

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

David Rubeš

Univerzita Pardubice
Fakulta
chemicko-technologická

Chemická odolnost kompozitních materiálů s proměnnou maticí a výztuží

David Rubeš

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Rubeš**
Osobní číslo: **C16341**
Studijní program: **B2829 Anorganické a polymerní materiály**
Studijní obor: **Polymerní materiály a kompozity**
Název tématu: **Chemická odolnost kompozitních materiálů s proměnnou maticí a výztuží**
Zadávající katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vypracujte literární rešerši na problematiku kompozitních materiálů se zaměřením na používané matrice a skleněné výztuže. V literární rešerši zpracujte přehledně výčet nejdůležitějších pojiv (pryskyřic) používaných ve spojení se skleněnými výztužemi.
2. Uveďte přehled typů skleněných vláken a jejich úprav.
3. Připravte vzorky s epoxidovou maticí a skleněnou výztuží. Uveďte používané technologie příprav těchto kompozitů.
4. Připravte vzorky pro sledování chemické odolnosti zhotovených typů kompozitů a sledujte vliv vybraných agresivních médií na změny vlastností kompozitů.
5. Výsledky diskutujte.
6. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 9/2012 "Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu".

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miroslav Večeřa, CSc.

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek


Datum zadání bakalářské práce: **21. prosince 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2019**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



Ing. David Veselý, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2019

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré zdroje informací, které jsem využil, jsou uvedeny v seznamu využití literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne:

David Rubeš

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mojí bakalářské práce Ing. Miroslavu Večeřovi, CSc. za jeho pomoc a rady. Na místě je také poděkování společnosti Synpo a.s. za nařezání vzorků vodním paprskem a společnosti Spolchemie a.s. za poskytnutí pryskyřice.

ANOTACE

Tato práce v teoretické části popisuje různé polymerní materiály využitelné jako matrice pro kompozity se skleněnou výztuží s ohledem na jejich chemickou odolnost a popisem skleněných textilií využitelných jako kompozitní výztuž. V experimentální části je pak prozkoumán vliv rozdílných skleněných výztuží na chemickou odolnost materiálu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kompozit, chemická odolnost, skleněná výztuž, matrice

TITLE

Chemical resistance of composite materials with varying matrix and reinforcement.

ANNOTATION

In the theoretical part, this thesis describes various polymer materials usable as matrix in composites with glass reinforcement with focus on their chemical resistance and a description of glass textiles usable as composite reinforcement. In the experimental part, an impact of various glass reinforcement on the chemical resistance of the material is examined.

KEYWORDS

Composite, chemical resistance, glass reinforcement, matrix

OBSAH

0	ÚVOD.....	12
1	Teoretická část.....	13
1.1	Polyolefiny	13
1.1.1	Polyethylen	13
1.1.2	Polypropylen.....	14
1.2	Polydieny.....	14
1.2.1	Styren-butadienový kaučuk	15
1.2.2	Isoprenový kaučuk	15
1.3	Polystyrenové plasty	16
1.3.1	Polystyren	16
1.3.2	Akrylonitril-Butadien-Styren.....	16
1.4	Polyhalogenolefiny	16
1.4.1	Polyvinylchlorid.....	17
1.4.2	Polytetrafluorethylen	17
1.5	Polyakryláty	18
1.6	Polyestery.....	19
1.6.1	Polyethyltereftalát	19
1.6.2	Polykarbonát	19
1.7	Polyamidy	20
1.8	Fenolformaldehydové pryskyřice.....	20
1.9	Polysiloxany	21
1.10	Epoxidové pryskyřice.....	21
1.10.1	Výroba	21
1.10.2	Vytvrzování	22
1.11	Skleněná vlákna	22
1.11.1	Výroba	23

1.11.2	Využití	23
1.11.3	Toxikologie	23
2	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
2.1	Vzorky	25
2.1.1	Příprava nových vzorků	25
2.2	Prostředí	28
2.3	Měření chemické degradace	28
2.3.1	Hmotnosti	29
2.3.2	Tahové a ohybové zkoušky	29
2.3.3	Spalná zkouška	29
3	VÝSLEDKY	31
3.1	Tkaná textilie	31
3.2	Netkaná textilie	32
3.3	Kuličky	34
3.4	Bez výztuže	35
3.5	Spalná zkouška	36
4	DISKUZE VÝSLEDKŮ	37
5	ZÁVĚR	42
6	Bibliografie	43

SEZNAM ILUSTRACÍ, TABULEK, GRAFŮ A ROVNIC

Obrázek 1- PE.....	13
Obrázek 2 - PP.....	14
Obrázek 3 - SBR.....	15
Obrázek 4 - IR.....	15
Obrázek 5 - PS.....	16
Obrázek 6 - PVC.....	17
Obrázek 7 - PTFE.....	17
Obrázek 8 – PMMA.....	18
Obrázek 9 - PAN.....	18
Obrázek 10 - PET.....	19
Obrázek 11 – PC.....	19
Obrázek 12 - Silikon.....	21
Obrázek 13 - Výroba epox. pryskyřice.....	21
Obrázek 14 - Schéma vytvrzování aminem.....	22
Obrázek 15 - Tkaná skelná textilie (20).....	23
Obrázek 16 - Netkaná skelná textilie (21).....	24
Obrázek 17 - Skleněná vata (22).....	24
Obrázek 18 - Deska bez výztuže.....	27
Obrázek 19 - Deska s kuličkami.....	27
Obrázek 20 - Nehomog. rozložení kuličkové výztuže.....	38
Obrázek 21 - Vizuální porovnání pro kys. sírovou.....	41
Obrázek 22 - Vizuální porovnání louh-netkaná textilie.....	41
Tabulka 1 - Počet vzorků.....	28
Tabulka 2 - Časový rozvrh.....	28
Tabulka 3 - Hmotnost tělísek z tkané textilie.....	31
Tabulka 4 - Moduly a nap. při por. tělísek z tkané textilie.....	32
Tabulka 5 - Hmotnost tělísek z netkané textilie.....	32
Tabulka 6 - Moduly a nap. při por. tělísek z netkané textilie.....	33
Tabulka 7 - Hmotnost tělísek z kuliček.....	34
Tabulka 8 - Moduly a nap. při por. tělísek z kuliček.....	35
Tabulka 9 - Hmotnost tělísek bez výztuže.....	35

Tabulka 10 - Moduly a nap. při por. tělísek bez výztuže.....	36
Tabulka 11 - Porovnání změn hmotností k 7.6.	37
Tabulka 12 - Porovnání vůči vzduchu k 7.6.	39
Rovnice 1 - Stanovení aminového čísla.....	25
Rovnice 2 - Stanovení čistoty aminu	26
Rovnice 3 - Stanovení epoxidového ekvivalentu	26
Rovnice 4 - Stanovení poměru tvrdidla a epox. pryskyřice.....	27
Rovnice 5 - Stanovení nespalitelných zbytků.....	29
Graf 1 - Hmotnost tělísek z tkané textilie	31
Graf 2 - Hmotnost tělísek z netkané textilie	33
Graf 3 - Hmotnosti tělísek z kuliček	34
Graf 4 - Hmotnosti tělísek bez výztuže	36
Graf 5 - Moduly pružnosti v ohybu	39
Graf 6 - Moduly pružnosti v tahu	39
Graf 7 - Napětí při porušení - oh.....	40
Graf 8 - Napětí při porušení - trh	40

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ABS - Akrylonitril-Butadien-Styren

EPDM – Ethylene Propylene Diene Monomer rubber

HDPE – High Density Polyethylene – Vysokohustotní polyethylen

IR – Isoprene Rubber – Isoprenový kaučuk (Polyisopren)

LDPE – Low Density Polyethylene – Nízkohustotní polyethylen

LLDPE – Linear Low Density Polyethylene – Lineární nízkohustotní polyethylen

NR – Natural Rubber – Přírodní kaučuk

PA - Polyamid

PAN – Polyakrylonitril

PC – Polycarbonate – Polykarbonát

PE – Polyethylen

PET – Polyethylentereftalát

PMMA – Polymethylmethakrylát

PP – Polypropylen

PS – Polystyren

PTFE - Polytetrafluorethylen

PVC – Polyvinylchlorid

SBR – Styren-Butadiene Rubber – Styren-Butadienový kaučuk

Tg – Teplota skelného přechodu

UV – UltraViolet – Ultrafialové (záření)

0 ÚVOD

Různé polymerní materiály mají specifické vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří například houževnatost, zpracovatelnost, chemická odolnost a mnoho dalších. Tyto vlastnosti lze pak ještě vylepšit vytvořením kompozitního materiálu, kde polymer jako matrice váže určitou plnicí/vyztužující složku. Touto složkou jsou často materiály vláknitého nebo částicovitého charakteru různého složení.

V teoretické části této bakalářské práce budou shrnuty různé běžné polymerní materiály využitelné jako matrice s ohledem na jejich chemickou odolnost. Dále budou uvedeny různé skleněné výztuže využívané v kompozitních materiálech.

Experimentální část práce volně navazuje na bakalářskou práci Pavla Miklicy (1), ve které připravil několik různých kompozitů tkané a netkané skleněné textilie ve vytvrzené epoxidové pryskyřici.

V experimentální části této práce budou připraveny vzorky složené z vytvrzené epoxidové pryskyřice jako matrice a skleněných kuliček o průměru cca 1mm jako výztuže, vzorky pouze z vytvrzené pryskyřice bez výztuže a vzorky z kompozitů připravených Pavlem Miklicou. Tyto materiály budou vystaveny chemicky agresivním prostředím a bude zkoumán vliv různých skleněných výztuží na celkovou chemickou odolnost kompozitního materiálu.

1 Teoretická část

1.1 Polyolefiny

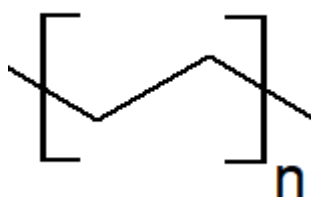
Polyolefiny jsou průmyslově nejprodukovanějšími polymerními materiály. Jsou vyráběny polyadici přes dvojnou vazbu olefinových monomerů. Vyznačují se vysokou chemickou odolností vůči většině látek.

Polyolefiny mohou být náchylné na UV záření, Je proto nutné je stabilizovat, především pak je nutné stabilizovat polyolefiny využívané pro venkovní aplikace. UV degradace způsobuje změnu zabarvení, ztrátu lesku, praskání a zkrěhnutí materiálu. UV je schopné polyolefiny i projít a způsobit degradaci např. jídla, pokud jsou využity jako balící materiál. (2)

Ke stabilizaci se využívají různé pigmenty jako například oxid titaničitý, zinečnatý a jiné. Nejčastěji se však využívají saze, které jsou nejlevnější a nejefektivnější. Na druhou stranu nelze materiál dále barvit.

Největší zastoupení mají:

1.1.1 Polyethylen



Obrázek 1- PE

Polyethylen je vyráběn buďto radikálovou polymerací, nebo polyinsercí na různých katalyzátorech. Od typu výroby se odvíjí jeho výsledná struktura a ve výsledku i odlišná chemická odolnost.

