



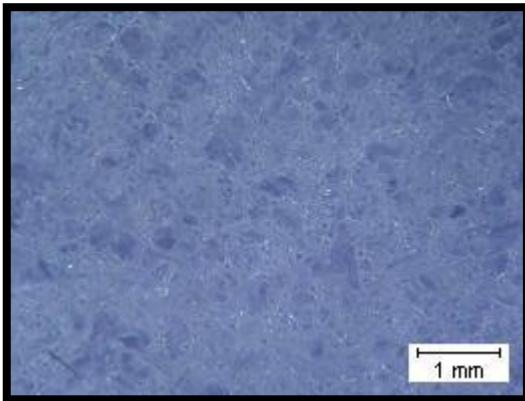
Obr. 84. Struktura PUR 2-1 směsi s 3 % Cloisite 30B.



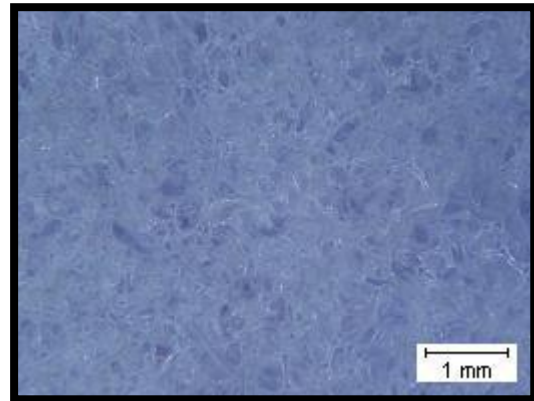
Obr. 85. Struktura PUR 7 směsi s 0,5 % Cloisite Na⁺.



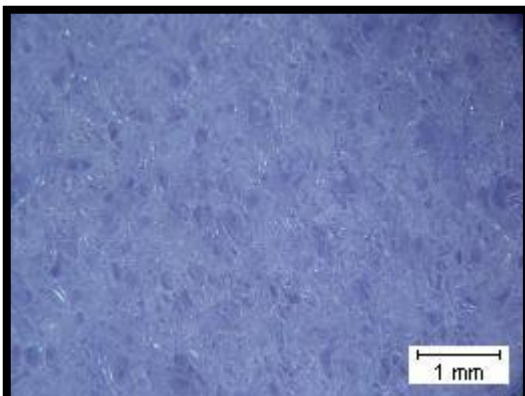
Obr. 86. Struktura PUR 6 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.



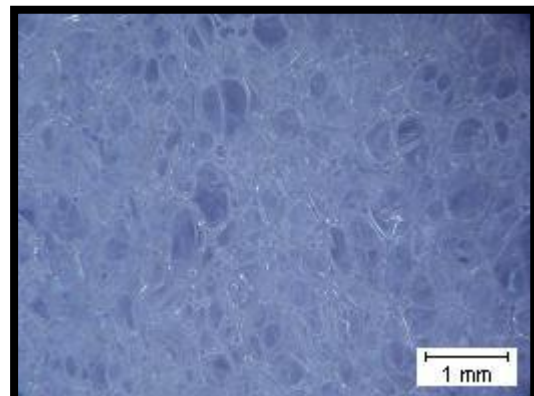
Obr. 87. Struktura PUR 9 směsi s 2 % Cloisite Na⁺.



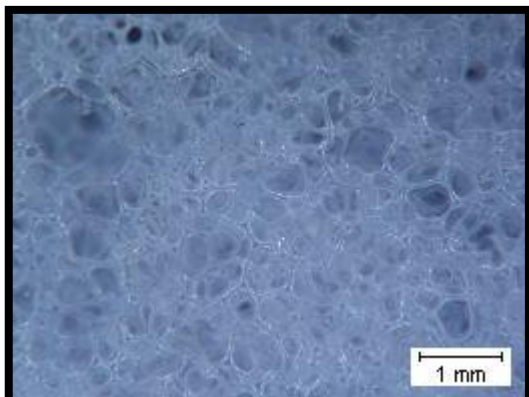
Obr. 88. Struktura PUR 5 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



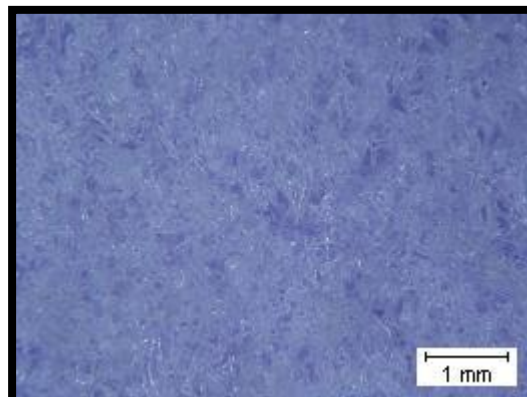
Obr. 89. Struktura PUR 8 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.



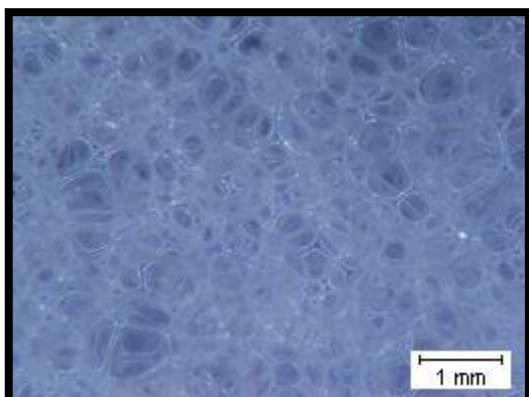
Obr. 90. Struktura PUR 10 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.



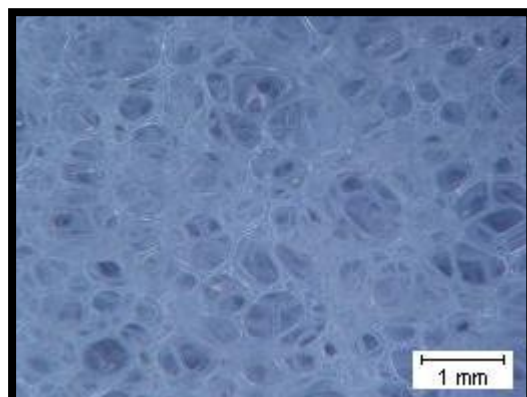
Obr. 91. Struktura PUR 11 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



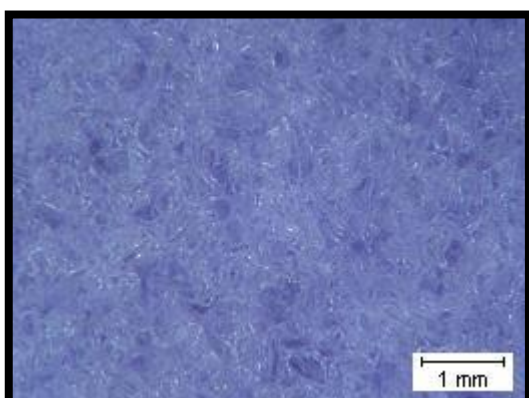
Obr. 92. Struktura PUR 16 směsi s 1 % Cloisite 30B.



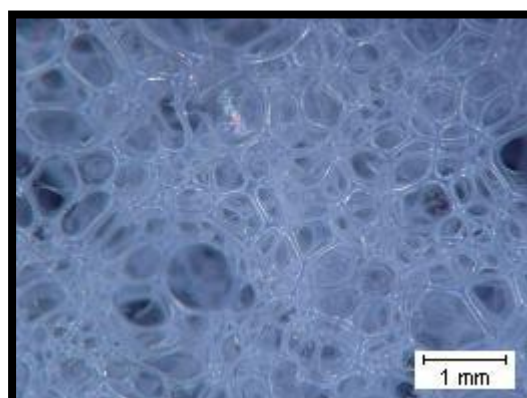
Obr. 93. Struktura PUR 12 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.



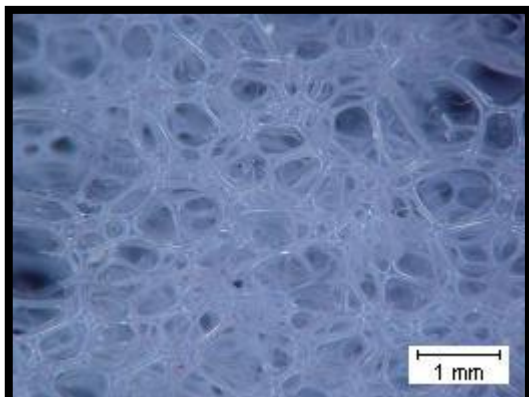
Obr. 94. Struktura PUR 13 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



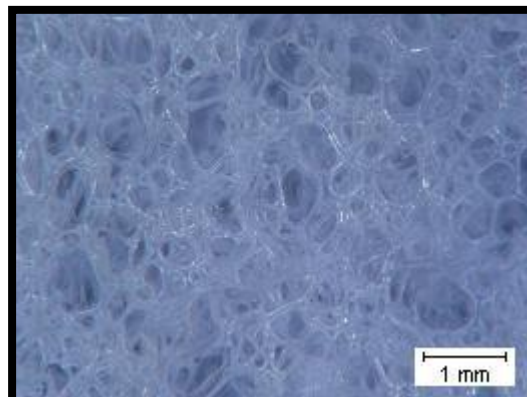
Obr. 95. Struktura PUR 17 směsi s 1 % Cloisite 30B.



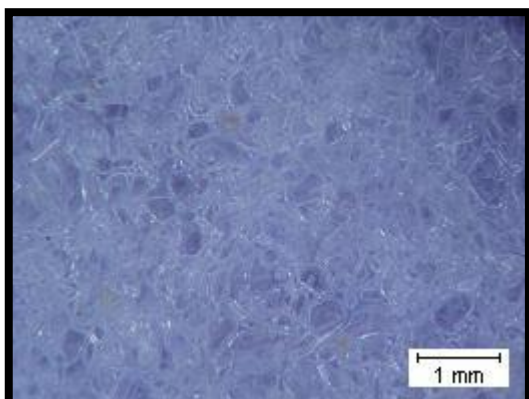
Obr. 96. Struktura PUR 23 směsi s 3 % Cloisite 20A.



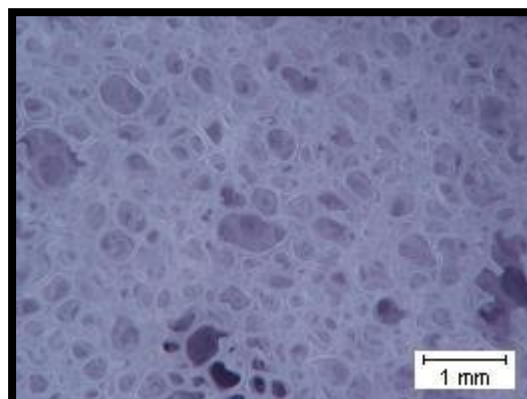
Obr. 97. Struktura PUR 24 směsi s 3 % Cloisite 25A.



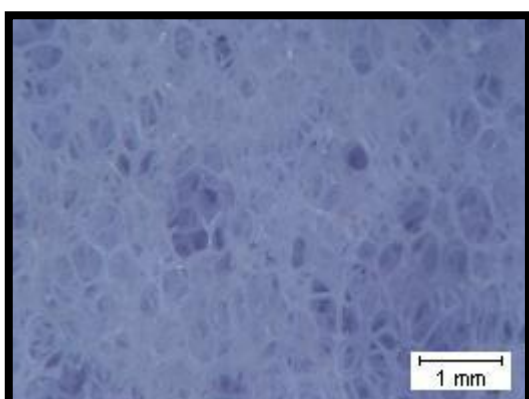
Obr. 98. Struktura PUR 26 směsi s 3 % Claytone APA.



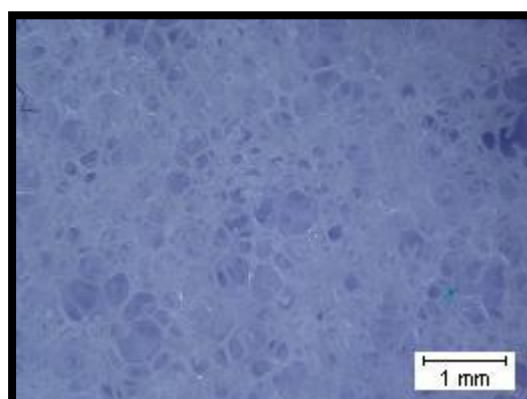
Obr. 99. Struktura PUR 27 směsi s 3 % Claytone HY.



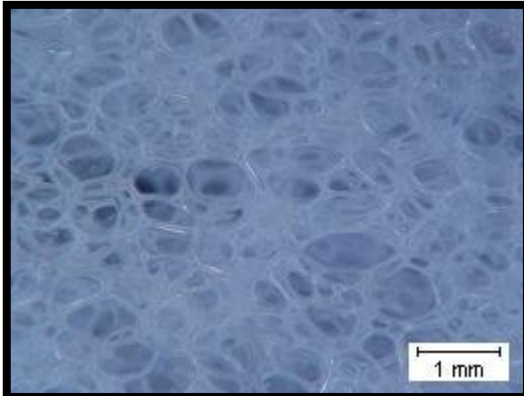
Obr. 100. Struktura PUR 33 směsi s 2 % Kaolinit s Ag.



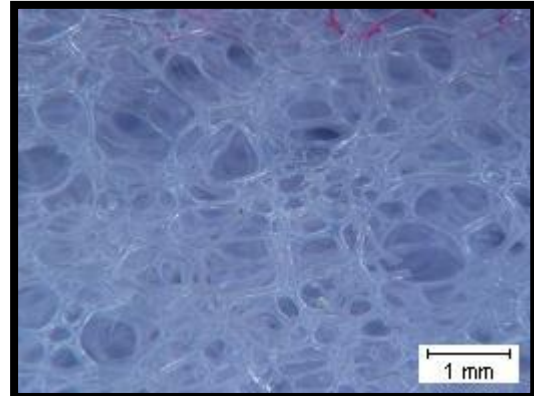
Obr. 101. Struktura PUR 36 směsi s 2 % Nanosilver.



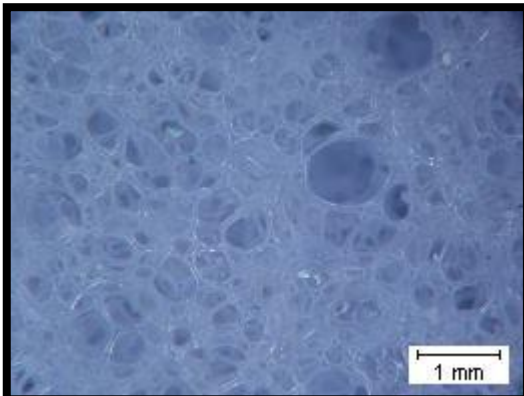
Obr. 102. Struktura PUR 37 směsi s 2 % Nanosilver.



