



POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ S VÝZTUŽÍ ZE SKLENĚNÝCH A ČEDIČOVÝCH VLÁKEN

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil

Studijní obor: 3107R007 – Textilní marketing

Autor práce: Martina Tognerová

Vedoucí práce: Ing. Martina Novotná





COMPARISON OF THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS WITH REINFORCEMENT OF GLASS AND BASALT FIBRES

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil

Study branch: 3107R007 – Textile marketing

Author: Martina Tognerová

Supervisor: Ing. Martina Novotná



Tento list nahrad'te
originálem zadání.

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala Ing. Martině Novotné za vedení mé bakalářské práce, za věnovaný čas, příjemnou spolupráci, cenné připomínky a rady, za nové informace a zkušenosti.

Poděkování patří také mé rodině, především mamince Ing. Haně Tognerové, za obrovskou motivaci, trpělivost a podporu po celou dobu studia.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním vlastností kompozitních materiálů s výztuží ze skleněných a čedičových vláken. Je rozdělena na literární a experimentální část.

Literární část popisuje kompozit a jeho rozdělení. Dále se zabývá skleněnými vlákny, jejich historií, výrobou, rozdělením, povrchovou úpravou, vlastnostmi a použitím. Popisuje čedičová vlákna, jejich výrobu, vlastnosti, využití a ekologické přednosti.

Experimentální část popisuje přípravu výroby vzorků- skleněných a čedičových kompozitů, testování kompozitních materiálů na přístrojích Charpyhokladivo a 3-bodý ohyb na dynamometru, výsledky a závěry uskutečněného měření.

Klíčová slova

Kompozit, skleněné vlákno, čedičové vlákno, vzorek, Charpyhokladivo, 3-bodý ohyb

Annotation

This Bachelor thesis compares the properties of composite materials with reinforcement of glass and basalt fibres. It is divided into the literary and experimental parts.

The literary part describes composite and its classification. It also deals with glass fibres, their history, production, classification, surface treatment, properties and utilization. It also describes basalt fibres, their production, properties, utilization and ecological advantages.

The experimental part describes preparation of samples production (glass and basalt composites), testing of composite materials using Charpy hammer and three-point bending on dynamometer. The results and conclusions are based on the realised measurements.

Keywords

Composite, glass fibre, basalt fibre, sample, Charpy hammer, three-point bending

Obsah

Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Anotace	6
Annotation	6
Seznam zkratk	9
Úvod	10
1. Literární rešerše	11
1.1 Kompozitní materiály	11
1.2 Skleněná vlákna	12
1.2.1 Historie skleněných vláken.....	13
1.2.2 Druhy skleněných vláken	13
1.2.3 Výroba skleněných vláken.....	15
1.2.4 Povrchová úprava skleněných vláken	15
1.2.5 Vlastnosti skleněných vláken	17
1.2.6 Využití skleněných vláken	18
1.3 Čedičová vlákna	18
1.3.1. Výroba čedičových vláken.....	19
1.3.2 Vlastnosti čedičových vláken	19
1.3.3 Využití čedičových vláken.....	20
1.3.4 Ekologické přednosti čedičových vláken.....	21
1.4 Využití skleněných a čedičových vláken jako tepelná izolace v konstrukcích dřevostaveb.....	21
2. Experimentální část	25
2.1 Příprava vzorků.....	25
2.2 Testování kompozitních materiálů.....	29

2.2.1 Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy test.....	30
2.3.1 Stanovení ohybových vlastností na dynamometru.....	32
3. Výsledky a diskuze.....	35
3.1 Rázová zkouška Charpy test	35
3.2 Statický 3- bodý ohyb na dynamometru	37
3.2.1 Modul pružnosti v ohybu	38
3.2.2 Napětí v ohybu	39
4. Závěr.....	42
Použitá literatura.....	44
Seznam obrázků a tabulek	45

Seznam zkratk a symbolů

Al_2O_3	oxid hlinitý
$\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	kaolin
B_2O_3	oxid boritý
$\text{B}(\text{OH})_3$	kyselina boritá
CaCO_3	uhličitan vápenatý
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	dolomit
CaF_2	kazivec
IS	interval spolehlivosti
MgO	oxid hořečnatý
SiO_2	oxid křemičitý

Úvod

Cílem této bakalářské práce je porovnání vlastností kompozitních materiálů s výztuží ze skleněných a čedičových vláken.

Popisuje kompozit obecně, jeho složení ze dvou nebo více chemicky a fyzikálně odlišných složek, z výztuže a matrice, jaká mohou být kontinuální vlákna a jaké matrice. Dělení na makrokompozity, mikrokompozity a nanokompozity.

Literární rešerše pojednává o skleněných vláknech, o jejich historii a známosti již u Egypťanů, okolo roku 1800 př. n. l., o výrobě v dnešní době, v jakých všech podobách je zpracováváno, které typy skla se používají pro vlákna k přípravě kompozitů a jaké je využití vláken z dalších typů skel. Popisuje povrchovou úpravu vláken, její dělení, vlastnosti skleněných vláken a jejich využití v praxi. Dále se dočteme o čedičových vláknech, které zatím nejsou v průmyslu tolik rozšířené, o jejich výrobě, vlastnostech a využití v praxi od izolačních směsí po bytové a nehořlavé textilie a ekologických přednostech. Konkrétně popisuje skleněná a čedičová vlákna jako tepelnou izolaci v konstrukcích dřevostaveb.

V experimentální části je popsána příprava a výroba kompozitů ze skleněných a čedičových vláken, se čtyřmi různými úhly křížení. Podrobně popisuje, jak a kam se kladou vlákna, jak a z čeho se připraví matrice, pečení kompozitu a následné rozřezání na kotoučové pile na menší vzorky rozměrově vhodné pro měření na přístrojích Charpyho kladivo a na dynamometru pro měření 3-bodého ohybu. Dozvíme se o principu a podstaty provedení mechanických zkoušek na těchto přístrojích, dle norem ČSN EN ISO 14125 a ČSN EN ISO 179-1. Popisuje vzorce a veličiny pro výpočet rázové houževnatosti, napětí v ohybu a modul pružnosti v ohybu a dalších statistických údajů.

Závěrečná část obsahuje výsledky a diskuze doplněné o grafy a tabulky s naměřenými hodnotami a jejich odchylkami.

1. Literární rešerše

1.1 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály jsou složeny ze dvou nebo více chemicky a fyzikálně odlišných složek. Tvrdší, tužší a pevnější nespojitá složka se nazývá výztuž, spojitá a obvykle poddanější složka, která zastává funkci pojiva výztuže, se nazývá matrice. Podle chápání pojmu kompozit musí být k zařazení vícefázového materiálu mezi kompozitní materiály splněny následující podmínky:

- Podíl výztuže musí být větší než 5%.
- Vlastnosti výztuže a matrice (mechanické, fyzikální i chemické) se liší, výztuž je významně pevnější v tahu a obvykle tužší než matrice.
- Kompozit musí být připraven smícháním složek.

Typ použitých vláken při výrobě kompozitu ovlivňuje výsledné mechanické vlastnosti. Největší pevnost a tuhost dosahují vláknové kompozity s kontinuálními vlákny.