1.1.1.1 LDPE

Nízkohustotní polyethylen vzniká radikálovou polymerací, během které dochází k větvení. Větvení zamezuje krystalizaci a vznikají při tom terciární uhlíky, které jsou náchylnější vůči UV. Spojeno s nižší krystalinitou, a tudíž větší mezimolekulovou vzdáleností umožňující permeaci molekul korozivního prostředí do polymeru, lze říci, že odolnost LDPE je obecně nižší než HDPE

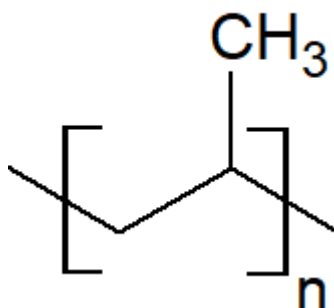
1.1.1.2 HDPE

Vysokohustotní polyethylen vzniká polyinsercí na katalyzátorech. Vzniká tak nevětvený lineární polymer. Absence větvení znamená, že neobsahuje terciární uhlíky a umožňuje vysokou krystalinitu, to znamená, že mezimolekulová vzdálenost je malá a obecně nedochází k permeaci korozního prostředí do polymeru.

1.1.1.3 LLDPE

Lineární nízkohustotní polyethylen se vyrábí stejnou metodou jako HDPE, ale přidavkem vyšších olefinů se docílí větvení. Odolnost je tudíž spíše podobná LDPE.

1.1.2 Polypropylen



Obrázek 2 - PP

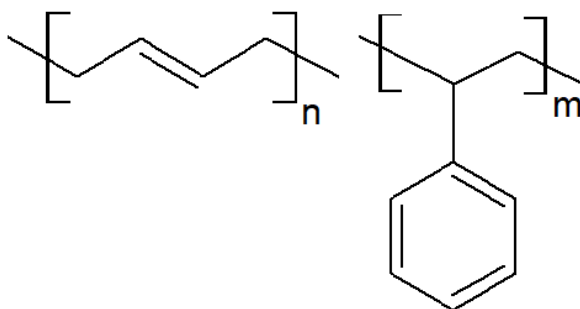
Polypropylen vyrobený radikálovou polymerací je ataktický, nízkomolekulární a připomíná parafín. Jako materiál se tudíž nepoužívá. Jako materiál se používají jeho taktické formy vyráběné na katalyzátorech. Vzácně se využívá syndiotaktický, ale především izotaktický.

Izotaktický PP krystalizuje a jeho chemická odolnost je velice podobná PE. V důsledku vysokého obsahu terciárních uhlíků je odolnost vůči UV v porovnání s PE mizivá. PP má oproti PE o něco vyšší odolnost vůči korozi pod napětím. (3)

1.2 Polydieny

Polydieny, někdy také označovány jako kaučuky, jsou polymery vzniklé spojením dienových monomerů. To znamená monomerů obsahujících dvě dvojně vazby. Polymerací obou dvojných vazeb vzniká uvnitř nová dvojná vazba. Tato vazba je následně využita k zesílení polymeru a vzniká tak elastický kaučuk.

1.2.1 Styren-butadienový kaučuk

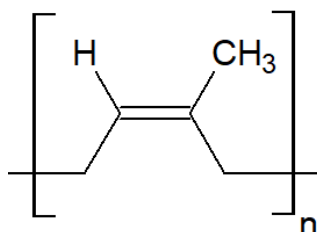


Obrázek 3 - SBR

Kopolymer styrenu s butadienem je jedním z nejvíce vyráběných syntetických kaučuků na světě.

Pokud je SBR zesíťovaný (například vulkanizací) je odolný rozpouštědlům a pouze bobtná. K jeho degradaci dochází především dalším síťováním volných dvojných vazeb, které dodávají polymeru pružnost. K tomu může dojít v důsledku zvýšené teploty nebo oxidačních jevů. To vede k jeho ztuhnutí až drolení. (4) Působením UV záření může dojít k jeho žloutnutí. (5) Lze ho stabilizovat oxidem titaničitým, který přímo nemění fotooxidaci, ale má vliv na akumulaci produktů fotooxidace. (6)

1.2.2 Isoprenový kaučuk



Obrázek 4 - IR

Isoprenovým kaučukem se rozumí buďto syntetický polyisopren (IR), nebo přírodní kaučuk (NR). U přírodního převládá cis- forma. Syntetický je pak směsí cis-, trans- a 3,4- polymerů.

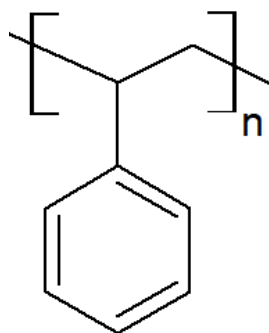
Polyisopren má nad ostatními elastickými polymery výhodu v tom, že při tahu se jeho makromolekuly zarovnávají a materiál tak krystalizuje. To dodává IR vysokou pevnost v tahu.

Chemickou odolností je polyisopren velice podobný SBR. Polyisopren se dále stabilizuje antiozonanty a voskem. Vosk putuje k vnějším krajům výrobku z polyisoprenu kde vytváří ochrannou vrstvu. Jako antiozonant lze využít EPDM. (5)

1.3 Polystyrenové plasty

Polystyrenové plasty jsou polymery a kopolymery styrenu. Jejich využití je široké. Od termoplastických hmot přes zpěňované materiály, až po zesíťované houževnaté typy.

1.3.1 Polystyren



Obrázek 5 - PS

PS je termoplastický polymer amorfního charakteru. Je proto velice průhledný, avšak disponuje značnou křehkostí.

Polystyren je značně rozpustný v řadě organických rozpouštědel. Od aromatických rozpouštědel, alifatických rozpouštědel i chlorovaných uhlovodíků po ketony, cykloethery a cyklické uhlovodíky. Odolává však nízkomolekulárním polárním rozpouštědlům jako nižší alkoholy a voda. (7)

Polystyren má velice špatnou odolnost vůči UV v důsledku aromatických skupin. Má nízké T_g (do 100°C). Při překročení T_g dochází k oddálení makromolekul a větší volný objem umožňuje větší vstup chemikálií. Rozpustnost v organických rozpouštědlech je u zpěňovaných polystyrenů extrémně rychlá.

1.3.2 Akrylonitril-Butadien-Styren

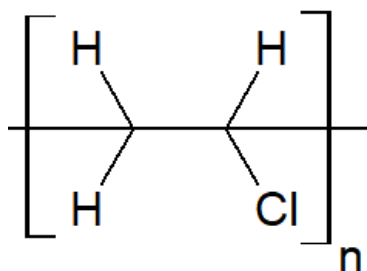
Známý také jako ABS plast. Jedná se o kombinaci styrenu s butadienem a akrylonitrilem. V tomto polymeru akrylonitril dodává pevnost, butadien pružnost a styren objem.

Špatná odolnost vůči UV přetrvává v důsledku aromatických skupin styrenu a dvojných vazeb butadienu. Odolnost vůči rozpouštědlům je také limitovaná. Obsah polárních vazeb však dodává větší odolnost vůči nepolárním rozpouštědlům.

1.4 Polyhalogenolefiny

Polymery halogenovaných olefinů. Jedná se především o dva polymery, a to polyvinylchlorid a polytetrafluorethylen.

1.4.1 Polyvinylchlorid



Obrázek 6 - PVC

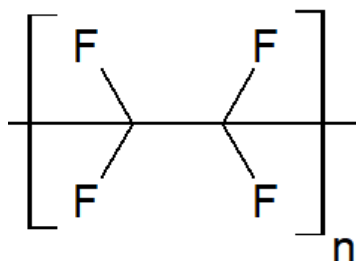
PVC je nenahraditelný termoplast. Jeho široké využití a nízká cena z něj dělají jeden z nejvíce vyráběných polymerů na světě. PVC se může využívat jako neměkčený nebo měkčený.

Chemická odolnost PVC je vůči chemikáliím relativně dobrá. Odolává alkoholům, kyselinám, zásadám, olejům a dalším uhlovodíkům. (8)

Odolnost vůči teplotě už tak ne. Stabilní je dlouhodobě do 60°C, krátkodobě až 75°C. Nad 100°C se z PVC uvolňuje chlorovodík který dále katalyzuje další rozklad polymeru.

Při výrobě PVC se používá široká škála aditiv jako změkčovadla a stabilizátory v různých množstvích. Chemická odolnost materiálu závisí i na těchto aditivech.

1.4.2 Polytetrafluorethylen



Obrázek 7 - PTFE

PTFE je vysoce krystalický termoplast. Přes výskyt C-F vazeb se jedná o nepolární polymer, jelikož jejich symetrické uspořádání vyruší vzniklé dipóly.

Jedná se o nejstabilnější polymer. Ať už z hlediska chemické nebo fyzikální odolnosti. Krystalickou strukturu si uchovává do 327°C taje při 345°C a degraduje při 400°C. Chemicky je napadán pouze fluorem nebo alkalickými kovy nad 200°C. (3) Jedinou nevýhodou je nízká pevnost a cena. Jeho nereaktivnost může být také na obtíž při zpracovatelnosti a je téměř nemožné PTFE barvit.

1.5 Polyakryláty

Polymery a kopolymery kyseliny akrylové (polyakryláty) a jejich derivátů jsou obecně velice transparentní a mají dobrou odolnost vůči povětrnosti. Mají také dobré filmotvorné vlastnosti a používají se jako nátěry, pojiva, plasty.

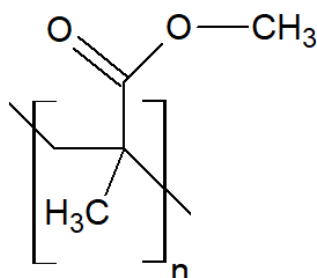
Polymerací akrylátů s vhodnými postranními reaktivními skupinami lze docílit zesíťení které vede ke zvýšené chemické odolnosti. Ta pak závisí na typu zesíťení.

Mezi polyakryláty se řadí mnoho různých polymerů, jako například:

Kyselina polyakrylová

Polymethakrylát

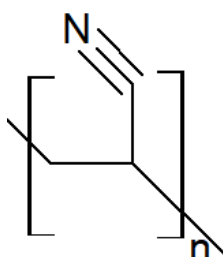
Polymethylmethakrylát



Obrázek 8 – PMMA

Polymethylmethakrylát má výbornou odolnost vůči UV záření. (9) Díky tomu může být využíván jako plexisklo. Dále je odolný slabým kyselinám a zásadám, olejům, nepolárním rozpouštědlům a vodě, i když ve vlhkém prostředí navlhá. (10)

Dalším derivátem je polyakrylonitril jehož chemická odolnost je z polyakrylátů nejvyšší.



