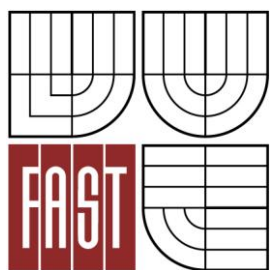




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH PROFILŮ S DLOUHOVLÁKNOVOU VÝZTUŽÍ A POLYMERNÍ MATRICÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Alena Jastrzemska

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LENKA BODNÁROVÁ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Alena Jastrzemska

Název Vlastnosti kompozitních profilů s dlouhovláknovou výztuží a polymerní maticí

Vedoucí bakalářské práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012

Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Bodnárová, L. Kompozitní materiály, učební opora VUT Brno, FAST, 2007
Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, ACI 440R-07
Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures, ACI 440.3R-04
Sborníky z tuzemských a zahraničních konferencí (2005-2012), České a zahraniční technické normy, Internetové zdroje

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

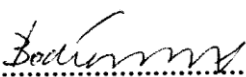
Kompozitní profily s polymerní matricí a dlouhovláknovou výztuží jsou využívány ve stavebnictví pro speciální aplikace vzhledem k jejich specifickým vlastnostem. Důležité jsou pevnostní charakteristiky i odolnost těchto profilů vůči působení agresivních látek. Volbou vstupních složek a jejich zastoupením a volbou technologie výroby lze měnit vlastnosti kompozitního profilu.

V bakalářské práci sumarizujte informace o vlastnostech kompozitních profilů s polymerní matricí. Zaměřte se zejména na kompozitní profily z produkce českých firem. Vyberte minimálně 3 významné české producenty těchto profilů a 1 zahraničního producenta. Uveďte rozměrové a materiálové charakteristiky kompozitních profilů a jejich vlastnosti. V experimentální části práce ověřte pevnost v tlaku zkušebních těles vybraných kompozitních profilů.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá v teoretické části surovinami, výrobou a vlastnostmi kompozitních materiálů s vláknovou výztuží a polymerní matricí. Uvádí také stručný přehled vybraných významných českých a zahraničních výrobců kompozitních materiálů s polymerní matricí a vláknovou výztuží. Praktická část se pak zabývá zkoušením trvanlivosti vybraných kompozitních profilů při ponoření do agresivních prostředí a zkoušením pevnosti v tlaku.

Klíčová slova

Vláknový kompozit s polymerní matricí, pryskyřice, výztužná vlákna, pultruze, GDP Koral, Prefa Kompozity, pevnost v tlaku

Abstract

This thesis deals with the theoretical part of raw materials, production and properties of composite materials with fiber reinforcement and polymer matrix. It also gives a brief overview of selected prominent Czech and foreign producers of composite materials with polymer matrix and fiber reinforcement. The practical section deals with testing the durability of selected composite profiles immersion in aggressive environments and testing of compressive strength.

Keywords

Fiber composites with polymer matrix, resin, reinforcing fibers, pultrusion, GDP Koral, Prefa Kompozity, compressive strength

Bibliografická citace VŠKP

JASTRZEMBSKÁ, Alena. *Vlastnosti kompozitních profilů s dlouhovláknovou výztuží a polymerní matricí*. Brno, 2013. 92 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 18. 5. 2013

.....
podpis autora
Alena Jastrzemska

Poděkování:

Děkuji tímto mé vedoucí práce Ing. Lence Bodnárové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	CÍL PRÁCE	11
3	FRP KOMPOZITY	12
3.1	DEFINICE KOMPOZITU	12
3.2	DRUHY VLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ	12
3.3	DRUHY VÝZTUŽÍ PRO FRP KOMPOZITY	13
3.3.1	Skleněná	13
3.3.2	Uhlíková	15
3.3.3	Aramidová	17
3.3.4	Srovnání jednotlivých druhů vláken	19
3.4	FORMA VLÁKEN	19
3.4.1	Roving	19
3.4.2	Vyztužující rohož (Reinforcing Mat)	19
3.4.3	Tkanina (Woven Fabrics)	20
3.4.4	Povrchová rohož (Surfacing Mat)	20
3.4.5	Sekané prameny	20
3.4.6	Rohože ze sekaných pramenů	20
3.4.7	Objemová příze	20
3.4.8	Mřížkové tkaniny	20
3.5	PRYSKYŘICE – POLYMERNÍ MATRICE	20
3.5.1	Nenasycené polyesterové pryskyřice	22
3.5.2	Vinylesterové pryskyřice	25
3.5.3	Epoxidové pryskyřice	25
3.5.4	Fenolické pryskyřice	26
3.6	ZPŮSOBY VÝROBY FRP KOMPOZITŮ	27
3.6.1	Ruční kladení (kontaktní lisování)	27
3.6.2	Metoda vakuového vaku	28
3.6.3	Metoda tlakového vaku	29
3.6.4	Vytvrzování v autoklávu	30
3.6.5	Navíjení (Filament winding)	31
3.6.6	Metoda nanášení kompozitu do formy sprayem	33
3.6.7	Metoda lisování se vstřikem matrice	34

3.6.8	Metoda lisování ve formě	35
3.6.9	Lisování z prepregů	36
3.6.10	Kontinuální laminace.....	37
3.6.11	Odstředivé lití FRC.....	38
3.6.12	Tažení kompozitních profilů (pultruze).....	39
3.7	VLASTNOSTI FRP KOMPOZITŮ	40
4	PŘEHLED VÝROBCŮ FRP KOMPOZITŮ	42
4.1	ZÁSTUPCI NA ČESKÉM TRHU.....	42
4.1.1	Prefa kompozity, a.s.	42
4.1.2	GDP Koral, s.r.o.	45
4.1.3	5M, s.r.o.....	48
4.2	ZÁSTUPCI NA SVĚTOVÉM TRHU	49
4.2.1	Strongwell.....	49
4.2.2	Unicomposite technology CO., LTD.....	52
4.2.3	RBJ Reinforced Plastics Ltd.....	54
4.2.4	Slavia Gratings, s.r.o.....	55
5	PRAKTICKÁ ČÁST	57
5.1	Trvanlivost profilů při ponoření do agresivních prostředí.....	57
5.1.1	Popis prováděné zkoušky	57
5.1.2	Výsledky a vyhodnocení provedené zkoušky	58
5.2	Pevnost profilů v tlaku	78
5.2.1	Popis prováděné zkoušky	78
5.2.2	Výsledky a vyhodnocení provedené zkoušky	78
6	ZÁVĚR.....	86
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	87
8	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	89
9	SEZNAM TABULEK	91
10	SEZNAM GRAFŮ.....	92

1 ÚVOD

Kompozit je znám už tisíce let, první zmínka se objevila již 800 let před naším letopočtem v Izraeli (vysušená hlína s kousky slámy). Dalšími kompozitními materiály z dřívějších dob byly betony a malty používané starými Římany.

Technologie výroby FRP kompozitů (Fiber reinforced polymer) není stará více než 100 let. Podnětem se staly potřeby elektroniky, obrany a také prostor pro nové technologie. Byly vyvinuty materiály, které se svými vlastnostmi vymykaly dosud známým principům (např. neprůstřelné vesty z kevlaru). Revoluce v používání kompozitních polymerních materiálů ve všech odvětvích průmyslu a ochraně proti korozi nastala v polovině třicátých let 20. století, kdy se objevil první FRP produkt. Šlo o trup lodi, který byl vyroben vnořením laminátové tkaniny a polyesterové pryskyřice do pěnové formy. V USA se kompozitní polymerní materiály objevují zejména v letectví a námořním průmyslu, přičemž tyto materiály jsou využívány kvůli jejich vysokému poměru pevnosti a hmotnosti, dále pak kvůli korozní odolnosti apod. Brzy byly výhody těchto materiálů využity i v jiných odvětvích, např. v roce 1948 bylo v USA provedeno laminátové potrubí. Od roku 1950 se FRP kompozity začaly hojně využívat pro zařízení v chemickém průmyslu, papírenství, slévání kovů, nakládání s odpady a v ostatních odvětvích. [5]

2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce bylo zpracovat teoretické podklady o kompozitních materiálech s dlouhovláknovou výztuží a polymerní matricí (druhy výztuží a pryskyřic, způsoby výroby, vlastnosti). Také je zde uveden přehled vybraných významných výrobců kompozitních materiálů s vláknovou výztuží a polymerní matricí u nás a v zahraničí.

Praktická část pak byla zaměřena na zkoušení trvanlivosti vybraných kompozitních profilů z produkce firmy GDP Koral při ponoření do agresivních prostředí a zkoušení pevností v tlaku u vybraných kompozitních profilů z produkce firmy Prefa Kompozity.

3 FRP KOMPOZITY

3.1 DEFINICE KOMPOZITU

Jako kompozit bereme heterogenní materiál, který je složen ze dvou nebo více fází, které se od sebe výrazně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Výsledný kompozit tak dosahuje vlastností, kterých nedosahují jednotlivé složky kompozitu a nelze těchto vlastností dosáhnout ani prostou sumací těchto složek (tzv. synergismus). Existence synergismu je velmi významná, neboť vede k získávání materiálů kvalitativně zcela nových vlastností. [6]

Polymerní kompozity sestávají ze dvou hlavních složek:

- Vyztužujících vláken: dodávajících pevnost a tuhost, blokují vznik a růst trhlin ve struktuře
- Pojiva (matrice): spojitá fáze, která udržuje vyztužující vlákna v požadované poloze, zajišťuje přenos sil mezi všemi výztužnými vlákny a dává materiálu potřebné fyzikální a chemické vlastnosti [2]

3.2 DRUHY VLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ

Jednosměrné (vlákna orientována převážně v jednom směru)

- Krátkovláknové (poměr délka/průměr < 100 , délka vláken je výrazně menší než délka výrobku)
- Dlouhovláknové (délka/průměr > 100 nebo kontinuální vlákna, tj. délka vláken je srovnatelná s délkou výrobku)
 - Prepregy – nevytvrzenou pryskyřicí neimpregnované vrstvy vláken ve tvaru tenkých pásů různých šířek
 - Tažené profily - tyčovina

Mnohosměrné (vlákna jsou orientována náhodně nebo pravidelně dvěma či více směry)

- Krátkovláknové
- Dlouhovláknové
 - Prepregy
 - Lamináty – střídání různě orientovaných vrstev jednosměrových kompozitů
 - Lamináty s tkanou výztuží – střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna před prosycením pryskyřicí utkaná různými technologiemi

- Lamináty s netkanou výztuží – střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna zpracována do roun bez tkaní
- Tažené profily – lineární prvky s konstantním průřezem s kombinací vyztužujících vláken a netkaných či tkaných rohoží (desky, trubky, komplikované profily) [7]

3.3 DRUHY VÝZTUŽÍ PRO FRP KOMPOZITY

3.3.1 Skleněná

Skleněná vlákna jsou nejstarší a nejčastěji používaná. Vyrábí se tavením sklářského kmene při teplotě 1 400 °C. Sklářský kmen je směs písku, vápence, potaše a collemanitu. Takto vyrobená vlákna mají průměr 5 až 25 μm, přičemž tato velikost závisí na rychlosti odtahu taveniny z pod kotle. Vlákna jsou opatřena lubrikační složkou, která usnadňuje jejich další zpracování. Vlákna se následně sdružují do pramenů a navíjí na kokony, které se pak používají pro další zpracování (roving, tkanina, krátké sekané sklo 3 až 6 mm a krátká vlákna do 1 mm). [2] [8]

Lubrikace obsahuje tyto čtyři základní složky:

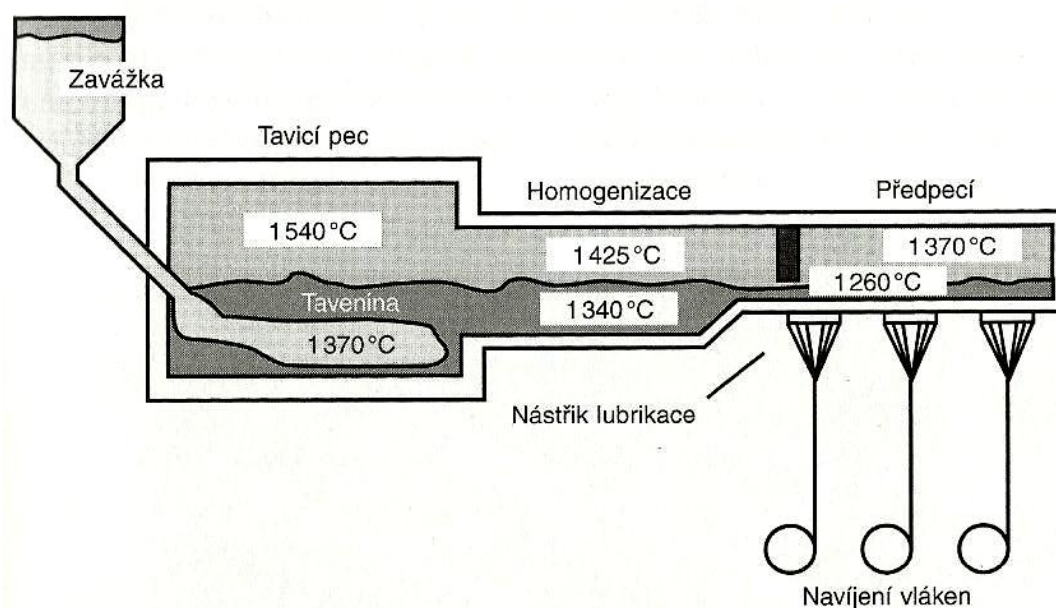
- Filmotvornou – vinylacetáty polymerizované do určitého stupně, polyestery a jiné pryskyřice, chránící elementární vlákna a spojující je do pramenů
- Maziva – poskytují vláknu, případně příslušnému produktu, potřebné kluzné vlastnosti
- Apretace – obvykle na silanové bázi (typ apretace musí odpovídat použitému typu pryskyřice)
- Antistatika – anorganické soli, které odvádějí elektrostatický náboj [8]

Druhy skleněných vláken:

- E – sklo – bezalkalické sklo, nejběžnější, nejnižší cena
- R, S sklo – lepší mechanické vlastnosti, vyšší cena
- D – sklo – borosilikátové sklo s dielektrickými vlastnostmi
- C – sklo – vyšší chemická odolnost [3]

Tabulka 1: Vlastnosti skleněných vláken [3]

	Jednotka	E - sklo	S - sklo	D - sklo	C - sklo
SiO₂	%	53 – 55	60	72 – 75	60 – 65
Al₂O₃	%	14 – 15	24	-	< 6
B₂O₃	%	6 – 8	-	< 23	< 7
CaO	%	17 – 22	9	-	14
MgO	%	< 5	6	-	< 3
K₂O, Na₂O	%	< 1	< 0,5	< 1	8 – 10
Ostatní oxidy	%	1	-	< 1	< 1,5
Hustota	g/cm ³	2,60	2,53	2,14	2,45
Pevnost v tahu	MPa	3 400	4 400	2 500	3 100
Modul pružnosti	GPa	73	86	55	70
Tažnost	%	3,5 – 4	4,5	3	3,5 – 4
Specifický elektrický odpor	Ω.cm	1 015	1 014 – 1 015	-	1 014 – 1 018
Součinitel teplotní roztažnosti	10 ⁻⁶ K ⁻¹	5	4	2 - 3	7,2



Obrázek 1: Schéma výroby skleněných vláken tažením z trysek [8]

3.3.2 Uhlíková

V 60. a 70. letech 20. století byla na trh uvedena první komerční uhlíková vlákna, která měla vysoký modul pružnosti, až do 600 GPa. [4]

Uhlíková vlákna jsou technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Přitom se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafitizací, zlepšují se mechanické vlastnosti. Při teplotě nad 1 800°C je tvorba grafitové struktury ukončena, i když vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém grafitu. [8]

Uhlíková vlákna jsou vyráběna ze dvou druhů výchozích surovin (tzv. prekurzorů)

- Polyakrylonitrilových vláken (PAN)
- Pyrolyzních olejů a smol (PITCH) vznikajících při destilaci ropy

V případě vláken PAN je výchozí materiál už ve formě vláken, která jsou preoxidována v kontinuálním procesu a dále pak karbonizována při teplotách 1 200 až 1 400 °C v inertní atmosféře, vznikají tak vysokopevné typy (HS). Nebo nastává další proces, kde při teplotách 2 200 až 3 000 °C se vytváří grafitická struktura, vznikají tak vysokomodulové typy (HM). V případě PITCH je výchozí materiál ještě třeba zvláknit, další postup (karbonizace nebo grafitizace) je obdobný jako u vláken PAN. [2]

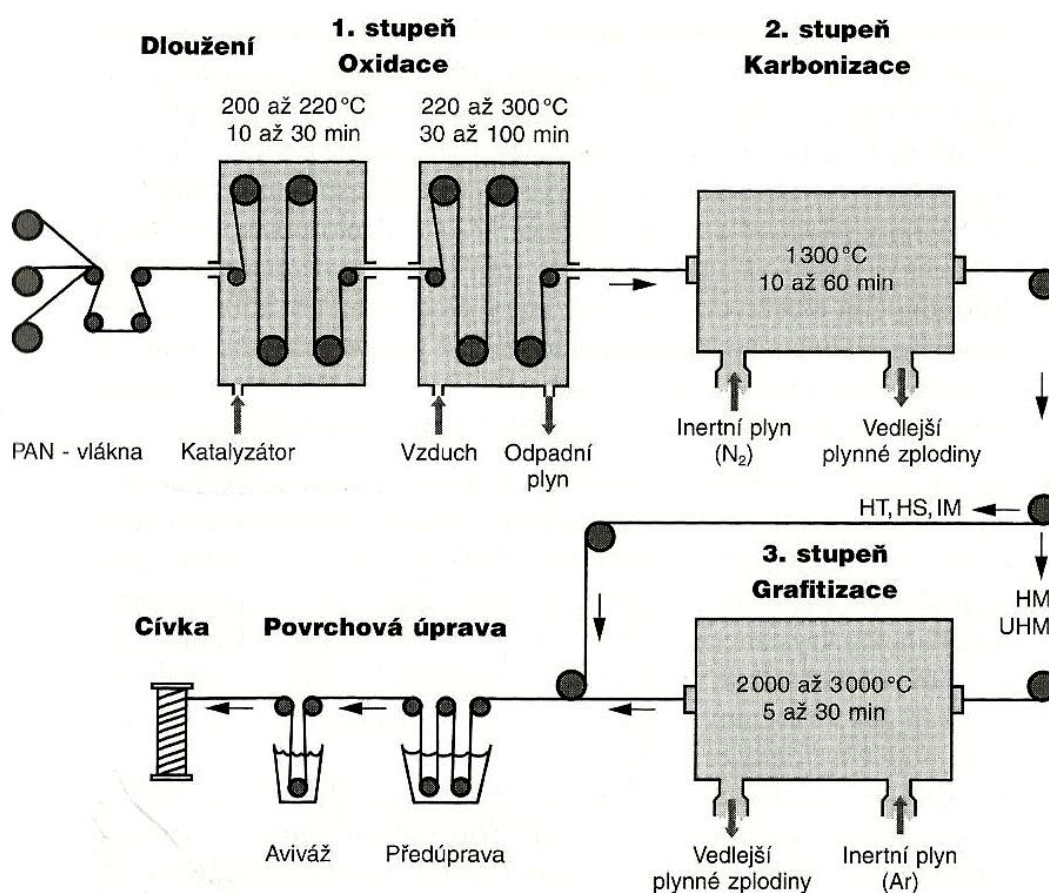
Uhlíková vlákna jsou ve formě pramenců nebo tkaniny. Pramence jsou o různé jemnosti od 67 do 4 300 tex¹ (rovněž se udává jemnost v počtu monovláken, tzv. družení). Tkaniny jsou s různou vazbou v gramážích od 80 do 800 g/m² buď jako celouhlíkové nebo hybridní (kombinace se skleněnými či aramidovými vlákny). [2]

Výhodou uhlíkových vláken je nízká hmotnost, vysoká pevnost a tuhost. Nevýhodou je vysoká cena, křehkost vlákna a intenzivní oxidace už při 400 °C. Uhlíková vlákna jsou používána na primární konstrukce všech typů letadel. [3]

¹ Pozn.: Číslo tex je jednotka charakterizující jemnost vlákna, je to váha 1 km vlákna v gramech. [2]

Tabulka 2: Vlastnosti uhlíkových vláken [3]

	Jednotka	Vysokopevnostní (HS)	Vysokomodulová (HM)
Hustota	g/cm ³	1,79	1,80
Pevnost v tahu	MPa	5 400	2 350
Modul pružnosti	GPa	290	358
Tažnost	%	1,7	0,6
Spec. el. odpor	Ω.cm	-	1.10 ⁻³
Souč. teplotní roztažnosti	10 ⁻⁶ K ⁻¹	-	- 0,5
Souč. tepelné vodivosti	W/m.K	-	710



Obrázek 2: Schéma výroby uhlíkových vláken [8]

3.3.3 Aramidová

Aramidová vlákna se objevila na konci 70. let 20. století a měla vysoký modul pružnosti v tahu (120 až 190 GPa) a nebyla křehká. Aramidová vlákna jsou aromatické polyamidy komerčně zvané KEVLAR. [4]

Výroba polyfenyltereftalamidových vláken spřádáním z taveniny není možná, protože teplota roztavení leží nad teplotou tepelného rozkladu. Vysoce krystalická vlákna se silně orientovanými molekulami se proto spřádají z vysokoviskózního 20 % roztoku v koncentrované kyselině sírové. Jednotlivá elementární vlákna se spojují a pro zlepšení zpracovatelnosti se mnohokrát propírají, neutralizují a opatřují aviváží (pomocný textilní prostředek pro zlepšení kluzných a zpracovatelských vlastností). [8]

Aramidová vlákna se mohou zpracovávat se všemi běžnými reaktivními pryskyřicemi i termoplasty. V laminátu lze využít až 70 % jejich skutečné pevnosti, při zvláště tažné matici dokonce ještě více. [8]

Základní vlákna mají průměr 10 až 13 mikronů. Používají se ve formě rovingu (různé jemnosti) nebo tkanin (gramáže 36 až 500 g/m²) a to samostatně nebo jako hybridní (kombinace se skleněnými nebo uhlíkovými vlákny). [2]

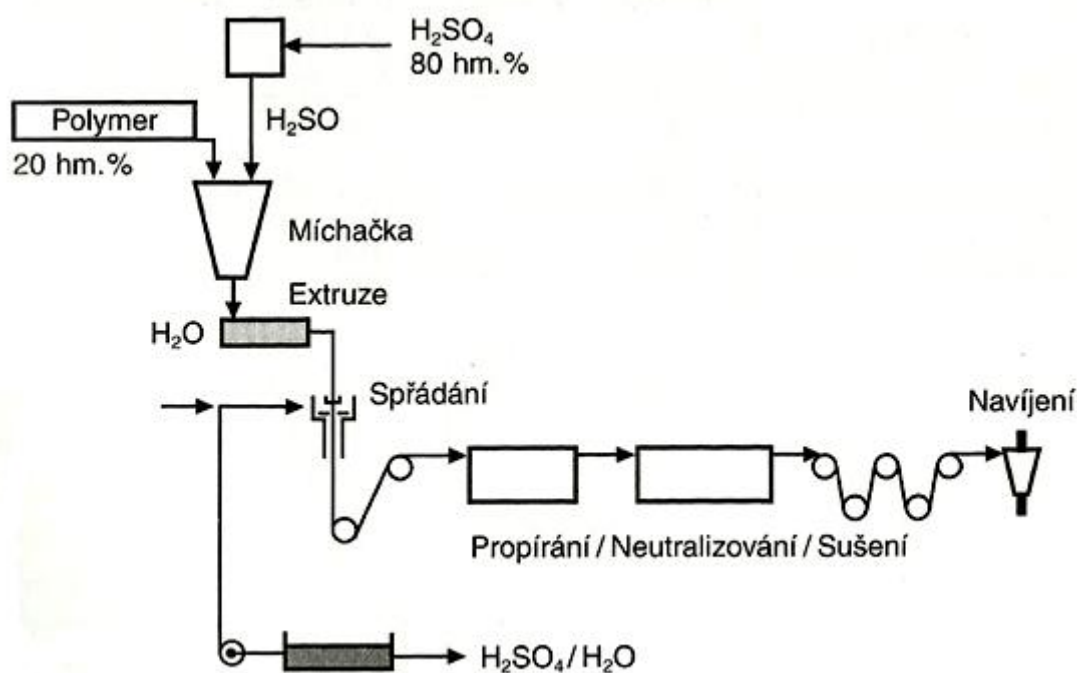
Kevlar má výbornou rázovou houževnatost, nejnižší hustotu, velmi dobré pevnostní parametry a tlumí vibrace. Ve formě kompozitu dokáže odolávat teplotám 300 °C, neroztaví se. Vlákna jsou chemicky odolná a mají lepší dielektrické vlastnosti než vlákna skleněná. Vhodné pro lehké konstrukce namáhané zejména tahem. [8]

Typy aramidových vláken:

- Vysokomodulové (HM) – vlákna Kevlar 49® nebo Twaron HM® (pro letecké aplikace)
- Nízkomodulové (LM) – vlákna Kevlar 29® nebo Twaron LM® (pro lana a ochranné prostředky – rukavice, neprůstřelné vesty) [3]

Tabulka 3: Vlastnosti aramidových vláken [3]

	Jednotka	Nízkomodulová (LM)	Vysokomodulová (HM)
Hustota	g/cm ³	1,44	1,45
Pevnost v tahu	MPa	2 800	2 900
Modul pružnosti	GPa	59	127
Tažnost	%	4	1,9
Specifický elektrický odpor	Ω.cm	1 015	1 015
Součinitel teplotní roztažnosti	10 ⁻⁶ K ⁻¹	- 2,3	- 4,1
Absorpce vlhkosti	%	7	3,5
Výrobce	DuPont	Kevlar 29	Kevlar 49
	Akzo	Twaron LM	Twaron HM



Obrázek 3: Schéma výroby aramidových vláken [8]

3.3.4 Srovnání jednotlivých druhů vláken

Tabulka 4: Porovnání vláken používaných pro výrobu FRP kompozitů [3]

Materiál	E [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Hustota [g/cm³]
E-sklo	73	3 400	2,60
S-sklo	86	4 400	2,53
Uhlík (HM)	358	2 350	1,80
Uhlík (HS)	290	5 400	1,79
Kevlar 29 (LM)	59	2 800	1,44
Kevlar 49 (HM)	127	2 900	1,45

3.4 FORMA VLÁKEN

Formy vláknových výztuží jsou pro většinu typů vláken stejné a odpovídají potřebám výrobců kompozitů. Mimo kontinuální vlákna (roving) se také zhotovují výztuže ve formě tkané textilie či netkané rohože jak z dlouhých vláken, tak i ze sekaných vláken či z jejich kombinace.