Kontinuální vlákna mohou být:

- skleněná
- čedičová
- uhlíková
- polymerní
- proteinová (vlákna pavouků)
- borová
- keramická

Matrice (pojivo výztuže) může být:

- přírodní (bio-polymery)
- polymerní
- kovová
- skleněná

- sklokeramická
- keramická
- uhlíková

Kompozitní materiály mohou obsahovat vyztužující fáze různých rozměrů. V průmyslu mají největší význam mikrokompozitní materiály, u kterých největší příčné rozměry výztuže jsou v rozmezí 10 až 10^2 μm . Oproti kovům a jejich slitinám mají mikrokompozitní materiály menší hustotu a tedy příznivý poměr pevnosti v tahu a modulu pružnosti k hustotě.

Mikrokompozity:

- částicové
- vláknové

Makrokompozity obsahují výztuž o velikosti příčného rozměru 10 až 10^2 mm a jsou používány především ve stavebnictví (železobeton). Za makrokompozity lze považovat i plátované kovy, vícevrstvé materiály a konstrukce (např. chodníky a vozovky).

Nanokompozity jsou kompozitní materiály, které mají rozměr výztuže (délka částice nebo průměr vlákna) v jednotkách nm.[11]

1.2 Skleněná vlákna

Skleněné vlákno má na první pohled velmi málo společného se sklem, jak jej známe z denního používání. Může být ohýbáno jako guma, zpracováváno ve tkaniny jako ostatní textilní vlákna, lisováno v desky i jinak namáháno a přesto si ponechává veškeré charakteristické znaky skla. Je nehořlavé, nehygroskopické, odolné proti povětrnostním vlivům, olejům, korozivním parám a většině kyselin. Je pevné a má velmi dobrou izolační vlastnost.

Tyto vlastnosti umožňují velmi široké využití skleněných vláken, takže snad není průmyslového odvětví, kde by nemohlo být skleněných vláken s úspěchem použito.[1]

Skleněná vlákna jsou tradičním výrobkem českého průmyslu a vyrábějí se ve formě

stříže nebo nekonečných vláken vhodných pro další využití ve stavebních, chemických i konstrukčních odvětvích průmyslu. Oproti masivnímu sklu mají vlákna především vyšší pevnost v tahu a mohou se použít pro výrobu moderních kompozitních materiálů. V roce 2001 byla celosvětová výroba skleněných vláken na úrovni 2,5 milionu tun.[7]

Skleněná vlákna jsou perspektivním trhem, u něhož lze předpokládat růst poptávky. Šancí jsou nové výrobky s přidanou hodnotou a uplatnění vláken v nových typech kompozit pro nové výrobky.[5]

1.2.1 Historie skleněných vláken

Výroba skla byla známá již Egypťanům okolo roku 1800 př. n. l. a s jistotou se může tvrdit, že první výrobci skla znali i skleněná vlákna, která dokázali snadno vytáhnout z roztavené skloviny. Byly používány především jako ozdoba na vázy apod. Archeologické nálezy v Číně (206 př. n. l.) obsahovaly tlustá skleněná vlákna o složení obdobnému současnému E- sklu.[7]

V 16. a 17. stol. n. l. začali benátské skláři zdobit ve větší míře své výrobky skleněnými vlákny. Počátkem 18. století se objevují první zmínky o laboratorní výrobě a technickém využití skleněného vlákna. Nejstarší dochovaná zmínka je z roku 1880 a zabývá se drátem pro telegraf s izolací opředenou skleněným vláknem.

Veřejný zájem o skleněná vlákna byl vzbuzen na Světové výstavě v Chicagu v roce 1893. Od roku 1934 jsou průmyslově vyráběna tepelně-izolační skleněná vlákna v Newarku (Ohio, USA). V následujících letech probíhal vývoj E- skloviny pro skleněná vlákna.[7]

1.2.2 Druhy skleněných vláken

V kompozitech jsou používána vlákna ze skloviny E, S (skleněná vlákna s velkým modulem pružnosti), C (kyselinám odolná vlákna), D (skleněná vlákna dielektrická), AR (vlákna odolná alkáliím), L (vlákna se zvýšeným obsahem olova), L-GLASS™, S-Q (vlákna s velkým podílem SiO₂).[3]

E-vlákna (elektrická) jsou skleněná vlákna z bezalkalické skloviny, jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou propustností pro záření. Jejich sklovina se označuje e-sklovina a je to nejčastěji používaný druh skloviny pro výrobu vláken, který postupně jako standardní typ obsadil téměř 90% trhu.[2]

E-sklovina má dobré mechanické a elektrické vlastnosti (nevodivost, velký povrchový odpor, malou relativní permitivitu (dříve dielektrická konstanta)) při malých dielektrických ztrátách a poměrně dobrou odolnost proti hydrolyze. Chemicky odolnější E skla jsou bez oxidu boru (B_2O_3). [3]

S-vlákna mají vyšší obsah SiO_2 , MgO a Al_2O_3 a mají o 40 – 70% vyšší pevnost v tahu a vyšší modul pružnosti.[2] Používají se většinou v kompozitech s epoxidovou matricí.

- vlákna ze skloviny S-1 mají velkou pevnost

- vlákna ze skloviny R mají velkou pevnost a mají menší modul pružnosti než vlákna S

- vlákna ze skloviny S1-HMTM mají větší modul pružnosti než vlákna S2

- vlákna ze skloviny S-2 pod obchodním názvem ZenTron® a VeTron® vyrábí společnost AGY [3]

C-vlákna mají vysokou odolnost proti kyselinám a proti chemicky agresivním látkám.[2]

S vyšším podílem alkálií mají nižší teplotu měknutí, jsou méně pevná a jejich mechanické vlastnosti rychle klesají s rostoucí teplotou.[3]

Vysoce chemicky odolná bezboritá C-sklovina je tzv. ECR sklovina. [2]

AR-vlákna jsou vhodná pro alkalické prostředí. Sklovina je vůči tomuto prostředí odolná (používají se například pro výrobu střešních šablon s cementovým pojivem tzv. „ekologický“ eternit).[3]

L-vlákna obsahují oxid olova. Olovo především zvyšuje nepropustnost vyrobeného laminátu pro rentgenové záření. Aplikace tohoto typu skla najdeme v lékařství a ve vědeckých přístrojích.[3]

L-GLASSTM je nové sklo pro vysocefrekvenční tištěné elektrické obvody a pro radomy letadel (toto sklo má malou relativní permitivitu a malý ztrátový činitel oproti E sklu). Složení skloviny nebylo možno stanovit.[3]

S-Q vlákna tvoří přechod mezi křemennými a ostatními skleněnými vlákny. Obsahují 95% a více SiO₂. [3]

1.2.3 Výroba skleněných vláken

Skleněná vlákna se vyrábějí tažením z trysek. Ve sklářské peci, vyzděné žáruvzdornou keramikou, se při teplotě asi 1400°C roztaví křemičitý písek (SiO₂), vápenec (CaCO₃), kaolin (Al₄[Si₄O₁₀](OH)₈), dolomit (CaMg(CO₃)₂), kyselina boritá (B (OH)₃) a kazivec (CaF₂) na E-sklovinu, několik dní se čirí a poté se vede v tekutém stavu kanálky předpecí do spřádacích trysek. Tyto trysky z platinové slitiny jsou zahřáté na takovou teplotu, aby z jejich 200 až 4000 trysek, umístěných na spodní straně předpecí, sklovina pomalu vytékala a rychle tuhla do tvaru vláken. Vlákna jsou na výstupu z trysky asi 2 mm tlustá. Teprve dloužením vysoce viskózních vláken na velmi rychle rotujícím navíjecím zařízení se vlákna kalibrují na zvolený průměr např. 10 nebo 14 μm a současně prodlužují až na 40 000 násobnou délku. Odtahová rychlost vláken je až 50 m/s. Sdružením těchto téměř neviditelných elementárních vláken vzniká ohebné spřádací vlákno.