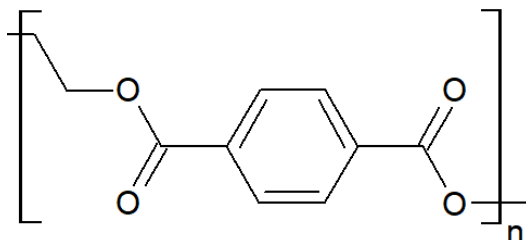
Obrázek 9 - PAN

PAN má velice dobrou odolnost proti alkoholům a je odolný slabým kyselinám, zásadám a aromatickým i alifatickým rozpouštědlům. Neodolává však esterům a halogenovaným uhlovodíkům. (11)

1.6 Polyestery

Polyestery jsou jednou z nejvíce vyráběných skupin polymerů. Jejich využití je velice rozsáhlé. Polyestery se využívají jako syntetická vlákna, obalové materiály, nátěrové hmoty i konstrukční materiály.

1.6.1 Polyethylentereftalát

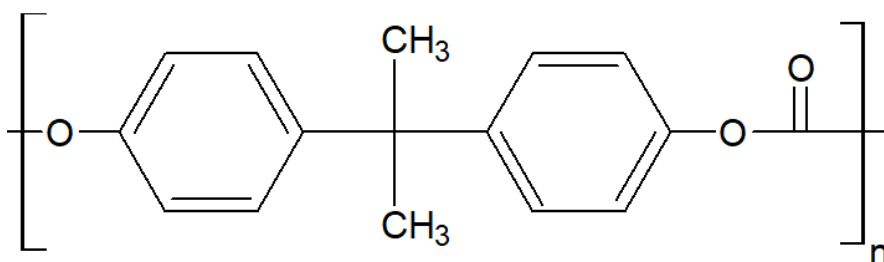


Obrázek 10 - PET

Polyethylentereftalát je nejvýznamnějším z polyesterů. Jedná se o termoplast ale je možné ho přidavkem vhodných monomerů síťovat.

Má dobrou tepelnou odolnost a odolnost vůči rozpouštědlům, olejům, slabým kyselinám a vodě. Na druhou stranu při styku se silnějšími zásadami dochází ke zmýdelňování esterových vazeb, které drží strukturu polymeru. Za zvýšené teplotě ve vodním prostředí také dochází k hydrolýze. (12) Z důvodu výskytu aromatických skupin je odolnost vůči UV také limitovaná.

1.6.2 Polykarbonát



Obrázek 11 – PC

Polykarbonát je mimořádně pevný termoplastický materiál. Je odolný vůči mechanickému působení. Je odolný olejům, zředěným kyselinám a mýdlům. Chemicky však neodolává vodním parám při vyšších teplotách, methanolu (3) a nestabilizovaný je náchylný na UV záření (13).

Chemicky dále neodolává silným kyselinám a alkáliím, ketonům cyklickým etherům a chlorovaným rozpouštědly. (7)

1.7 Polyamidy

Polyamidy jsou důležitým polymerním materiálem využívaným pro textilní a konstrukční aplikace. Nalézt je můžeme v přírodě jako například bílkoviny, nebo jsou synteticky vyráběny nejčastěji polykondenzací vícefunkčních aminů s vícefunkčními karboxylovými kyselinami.

Vyznačují se dobrou pevností a odolností vůči aromatickým rozpouštědly, ketonům, slané vodě. (14) Odolné jsou i vůči alkáliím, ale účinek kyselin je velice negativní. Polyamidy jsou také nasákové vodou, která v nich má změkčující vlastnosti.

Mezi polyamidy se řadí např. PA 6 a PA 6,6 které dohromady tvoří většinu polyamidů dále pak PA 6,10 PA 4,6 atd...

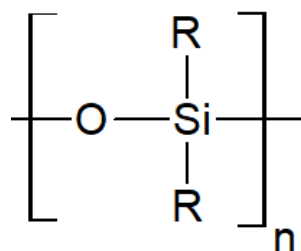
Dalším druhem polyamidů jsou aromatické amidy (aramidy), které se vyznačují velikou pevností a chemickou odolností. Z důvodu aromatických skupin však podléhají UV záření.

1.8 Fenolformaldehydové pryskyřice

Fenolformaldehydové pryskyřice (fenoplasty) jsou jednou z nejstarších skupin syntetických polymerů. Existují dva základní typy; rezoly a novolaky. Fenoplasty mají výbornou chemickou odolnost vůči většině činidel.

I přes obsah aromatických skupin je odolnost vůči UV relativně vysoká, i když po delší expozici slunečnímu záření může docházet ke změně barvy.

1.9 Polysiloxany



Obrázek 12 - Silikon

Známé také pod názvem silikony jsou organokřemičité polymerní materiály. Podle polymeračního stupně a stupně zesíťení je lze rozlišit na oleje, pryskyřice, kaučuky a tmely. Vyznačují se vysokou tepelnou i chemickou odolností. Díky své chemické inertnosti jsou vhodné pro využití v kuchyni, ale i lékařství. Jsou náchylné pouze na silné kyseliny a zásady.

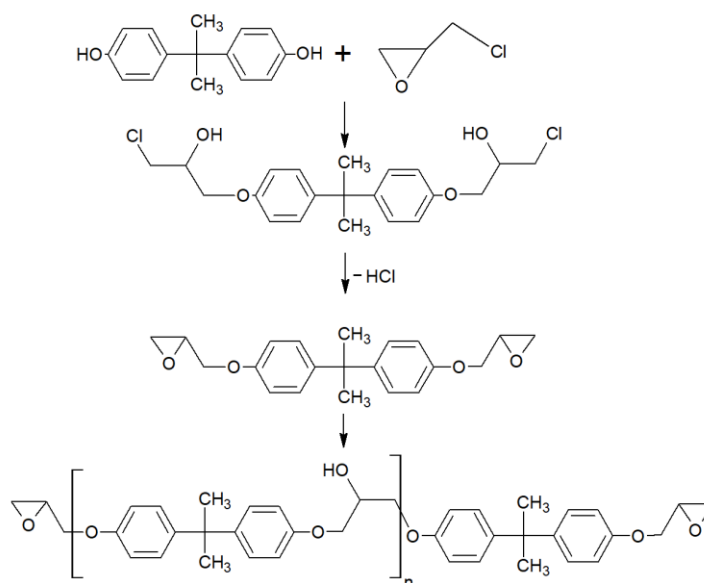
1.10 Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice jsou reaktoplastické látky s širokým využitím. Využívají se především jako lepidla, zalévací hmoty, matrice kompozitních materiálů, nátěrové hmoty a další.

Chemická odolnost je relativně vysoká vůči většině chemikálií. Neodolávají pouze silným alkáliím, z důvodu zmýdelnění esterových vazeb. Jelikož jsou nejčastěji založeny na Bisfenoulu, který obsahuje aromatické skupiny je odolnost vůči UV také omezená.

Největší nevýhodou oproti ostatním polymerním materiálům je jejich vyšší cena.

1.10.1 Výroba



Obrázek 13 - Výroba epox. pryskyřice

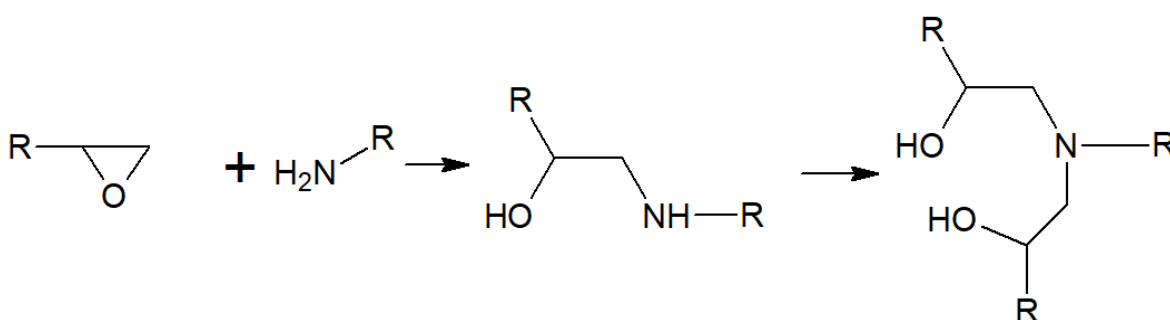
Epoxidová pryskyřice se nejčastěji vyrábí reakcí Bisfenolu A s epichlorhydrinem. Epichlorhydrin se naváže na konce Bisfenolu, odštěpí se kyselina chlorovodíková neutralizací NaOH a je tak získána molekula s Bisfenolem uprostřed a epoxidovými skupinami na obou koncích. Tato molekula pak může reagovat sama se sebou do požadovaného polymeračního stupně.

Výsledný polymerační stupeň pak udává viskozitu pryskyřice, která může být relativně nízká až tak vysoká, že se bude jednat o tuhou, křehkou látku.

1.10.2 Vytvrzování

Samotná epoxidová pryskyřice je nepoužitelná, dokud se nevytvdí. Existují různá tvrdidla, jako například aminy, thioly, amidy, anhydridy kyselin.

Většinou se jedná o dvojsložkové systémy. Co se jednosložkových systémů týče, ty lze připravit z tuhých pryskyřic namletých s tuhými anhydridy, které tuhnou za tepla, nebo smísením pryskyřice s ketiminy. V tomto případě tuhnou za vlhkosti.



Obrázek 14 - Schéma vytvrzování aminem

Jako vytvrzovací aminy se využívá například diethylentriamin, který ne pětifunkční. Tím vzniká zesíťovaný polymer s vysokou hustotou sítě. To znamená že je výsledná vytvrzená pryskyřice velice tvrdá, ale i křehká. Křehkosti lze předejít například využitím změkčovadla.

1.11 Skleněná vlákna

Skleněná vlákna jsou nejobvyklejším plnivem/výztuží polymerních kompozitů. Jejich výhodou je nízká cena, vysoká pevnost a chemická odolnost. Na druhou stranu mají sklená vlákna nízkou pružnost, obušují se o sebe a neupravené mají nízkou adhezi k polymerní matici.

V praxi se problém s obrušováním řeší lubrikujícím potahem. Podobně se řeší i problém s nízkou adhezí vůči matrici. Nejčastěji se vlákna potahují vrstvou organosilanů, které mají podobnou strukturu jako sklo a tak k němu mají dobrou adhezi. (15)

1.11.1 Výroba

Skleněná vlákna se vyrábějí z taveniny skla. Tato tavenina prostupuje skrze malé otvory. Tím se tvoří tenká vlákna taveniny, která je dále navíjena potřebnou rychlostí. Během tohoto procesu se z taveniny postupným chlazením stává pevná látka.