Individuální vlákna a jejich prameny jsou z výroby navinutá na bubnech. Pramenec tvoří svazek obvykle 200 - 400 vláken (podle délkové hmotnosti tex). Prameny se používají pro výrobky, kde převládá jeden rozměr (tyčovina, jednosměrný prepreg, atd.) [4]

3.4.1 Roving

Jako roving jsou označovány paralelně sdružené prameny skleněných vláken navinutých bez zákrutu. Obvyklý počet elementárních vláken je 400 až 1 600. Různé typy rovingů jsou určeny ke stříkání, sekání, vinutí, tkaní, pultruzi apod. Rovingy se používají pro výrobu stříkaných laminátů, desek, trub, rovingových tkanin a rohoží, tažených profilů apod. [4]

3.4.2 Vyztužující rohož (Reinforcing Mat)

Jde o netkanou výztuž. Vyrábí se z nasekaných rovingů (krátká a středně dlouhá vlákna), jejich slabým naimpregnováním pryskyřicí nebo termoplastem a tepelným slisováním do ploché kontinuální rohože. Obsah organického pojiva se podle použití pohybuje v rozmezí 5 až 30 % hmotnostních. Vyrábí se v různých plošných hmotnostech. Finální výrobek má v ploše kvaziizotropní vlastnosti. [4]

3.4.3 Tkanina (Woven Fabrics)

Vyrábí se z rovingů stejným způsobem jako běžné textilie. Výrobky mají různou plošnou hmotnost, jsou tkány různými způsoby vazeb. Výhodou ve srovnání s netkanou výztuží je větší obsah vláken a tedy vyšší tuhost a pevnost výsledného kompozitu. Tkaniny jsou určeny např. pro výrobu vrstvených laminátů. [4]

3.4.4 Povrchová rohož (Surfacing Mat)

Na rozdíl od tkaniny má velmi jemnou strukturu a nízkou plošnou hmotnost. Velmi často je vyrobena z polyesteru. Má především estetické účely, protože je možno ji dezénovat, což umožňuje kontinuální výrobu kompozitů s předem upraveným povrchem. Často je tento typ roušek používán pro omezení textury povrchu, která by jinak vznikla v důsledku vláknového charakteru výztuže. Povrchové roušky se používají i pro zvýšení odolnosti proti chemickým vlivům a působení UV záření. [4]

3.4.5 Sekané prameny

Sklovláknité prameny, které si po nasekání ponechávají strukturu původního pramene. Obvyklý průměr vlákna je 10 až 18 μm . Používají se např. pro vyztužování sádrových panelů. [4]

3.4.6 Rohože ze sekaných pramenů

Jsou vyráběny z neorientovaných sklovláknitých pramenů o délce 50 mm, spojených emulsním nebo práškovým pojivem na bázi PVAC. [4]

3.4.7 Objemová příze

Představuje sklovláknitý pramen nebo několik pramenů, jejich objem je vytvářen tlakovým vzduchem. [4]

3.4.8 Mřížkové tkaniny

Jsou vhodné např. pro zateplovací systémy, tapety, termo-izolační tkaniny, tkaniny pro vyztužování plastů atd. [4]

3.5 PRYSKYŘICE – POLYMERNÍ MATRICE

Pod pojmem matrice se rozumí materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek. Vzniklá surovina se označuje jako kompozit.

Úkolem matrice je zaručení geometrického tvaru, zavedení a přenos sil, ochrana vláken, tj:

- Přenos namáhání na vlákna
- Převod namáhání z vlákna na vlákno
- Zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku
- Ochrana vlákna před vlivy okolí

Zásadním hlediskem pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice – vlákno. Pro dosažení lepší fyzikální a případně i chemické vazby mezi vláknem a matricí se nanese na vlákno apretace vhodná pro určitý druh matrice. Matrice musí mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila úplně a bez bublin. [8]

Polymerní pryskyřice se dělí do dvou hlavních skupin: termosety a termoplasty.

- **Termosety:** epoxidy (EP), nenasycené polyestery (UP), melaminy, fenolformaldehydové pryskyřice

Termosety jsou obvykle kapaliny nebo nízkotavitelné pevné látky, které se vytvrzují chemickou reakcí buď dodáním katalyzátoru, nebo tepla, popř. kombinací obou. Při vytvrzování dochází ke vzniku chemických vazeb mezi jednotlivými molekulami. Místo dlouhých lineárních molekul vzniká třídimenzionální polymerní síť s různou hustotou. V lepším případě je výrobek jediná makromolekula. Termoset i po zahřátí zůstává v pevné fázi. Výhodou termosetu je odolnost proti vysokým teplotám, ale na druhé straně také vysoká křehkost. [4]

- **Termoplasty:** polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylen (PE), polykarbonát (PC), polyetylen tereftalát (PET) a další.

Jedná se o tuhé látky, které měknou a tečou za zvýšené teploty nad charakteristickou hodnotu pro daný polymer. Po ochlazení pod tuto teplotu přecházejí opět do pevného skupenství. Na rozdíl od termosetů jsou pro termoplasty charakteristické velmi dlouhé makromolekuly, které jsou tvořeny opakujícími se strukturními jednotkami – polymery. Jednotlivé makromolekuly neváže chemická vazba, ale jejich vzájemné interakce, obvykle Van der Waalsovské interakce, vodíkové můstky apod. Termoplastické matrice mají zastoupení především v oblasti plněných plastů a částicových kompozitů. [4]

V technologii vláknových kompozitních materiálů je nejvíce využíváno termosetů. Nejčastěji používané matrice jsou: nenasycené polyestery, vinylestery, epoxidy a fenolické pryskyřice. [4]

Tabulka 5: Vlastnosti nejčastěji používaných organických matric [4]

Matrice	Hustota [g/cm³]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Deformace do lomu [%]
Termosety	1,10 – 1,67	1,3 – 6,0	20 – 180	1 – 30
<i>Epoxidy</i>	1,1 – 1,4	2,1 – 6,0	35 – 90	1 – 10
<i>Polyestery</i>	1,1 – 1,5	1,3 – 4,5	45 – 85	1 – 5
<i>Fenolické pryskyřice</i>	1,3	4,4	50 – 60	1 – 3
<i>Polyamidy</i>	1,2 – 1,9	3,0 – 3,1	80 – 190	2 – 40
Termoplasty	0,90 – 1,45	1,0 – 4,0	20 – 250	5 – 150
<i>Polypropylen</i>	0,9	1,1 – 1,5	28 – 41	10 – 700
<i>Polyamid</i>	1,42	2,8 – 3,4	76 – 83	60 – 300
<i>Polykarbonát</i>	1,21	2,1 – 2,8	62 – 76	110 – 130
<i>polyaryletherketon</i>	1,31	3,8	70	50 – 150

3.5.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice

Nenasycená polyesterová pryskyřice (unsaturated polyesters UP) je roztok lineárních nenasycených polyesterů v polymerace schopném rozpouštědle (nejčastěji ve styrenu). K prodloužení životnosti UP se používají inhibitory. Pro snížení viskozity na úroveň nutnou pro dobrou zpracovatelnost (pro zajištění dobrého smáčení výztuží a pro omezení velké reaktivity UP) se používají ředící reaktivní rozpouštědla. Rozpouštědla musí splňovat: nízká těkavost, dobrá rozpouštěcí schopnost pro polyester, schopnost dobré kopolymerace s polyesterem, přijatelná cena, dobré vlastnosti výsledných produktů a nesmí být hygienicky závadné. Vytvrzování UP probíhá radikálovou kopolymerací obou hlavních složek (nenasyceného polyesteru a nenasyceného monomeru). Teplota vytvrzování je dána typem použitého iniciátoru, který se od sebe liší právě teplotou, při které je jejich rozpad maximální. Výsledkem je tuhý, zesíťovaný nerozpustný produkt. Radikálová kopolymerace je řetězová reakce, která má tři základní děje: iniciaci, propagaci a terminaci.

Běžné UP pryskyřice jsou hořlavé a to v některých oborech brání jejich rozšíření (např. podzemní stavby, chemický průmysl). Nechořlavosti u nich nelze nikdy dosáhnout, můžeme ale dosáhnout samozhášivosti (pryskyřice po oddálení plamene nehoří). Takto získaný stupeň požární bezpečnosti je pro většinu aplikací ve stavebnictví dostatečný. Polyesterové pryskyřice jsou hojně využívány při

výrobě pultrudovaných FRP profilů. Hořlavost lze snížit fyzikální příměsí anorganických nebo organických retardérů hoření, chemickou modifikací UP (začleněním halogenované kyseliny nebo polyalkoholu přímo do řetězce UP) nebo přidavkem vhodného monomeru s podobnými vlastnostmi. [4]

Retardéry hoření

Snížení hořlavosti pryskyřic můžeme dosáhnout snížením obsahu organické fáze ve výsledném materiálu. Menší obsah hořlavé pryskyřice dosáhneme v kompozitech přítomností výztuže a anorganických plniv a dále také přidavkem organických a anorganických retardérů hoření. Tyto retardéry většinou zvyšují zápalnou teplotu materiálu a prodlužují dobu, po kterou musí plamen na materiál působit, aby došlo k jeho vznícení. Většinou účinkují tak, že po oddálení plamene způsobí samovolné uhašení hoření. K retardérům se navíc přidávají další látky, které podstatně snižují hustotu kouře i jeho toxicitu.

Jako anorganické retardéry hoření se používají prášková plniva jako $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, CaCO_3 nebo Sb_2O_3 , která jsou zvláště účinná v kombinaci s chlorovanými částmi v řetězci UP. Z hlediska účinnosti je neoptimálnější hydroxid hlinitý $\text{Al}(\text{OH})_3$. Sloučeniny antimonu (Sb_2O_3) jsou v některých zemích z ekologického hlediska zakázány. Vápenec CaCO_3 má zpomalující účinky až při velmi vysokých koncentracích, které vedou k pryskyřicím s velmi nízkou pevností a negativně také ovlivňuje viskozitu UP. Hydroxid hořečnatý $\text{Mg}(\text{OH})_2$ má stejné účinky jako hydroxid hlinitý pouze s rozdílem, že má vyšší teplotu rozkladu než $\text{Al}(\text{OH})_3$, to umožňuje použití $\text{Mg}(\text{OH})_2$ tam kde jsou vyšší zpracovatelské teploty (nad 200 °C). Hydroxid hlinitý má teplotu rozkladu 180 až 200 °C což by znamenalo, že při zpracování za vyšších teplot by se rozkládal a způsoboval by zpěnění pryskyřice a znehodnotil tak výrobek z hlediska fyzikálních vlastností i z hlediska požární bezpečnosti.

Jako organické retardéry hoření se používají chlorované a bromované organické fenoly. Oproti anorganickým zpomalovačům mají několik nevýhod. Jejich přidavek změkčuje pryskyřice a znehodnocuje tak její mechanické vlastnosti. Navíc se z materiálu mohou s časem „vypocovat“, takže jejich účinnost po letech klesá. Nejpodstatnějším nedostatkem je jejich krátkodobá účinnost v požáru, která je dána jejich organickým složením. Jakmile se rozloží, dojde k urychlení hoření, někdy dochází za vysokých teplot k jejich přeměně na silně toxické plynné zplodiny (fosgen).

Hořlavost lze také snížit zavedením dalšího monomeru obsahujícího v molekule fosfor, halogen či antimon. Jako samozhášivý monomer byl také navržen difenylstibinakrylát apod. [4]

Odolnost UP proti vlivu povětrnosti

Odolnost proti povětrnostním vlivům (UV záření, změny teplot, změny vlhkosti, kyselé deště, atd.) je velmi důležitým faktorem při použití kompozitů na bázi UP matric ve venkovním prostředí. UP mají tendenci v prvních týdnech po vystavení slunci zvyšovat svoji pevnost díky probíhajícímu dovytvrzování vlivem UV - záření, ale po určité době dochází k poklesu pevnosti vlivem narušování řetězců energetickou UV - složkou slunečního záření.

Degradace ultrafialovým zářením je provázena zežloutnutím pryskyřice. K zežloutnutí může dojít také vlivem dlouhodobého vystavení UP vysoké teplotě. Nejvíce UV - složky slunečního záření absorbují nezreagované dvojné vazby, proto platí, že nejvíce bude degradovat nedokonale vytvrzená pryskyřice. Aby pryskyřice degradovala v celém objemu, musí být propustná. Kompozity obsahují 30 až 85 objemových % skleněných vláken, která silně pohlcují UV záření, a degradace se tedy odehrává převážně na povrchu. Degradací dojde k obnažení povrchové vrstvy vláken, což neovlivní výrazně mechanické vlastnosti kompozitu, ale může to mít negativní vliv na použitelnost v aplikacích, kdy FRC výrobek přichází do kontaktu s pokožkou či potravinami. Odhalením vláken také dochází ke snížení odolnosti kompozitu proti působení vlhkosti a jiných chemikálií, proto se do kompozitů vkládají povrchové roušky na bázi UV odolných termoplastických polyesterových nebo polypropylénových vláken, které brání hlubšímu průniku UV záření a také nedovolí odkrytí vláken ani po degradaci povrchové vrstvy pryskyřice. [4]

Pigmentace

Polymerní matrice přináší do FRC výhodu, kterou je možnost barvitelnosti v objemu. Díky tomu lze vyrobit materiály s požadovanou barevností již v primární výrobě, čímž se výrazně sníží náklady u finálního výrobce a náklady na údržbu pro konečného spotřebitele. Pigmentace polymerních látek je velmi komplikovaná, pro dosažení potřebných barevností a barevných hustot je třeba pro různé barvy použít různé koncentrace barviv. Přítomnost těchto mnohdy reaktivních látek může ovlivnit v některých případech rychlost polymerace a tím i výsledné vlastnosti produkovaného materiálu. [4]

Požadavky, kladené na pigment, jsou velmi náročné:

- Pigment nesmí ovlivňovat vytvrzovací charakteristiku UP ani výsledné fyzikální a mechanické vlastnosti
- Stabilitu pigmentu nesmí ovlivnit použitý peroxid

Pigmenty se rozlišují na organické a anorganické (titanová běloba, zinková běloba, oxid železitý, atd.). Látky, které může pigment obsahovat a které způsobují zpomalení vytvrzovacího procesu, jsou měď, síra či olovo. Látky urychlující vytvrzovací reakci jsou železo, nikl, kobalt, mangan, chrom a vanad.

Velmi často používaným pigmentem jsou saze působící jako ideální spojovací systém – lapač UV-záření, ale bohužel i volných radikálů, výsledkem je zpomalení vytvrzovací reakce. Koncentráty pigmentů jsou dodávány většinou v podobě past a jsou určeny přímo pro UP. [4]

3.5.2 Vinylesterové pryskyřice

Vinylestery jsou vhodné pro náročné aplikace, zejména do agresivního chemického prostředí a pro kompozity vystavené velkému mechanickému namáhání. Pokud se nevyžadují při aplikacích speciální elektrické vlastnosti a dlouhodobé použití při vysokých teplotách, mohou VE nahradit dražší a mnohými technologiemi hůře zpracovatelné epoxidové pryskyřice. Pro vinylestery se používají stejné vytvrzovací systémy jako pro UP, je možné je dotvrzovat při zvýšených teplotách. Vinylestery obsahují už od výrobce různá množství reaktivního monomerního rozpouštědla, nejčastěji styrenu. Mechanické vlastnosti VE závisí na obsahu styrenu stejně jako u UP.

Vinylesterové kompozity se skleněnou výztuží se používají jako vyztužené vinylesterové roury, nádrže, podzemní zásobníky a další výrobky. Kompozity z vinylesterových pryskyřic se také osvědčily na lopatky větrných elektráren, v oboru letectví a dopravy a při konstrukcích sanitární techniky a domácích plaveckých bazénů. [4]

3.5.3 Epoxidové pryskyřice

Epoxidové pryskyřice obsahují v molekule epoxidovou (oxiranovou) skupinu. Při vytvrzování se neodštěpují vedlejší produkty a dochází jen k malému celkovému polymeračnímu smrštění (okolo 2 %). Tato vlastnost je velmi výhodná pro výrobky s vysokou požadovanou přesností. Epoxidová pryskyřice má nejlepší přilnavost k povrchově neupravené skleněné výztuži v porovnání s UP a VE pryskyřicemi. Vytvrzené epoxidové pryskyřice také vykazují nejlepší mechanické a především elektrické vlastnosti. Mají dobré elektroizolační vlastnosti v široké oblasti teplot, jsou odolné proti vodě, roztokům alkálií, kyselin a některým rozpouštědlům. Chemická odolnost EP vůči alkáliím a zředěným kyselinám stoupá s délkou řetězce molekuly a stupněm zesíťování. Teplotní odolnost EP závisí do značné míry na druhu použitých tvrdidel a na stupni zesíťování (vyšší stupeň zesíťování poskytuje vyšší teplotní odolnost), lze dosáhnout tepelné odolnosti až 260 °C.

Viskozita vícemolekulárních EP je vysoká. Pro snížení viskozity se EP ředí s reaktivními rozpouštědly, nebo látkou s dvojnou vazbou schopnou polymerace (styren, methylnmethakrylát, atd.).

Vytvrzení epoxidových pryskyřic:

Na rozdíl od UP a VE lze vytvrzování EP provádět několika způsoby, jejichž vhodnost či účelnost je vázána na konečné použití epoxidových pryskyřic a na technologii jejich zpracování. Tvrdidlo může na rozdíl od styrenu mnohem podstatněji ovlivnit fyzikálně chemické vlastnosti vytvrzené pryskyřice.

Nejčastěji používané postupy tvrzení:

- Polyadice na epoxidových skupinách (polymeračním činidlem jsou sloučeniny s volnými vodíkovými atomy)
- Polykondenzace na přítomných hydroxylových skupinách
- Polymerace epoxidových skupin (iniciace pomocí Friedel – Craftsových katalyzátorů, silných anorganických kyselin, aryl- a alkylkovů)

Vytvrzování EP samotnými tvrdidly (sítování) trvá za pokojové teploty velmi dlouho (až několik dnů). U automatizovaných výrobních procesů (tažení, navíjení, atd.) se musí použít urychlovač a katalyzátor vytvrzování. [4]

3.5.4 Fenolické pryskyřice

Fenolické pryskyřice (fenoplasty – PF) jsou termosety s vysokou tvrdostí, s vysokým modulem pružnosti a malou houževnatostí, které vznikají nejčastěji jako reakční produkt reakce fenolu s formaldehydem. Běžné teploty zpracování fenolických pryskyřic leží podle typu metody v intervalu 150 až 210 °C.

Fenolické pryskyřice se používají jako základ lepidel pro laminování dřeva a 64 % celkové produkce fenolických pryskyřic je používáno při výrobě překližky a laminovaných papírových panelů. Velké využití nachází tato pryskyřice při výrobě brzdových destiček a brusných kotoučů, ve kterých je fenolická pryskyřice pojivem vlastních brusných částic. Fenolické pryskyřice umožňují výrobu pultrudovaných kompozitních profilů s výrazně sníženou hořlavostí a vysokou odolností proti působení vysokých teplot. Typickou aplikací jsou profily, které se používají při výrobě pochůzných roštů. Tyto rošty odolávají teplotě až 900 °C po dobu 40 minut bez výraznějšího poklesu pevnosti a tuhosti. V tomto ohledu tyto kompozity výrazně převyšují vlastnosti oceli.

Nejčastěji se rošty používají při stavbě vrtných plošin a v oblastech chemického průmyslu, kde je požadována velmi dobrá požární bezpečnost.

Největší předností této pryskyřice je její vynikající termomechanická, povětrnostní a elektrická odolnost, kdy ani po mnoha letech nedochází při vnější expozici k výraznějšímu poklesu mechanických vlastností, i když dochází k poklesu povrchového lesku a kvality povrchu. [4]

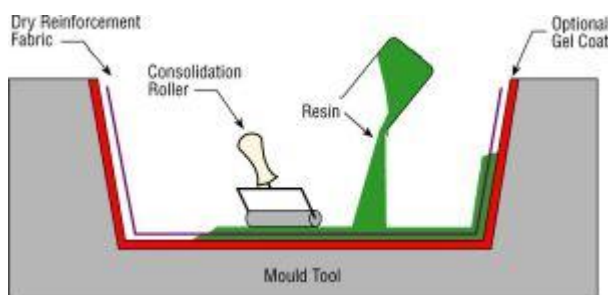
3.6 ZPŮSOBY VÝROBY FRP KOMPOZITŮ

3.6.1 Ruční kladení (kontaktní lisování)

Při ručním kladení (někdy se nazývá kontaktní lisování) je nanášení pryskyřice i výztuže prováděno ručně na vhodný povrch pozitivní nebo negativní formy. Pouze jedna strana výrobku má kvalitní povrch. Po položení výztuže a provlhčení pryskyřicí se kompozit vytvrdí.