1.2.4 Povrchová úprava skleněných vláken

Při výrobě textilních vláken se v průběhu tažení nanáší na čerstvě tažená vlákna šlichta (lubrikace) ve formě vodní emulze. Úkolem šlichty je

- spojit jednotlivá vlákna do manipulovatelného spřádacího vlákna
- chránit citlivý povrch křehkých elementárních vláken
- přizpůsobit stávající vlákna dalšímu zpracovatelskému procesu
- zlepšit vazby mezi organickou pryskyřicí a anorganickým vláknem

Lubrikace obsahují mimo jiné čtyři základní důležité složky:

- filmotvornou – vinylacetáty polymerizované do určitého stupně, polyestery a jiné pryskyřice chrání elementární vlákna a spojují je do pramenů
- maziva – poskytují vláknu potřebné kluzné vlastnosti
- apretace – obvykle na silanové bázi – typ apretace musí odpovídat použitelnému typu pryskyřice (matrice)
- antistatika – anorganické soli, které odvádějí elektrostatický náboj.[2]

V praxi jsou používané úpravy rozlišovány také podle tvrdosti:

- měkká úprava
- polotvrdá úprava
- tvrdá úprava

Tvrdost vazebného prostředku, dána jeho chemickou strukturou, určuje vhodnost rovingu po další technologii. Tvrdá úprava např. methakrylsilanem nebo chromkomplexem (je používán termín „tvrdý roving“) zaručuje dobrou sekateľnost rovingu a rovnoměrný rozpad vláken při sekání tj. vlastnosti potřebné při výrobě dílů pomocí stříkacího zařízení, nebo při přípravě prepregu pro lisovací technologii (SMC). Je vhodná i při výrobě jednosměrných prepregů a rohoží.[3]

Měkká úprava (tzv. „měkký roving“) např. vinylsilanem nebo aminosilanem zajišťuje rychlou smáčivost vláken polyesterovou pryskyřicí a používá se u rovingů pro navíjení, tažení profilů a pro tkaniny určené k výrobě členitých dílů. Jsou používány povlaky aminosilanu, silanoesteru, vinylsilanu, sírové silany, polyurethanové silany a močovinnové silany.[3]

Protože sklovina je směrem od povrchu ochlazována a tuhne, vznikají při tužení v této oblasti pnutí. Přiměřeně tomu je vnější obal vlákna roztahován, zatímco vnitřní hmota, která je dříve v roztaveném tekutém stavu, nevykazuje žádné napětí. Po ochlazení celého průřezu a ukončeném tažení je vlákno z vnější strany pod vlastním radiálním a osovým tahovým napětím, proti kterému působí uvnitř vlákna vlastní tlakové napětí.[2]

1.2.5 Vlastnosti skleněných vláken

Hlavní charakteristikou skleněných vláken je jejich pevnost. Ta je však ovlivněna mnoha faktory, např., výrobními podmínkami, povrchovými chybami, adsorbovanou vodou, teplem, chemickými úpravami povrchu, průměrem vláken atd.[1]

Skleněné vlákno je izotropní, což znamená, že jeho materiálové vlastnosti v podélném a příčném směru jsou totožné.[2]

- Modul pružnosti v tahu (E-modul) skleněných vláken je přibližně stejně velký jako hliníku a činí se asi jednou třetinou hodnoty oceli. Pevnost v tahu je vyšší než u většiny organických i anorganických vláken a je většinou podstatně vyšší než u oceli (v kompaktní formě). Vzhledem k porovnatelně nižší hustotě skla je hodnota měrné pevnosti vláken zvláště vysoká.
- Mez průtažnosti skleněného vlákna má hodnotu kolem 3%. Deformace je přitom téměř elastická – skleněné vlákno nemá viskoelastické chování jako syntetická vlákna.
- Tepelné vlastnosti skleněných vláken překonávají tepelné vlastnosti jiných materiálů. Ani dlouhodobé tepelné namáhání při 250°C nesnižuje hodnoty mechanických vlastností. Tepelná vodivost je naproti tomu vyšší než u ostatních materiálů, ale podstatně nižší než u kovů.
- Skleněná vlákna jsou nehořlavá a tudíž ohnivzdorná. Hodí se proto pro kompozity a závěsy.
- Bod měknutí E-skloviny je vyšší než 625°C.
- Součinitel teplotní délkové roztažnosti skleněných vláken je nižší než u většiny konstrukčních materiálů.[2]

Při široké nabídce výztuží ze skleněných vláken jsou konečné vlastnosti kompozitu ve značné míře závislé na druhu, obsahu a orientaci skleněných vláken, případně výrobků z nich.[2]

1.2.6 Využití skleněných vláken

Skleněná vlákna se nejčastěji používají v kombinaci s polymerní matricí, vlákna ze speciálních skel i pro vyztužování anorganických hmot (beton, sádra, keramika).[1]

Dále se používají pro textilní zpracování, pro vyztužování termosetů, termoplastů a lehčených plastů, pro výrobu povrchových rohoží a papíru, případně pro další aplikace.[2]

Přehled použití skleněných vláken:

- izolace vodičů, dynamoplastů, dynamodrátů, kabelů, vázací kordy, motouzy, izolační tkaniny, tkanice, pásy rovnoramenné a diagonální, izolační trubičky;
- látky potahové a dekorační, záclony, ochranné závěsy a zástěry, plachtoviny, rolety do oken a výkladních skříní, transportní pásy, hadice, linolea, voskovaná plátna;
- kamenické, hornické a motocyklové přilby, součásti karoserie letadel, motorových člunů, motocyklů, aut, kryty ke strojům všeho druhu, listy ventilátorů, kufříky, skřínky pro polní telefony, měřicí přístroje a dalekohledy, neprůstřelné destičky do leteckých vest;
- izolace podzemního potrubí, střešní krytina, vodotěsná izolace, akustická izolace, separátory a obaly baterií, vzduchové filtry a mnoho jiných.[4]

1.3 Čedičová vlákna

Čediče, též bazalty, jsou tmavé, intruzivní, výlevné vyvřelé horniny, porfyrické nebo sklovité struktury. Odličnost čediče je obvykle sloupcovitá. Textura bývá proudovitá nebo všesměrná. Zrnitost čediče je jemná, barva šedo- černá až černá. Zvětralý čedič má barvu spíše šedou. Čedič tvoří z velké části zemskou kůru a je nejhojnější magmatická hornina zemského povrchu. Tvoří části dna oceánů, plošinové kontinentální bazalty.[8]

Čedičová vlákna jsou složena ze svazku nekonečně dlouhých fibril vzniklých rozvlákňováním taveniny anorganického minerálu- čediče, vhodného složení. Jsou vysoce pevná, ohebná a využitelná na výrobu technických výrobků ve všech odvětvích

průmyslu.[6]