Takto připravená vlákna se nadále povrchově upravují a balí se pro další využití. (16)

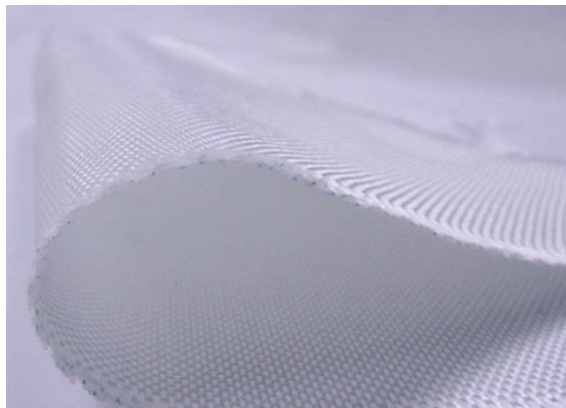
Hlavními typy skla využívanými pro výrobu skelných vláken jsou: vysoce zásadité sklo (A-glass), slabě zásadité sklo (E-glass), chemicky odolné sklo (ECR-glass) a vysokonapěťové sklo (S-glass). (17)

1.11.2 Využití

Skleněná vlákna mají mnohá využití. Buďto mohou být vlákna využita jako náhodně orientovaná stříž, vata, provazce, textilie a další. V dnešní době se skelná vlákna nachází ve stavebnictví (18), automobilovém průmyslu ve vstřikovacích aplikacích, v ručním kladení na formy a další. (19)

1.11.3 Toxikologie

Skleněná vlákna dosahují konstantních rozměrů stanovených výrobcem. Tyto rozměry pak zůstávají stejné a nedochází u nich k rozštěpování jako např. u azbestu. Skleněná vlákna ať už v jakékoli formě jsou tedy zdravotně nezávadná, pokud výrobce respektuje minimální tloušťku vláken nad 3 mikrometry. Skleněná vlákna dráždí pokožku, ale poškození je minimální a rychle odeznívá. (20)



Obrázek 15 - Tkaná skelná textilie (21)



Obrázek 16 - Netkaná skelná textilie (22)



Obrázek 17 - Skleněná vata (23)

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Vzorky

Z práce Pavla Miklicy byly vybrány vzorky připravené z tkané a netkané textilie s matricí z epoxidové pryskyřice CHS 501 vytvrzené aminovým tvrdidlem Telalit 420. Vzorky byly ve formě desek a byly proto nařezány na tělíska o dvou různých rozměrech.

Byla nařezána tělíska menšího rozměru (cca 1x8 cm) pro ohybové zkoušky a tělíska většího rozměru (cca 1x15 cm) pro zkoušku tahovou. Hrany těchto nařezaných tělísek byly zatřeny stejnou epoxidovou pryskyřicí vytvrzenou stejným tvrdidlem, ze kterých byla tělíska připravena. Zatření hran mělo za cíl omezit rychlost penetrace korozivního prostředí do materiálu skrze nařezáním obnažené rozhraní matrice a výztuže.

Dále byla připravena nová tělíska, také z epoxydové pryskyřice CHS 501 vytvrzené tvrdidlem Telalit 420. Jedna polovina tělísek byla plněna skleněnými kuličkami a druhá polovina zůstala nevyplněna. Hrany byly zatřeny u tělísek plněných skleněnými kuličkami.

2.1.1 Příprava nových vzorků

Pro stanovení optimálního poměru epoxidové pryskyřice a tvrdidla se využívá několikakrokový postup:

2.1.1.1 Stanovení aminového čísla

Stanovení aminového čísla je důležité pro určení množství aminových skupin ve tvrdidle. Určuje se proto, že tvrdidlo nemusí dosahovat absolutní čistoty.

Do 100 ml odměrné baňky bylo naváženo 0,7292g tvrdidla Telalit 420 a baňka byla doplněna ledovou kyselinou octovou po rysku. Z roztoku bylo odpipetováno 5 ml do titrační baňky a bylo přidáno cca 20 ml další ledové kyseliny octové. Tento roztok byl titrován 0,1M roztokem kyseliny chloristé na krystalovou violet do modrozeleného zbarvení. Stejně byl proveden i slepý pokus.

Výpočet:

Rovnice 1 - Stanovení aminového čísla

$$\text{č. a.} = \frac{(A - B) \cdot f \cdot 5,611 \cdot z}{n}$$

Kde:

č.a. = aminové číslo (mg KOH/g vzorku)

A = spotřeba kyseliny chloristé na titraci (4,1 ml)

B = spotřeba na slepý pokus (0,1 ml)

f = faktor kys. chloristé (0,9844)

z = zředovací faktor (20 ml)

n = navážka aminu (0,7292)

Aminové číslo bylo takto stanoveno na 605 mg KOH/g. Podle datasheetu tvrdidla se č.a. pohybuje v rozmezí 600-650. Čistota aminu by tedy podle následující rovnice byla cca 100%-93%.

Rovnice 2 - Stanovení čistoty aminu

$$\% = \frac{\text{č. a.}}{\text{teor. č. a.}} \cdot 100$$

2.1.1.2 Stanovení Epoxidového čísla podle Jaye

Při této metodě se bromovodík uvolňovaný z reakce mezi kyselinou chloristou a hexadecyltrimethylamoniumbromidem váže na epoxidové skupiny pryskyřice.

Na analytických vahách bylo naváženo 0,2 až 0,5g epoxidové pryskyřice, která byla rozpuštěna v 25ml chloroformu a byl přidán cca 1 g hexadecyltrimethylamoniumbromidu. Roztok byl titrován 0,1M kys. chloristou na krystalovou violet' do modrozeleného zbarvení. Stejně byl proveden i slepý pokus.

Výpočet:

Rovnice 3 - Stanovení epoxidového ekvivalentu

$$\frac{EE}{kg} = \frac{(A - B) \cdot f \cdot 0,1}{n}$$

Kde:

EE/kg = epoxidový ekvivalent/kg

A = spotřeba kys. chloristé na titraci (23ml)

B = spotřeba na slepý pokus (0,6ml)

f = faktor kys. Chloristé (0,9844)

n = navážka pryskyřice (0,4345g)

Epoxidový ekvivalent byl takto určen na 5,07 EE/kg.

Poměr tvrdidla a epoxidové pryskyřice byl získán podle rovnice:

Rovnice 4 - Stanovení poměru tvrdidla a epox. pryskyřice

$$\frac{\text{g tvrdidla}}{\text{kg pryskyřice}} = H_{ekv} \cdot \frac{EE}{kg} \cdot F$$

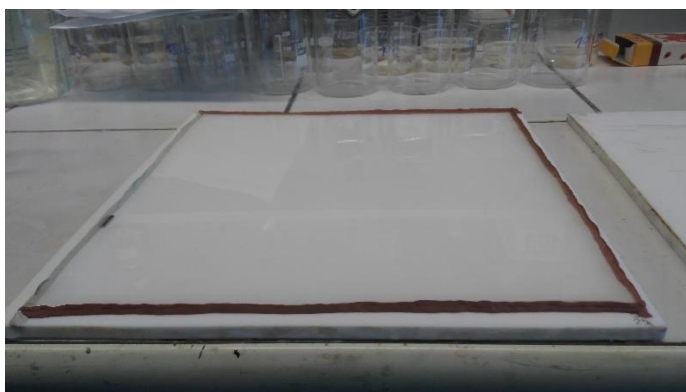
Kde

H_{ekv} = vodíkový ekvivalent (podle datasheetu pryskyřice CHS 501 je 42,5)

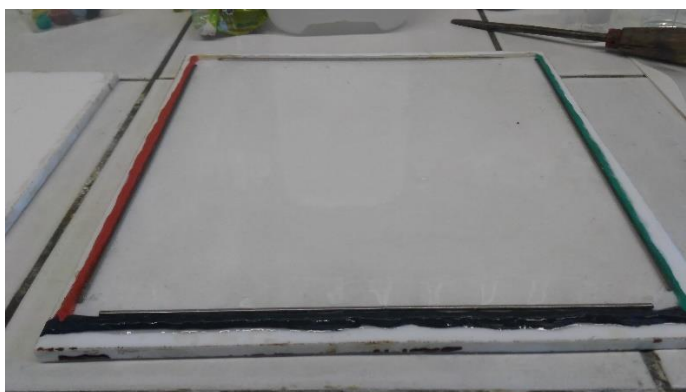
F = faktor přebytku tvrdidla

Množství tvrdidla bylo takto stanoveno na 210 – 225 g tvrdidla / kg pryskyřice.

Pryskyřice s odpovídajícím množstvím tvrdidla byla smíchána a odstředěna kvůli odstranění vzduchových bublin. Byla z ní vytvořena deska odlitím na teflonové desky natřené silikonovým olejem v toluenu. Stejně tak byla vytvořena deska se skleněnými kuličkami. Ty byly řádně umyty a odmaštěny a byly co nejrovnoměrněji nasypány na odlitou vrstvu pryskyřice, přes kterou sedimentovaly na dno.



Obrázek 18 - Deska bez výztuže



Obrázek 19 - Deska s kuličkami

Desky byly dotvrzeny v sušárně za zvýšené teploty a nařezány na testovací tělíska. Všechny takto připravené vzorky byly vloženy do různých prostředí.

2.2 Prostředí

Byla vybrána 4 korozivní prostředí a pátým prostředím byl vzduch, jakožto referenční prostředí. Jako korozivní prostředí byly připraveny: 20 hm.% roztok ethanolu, 10 hm.% roztok kyseliny sírové, 10 hm.% roztok hydroxidu sodného (dále taky louh) a technický benzín.

Všechny vzorky byly rovnoměrně umístěny do korozivních prostředí. To znamená:

Tabulka 1 - Počet vzorků

Počet vzorků:	vzduch	20% líh	10% k. sírová	10% h. sodný
Neplněné dlouhé	4	3	3	3
Neplněné krátké	4	3	3	3
Plněné kuličkami dlouhé	4	2	2	2
Plněné kuličkami krátké	4	4	4	4
Plněné netk. text. dlouhé	4	4	4	4
Plněné netk. text. krátké	4	4	4	4
Plněné tkan. text. dlouhé	4	4	4	4
Plněné tkan. text. krátké	4	4	4	4

2.3 Měření chemické degradace

Vzorky byly vloženy do korozivních prostředí a pravidelně kontrolovány. Před každým měřením byly vzorky vytaženy a osušeny. Byla měřena jejich hmotnost a Youngův modul pružnosti v ohybu v průběhu času. Po ukončení měření byly vzorky znovu do prostředí vloženy.

Časový rozvrh měření:

Tabulka 2 - Časový rozvrh

Tkaná a netkaná textilie	14.3.	15.3.	18.3.	22.3.	29.3.	26.4.	7.6.
Dní od posledního měření	0	1	3	4	7	28	42
Celk. dní v prostředí	0	1	4	8	15	43	85
Bez výztuže a s kuličkami	21.3.	22.3.	25.3.	29.3.	5.4.	3.5.	7.6.
Dní od posledního měření	0	1	3	4	7	28	35
Celk. dní v prostředí	0	1	4	8	15	43	78

První data měření (14.3. a 21.3.) jsou brána před vložením tělísek do korozivních prostředí.

2.3.1 Hmotnosti

Hmotnosti tělísek byly měřeny v souladu s rozvrhem. Tělíska byla pokaždé vytažena z prostředí a řádně osušena. Poté byla umístěna na analytické váhy a byla změřena jejich hmotnost s přesností na setiny gramu. Hmotnosti tělísek na vzduchu byly změřeny pouze na začátku a na konci měření.