Jednotlivé fáze procesu ručního kladení:

- povrchová úprava formy separačním činidlem
- katalyzovaná pryskyřice
- výztuž
- další vrstva pryskyřice se válečkem vtlačuje do výztuže a přitom je vtlačován přebytek vzduchu, který vytváří bubliny
- vložení výztuží a nanesení pryskyřice se opakuje tak dlouho, až je dosaženo požadované tloušťky stěny
- vytvrzení
- vyjmutí z formy



Obrázek 4: Princip ručního kladení (Překlad zleva: suchá výztužná tkanina, hutnicí váleček, forma, pryskyřice, gelová úprava formy) [19]

Výhody ručního kladení:

- jednoduchost technologie
- minimální náklady na nástroje
- prakticky neomezená variabilita tvarů a velikostí

Nevýhody:

- relativně velký objem odpadu, který lze jen těžko znovu zpracovat
- pouze jeden kvalitní povrch
- malá produktivita
- náročnost na lidskou práci
- kvalita výrobku je silně závislá na zkušenosti a schopnostech pracovníka

Použití metody ručního kladení:

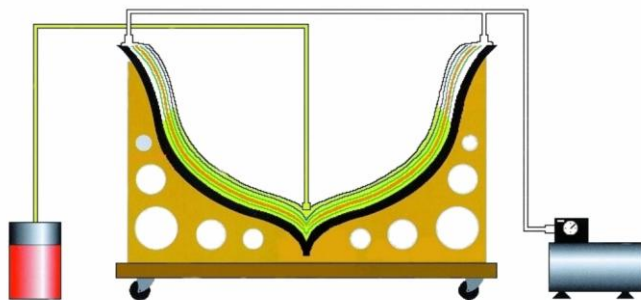
- lodě, skladovací nádrže, rovné plochy, bazény a různé prototypy [4]

3.6.2 Metoda vakuového vaku

Metoda vakuového vaku je vylepšením metody ručního kladení. Na povrch kompozitu se položí tenký, vzduch nepropouštějící film, forma je vakuována a tlakem filmu dojde k vytlačení přebytečných bublin.

Postup:

- ruční kladení laminátu
- položení fólie přes volný povrch kompozitního dílce
- vakuování formy
- ruční dotlačení filmu na kompozit, vytlačení přebytečného vzduchu
- vytvrzení kompozitu
- stržení filmu z laminátu



Obrázek 5: Metoda vakuového vaku se vstřikem matrice [5]

Výhody:

- zachovává výhody ručního kladení
- možnost připravit materiály s minimálním obsahem vzduchových bublin a s vyšším obsahem výztuží
- vynikající pro sendvičové struktury

Nevýhody:

- velký obsah odpadu
- potřeba velmi zručné pracovní síly
- velmi pomalý proces
- nemožnost zarovnání okrajů výrobku před vytvrzením, což prodražuje celý proces

Použití metody vakuového vaku:

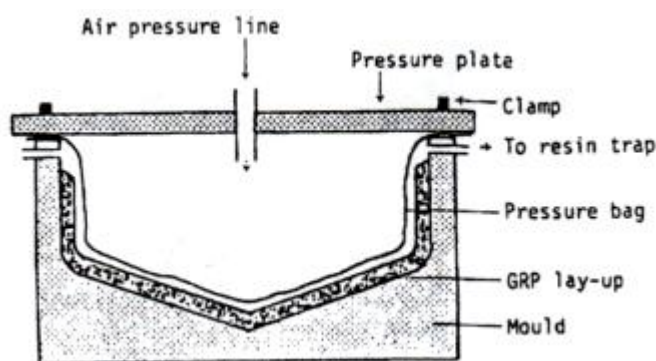
- vojenské a letecké součásti, kde cena nehraje hlavní roli a důležité jsou především fyzikální vlastnosti [4]

3.6.3 Metoda tlakového vaku

Tato metoda je pouze zlepšením metody vakuového vaku přidavkem tlakového vaku. Tenký vzduch nepropouštějící film je položen na volný povrch ručně kladeného kompozitu, forma je evakuována a tlakem filmu dojde k vytlačení přebytečných bublin. Navíc je přes vakuový vak převlečen tlakový, který jeho účinky ještě zlepšuje.

Postup:

- ruční naklazení laminátu
- fólie je položena přes volný povrch kompozitního dílce
- prostor formy je evakuován, nad formou je vytvořen přetlak cca 0,3 MPa
- ručně je film dotlačen na kompozit a všechen přebytečný vzduch je vytlačen ven
- vytvrzení FRC
- film je stržen z laminátu a výrobek je dokončen



Obrázek 6: Metoda tlakového vaku (Překlad shora: potrubí pro vtlačení vzduchu, přitlačná deska, svorka, otvor pro vtlačení pryskyřice, tlakový vak, ručně vložená skleněná výztuž, forma) [4]

Metoda tlakového vaku má stejné výhody i nevýhody jako předchozí metoda vakuového vaku, kromě toho je tlakový vak poměrně drahý.

Použití metody tlakového vaku:

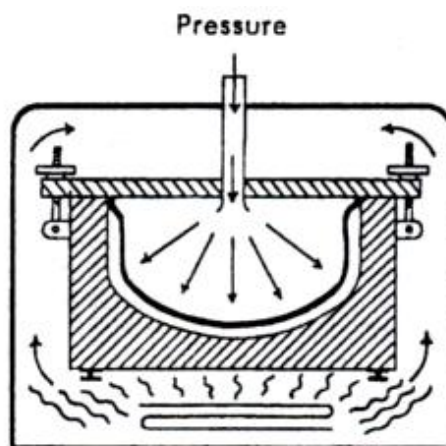
- vhodná pro cylindrické díly a umožňuje vytvořit kvalitní díly, které mají různé konkávní i konvexní části, používá se pro výrobu vojenských a leteckých součástí [4]

3.6.4 Vytvrzování v autoklávu

Opět se jedná o zdokonalení předchozí metody. Kompozit je vytvrzen pomocí tepla a tlaku v autoklávu s přesně říditelnými parametry vytvrzování.

Jednotlivé kroky při vytvrzování v autoklávu:

- příprava laminátu ve formě jako u metody vakuového vaku
- přenesení takto připraveného výrobku do autoklávu
- vytvrzení kompozitu v autoklávu působením tepla a tlaku
- vyjmutí z autoklávu, stržení vakuového vaku



Obrázek 7: Metoda vytvrzování v autoklávu (Překlad: působení tlaku) [4]

Výhody:

- zvýšení obsahu výztuže
- možnost použití jádra na odlehčení kompozitů
- v jednom výrobním kroku mohou být zabudovány další součásti
- v jednom autoklávu může být najednou vytvrzeno více částí

Nevýhody:

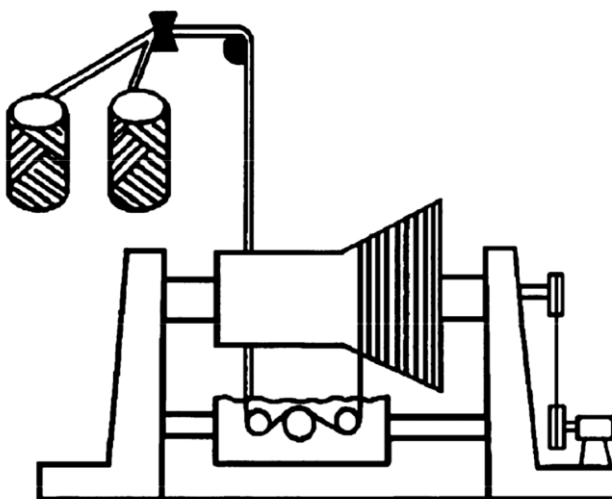
- vysoká cena autoklávů
- vysoká pracnost
- velikost vyráběných dílů je limitována velikostí autoklávu
- vyšší nároky na materiál forem
- produkováno poměrně hodně odpadu

Použití vytvrzování v autoklávu:

- součásti křídel letadel, nosy letadel, trysky raket, elektronické součásti, teplotní štíty [4]

3.6.5 Navíjení (Filament winding)

Při této metodě se kontinuálně navíjí svazek vláken nebo jinak upravených výztuží na kruhovou, smrštitelnou formu. Do rotačního zařízení se upne jádro, které je buď vyjímatelné, nebo se po skončení procesu stane součástí výrobku. Na jádro se navinou výztuže. Předem se naprogramuje jejich předpětí, složení, orientace, atd. Vláknata jsou navíjena již navlhčená pryskyřicí nebo se provlhcují až po navinutí. Navíjená stopa se mění podle požadavků tak dlouho, až je výrobek hotový. Kompozit se i s jádrem vloží do pece, kde se při neustálé rotaci vytvrzuje.



Obrázek 8: Metoda navíjení [5]

Výhody:

- použití nejlevnější formy výztuže (rovingu)
- dobrá produktivita
- možnost automatizace
- výrobky s vynikajícími fyzikálními vlastnostmi

Nevýhody:

- vysoká cena navíjecích strojů
- nesnadné odstraňování vnitřních forem
- nízká produktivita u výroby tlakových nádrží, kde je nutné používat některé speciální postupy

Použití metody navíjení:

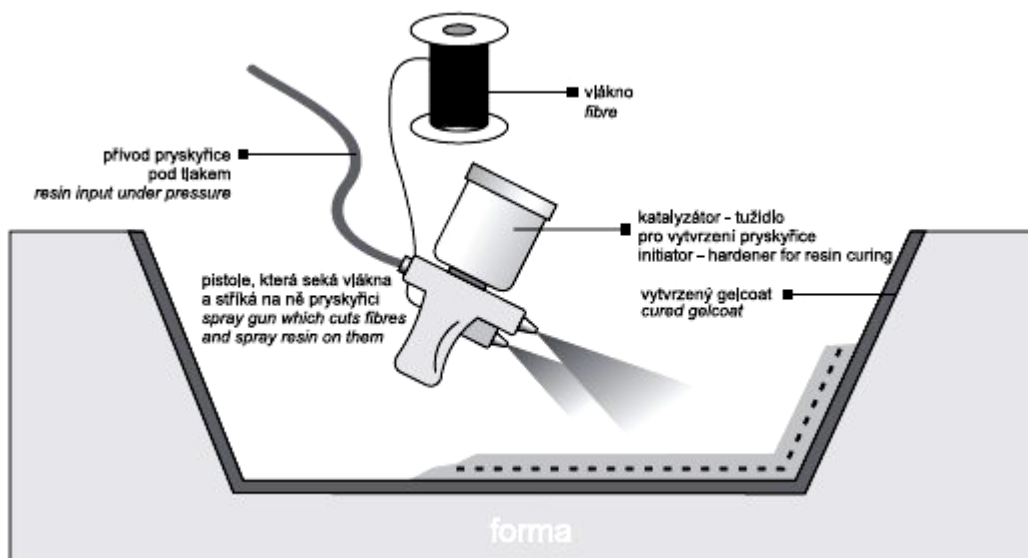
- pro výrobu potrubí, kolen, zásobníků paliv (až do průměru 18 m), pro výrobu tlakových nádob a velkých součástí s konkávním povrchem; délka trubek není limitována (potrubí vyrobené touto metodou se používá pro dopravní spojení vrtných plošin s pozemními skladovacími terminály)
- pro výrobu vagónů pouliční dráhy, pro vyztužení pušek a pro výrobu sportovních potřeb (hůlky, rybářské pruty, atd.) [4]

3.6.6 Metoda nanášení kompozitu do formy sprayem

Na povrch formy se nastříká katalyzovaná směs krátkých skleněných vláken a matrice, poté se slisuje a vytvrdí.

Postup:

- příprava povrchu formy
- správné namíchání katalyzátorů, aditiv, vláken, atd.
- nastříkání směsi ve větraném prostoru
- nastříkaná směs se zaválečkuje a ručně udusá
- vytvrzení a dokončení



Obrázek 9: Metoda nanášení kompozitu do formy sprayem [2]

Výhody:

- přesnost
- úzká cena zařízení
- při automatizovaném procesu lze dosáhnout dobré produktivity a reprodukovatelnosti výrobků
- velikost výrobků není omezena

Nevýhody:

- nesnadné dodržení přesných tolerancí
- vlastnosti materiálu jsou horší než u předchozích technologií
- vysoké požadavky na kvalitní a schopnou pracovní sílu

Použití metody nanášení do forem sprayem:

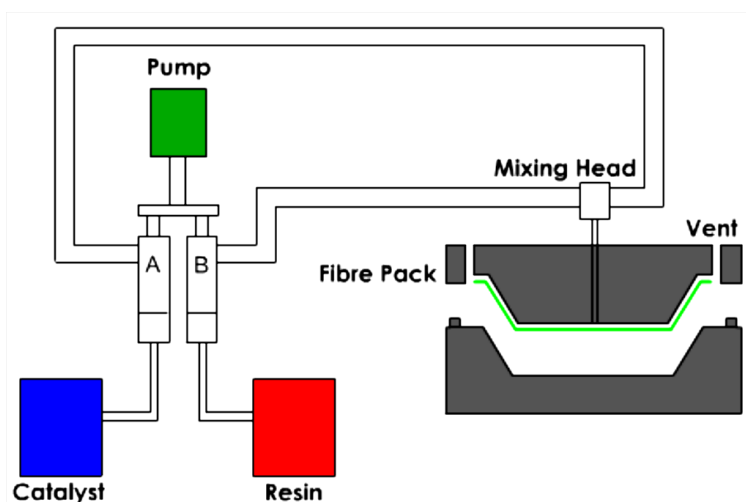
- stejné jako u ručního kladení, navíc se touto metodou vyrábí velké díly (panely, lodě, zásobníky, atd.) [4]

3.6.7 Metoda lisování se vstřikem matrice

Metoda pracuje s uzavřenou formou, do které je vložena suchá výztuž (preform), forma je uzavřena a je do ní pod tlakem vstříknuta katalyzovaná pryskyřice. Vytvrzování se většinou provádí při pokojové teplotě.

Postup:

- obě strany formy jsou nejdříve navoskovány (separace) a poté je nanesen gel chat
- po vytvrzení gel-coatu je do formy vložena suchá výztuž podle schématu daného typem výrobku
- do uzavřené formy je potom vstříknuta pryskyřice pod tlakem 0,2 až 0,35 MPa tak, aby došlo k úplnému prosycení výztuže a pryskyřice začala vytékat odtokovými otvory, tyto otvory jsou potom uzavřeny a forma je uzavřená ponechána až do úplného vytvrzení
- forma je otevřena a díl je vytažen
- výrobek je dokončen



Obrázek 10: Metoda lisování se vstřikem matrice (Překlad zleva: katalyzátor, čerpadlo, pryskyřice, zásobník vláken, míchací koš, průduch) [20]

Výhody:

- na obou stranách výrobku dobrý povrch
- možnost odlišného zbarvení obou stran výrobku
- velmi dobrá tloušťková tolerance
- snadné vlamínování různých přírub a jiných součástí možnost výroby i poměrně velkých plošných výrobků (5 až 19 m²)

Nevýhody:

- potřeba velmi těžkých a drahých kovových forem
- nelze dosáhnout vysokého obsahu skla → nižší fyzikální vlastnosti než u jiných metod

Použití metody lisování se vstřikem matrice:

- konstrukční a bednicí desky, stěnové prvky, podlahové rošty, výrobky pro elektrotechnický, nábytkářský, automobilový a potravinářský průmysl (př. Skříně pro rozvaděče, prvky sedadel, části čerpadel, ozubená kola, prvky větrání, dílce pro dojící zařízení apod.) [4]

3.6.8 Metoda lisování ve formě

Tento proces je vhodný pro masovou výrobu FRC dílů. Do formy se najednou umístí všechny komponenty - pryskyřice, výztuže, aditiva, plniva, barviva, vnitřní mazadla, separační činidla, atd. Vyhřívaná forma se vloží do lisu. Při uzavření formy materiál vyšším tlakem teče a vyplní prostor formy do tvaru konečného výrobku. Potom se FRC vytvrdí. Základními vstupními materiály pro lisování ve formě jsou BMC (Bulk molding compound = premix), SMC (Sheet Molding Compound = prepreg), a pryskyřice.

Postup:

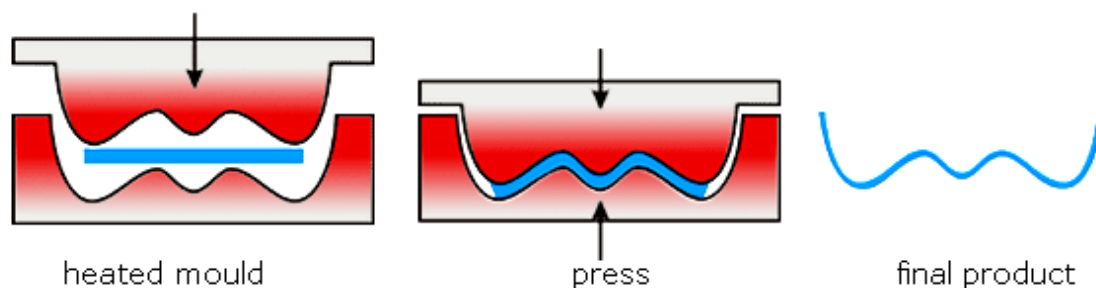
- vyhřívaná forma se vloží do lisu (definuje se tlak, rychlost uzavírání, teplota a případné další podmínky)
- vstupní materiál se vloží do formy a forma se uzavře
- po vytvrzení se forma otevře, výrobek se vyjme a výrobní cyklus se opakuje

Základní vstupní materiály:

- BMC (bulk molding compound = premix)
- SMC (sheet molding compound = prepreg)
- pryskyřice [4]

Tabulka 6: Fyzikální vlastnosti nejběžnějších prepregů [4]

Vlastnost	Premix (BMC)	Prepreg (SMC)
Pevnost v ohybu [MPa]	50 – 180	350 – 550
Pevnost v tahu [MPa]	30 – 70	280 – 380
Modul pružnosti v ohybu [GPa]	10 - 17	12 – 17



Obrázek 11: Metoda lisování ve formě (Překlad zleva: vyhřívaná forma, působení tlaku, výsledný výrobek) [9]

3.6.9 Lisování z prepregů

Prepreg (anglicky označován také jako SMC - Sheet moulding compound) je zkrácený název pro preimpregnovanou vyztužující tkaninu. Prepreg je velmi tenká vrstva (0,1 až 0,5 mm), která obsahuje přesný poměr pryskyřice a výztuže. Vrstvy se kladou předem navrženým způsobem do formy, aby se dosáhlo požadovaného prostorového uspořádání výztuže a tím i požadovaných fyzikálních vlastností. Postup vkládání do formy je stejný jako u ručního kladení.

Výhody:

- přesná a předem definované uložení výztuže → lze dosáhnout velmi dobré a izotropní vlastnosti hotového dílce
- není třeba neustálé kontroly poměru mezi pryskyřicí a výztuží

Nevýhody:

- vyšší cena prepregu ve srovnání se samotnou pryskyřicí a výztuží
- poměrně velká odpad
- nutnost skladovat prepregy při nízkých teplotách

Použití metody lisování z prepregů:

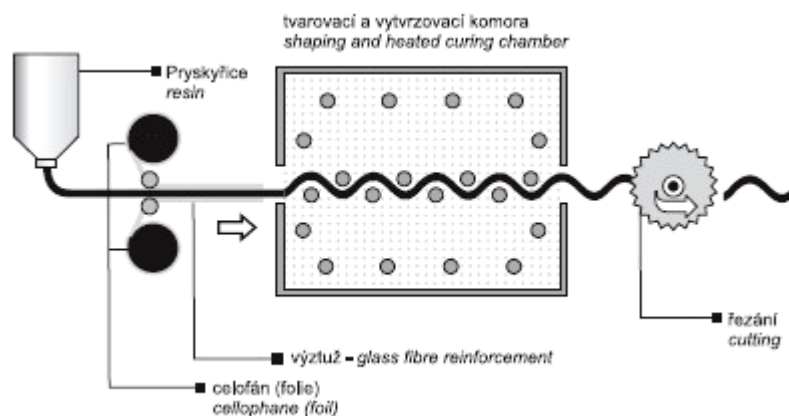
- lze vyrábět dobře reprodukovatelné homogenní díly, které obsahují rovnoměrně výztuž i matici; v letectví a kosmonautice (př. náběhové a brzdové klapky, kryty turbín, dveře, vstupní panely, kryty komunikačních přístrojů, atd.) [4]

3.6.10 Kontinuální laminace

Kontinuální laminace je jednou z nejstarších metod pro výrobu FRC. Na kontinuální lince, která se pohybuje předem stanovenou rychlostí, je umístěna výztuž, pryskyřice a všechny katalyzátory a aditiva i s vakuovým pytlek. Celá směs se kontinuálně tvaruje a následně vytvrzuje. Tento proces do jisté míry připomíná pultruzi.

Postup:

- příprava povrchu formy – nanesení separačního přípravku
- nanesení pryskyřice na pohybující se pás
- nanesení výztuží
- densifikace materiálu systémem válečků
- působení tepla pro vytvrzení FRC
- řezání vytvrzeného profilu a odstranění separační fólie



Obrázek 12: Metoda kontinuální laminace [2]

Výhody:

- možnost vyrábět nekonečnou délku FRC profilů o daném průřezu
- možnost vyrábět různé tloušťky
- minimální množství odpadu
- oboustranné kvalitní povrch výrobku

Nevýhody:

- vysoká cena výrobního zařízení
- pro návratnost je třeba vyrábět kontinuálně a ve velkých objemech
- nesnadné měnění tvaru vyráběného dílu

Použití metody kontinuální laminace:

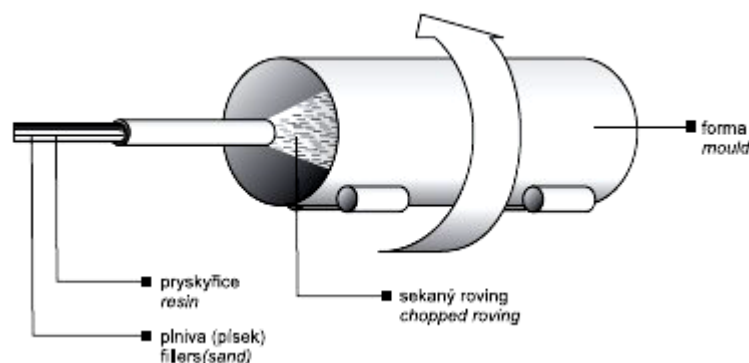
- střešní krytiny, různé dělicí příčky, kapotáže klimatizace, atd. [4]

3.6.11 Odstředivé lití FRC

Metoda je založená na principu působené odstředivé síly. Touto metodou se vyrábí zejména válcové nebo dlouhé prvky až do délky 9 m.