Jedná se o nový typ technického vlákna, dosud v průmyslu tolik nerozšířeného. Tento typ vlákna dává nové možnosti zvýšení užitných vlastností mnoha technickým výrobkům. S růstem nároků na nové textilní technické výrobky, se zvýšenými požadavky na tepelnou a chemickou odolnost, se může uplatnit tento nový typ technického vlákna s vynikajícími vlastnostmi a s přijatelnou cenou.[6]

1.3.1. Výroba čedičových vláken

Technologie výroby čedičových vláken je podobná výrobě skleněných vláken. Čedič se zvlákňuje ve zvlákňovací peci při teplotách kolem 1300°C. Pro výrobu kontinuálních vláken nesmí teplota tavení přesáhnout 1250°C. Technologie, jíž se čedičová vlákna získávají z taveniny, jsou centrifugální vyfukování, multirolování a vyfukování při tuhnutí. Získané vlákno se pak označuje zkratkou BSF (basalt duperthin fibre).[8]

1.3.2 Vlastnosti čedičových vláken

Je známo, že čedičová vlákna vykazují v mnoha směrech mimořádné vlastnosti. Patří k nim zejména:

- vysoká pevnost a vysoký modul pružnosti
- vysoká tepelná odolnost a použitelnost v širokém rozsahu teplot
- vynikající izolační vlastnosti – tepelné a zvukové, výborná chemická odolnost proti většině alkálií, organickým kyselinám, anorganickým kyselinám, organickým rozpouštědlům, většině chemikálií a jiným agresivním látkám
- vysoký elektrický odpor a schopnost stínění elektromagnetického záření
- odolnost proti kontaminaci radioaktivním zářením
- nehořlavost a nízký obsah spalin.[9]

V řadě vlastností jako je pevnost, modul pružnosti, chemická a teplotní odolnost, čedičová vlákna výrazně předčí vlákna skleněná. Vyšší koeficient teplotní roztažnosti umožňuje výrobu konstrukčních elementů, které lépe odolávají intenzivním a drastickým

teplotním změnám, než je tomu v případě skleněných vláken. Cena čedičových vláken je však vyšší, než cena vláken skleněných.[9]

Příze získané z čediče mají vysokou voděodolnost (90,0 - 99,9%), teplotní odolnost (650 -800°C) lišící se dle druhu kamene, z něhož je vytaven. Mrazuvzdornost pak čedič vykazuje až do teploty -260°C. Čedič je také velmi málo hygroskopický (<0,1% při 65% vlhkosti). Je vysoce chemicky stabilní a chová se neutrálně jak v kyselém tak v zásaditém prostředí. Surovina pro výrobu čedičových vláken je jedna z nejlevnějších a nejdostupnějších v přírodě. Čedičové vlákno je velmi křehké a má tendenci při manipulaci uvolňovat jehličky, jež se zarývají do kůže. Částice čediče jsou příliš tlusté, než aby je bylo možno vdechnout, nicméně pracovat s čedičem se musí obezřetně.[8]

1.3.3 Využití čedičových vláken

S využitím čedičových nekonečných vláken a čedičových textilií z nich zhotovených je možno počítat ve všech oblastech, kde se běžně dosud používají skleněná a používaly azbestová vlákna. Vzhledem k tomu, že čedičová vlákna předčí svými fyzikálními, mechanickými a chemickými vlastnostmi vlákna skleněná i azbestová, je to základní předpoklad k jejich masivnímu rozšíření v technické praxi.[6]

Nekonečná čedičová vlákna ve formě technického hedvábí naleznou hlavní uplatnění v textilním zpracování na nitě-roving, čedičové nitě skané a kordy. Tato čedičová příze se dále dá zpracovávat na plošné a délkové textilní technické útvary – provazce, hadice, popruhy a prostorové textilní technické útvary.[6]

Příklady uplatnění:

- plná náhrada skleněných vláken při výrobě tkaniny v perlinkové vazbě pro stavebnictví (omítkové systémy, zalévací hmoty,...)
- geotextilie, armovací tkaniny a vlákna (silniční a železniční stavitelství, živičné povrchy vozovek, lepenky, betonové výrobky,...)
- tepelně-izolační směsi ve stavebnictví pro žáruvzdorné stavební hmoty, plniva do tmelů apod.
- výztužné tkaniny v kompozitech a sekaná vlákna v plastických hmotách,

- v různých technických výrobcích (rozbrušovací kotouče, lamináty, brzdové destičky,...)
- izolace tepelné, zvukové a chemické (stavebnictví, letecký průmysl, elektrárny, automobily,...)
- filtrování agresivních látek, tkaniny a ucpávkové šňůry v chemickém průmyslu (náhrada azbesto-pryžových výrobků), horkovzdušná filtrace
- ochranné žáruvzdorné a kyselinovzdorné pracovní oděvy do provozů s velkou tepelnou zátěží a s agresivním chemickým prostředím (tkaniny s hliníkovou folií v hutích, ocelárnách, pro hasiče a svářeče, v chemických provozech,...)
- bytové a interiérové nehořlavé textilie (tapety, podkladové textilie,...) [6]

1.3.4 Ekologické přednosti čedičových vláken

Dalšími přednostmi jsou nezanedbatelné ekologické a zdravotní výhody oproti obdobným vláknům. Především menší zátěž pro životní prostředí při výrobě a likvidaci a menší zdravotní riziko při zpracování a používání.

- přírodní materiál zpracovaný bez dalších přísad
- 100% recyklovatelný na výrobní zařízení
- v přírodě se bohatě vyskytující nerost ve formě vhodné ke zvláknování
- celkově výroba energeticky méně náročná než výroba skleněných vláken
- menší zátěž pro životní prostředí při výrobě a likvidaci [6]

1.4 Využití skleněných a čedičových vláken jako tepelná izolace

v konstrukcích dřevostaveb

Výrobky z minerálních vláken patří mezi tradiční tepelné izolanty využívané ve stavebnictví. Vzhledem k požárním vlastnostem, tvarové stálosti, ale zároveň tvarové přizpůsobivosti se výrobky z minerálních vláken významně uplatňují v konstrukcích dřevostaveb.

Skleněná a čedičová minerální vlákna:

Minerálně vláknité izolace se dělí na dvě skupiny. Jednu skupinu tvoří výrobky z čedičových vláken a druhou skupinu tvoří výrobky ze skleněných vláken. Základem výroby izolací z čedičových vláken je rozvláknování čedičové lávy, u skleněných vláken se vyrábí rozvláknováním skleněné taveniny. Obě skupiny výrobků se od sebe liší svými technickými vlastnostmi. Rozdíly jsou způsobeny zejména mikroskopickou strukturou obou materiálů.

Výrobky z čedičové taveniny mají větší průměrnou tloušťku vláken a také větší rozdíly v tloušťkách jednotlivých vláken. To se projevuje vyšší tuhostí výrobků. Jednotlivá čedičová vlákna mají na sobě více záhybů, díky kterým drží výrobky déle svůj tvar při zatížení požárem. Záhyby zabraňují rozpadu struktury materiálu i v případě, kdy vlivem požáru vyhoří pojivo. Tepelněizolační výrobky z čedičových vláken se dodávají v drtivé většině v nekomprimovaném stavu.