2.3.2 Tahové a ohybové zkoušky

Menší tělíska byla umístěna do trhacího stroje MTS-4/M. Zkouška byla prováděna u všech tělísek umístěných v korozivních prostředích (kromě vzduchu) a kromě tělísek s kuličkovou výztuží, z důvodu jejich vysoké křehkosti. Rychlost ohybu byla 2mm/min a vzdálenost podpěr 32mm. Měření bylo opatrně pozorováno a přerušeno, jakmile se křivka závislosti napětí na prodloužení začínala ohýbat. Tím se zamezilo plastické deformaci a tělíska mohla být znovu vložena do korozivních prostředí a využita při dalším měření. Toto měření nebylo prováděno před vložením do korozivních prostředí, z důvodu předpokladu zanedbatelné odchylky od vzorků na vzduchu.

V poslední den měření byla všechna tělíska (včetně tělísek na vzduchu a s kuličkovou výztuží) podrobena destruktivní deformační zkoušce v ohybu i v tahu. Tahová zkouška byla prováděna také na trhacím přístroji MTS-4/M. Upínací vzdálenost trhacích čelistí byla 100mm a rychlost trhání byla 5mm/min. Obě deformační zkoušky byly prováděny do momentu kdy kompozitní materiál selhal pod napětím.

2.3.3 Spalná zkouška

Pro určení nespalitelných zbytků kompozitního materiálu, kterými je skleněná výztuž bylo využito vypalování kompozitu v peci při teplotě 600°C do konstantní hmotnosti. Při této teplotě se ze vzorku vypálila epoxidová matrice a zůstala pouze skleněná výztuž. Obsah nespalitelných zbytků byl poté vypočítán podle:

Rovnice 5 - Stanovení nespalitelných zbytků

$$w_{výztuž\%} = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100$$

Kde

$w_{výztuž\%}$ = hmotnostní procenta skleněné výztuže v kompozitu

m_2 = hmotnost nespálených zbytků (skleněné výztuže)

m_1 = hmotnost vzorku před spálením

Tato zkouška byla provedena pouze u kompozitu s kuličkovou výztuží, jelikož obsah nespalitelných zbytků u kompozitu z tkané a netkané textilie byl již změřen Pavlem Miklicou.

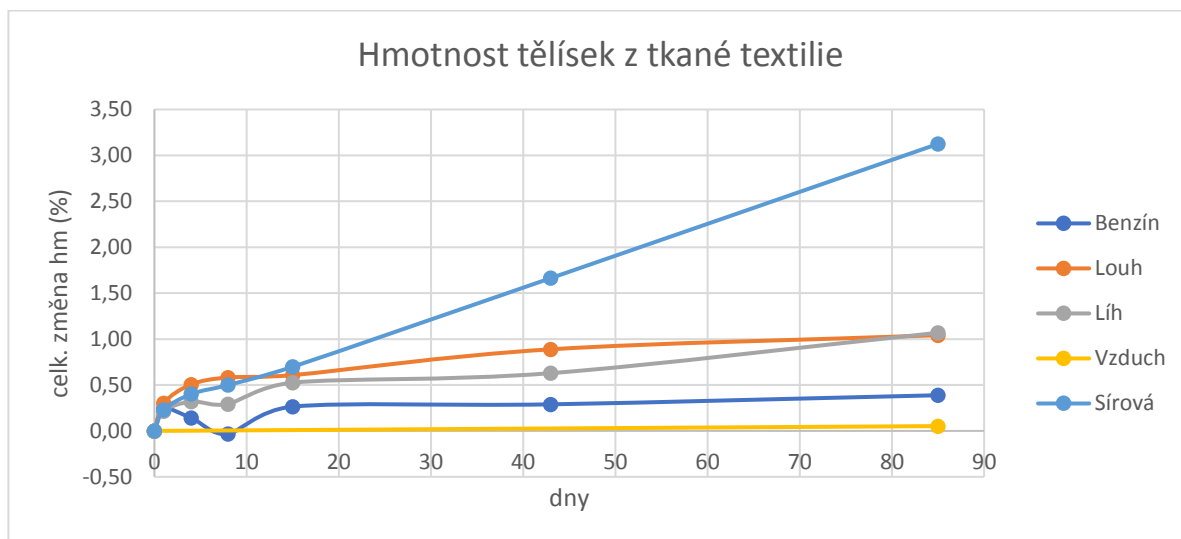
Hodnoty obsahu nespalitelných zbytků byly u kompozitu s výztuží ze tkané skelné textilie 74% a u kompozitu s výztuží z netkané skelné textilie 51,5%

3 VÝSLEDKY

3.1 Tkaná textilie

Tabulka 3 - Hmotnost tělísek z tkané textilie

Prostředí		14.3.	15.3.	18.3.	22.3.	29.3.	26.4.	7.6.	
Benzín	hmotnost tělísek (g)	40,32	40,42	40,38	40,31	40,43	40,44	40,48	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,24	0,14	-0,03	0,26	0,29	0,39	
Louh	hmotnost tělísek (g)	39,15	39,27	39,35	39,38	39,39	39,50	39,56	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,30	0,51	0,58	0,61	0,89	1,04	
Sírová	hmotnost tělísek (g)	40,39	40,48	40,55	40,59	40,67	41,06	41,65	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,23	0,40	0,50	0,70	1,66	3,12	
Líh	hmotnost tělísek (g)	38,68	38,76	38,80	38,79	38,88	38,92	39,09	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,22	0,32	0,29	0,53	0,63	1,07	
Vzduch	hmotnost tělísek (g)	38,12							38,14
	celk. změna hm. (%)	0,00							0,05



Graf 1 - Hmotnost tělísek z tkané textilie

Tabulka 4 - Moduly a nap. při por. tělísek z tkané textilie

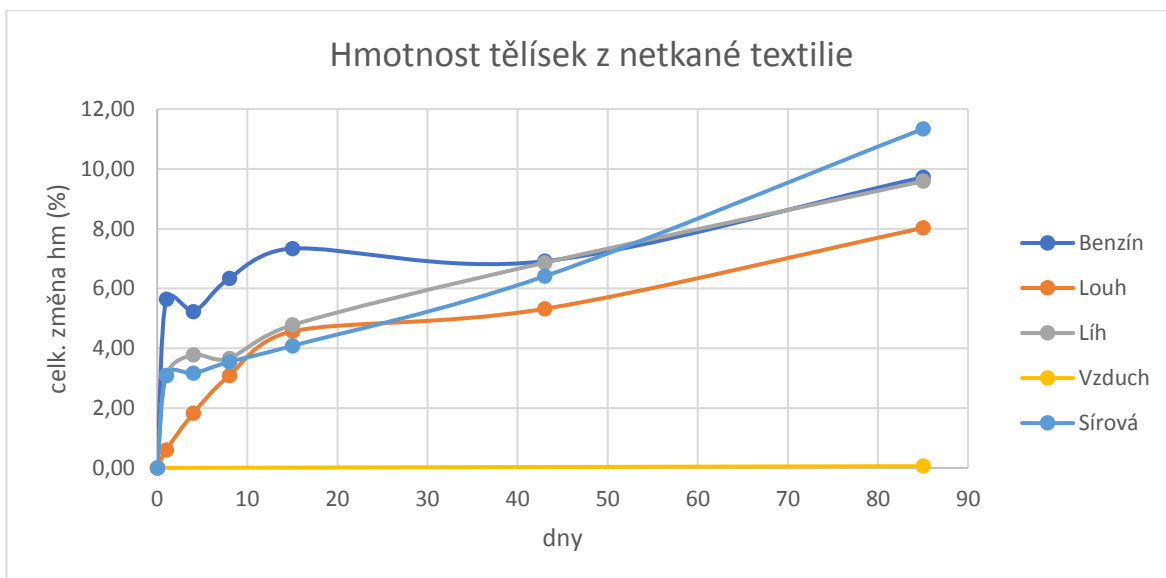
Prostředí	Char. (MPa)	15.3.	18.3.	22.3.	29.3.	26.4.	7.6.
Benzín	Modul v ohybu	16808	17756	15888	15579	15829	16458
	Modul v tahu						5013
	Nap. Při porušení - trh						177,29
	Nap. Při porušení - oh.						306,85
Louh	Modul v ohybu	15547	16486	13591	15173	17570	13916
	Modul v tahu						4169
	Nap. Při porušení - trh						104,3
	Nap. Při porušení - oh.						190,9
Sírová	Modul v ohybu	14283	19646	15697	15366	13563	11442
	Modul v tahu						5266
	Nap. Při porušení - trh						176,8
	Nap. Při porušení - oh.						158,5
Líh	Modul v ohybu	16424	12433	14866	15265	15888	13509
	Modul v tahu						5383
	Nap. Při porušení - trh						169,3
	Nap. Při porušení - oh.						206,5
Vzduch	Modul v ohybu						14732
	Modul v tahu						5029
	Nap. Při porušení - trh						206,7
	Nap. Při porušení - oh.						323,9

(trh = tahová zkouška, oh. = ohybová zkouška)

3.2 Netkaná textilie

Tabulka 5 - Hmotnost tělísek z netkané textilie

Prostředí		14.3.	15.3.	18.3.	22.3.	29.3.	26.4.	7.6.
Benzín	hmotnost tělísek (g)	26,02	27,49	27,38	27,67	27,93	27,82	28,55
	celk. změna hm. (%)	0,00	5,65	5,22	6,34	7,34	6,91	9,72
Louh	hmotnost tělísek (g)	27,73	27,90	28,24	28,59	29,00	29,21	29,96
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,60	1,82	3,09	4,56	5,32	8,03
Sírová	hmotnost tělísek (g)	26,18	26,99	27,01	27,11	27,25	27,86	29,15
	celk. změna hm. (%)	0,00	3,09	3,16	3,55	4,08	6,41	11,34
Líh	hmotnost tělísek (g)	25,90	26,70	26,88	26,85	27,14	27,68	28,39
	celk. změna hm. (%)	0,00	3,08	3,77	3,66	4,78	6,86	9,59
Vzduch	hmotnost tělísek (g)	26,76						26,78
	celk. změna hm. (%)	0,00						0,06



Graf 2 - Hmotnost tělísek z netkané textilie

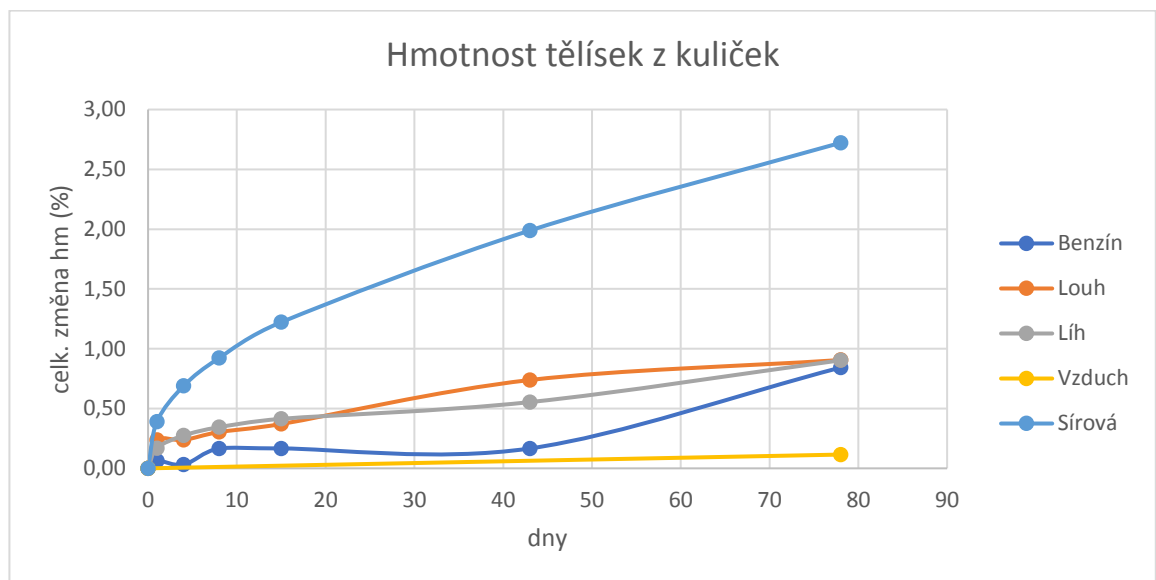
Tabulka 6 - Moduly a nap. při por. tělísek z netkané textilie