Postup:

- výztuž se vloží do formy pokryté separačním materiálem
- forma začne rotovat kolem podélné osy a nanáší se do ní pryskyřice
- nastaví se potřebná rychlost rotace pro dosažení dostatečného tlaku na pryskyřice
- forma se zahřeje na teplotu vytvrzování
- kompozit se vytvrdí, forma se zastaví a výrobek se vyjme



Obrázek 13: Metoda odstředivého lití [2]

Výhody:

- minimum nutných nástrojů
- snadná automatizace
- dobré povrchy na obou stranách výrobku
- minimální odpad
- nízké nároky na obsluhu

Nevýhody:

- vysoká cena technologického zařízení
- nutnost vyrobit formy, které jsou velmi přesně vybalancovány i pro vysoké úhlové rychlosti otáčení

Použití metody odstředivého lití:

- trubky, paraboly radarů, velké skladovací nádoby, atd. [4]

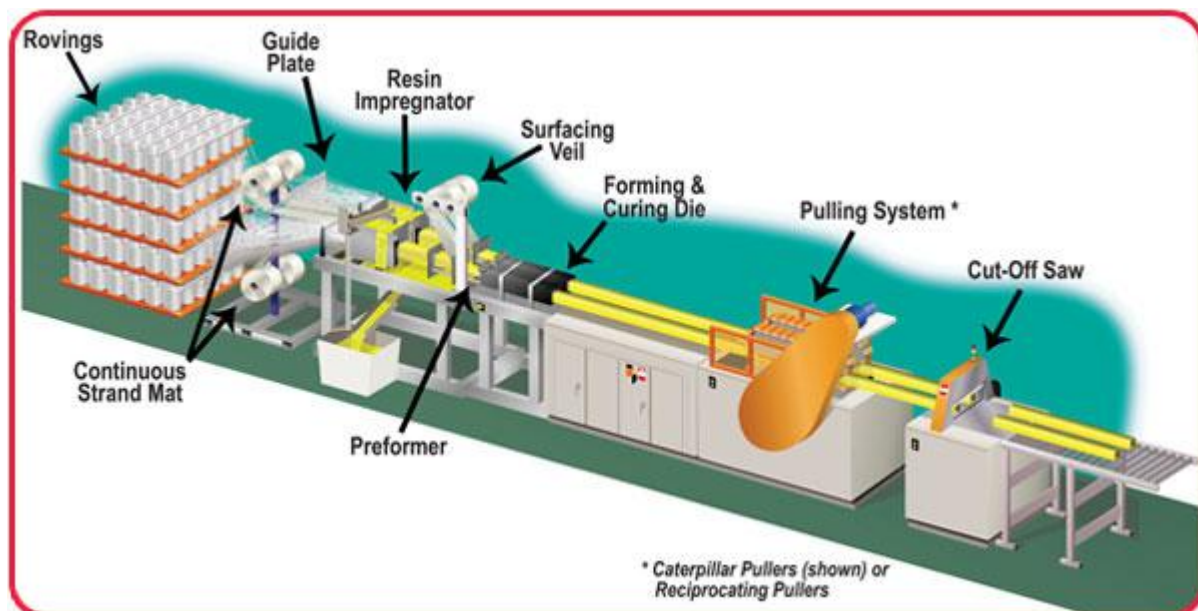
3.6.12 Tažení kompozitních profilů (pultruze)

Pultruze je založena na tažení svazků vláken, rohoží a tkanin pryskyřičnou lázní, kde dochází k prosycení výztuže. Nejčastěji se používají vlákna skleněná, uhlíková, grafitová, méně vlákna aramidová. Potom se prosycená výztuž tvaruje do požadovaného průřezu a zároveň se celý kompozit vytvrzuje v kontinuální vytvrzovací hlavě.

Pultruze patří k perspektivním velkoobjemovým výrobním technologiím, které produkují kompozitní materiály s relativně nízkou cenou a tím přispívají i k jejich větší dostupnosti.

Postup:

- soustava vláken, rohoží a rovin je tažena s předepsaným předpětím do pryskyřičné lázně
- prosycená výztuž vstupuje do předtvarovacího prostoru, tvarovací a vytvrzovací hlavy (v případě velké tloušťky stěn je nutné přidat pro vytvrzování mikrovlnné předehřívací zařízení)
- za vytvrzovací hlavou je tažné zařízení, které je nositelem pohybu celé linky
- za tažným zařízením je pila, která řeže profil na požadovanou délku



Obrázek 14: Metoda tažení (pultruze) kompozitů (Překlad zleva: zásobník rovingů, kontinuální rohože, vodicí deska, impregnace pryskyřicí, povrchová rohož, tváření a vytvrzování výrobku, tažné zařízení, pila) [14]

Výhody:

- téměř libovolný tvar průřezů
- vysoká automatizace
- „nekonečně“ dlouhý profil

Nevýhody:

- vysoké investiční náklady na technologická zařízení
- nákladnost provozu

Použití metody pultruze:

- ČOV, pochůzní rošty, lávky, ochranná zábradlí, schody, atd. [4]

3.7 VLASTNOSTI FRP KOMPOZITŮ

Za velkou přednost kompozitů s organickými matricemi se považuje kombinace snadné tvarovatelnosti nepevné pryskyřice s pevností a tuhostí vyztužujících vláken.

Vztahy mezi strukturou kompozitů a jejich výslednými vlastnostmi byly definovány v posledních 30 letech. Změnou prostorového uspořádání vláken, jejich typu, změnou stupně adheze mezi vlákny a pryskyřicí, volbou typu pryskyřice a jejích vlastností lze měnit výsledné vlastnosti kompozitu ve

velmi širokém intervalu (měrná hmotnost 1 000 až 2 000 kg/m³, modul pružnosti 10 až 200 GPa, pevnost 100 až 3 000 MPa). Velkou výhodou je možnost navrhovat konečný výrobek podle toho jaká namáhání na něho budou působit. Tyto výhody však mohou být využity pouze v případě, že se konstruktér seznámí s širokým intervalem vlastností, které mohou kompozity nabídnout a s jejich praktickou použitelností z hlediska ceny, pracnosti montáže a užitných vlastností. Zárukou úspěšné aplikace kompozitních profilů je spolupráce odběratele s výrobcem.

Někdy se ale skutečnost, že celý produkt je většinou vyráběn v jednom kroku (laminace sportovních lodí, navíjení rybářských prutů, tažení profilů, atd.), může jevit jako nevýhoda. Zejména u málo automatizovaných výrob či při kusové výrobě speciálních prvků (ruční laminace) může snadno dojít k nesprávnému uložení výztuží a tím k dosažení odlišných vlastností výrobků. Významným problémem je stále nedostatek norem pro konstruování s kompozity (dosud nejsou dostatečně propracovány konstrukční postupy, výpočty a algoritmy). [7]

Mezi nejčastěji využívané přednosti FRP kompozitů, které umožňují jejich velmi výhodné konstrukční použití, patří:

- nízká hustota (obvykle 1 600 až 2 000 kg/m³) ve srovnání s ocelí (7 800 kg/m³) či hliníkem (2 700 kg/m³)
- široký interval pevností (200 až 3 000 MPa) a modulů pružností (10 až 200 GPa) ve srovnání s tradičními materiály
- odolnost proti korozi
- odolnost proti opotřebení
- minimální tepelná vodivost (300x nižší než u hliníku, což se projevuje především v aplikacích jako chladič boxy, skleníky, atd.)
- elektroizolační vlastnosti
- prakticky nulový útlum elektromagnetických vln
- vysoký útlum zvukových vln
- ekonomické hledisko – ekonomická přijatelnost i malých sérií, vysoká životnost, snadná montáž, minimální údržba
- možnost integrace více součástí do jedné
- možnost specifických povrchových úprav už při výrobě komponent
- možnost probarvení materiálu v objemu [4]

4 PŘEHLED VÝROBCŮ FRP KOMPOZITŮ

4.1 ZÁSTUPCI NA ČESKÉM TRHU

4.1.1 Prefa kompozity, a.s.

<http://www.prefa-kompozity.cz>

Firma Prefa kompozity je dceřinou společností Prefa Brno a.s. založená v roce 2005. Společnost Prefa kompozity, a.s. vyrábí kompozitní profily a polotovary (FRC – vláknový kompozit, FRP – vyztužený polymer, GFK - sklolaminát). Z nich sestavuje výrobky a konstrukce určené především jako součást a příslušenství staveb ve všech průmyslových oblastech. Především ve vodním hospodářství, energetice, chemickém a dopravním průmyslu. [11]

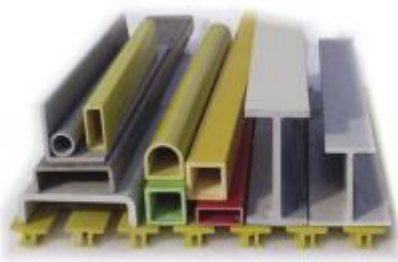
- Prefa kompozity používá následující technologie výroby:
 - Pultruze (tažení) – otevřené a uzavřené profily, tyče, desky
 - Ovíjení – kruhové trubky
 - Lití do formy – pochůzná rošty
 - Ruční laminování – části poklopů a krytů
 - SMC - kanalizační poklopy.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy matric:
 - Polyesterové - nejvíce rozšířené pryskyřice pro výrobu stavebních prvků
 - Vinylestery - pro náročnější aplikace v agresivním chemickém prostředí a pro více mechanicky a tepelně namáhaná zařízení
 - Epoxidy - pro aplikace s nejvyššími požadavky na mechanické a elektrické vlastnosti a chemickou odolnost.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy vlákenné výztuže:
 - Skleněná - standardní mechanické vlastnosti
 - Uhlíková - pro aplikace s požadavky na vyšší modul pružnosti a pro dynamická namáhání
 - Jiná (zejména aramidová a čedičová vlákna) - pro speciální aplikace. [11]
- Přehled vlastností kompozitních profilů:
 - Pevnost v tlaku 240 až 450 MPa
 - Pevnost v tahu 240 až 700 MPa

- Modul pružnosti v tlaku 19 GPa
 - Modul pružnosti v tahu 18 až 40 GPa
 - Požární odolnost A – nehořlavé
 - Odolnost vůči vysokým teplotám 100 °C až 180 °C
 - Měrná hmotnost 1 700 až 1 900 kg/m³ [1]
- Výrobkový sortiment Prefa kompozity
 - **Kompozitní profily PREFEN**

Profily PREFEN jsou termosetové prvky složené ze dvou převládajících fyzikálních látek o složení pojivo a výztuha. Pojivem jsou pryskyřice a výztuhou jsou vlákna. Tyto profily jsou vyrobené technologií pultruze (tažení).

Hlavními výhodami jsou vysoká pevnost, nízká objemová hmotnost, odolnost proti korozi, nevodivost a elektromagnetická transparentnost. Nevýhodami pak jsou nízký modul pružnosti, profily se nedají svařovat ani ohýbat.

Pro profily PREFEN se nejčastěji používá polyesterová pryskyřice, dále pak vinylesterová a epoxidová pryskyřice. Nejčastěji se jako výztuha používají skelná vlákna, potom uhlíková a čedičová vlákna. Profily jsou tvaru standardního (katalogizované výrobky – I, U, trubky, tyče) nebo zákaznického (po konzultaci s technickým oddělením). [11]



Obrázek 15: Kompozitní profily PREFEN, firma Prefa kompozity [11]

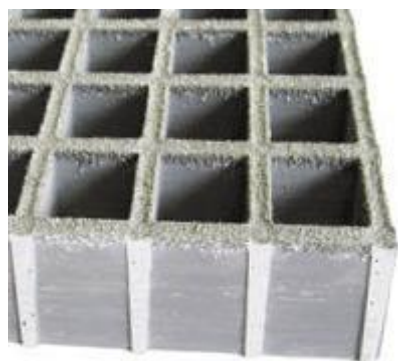
- **Pochůzné rošty**

Rošty jsou jako výrobky z kompozitních materiálů na bázi pryskyřice s vláknem. Díky vysoké životnosti jsou ideální náhradou za kovové rošty zejména v agresivním prostředí.

Rošty se dělí na skládané rošty PREFAPOR (složené z pultrudovaných profilů, které mohou obsahovat až 70 % skleněných vláken) a lité rošty PREFAGRID (vyrobené technologií lití do forem s obsahem až 40 % skleněných vláken). [11]



Obrázek 16: Skládaný rošt PREFAPOR,
firma Prefa kompozity [11]



Obrázek 17: Litý rošt PREFAGRID, firma
Prefa kompozity [11]

○ Zesilovací systémy

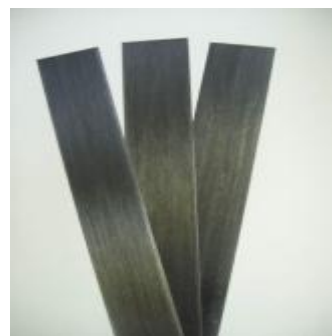
Zesilovací systémy ze skleněných nebo uhlíkových vláken lze použít jako výztuž umístěná uvnitř, blízko povrchu nebo na povrchu zesilovaného prvku.

Prefa kompozity vyrábí tři typy kompozitních výztuží a to dodatečná vnější výztuž (PREFACARB) pro dodatečné zesilování; dodatečná výztuž umístěná v blízkosti povrchu (PREFA REBAR, PREFEN FS, FB) a vnitřní výztuž (PREFA REBAR) pro nové konstrukce. Jako materiál se používají různé kombinace, např. sklo/polyester (dočasná výztuž), sklo/vinylester (dlouhodobé aplikace), uhlík/vinylester (dlouhodobé náročné aplikace) a uhlík/epoxid (dlouhodobé náročné aplikace).

Tyto zesilovací systémy lze použít pro zesilování betonových a dřevěných konstrukcí a také pro zesilování zdiva. [11]



Obrázek 18: Betonová deska s kompozitní
výztuží, firma Prefa kompozity [11]



Obrázek 19: Uhlíkové lamely, firma Prefa
kompozity [11]

- **Další výrobky**

Kompozitní poklopy a zakrytí; kompozitní zábradlí; nástěnné a opěrné žebříky; schodiště; lávky a můstky; vodohospodářské prvky; vystrojení šachet, nádrží a čerpacích stanic; výrobky pro energetiku; kabelové konstrukce; laminované výrobky [11]

4.1.2 GDP Koral, s.r.o.

<http://www.gdpkoral.cz>

GDP Koral, s.r.o. vznikl v roce 2005 jako společný podnik francouzské firmy GDP SA a české společnosti KORAL, s.r.o. se sídlem v Tišnově, Brno – venkov. Skupina GDP Group disponuje 20 výrobními linkami na 5 000 m² výrobních prostor v České republice, Francii a Španělsku. Prvotní výroba byla zaměřena výhradně pro potřeby armády. Hledal se materiál, který má velice podobné vlastnosti především pevnostní jako kov, ale je lehčí, nevodivý a je vysoce odolný proti povětrnostním vlivům apod. Tyto materiály v dalších letech našly uplatnění v řadě dalších oborů, kterými byly především energetika, elektrotechnika, chemický průmysl, zemědělství, výroba sportovních věcí apod. [12]

- GDP Koral používá následující technologie výroby:
 - Pultruze (tažení)
 - Lisování.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy matric:
 - Polyesterové pryskyřice
 - Vinylesterové pryskyřice.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy vlákenné výztuže:
 - Skleněná - standardní mechanické vlastnosti
 - Uhlíková - pro aplikace s požadavky na vyšší modul pružnosti a pro dynamická namáhání
 - Aramidová. [12]
- Přehled vlastností kompozitních profilů:
 - Pevnost v tlaku 400 MPa
 - Pevnost v tahu 250 až 900 MPa
 - Pevnost v ohybu 750 MPa
 - Modul pružnosti v tlaku 17 až 45 GPa

- Odolnost vůči teplotám -20 °C až +80 °C
- Měrná hmotnost 1 600 až 2 000 kg/m³ [10]
- Výrobkový sortiment GDP Koral
 - **Standardní profily**

Sortiment těchto profilů vychází z dostupných forem a trnů. K výrobě těchto profilů dochází na základě objednávky a specifikací zákazníka. [12]



Obrázek 20: Přehled standardních profilů, firma GDP Koral [12]

- **Zákaznické profily**

Standardně dochází k výrobě na základě objednávky a specifikací od zákazníka. Na přání jsou schopni vyrobit téměř jakýkoli profil. Limitující je pouze šířka stěny profilu, která by měla být alespoň 1,5 mm.



Obrázek 21: Ukázka zákaznických profilů, firma GDP Koral [12]

○ Rošty a planky

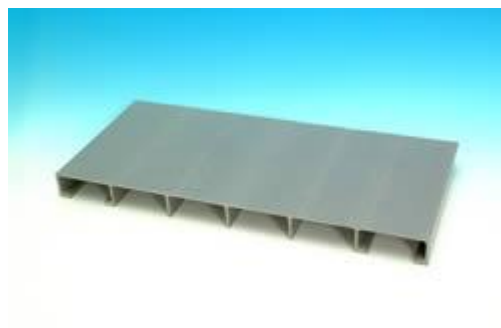
Rošty a planky jsou vyrobené z kontinuální sklené výztuže, rohože, popř. povrchových roušek a polyesterové, methylnmethakrylátové pryskyřice (polovodivá do výbušného prostředí) tak, aby vykazovaly vynikající odolnosti proti korozi. Ideální náhrada na kovové porůzné rošty. Pro své mechanické a fyzikální vlastnosti jsou vhodné pro použití v agresivním prostředí, vyznačují se vysokou životností, pevností, jsou elektricky nevodivé a hygienicky nezávadné. Oba druhy roštů se dodávají v širokém sortimentu rozměrů, vlastností, na přání barev a s dalším příslušenstvím, jako jsou úložné rámy, nosné konstrukce, atd.

Vhodné jsou především pro pochůzné systémy čistíren odpadních vod, vodárny a vodojemy, chemické provozy, galvanovny, mosty a lávky pro pěší, povrchy koupališť a bazénů, zemědělské chovy dobytka, obslužné prostory kolem nádraží a mnohé další.

Výhodami jsou nízká hmotnost, chemická odolnost, barvitelnost, bezúdržbovost, protiskluzový povrch a nárazuvzdornost. [12]



Obrázek 22: Rošt, firma GDP Koral [12]



Obrázek 23: Planka, firma GDP Koral [12]

○ Další výrobky

Žebříky, zábradlí, schodiště, lávky a most, poklopy, lamináty a potřeby pro laminování [12]

4.1.3 5M, s.r.o.

<http://www.5m.cz>

Společnost 5M s.r.o. byla založena v roce 1992 jako plně soukromá a ryze česká společnost. Zakladatelé firmy se problematikou lepení, kompozitů a sendvičů zabývali již řadu let předtím v leteckém průmyslu, takže kontinuita vývoje a výroby trvá již více než 20 let. Společnost má 5 000 m² výrobní plochy, nově postavené výrobní haly a vlastní vývoj a laboratoř. V roce 1998 s firmou 5M s.r.o. začala spolupracovat holandská firma SABA, která se zabývá výrobou čalounických lepidel pro nábytkářský průmysl a 5M s.r.o. se tak stala výhradním zástupcem této firmy pro Českou republiku. V roce 2002 firma 5M s.r.o. zřídila v zahraničí dceřinou společnost 5M Slovakia s.r.o., mají také zastoupení ve Slovinsku, Itálii, Bulharsku, Polsku a Velké Británii. Od roku 2010 firma 5M s.r.o. také zajišťuje obchodní zastoupení švýcarské firmy Kisling, která vyrábí lepidla ERGO. [13]

- 5M používá následující technologie výroby:
 - Pultruze (tažení).
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy matric:
 - Polyesterové pryskyřice
 - Vinylesterové pryskyřice
 - Epoxidové pryskyřice
 - Fenolické pryskyřice
 - Polyuretan.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy vlákenné výztuže:
 - Skleněná - nejvíce
 - Uhlíková – využití v menší míře.
- Přehled vlastností kompozitních profilů:
 - Pevnost v tahu 1 000 až 1 400 MPa
 - Pevnost v ohybu 1 000 až 2 500 MPa
 - Modul pružnosti v tahu 45 GPa
 - Ohybový modul 45 až 56 GPa
 - Tepelná vodivost 1 až 1,4 W/m.K
 - Tepelná kapacita 950 až 1 880 J/Kg.K
 - Měrná hmotnost 1 650 až 2 100 kg/m³ [13]

- Výrobkový sortiment 5M
 - **Standardní profily**

Sortiment těchto profilů vychází z dostupných forem a trnů. [13]



Obrázek 24: Ukázka standardních profilů, firma 5M [13]

- **Zákaznické profily**

Firma 5M s.r.o. se zabývá spíše výrobou zákaznických profilů složitější konstrukce, kdy tvar a složení profilu je vyvíjen na základě konzultace se zákazníkem a s přihlédnutím na požadované vlastnosti (způsob zatěžování, vystavení agresivnímu prostředí, elektrické vlastnosti, ...). [13]

- **Další produkty**

Lepidla (známá pod značkou Letoxit), epoxidové pryskyřice, semipregy, sendvičové panely (hliníkové a kompozitové), silosyst (systém pro dodatečné zesilování konstrukcí). [13]

4.2 ZÁSTUPCI NA SVĚTOVÉM TRHU

4.2.1 Strongwell

<http://www.strongwell.com/>

Počátek společnosti se datuje od roku 1924, kdy byla postavena ve Virginii továrna na výrobu letadel, rozhlasových a televizních skříní. Během druhé světové války firma vyráběla karbonové díly pro zbraně. V roce 1956 poprvé firma použila kontinuální automatický proces, který je dnes známý jako pultruze (tažení). V dnešní době se firma Strongwell zabývá převážně pultruzní výrobou a proces lisování pak využívá jako doplňkovou výrobu. [14]

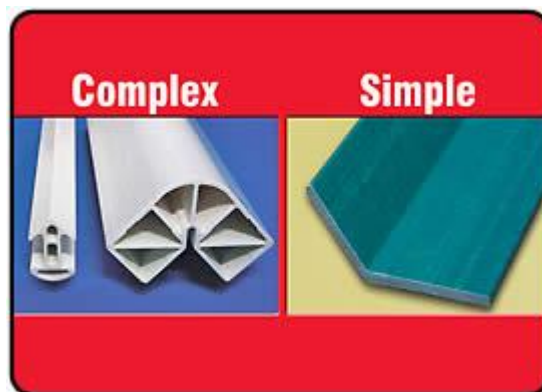
- Strongwell používá následující technologie výroby:
 - Pultruze (tažení)
 - Lisování.

- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy matric:
 - Polyesterové pryskyřice
 - Vinylesterové pryskyřice
 - Epoxidové pryskyřice
 - Fenolické pryskyřice
 - Polyuretan
 - A směsi výše uvedených.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy vlákně:
 - Skleněná
 - Uhlíková.
- Přehled vlastností kompozitních profilů:
 - Pevnost v tlaku 165 až 207 MPa
 - Pevnost v tahu 138 až 207 MPa
 - Pevnost v ohybu 207 až 241 MPa
 - Modul pružnosti v tlaku 12,4 až 17,2 GPa
 - Modul pružnosti v tahu 12,4 až 17,9 GPa
 - Modul pružnosti v ohybu 7,6 až 11 GPa
 - Odolnost vůči vysokým teplotám 130 °C
 - Měrná hmotnost 1 660 až 1 940 kg/m³ [14]
- Vybraný sortiment výrobků firmy Strongwell:
 - **Pultrudované (tažené) výrobky**

Firma Strongwell vyrábí pultrudované výrobky o různé velikosti a tloušťce stěn. Díly mohou být vyrobeny v jakékoli přepravitelné délce. Vyrábí také různě složité profily (s více otvory, úhelníky, trubky, atd.). Nabízí také možnost kompozitních profilů s výplní (tzv. jádrem). Jádrové materiály mohou být z hliníku, oceli, pěny, dřeva nebo polyetylenu. [14]



Obrázek 25: Pultrudované výrobky – různé velikosti, firma Strongwell [14]



Obrázek 27: Pultrudované profily – různé tvary, firma Strongwell [14]



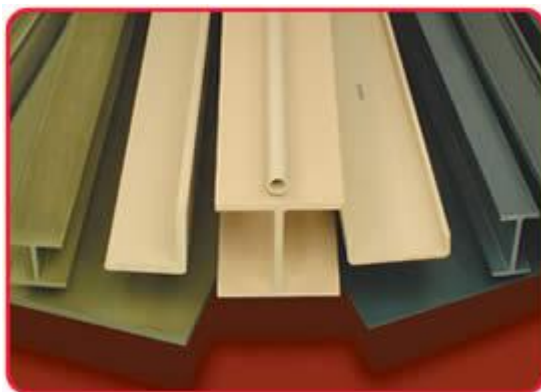
Obrázek 26: Pultrudované profily – různé tloušťky, firma Strongwell [14]



Obrázek 28: Pultrudované profily s jádrem, firma Strongwell [14]

○ **Extren**

Jde o patentovanou směs reaktoplastů (kombinace skleněných vláken s polyesterovou nebo vinylesterovou pryskyřicí). Vyrábí více než 100 standardních profilů, které mají povrchovou úpravu proti UV záření a korozi. Extren je nabízen ve třech sériích určených pro různá prostředí a aplikace. Profily Extren jsou odolné proti korozi, mají nízkou vodivost (tepelnou i elektrickou), jsou lehké, mají vysokou pevnost, rozměrovou stabilitu a nízké nároky na údržbu. [14]



Obrázek 29: Ukázka jednotlivých sérií řady Extren, firma Strongwell [14]

- **Další produkty**

Safeplate (tvrdá deska pro různá použití), rošty, zábradlí, schodiště apod. [14]

4.2.2 Unicomposite technology CO., LTD.

<http://www.unicomposite.com>

Firma byla založena v roce 1998 v Nanjing v Číně. Nachází se blízko řeky Yangtze a díky tomu má výhodný přístup na Šanghajský přístav a možnost exportovat tak své výrobky do světa. V roce 2012 Unicomposite dostala certifikaci ISO 9001 – 2008 a nyní tak vyrábí certifikované pultrudované sklolaminátové výrobky. Nyní se továrna Unicomposite rozkládá na ploše 13 000 m² se 14 výrobními linkami a je tak předním výrobcem a mezinárodním dodavatelem FRP profilů a FRP řešení v Číně. [15]

- Unicomposite technology používá následující technologie výroby:
 - Pultruze (tažení).
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy matric:
 - Polyesterové pryskyřice
 - Vinylesterové pryskyřice
 - Epoxidové pryskyřice
 - Fenolické pryskyřice
 - A směsi výše uvedených.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy vlákenné výztuže:
 - Skleněná
 - Uhlíková.