Vlákna vyrobená rozvlákněním skleněné taveniny mají obecně menší průměr než vlákna čedičová. Mají také menší rozdíly v průměru jednotlivých vláken. Vlákna jsou přímější. Díky menšímu průměru jsou skleněná vlákna ohebnější. Tepelněizolační výrobky ze skleněných vláken jsou tak obecně měkčí než výrobky z čedičových vláken. Přímost vláken umožňuje snadnou kompresi materiálu při balení a zároveň umožňuje nabývání původního objemu výrobku po rozbalení.

Tepelněizolační výrobky z čedičových vláken jsou zpravidla využívány v konstrukcích, kde je potřeba tuhý materiál, nebo v konstrukcích, kde výrazně přispívají k požární odolnosti konstrukce. Výrobky ze skleněných vláken se zpravidla používají v konstrukcích, kde lze využít schopnost materiálu přizpůsobit svůj tvar prostoru, do kterého jsou aplikovány.

Vliv vlhkosti na minerálně vláknité tepelné izolanty

Tepelněizolační výrobky na bázi minerálních vláken dlouhodobě odolávají běžnému působení vzdušné vlhkosti v konstrukcích. Standardně jsou během výroby ošetřeny hydrofobizacím přípravkem. Ten se na vlákna nanáší bezprostředně po rozvláknění. Účelem hydrofobizace je snížit nasákavost materiálu a zabránit nasáknutí při příležitostném kontaktu s vodou.

Příspěvek k akustickým vlastnostem konstrukcí dřevostaveb

Základními akustickými vlastnostmi stavebních konstrukcí je vzduchová neprůzvučnost a index útlumu kročejového hluku. Výrobky z minerálních vláken se uplatňují při zlepšování akustických vlastností vnitřních příček, stropů, obvodových stěn a podlah.

- Vnitřní příčky, stropy- pro použití jako tlumící výplň vícevrstevných konstrukcí se hojně používají výrobky ze skleněných vláken. Výrobky určené pro aplikaci do vnitřních příček a stropů jsou zpravidla dodávány v rolovaných pásech s objemovou hmotností nad 15 kg/m³. Do příček jsou vhodné také výrobky z čedičových vláken dodávané ve formě desek o objemové hmotnosti 40kg /m³.
- Podlahy- jako tradiční kročejová izolace se uplatňují výrobky z minerálních vláken ve formě desek tloušťky 30 až 50 mm. Sledovanou vlastností u výrobků pro kročejovou izolaci je jejich stlačitelnost definovaná dle ČSN EN 13162 jako míra stlačení výrobku při normovém zatížení. Desky pro kročejovou izolaci se vyrábí z čedičových i ze skleněných minerálních vláken.
- Obvodové stěny- pro tepelnou izolaci do obvodových stěn jsou vhodné zejména pružné výrobky z čedičových vláken. Z hlediska požární ochrany je pro vyplnění prostoru mezi nosnou konstrukcí taktéž častěji používaný izolant z čedičových vláken, než ze skleněných vláken.

Použití ve střeších

- Ploché střechy- v jednoplášťových střeších, kde je tepelněizolační vrstva umístěna pod hydroizolační vrstvou, musí tepelná izolace odolávat tlaku vyvolanému zatížením. Horní vrstva tepelné izolace také musí zajišťovat dostatečně tuhý podklad, aby umožnila kvalitní spojování povlakových hydroizolací. Z těchto důvodů se pro tepelnou izolaci jednoplášťových plochých střech používají minerální vlákna vyrobená výhradně z čedičové lávy. Ve dvouplášťových plochých střeších nepřenáší tepelněizolační vrstva žádné zatížení, kromě vlastní tíhy. Z toho důvodu se pro tyto konstrukce používají převážně tepelněizolační desky nebo rolované pásy ze skleněných vláken.
- Šikmé střechy- při zateplování šikmých střech s tepelnou izolací je požadováno,

aby tepelná izolace z minerálních vláken byla poddajná, dostatečně tuhá a tvarově stálá. V případě použití výrobků ze skleněných vláken je vhodné použít materiály s vyšší objemovou hmotností. Výhodné je použít materiály, které jsou pružné a po stlačení ihned nabydou původní objem. Uvedených vlastností je dosahováno zejména vyšší hustotou skleněných vláken a také úpravou jejich orientace při výrobě. Použití materiálů s vyšší hustotou vláken a objemovou hmotností je výhodné také z důvodů lepších tepelněizolačních vlastností. [10]

2. Experimentální část

2.1 Příprava vzorků

Pro porovnání vlastností kompozitních materiálů s výztuží ze skleněných a čedičových vláken, je nutné připravit nejdříve vhodné kompozity. Jedná se o vláknové kompozity s polymerní matricí. Pro výrobu těchto kompozitních materiálů byly použity skleněná vlákna ve formě rovingu, dodané firmou Johnsons Manville s jemností 2400 tex a čedičová vlákna ve formě rovingu, od firmou Basaltex s jemností 2250 tex.

Pro výrobu kompozitů a vzorků bylo potřeba:

- pečicí folie zn. Tescoma
- papírový karton o rozměru 30x30cm
- oboustranná lepicí páska
- úhloměr a pravítko
- nůžky
- skleněná a čedičová vlákna
- kovové desky se šrouby a maticemi
- štětec a plastový kelímek na přípravu matrice
- digitální váha
- pryskyřice a tvrdidlo pro přípravu matrice
- pečicí pec
- okružní pila
- ochranné pomůcky (rukavice, pracovní plášť, respirátor)

Celkem se připravilo osm kompozitů, čtyři ze sklených vláken a čtyři z čedičových vláken. Od každého z vláken byl vzorek, kde se na sebe křížily vlákna pod úhlem 15° , 30° (při otočení vznikl vzorek o křížení úhlu 60°) a 45° .

Pomocí oboustranné lepicí pásky se na papírový karton připevnila pečicí folie o rozměru 24x24cm. Od středu folie se naměřil požadovaný úhel a vlákna se na okraj

folie, kde byla připravena oboustranná lepicí páska, přilepovala nejprve v jednom směru vedle sebe s překrytím asi 1mm a potom stejně ve směru druhém.



Obrázek 2.1- Příprava kompozitu ze skleněných vláken.



Obrázek 2.2- Nalepená skleněná vlákna v obou směrech.

Po přípravě všech šesti vzorků, se každý zvlášť sundal z papírového kartonu a pečící folie s vlákny se položila na kovové desky. Připravila se dvousložková matrice,

namícháním pryskyřice (XB 3585 Resin) a tvrdidla (XB 3458 Hardener) v poměru 100:19, pomocí digitální váhy (100g pryskyřice a 19g tvrdidla) do plastového kelímku. Toto množství matrice vystačilo na dva vzorky. Vzniklá směs se nanasla štětcem po celém povrchu rovnoměrně.