Prostředí	Char. (MPa)	15.3.	18.3.	22.3.	29.3.	26.4.	7.6.
Benzín	Modul v ohybu	8244	8195	7182	7722	7473	7264
	Modul v tahu						4417
	Nap. Při porušení - trh						105,47
	Nap. Při porušení - oh.						142,27
Louh	Modul v ohybu	9540	8055	8184	6787	7864	5700
	Modul v tahu						5973
	Nap. Při porušení - trh						28,93
	Nap. Při porušení - oh.						66,45
Sírová	Modul v ohybu	7935	8133	6698	6813	7898	4528
	Modul v tahu						4084
	Nap. Při porušení - trh						80,01
	Nap. Při porušení - oh.						85,11
Lích	Modul v ohybu	8597	8272	8217	7423	7374	5886
	Modul v tahu						4023
	Nap. Při porušení - trh						83,81
	Nap. Při porušení - oh.						106,5
Vzduch	Modul v ohybu						7763,5
	Modul v tahu						5792,333
	Nap. Při porušení - trh						118,2
	Nap. Při porušení - oh.						173,9

3.3 Kuličky

Tabulka 7 - Hmotnost tělísek z kuliček

Prostředí		21.3.	22.3.	25.3.	29.3.	5.4.	3.5.	7.6.	
Benzín	hmotnost tělísek (g)	29,57	29,59	29,58	29,62	29,62	29,62	29,82	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,06	0,03	0,17	0,17	0,17	0,84	
Louh	hmotnost tělísek (g)	29,91	29,98	29,98	30,00	30,02	30,13	30,18	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,24	0,24	0,30	0,37	0,74	0,91	
Sírová	hmotnost tělísek (g)	30,01	30,13	30,22	30,29	30,38	30,61	30,83	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,39	0,69	0,92	1,22	1,99	2,72	
Líh	hmotnost tělísek (g)	28,60	28,65	28,68	28,70	28,72	28,76	28,86	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,17	0,27	0,34	0,41	0,55	0,90	
Vzduch	hmotnost tělísek (g)	45,42							45,47
	celk. změna hm. (%)	0,00							0,12



Graf 3 - Hmotnosti tělísek z kuliček

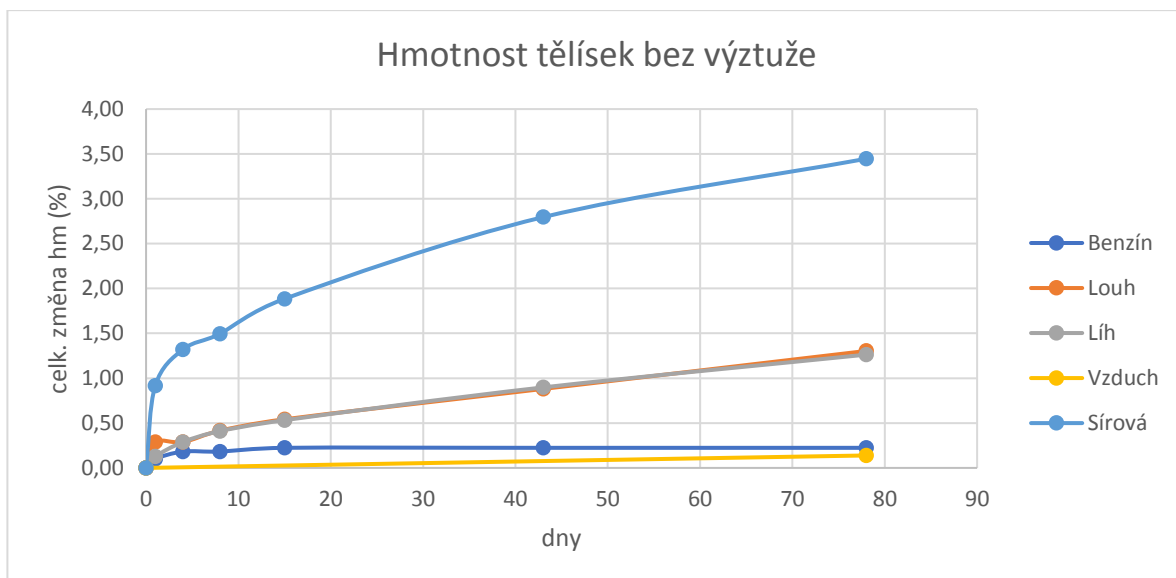
Tabulka 8 - Moduly a nap. při por. tělísek z kuliček

Prostředí	Char. (MPa)	7.6.
Benzín	Modul v ohybu	4056
	Modul v tahu	3547
	Nap. Při porušení - trh	11,15
	Nap. Při porušení - oh.	19,84
Louh	Modul v ohybu	2326
	Modul v tahu	2047
	Nap. Při porušení - trh	5,78
	Nap. Při porušení - oh.	24,95
Sírová	Modul v ohybu	1963
	Modul v tahu	1549
	Nap. Při porušení - trh	2,9
	Nap. Při porušení - oh.	16,1
Líh	Modul v ohybu	1616
	Modul v tahu	1574
	Nap. Při porušení - trh	12,99
	Nap. Při porušení - oh.	26,03
Vzduch	Modul v ohybu	4145
	Modul v tahu	3788
	Nap. Při porušení - trh	7,81
	Nap. Při porušení - oh.	24,48

3.4 Bez výztuže

Tabulka 9 - Hmotnost tělísek bez výztuže

Prostředí		21.3.	22.3.	25.3.	29.3.	5.4.	3.5.	7.6.	
Benzín	hmotnost tělísek (g)	23,98	24,00	24,02	24,02	24,03	24,03	24,03	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,10	0,18	0,18	0,22	0,22	0,22	
Louh	hmotnost tělísek (g)	23,63	23,70	23,70	23,73	23,76	23,84	23,94	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,29	0,29	0,42	0,54	0,88	1,30	
Sírová	hmotnost tělísek (g)	23,06	23,27	23,36	23,40	23,49	23,70	23,85	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,92	1,32	1,49	1,88	2,80	3,45	
Líh	hmotnost tělísek (g)	24,64	24,67	24,71	24,74	24,77	24,86	24,95	
	celk. změna hm. (%)	0,00	0,13	0,29	0,41	0,53	0,90	1,26	
Vzduch	hmotnost tělísek (g)	29,69							29,74
	celk. změna hm. (%)	0,00							0,14



Graf 4 - Hmotnosti tělísek bez výztuže

Tabulka 10 - Moduly a nap. při por. tělísek bez výztuže

Prostředí	Char. (MPa)	15.3.	18.3.	22.3.	29.3.	26.4.	7.6.
Benzín	Modul v ohybu	2914	2725	2934	3342	2830	3041
	Modul v tahu						2337
	Nap. Při porušení - trh						46,41
	Nap. Při porušení - oh.						101
Louh	Modul v ohybu	2857	2883	2932	3452	2856	2955
	Modul v tahu						2265
	Nap. Při porušení - trh						34,58
	Nap. Při porušení - oh.						79,48
Sírová	Modul v ohybu	3137	2814	2875	3164	3134	2658
	Modul v tahu						2167
	Nap. Při porušení - trh						34,34
	Nap. Při porušení - oh.						63,92
Lích	Modul v ohybu	3047	2432	2873	3285	2801	2895
	Modul v tahu						1977
	Nap. Při porušení - trh						59,18
	Nap. Při porušení - oh.						126,9
Vzduch	Modul v ohybu						2952
	Modul v tahu						2253
	Nap. Při porušení - trh						40,27
	Nap. Při porušení - oh.						76,8

3.5 Spalná zkouška

Spalnou zkouškou byl zjištěn obsah nespalitelných zbytků na cca 60 hm.%.

4 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Při měření hmotností vzorků v prostředí roztoku lihu a především technického benzínu docházelo ke kontinuálnímu úbytku hmotnosti pravděpodobně z důvodu vysoké tenze par těchto látek. Tento úbytek hmotnosti má za následek fluktuace hmotnosti v prvních dnech měření. V dalších dnech byla snaha kompenzovat tento nedostatek okamžitým zvážením vzorků po vytažení z prostředí. K nejrapidnějšímu úbytku hmotnosti docházelo u vzorků z netkané textilie.

Případné fluktuace, které se vyskytly u tělísek v prostředí hydroxidu sodného/louhu, lze vysvětlit tím, že po vytažení byly pokryty slizkou vrstvou. Pravděpodobně se jednalo o zmydelnění esterových vazeb v řetězci makromolekuly. Tato vrstva se tvořila ve větším měřítku v prvních dnech a před každým vážením byla setřena což by mělo za následek pokles hmotnosti vzorku. V pozdějších fázích experimentu už byla tvorba vrstvy minimální.

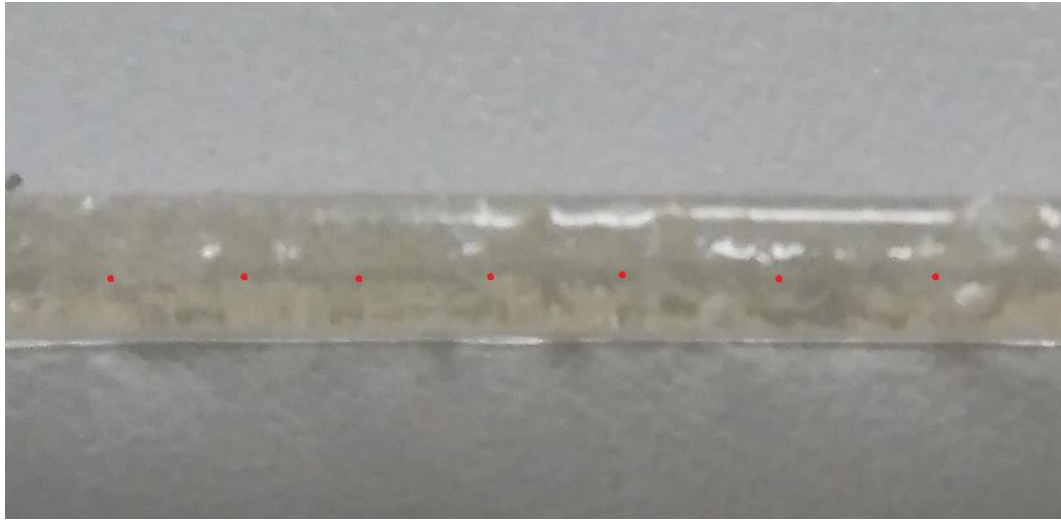
Tabulka 11 - Porovnání změn hmotností k 7.6.