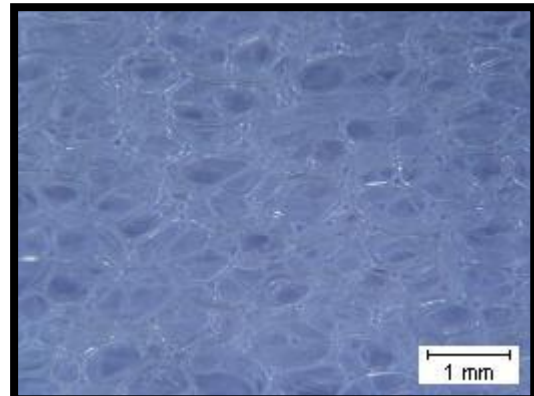
Obr. 103. Struktura PUR 1-stání 4. hod směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



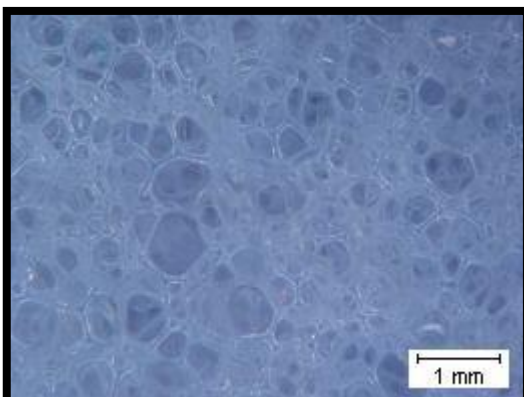
Obr. 104. Struktura PUR 2-stání 2. hod směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



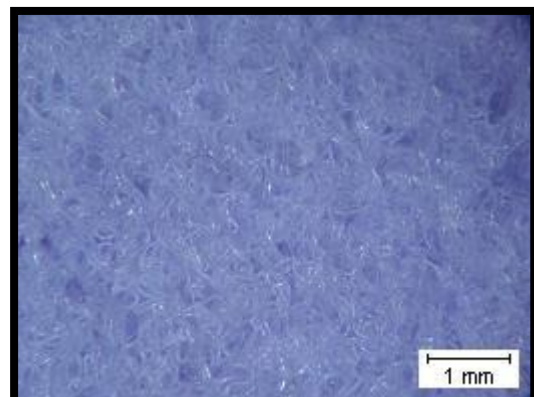
Obr. 105. Struktura PUR 3-stání 6. hod směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



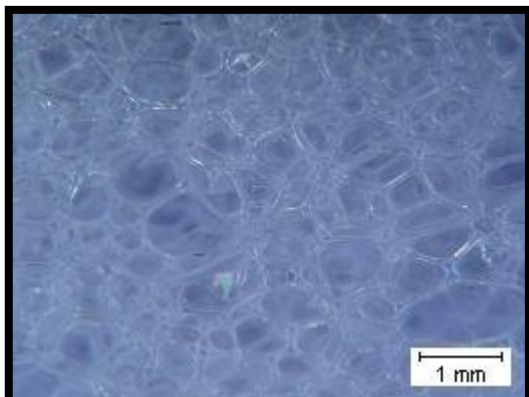
Obr. 106. Struktura PUR 14 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.



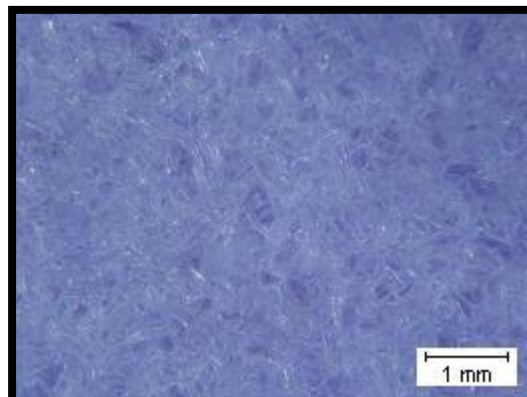
Obr. 107. Struktura PUR 15 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.



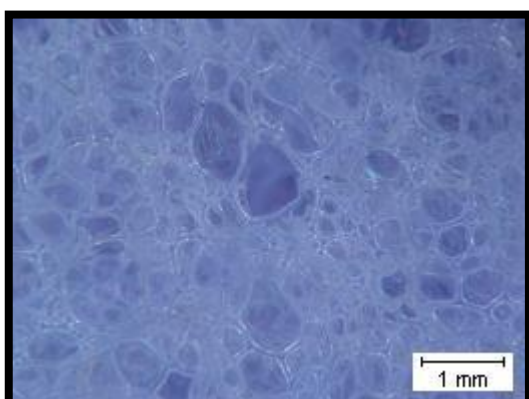
Obr. 108. Struktura PUR 18 směsi s 1 % Cloisite 30B.



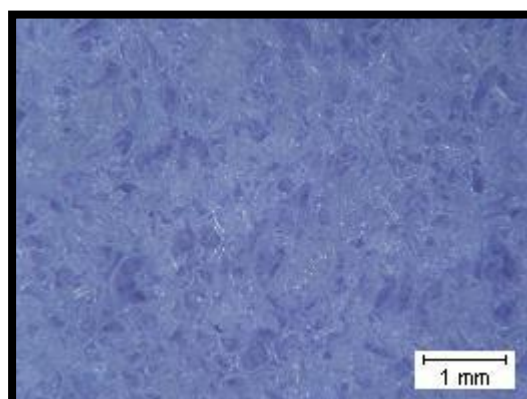
Obr. 109. Struktura PUR 20 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.



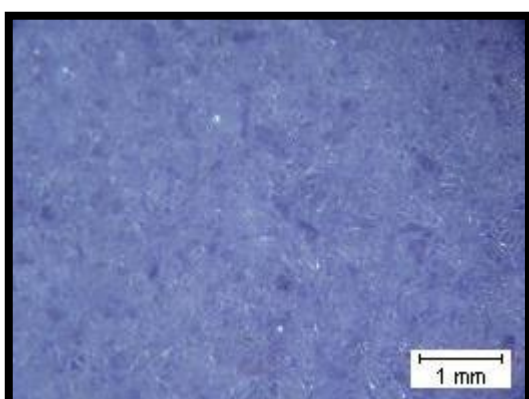
Obr. 110. Struktura PUR 19 směsi s 1 % Cloisite 30B.



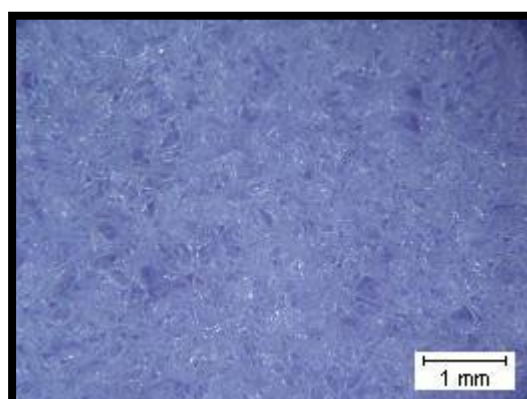
Obr. 111. Struktura PUR 21 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.



Obr. 112. Struktura PUR 29 směsi s 1 % Cloisite 25A.



Obr. 113. Struktura PUR 31 směsi s 1 % Claytone APA.



Obr. 114. Struktura PUR 32 směsi s 1 % Claytone HY.

11.2 Závěr – diskuse výsledků

Vyrobené pěny byly dále podrobeny mikroskopickému pozorování. Z tohoto pozorování plyne, že se jako nejvhodnější plnivo jeví Cloisite Na⁺. Všechny pěny s tímto jílem vykazovaly velmi podobnou strukturu, ať to bylo plnění s 1 nebo 3 %. Jedná se např. o pěny PUR 11, PUR 12, PUR 13.

Další skupina připravených pěn s plnivem Cloisite 30B, 25A, Claytone APA, Claytone HY představují pěny se zborcenou strukturou dutinek. Póry jsou pozorovatelné, ale jsou rozměrově velmi malé, bez přítomnosti větších dutin.

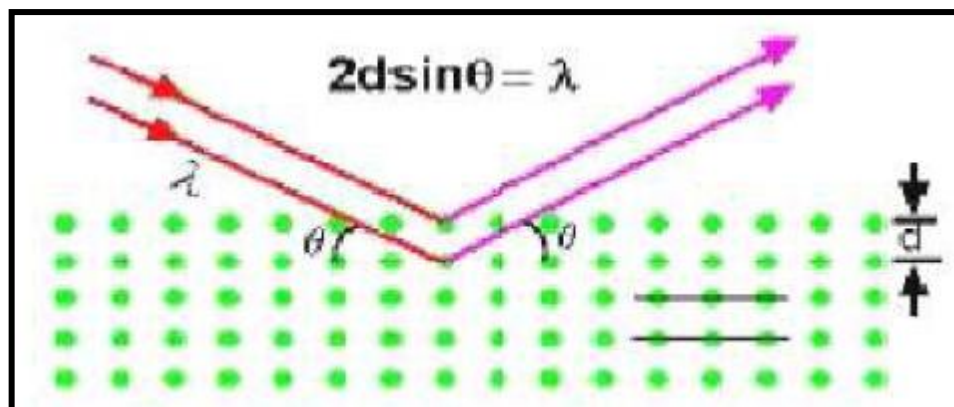
Zajímavá je směs s obsahem K/Ag, která nenapěnila jako např. PUR 13, ale přesto vykazuje jednotnou strukturu otevřených pórů. V tomto případě by, ale bylo třeba doladit složení směsi. Stejný jev byl pozorován u směsi s Nanostříbrem. Zajímavá je z hlediska struktury také směs PUR 23 s Cloisitem 20A, která oproti referenčním materiálům poskytuje větší póry.

12 RTG ANALÝZA

Metoda rentgenografie se využívá ke zhodnocení povrchů, řezů či celých vzorků difrakcí rentgenového záření. U nanokompozitů polymer/jíl jsme schopni určit vzdálenost mezi jednotlivými elementárními vrstvami a pravidelnosti jejich uspořádání. Pomocí této metody lze zjistit u nanokompozitů stupeň interkalace. Je nutné kombinovat s mikroskopickými metodami.

Jako primární zdroj rentgenových paprsků slouží Rentgenova trubice, která obsahuje 2 elektrody, mezi kterými je udržován vysoký potenciální rozdíl řádově v desítkách kV. Na dvě libovolné paralelní roviny vzdálené o **d** dopadá svazek rovnoběžných rentgenových paprsků. Interferenční maximum difrakce paprsků nastává tak, že jejich dráhový rozdíl je roven celistvému násobku vlnové délky dopadajícího záření. Dráhový rozdíl dvou paprsků je roven **2dsin θ** . Úhel θ je úhel, který svírá dopadající paprsek s rovinou krystalu. [32]

Podmínka vzniku difrakčních maxim dvou paprsků je dána Braggovou rovnicí:



Obr. 115. Grafické vyjádření Braggovy rovnice.

Je-li známa vlnová délka λ a změřen úhel θ , lze pak určit vzdálenost **d** krystalových rovin.

Na tomto oboru je založen vědní obor rentgenová strukturní analýzy. [32]

Příprava vzorků:

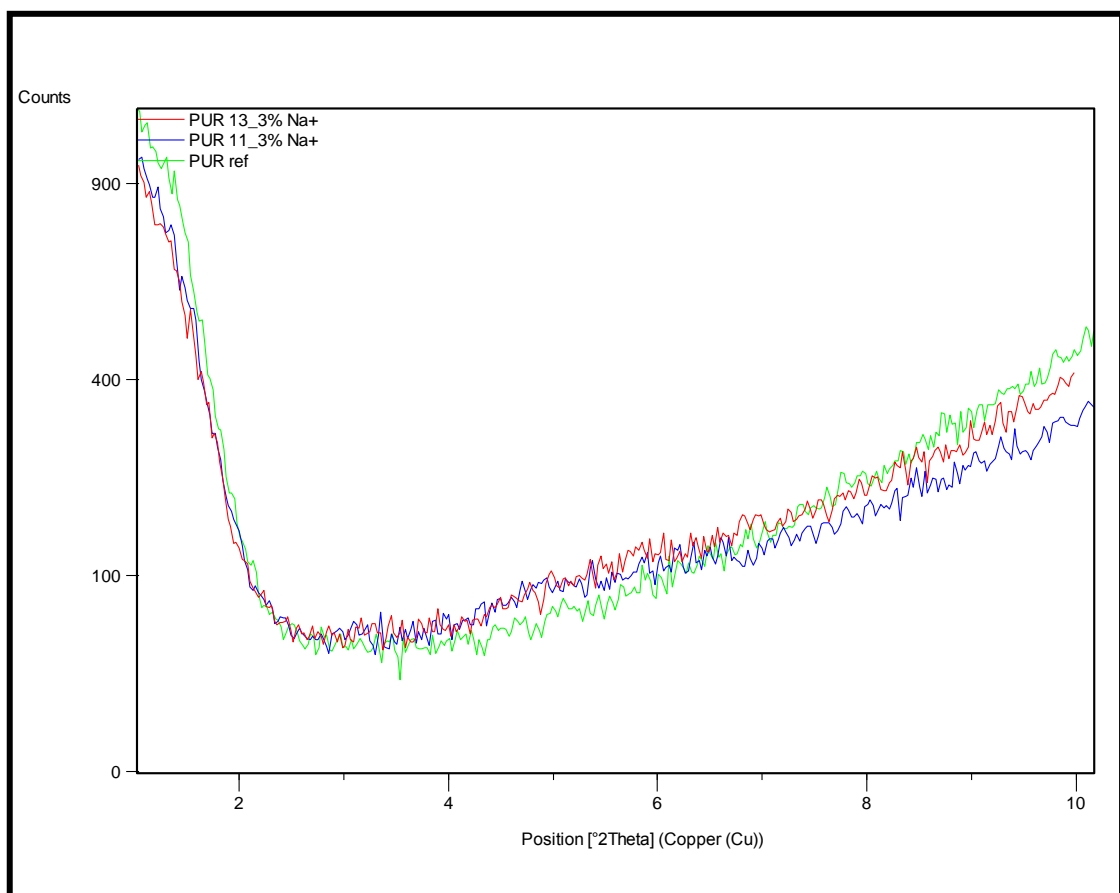
- Vzorky z PUR pěn o tloušťce 5 mm a rozměr 30 x30 mm

Podmínky:

- Struktura byla sledována pomocí přístroje PAN analytical X'Pert PRO s katodou $\text{CuK}\alpha$ v reflexním uspořádání od úhlů 2Θ : 5-15°.

12.1 Výsledky RTG analýzy

Na ukázkou uvádím záznamy pro PUR 1 ref., PUR 1 (3 % Na^+), PUR 13 (3 % Na^+). U všech připravených směsí nebylo pozorováno výrazné maximum náležející použitému jílovému plnivu.