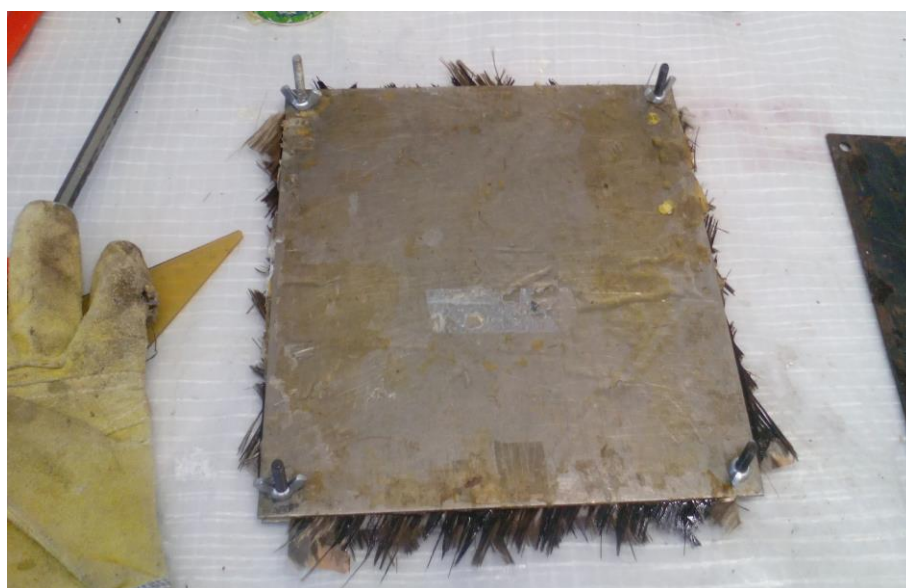


Obrázek 2.3- Tvrdidlo (hardener) a pryskyřice (resin).



Obrázek 2.4- Nanášení matrice na vzorek z čedičových vláken.

Po rovnoměrném nanesení matrice na vzorek byla na celou plochu vzorku položena druhá pečící folie (z důvodu, aby se kompozit nepřilepil ke kovovým deskám během pečení) a na folii přiklopena druhá kovová deska, která se musí pořádně přitlačit, aby došlo k dostatečnému prosycení materiálu a vytlačení vzduchu. Potom se pomocí čtyř šroubů a matic k sobě obě kovové desky přišroubovaly. Spojené desky se vložily do pece HS 122A a vzorek se pekl na 100°po dobu 30-ti minut. Po uplynutí dané doby se vzorek z pece vyndal, aby vychladl.



Obrázek 2.5- Sešroubované kovové desky.



Obrázek 2.6- Pec HS 122A na vytvrzování matrice.

Po vychladnutí se desky rozšroubovaly, odstranila se pečící folie a z výsledných kompozitů byly nařezány vzorky dle daných rozměrů na okružní pile, k testování a následném porovnání mechanických vlastností. Vzorky pro testování na přístroji Charpyho kladivo měly rozměr 80mmx10mm a vzorky pro testování na dynamometru měly rozměry 60mmx15mm.

2.2 Testování kompozitních materiálů

K testování kompozitních materiálů a porovnání jejich vlastností byly použity přístroje Labortechlabtest CHK50J-Charpyho kladivo na měření rázové houževnatosti a trhací přístroj dynamometr TIRA TEST 2300 na měření 3-bodého ohybu.

2.2.1 Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy test

Rázová houževnatost Charpy test dle normy ČSN EN ISO 179-1. Rázová energie spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa bez vrubu, vztažená na původní průřez zkušebního tělesa. Vyjadřuje se v kilojoulech na metr čtvereční [kJ/m²].

Tato metoda je vhodná ke zkoumání rázového chování určitých typů zkušebních vzorků za definovaných podmínek rázu a k posouzení křehkosti či houževnatosti zkušebních těles v mezích daných podmínkami zkoušky.

Metoda je vhodná pro:

- Tuhé termoplasty pro tváření a desky z tuhých termoplastů.
- Tuhé reaktoplasty pro tváření a desky z tuhých reaktoplastů.
- Kompozity plněné vlákny, vyztužené v jednom nebo více směrech vyztužemi.
- Termotropní polymery na bázi tekutých krystalů.

Podstata zkoušky:

Zkušební vzorek umístěný na podpěrách je přeražen úderem rázového kyvadla, přičemž směr rázu je veden středem vzdálenosti mezi podpěrami, zkušební vzorek je ohýbán vysokou, nominálně konstantní rychlostí.

Kontrola vzorků:

Zkušební vzorky nesmí být zkroucené, musí mít vzájemně kolmé rovnoběžné dvojice povrchů. Povrchy a hrany nesmí obsahovat vrypy, nerovnosti a propadliny. Vzorky, které vykazují měřitelné nebo pozorovatelné odchylky od jednoho nebo více uvedených kritérií, se vyřadí nebo se musí před zkouškou obrobít na správnou velikost a tvar.

Postup zkoušky:

Zkouška se provádí ve stejném standardním prostředí jako kondicionace, pokud není zúčastněnými stranami dohodnuto jinak, jako např. v případě při zvýšených nebo snížených teplotách.

Změří se tloušťka h a šířka b ve středu každého zkušební tělesa s přesností na 0,02 mm. Zkontroluje se, zda je zkušební stroj schopen provádět zkoušku předepsanou rázovou rychlostí a zda se nalézá ve správném rozsahu absorbované energie W , který musí být mezi 10% a 80% energie E , která je k dispozici při rázu. Pokud tomuto požadavku vyhovuje více kyvadel, použije se rázové kyvadlo s nejvyšší energií.



Obrázek 2.7- Přístroj Charpyho kladivo.

Rázové kyvadlo se zvedne do předepsané výšky a zajistí se. Zkušební vzorek se umístí na podpěry stroje tak, aby břit rázového kyvadla dopadl do středu vzorku. Poté se rázové kyvadlo uvolní. Zaznamená se rázová energie absorbovaná zkušebním tělesem a zahrnou se nezbytné korekce na ztráty třením, atd.

U zkušebních vzorků se mohou objevit čtyři typy přeražení:

- C- úplné přeražení, přeražení, při kterém je zkušební vzorek rozdělen na dva nebo více kusů
- H- kloubové přeražení, neúplné přeražení, kdy obě části vzorku drží pohromadě pouze tenkou obvodovou vrstvou v podobě kloubu bez zbytkové tuhosti
- P- částečné přeražení, neúplné přeražení, které nesplňuje definici kloubového přeražení
- N- nepřeraženo, případ, kdy nedojde k přeražení a vzorek je pouze ohnut a protlačen mezi podpěrami, což je někdy doprovázeno zbělením vzorku

Rázová houževnatost Charpy zkušebních těles se vypočítá ze vzorce:

$$H = \frac{E_{max}}{(b \cdot h)} [\text{J/mm}^2] \quad (1)$$

kde

E_{max} je konečná energie v joulech spotřebovaná při naražení kyvadla do vzorku

h je tloušťka vzorku v milimetrech

b je šířka vzorku v milimetrech

Z výsledků zkoušky se vypočte aritmetický průměr a směrodatná odchylka od průměrné hodnoty. [12]

2.3.1 Stanovení ohybových vlastností na dynamometru

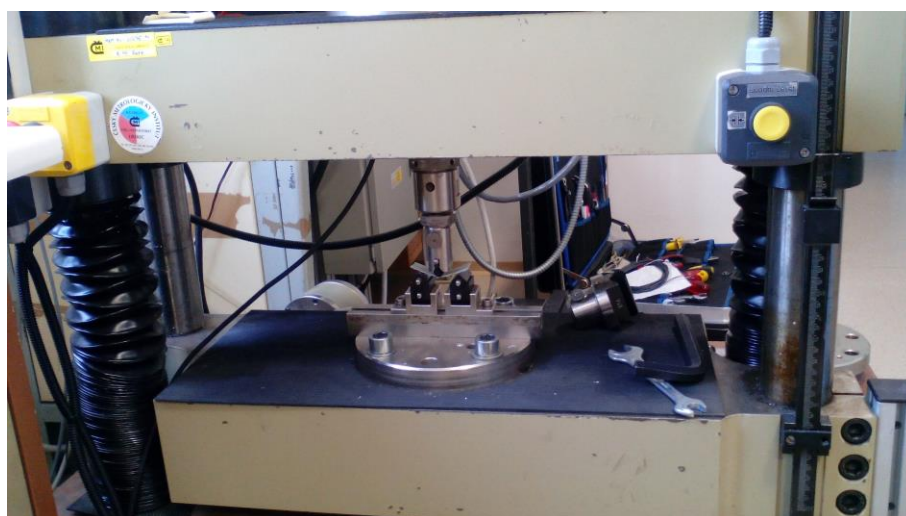
Stanovení ohybových vlastností dle normy ČSN EN ISO 14125. Tato metoda je vhodná pro zkoumání ohybových vlastností vlákniny vyztužených kompozitů tříbodovým zatěžováním.