		Tkaná	Netkaná	Bez výz.	Kuličky
Benzín	hmotnost tělísek (g)	40,48	28,55	24,03	29,82
	celk. nárůst (%)	0,39	9,72	0,22	0,84
Louh	hmotnost tělísek (g)	39,56	29,96	23,94	30,18
	celk. nárůst (%)	1,04	8,03	1,30	0,91
Sírová	hmotnost tělísek (g)	41,65	29,15	23,85	30,83
	celk. nárůst (%)	3,12	11,34	3,45	2,72
Líh	hmotnost tělísek (g)	39,09	28,39	24,95	28,86
	celk. nárůst (%)	1,07	9,59	1,26	0,90
Vzduch	hmotnost tělísek (g)	38,14	26,78	29,74	45,47
	celk. nárůst (%)	0,05	0,06	0,14	0,12

V tabulce je vidět, že nejvyšší nárůst hmotnosti nastal u vzorků s netkanou textilií a úplně nejvyšší nárůst ve vzorcích v kyselině sírové. Na druhou stranu nejmenších nárůstů dosahovaly vzorky bez výztuže a vzorky s tkanou textilií, v porovnatelné míře. Obecně lze říct, že nejmenší vliv na nárůst hmotnosti měl technický benzín (nepočítaje vzduch). To je pochopitelné, jelikož nezpůsobil chemické reakce uvnitř kompozitu. Navíc je možné, že vymyl případná aditiva, což by mělo za následek další snížení hmotnosti.

Vzorky připravené s kuličkovou výztuží byly z důvodu vysoké velikosti částic značně křehké. Pokud by u nich byl pozorován Youngův modul pružnosti v průběhu času, mohly by popraskat již před koncem experimentu a další měření by nebylo možné. Tyto vzorky také trpěly tím, že

prosycení výztuže nebylo optimální. Při jejich přípravě kuličky sedimentovaly a vytvořily homogenní vrstvu na dně formy. Na vrchu však nebyly kuličky rovnoměrně rozmístěny.



Obrázek 20 - Nehomogenní rozložení kuličkové výztuže

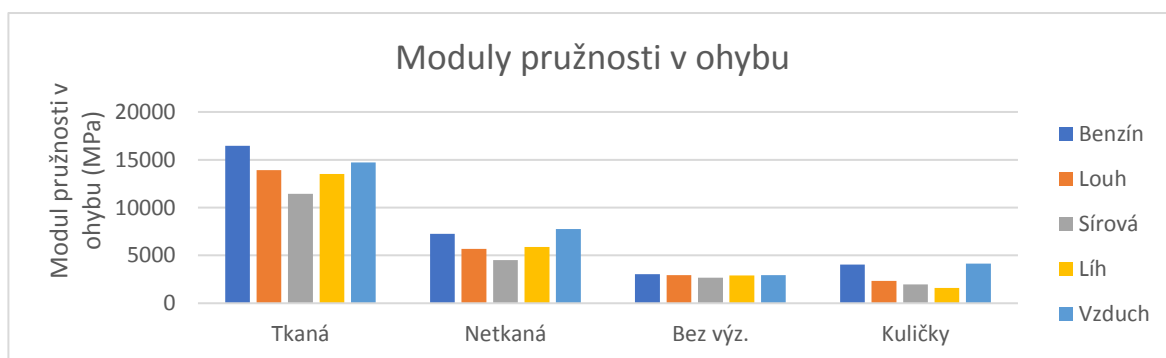
Na obrázku lze vidět „dělicí čáru“ tvořenou rozhraním homogenní a nehomogenní vrstvy kuliček. Tato nehomogenita spolu s kontrakcí materiálu při vytvrzování měla také za následek ohnutí vzorku.

U měření modulů pružnosti v průběhu měření lze vidět, že jejich hodnoty dosahují různých hodnot. Někdy vyšší, někdy nižší a nejedná se o předvídatelné hodnoty. Čím je toto chování způsobeno by se možná dalo vysvětlit proměnlivou teplotou v laboratoři. Z důvodu této proměnlivosti lze tyto hodnoty brát pouze jen jako orientační a pravděpodobně neodpovídají chování materiálu, ke kterému by došlo v kontrolovanějších podmínkách.

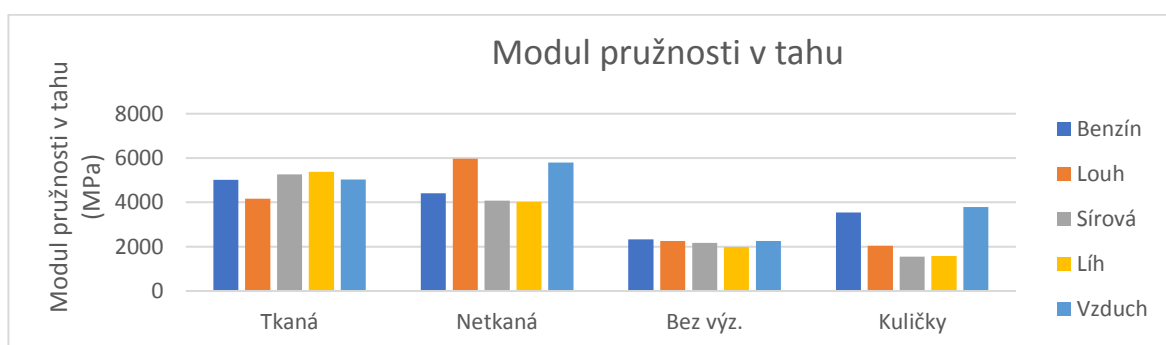
Spíše než porovnávat hodnoty před měřením (14.3 a 21.3.) s koncem měření (7.6.) by tedy mělo větší význam porovnat hodnoty vzorků v korozivních prostředích s hodnotami vzorků na vzduchu (obojí ze 7.6.). Vzorky na vzduchu změnily svoje hmotnosti pouze zanedbatelnou měrou, což indikuje, že se i jejich vlastnosti změnily zanedbatelně a jelikož měly stejnou teplotu jako ostatní vzorky a jakékoliv další vnější vlivy by se ve výsledku neprojevíly.

Tabulka 12 - Porovnání vůči vzduchu k 7.6.

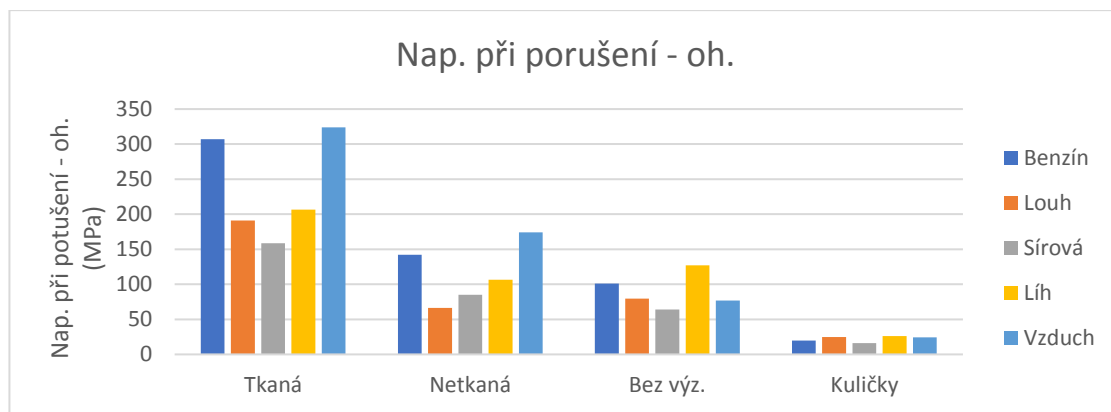
		Naměřené hodnoty (MPa)				Pokles vůči vzduchu (%)			
		Tkaná	Netkaná	Bez výz.	Kuličky	Tkaná	Netkaná	Bez výz.	Kuličky
Benzín	Modul v ohybu	16458	7264	3041	4056	-11,7	6,4	-3,0	2,1
	Modul v tahu	5013	4417	2337	3547	0,3	23,7	-3,7	6,4
	Nap. Při porušení - trh	177,29	105,47	46,41	11,15	14,2	10,8	-15,2	-42,8
	Nap. Při porušení - oh.	306,85	142,27	101	19,84	5,3	18,2	-31,5	19,0
Louh	Modul v ohybu	13916	5700	2955	2326	5,5	26,6	-0,1	43,9
	Modul v tahu	4169	5973	2265	2047	17,1	-3,1	-0,5	46,0
	Nap. Při porušení - trh	104,3	28,93	34,58	5,78	49,5	75,5	14,1	26,0
	Nap. Při porušení - oh.	190,9	66,45	79,48	24,95	41,1	61,8	-3,5	-1,9
Sírová	Modul v ohybu	11442	4528	2658	1963	22,3	41,7	10,0	52,6
	Modul v tahu	5266	4084	2167	1549	-4,7	29,5	3,8	59,1
	Nap. Při porušení - trh	176,8	80,01	34,34	2,9	14,5	32,3	14,7	62,9
	Nap. Při porušení - oh.	158,5	85,11	63,92	16,1	51,1	51,1	16,8	34,2
Líh	Modul v ohybu	13509	5886	2895	1616	8,3	24,2	1,9	61,0
	Modul v tahu	5383	4023	1977	1574	-7,0	30,5	12,3	58,4
	Nap. Při porušení - trh	169,3	83,81	59,18	12,99	18,1	29,1	-47,0	-66,3
	Nap. Při porušení - oh.	206,5	106,5	126,9	26,03	36,2	38,8	-65,2	-6,3
Vzduch	Modul v ohybu	14732	7763,5	2952	4145				
	Modul v tahu	5029	5792,333	2253	3788				
	Nap. Při porušení - trh	206,7	118,2	40,27	7,81				
	Nap. Při porušení - oh.	323,9	173,9	76,8	24,48				



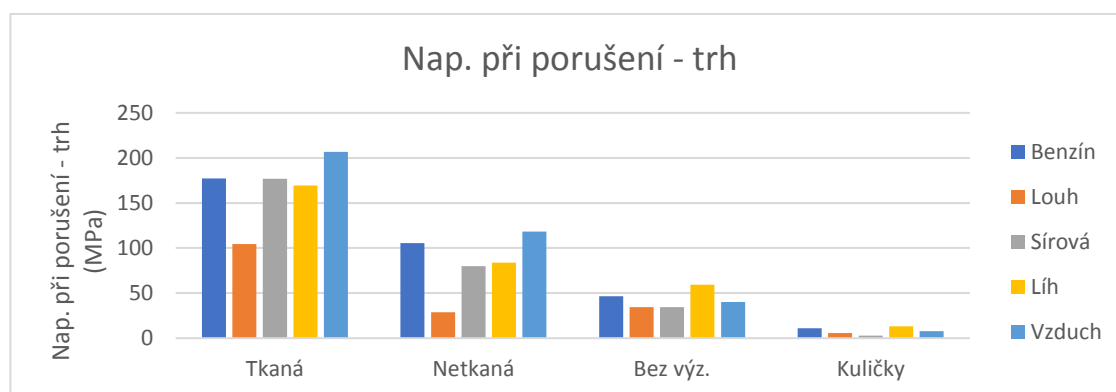
Graf 5 - Moduly pružnosti v ohybu



Graf 6 - Moduly pružnosti v tahu



Graf 7 - Napětí při porušení - oh.