Obr. 116. Ukázka RTG u PUR 1, PUR 11 a PUR13.

12.2 Závěr – diskuse výsledků

U připravených směsí nebyla pozorována žádná výrazná maxima náležející plnivu. Tento fakt může znamenat exfoliaci plniva ve směsi. Na snímcích z mikroskopu nebyly taktéž pozorovány žádné shluky plniva. V tomto případě však je nutné potvrdit závěry pomocí jiných měřících technik, protože 3 % plnění ve směsi je velmi malé množství vzhledem k několikanásobnému zvětšení objemu pěny.

13 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Zdánlivá hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] – poměr hmotnosti tělesa k objemu tělesa (stanovený z vnějších rozměrů) neboli hmotnost objemové jednotky materiálu i s dutinami a póry. Vnější rozměry tělesa lze stanovit měřením (u pravidelných těles) nebo pomocí tzv. hydrostatického vážení (u těles s nepravidelnými tvary). Tento způsob využívá platnosti Archimédova zákona.

Hmotnost objemové jednotky materiálu měřená za daných podmínek a zahrnující jak propustné, tak i nepropustné póry vyskytující se ve zkoušeném materiálu. [33]

13.1 Stanovení objemové hmotnosti PUR pěn

Podmínky testu:

Norma ČSN ISO 845 (64 5411). Lehčené plasty a pryže – Stanovení objemové hmotnosti.

- Min. 3 zkušební vzorky o rozměru 100x100x50 mm.

Zkušební tělesa potřebná pro stanovení objemové hmotnosti lze odřezat z vyrobených vzorků nejdříve za 72 hodin po jejich vyrobení. Vyrobena PUR pěna se zbaví kůry, která vznikla během tváření.

Zkušební tělesa se kondicionují po dobu nejméně 16 hodin ve standardní atmosféře nebo v exsikátoru (suché podmínky) 23 ± 2 °C, relativní vlhkosti 50 ± 5 %.

Zkušební tělesa musí mít takový tvar, aby se jejich objem mohl snadno vypočítat. Rozměr zkušebního tělesa by měl být, pokud možno, co největší. [33]

Zkouška se provádí za laboratorních podmínek. Připravené vzorky se zváží na laboratorních vahách s přesností na 0,001 g. Pomocí posuvného měřítka se změří všechny strany vzorku. Vše se dosadí do vzorce (viz. 5) a vypočítá se jako aritmetický průměr. [33]

Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti:

$$\rho = \frac{m}{v}, \quad [\text{kg/m}^3] \quad (5)$$

kde m = hmotnost [kg]

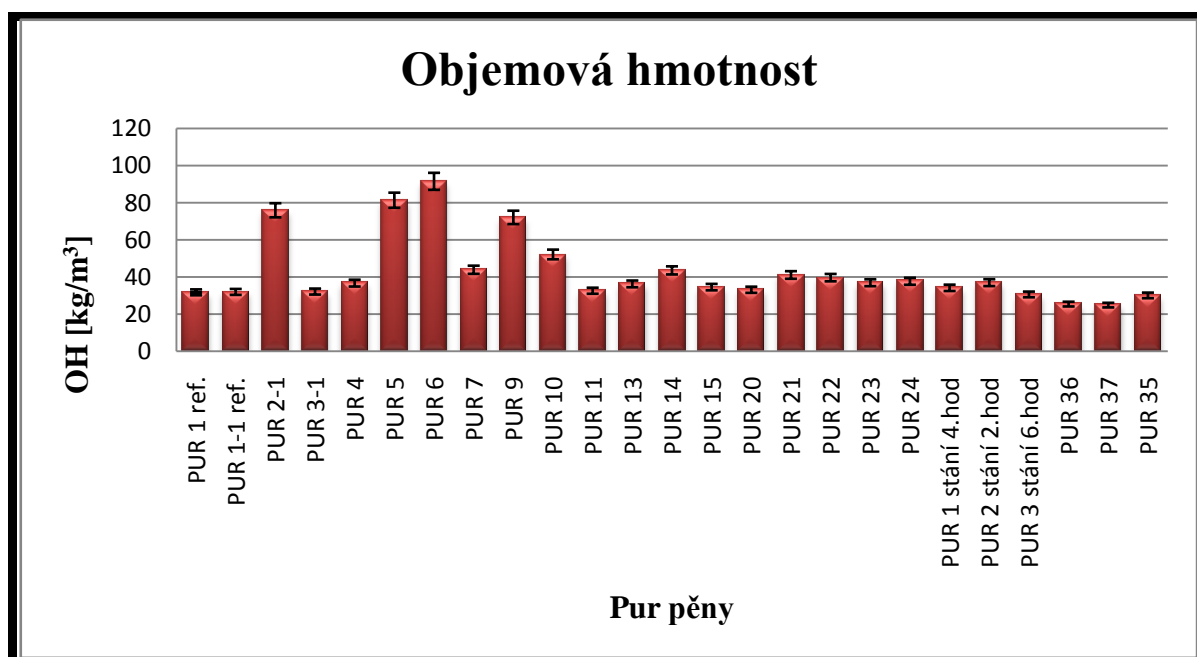
v = objem [m^3] [33]

13.1.1 Výsledky objemové hmotnosti PUR pěn

Tab. X. Objemové hmotnosti (OH).

PĚNY	ROZMĚR [mm]			m [g]	V[mm ³]	OH [kg/m ³]	Ø OH [kg/m ³]	Odchylky [kg/m ³]
	a	b	c					
PUR 1 ref.	98,05	100,95	49,20	15,16	486988,85	31,13	31,79	0,78
	98,91	99,15	51,67	16,58	506723,89	32,72		
	100,1	98,66	49,57	15,43	489546,67	31,52		
PUR 1-1 ref.	100,6	97,80	48,54	14,98	477569,52	31,37	32,01	0,89
	99,26	97,65	48,63	15,39	471357,89	32,65		
PUR 2-1	108,33	104,29	50,00	42,92	564886,78	75,98	75,98	22,99
PUR 3-1	100,59	97,51	46,45	15,22	455606,26	33,41	32,20	1,30
	97,66	99,21	48,87	14,67	473494,03	30,98		
PUR 4	102,02	99,30	48,33	17,18	489611,22	35,10	36,75	3,00
	101,85	100,11	49,74	19,45	507159,16	38,40		
PUR 5	105,54	101,77	51,03	47,72	548103,32	87,10	81,40	22,84
	104,99	103,89	50,07	41,33	546134,07	75,70		
PUR 6	108,34	101,27	53,66	53,91	588735,61	91,57	91,57	30,79
PUR 7	101,57	102,78	47,08	21,04	491485,28	42,80	43,95	6,20
	105,59	103,83	47,30	23,40	518569,27	45,10		
PUR 9	111,92	101,03	48,21	44,34	545123,85	81,34	72,15	18,73
	116,52	103,98	50,09	38,20	606877,89	62,95		
PUR 10	103,92	105,41	51,98	36,67	569399,69	64,40	52,18	13,08
	106,79	110,47	54,64	25,76	644593,06	39,96		
PUR 11	101,07	96,48	48,40	14,92	471959,70	31,61	32,65	1,28
	98,54	95,13	50,99	16,10	477985,87	33,68		
PUR 13	102,03	96,32	50,11	17,47	492457,50	35,50	36,33	2,38
	101,45	99,13	49,79	18,92	500725,00	37,80		
	100,91	97,94	50,48	17,83	498900,17	35,70		
PUR 14	105,55	98,09	50,22	22,67	519947,72	43,60	43,60	6,80
PUR 15	99,59	98,68	48,51	16,74	476734,02	35,10	34,60	1,73
	100,09	98,45	49,61	16,47	488850,01	33,70		
	100,25	99,98	49,17	17,25	492830,66	35,00		
PUR 20	101,35	100,35	50,67	18,07	515337,84	35,10	33,17	1,93
	99,47	98,34	50,86	15,36	497506,40	30,90		
	100,51	99,92	48,63	16,35	488389,10	33,50		

PĚNY	ROZMĚR [mm]			m [g]	V[mm ³]	OH [kg/m ³]	ø OH [kg/m ³]	Odchyly [kg/m ³]
	a	b	c					
PUR 21	99,84	99,70	50,31	20,64	500788,15	41,20	41,13	4,18
	100,55	99,23	49,51	20,79	493989,81	42,10		
	98,39	100,16	48,70	19,23	479925,95	40,10		
PUR 22	99,08	97,25	49,89	4807	480716,59	39,50	39,70	4,31
	100,80	100,85	50,35	5118	511841,98	39,90		
PUR 23	101,79	101,10	50,70	5217	521752,12	32,00	36,95	4,84
	103,55	104,55	49,30	5337	533729,31	41,90		
PUR 24	103,69	102,90	52,08	5556	555678,02	43,60	37,75	5,62
	102,73	102,26	51,16	5374	537444,48	31,90		
PUR1 stání 4. hod	100,91	99,66	49,76	16,52	500420,92	33,00	34,20	1,87
	101,03	100,38	50,59	18,15	513052,99	35,40		
PUR2 stání 2. hod	101,67	100,91	50,02	19,47	513181,17	37,90	37,00	2,63
	100,99	99,85	49,79	18,77	502074,96	37,40		
	100,00	99,09	49,76	17,59	493071,84	35,70		
PUR3 stání 6. HOD	102,67	101,32	49,01	15,69	509827,72	30,80	30,65	0,29
	100,76	99,27	50,66	15,44	506723,87	30,50		
PUR 36	101,89	102,80	49,30	13,87	516382,59	26,90	25,45	2,02
	101,41	102,49	49,15	12,26	510841,06	24,00		
PUR 37	100,98	102,68	49,74	5157	515735,47	24,30	24,90	2,23
	101,07	102,90	51,60	5366	536645,31	26,80		
	101,35	101,85	50,79	5242	524279,64	23,60		
PUR 35	102,17	100,06	48,48	15,13	495617,35	30,50	30,13	0,88
	101,64	98,28	48,22	13,76	481678,22	28,60		
	101,41	99,02	48,88	14,48	490834,29	29,50		
	101,70	100,35	48,74	15,85	497420,70	31,90		



Obr. 117. Znázornění objemových hmotností ve sloupcovém grafu.

13.2 Závěr – diskuse výsledků

Objemová hmotnost referenčních materiálů připravených různým postupem se liší o necelé 1%, když PUR 1 má objemové hmotnosti $31,79 \text{ kg/m}^3$ a PUR 1-1 má objemové hmotnosti $32,01 \text{ kg/m}^3$.

Z obr. 120 plyne, že podobnou objemovou hmotnost k referenčním materiálům mají směsi PUR 3-1, PUR 11, PUR 15, PUR 20, PUR 1 stání 4. hod, PUR 3 stání 6. hod a PUR 35. Těsně nad 10% změnu objemové hmotnosti se dostaly vzorky PUR 4, PUR 13, PUR 23.

Pěny s velmi vysokou objemovou hmotností, představují směsi, u nichž došlo ke zborcení struktury. Jedná se o pěny PUR 2-1, PUR 5, PUR 6, PUR 9 s obsahem síťovacího katalyzátoru 0,6-0,3 g. Proto se postupně snižovala navážka katalyzátoru.

Mezi vzorky jsou i dvě pěny PUR 36 a PUR 37, které vykazují naopak nízkou objemovou hmotnost s obsahem plniva nanostříbra. Bylo to způsobeno tím, že pěny byly připravené s upravenou navážkou katalyzátoru 0,15 g. U tohoto typu plniva by bylo vhodné upravit množství katalyzátoru, tak aby byla získána požadovaná objemová hmotnost.

14 ODRAZOVÁ PRUŽNOST

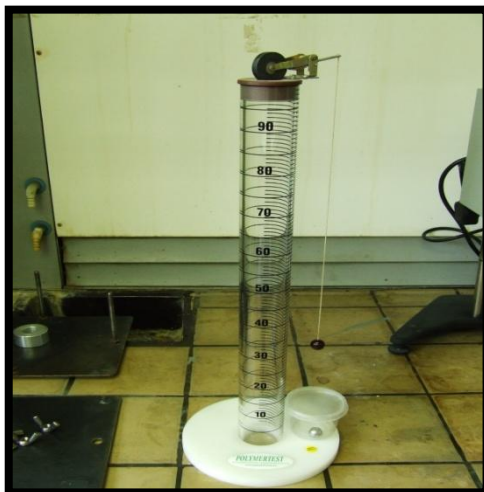
Je obvykle nepřímo úměrná koncentraci plniva a jeho ztužujícímu účinku a hysterze je nepřímo úměrná odrazové pružnosti. [34]

14.1 Stanovení odrazové pružnosti z odskoku kuličky u PUR pěn

Materiál pro stanovení odrazové pružnosti z odskoku kuličky podle normy ČSN EN ISO 8307 (64 5438) se smí zkoušet po 72 hodinách od vyrobení. Zkušební tělesa se před zkouškou kondicionují v neprohnutém a nezkrouceném stavu, alespoň 16 hodin při teplotě $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, relativní vlhkost $(50 \pm 5) \%$.

Zkušební tělesa musí mít horní a spodní povrch rovný a rovnoběžný. Z každého vzorku se zkoušejí tři zkušební tělesa. Tato tři zkušební tělesa se mohou získat buď z různých vzorků, nebo z různých míst jednoho vzorku.