Podstata zkoušky:

Vzorek umístěný ve zkušebním přípravku je ohýbán při konstantní rychlosti, dokud nedojde k porušení vzorku nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. Během zkoušky se měří síla působící na vzorek a průhyb. Metoda se používá k hodnocení ohybových vlastností a stanovení pevnosti v ohybu, ohybového modulu a jiných parametrů, vyplývajících ze vztahu ohybové napětí/deformace za předepsaných podmínek.

Postup zkoušky:

Zkouška se provádí v prostředí předepsaném v příslušné materiálové normě. Pokud podmínky nejsou předepsány, vybere se nejvhodnější standardní prostředí. Uprostřed každého vzorku se s přesností na 1% změří šířka b a tloušťka h . Vzdálenost podpěr L se nastaví tak, aby s přesností na 1% odpovídala vypočtené hodnotě. Zkušební rychlost se nastaví tak, aby odpovídala hodnotě uvedené v příslušné materiálové normě. Vzorek se symetricky umístí na dvě podpěry a označí se strana namáhaná tahem. Silou se působí na zatěžovací trn ve střední části. Během zkoušky se zaznamenává síla a odpovídající průhyb vzorku. Přístroj je připojen k počítači, který ihned při provádění zkoušky zaznamenává a vyhodnocuje získaná data. [13]



Obrázek 2.8- Přístroj pro měření 3-bodného ohybu.

Definice a výpočet:

- ohybové napětí σ : napětí vnějšího povrchu vzorku uprostřed rozpětí podpěr (vyjadřuje se v MPa), počítá se dle vztahu:

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2} [\text{Mpa}] \quad (2)$$

kde

F je zatěžující síla [N]

L je rozpětí podpěr v milimetrech

b je šířka vzorku v milimetrech

h je tloušťka vzorku v milimetrech

- modul pružnosti v ohybu E: získáme z oblasti namáhání, v níž je lineární závislost průhybu na zatížení, přičemž záleží na geometrii vzorku (vyjadřuje se v MPa), počítá se dle vztahu:

$$E = \frac{FL^3}{4Xbh^3} [\text{MPa}] \quad (3)$$

kde

X je průhyb v milimetrech

F je zatěžující síla [N]

b je šířka vzorku v milimetrech

h je tloušťka vzorku v milimetrech

L je rozpětí podpěr v milimetrech

Příklady možných typů porušení:

- tahové porušení vlákna
- tahové porušení krajové vrstvy
- tlakové porušení [13]

3. Výsledky a diskuze

3.1 Rázová zkouška Charpy test

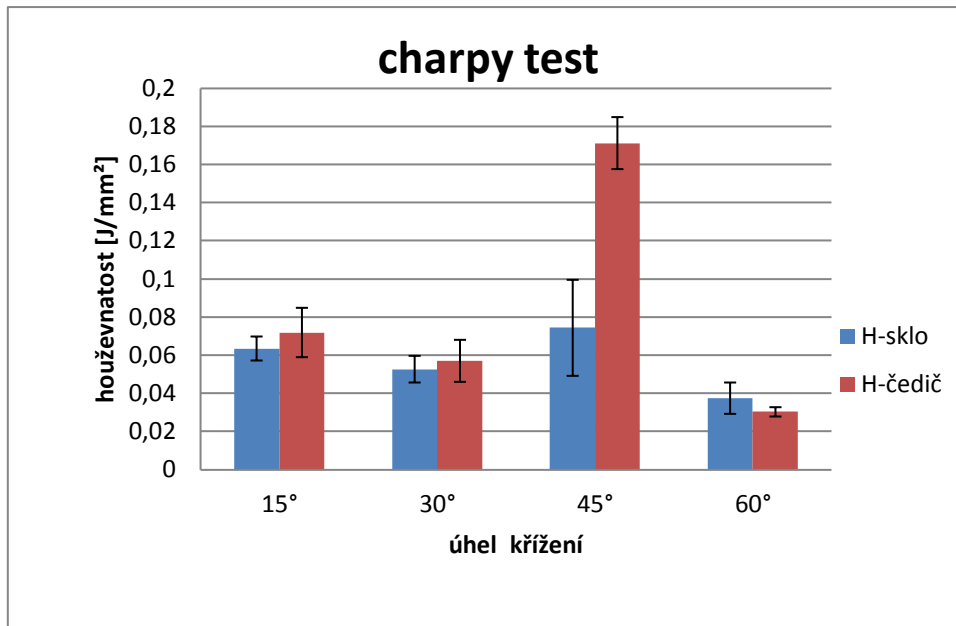
Na přístroji Charpyho kladivo bylo zjištěno, který ze vzorků má největší houževnatost H [J/mm^2], při rychlosti kladiva 3,7 [m/s]. Porovnávalo se celkem osm vzorků kompozitu, čtyři ze skleněných vláken a čtyři z čedičových vláken. V každé kategorii bylo provedeno 5 měření, vždy v úhlu křížení 15° , 30° , 45° a 60° k ose kompozitu.

Tabulka 3.1- Průměrná houževnatost, statistické údaje a typ přeražení vzorků ze skleněných vláken s různým úhlem křížení.

Úhel křížení	b [mm]	h [mm]	E [J]	H [J/mm^2]	sm.odch [J/mm^2]	var.koef [%]	Typ přeražení
15°	11,202	1,144	0,812	0,0634	0,0072	11,413	N
30°	11,038	1,366	0,796	0,0526	0,0081	15,387	N
45°	9,71	1,62	1,36	0,058	0,0054	9,2759	C
60°	11,318	1,296	0,544	0,0375	0,0093	24,738	C

Tabulka 3.2- Průměrná houževnatost, statistické údaje a typ přeražení vzorků z čedičových vláken s různým úhlem křížení.

Úhel křížení	b [mm]	h [mm]	E [J]	H [J/mm^2]	sm.odch [J/mm^2]	var.koef [%]	Typ přeražení
15°	11,08	1,676	1,328	0,0719	0,0147	20,437	N
30°	11,466	1,418	0,908	0,057	0,0124	21,787	N
45°	9,38	2,28	1,118	0,0644	0,0074	11,526	C
60°	11,074	1,202	0,396	0,0304	0,0028	9,5911	N



Obrázek 3.1 – Graf průměrné houževnatosti vzorků ze skleněných a čedičových vláken s vyznačenými odchylkami měření.