- Vybraný sortiment výrobků firmy Unicomposite technology:
 - **Standardní profily**

Unicomposite vyrábí velké množství standardních profilů, jako jsou kruhové, čtvercové a obdélníkové tyče a trubky, I profily apod. [15]



Obrázek 30: Ukázka standardních profilů, firma Unicomposite technology [15]

- **Zákaznické profily**

Profily vyráběné podle požadavků zákazníka.



Obrázek 31: Ukázka zákaznických profilů, firma Unicomposite technology [15]

- **Další produkty**

Rošty, sloupy, osvětlení ulic, výztuže, obložení, ochrana kabelových systémů, žebříky, apod. [15]

4.2.3 RBJ Reinforced Plastics Ltd

<http://www.rbjplastics.com/>

Firma RBJ Reinforced Plastic pochází z Velké Británie a na trhu působí více než 30 let. Je odborníkem na výrobu pultrudovaných sklolaminátů a plastů vyztužených uhlíkovými vlákny. Nabízí řadu standardních profilů, ale také úzce spolupracuje se svými zákazníky a nabízí jim možnost výroby profilů na míru (tzv. zákaznické profily). Dalšími produkty pak jsou skleněné zásobníky optických kabelů, izolované stavební nástroje, sklolaminátové kryty. [16]

- RBJ Reinforced Plastic používá následující technologie výroby:
 - Pultruze (tažení).
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy matric:
 - Polyesterové pryskyřice
 - Vinylesterové pryskyřice
 - Epoxidové pryskyřice.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy vlákenné výztuže:
 - Skleněná
 - Uhlíková.
- Přehled vlastností kompozitních profilů:
 - Pevnost v tlaku 190 MPa
 - Pevnost v tahu 500 MPa
 - Pevnost v ohybu 650 MPa
 - Modul pružnosti v tahu 27 GPa
 - Modul pružnosti v ohybu 30 GPa
 - Odolnost vůči vysokým teplotám 125 °C až 145 °C
 - Měrná hmotnost 1 800 kg/m³ [16]
- Vybraný sortiment výrobků firmy RBJ Reinforced Plastic:
 - **Standardní profily**

RBJ Reinforced Plastic vyrábí velké množství standardních profilů, jako jsou kruhové, čtvercové a obdélníkové tyče a trubky, I profily apod. [16]



Obrázek 32: Ukázka standardních profilů, firma RBJ Reinforced Plastic [16]

- **Další produkty**

Zákaznické profily, kabelové žlaby, izolované stavební nářadí, obložení střešních hran apod. [16]

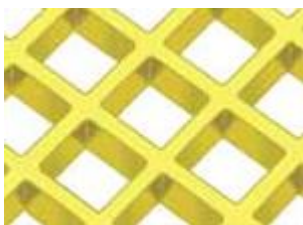
4.2.4 Slavia Gratings, s.r.o.

<http://www.slaviagratings.eu>

Firma Slavia Gratings se nachází na Slovensku a své hlavní sídlo má v Prešově. Specializuje se na výrobu pochůzných roštů v různých variantách (hladké, pískované, konkávní, vodivé a kryté mřížkové rošty). [17]

- Slavia Gratings používá následující technologie výroby:
 - Pultruze (tažení)
 - Lití.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy matric:
 - Polyesterové pryskyřice
 - Vinylesterové pryskyřice
 - Fenolické pryskyřice.
- Pro výrobu kompozitů jsou používány tyto druhy vlákenné výztuže:
 - Skleněná.
- Vybraný sortiment výrobků firmy Slavia Gratings:
 - **Kompozitní mřížkové rošty**

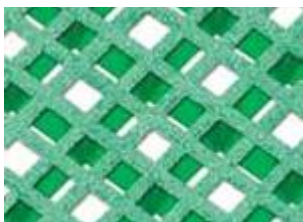
Slavia Gratings vyrábí různé druhy kompozitních mřížkových roštů. Například hladké, pískované, konkávní, zakryté, vodivé, malý síťový. [17]



Obrázek 33: Hladký kompozitní mřížkový rošt, firma Slavia Gratings [17]



Obrázek 34: Pískovaný kompozitní mřížkový rošt, firma Slavia Gratings [17]



Obrázek 35: Malý síťový kompozitní mřížkový rošt, firma Slavia Gratings [17]



Obrázek 36: Zakrytý kompozitní mřížkový rošt, firma Slavia Gratings [17]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V této části byla ověřována trvanlivost profilů z produkce firmy GDP Koral při ponoření do agresivních prostředí. Firma vyrábí kompozitní profily výrobním procesem pultruze (tažení). Tyto profily mají jako polymerní matrici nenasycenou polyesterovou pryskyřici, výztužná vlákna jsou z E-skla a na vnějším i vnitřním povrchu profilu se nachází kontinuální vláknová rohož s nahodilou orientací vláken. Mez pevnosti těchto profilů je 240 MPa, modul pružnosti v tahu 23 GPa, mez pevnosti v ohybu 240 MPa, mez pevnosti v tlaku 276 MPa, měrná hmotnost 1 600 až 1 800 kg/m³. [10]

Dále byla v této části ověřována pevnost v tlaku profilů z produkce firmy Prefa Kompozity. Zkoušené profily byly vyrobeny z polyesterové pryskyřice a jako výztuha byla použita skleněná vlákna. Jako výrobní proces byla opět použita pultruze. Výrobce uvádí pevnost v tlaku v rozmezí 240 až 450 MPa a pevnost v tahu v rozmezí 240 až 700 MPa. Modul pružnosti v tlaku těchto profilů je 19 GPa, modul pružnosti v tahu až 40 GPa. [1]

5.1 Trvanlivost profilů při ponoření do agresivních prostředí

5.1.1 Popis prováděné zkoušky

Zkouška trvanlivosti byla provedena podle normy ČSN EN ISO 175 Plasty – Stanovení účinku kapalných chemikálií při ponoření. Byla přijata opatření k nižší finanční náročnosti – použili se jiné nádoby pro uložení vzorků. Byla zvolena jiná agresivní prostředí, než uvádí norma, vzorky byly uloženy do prostředí s takovou koncentrací, která se používá pro zkoušení trvanlivosti betonu.

Podstata:

Zkoušení vzorků, které jsou kompletně ponořeny v kapalném agresivním prostředí ve stanoveném čase při stanovené teplotě. Jejich vlastnosti jsou měřeny před ponořením do kapaliny a poté po vyjmutí z kapaliny. Stejně tak jsou naměřeny po vysušení, v případě potřeby. [18]

Sledované parametry:

1. Procentuální změna hmotnosti vzorku:

$$\frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

m_1 – hmotnost vzorku před ponořením v g

m_2 – hmotnost vzorku po vyjmutí z lázně v g

2. Stanovení rozměrových změn vzorku:

$$\text{Koeficient nabobtnání} \quad Q = \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{V_2 - V_1}{V_1}$$

V_1 – objem z rozměrů d_1 (průměr v mm), l_1 (délka v mm) a h_1 (tloušťka v mm) vzorku před ponořením

V_2 – objem vzorku po vyjmutí z lázně (rozměry d_2 , l_2 a h_2 v mm)

Q – koeficient bobtnání

3. Změna barvy a jiných vzhledových vlastností

Jiné vzhledové vlastnosti (trhlínky, puchýřky a jiné defekty) byly posuzovány dle tabulky č. 1 této normy - kvalitativní odhad změn: žádné, sotva znatelné, mírné, podstatné [18]

5.1.2 Výsledky a vyhodnocení provedené zkoušky

Pro zkoušení kompozitních profilů firmy GDP Koral byly vybrány následující vodné agresivní roztoky. Hořčnaté ionty kvůli možnému výskytu v zemědělství a u vojenské výstavby, sírany se objevují v čistírnách odpadních vod a kanalizacích, chloridy u konstrukcí namáhaných rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou, dusičnany zejména v zemědělství (ve formě hnojiv). V následující tabulce jsou uvedeny koncentrace jednotlivých použitých roztoků:

Tabulka 7: Koncentrace agresivních roztoků

Druh roztoku	Koncentrace
Mg^{2+}	399 g/l – $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ / voda
SO_4^{2-}	161 g/l – Na_2SO_4 / voda
Cl^-	360 g/l – NaCl / voda
NO_3^-	320 g/l – KNO_3 / voda

Postup:

Pro zkoušení byly použity 4 sady vzorků, tedy 44 zkušebních těles:

1. sada: kruhový průřez s epoxidovým zatřením hran, délka 60 mm
2. sada: kruhový průřez bez epoxidového zatření hran, délka 60 mm

3. sada: čtvercový průřez s epoxidovým zatřením hran, délka 60 mm

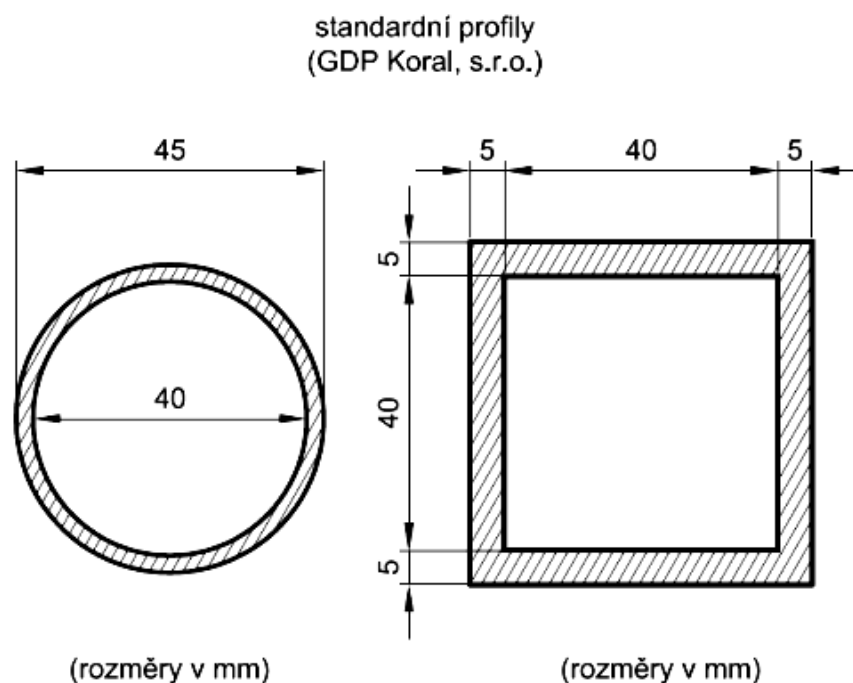
4. sada: čtvercový průřez bez epoxidového zatření hran, délka 60 mm

Každý vzorek kompozitního profilu byl před ponořením do agresivního roztoku označen, změřen a zvážen.

Epoxidové zatření hran poloviny vzorků bylo provedeno z důvodu sledování vlivu narušení struktury materiálu agresivním prostředím s/bez pryskyřičné ochrany v místě řezu vzorku. Pro zatření hran byla použita dvousložková epoxidová pryskyřice EPOXY 1200/ 371 s tvrdidlem od firmy SINDAT Plzeň, a.s.

Pro ponoření vzorků byly použity skleněné lahve, do kterých byl nalit jednotný objem 400 ml příslušného agresivního roztoku pro každý vzorek. Expoziční časy pro zkušební vzorky byly dle této normy zvoleny 540 a 780 dní. Po uplynutí každého času byly vzorky opět vyjmuty z agresivních roztoků a jednotlivě měřeny a váženy. Sledovaly se také barevné změny a jiné defekty vzorků.

Geometrie profilů:



Obrázek 37: Geometrie zkušebních profilů od firmy GDP Koral, s.r.o. [10]

Výsledky měření:

Rozměry všech zkušebních těles uvedené v tabulkách jsou stanoveny výpočtem jako aritmetický průměr ze třech hodnot měření.

- Vzorky s kruhovým průřezem s epoxidovým nátěrem před ponořením do agresivních roztoků

Tabulka 8: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů s epoxidovým zatřením hran před ponořením do chemicky agresivních prostředí

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost před ponořením [g]
Kruhový průřez s nátěrem	Mg ²⁺	1	2,49	vnější	44,90	61,5	35,443
				vnitřní	40,03		
	Mg ²⁺	2	2,42	vnější	44,92	61,5	35,616
				vnitřní	39,95		
	Mg ²⁺	3	2,43	vnější	44,77	61,5	36,082
				vnitřní	39,93		
	SO ₄ ²⁻	4	2,46	vnější	44,87	61,5	35,470
				vnitřní	39,95		
	SO ₄ ²⁻	5	2,43	vnější	44,76	61,5	35,556
				vnitřní	39,93		
	SO ₄ ²⁻	6	2,45	vnější	44,91	61,5	35,623
				vnitřní	40,09		
Kruhový průřez s nátěrem	Cl ⁻	7	2,47	vnější	44,99	61,5	35,745
				vnitřní	39,82		
	Cl ⁻	8	2,42	vnější	44,79	61,5	35,592
				vnitřní	39,90		
	NO ₃ ⁻	9	2,45	vnější	44,88	61,5	36,215
				vnitřní	39,85		
	NO ₃ ⁻	10	2,45	vnější	44,95	61,6	35,513
				vnitřní	39,80		
	NO ₃ ⁻	11	2,40	vnější	44,72	61,5	35,551
				vnitřní	39,72		

- Vzorky s kruhovým průřezem bez epoxidového nátěru před ponořením do agresivních roztoků

Tabulka 9: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů bez epoxidového zatření hran před ponořením do chemicky agresivních prostředí

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost před ponořením [g]
Kruhový bez nátěru	Mg^{2+}	12	2,44	vnější	44,90	61,5	35,440
				vnitřní	39,97		
	Mg^{2+}	13	2,43	vnější	44,78	61,5	34,944
				vnitřní	39,96		
	Mg^{2+}	14	2,48	vnější	44,69	61,5	35,618
				vnitřní	39,81		
	SO_4^{2-}	15	2,38	vnější	44,94	61,5	35,083
				vnitřní	39,72		
	SO_4^{2-}	16	2,46	vnější	44,88	61,4	35,361
				vnitřní	39,74		
	SO_4^{2-}	17	2,49	vnější	44,78	61,5	34,998
				vnitřní	39,99		
	Cl^-	18	2,44	vnější	44,87	61,5	35,174
				vnitřní	39,84		
	Cl^-	19	2,47	vnější	44,92	61,5	35,266
				vnitřní	39,76		
	NO_3^-	20	2,43	vnější	44,93	61,5	35,455
				vnitřní	39,79		
	NO_3^-	21	2,42	vnější	44,90	61,5	35,187
				vnitřní	39,86		
	NO_3^-	22	2,47	vnější	44,84	61,5	35,553
				vnitřní	39,65		

- Vzorky se čtvercovým průřezem s epoxidovým nátěrem před ponořením do agresivních roztoků

Tabulka 10: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů s epoxidovým zatřením hran před ponořením do chemicky agresivních prostředí

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost před ponořením [g]
Čtvercový s nátěrem	Mg ²⁺	1	5,12	vnější	49,75	61,2	104,223
				vnitřní	39,44		
	Mg ²⁺	2	5,20	vnější	49,82	60,8	103,118
				vnitřní	39,59		
	Mg ²⁺	3	4,90	vnější	49,89	60,8	103,486
				vnitřní	39,64		
	SO ₄ ²⁻	4	5,02	vnější	49,70	61,1	103,965
				vnitřní	39,54		
	SO ₄ ²⁻	5	5,12	vnější	49,62	61,1	104,075
				vnitřní	39,35		
	SO ₄ ²⁻	6	5,31	vnější	49,80	61,0	104,014
				vnitřní	39,56		
Čtvercový s nátěrem	Cl ⁻	7	5,09	vnější	49,87	61,0	103,744
				vnitřní	39,52		
	Cl ⁻	8	4,96	vnější	49,92	60,7	104,022
				vnitřní	39,63		
	Cl ⁻	9	5,07	vnější	49,76	61,3	103,739
				vnitřní	39,53		
	NO ₃ ⁻	10	4,97	vnější	49,63	60,9	102,968
				vnitřní	39,48		
	NO ₃ ⁻	11	5,03	vnější	49,90	61,0	104,330
				vnitřní	39,54		
	NO ₃ ⁻	12	5,18	vnější	49,91	61,1	103,937
				vnitřní	39,73		

- Vzorok se čtvercovým průřezem bez epoxidového nátěru před ponořením do agresivních roztoků

Tabulka 11: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů bez epoxidového zatření hran před ponořením do chemicky agresivních prostředí

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost před ponořením [g]
Čtvercový bez nátěru	Mg ²⁺	13	5,07	vnější	49,60	60,9	103,146
				vnitřní	39,63		
	Mg ²⁺	14	5,03	vnější	49,71	60,8	102,753
				vnitřní	39,49		
	Mg ²⁺	15	4,98	vnější	49,69	61,1	103,481
				vnitřní	39,48		
	SO ₄ ²⁻	16	4,93	vnější	49,82	60,9	102,837
				vnitřní	39,65		
	SO ₄ ²⁻	17	5,13	vnější	49,80	60,8	103,069
				vnitřní	39,47		
	SO ₄ ²⁻	18	5,22	vnější	49,55	60,8	102,995
				vnitřní	39,43		
	Cl ⁻	19	5,16	vnější	49,87	61,2	102,537
				vnitřní	39,50		
	Cl ⁻	20	5,05	vnější	49,79	61,2	102,173
				vnitřní	39,61		
	Cl ⁻	21	5,11	vnější	49,66	60,9	102,248
				vnitřní	39,61		
	NO ₃ ⁻	22	5,14	vnější	49,82	61,2	102,506
				vnitřní	39,60		
	NO ₃ ⁻	23	5,22	vnější	49,73	60,9	102,712
				vnitřní	39,48		
	NO ₃ ⁻	24	5,16	vnější	49,93	61,1	102,243
				vnitřní	39,68		

- Vzorky s kruhovým průřezem s epoxidovým nátěrem po vyjmutí z agresivních roztoků po 540 dnech

Tabulka 12: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů s epoxidovým zatřením hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 540 dnech

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost po vyjmutí [g]
Kruhový s nátěrem	Mg^{2+}	1	2,73	vnější	44,82	61,8	35,590
				vnitřní	39,58		
	Mg^{2+}	2	2,87	vnější	45,01	62,3	35,780
				vnitřní	39,96		
	Mg^{2+}	3	2,96	vnější	44,83	62,3	36,290
				vnitřní	39,74		
	SO_4^{2-}	4	2,71	vnější	44,92	62,1	35,670
				vnitřní	39,96		
	SO_4^{2-}	5	2,63	vnější	44,92	61,8	35,800
				vnitřní	39,17		
	SO_4^{2-}	6	2,77	vnější	44,84	62,1	35,840
				vnitřní	39,20		
	Cl^-	7	3,04	vnější	44,92	62,2	35,940
				vnitřní	39,77		
	Cl^-	8	2,96	vnější	44,94	62,3	35,750
				vnitřní	39,88		
	NO_3^-	9	2,87	vnější	44,80	62,9	36,410
				vnitřní	39,31		
	NO_3^-	10	2,90	vnější	44,78	62,6	35,800
				vnitřní	39,81		
	NO_3^-	11	2,72	vnější	44,91	62,3	35,770
				vnitřní	39,65		

- Vzorky s kruhovým průřezem bez epoxidového nátěru po vyjmutí z agresivních roztoků po 540 dnech

Tabulka 13: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů bez epoxidového zatření hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 540 dnech

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost po vyjmutí [g]
Kruhový bez nátěru	Mg ²⁺	12	2,65	vnější	44,92	61,6	35,580
				vnitřní	39,88		
	Mg ²⁺	13	2,46	vnější	44,92	60,8	35,070
				vnitřní	39,51		
	Mg ²⁺	14	2,43	vnější	44,95	61,6	35,770
				vnitřní	39,88		
	SO ₄ ²⁻	15	2,43	vnější	44,79	61,6	35,310
				vnitřní	39,86		
	SO ₄ ²⁻	16	2,42	vnější	44,92	61,8	35,520
				vnitřní	39,26		
	SO ₄ ²⁻	17	2,45	vnější	44,79	61,4	35,210
				vnitřní	39,85		
	Cl ⁻	18	2,44	vnější	44,94	61,4	35,290
				vnitřní	39,69		
	Cl ⁻	19	2,89	vnější	44,93	61,6	35,400
				vnitřní	39,73		
	NO ₃ ⁻	20	2,41	vnější	45,02	61,6	35,640
				vnitřní	39,64		
	NO ₃ ⁻	21	2,41	vnější	45,03	62,0	35,360
				vnitřní	39,82		
	NO ₃ ⁻	22	2,42	vnější	44,87	61,7	35,720
				vnitřní	39,86		

- Vzorok se čtvercovým průřezem s epoxidovým nátěrem po vyjmutí z agresivních roztoků po 540 dnech

Tabulka 14: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů s epoxidovým zatřením hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 540 dnech

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost po vyjmutí [g]
Čtvercový s nátěrem	Mg^{2+}	1	5,40	vnější	49,93	61,4	104,730
				vnitřní	39,22		
	Mg^{2+}	2	5,25	vnější	49,88	61,2	103,500
				vnitřní	39,37		
	Mg^{2+}	3	5,65	vnější	50,22	61,6	103,920
				vnitřní	39,14		
	SO_4^{2-}	4	5,21	vnější	49,64	61,7	104,390
				vnitřní	39,49		
	SO_4^{2-}	5	5,26	vnější	49,81	61,8	104,540
				vnitřní	39,37		
	SO_4^{2-}	6	5,58	vnější	50,17	61,6	104,540
				vnitřní	39,43		
	Cl^-	7	5,80	vnější	50,01	62,0	103,970
				vnitřní	39,54		
	Cl^-	8	5,25	vnější	50,02	61,8	104,290
				vnitřní	39,49		
	Cl^-	9	5,33	vnější	50,08	61,7	103,960
				vnitřní	39,41		
	NO_3^-	10	5,18	vnější	49,77	61,2	103,390
				vnitřní	39,52		
	NO_3^-	11	5,51	vnější	50,03	62,1	104,720
				vnitřní	39,61		
	NO_3^-	12	5,34	vnější	50,03	62,0	104,390
				vnitřní	39,74		

- Vzorky se čtvercovým průřezem bez epoxidového nátěru po vyjmutí z agresivních roztoků po 540 dnech

Tabulka 15: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů bez epoxidového zatření hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 540 dnech