Zkušební zařízení pro měření odskoku kuličky (Obr. 118) se skládá z vertikální průhledné trubice o vnitřním průměru 30 mm až 65 mm, uvnitř této trubice se pomocí magnetu uvolňuje ocelová kulička o průměru $(16 \pm 0,5) \text{ mm}$. Ocelová kulička se uvolňuje tak, aby padala bez rotace a středem trubice. [35]



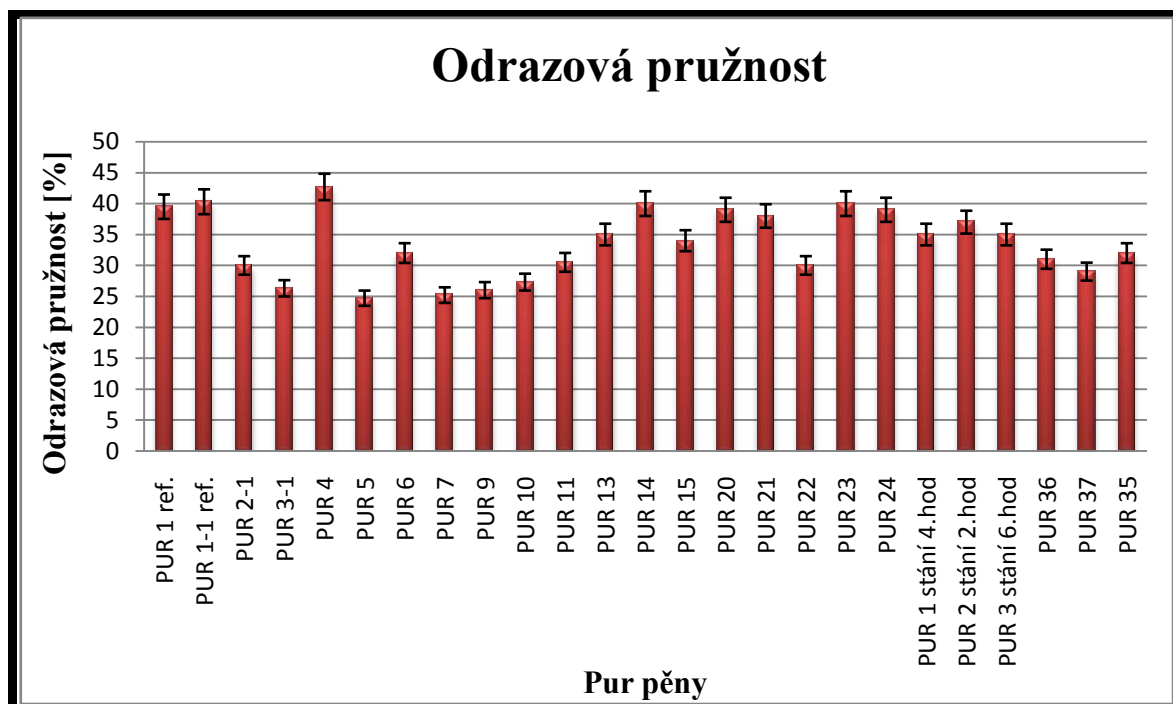
Obr. 118. Měření odrazové pružnosti.

14.1.1 Výsledky odrazové pružnosti z odskoku kuličky PUR pěn

Ocelová kulička se upevní do spouštěcího mechanismu, uvolní se a zaznamená se maximální výška odskoku. Kulička se při pádu nebo odrazu nesmí dotknout stěny trubice, pak by byl výsledek neplatný. U tří vzorků se musí během 1min. získat série nejméně tři hodnot odrazu. [35]

Tab. XI. Odrazová pružnost z odskoku kuličky.

PĚNY	VZORKY [%]									Ø odrazové pružnosti [%]	Odchylka [%]
	1.			2.			3.				
PUR 1 ref.	40	40	40	39	39	40	39	39	40	39,5	0,48
PUR 1-1 ref.	40	41	40	41	40	41	-	-	-	40,3	0,49
PUR 2-1	30	30	30	-	-	-	-	-	-	30,0	3,75
PUR 3-1	26	26	26	26	27	27	-	-	-	26,3	3,35
PUR 4	43	43	43	42	43	42	-	-	-	42,7	0,82
PUR 5	25	25	26	24	24	24	-	-	-	24,7	3,76
PUR 6	32	32	32	-	-	-	-	-	-	32,0	3,00
PUR 7	24	25	24	26	26	26	-	-	-	25,2	3,63
PUR 9	24	24	24	28	28	28	-	-	-	26,0	3,43
PUR 10	28	28	26	27	27	28	-	-	-	27,3	3,10
PUR 11	30	28	30	31	32	32	-	-	-	30,5	2,41
PUR 13	34	34	35	35	34	36	35	35	35	35,0	1,08
PUR 14	40	38	41	-	-	-	-	-	-	40,0	0,88
PUR 15	32	34	35	35	35	36	33	33	34	34,0	1,50
PUR 20	38	41	41	35	38	40	37	42	42	39,0	1,92
PUR 21	35	37	38	42	42	43	34	33	35	38,0	3,10
PUR 22	30	31	28	30	31	30	-	-	-	30,0	2,45
PUR 23	42	43	43	35	36	37	-	-	-	40,0	2,94
PUR 24	39	39	39	40	39	39	-	-	-	39,0	0,41
PUR1 STÁNÍ 4. HOD	35	35	36	33	34	34	-	-	-	35,0	1,55
PUR2 STÁNÍ 2. HOD	36	35	35	38	40	39	38	39	38	37,0	1,48
PUR3 STÁNÍ 6. HOD	34	36	35	35	35	36	-	-	-	35,0	1,27
PUR 35	30	31	32	33	33	33	31	32	33	32,0	1,60
PUR 36	32	31	32	30	30	31	-	-	-	31,0	2,20
PUR 37	28	27	28	30	30	30	30	31	29	29,0	2,08



Obr. 119. Znázornění odrazové pružnosti z odskoku kuličky ve sloupcovém grafu.

14.2 Závěr – diskuse výsledků

Z výsledku odrazové pružnosti plyne, že rozdíly v testovaných PUR pěnách byly způsobeny jednak typem plniva a jeho % zastoupením. Odrazovou pružnost velmi ovlivnil také síťovací katalyzátor

Referenční vzorky PUR pěn PUR 1 a PUR 1-1 se liší o 2 %, což není výrazný rozdíl.

V první fázi přípravy PUR pěn vykazovaly vzorky odrazovou pružnost nižší než u referenčních pěn. Jedná se o směsi PUR 5, PUR 6, PUR 7, PUR 9, PUR 10 s obsahem síťovacího katalyzátoru 0,6-0,3 g. Nejhorší změna odrazové pružnosti byla pozorována u PUR 5 s 3 % Na^+ a 0,45 g síťovacího katalyzátoru. Naopak nejvyšší hodnotu odrazové pružnosti vykazoval vzorek PUR 4 s 0,5% Na^+ .

Mezi vzorky, které se blíží referenčním materiálům (změna do 10 %) patří PUR 4, PUR 14, PUR 20, PUR 23, PUR 24 a PUR 2 stání 2 hod.

U všech vzorků hraje velkou roli obsah katalyzátoru, který je důležitou složkou pro výrobu PUR pěny. Není vůbec jednoduché najít optimální poměr složek, které by byly vyhovující pro všechny typy plniv.

15 TRVALÁ DEFORMACE

Trvalá deformace je definována jako rozdíl mezi počáteční a konečnou tloušťkou zkušebního tělesa z lehčeného materiálu po stlačení na určitou dobu za dané teploty a po stanovené době zotavení, přičemž se tento rozdíl vztahuje na původní tloušťku. [36]

15.1 Stanovení trvalé deformace v tlaku PUR pěn

Stanovení zkoušky trvalé deformace podle normy ČSN EN ISO 1856 (64 5442) se provádělo podle metody B při standardní teplotě kondicionování. (23 ± 2) °C. [36]

Zkušební těleso se vystaví po stanovenou dobu a při dané teplotě konstantnímu stlačení a zaznamená se účinek na tloušťku zkušebního tělesa po odlehčení.

Zkouší se minimálně tři vzorky o rozměrech 50x50x50 mm (± 1 mm). Materiál nesmí být hodnocený dříve než za 72 hodin po jejich výrobě. Před zkouškou se tělesa kondicionují nejméně 16 hodin v prostředí (23 ± 2) °C a relativní vlhkosti (50 ± 5) %.

Zkoušení je běžně prováděno ve směru, ve kterém je konečný výrobek zatěžován v provozních podmínkách.

Zkouška může být prováděna podle metoda A, B nebo C nebo podle všech tří. Tyto tři použité metody nemusí dávat shodné výsledky.

METODA A: stlačení při 70 °C

METODA B: stlačení při standardní teplotě kondicionování

METODA C: stlačení při zvlášť stanovených podmínkách. [36]

Postup pro stanovení trvalé deformace v tlaku:

Po kondicionování zkušebního tělesa (23 ± 2) ° C a relativní vlhkosti (50 ± 5) % se měří jeho počáteční tloušťka. Zkušební těleso nebo sestava se vloží mezi desky stlačovacího zařízení (Obr. 120) a stlačí se při 50 % jeho tloušťky a ponechá se v tomto stavu 72 hodin při 23 ± 2 °C a $50 \pm$ % relativní vlhkosti.

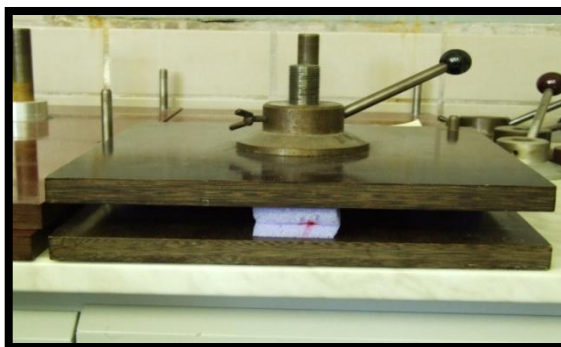
Po 72 hodinách se zkušební těleso vytáhne ze stlačovacího zařízení a znovu po 30. min se změří jeho tloušťka po deformaci. Dosadí se do vzorce (viz. 6) a vypočítá se trvalá deformace. [36]

Vzorec pro výpočet trvalé deformace v tlaku:

$$c. s. = \frac{d_0 - d_r}{d_0} * 100, \quad [\%] \quad (6)$$

kde d_0 je původní tloušťka zkušebního tělesa v mm

d_r tloušťka zkušebního tělesa po zotavení [36]



Obr. 120. Zařízení pro stanovení trvalé deformace.

15.1.1 Výsledky trvalé deformace v tlaku PUR pěn

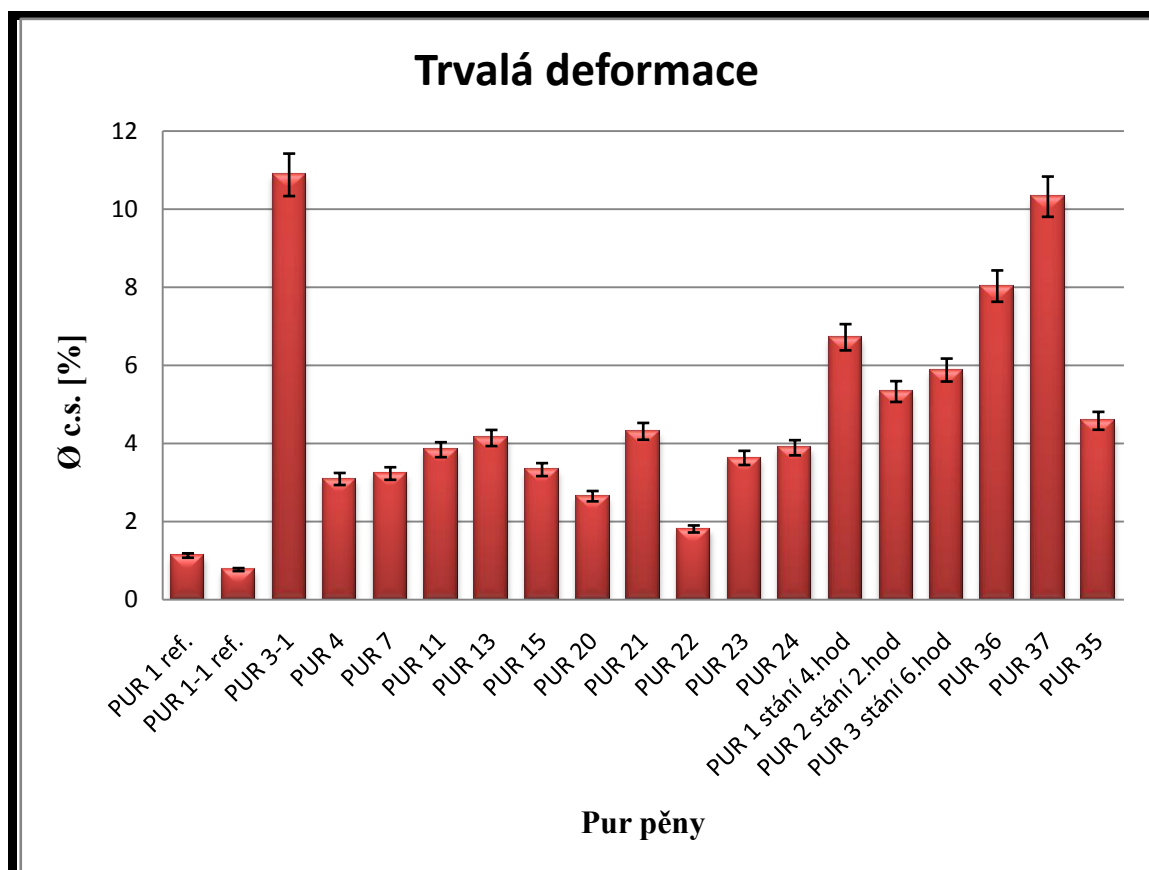
Výsledky pro zkoušku trvalé deformace jsou uvedeny v tabulce XII

Tab. XII. Trvalá deformace v tlaku.

Pěny	Rozměr		c.s. [%]	Ø c.s. [%]	Odchyly [%]
	d_0 [mm]	d_r [mm]			
PUR 1 ref.	51,51	50,83	1,32	1,13	0,10
	51,51	51,02	0,95		
	48,53	47,99	1,11		
	48,68	48,13	1,13		
PUR 1-1 ref.	51,23	50,81	0,82	0,77	0,11
	51,23	50,94	0,57		
	50,01	49,62	0,78		
	51,18	50,72	0,90		
PUR 3-1	49,58	44,10	11,05	10,88	3,71
	50,86	45,36	10,81		
	50,05	44,65	10,79		
PUR 4	51,79	50,06	3,34	3,09	0,70
	50,70	49,38	2,60		
	51,41	49,74	3,25		
	48,40	46,87	3,16		
PUR 7	51,37	49,89	2,88	3,23	0,71
	48,67	46,81	3,82		
	51,57	50,04	2,97		
	51,54	49,87	3,24		

Pěny	Rozměr		c.s. [%]	Ø c.s. [%]	Odchylky [%]
	d ₀ [mm]	d _r [mm]			
PUR 11	50,77	48,47	4,53	3,84	0,91
	52,06	50,06	3,84		
	51,12	49,32	3,52		
	51,37	49,59	3,47		
PUR 13	49,74	47,59	4,32	4,14	1,01
	49,02	47,05	4,02		
	49,63	47,61	4,07		
	49,32	47,27	4,16		
PUR 15	50,17	48,64	3,05	3,33	0,75
	50,36	48,54	3,61		
	50,37	48,61	3,49		
	50,03	48,44	3,18		
PUR 20	50,86	49,61	2,46	2,65	0,53
	50,86	49,32	3,03		
	50,87	49,45	2,79		
	50,88	49,70	2,32		
PUR 21	48,96	47,06	3,88	4,31	1,06
	49,55	47,17	4,8		
	49,19	47,32	3,80		
	49,21	46,87	4,76		
PUR 22	50,35	49,76	1,17	1,81	0,45
	49,53	48,52	2,04		
	49,69	48,8	1,79		
	51,45	50,29	2,25		
PUR 23	49,98	48,30	3,36	3,63	0,84
	53,24	51,00	4,21		
	49,83	48,13	3,41		
	50,17	48,39	3,55		
PUR 24	52,00	49,95	3,94	3,89	0,92
	50,95	49,13	3,57		
	51,97	49,88	4,02		
	50,35	48,32	4,03		
PUR1 STÁNÍ 4. HOD	50,94	47,55	6,65	6,72	1,83
	50,52	47,11	6,75		
	49,79	46,58	6,45		
	51,29	47,68	7,04		
PUR2 STÁNÍ 2. HOD	49,54	46,68	5,77	5,33	1,38
	48,87	46,25	5,36		
	51,17	48,5	5,22		
	49,91	47,44	4,95		
PUR STÁNÍ 6.HOD	49,63	46,83	5,64	5,88	1,56
	50,52	47,78	5,42		
	50,51	47,3	6,36		
	50,37	47,31	6,08		
PUR 36	49,98	45,27	9,42	8,03	2,64
	50,31	46,58	7,41		
	50,66	46,98	7,26		
PUR 37	51,26	46,23	9,81	10,32	3,50
	51,36	46,99	8,51		
	51,81	45,26	12,64		

Pěny	Rozměr		c.s. [%]	Ø c.s. [%]	Odchylky [%]
	d ₀ [mm]	d _r [mm]			
PUR 35	49,82	47,63	4,39	4,58	1,15
	47,32	45,22	4,43		
	48,87	46,55	4,74		
	48,20	45,89	4,79		



Obr. 121. Znárodnění trvalé deformace ve sloupcovém grafu.