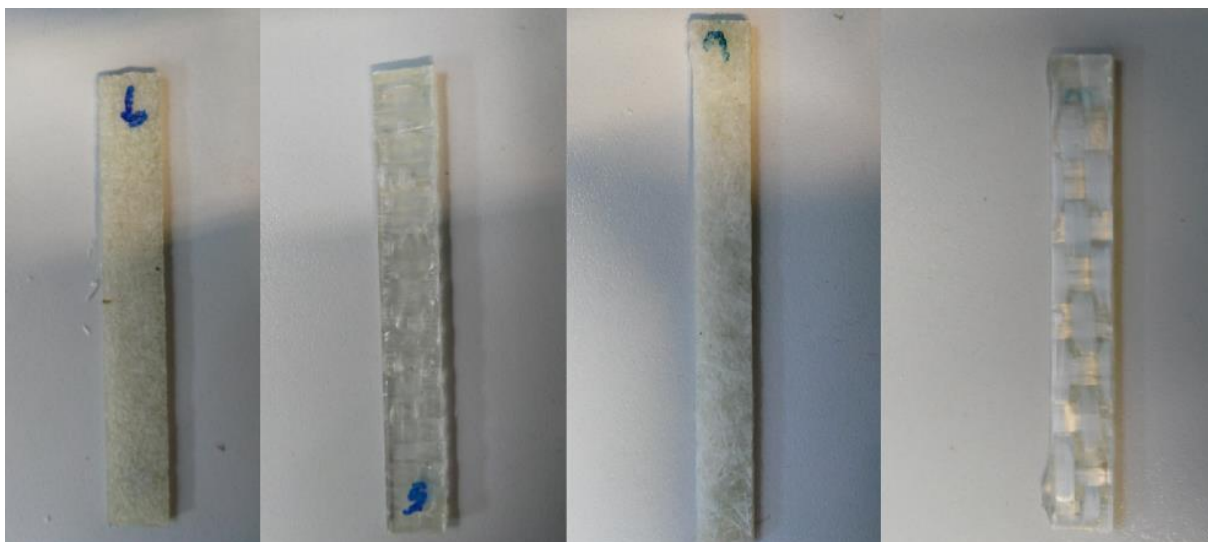


Graf 8 - Napětí při porušení - trh

Z tabulky a grafů je vidět, že největší pokles modulů pružnosti byl u kompozitu s kuličkovou výztuží. Nejmenší vliv na tento kompozit měl technický benzín, který měl nejmenší vliv i u netkané textilie a u kompozitu z tkané textilie a u vzorků bez výztuže měl v tomto ohledu i ztužující účinek. Jelikož benzín je rozpouštědlo, dal by se tento jev vysvětlit vymytím případných aditiv se změkčujícím účinkem z pryskyřice a nebo tvrdidla.

Modul pružnosti byl nejméně ovlivněn u vzorků bez výztuže. To by se dalo vysvětlit tím, že korozivní prostředí putuje do kompozitu po rozhraní matrice-výztuž. Jelikož tyto vzorky výztuž nemají, byl průnik prostředí do vzorků nejpomalejší. U vzorků bez výztuže stojí za pozornost výsledky napětí při porušení z prostředí benzínu a lihu. V těchto případech došlo k relativně vysokému nárůstu.

U tělísek, která byla v prostředí kyseliny sírové došlo k vizuální změně. Došlo k jakémusi vyblednutí, které je patrné u tělísek obsahující skelnou textili (tkanou i netkanou) jako výztuž.



Obrázek 21 - Vizuelní porovnání pro kys. sírovou

(zleva: netkaná a tkaná textilie na vzduchu, netkaná a tkaná textilie v kys. sírové)

U tělísek s textilní výztuží nedocházelo k úplnému přetržení při ohybové zkoušce. Ačkoli polymerní matrice praskla, a přístroj (ve většině případů) zaznamenal, že došlo k přetržení, z důvodu poklesu napětí, vzorky s textilní výztuží stále držely pohromadě pomocí textilie.

Výjimkou však byly vzorky s netkanou textilií jako výztuží z prostředí hydroxidu sodného. V těchto vzorcích popraskala i skleněná vlákna. Při bližší inspekci bylo patrné, že vlákna zkřehla až do té míry, že se při dotyku drolila. Toto lze pozorovat v grafech napětí při porušení, kde systém netkaná textilie-louh dosahuje největšího poklesu.



Obrázek 22 - Vizuelní porovnání louh-netkaná textilie

(zleva: Vzorek z: benzínu, lihu, kys. sírové, louhu, vzduchu)

5 ZÁVĚR

V první části byla zpracována rešerše na problematiku chemické odolnosti polymerních materiálů využitelných v kompozitech se skelnou výztuží. Dále byly popsány skelné výztuže, konkrétně skelná vlákna.

V experimentální části byl prozkoumán vliv různých skelných výztuží na chemickou odolnost kompozitu s epoxidovou matricí. Kompozitní vzorky byly vloženy do agresivních prostředí s korozivními účinky pro plasty. Chemická odolnost byla změřena podle změny mechanických vlastností, konkrétně modulů pružnosti a napětí při přerušení v tahu a ohybu a hmotností v čase.

Výsledné naměřené hodnoty jsou uvedeny v kapitole Výsledky v tabulkách a grafech. Je vytvořena tabulka pro každý systém s různou výztuží. Jedna tabulka obsahuje změny hmotnosti v průběhu experimentu a jedna tabulka obsahuje hodnoty mechanických vlastností. Pro každý systém s různou výztuží je také přiložen graf závislosti změny hmotnosti v čase.

V kapitole Diskuze výsledků jsou pak uvedena porovnání všech naměřených výsledků systémů matrice-výztuž-prostředí a další pozorování, která nejsou kvantitativně vyjádřitelná

Experimentem bylo zjištěno, že k největšímu poklesu Youngova modulu pružnosti v ohybu došlo u polymeru s výztuží ze skleněných kuliček. Nejmenší vliv na modul měl technický benzín. V některých případech došlo i ke ztužení materiálu. Dále bylo patrné, že alkalické prostředí louhu působilo i přímo na skleněnou výztuž.

6 Bibliografie

1. **Miklica, Pavel.** Vlastnosti kompozitních materiálů s proměnnou maticí a výztuží. *Bakalářská Práce.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2018.
2. **Tolinski, Michael.** *Additives for Polyolefins - Getting the Most Out of Polypropylene, Polyethylene and TPO (2nd Edition).* místo neznámé : Elsevier, 2015. ISBN 978-0-323-35884-2.
3. **J. Mleziva, J. Šňupárek.** *Polymer - Výroba, struktura, vlastnosti a použití.* Praha : SOBOTÁLES, 2000. ISBN 80-85920-72-7.
4. **SBR - STYRENE BUTADIENE RUBBER.** *Polymer Properties Database.* [Online] [Citace: 23. Červen 2019.] <http://polymerdatabase.com/Elastomers/SBR.html>.
5. **Massey, Liesl K.** *Effects of UV Light and Weather on Plastics and Elastomers (2nd Edition).* místo neznámé : William Andrew Publishing, 2007. ISBN 978-0-8155-1525-8.
6. **Wypych, George.** *Handbook of Material Weathering (6th Edition).* místo neznámé : ChemTec Publishing, 2013. ISBN 978-1-927885-31-4.
7. **Sastri, Vinny R.** *Plastics in Medical Devices - Properties, Requirements, and Applications.* místo neznámé : Elsevier, 2014. ISBN 978-1-4557-3201-2.
8. **Subramanian, Muralisrinivasan Natamai.** *Polymer Blends and Composites - Chemistry and Technology.* místo neznámé : John Wiley & Sons, 2017. ISBN 978-1-118-11889-4.
9. **Biron, Michel.** *Material Selection for Thermoplastic Parts - Practical and Advanced Information for Plastics Engineers.* místo neznámé : Elsevier, 2016. ISBN 978-0-7020-6284-1.
10. **Osswald, Tim A., a další.** *International Plastics Handbook - The Resource for Plastics Engineers (4th Edition).* místo neznámé : Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-56990-399-5.
11. **Wypych, George.** *Handbook of Polymers (2nd Edition).* místo neznámé : ChemTec Publishing, 2016. ISBN 978-1-895198-92-8.
12. **Selke, Susan E. M. a Culter, John D.** *Plastics Packaging - Properties, Processing, Applications, and Regulations (3rd Edition).* místo neznámé : Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-443-5.

13. BURN, G.F. TJANDRAATMADJA and L.S. [Online] 1999. [Citace: 24. červen 2019.] <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB1832.pdf>.
14. Kreysa, G. a Schütze, M. *DECHEMA Corrosion Handbook - Revised and Extended 2nd Edition*. místo neznámé : DECHEMA, 2008. Elektronické ISBN 978-1-60119-403-9.
15. Gupta, M. C. Gupta, A. P. *Knovel*. Londýn : New Academic Science, 2019. ISBN 978-1-78183-221-9.
16. Nawab, Yasir. *Textile Engineering - An Introduction*. eKniha : De Gruyter, 2016. ISBN 978-3-11-041324-3.
17. Wiley-VCH. *Ullmann's Polymers and Plastics - Products and Processes, 4 Volume Set*. místo neznámé : John Wiley & Sons, 2016. ISBN 978-3-527-33823-8.
18. GangaRao, Hota. *Applied Plastics Engineering Handbook 31-Infrastructure Applications*. [editor] Myer Kutz. Morgantown : William Andrew Publishing, 2017. ISBN 978-0-323-39040-8.
19. Campbell, F.C. *Structural Composite Materials*. Materials Park, Ohio : ASM International, 2010. ISBN 978-1-61503-037-8.
20. Pico, D. , Wilms, C. , Seide, G. , Gries, T. , Kleinholz, R. and Tiesler, H. *ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry; Fibers, 12. Glass Fibers*. místo neznámé : Wiley-VCH , 2012.
21. [Online] [Citace: 30. červen 2019.] <http://www.dustfiltercloth.com/sale-2585417-high-tensile-strength-twill-woven-glass-fiber-cloth-for-filter-press-liquid-filter-bag.html>.
22. Engineering Materials. [Online] [Citace: 30. červen 2019.] <http://www.materialsforengineering.co.uk/engineering-materials-features/woven-or-unwoven-fibres/48611>.
23. Nuclear Power. [Online] <https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/heat-transfer/heat-losses/insulation-materials/glass-wool/>.