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost po vyjmutí [g]
Čtvercový bez nátěru	Mg^{2+}	13	5,13	vnější	49,94	61,2	103,590
				vnitřní	39,52		
	Mg^{2+}	14	5,07	vnější	49,98	61,0	103,260
				vnitřní	39,57		
	Mg^{2+}	15	5,09	vnější	49,72	61,0	103,910
				vnitřní	39,33		
	SO_4^{2-}	16	5,10	vnější	50,05	61,3	103,510
				vnitřní	39,69		
	SO_4^{2-}	17	5,10	vnější	49,98	61,3	103,750
				vnitřní	39,44		
	SO_4^{2-}	18	4,84	vnější	49,90	61,0	103,630
				vnitřní	39,26		
	Cl^-	19	5,07	vnější	50,11	60,9	102,920
				vnitřní	39,61		
	Cl^-	20	5,08	vnější	49,85	60,8	102,520
				vnitřní	39,64		
	Cl^-	21	5,08	vnější	49,91	60,7	102,600
				vnitřní	39,71		
	NO_3^-	22	5,11	vnější	50,08	60,8	103,100
				vnitřní	39,36		
	NO_3^-	23	5,12	vnější	50,07	60,9	103,210
				vnitřní	39,68		
	NO_3^-	24	5,09	vnější	50,05	60,9	102,800
				vnitřní	39,70		

- Vzorok s kruhovým průřezem s epoxidovým nátěrem po vyjmutí z agresivních roztoků po 780 dnech

Tabulka 16: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů s epoxidovým zatřením hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 780 dnech

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost po vyjmutí [g]
Kruhový s nátěrem	Mg^{2+}	1	2,55	vnější	44,88	61,9	35,637
				vnitřní	39,95		
	Mg^{2+}	2	2,76	vnější	44,97	62,0	35,794
				vnitřní	39,81		
	Mg^{2+}	3	2,51	vnější	45,01	62,4	36,247
				vnitřní	39,66		
	SO_4^{2-}	4	2,81	vnější	45,01	62,1	35,751
				vnitřní	39,91		
	SO_4^{2-}	5	2,80	vnější	45,01	61,8	35,809
				vnitřní	39,74		
	SO_4^{2-}	6	2,85	vnější	45,02	62,1	35,894
				vnitřní	39,81		
Kruhový s nátěrem	Cl^-	7	2,91	vnější	44,84	62,3	35,960
				vnitřní	39,94		
	Cl^-	8	2,46	vnější	44,93	62,3	35,757
				vnitřní	39,65		
	NO_3^-	9	2,60	vnější	44,93	62,6	36,482
				vnitřní	39,72		
	NO_3^-	10	2,53	vnější	44,97	62,9	35,772
				vnitřní	39,71		
	NO_3^-	11	2,50	vnější	44,89	62,5	35,808
				vnitřní	39,73		

- Vzorok s kruhovým průřezem bez epoxidového nátěru po vyjmutí z agresivních roztoků po 780 dnech

Tabulka 17: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů bez epoxidového zatření hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 780 dnech

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost po vyjmutí [g]
Kruhový bez nátěru	Mg ²⁺	12	2,52	vnější	44,93	61,9	35,609
				vnitřní	39,87		
	Mg ²⁺	13	2,50	vnější	44,97	61,1	35,123
				vnitřní	40,05		
	Mg ²⁺	14	2,49	vnější	44,99	61,8	35,831
				vnitřní	39,93		
	SO ₄ ²⁻	15	2,54	vnější	44,89	61,8	35,321
				vnitřní	39,90		
	SO ₄ ²⁻	16	2,55	vnější	44,95	61,7	35,663
				vnitřní	39,29		
	SO ₄ ²⁻	17	2,53	vnější	44,91	61,5	35,265
				vnitřní	39,88		
Kruhový bez nátěru	Cl ⁻	18	2,57	vnější	44,97	61,6	35,358
				vnitřní	39,72		
	Cl ⁻	19	2,55	vnější	44,94	61,7	35,460
				vnitřní	39,75		
	NO ₃ ⁻	20	2,50	vnější	45,05	61,6	35,721
				vnitřní	39,69		
	NO ₃ ⁻	21	2,47	vnější	45,01	61,7	35,424
				vnitřní	39,86		
	NO ₃ ⁻	22	2,58	vnější	44,87	61,5	35,787
				vnitřní	39,65		

- Vzorok se čtvercovým průřezem s epoxidovým nátěrem po vyjmutí z agresivních roztoků po 780 dnech

Tabulka 18: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů s epoxidovým zatřením hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 780 dnech

	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost po vyjmutí [g]
Čtvercový s nátěrem	Mg^{2+}	1	5,26	vnější	49,99	61,6	104,711
				vnitřní	39,25		
	Mg^{2+}	2	5,19	vnější	49,91	61,4	103,628
				vnitřní	39,40		
	Mg^{2+}	3	5,04	vnější	50,21	61,7	103,991
				vnitřní	39,21		
	SO_4^{2-}	4	5,22	vnější	49,94	61,9	104,372
				vnitřní	39,62		
	SO_4^{2-}	5	5,17	vnější	49,87	61,7	104,544
				vnitřní	39,45		
	SO_4^{2-}	6	5,31	vnější	49,96	61,9	104,614
				vnitřní	39,56		
	Cl^-	7	5,30	vnější	50,09	62,1	104,085
				vnitřní	39,59		
	Cl^-	8	5,13	vnější	50,07	62,0	104,398
				vnitřní	39,50		
	Cl^-	9	5,12	vnější	50,11	61,8	104,086
				vnitřní	39,42		
	NO_3^-	10	5,16	vnější	49,87	61,6	103,509
				vnitřní	39,52		
	NO_3^-	11	5,20	vnější	49,86	62,0	104,787
				vnitřní	39,46		
	NO_3^-	12	5,09	vnější	49,97	61,9	104,422
				vnitřní	39,51		

- Vzorčky se čtvercovým průřezem bez epoxidového nátěru po vyjmutí z agresivních roztoků po 780 dnech

Tabulka 19: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů bez epoxidového zatření hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 780 dnech

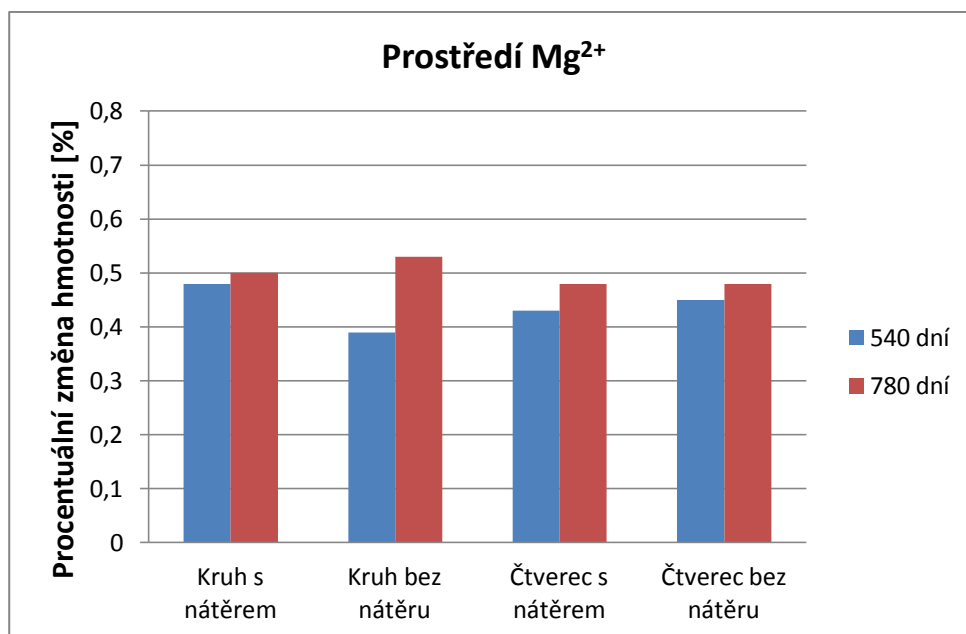
	agr. prostředí	č. vzorku	Ø tl [mm]	Ø průměr [mm]		Ø délka [mm]	hmotnost po vyjmutí [g]
Čtvercový bez nátěru	Mg ²⁺	13	5,11	vnější	49,88	61,3	103,648
				vnitřní	39,53		
	Mg ²⁺	14	5,13	vnější	49,90	61,0	103,221
				vnitřní	39,48		
	Mg ²⁺	15	5,11	vnější	49,94	61,1	103,983
				vnitřní	39,60		
	SO ₄ ²⁻	16	5,13	vnější	50,10	61,6	103,496
				vnitřní	39,66		
	SO ₄ ²⁻	17	5,05	vnější	49,93	61,5	103,880
				vnitřní	39,46		
	SO ₄ ²⁻	18	5,10	vnější	49,96	61,4	103,710
				vnitřní	39,30		
	Cl ⁻	19	5,10	vnější	49,89	61,0	103,019
				vnitřní	39,48		
	Cl ⁻	20	5,28	vnější	49,86	60,7	102,632
				vnitřní	39,28		
	Cl ⁻	21	5,15	vnější	49,90	60,8	102,741
				vnitřní	39,61		
	NO ₃ ⁻	22	5,19	vnější	49,93	60,9	103,117
				vnitřní	39,42		
	NO ₃ ⁻	23	5,16	vnější	49,95	60,9	103,340
				vnitřní	39,56		
	NO ₃ ⁻	24	5,11	vnější	49,96	61,1	102,904
				vnitřní	39,50		

- Výsledná srovnávací tabulka

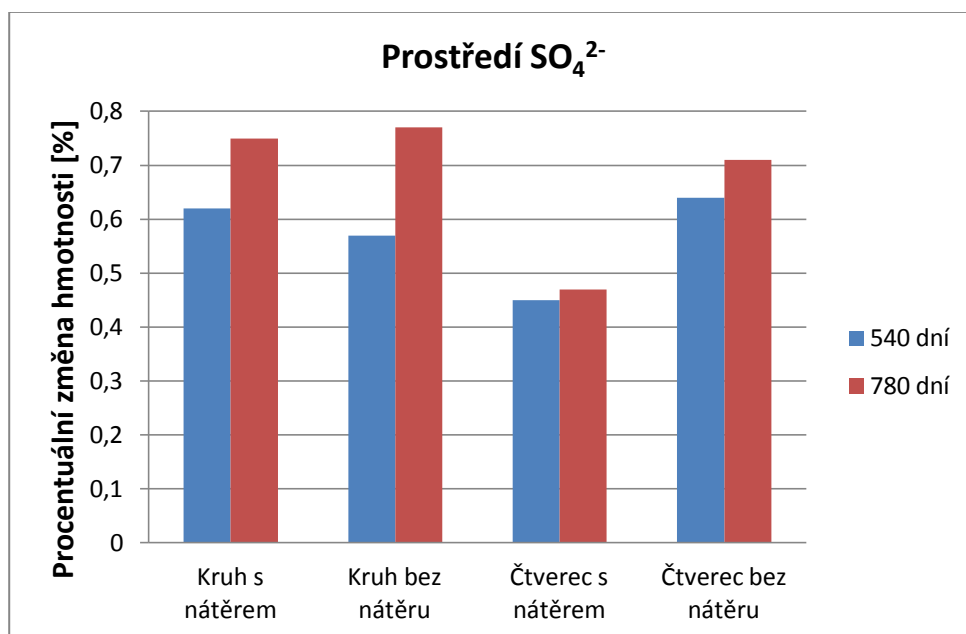
Tabulka 20: Srovnání změn hmotností a koef. nabobtnání u vzorků po 540 a 780 dnech

	Agr. prostředí		Procentuální změna hmotnosti vzorku [%]		Koeficient nabobtnání Q [-]	
			540 dní	780 dní	540 dní	780 dní
Kruhový	Mg ²⁺	s nátěrem	0,48	0,50	0,06	0,06
	SO ₄ ²⁻		0,62	0,75	0,12	0,08
	Cl ⁻		0,49	0,53	0,03	0,03
	NO ₃ ⁻		0,65	0,73	0,05	0,05
	Mg ²⁺	bez nátěru	0,39	0,53	0,03	0,03
	SO ₄ ²⁻		0,57	0,77	0,03	0,04
	Cl ⁻		0,35	0,54	0,03	0,03
	NO ₃ ⁻		0,49	0,69	0,02	0,03
Čtvercový	Mg ²⁺	s nátěrem	0,43	0,48	0,06	0,06
	SO ₄ ²⁻		0,45	0,47	0,03	0,03
	Cl ⁻		0,23	0,34	0,04	0,05
	NO ₃ ⁻		0,41	0,48	0,02	0,03
	Mg ²⁺	bez nátěru	0,45	0,48	0,03	0,03
	SO ₄ ²⁻		0,64	0,71	0,04	0,05
	Cl ⁻		0,35	0,47	0,01	0,02
	NO ₃ ⁻		0,54	0,62	0,02	0,02

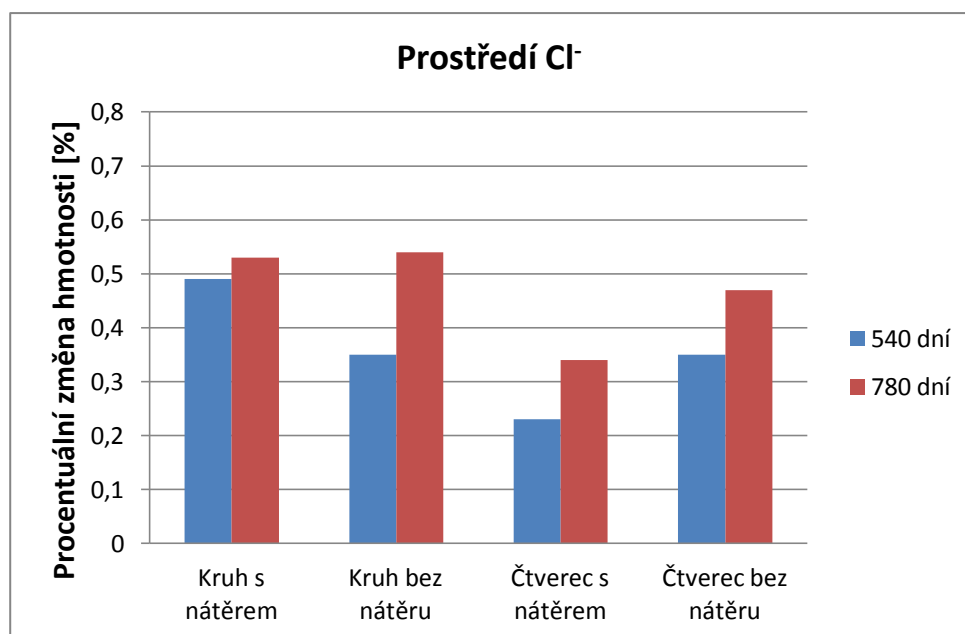
Grafická vyhodnocení – procentuální změny hmotnosti vzorků po 540 a 780 dnech



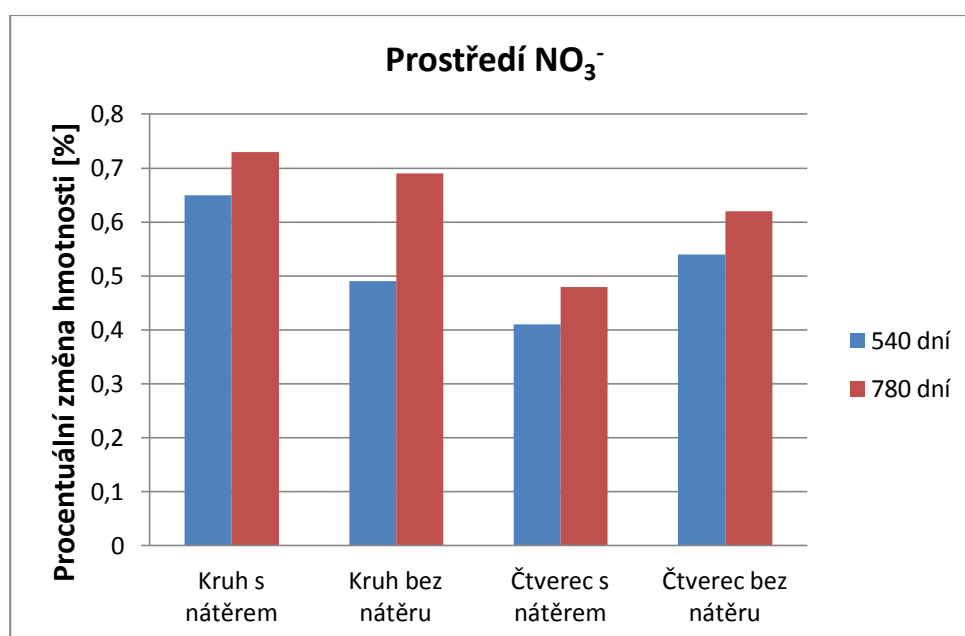
Graf 1: Porovnání změn hmotností u vzorků v agr. prostředí Mg^{2+} po 540 a 780 dnech



Graf 2: Porovnání změn hmotností u vzorků v agr. prostředí SO_4^{2-} po 540 a 780 dnech



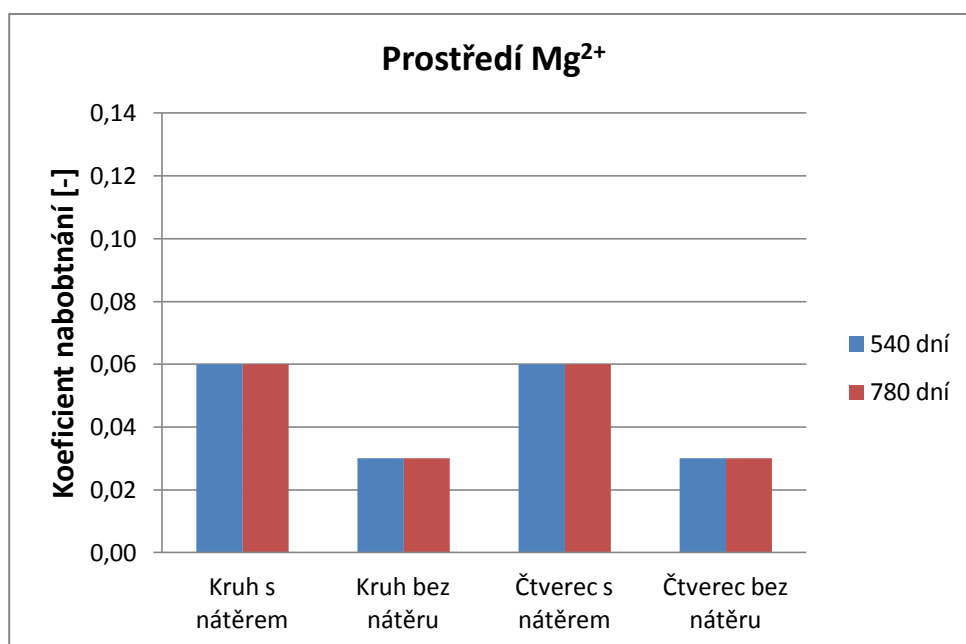
Graf 3: Porovnání změn hmotností u vzorků v agr. prostředí Cl⁻ po 540 a 780 dnech



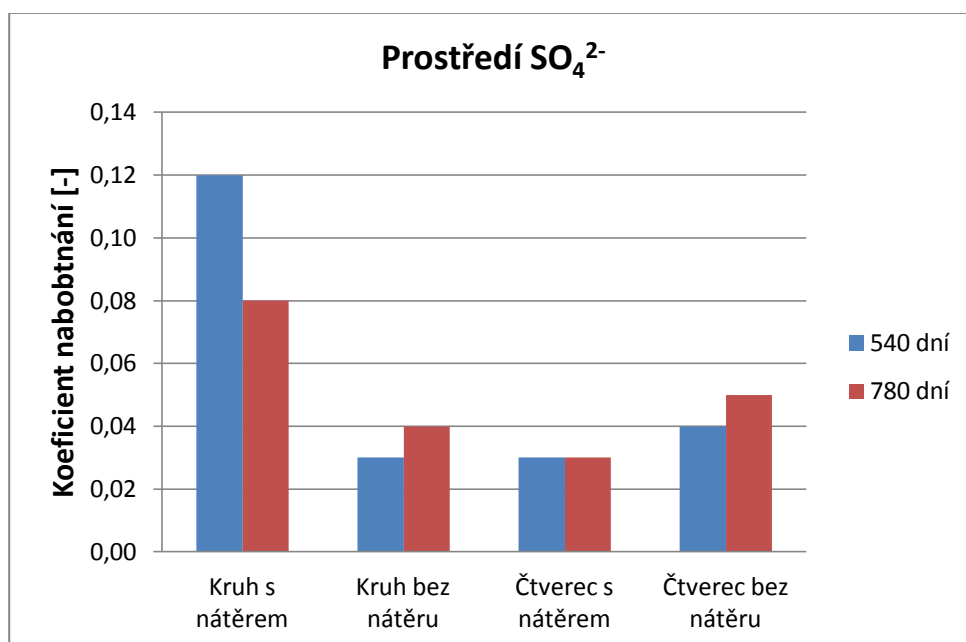
Graf 4: Porovnání změn hmotností u vzorků v agr. prostředí NO₃⁻ po 540 a 780 dnech

Hmotnostní změny vzorků v agresivních vodních prostředích po 540 a 780 dnech nedosáhly ani 1 %. U všech vzorků s časem nabývá hmotnost (od 0,23 % do 0,77 %). Jako více agresivní pro pultrudované kompozitní profily od firmy GDP Koral se jeví agresivní vodné prostředí SO₄²⁻ a NO₃⁻. I v tomto případě změny hmotností dosáhly pouze 0,77 % po 780 dnech pro prostředí SO₄²⁻ a 0,73 % po 780 dnech pro prostředí NO₃⁻. Nejlépe odolný proti hmotnostním změnám při dlouhodobém ponoření do chemicky agresivních prostředí se jeví čtvercový profil s epoxidovým zatřením hran.