15.2 Závěr – diskuse výsledků

Z testů trvalé deformace v tlaku bylo zjištěno, že tato sledovaná vlastnost je ovlivněna způsobem přípravy PUR pěny. Již u referenčních materiálů lze pozorovat značný rozdíl mezi vzorkem připraveným bez stání a se stáním. Tento rozdíl činí přibližně 30 % ve prospěch vzorku PUR 1 se stáním 15 min. U PUR pěn s 3 % Na⁺ s rozdílným stáním se jako nejlepší jeví vzorek jeví z tohoto pohledu PUR 13 se stáním 15 min.

Dále lze konstatovat, že všechny připravené vzorky mají větší trvalou deformaci než referenční materiál, což je u PUR pěn tohoto typu nežádoucí. Znamená to, že při zatížení dochází k deformaci pěny. U pěn se to může projevit např. proležením matrací nebo sedadel u aut. Nejmenší zhoršení bylo zaznamenáno u PUR 22, ale i zde je zhoršení okolo 60 %, což je výrazná změna. Nejhorší odolnost deformaci v tlaku vykazuje pěna PUR 3-1, kde trvalá deformace je až 10,88 % a je tedy přibližně 10x horší než referenční materiál. U většiny vzorků se hodnoty trvalé deformace v tlaku pohybují mezi 3-4%, což představuje zhoršení 3x-4x vůči referenčnímu materiálu.

16 SAG FAKTOR

16.1 Stanovení Sag faktoru v PUR pěnách

Zkouška byla stanovena podle ČSN EN ISO 2439, Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení tvrdosti vtláčováním. Zkouška se provádí na zkušebním zařízení pro stanovení tvrdosti vtláčováním s přesností $\pm 1 \%$ nebo $\pm 1 \text{ N}$.

Odlišnosti:

- Podložka je bez odvzdušňovacích otvorů.
- Vtláčovací kotouč o průměru 160 mm.
- Zkušební těleso o rozměru 100x100x50 mm
- Předsíla 1,59 N [37]

Postup pro stanovení Sag faktoru:

- 1) Zkušební těleso o rozměru 100x100 (± 1) mm a tloušťkou 50 (± 1) mm.
- 2) Zkouší se minimálně 3 zkušební tělesa.
- 3) Připravené zkušební tělesa se kondicionují po dobu nejméně 16 hodin při teplotě $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $50 \pm 5 \%$.
- 4) Měření se provádí na zkušebním zařízení TIRA (Obr. 122), podle DIN 53576 metoda B.
- 5) Nastaví se před sila 1,59 N a změří se tloušťka.
- 6) Do povrchu zkušební tělesa se vtláčeje zkušební kotouč rychlostí $100 \pm 20 \text{ mm/min}$ tak, aby se zkušební těleso stlačilo o $70 \pm 2,5 \%$ jeho tloušťky.
- 7) Po dosažení stlačení 70 % se vtláčovací zátěž stejnou rychlostí uvolní. Stlačení a následné uvolnění se ještě 2 x zopakuje.
- 8) Okamžitě po třetím uvolnění vtláčovací síly se zkušební těleso stlačí o $25 \pm 1 \%$ jeho tloušťky a toto stlačení se udržuje po dobu 30 s a změří se vynaložená síla.
- 9) Zvýší se stupeň stlačení na $40 \pm 1 \%$ a po 30 s se změří vynaložená síla.
- 10) Opět se zvýší stlačení na $65 \pm 1 \%$ a po 30 s se změří vynaložená síla.
- 11) Hodnota sag faktoru se vypočítá podle vzorce (viz. 8).
- 12) Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr hodnot sag faktorů u jednotlivých zkušebních těles. [37]

Vzorec pro výpočet Sag faktoru:

$$sag = \frac{EH_{65}}{EH_{25}}, \quad [-] \quad (8)$$

kde EH_{65} – síla potřebná ke stlačení zkušebního tělesa o 65 %

EH_{25} – síla potřebná ke stlačení zkušebního tělesa o 25 % [37]



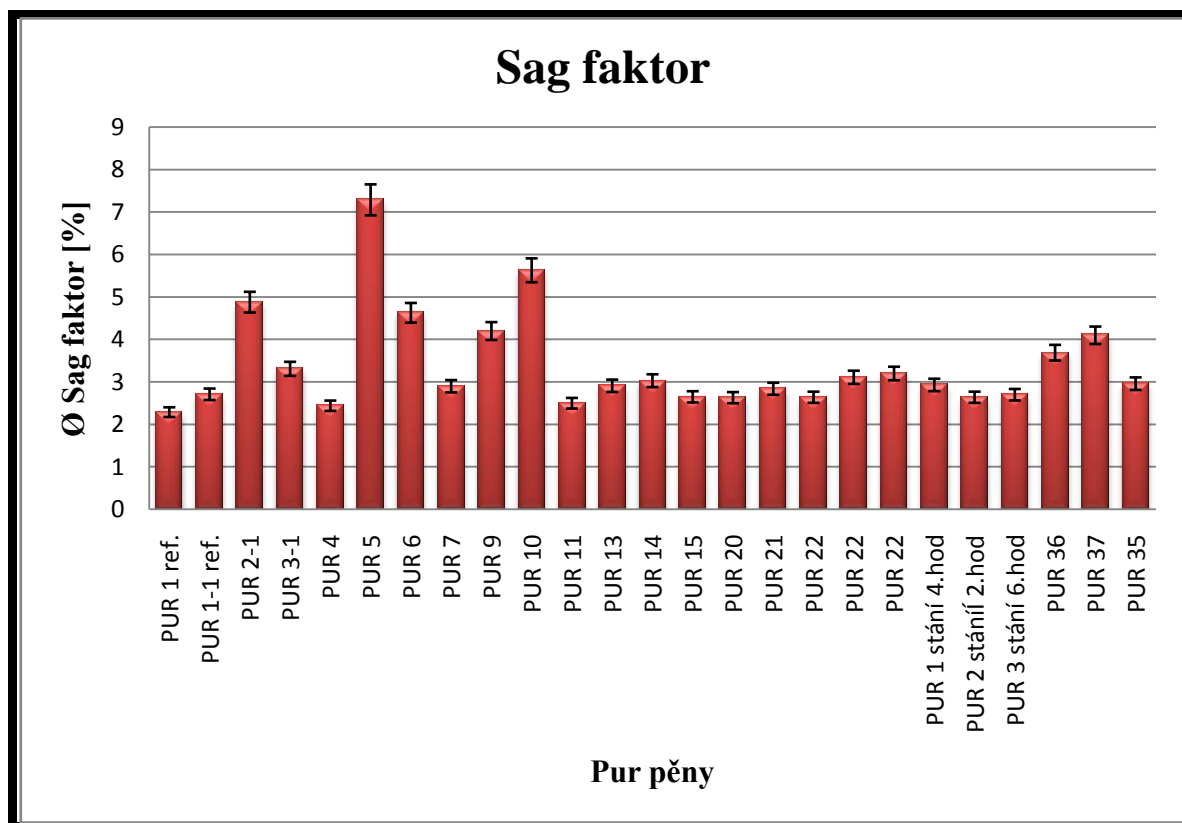
Obr. 122. Zařízení TIRA 2410.

16.1.1 Výsledky Sag faktoru v PUR pěnách

Tab. XIII. Stanovení sag faktoru u PUR pěn.

Pěny	EH		Sag faktor [-]	Ø Sag faktoru [-]	Odchyly [%]
	25N	65N			
PUR 1 ref.	23,10	54,85	2,37	2,43	0,04
	24,55	60,85	2,48		
	23,70	57,65	2,43		
PUR 1-1 ref.	20,70	56,50	2,73	2,71	0,14
	23,25	62,20	2,68		
PUR 2-1	44,10	215,35	4,88	4,88	1,24
PUR 3-1	8,30	28,90	3,48	3,31	0,40
	7,90	24,70	3,13		
PUR 4	29,65	69,60	2,35	2,44	0,07
	29,00	73,30	2,53		
PUR 5	35,40	269,10	7,60	7,29	2,17
	24,80	173,15	6,98		
PUR 6	52,95	244,90	4,63	4,63	1,12
PUR 7	28,20	80,80	2,87	2,90	0,22
	30,85	90,50	2,93		
PUR 9	54,50	240,15	4,41	4,20	0,80
	38,05	151,85	3,99		
PUR 10	21,15	149,05	7,05	5,63	1,67
	15,05	63,25	4,20		
PUR 11	16,05	38,90	2,42	2,50	0,08
	14,90	38,50	2,58		
PUR 13	20,55	59,45	2,89	2,91	0,19
	20,60	61,70	3,00		
	17,10	48,45	2,83		
PUR 14	34,95	105,85	3,03	3,03	0,32
PUR 15	23,20	62,30	2,69	2,65	0,10
	22,05	56,60	2,57		
	24,05	64,40	2,68		
PUR 20	20,40	57,65	2,83	2,63	0,20
	18,65	43,75	2,35		
	20,30	55,15	2,72		
PUR 21	22,95	65,80	2,87	2,84	0,16
	25,70	73,90	2,88		
	22,20	61,20	2,76		
PUR 22	26,75	70,20	2,62	2,64	0,11
	28,10	74,75	2,66		
PUR 23	19,90	47,20	2,37	3,11	0,65
	24,70	95,10	3,85		
PUR 24	20,75	83,35	4,02	3,20	0,72
	18,80	44,65	2,38		
PUR 1 STÁNÍ 4. HOD	13,35	38,35	2,87	2,93	0,24
	16,00	47,80	2,99		
PUR 2 STÁNÍ 2. HOD	24,05	64,75	2,69	2,64	0,09
	24,80	65,70	2,65		
	20,50	52,70	2,57		

Pěny	EH		Sag faktor [%]	Ø Sag faktoru [%]	Odchyly [%]
	25N	65N			
PUR 3 STÁNÍ 6. HOD	14,60	40,15	2,75	2,70	0,13
	14,05	37,05	2,64		
PUR 36	14,20	50,05	3,52	3,69	0,57
	11,40	43,85	3,85		
PUR 37	9,60	40,40	4,21	4,10	0,64
	12,30	49,30	4,01		
	10,40	42,50	4,09		
PUR 35	11,60	34,90	3,01	2,96	0,17
	9,00	25,35	2,82		
	10,10	29,90	2,96		
	12,90	39,20	3,04		



Obr. 123. Znáornění sag faktoru v sloupcovém grafu.

16.2 Závěr – diskuse výsledků

Z uvedených hodnot vyplývá, že všechny vypočítané výsledky sag faktoru jsou nad minimální hodnotou sag faktoru, která je 2,4. Proti referenčním vzorkům jsou hodnoty sag faktoru vyšší u všech připravených pěn, ať se jedná o plnivo Closite nebo Claytone. Rozdíl mezi referenčními materiály je 10%. Referenčnímu vzorku, PUR 1, se sag faktorem blíží vzorky PUR 4, PUR 11, PUR 15, PUR 20, PUR 2 stání 2 hod. Jedná se o vzorky plněné Na^+ . Nejvyšší hodnoty dosahují opět vzorky se zborcenou strukturou pěny a se síťovacím katalyzátorem ve vyšších koncentracích. Jedná se o vzorky PUR 2-1, PUR 5, PUR 6, PUR 9, PUR 10.

17 ODPOR PROTI STLAČENÍ

Napětí, vyjádřené v kilopascálech, požadované k vyvození tlaku při konstantní rychlosti deformace během čtvrtého zatěžovacího cyklu zkoušky. Odpor proti stlačení pro stlačení o 40 %. [38]

17.1 Stanovení odporu proti stlačení v PUR pěnách

Zkouška byla stanovena podle ČSN EN ISO 3386-2, Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení odporu proti stlačení – Část 2: Vysokohustotní materiály a podle vnitřního postupu KP-0-00168.

Vzorky se nesmí zkoušet dříve než 72 hodin po výrobě. Vzorky se kondicionují těsně před zkouškou po dobu nejméně 16 hodin při teplotě $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$ v mírném pásmu.

Obvykle se zkouška provádí ve směru, ve kterém je hotový výrobek stlačován za provozních podmínek. Plocha zkušebního tělesa musí být větší než $2\,500\text{ mm}^2$ a v žádném místě nesmí zkušební těleso přesahovat stlačovací desku.

Pomůcky:

- zkušební zařízení TIRA test (Obr. 122)
- posuvné měřítko

Postup pro stanovení odporu proti stlačení na zkušebním zařízení TIRA:

Zkušební tělesa mají čtvercovou základnu o rozměrech $(100 \pm 1)\text{ mm} \times (100 \pm 1)\text{ mm}$ nebo $(80 \pm 1)\text{ mm} \times (80 \pm 1)\text{ mm}$. Jejich tloušťka je $(50 \pm 1)\text{ mm}$.

Zkušební zařízení se uvede do chodu a kalibruje se. Nastaví se vzdálenost zkušebních desek tak, aby zkušební těleso bylo možno mezi ně volně vložit. Stanoví se délka strany zkušebního tělesa v mm tak, že každá strana zkušebního tělesa se změří ve třech stanovených místech. Výsledná strana délky je dána aritmetickým průměrem jednotlivých měření.

Do programu zkušebního zařízení se zadají vstupní data:

- číslo zkušebních desek
- druh materiálu
- číslo zkušební normy

- druh zkoušeného materiálu
- jméno zkoušejícího
- délka strany zkušební tělesa v mm
- předsíla v kPa
- pracovní rychlosti posuvu zkušebních desek 100 ± 20 mm/min
- měřítko hysterzní křivky

Zkušební těleso se umístí uprostřed pracovních desek a spustí se chod zkušebního zařízení. Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr hodnot odporu proti stlačení naměřených na jednotlivých zkušebních tělesech. [38]

17.1.1 Výsledky odporu proti stlačení

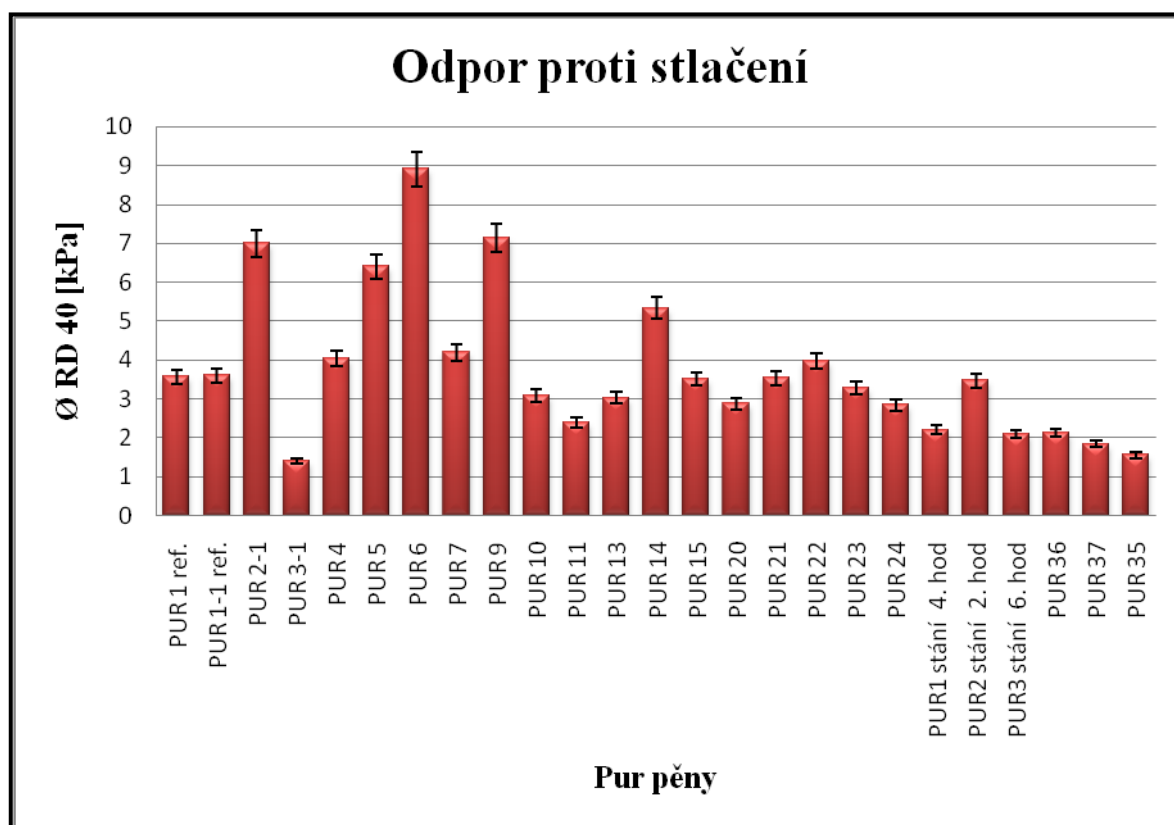
Tab. XIV. Stanovení odporu proti stlačení.

Pěny	RD 40 [kPa]			Ø RD 40 [kPa]	Odchylky RD 40 [kPa]	HD 70 [%]			Ø HD 70 [%]	Odchylky HD 70 [%]
	1.	2.	3.			1.	2.	3.		
PUR 1 ref.	3,42	3,78	3,50	3,57	0,12	32,6	32,5	32,7	32,6	0,08
PUR 1-1 ref.	3,38	3,81	-	3,60	0,14	33,5	32,1	-	32,8	0,49
PUR 2-1	6,99	-	-	6,99	1,70	37,2	-	-	37,2	2,25
PUR 3-1	1,47	1,35	-	1,41	0,97	39,6	36,8	-	38,2	2,44
PUR 4	4,06	4,04	-	4,05	0,20	28,0	27,8	-	27,9	2,13
PUR 5	7,84	4,96	-	6,40	1,58	41,1	40,8	-	41,0	3,67
PUR 6	8,91	-	-	8,91	2,66	38,4	-	-	38,4	2,85
PUR 7	4,04	4,36	-	4,20	0,27	33,5	33,2	-	33,4	0,29
PUR 9	8,65	5,62	-	7,14	1,80	37,4	35,0	-	36,2	1,58
PUR 10	3,98	2,20	-	3,09	0,71	36,9	33,0	-	35,0	1,80
PUR 11	2,39	2,38	-	2,39	0,54	32,7	33,9	-	33,3	0,53
PUR 13	3,22	3,22	2,64	3,03	0,27	36,0	36,4	33,3	35,2	1,60
PUR 14	5,34	-	-	5,34	0,87	33,2	-	-	33,2	0,25
PUR 15	3,59	3,28	3,66	3,51	0,13	35,0	32,2	35,3	34,2	1,35
PUR 20	2,96	2,67	3,0	2,88	0,27	31,3	28,4	31,4	30,4	1,28
PUR 21	3,44	3,86	3,31	3,54	0,18	26,5	27,5	27,4	27,1	2,09
PUR 22	3,96	3,95	-	3,96	0,16	24,4	24,7	-	24,6	3,62
PUR 23	2,71	3,87	-	3,29	0,46	27,3	31,7	-	29,5	2,18
PUR 24	3,18	2,49	-	2,84	0,40	30,2	26,3	-	28,3	2,29
PUR1 STÁNÍ 4. HOD	1,98	2,43	-	2,21	0,62	31,8	33,1	-	32,5	0,49
PUR2 STÁNÍ 2. HOD	3,64	3,75	3,01	3,47	0,25	31,9	32,7	29,1	31,2	1,25

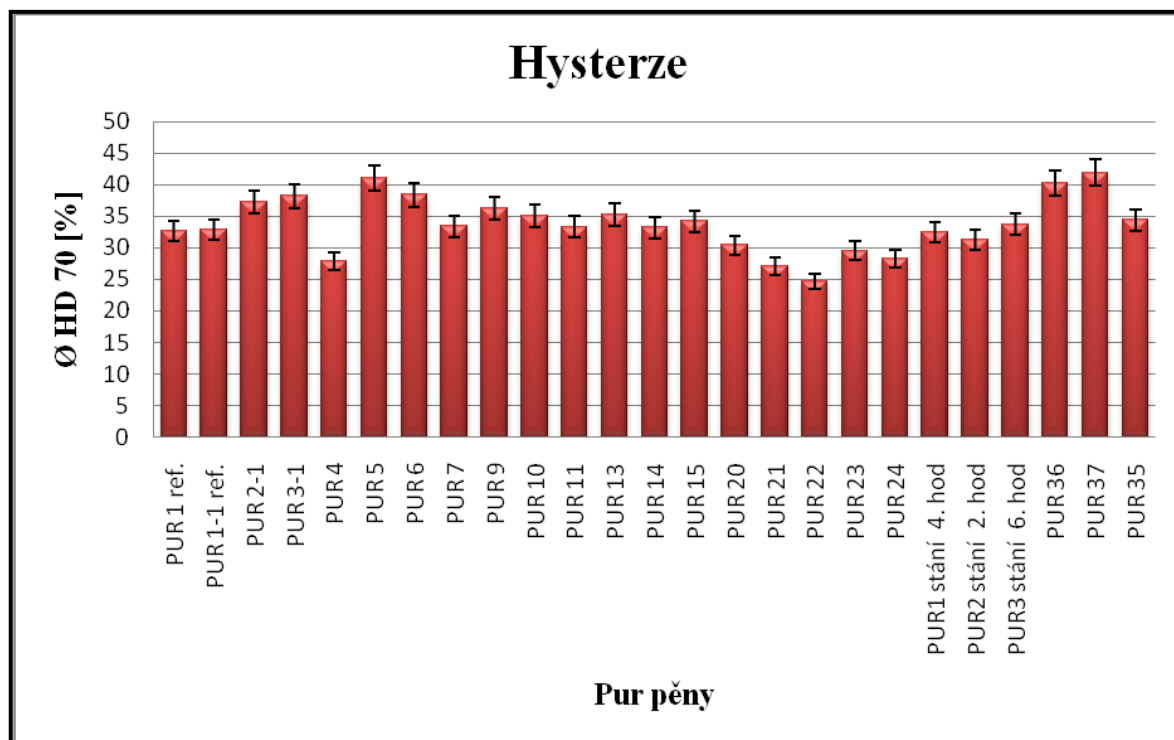
Pěny	RD 40 [kPa]			Ø RD 40 [kPa]	Odchylky RD 40 [kPa]	HD 70 [%]			Ø HD 70 [%]	Odchylky HD 70 [%]
	1.	2.	3.			1.	2.	3.		
PUR3 STÁNÍ 6. HOD	2,13	2,07	-	2,10	0,67	35,3	32,1	-	33,7	1,29
PUR 36	2,32	1,93	-	2,13	0,66	39,9	40,7	-	40,3	3,38
PUR 37	1,68	2,07	1,80	1,85	0,66	42,7	41,4	41,7	41,9	3,46
PUR 35	1,78	1,33	1,58	1,56	0,76	36,2	31,8	35,1	34,4	1,70

RD 40 [kPa] – odpor proti stlačení při zatížení 40 kPa.

HD 70 [%] – hysterze při 70 % deformaci.



Obr. 124. Znáznornění odporu proti stlačení ve sloupcovém grafu.



Obr. 125. Znázornění hysterze ve sloupcovém grafu.

17.2 Závěr – diskuse výsledků

Referenčním materiálům se z hlediska odporu proti stlačení blíží nejvíce směsi PUR 15, PUR 21 a PUR 2 stání 2 hod. Tak jako u předešlých testů se nejvíce odlišují směsi se zborcenou strukturou pěny tj. PUR 2-1, PUR 5, PUR 6, PUR 9, které mají hodnoty výrazně vyšší než referenční vzorky. To znamená, že kladou větší odpor proti stlačení, což souvisí s jejich kompaktnější strukturou. Jsou zde, ale i pěny s hodnotami nižšími oproti PUR 1 a PUR 1-1 a to PUR 3-1, PUR 35 a PUR 37.

Pokud jde o hysterzezi, můžeme na obr. 125 pozorovat její změny. V případě hysterze ne- pozorujeme tak markantní změny jako u jiných testovaných vlastností. Změny jsou ve většině případů okolo 10 %. Nejvyšší hodnota byla zjištěn u PUR 37 a PUR 5. Nejnižší pak u PUR 22.

18 HOŘLAVOST

Vzhledem k faktu, že PUR pěny se používají v domácnostech, automobilech a jako izolační materiály, jsou na ně kladeny zvýšené bezpečnostní požadavky. Z tohoto důvodu byla testována u připravených směsí hořlavost. Hořlavost je vlastnost materiálů nebo výrobků hořet za daných zkušebních podmínek za vzniku plamene. [39]

18.1 Stanovení hořlavosti PUR pěn

Zkouška byla stanovena podle TL 1010, zkušební přístroje a metody totožné s metodami podle DIN 75 200. Tento postup je srovnatelný také s normou US-FMVSS 302.

Zkušební vzorky před zkouškou hořlavosti klimatizovány nejméně 24. hodin, ne však více než 7 dní při teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. [39]

Zkoušky se provádí na pěti vzorcích o rozměru:

- Šířka 100 mm, délka 356 mm a tloušťka max. 13 mm [39]

Postup pro stanovení hořlavosti PUR pěn:

- 1) Zvolit předepsaný odtah digestoře 0,1 – 0,3 m/s nastavením dvířek digestoře a pomocí termického anemometru (měření proudění ve vertikálním směru ve vzdálenosti 10 cm před a 10 cm za spalovací komorou, odtah zapnut).
- 2) Vzorek umístit do držáku vzorku (Obr. 126) tak, že exponovaná strana bude směřovat dolů, směrem k plameni.



Obr. 126. Držáky na umístění vzorku.

- 3) Seřízení plynového plamene na výšku 38 mm pomocí značky v komoře.

- 4) Držák vzorku zasunout do spalovací komory (Obr. 127) tak, aby konec vzorku byl vystaven plameni a po 15 sekundách přívod plynu uzavřít.
- 5) Měření doby hoření počítat od okamžiku, kdy plamen překročí první značku (38 mm od kraje vzorku). Rychlost hoření pozorovat na straně, která hoří rychleji.
- 6) Měření doby hoření ukončit, když plamen dosáhne posledního měřicího bodu nebo když plamen zhasne před dosažením posledního měřicího bodu (konec vzorku).
- 7) Jestliže plamen nedosáhne posledního měřicího bodu, změřit shořelou vzdálenost do bodu, kdy plamen zhasl.
- 8) Při opakované zkoušce dbát na to, aby před začátkem každé další zkoušky byla teplota spalovací skříně a držáku vzorku byla max. 30 °C.
- 9) Rychlost hoření B v milimetrech za minutu se vypočítá ze vorce (viz. 7). [39]



Obr. 127. Spalovací komora.