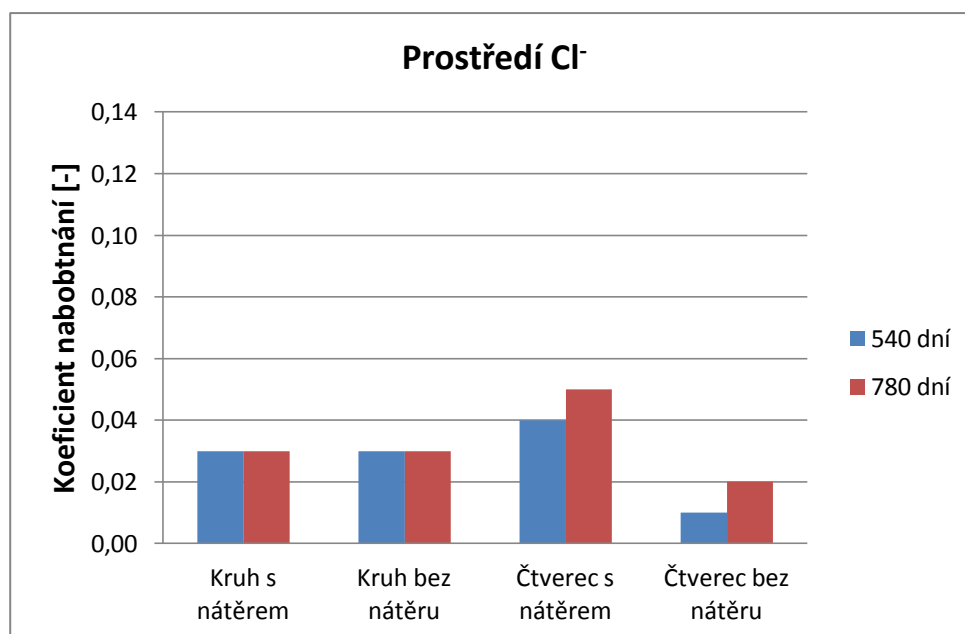
Grafická vyhodnocení – koeficient nabobtnání po 540 a 780 dnech



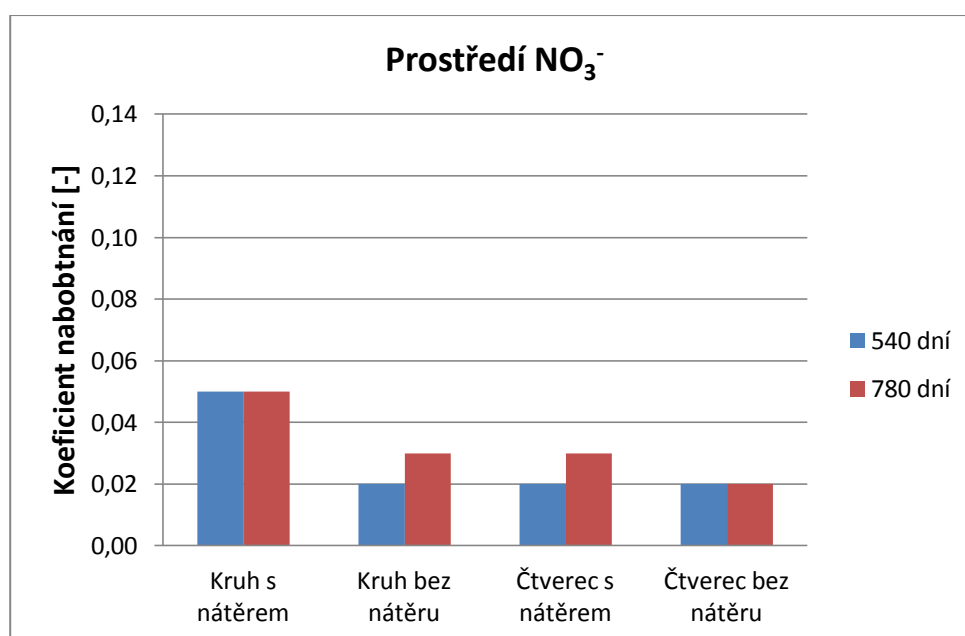
Graf 5: Porovnání koef. nabobtnání u vzorků v agr. prostředí Mg^{2+} po 540 a 780 dnech



Graf 6: Porovnání koef. nabobtnání u vzorků v agr. prostředí SO_4^{2-} po 540 a 780 dnech



Graf 7: Porovnání koef. nabobtnání u vzorků v agr. prostředí Cl⁻ po 540 a 780 dnech



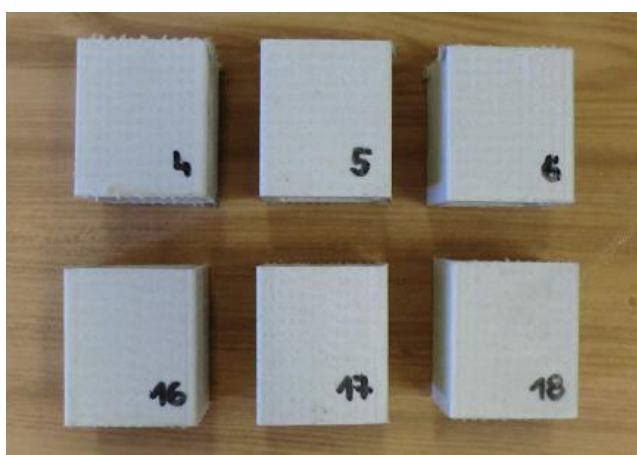
Graf 8: Porovnání koef. nabobtnání u vzorků v agr. prostředí NO₃⁻ po 540 a 780 dnech

Po 540 dnech je koeficient nabobtnání kladný, způsobuje ho absorpce části vody z daných roztoků. Po dalších 240 dnech jsou změny koeficientu nabobtnání minimální nebo nulové. Vzorky uložené v prostředí Mg²⁺ prokázali nabobtnání po 540 dnech, ale při dalším měření se získali hodnoty, které jsou díky zaokrouhlení stejné, lze tedy konstatovat, že změny jsou minimální. Podle hodnot koeficientu nabobtnání se jeví jako nejvíce agresivní vodné prostředí Mg²⁺ a naopak jako nejméně agresivní se ukázalo prostředí NO₃⁻.

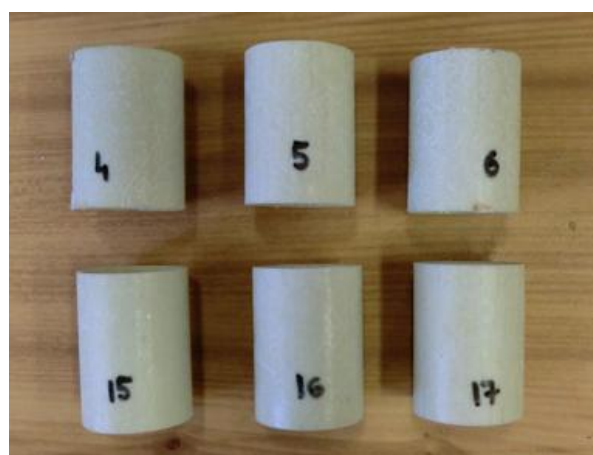
Vyhodnocení – změna barvy a jiných vzhledových vlastností po 540 a 780 dnech



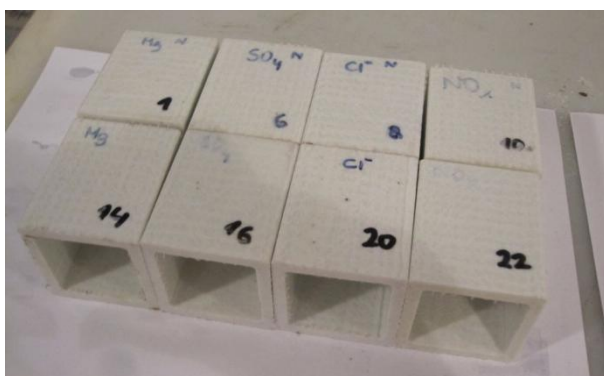
Obrázek 38: Vzorky před uložením do agresivních prostředí



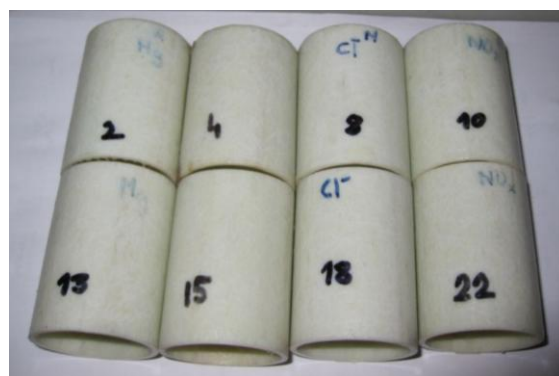
Obrázek 39: Čtvercové profily po vyjmutí z agresivních prostředí po 540 dnech



Obrázek 40: Kruhové profily po vyjmutí z agresivních prostředí po 540 dnech



Obrázek 41: Čtvercové profily po vyjmutí z agresivních prostředí po 780 dnech



Obrázek 42: Kruhové profily po vyjmutí z agresivních prostředí po 780 dnech

Vzorky nevykazovaly žádné narušení (neměknou, na povrch nevystupují výztužná vlákna), barevné změny ani jiné defekty vyvolané působením agresivních prostředí.

5.2 Pevnost profilů v tlaku

5.2.1 Popis prováděné zkoušky

Zkouška byla prováděna na zkušebních vzorcích od firmy Prefa Kompozity. Jednalo se o vzorky z řady produktů PREFEN. Konkrétně o trubky kruhového a čtvercového průřezu o různých půdorysných rozměrech. Zkoušky byly provedeny na ústavu stavebního zkušebnictví ve spolupráci s ústavem pozemního stavitelství a ústavem betonových a zděných konstrukcí. Jako zkušební zařízení byl použit Lis Form+ Test (servo S1 s rozsahem 0 až 300 kN a citlivostí 0,1 kN, servo S2 s rozsahem 0 až 300 kN a citlivostí 0,1 kN), indukčnostní snímače dráhy (snímač HBM WA 2 mm s citlivostí 0,001 mm a snímač HBM WA 10 mm s citlivostí 0,001 mm), měřicí ústředna HBM Spider 8, notebook Lenovo Thinkpad se softwarem k ústředně a digitální posuvné měřítko MAHR s citlivostí 0,01 mm. Zatěžování probíhalo konstantním přírůstkem síly 2 kN/s.

5.2.2 Výsledky a vyhodnocení provedené zkoušky

Pro zkoušení kompozitních profilů z firmy Prefa Kompozity bylo vybráno 5 sad zkušebních vzorků, tedy 23 zkušebních těles, jednalo se o následující typy profilů (z označení sady vyplývá tvar profilu – C pro čtverec a K pro kruh, průměr profilu v mm udává první číslo a tloušťku stěny v mm udává číslo za lomítkem):

Tabulka 21: Přehled zkoušených vzorků

Profil	Ozn. sady	Počet vzorků
Čtvercový	C 40/4	3
	C 50/5	4
	C 50/6	8
Kruhový	K 45/2	4
	K 50/4	4

Každý vzorek byl před zkouškou označen a byla změřena tlačná plocha zkušebního vzorku. Následně pak byly vzorky umístěny do lisu a zatěžovány konstantním přírůstkem síly až do porušení. Byla zaznamenána síla s přesností na 0,1 kN. Z naměřených hodnot bylo potom vypočteno mezní napětí v průřezu s přesností na 0,1 MPa. Výsledky jsou pak porovnány v grafech.

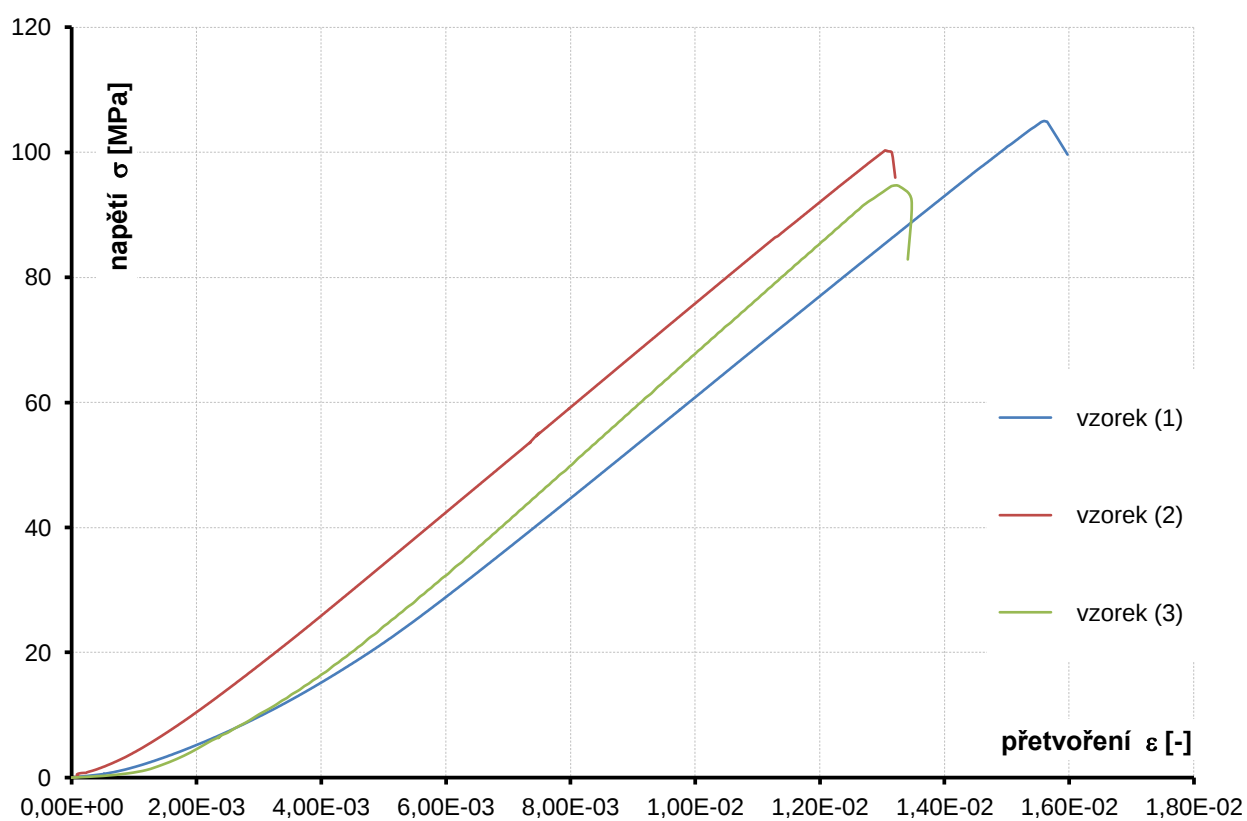
Výsledky a grafická vyhodnocení jednotlivých sad zkušebních vzorků:

- Sada čtvercových profilů

Sada č. 1

Tabulka 22: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků C 40/4

Ozn. sady	Ozn. vzorku	Plocha vzorku A [mm ²]	Síla při porušení $F_{\max}$ [kN]	Mezní napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]	Průměrné mezní napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]
C 40/4	1	576	176,4	306,2	291,6
	2	576	168,6	292,7	
	3	576	159,0	276,0	



Graf 9: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků C 40/4

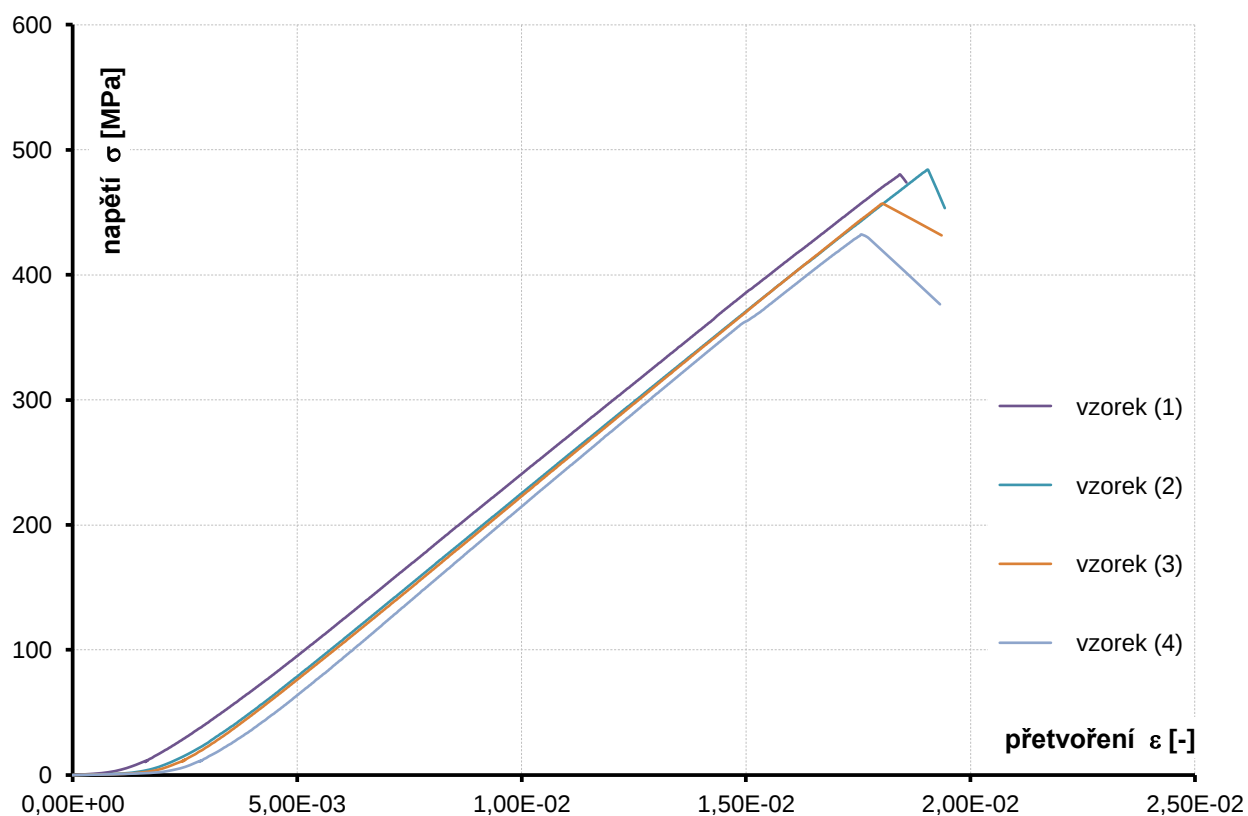
Vyhodnocení sady č. 1:

Pro čtvercové profily sady C 40/4 vychází průměrná pevnost v tlaku 291,6 MPa.

Sada č. 2

Tabulka 23: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků C 50/5

Ozn. sady	Ozn. vzorku	Plocha vzorku A [mm ²]	Síla při porušení $F_{\max}$ [kN]	Mezní napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]	Průměrné mezní napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]
C 50/5	1	900	432,3	480,4	463,4
	2	900	435,5	483,9	
	3	900	411,2	456,9	
	4	900	389,1	432,4	



Graf 10: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků C 50/5

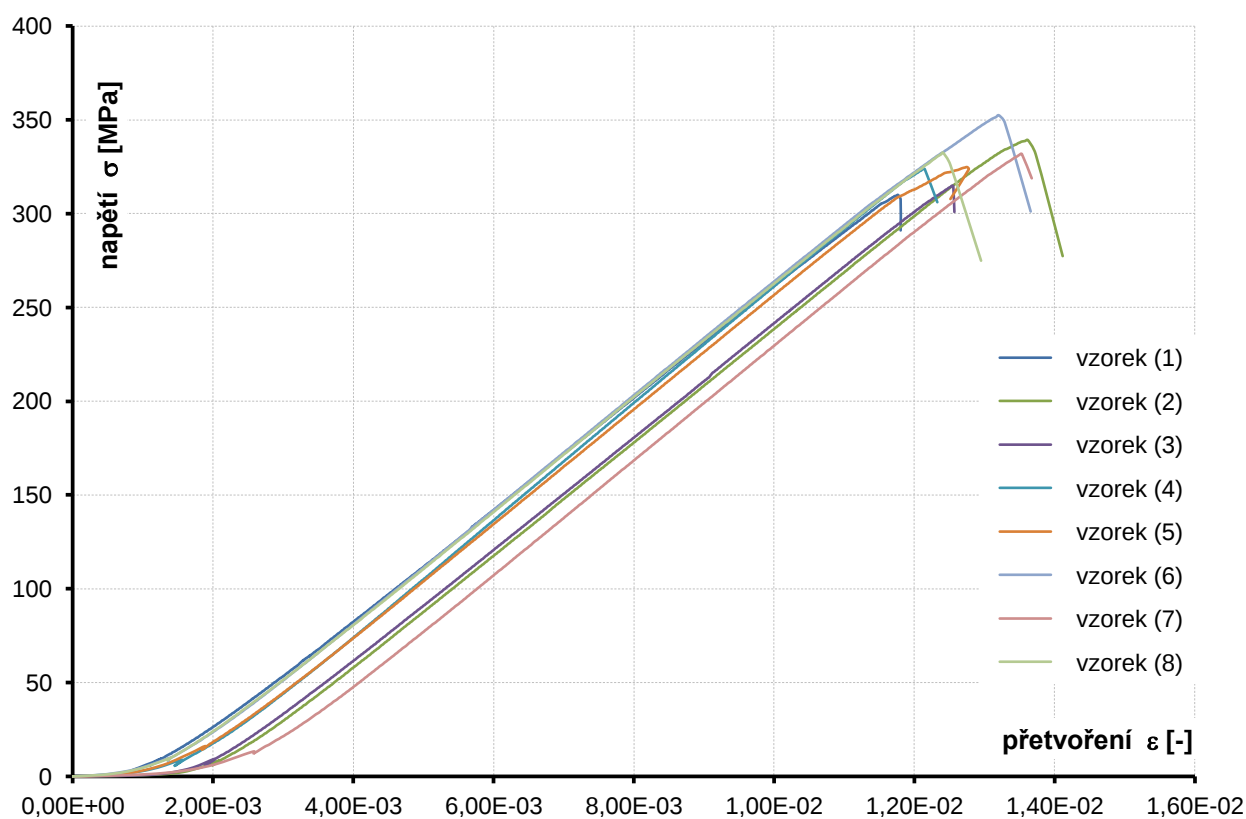
Vyhodnocení sady č. 2:

Pro čtvercové profily sady C 50/5 vychází průměrná pevnost v tlaku 463,4 MPa.

Sada č. 3

Tabulka 24: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků C 50/6

Ozn. sady	Ozn. vzorku	Plocha vzorku A [mm ²]	Síla při porušení $F_{\max}$ [kN]	Mezní napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]	Průměrné mezní napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]
C 50/6	1	1056	327,5	310,1	328,7
	2	1056	358,2	339,2	
	3	1056	332,5	314,9	
	4	1056	341,8	323,7	
	5	1056	343,0	324,8	
	6	1056	372,3	352,5	
	7	1056	350,5	331,9	
	8	1056	351,1	332,5	



Graf 11: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků C 50/6

Vyhodnocení sady č. 3:

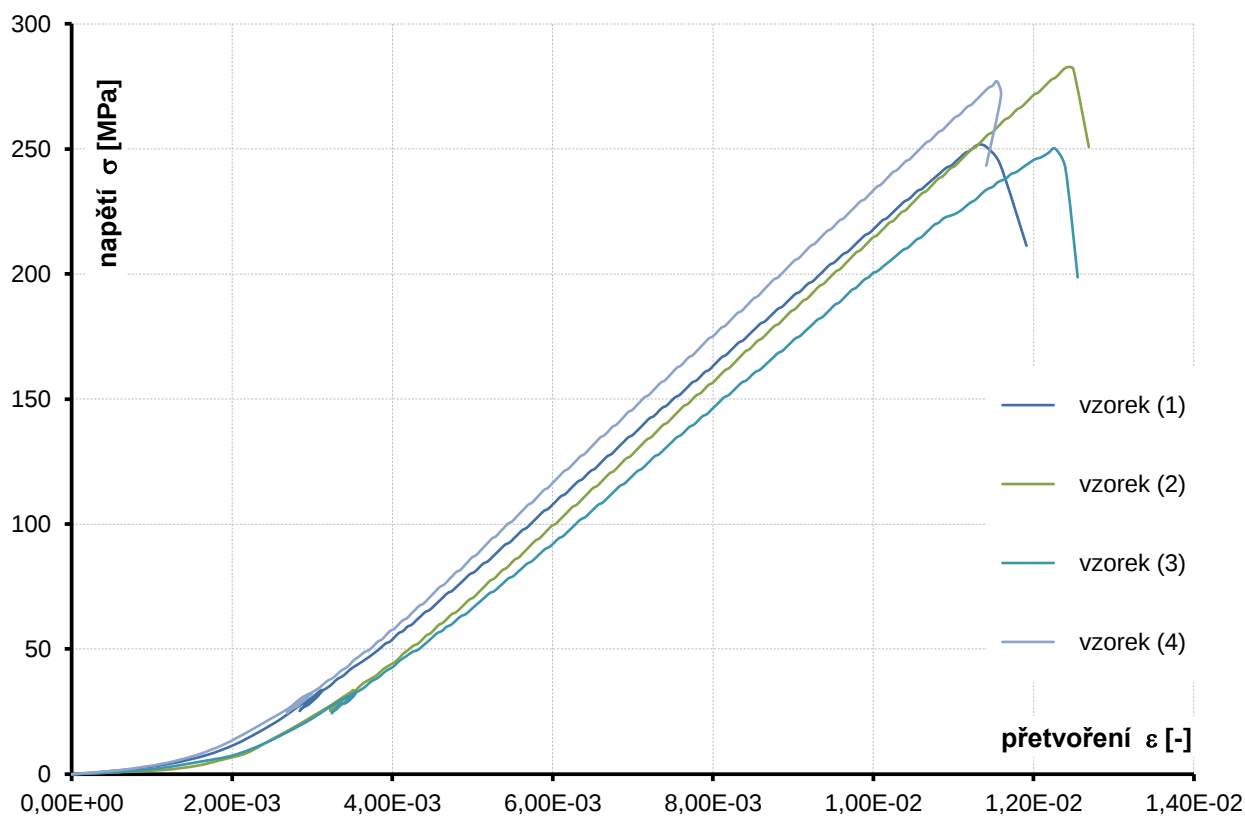
Pro čtvercové profily sady C 50/6 vychází průměrná pevnost v tlaku 328,7 MPa.