Vzorec pro výpočet hoření:

$$B = \frac{s}{t} * 60, [\text{mm/min}] \quad (7)$$

kde s – shořelá vzdálenost v mm

t – čas potřebný pro shoření vzdálenosti v sekundách [39]

Vysvětlení zkratk u hořlavosti PUR pěn:

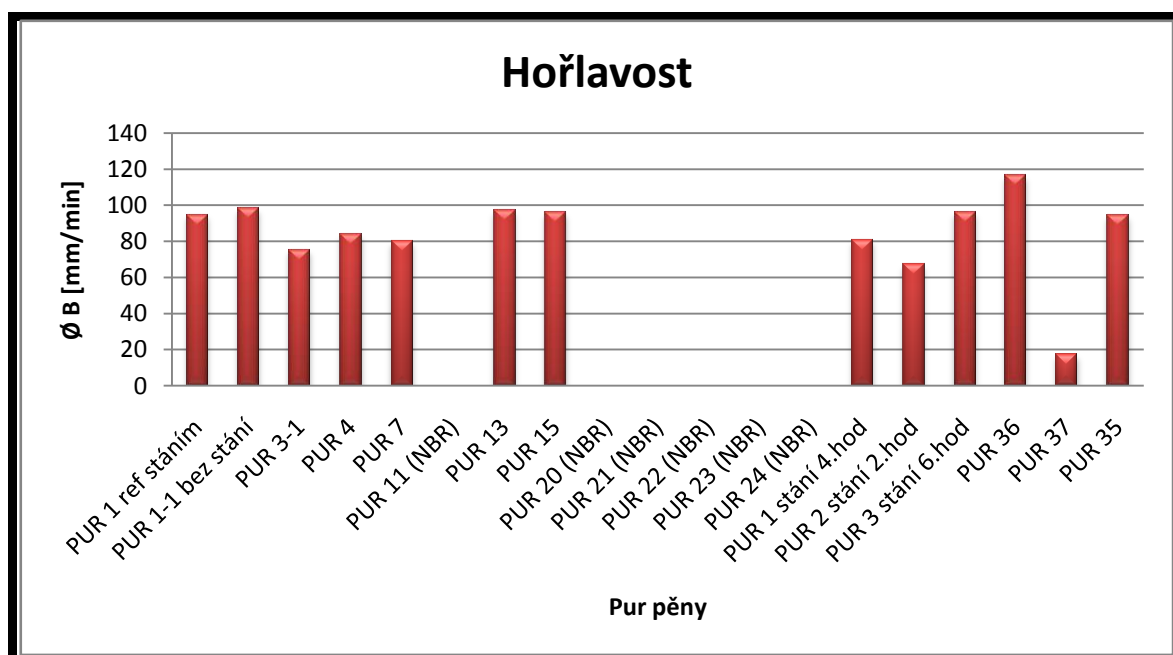
- NBR – samozhášivý k 1. měřicí značce.
- SE/NBR – samozhášivý (dráha hoření menší nebo 50 mm).
- SE/BR – samozhášivý, rychlost hoření v mm/min (dráha hoření nad 50 mm).
- BR – hoří přes celý měřený úsek, rychlost měření v mm/min. [39]

18.1.1 Výsledky hoření PUR pěn

Tab. XV. Hořlavost u PUR pěn.

Pěny	Plnění [%]	s		t [s]	B [mm/min]	Ø B [mm/min]	Odchylka [mm/min]
		[cm]	[mm]				
PUR 1 ref.	-	20,3	203	122	99,84	94,65	5,85
		20,3	203	122	99,83		
		17,0	170	121	84,29		
PUR 1-1 ref.	-	20,3	203	122	99,84	98,10	1,69
		22,5	225	136	99,26		
		20,8	208	131	95,20		
PUR 3-1	3 % 30B	16,2	162	120	81,00	75,26	9,28
		15,8	158	137	69,19		
		16,0	160	127	75,59		
PUR 4	0,5 % Na ⁺	21,0	210	134	94,02	83,65	9,28
		21,8	218	160	81,75		
		21,8	218	174	75,17		
PUR 7	0,5 % Na ⁺	14,8	148	126	70,47	80,10	11,19
		14,3	143	108	79,44		
		14,1	141	88	96,13		
		11,9	119	96	74,37		
PUR 11	3 % Na ⁺	14,3	143	-	NBR	NBR	-
		14,5	145	-	NBR		
		14,5	145	-	NBR		
		15,5	155	-	NBR		
PUR 13	3 % Na ⁺	17,1	171	108	95,00	96,83	2,18
		17,1	171	103	99,61		
		17,1	171	107	95,88		
PUR 15	3 % Na ⁺	18,2	182	112	97,50	96,17	3,53
		18,0	180	109	99,08		
		18,3	183	108	100,00		
		18,2	182	124	88,10		
PUR 20	1 % Na ⁺	15,4	154	-	NBR	NBR	-
		15,9	159	-	NBR		

Pěny	Plnění [%]	s		t [s]	B [mm/min]	Ø B [mm/min]	Odchytky [mm/min]
		[cm]	[mm]				
PUR 21	1 % Na ⁺	19,7	197	-	NBR	NBR	-
		19,7	197	-	NBR		
		19,7	197	-	NBR		
PUR 22	1 % 30B	17,1	171	-	NBR	NBR	-
		17,1	171	-	NBR		
PUR 23	3 % 20A	18,2	182	-	NBR	NBR	-
		18,0	180	-	NBR		
PUR 24	3 % 25A	18,5	185	-	NBR	NBR	-
		18,7	187	-	NBR		
PUR1 STÁNÍ 4. HOD	3 % Na ⁺	18,0	180	136	79,41	80,77	7,21
		18,1	181	131	82,90		
		18,0	180	135	80,00		
PUR2 STÁNÍ 2. HOD	3 % Na ⁺	17,9	179	154	69,74	67,30	12,26
		18,0	180	149	72,48		
		18,0	180	181	59,67		
PUR3 STÁNÍ 6. HOD	3 % Na ⁺	16,0	160	100	96,00	96,06	1,75
		15,7	157	98	96,12		
PUR 36	2 % Nano-silver	18,4	184	94	117,45	116,54	7,35
		18,5	185	96	115,62		
PUR 37	2 % Nano-silver	19,5	195	100	117,00	117,59	7,82
		19,5	195	99	118,18		
PUR 35	3 % Na ⁺	18,3	183	119	92,27	94,24	2,90
		18,3	183	112	98,03		
		18,4	184	120	91,99		
		18,3	183	116	94,65		



Obr. 128. Znárodněná hořlavost ve sloupcovém grafu.

18.2 Závěr – diskuse výsledků

Norma stanoví, že čas pro hoření PUR pěn nesmí přesáhnout 100 mm/min. Většina připravených pěn se do tolerance vešla, kromě PUR 36 a PUR 37.

Mezi připravenými pěnama se objevily i vzorky např. PUR 11, PUR 20, PUR 21, PUR 22, PUR 24, které zhasnuly před krajovou značkou (38 mm). Tyto pěny se z požárního hlediska jeví velmi nadějně, protože při vzniku požáru by nešířily plamen. Ovšem pokud si vzpomeneme na jejich strukturu, tak ta je vyhovující pouze u vzorku PUR 11, PUR 20, PUR 23 s plnivem Na⁺ a 20A.

Pokud zhodnotíme vliv stání u referenčních materiálů je zanedbatelný, cca 3%, ale u směsi s plnivem Na⁺ se jako nejlepší zdá opět směs PUR 2 se stáním 2 hod, kde lez pozorovat rozdíl v rychlosti hoření až 20 mm/min.

ZÁVĚR

Cílem předložení diplomové práce bylo ověřit možnosti přípravy PUR pěn obsahujících anorganické nanočástice.

V první fázi přípravy PUR pěn byly připraveny materiály podle původní receptury, výsledky nebyly však nijak uspokojující (Obr. 35, 36). Docházelo k borcení struktury pěny. Hlavní důvodem tohoto stavu byl obsah síťovacího katalyzátoru ve směsi, který způsoboval přesíťování PUR pěn a to vedlo k následnému kolapsu struktury. Proto muselo dojít k úpravě původní receptury. Množství katalyzátoru se postupně snižovalo z 0,6 g až na 0 g. Současně se zkoušelo snížit množství stabilizátoru dutinek, ten však neprokázal žádnou výraznou změnu ve směsi (Obr.42a,b; 59a,b; 61a,b). Jako plniva byly v této fázi použity plniva Cloisite Na⁺, 30B, tj. přírodní typ a chemicky modifikovaný typ. Na základě této fáze experimentu byla jako modelová receptura vybrána směs s 0,15 g katalyzátoru.

Ve druhé fázi jsme testovali různé typy jílu podle námi upravené receptury. Jednalo se o tyto plniva: Cloisite 20A, 25A, 93A, Claytone APA, Claytone HY, Kaolinit/Ag, Montmorillonit/Ag, Nanosilver.

Rovněž byl sledován vliv doby interkalace na výslednou pěnu a vliv koncentrace plniva. Z hlediska struktury vypadá směs PUR 2 stání 2 hod. a PUR 1 stání 4 hod. stejně. Nejlepší výsledky ostatních testovaných vlastností, ale vykazuje směs se stáním 2 hodiny (PUR 2 se stáním 2 hod).

Abychom zjistili, zda ve směsi dochází k interkalaci jílu, bylo provedeno měření viskozity polyolu, polyolu s vodou a plnivem, celé PUR směsi i s katalyzátorem i bez něj (kromě TDI). Z naměřených výsledků viskozity vyplývá, že změřený polyol vykazuje nižší viskozitu oproti polyolu s 1 % nebo 3 % plniva Na⁺ a 30B. Což jednak souvisí se samotným přídatkem plniva a také s interkalačními pochody probíhajícími v jílu. Nárůst lze pozorovat jak u směsi Na⁺, tak u směsi s 30B. Z měření vyplývá, že nejvyšší viskozitu měla celková receptura s plnivem a zdá se tedy, že v této směsi také dochází nejlépe k interkalaci. Výsledky však bude nutné potvrdit ještě pomocí RTG.

Množství plniva ve směsi spolu s různým obsahem síťovacího katalyzátoru způsoboval změny struktury připravovaných směsí. Vznikaly pěny s různými počty otevřených i uzavřených pórů nebo dokonce jejich kombinace. Velikost pórů a jejich počet ovlivňuje složení PUR směsi, vstupující plnivo, teplota, tlak, způsob zamíchání a stání pěny. Z uvedených výsledků vyplývá, že vyrobené PUR pěny, mají ve většině případů pravidelnou strukturu. Mikroskopické pozorování potvrdilo vizuální pozorování.

Následovalo hodnocení objemové hmotnosti, mechanických vlastností a hořlavosti připravených směsí. U referenčních materiálů připravených rozdílným postupem je ve většině případů rozdíl v pozorované vlastnosti zanedbatelný. Výjimkou je trvalá deformace. Z hodnocení výše uvedených vlastností plyne, že nevhodné jsou směsi s 0,6-0,3g síťovacího stabilizátoru, které ve většině případů ukazují nadlimitní hodnoty sledovaných veličin. Patří zde např. směsi PUR 2-1, PUR 3-1, PUR 5, PUR 6, PUR 9, PUR 10. Naopak vhodné vlastnosti vykazují ve většině případů směsi PUR 11, PUR 13, PUR 15, PUR 23. PUR 2 stání 2 hod, s plnivem Na⁺ nebo 20A. Zajímavé výsledky poskytlo hodnocení hořlavosti. Většina připravených směsí předčí referenční vzorky. Mezi připravenými pěny se ale objevily i vzorky např. PUR 11, PUR 20, PUR 21, PUR 22, PUR 24, které zhasnuly před okrajovou značkou (38 mm). Tyto pěny se z požárního hlediska jeví velmi nadějně, protože při vzniku požáru by nešířily plamen. Ovšem pokud si vzpomeneme na jejich strukturu, tak ta je vyhovující pouze u vzorku PUR 11, PUR 20, PUR 23 s plnivem Na⁺ a 20A.

Na závěr lze konstatovat, že se podařilo připravit vyhovující PUR pěny s přidavkem anorganických plniv a to Na⁺ a 20A (PUR 11, PUR 13, PUR 35, PUR 23), které se svými vlastnostmi blíží referenčním materiálům. Nevhodné jsou naopak plniva Cloisite 30B, 25A, Claytone APA, Claytone HY, které poskytují pěny se zborcenou strukturou dutinek. Póry jsou pozorovatelné, ale jsou rozměrově velmi malé, bez přítomnosti větších dutin. Rovněž testované vlastnosti nabývají nevhodných hodnot pro danou aplikaci. Zajímavá je směs s obsahem K/Ag, která nenapěnila jako např. PUR 13, ale přesto vykazuje jednotnou strukturu otevřených pórů. V tomto případě by, ale bylo třeba doladit složení směsi. Stejný jev byl pozorován u směsi s Nanostříbrem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MLEZIVA, J.: Polymery – Výroba, struktura, vlastnosti a použití. Sobotáles, Praha 2000, 544p, ISBN 80-85920-72-7.
- [2] <http://wikipedia.infostar.cz/p/po/polyurethane.html>
- [3] <http://www.pi-voda.cz/vzdelavani/technika/jilyvtechnologiich.htm>
- [4] SMETANOVÁ, E.: Vliv koncentrace plniva na vlastnosti PVC/jíl nanokompozitů (Diplomová práce). FT UTB ZLÍN 2009.
- [5] MARAND, A., KARLSSON, D., DALENE, M., SKARPING, G.: Extractable organic compounds in polyurethane foam with special reference to aromatic amines and derivatives thereof. *Analytica chimica acta.*, č. 510, r. 2004, s. 109-119.
- [6] HERRINGTON, R.: Výroba pružné pěny. Interní překlad Molitan, r.1991 Břeclav.
- [7] Technický manuál pro vývojové oddělení polyuretanové pěny. Molitan, Břeclav.
- [8] WINTER, J.: Polyuretany, materiál s mnoha tvářemi. Molitan, Břeclav.
- [9] ČAUČÍK, P.: Přísady do plastov. Alfa, Bratislava 1985.
- [10] Dr. Frohlich.: Základy lomařství, Hornicko-geologická fakulta VŠB-TU Ostrava.
- [11] http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?magmaticke_horniny
- [12] <http://www.geology.vsb.cz/gp/skoly/prezentace/3/text26.html>
- [13] SEBOK, T.: Přednášky z předmětu zpracovatelské inženýrství I.
- [14] DOLEŽAL, V.: Plastické hmoty. SNTL, 1961.
- [15] KATZ, M. S., MILEWSKI, V.: Handbook of fillers and reinforcements for plastics. 1981
- [16] XIA CAO, L. JAMES LEE, TOMY WIDYA, CHRISTOPHER MACOSKO.: Polyurethane clay nanocomposites foams: processing, structure and properties. *Polymer.*, č. 46, r. 2005, s. 775-783.
- [17] <http://www.nanotrade.cz>
- [18] <http://www.velebit.net/minerality/jilove-minerality>
- [19] WEISS, KUŽVART. Jílové minerály, jejich struktura a použití. Karolinum, Praha, 2005.
- [20] ŠKRABALOVÁ, L.: Nanokompozitní materiály polyolefin – jíl (Diplomová práce). FT UTB ZLÍN 2003.