- Sada kruhových profilů

Sada č. 4

Tabulka 25: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků K 45/2

Ozn. sady	Ozn. vzorku	Plocha vzorku A [mm ²]	Síla při porušení F _{max} [kN]	Mezní napětí v průřezu σ _{max} [MPa]	Průměrné mezní napětí v průřezu σ _{max} [MPa]
K 45/2	1	270	68,0	251,7	265,4
	2	270	76,4	282,8	
	3	270	67,5	250,0	
	4	270	74,8	276,9	



Graf 12: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků K 45/2

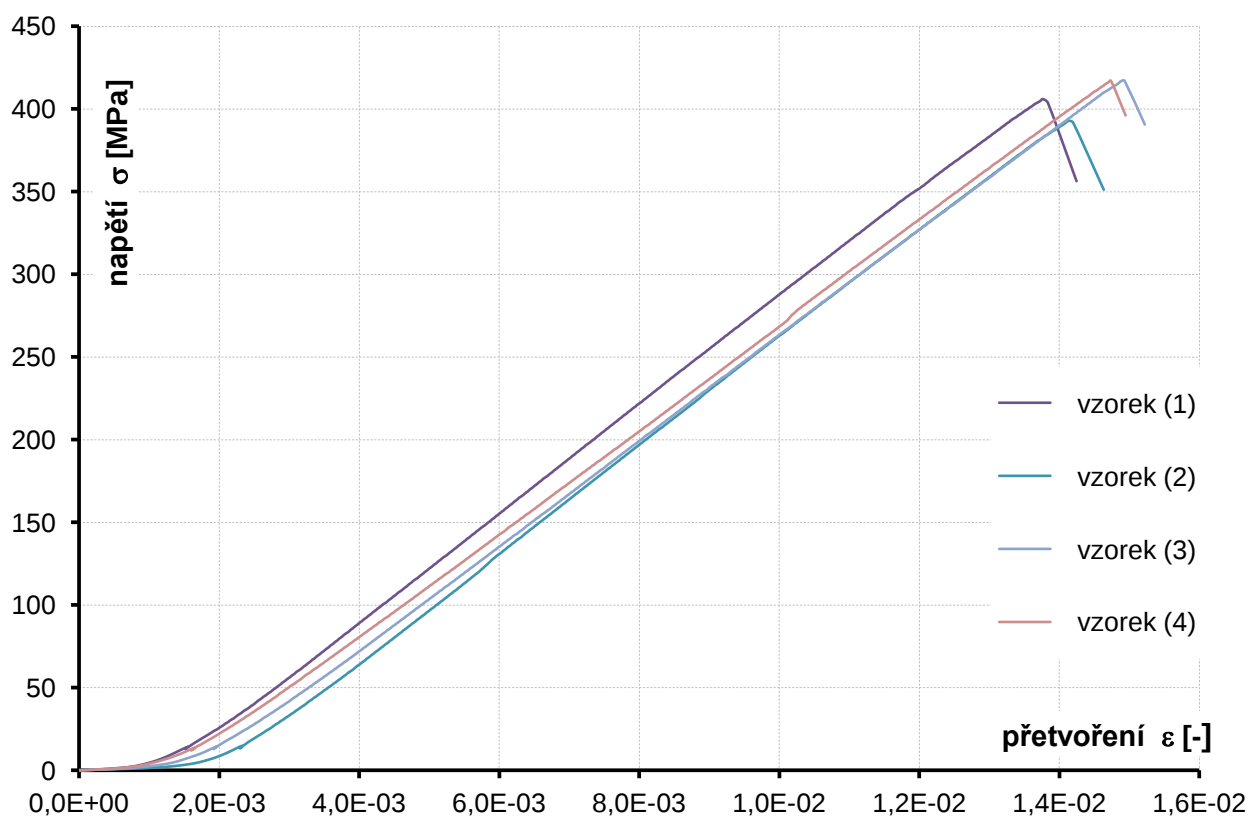
Vyhodnocení sady č. 4:

Pro čtvercové profily sady K 45/2 vychází průměrná pevnost v tlaku 265,4 MPa.

Sada č. 5

Tabulka 26: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků K 50/4

Ozn. sady	Ozn. vzorku	Plocha vzorku A [mm ²]	Síla při porušení $F_{\max}$ [kN]	Mezní napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]	Průměrné mezní napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]
K 50/4	1	741	301,1	406,1	408,2
	2	741	291,3	392,9	
	3	741	309,1	416,9	
	4	741	309,1	416,9	



Graf 13: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků K 50/4

Vyhodnocení sady č. 5:

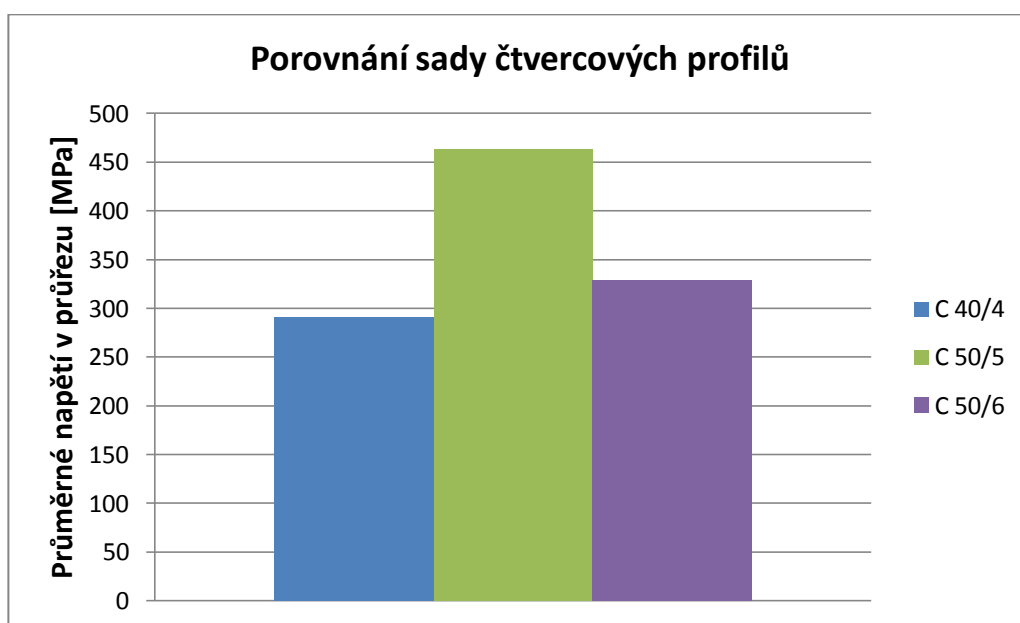
Pro čtvercové profily sady K 50/4 vychází průměrná pevnost v tlaku 408,2 MPa.

Porovnání pevností v tlaku čtvercových a kruhových profilů pro jednotlivé sady vzorků:

- Sada čtvercových profilů

Tabulka 27: Průměrné pevnosti v tlaku pro čtvercové profily

Ozn. sady	Průměrné napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]
C 40/4	291,6
C 50/5	463,4
C 50/6	328,7

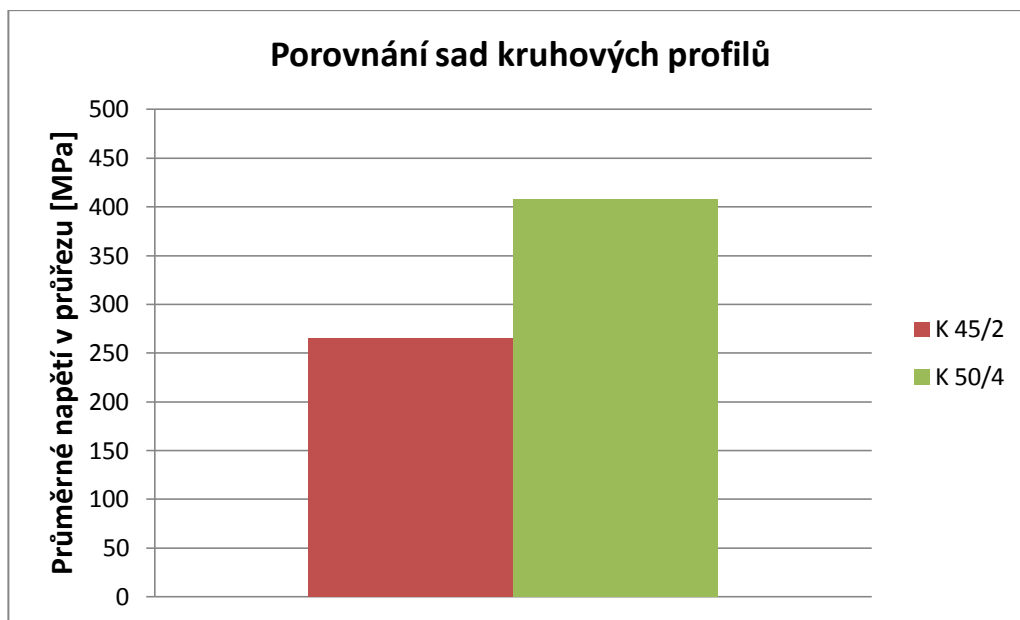


Graf 14: Porovnání pevností v tlaku pro sady čtvercových profilů

- Sada kruhových profilů

Tabulka 28: Průměrné pevnosti v tlaku pro kruhové profily

Ozn. sady	Průměrné napětí v průřezu $\sigma_{\max}$ [MPa]
K 45/2	265,4
K 50/4	408,2



Graf 15: Porovnání pevností v tlaku pro sady kruhových profilů

Největší pevnosti v tlaku prokázaly čtvercové profily sady C 50/5 a následně kruhové profily ze sady K 50/4. Nejmenší pevnosti v tlaku mají pak kruhové profily ze sady K 45/2. Jak je z provedených zkoušek patrné nejlepší jsou profily s tloušťkou stěny 5 mm.

6 ZÁVĚR

V této práci jsem se zabývala teoretickou výrobou kompozitních materiálů s vláknovou výztuží a polymerní matricí. Uvedla jsem zde také přehled vybraných významných výrobců kompozitních materiálů s vláknovou výztuží a polymerní matricí u nás a v zahraničí. Jednalo se o firmu Prefa kompozity, GDP Koral, 5M, Strongwell, Unicomposite technology, RBJ Reinforced Plastics a Slavia Gratings.

V praktické části jsem se potom věnovala zkoušení trvanlivosti vybraných kompozitních profilů z produkce firmy GDP Koral při ponoření do agresivních prostředí a zkoušení pevnosti v tlaku u vybraných kompozitních profilů z produkce firmy Prefa kompozity.

Pro zkoušení trvanlivosti byly vybrány z nabídky firmy GDP Koral standardní profily. Jednalo se o trubky kruhového a čtvercového průřezu. Jako polymerní matrice byla použita nenasycená polyesterová pryskyřice, výztuž byla z E-skla a profily byly vyrobeny procesem pultruze (tažení). Jako agresivní prostředí byly použity vodné roztoky hořčnatých iontů, síranů, chloridů a dusičnanů. Koncentrace těchto roztoků uvádí tabulka číslo sedm.

Na zkušebních vzorcích byly sledovány změny objemové, hmotnostní, barevné a jiné vzhledové vlastnosti. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách a vyhodnocení zobrazují grafy. Hmotnostní přírůstky vzorků ve všech agresivních prostředích nedosahují ani 1 % (to odpovídá zvýšení hmotnosti cca o 0,2 g). Výpočtem koeficientu nabobtnání jsme získali kladné hodnoty, což znamená, že vzorky po vyjmutí z agresivních prostředí měly větší objem. Toto nabobtnání mohlo být způsobeno absorpcí části vody z roztoků. Na vzorcích nebyly pozorovány žádné viditelné vady ani barevné změny. Epoxidové zatření hran v místě řezu vzorku se prokázalo jako nevýznamné na sledované vlastnosti.

Dle dlouhodobého testování lze říci, že pultrudované profily z produkce firmy GDP Koral jsou odolné vůči vybraným chemickým prostředím.

Pro zkoušení pevností v tlaku byly vybrány z nabídky firmy Prefa kompozity profily PREFEN. Jednalo se také o trubky kruhového a čtvercového průřezu. Jako polymerní matrice byla opět použita nenasycená polyesterová pryskyřice, výztužná vlákna byla také skleněná a profily byly také vyrobeny procesem pultruze.

Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách a vyhodnocení zobrazují grafy. Firma Prefa kompozity uvádí pevnost v tlaku těchto profilů v rozmezí 240 až 450 MPa. [1] Zkoušené vzorky kompozitních profilů vyhověly deklarovanému rozmezí pevností.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Technický list – Prefa kompozity, a.s.
- [2] Havel Composites [online]. [cit. 2013-03-12]. Dostupné z <<http://havel-composites.com/clanky/4-Technologie/74-Vseobecny-a-zakladni-popis-materialu-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitu.html>>
- [3] RC Modely [online]. [cit. 2013-02-09] Dostupné z <http://www.rcmodely.com/index.php?option=com_content&view=article&id=73:laminovani-materialy&catid=42:nae-dilna&Itemid=65>
- [4] JANČÁŘ, J.: *Úvod do materiálového inženýrství kompozitů*. 1. vydání Brno: VUT Brno, 2003. 194 s. IBSN 80-214-2443-5.
- [5] ACI 440 R – 07. *Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*. 1. vydání Farmington Hills, MI: American Concrete Institut, 2007. 88 s. IBSN 978-0-87031-259-5.
- [6] BAREŠ, R. A.: *Kompozitní materiály*, SNTL, Praha, 1988
- [7] BODNÁROVÁ, L. *Kompozitní materiály*. Studijní opora, Brno, 2007
- [8] GOTTFRIED W., Ehrenstein. *Polymerní kompozitní materiály*. ČR: SCIENTIA, 2009. 352 s
- [9] Production navigator [online]. [cit. 2013-05-13] Dostupné z <<http://www.productionnavigator.nl>>
- [10] Technický list - GDP Koral, s.r.o.
- [11] Prefa Kompozity, a.s. [online]. [cit. 2013-03-13] Dostupné z <<http://www.prefa-kompozity.cz>>
- [12] GDP Koral s.r.o. [online]. [cit. 2013-03-13] Dostupné z <<http://www.gdpkoral.cz>>
- [13] 5M s.r.o. [online]. [cit. 2013-03-13] Dostupné z <<http://www.5m.cz>>
- [14] Strongwell [online]. [cit. 2013-05-01] Dostupné z <<http://www.strongwell.com/>>
- [15] Unicomposite technology CO., LTD. [online]. [cit. 2013-05-01] Dostupné z <www.unicomposite.com>

- [16] RBJ Reinforced Plastics Ltd [online]. [cit. 2013-05-01] Dostupné z <http://www.rbjplastics.com/>
- [17] Slavia Gratings s.r.o. [online]. [cit. 2013-05-01] Dostupné z <http://www.slaviagratings.eu>
- [18] ČSN EN ISO 175:2000 Plasty – stanovení účinku kapalných chemikálií při ponoření.
- [19] Gurit [online]. [cit. 2013-05-13] Dostupné z <http://www.gurit.com>
- [20] HRUBÝ, D. *Vláknové kompozitní materiály s polymerní matricí pro vyztužování betonů*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma výroby skleněných vláken tažením z trysek [8]	14
Obrázek 2: Schéma výroby uhlíkových vláken [8]	16
Obrázek 3: Schéma výroby aramidových vláken [8]	18
Obrázek 4: Princip ručního kladení (Překlad zleva: suchá výztužná tkanina, hutnící váleček, forma, pryskyřice, gelová úprava formy) [19]	27
Obrázek 5: Metoda vakuového vaku se vstřikem matrice [5]	29
Obrázek 6: Metoda tlakového vaku (Překlad shora: potrubí pro vtlačení vzduchu, přítlačná deska, svorka, otvor pro vtlačení pryskyřice, tlakový vak, ručně vložená skleněná výztuž, forma) [4]	30
Obrázek 7: Metoda vytvrzování v autoklávu (Překlad: působení tlaku) [4]	31
Obrázek 8: Metoda navíjení [5]	32
Obrázek 9: Metoda nanášení kompozitu do formy sprayem [2]	33
Obrázek 10: Metoda lisování se vstřikem matrice (Překlad zleva: katalyzátor, čerpadlo, pryskyřice, zásobník vláken, míchací koš, průduch) [20]	34
Obrázek 11: Metoda lisování ve formě (Překlad zleva: vyhřívaná forma, působení tlaku, výsledný výrobek) [9]	36
Obrázek 12: Metoda kontinuální laminace [2]	37
Obrázek 13: Metoda odstředivého lití [2]	38
Obrázek 14: Metoda tažení (pultruze) kompozitů (Překlad zleva: zásobník rovingů, kontinuální rohože, vodicí deska, impregnace pryskyřicí, povrchová rohož, tváření a vytvrzování výrobku, tažné zařízení, pila) [14]	40
Obrázek 15: Kompozitní profily PREFEN, firma Prefa kompozity [11]	43
Obrázek 16: Skládaný rošt PREFAPOR, firma Prefa kompozity [11]	44
Obrázek 17: Litý rošt PREFAGRID, firma Prefa kompozity [11]	44
Obrázek 18: Betonová deska s kompozitní výztuží, firma Prefa kompozity [11]	44
Obrázek 19: Uhlíkové lamely, firma Prefa kompozity [11]	44
Obrázek 20: Přehled standardních profilů, firma GDP Koral [12]	46
Obrázek 21: Ukázka zákaznických profilů, firma GDP Koral [12]	46
Obrázek 22: Rošt, firma GDP Koral [12]	47
Obrázek 23: Planka, firma GDP Koral [12]	47
Obrázek 24: Ukázka standardních profilů, firma 5M [13]	49
Obrázek 25: Pultrudované výrobky – různé velikosti, firma Strongwell [14]	51
Obrázek 26: Pultrudované profily – různé tloušťky, firma Strongwell [14]	51
Obrázek 27: Pultrudované profily – různé tvary, firma Strongwell [14]	51

Obrázek 28: Pultrudované profily s jádrem, firma Strongwell [14].....	51
Obrázek 29: Ukázka jednotlivých sérií řady Extren, firma Strongwell [14].....	52
Obrázek 30: Ukázka standardních profilů, firma Unicomposite technology [15]	53
Obrázek 31: Ukázka zákaznických profilů, firma Unicomposite technology [15]	53
Obrázek 32: Ukázka standardních profilů, firma RBJ Reinforced Plastic [16]	55
Obrázek 33: Hladký kompozitní mřížkový rošt, firma Slavia Gratings [17]	56
Obrázek 34: Pískovaný kompozitní mřížkový rošt, firma Slavia Gratings [17]	56
Obrázek 35: Malý síťový kompozitní mřížkový rošt, firma Slavia Gratings [17]	56
Obrázek 36: Zakrytý kompozitní mřížkový rošt, firma Slavia Gratings [17]	56
Obrázek 37: Geometrie zkušebních profilů od firmy GDP Koral, s.r.o. [10]	59
Obrázek 38: Vzorok před uložením do agresivních prostředí	77
Obrázek 39: Čtvercové profily po vyjmutí z agresivních prostředí po 540 dnech.....	77
Obrázek 40: Kruhové profily po vyjmutí z agresivních prostředí po 540 dnech	77
Obrázek 41: Čtvercové profily po vyjmutí z agresivních prostředí po 780 dnech.....	77
Obrázek 42: Kruhové profily po vyjmutí z agresivních prostředí po 780 dnech	77

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vlastnosti skleněných vláken [3]	14
Tabulka 2: Vlastnosti uhlíkových vláken [3]	16
Tabulka 3: Vlastnosti aramidových vláken [3].....	18
Tabulka 4: Porovnání vláken používaných pro výrobu FRP kompozitů [3]	19
Tabulka 5: Vlastnosti nejčastěji používaných organických matric [4].....	22
Tabulka 6: Fyzikální vlastnosti nejběžnějších prepregů [4]	36
Tabulka 7: Koncentrace agresivních roztoků	58
Tabulka 8: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů s epoxidovým zatřením hran před ponořením do chemicky agresivních prostředí	60
Tabulka 9: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů bez epoxidového zatření hran před ponořením do chemicky agresivních prostředí	61
Tabulka 10: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů s epoxidovým zatřením hran před ponořením do chemicky agresivních prostředí	62
Tabulka 11: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů bez epoxidového zatření hran před ponořením do chemicky agresivních prostředí.....	63
Tabulka 12: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů s epoxidovým zatřením hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 540 dnech	64
Tabulka 13: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů bez epoxidového zatření hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 540 dnech	65
Tabulka 14: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů s epoxidovým zatřením hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 540 dnech	66
Tabulka 15: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů bez epoxidového zatření hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 540 dnech	67
Tabulka 16: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů s epoxidovým zatřením hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 780 dnech	68
Tabulka 17: Rozměry a hmotnosti kruhových profilů bez epoxidového zatření hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 780 dnech	69
Tabulka 18: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů s epoxidovým zatřením hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 780 dnech	70
Tabulka 19: Rozměry a hmotnosti čtvercových profilů bez epoxidového zatření hran po vyjmutí z chemicky agresivních prostředí po 780 dnech	71
Tabulka 20: Srovnání změn hmotností a koef. nabobtnání u vzorků po 540 a 780 dnech.....	72
Tabulka 21: Přehled zkoušených vzorků.....	78

Tabulka 22: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků C 40/4.....	79
Tabulka 23: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků C 50/5.....	80
Tabulka 24: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků C 50/6.....	81
Tabulka 25: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků K 45/2	82
Tabulka 26: Naměřené a vypočtené hodnoty pro sadu vzorků K 50/4	83
Tabulka 27: Průměrné pevnosti v tlaku pro čtvercové profily	84
Tabulka 28: Průměrné pevnosti v tlaku pro kruhové profily.....	85

10 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Porovnání změn hmotností u vzorků v agr. prostředí Mg^{2+} po 540 a 780 dnech	73
Graf 2: Porovnání změn hmotností u vzorků v agr. prostředí SO_4^{2-} po 540 a 780 dnech	73
Graf 3: Porovnání změn hmotností u vzorků v agr. prostředí Cl^- po 540 a 780 dnech	74
Graf 4: Porovnání změn hmotností u vzorků v agr. prostředí NO_3^- po 540 a 780 dnech.....	74
Graf 5: Porovnání koef. nabobtnání u vzorků v agr. prostředí Mg^{2+} po 540 a 780 dnech	75
Graf 6: Porovnání koef. nabobtnání u vzorků v agr. prostředí SO_4^{2-} po 540 a 780 dnech.....	75
Graf 7: Porovnání koef. nabobtnání u vzorků v agr. prostředí Cl^- po 540 a 780 dnech.....	76
Graf 8: Porovnání koef. nabobtnání u vzorků v agr. prostředí NO_3^- po 540 a 780 dnech.....	76
Graf 9: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků C 40/4.....	79
Graf 10: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků C 50/5.....	80
Graf 11: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků C 50/6.....	81
Graf 12: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků K 45/2.....	82
Graf 13: Závislost mezního napětí na přetvoření pro sadu vzorků K 50/4.....	83
Graf 14: Porovnání pevností v tlaku pro sady čtvercových profilů.....	84
Graf 15: Porovnání pevností v tlaku pro sady kruhových profilů	85