- [21] <http://www.mineralogie.sci.muni.cz>
- [22] KUBIŠOVÁ, H.: PE – jíl nanokompozit v obalové technologii (Bakalářská práce). FT UTB ZLÍN 2004.
- [23] XU, WEIBING.: European Polymer Journal, 39 (7), 1467-1474. Elsevier Science, Ltd., 2003.
- [24] LEE, J. A.: Annual Technical Conference – Society of plastics Engineers, 60th (Vol. 2), 2230-2234. Society of Plastics engineer, 2002.
- [25] MATOUŠEK, V.: Pohyb reálné kapaliny I. Základy proudění kapalin, před. č. 13.
- [26] Reologické vlastnosti ropných frakcí.: Vysoká škola chemicko – technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí.
- [27] TOMÁŠ PŘIBYL.: Analýzy kapalin (Bakalářská práce). Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006.
- [28] BROŽ, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha, 1983.
- [29] Norma ČSN ISO 2555 (64 0346). Plasty - Pryskyřice v kapalném, emulgovaném nebo dispergovaném stavu – Stanovení zdánlivé viskozity podle Brookfielda.
- [30] Kontrolní postup KP-0-00171. Stanovení vzhledu. Interní předpis Molitan a.s.
- [31] Kontrolní postup KP-0-00170. Stanovení počtu pórů. Interní předpis Molitan a.s.
- [32] RYBNÍKÁŘ, F., DITRYCH, Z., KLÁCEL, Z., ORDET, O.: Analýza a zkoušení plastických hmot. SNTL, Praha 1965.
- [33] Norma ČSN ISO 845 (64 5411). Lehčené plasty a pryže – Stanovení objemové hmotnosti.
- [34] MALÁČ, J.: Gumárenská technologie. Fakulta technologická, Zlín.
- [35] Norma ČSN EN ISO 8307 (64 5438). Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení odrazové pružnosti z odskoku kuličky.
- [36] Norma ČSN EN ISO 1856 (64 5442). Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení odrazové pružnosti z odskoku kuličky.
- [37] Norma ČSN EN ISO 2439. Stanovení sag faktoru - Měkké lehčené polymerní materiály – Stanovení tvrdosti vtlačováním.
- [38] Norma ČSN EN ISO 3386-2. Měkké lehčené polymerní materiály - Stanovení odporu proti stlačení – část 2. Vysokohustotní materiály.
- [39] Norma TL 1010 – Hořlavost v pur pěnách.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PUR – Polyuretan

TDI - toluendiisokyanát

Na⁺ - přírodní typ montmorillonitu

30B - (methyl, tallow, bis – 2 – hydroxyethyl), quaternary amonium

20A - Bis (hydrogenated Tallow Alkyl)dimethyl

25A - dimethyl, dehydrogenated tallow, 2 - ethylhexyl quaternary amonium

93A - (methyl, dehydrogenated tallow amonium)

APA - Benzyl (hydrogenated tallow Alkyl)dimethyl

HY - Bis (hydrogenated tallow Alkyl)dimethyl

K/Ag – kaolinit se stříbrem

M/Ag – montmorillonit se stříbrem

OH – objemová hmotnost [kg/ m³]

MMT – montmorillonit

do – původní tloušťka zkušebního tělesa po zotavení

dr – tloušťka zkušebního tělesa po zotavení

c.s. – trvalá deformace v tlaku [%]

EH 65 - síla potřebná ke stlačení zkušebního tělesa o 65 %

EH 25 – síla potřebná ke stlačení zkušebního tělesa o 25 %

RD 40 [kPa] – odpor proti stlačení při zatížení 40kPa

HD 70 [%] – hysterze při 70 %

B – hořlavost [mm/min]

s – shořelá vzdálenost v mm

t – čas potřebný pro shoření vzdálenosti v sekundách

NBR – samozhášivá PUR pěna

RTG – rentgenografická metoda

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Nepravidelná struktura.

Obr. 2. Rovnoběžná struktura.

Obr. 3. Sopka.

Obr. 4. Pórovitá struktura.

Obr. 5. Vrstevnatá struktura.

Obr. 6. 12 - boký pětihran polyuretanové pěny.

Obr. 7. Antibakteriální účinek stříbra.

Obr. 8. Základní mřížky.

Obr. 9. Schéma tetraedru (nahore) a oktaedru (dole). Černé plné kroužky značí centrální kationty a prázdné kroužky anionty.

Obr. 10. Tetraedrická síť.

Obr. 11. Deformace tetraedrické sítě.

Obr. 12. Výpočet úhlu rotace tetraedrů α v tetraedrické síti.

Obr. 13. Oktaedrická síť (nahore) a polyedrickém (dole) zobrazení.

Obr. 14. Propojení dvou tetraedrických sítí přes slabé van der Waalovy mezimolekulární síly.

Obr. 15. Spojení oktaedrické a tetraedrické sítě přes kyslíkový atom.

Obr. 16. Vrstvy 1:1 (t-o vrstva).

Obr. 17. Vrstvy 2:1 (t-o-t vrstva).

Obr. 18. Spojení oktaedrické a tetraedrické sítě přes rovinu bazálních kyslíků.

Obr. 19. Nábojová bilance kaolinitu.

Obr. 20. Schéma struktury slíd složené z vrstev 2:1, které jsou vázány mezivrstevními kationty.

Obr. 21. Se zvětšujícím množstvím vody v mezivrstvě smektitů se zvětšuje jejich mřížkový parametr ve směru osy.

Obr. 22. Struktura Montmorillonitu.

Obr. 23. Organofilizace jílu ion-výměnnou metodou.

Obr. 24. Organofilizace jílu ion-dipólovou metodou.

Obr. 25. Tři typy kompozitních materiálů.

Obr. 26. Struktura armachair.

Obr. 27. Struktura cik – cak.

Obr. 28. Struktura chirální (spirálová).

Obr. 29. Míchadlo s 2000 ot/min.

Obr. 30. Ukázka pění PUR pěny.

Obr. 31. PUR 1 referenční se stáním.

Obr. 32. PUR 1-1 referenční bez stání.

Obr. 33. PUR 2-1 (3% 30B).

Obr. 34. PUR 3-1 (3% Na⁺).

Obr. 35. PUR 2 (3% 30B).

Obr. 36. PUR 3 (3% Na⁺).

Obr. 37a. PUR 4 (0,5% Na⁺) vyfoceno po napění.

Obr. 37b. PUR 4 (0,5% Na⁺) vyfoceno po 7 dnech.

Obr. 38a. PUR 5 (3% Na⁺) vyfoceno po napění.

Obr. 38b. PUR 5 (3% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 39a. PUR 6 (1% Na⁺) vyfoceno po napění.

Obr. 39b. PUR6 (1% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 40a. PUR 7 (0,5% Na⁺) vyfoceno po napění.

Obr. 40b. PUR7 (0,5% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 41a. PUR 9 (2% Na⁺) vyfoceno po napění.

Obr. 41b. PUR9 (2% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 42a. PUR 8 (1% Na⁺) vyfoceno po napění.

Obr. 42b. PUR 8 (1% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 43a. PUR 10 (1% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 43b. PUR10 (1% Na⁺) vyfoceno po týdnu.

Obr. 44a. PUR 11 (3% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 44b. PUR10 (3% Na⁺) vyfoceno po týdnu.

Obr. 45a. PUR 16 (1% 30B) vyfoceno po napětění.

Obr. 45b. PUR16 (1% 30B) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 46a. PUR 12 (1% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 46b. PUR12 (1% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 47a. PUR 13 (3% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 47b. PUR13 (3% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 48a. PUR 17 (1% 30B) vyfoceno po napětění.

Obr. 48b. PUR17 (1% 30B) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 49a. PUR 23 (3% 20A) vyfoceno po napětění.

Obr. 49b. PUR 23 (3% 20A) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 50a. PUR 24 (3% 25A) vyfoceno po napětění.

Obr. 50b. PUR 24 (3% 25A) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 51a. PUR 25 (3% 93A) vyfoceno po napětění.

Obr. 51b. PUR 25 (3% 93A) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 52a. PUR 26 (3% APA) vyfoceno po napětění.

Obr. 52b. PUR 26 (3% APA) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 53a. PUR 27 (3% HY) vyfoceno po napětění.

Obr. 53b. PUR 27 (3% HY) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 54a. PUR 33 (2% K/Ag) vyfoceno po napětění.

Obr. 54b. PUR 33 (2% K/Ag) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 55a. PUR 34 (2% M/Ag) vyfoceno po napětění.

Obr. 55b. PUR 34 (2% M/Ag) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 56a. PUR 35 (3% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 56b. PUR 35 (3% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 57a. PUR 36 (2% Nanosilver) vyfoceno po napětění.

Obr. 57b. PUR 36 (2% Nanosilver) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 58a. PUR 37 (2% Nanosilver) vyfoceno po napětění.

Obr. 58b. PUR 37 (2% Nanosilver) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 59a. PUR 14 (1% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 59b. PUR14 (1% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 60a. PUR 15 (3% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 60b. PUR15 (3% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 61a. PUR 18 (1% 30B) vyfoceno po napětění.

Obr. 61b. PUR18 (1% 30B) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 62a. PUR 19 (1% 30B) vyfoceno po napětění.

Obr. 62b. PUR19 (1% 30B) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 63a. PUR 20 (1% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 63b. PUR 20 (1% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 64a. PUR 21 (1% Na⁺) vyfoceno po napětění.

Obr. 64b. PUR 21 (1% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 65a. PUR 22 (1% 30B) vyfoceno po napětění.

Obr. 65b. PUR 22 (1% 30B) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 66a. PUR 28A (1% 20A) vyfoceno po napětění.

Obr. 66b. 28A (1% 20A) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 67a. PUR 28B (1% 20A) vyfoceno po napětění.

Obr. 67b. PUR 28B (1% 20A) vyfoceno po 7. dnech.

Obr. 68a. PUR 29 (1% 25A) vyfoceno po napětění.

Obr. 68b. PUR 29 (1% 25A) vyfoceno po 7. dnech.

- Obr. 69a. PUR 30 (1% 93A) vyfoceno po napěnění.
- Obr. 69b. PUR 30 (1% 93A) vyfoceno po 7. dnech.
- Obr. 70a. PUR 31 (1% APA) vyfoceno po napěnění.
- Obr. 70b. PUR 31 (1% APA) vyfoceno po 7. dnech.
- Obr. 71a. PUR 32 (1% HY) vyfoceno po napěnění.
- Obr. 71b. PUR 32 (1% HY) vyfoceno po 7. dnech.
- Obr. 72a. PUR 2- stání 2. hod (3% Na⁺) vyfoceno po napěnění.
- Obr. 72b. PUR 2- stání 2. hod (3% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.
- Obr. 73a. PUR 1- stání 4. hod (3% Na⁺) vyfoceno po napěnění.
- Obr. 73b. PUR 1- stání 4. hod (3% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.
- Obr. 74a. PUR 3- stání 6. hod (3% Na⁺) vyfoceno po napěnění.
- Obr. 74b. PUR 3- stání 6. hod (3% Na⁺) vyfoceno po 7. dnech.
- Obr. 75. Vertikální pila.
- Obr. 76. Brookfield viskozimetr.
- Obr. 77. Lupa se zvětšením 10x.
- Obr. 78. Světelný mikroskop typu STEMI 2000C.
- Obr. 79. Struktura PUR 1 referenční.
- Obr. 80. Struktura PUR 1-1 referenční.
- Obr. 81. Struktura PUR 4 směsi s 0,5 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 82. Struktura PUR 3 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 83. Struktura PUR 3-1 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 84. Struktura PUR 2-1 směsi s 3 % Cloisite 30B.
- Obr. 85. Struktura PUR 7 směsi s 0,5 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 86. Struktura PUR 6 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 87. Struktura PUR 9 směsi s 2 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 88. Struktura PUR 5 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.

- Obr. 89. Struktura PUR 8 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 90. Struktura PUR 10 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 91. Struktura PUR 11 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 92. Struktura PUR 16 směsi s 1 % Cloisite 30B.
- Obr. 93. Struktura PUR 12 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 94. Struktura PUR 13 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 95. Struktura PUR 17 směsi s 1 % Cloisite 30B.
- Obr. 96. Struktura PUR 23 směsi s 3 % Cloisite 20A.
- Obr. 97. Struktura PUR 24 směsi s 3 % Cloisite 25A.
- Obr. 98. Struktura PUR 26 směsi s 3 % Claytone APA.
- Obr. 99. Struktura PUR 27 směsi s 3 % Claytone HY.
- Obr. 100. Struktura PUR 33 směsi s 2 % Kaolinit s Ag.
- Obr. 101. Struktura PUR 36 směsi s 2 % Nanosilver.
- Obr. 102. Struktura PUR 37 směsi s 2 % Nanosilver.
- Obr. 103. Struktura PUR 1-stání 4. Hod směsi s 3 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 104. Struktura PUR 2-stání 2. Hod směsi s 3 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 105. Struktura PUR 3-stání 6. Hod směsi s 3 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 106. Struktura PUR 14 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 107. Struktura PUR 15 směsi s 3 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 108. Struktura PUR 18 směsi s 1 % Cloisite 30B.
- Obr. 109. Struktura PUR 20 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 110. Struktura PUR 19 směsi s 1 % Cloisite 30B.
- Obr. 111. Struktura PUR 21 směsi s 1 % Cloisite Na⁺.
- Obr. 112. Struktura PUR 29 směsi s 1 % Cloisite 25A.
- Obr. 113. Struktura PUR 31 směsi s 1 % Claytone APA.
- Obr. 114. Struktura PUR 32 směsi s 1 % Claytone HY.

Obr. 115. Grafické vyjádření Braggovy rovnice.

Obr. 116. Ukázka RTG u PUR 1, PUR 11 a PUR13.

Obr. 117. Znázornění objemových hmotností ve sloupcovém grafu.

Obr. 118. Měření odrazové pružnosti.

Obr. 119. Znázornění odrazové pružnosti z odskoku kuličky ve sloupcovém grafu

Obr. 120. Zařízení pro stanovení trvalé deformace.

Obr. 121. Znázornění trvalé deformace ve sloupcovém grafu.

Obr. 122. Zařízení TIRA 2410.

Obr. 123. Znázornění sag faktoru v sloupcovém grafu.

Obr. 124. Znázornění odporu proti stlačení ve sloupcovém grafu.

Obr. 125. Znázornění hysterze ve sloupcovém grafu.

Obr. 126. Držáky na umístění vzorku.

Obr. 127. Spalovací komora.

Obr. 128. Znázorněná hořlavost ve sloupcovém grafu.

SEZNAM TABULEK

Tab. I. Receptura PUR pěny.

Tab. II. Charakteristika použitých nanoplňiv.

Tab. III. Vyrobené zkušební vzorky.

Tab. IV. Viskozita polyolu s 3 % plnivem Na⁺ i se zbytkem směsi.

Tab. V. Viskozita polyolu s 3% plnivem 30B i se zbytkem směsi.

Tab. VI. Viskozita polyolu s 1% plnivem 30B i se zbytkem směsi.

Tab. VII. Vzhled pórů.

Tab. VIII. Počty pórů.

Tab. IX. Propustnost pórů.

Tab. X. Objemová hmotnost (OH).

Tab. XI. Odrazová pružnost z odskoku kuličky.

Tab. XII. Trvalá deformace v tlaku.

Tab. XIII. Stanovení sag faktoru u PUR pěn.

Tab. XIV. Stanovené odporu proti stlačení.

Tab. XV. Hořlavost u PUR pěn.