Z tabulky i grafu je patrné, že největší rázovou houževnatost měl vzorek z čedičového vlákna s úhlem křížení 45°. V případě křížení úhlů 15° i 30° měly nepatrně větší rázovou houževnatost také vzorky z čedičových vláken. Pouze v případě křížení úhlu 60°, měl o kousek větší rázovou houževnatost vzorek ze skleněných vláken. Naopak nejnižší rázovou houževnatost měl vzorek z čedičových vláken s úhlem křížení 60°.

U nejvíce odchýleného vzorku (tedy u vzorku z čedičových vláken pod úhlem křížení 45°) byla naměřena hodnota vyšší, což mohlo být způsobeno výrobou kompozitu např. správným prosycením matrice nebo větším počtem vláken.

Z testovaných vzorků byly rázovým kyvadlem na přístroji Charpyho kladivo, při rychlosti 3,7 m/s, zcela přeraženy pouze vzorky ze skleněných vláken s úhlem křížení 45°, 60° k ose kompozitu a vzorky z čedičových vláken s úhlem křížení 45°. Ostatní vzorky ze skleněných ani čedičových vláken přeraženy nebyly.



Obrázek 3.2- Přeražené vzorky ze skleněných vláken pod úhlem 60°, po zkouše na přístroji Charpyho kladivo.

3.2 Statický 3- bodý ohyb na dynamometru

Z naměřených hodnot 3- bodého ohybu bylo spočítáno a zjištěno, který ze vzorků má největší modul pružnosti v ohybu E [MPa] a největší napětí v ohybu σ [MPa]. Opět se porovnávalo osm vzorků, čtyři ze skleněných vláken a čtyři z čedičových vláken.

Rozpětí podpěr L bylo nastaveno na 40mm, při rychlosti posuvu 6mm/min a průhybu X (posun při síle F_x) 2mm.

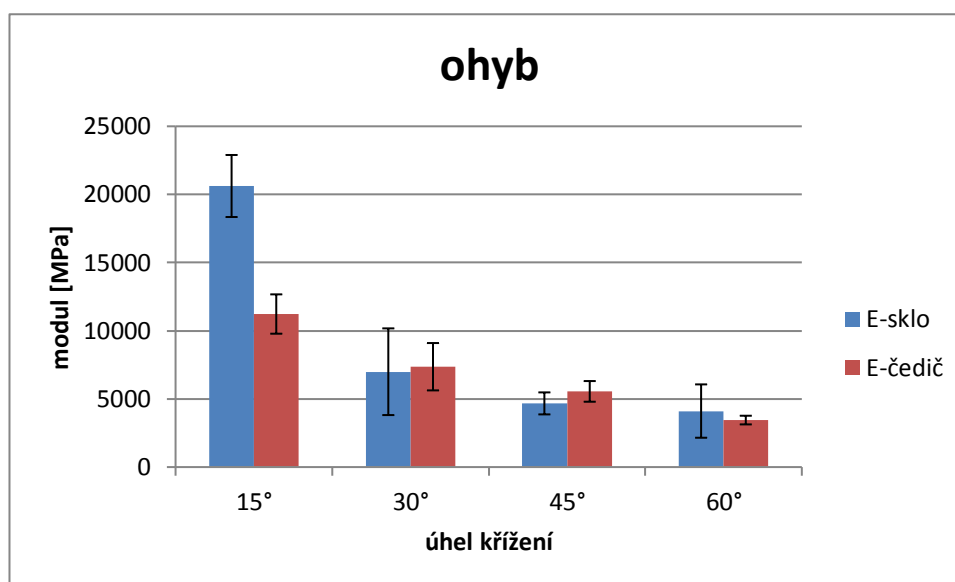
Tabulka 3.3- Průměrný modul pružnosti v ohybu, průměrné napětí a statistické údaje u vzorků ze skleněných vláken.

Úhel křížení	Šířka b [mm]	Tloušťka h [mm]	F_{max} [N]	E [MPa]	σ [MPa]	Sm. Odch. σ [MPa]	Sm. Odch. E [MPa]	Var. Koeff. σ [%]	Var. Koeff. E [%]
15°	17,484	1,434	133,04	20640	221,65	26,404	2589,6	11,913	12,546
30°	17,15	1,77	74,216	6985,6	88,154	33,715	3635	38,245	52,035
45°	9,972	1,634	20,604	4657,6	56,036	8,902	937,81	15,886	20,135
60°	17,282	1,57	32,738	4101,8	47,349	22,903	2220,1	48,371	54,125

Tabulka 3.4- Průměrný modul pružnosti v ohybu, průměrné napětí a statistické údaje u vzorků z čedičových vláken.

Úhel křížení	Šířka b[mm]	Tloušťka h[mm]	F_{max} [N]	E [MPa]	σ [MPa]	Sm. Odch. σ [MPa]	Sm. Odch. E[MPa]	Var. Koef. σ [%]	Var. Koef. E[%]
15°	16,556	1,898	159,78	11230	159,2	23,411	1660,3	14,705	14,785
30°	17,202	1,588	61,956	7360,9	85,231	18,203	1973	21,358	26,804
45°	10,18	1,47	21,066	5539,7	60,598	7,6994	859,46	12,706	15,515
60°	17,706	1,44	23,032	3440,6	36,885	3,6049	375,45	9,7732	10,912

3.2.1 Modul pružnosti v ohybu

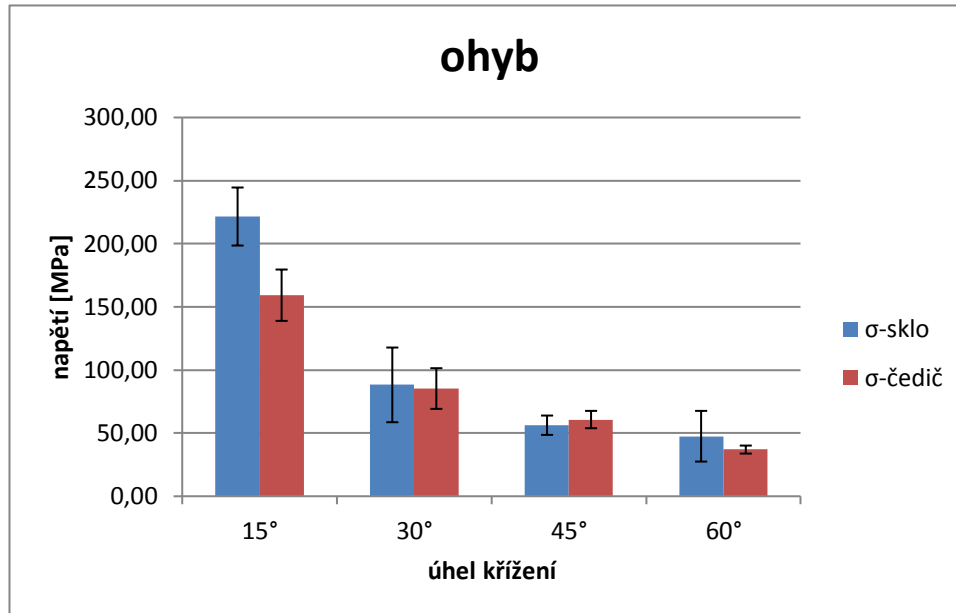


Obrázek 3.3- Graf modulu pružnosti v ohybu ze skleněných a čedičových vláken s vyznačenými odchylkami měření.

Z naměřených a spočítaných hodnot je viditelné, že největší modul pružnosti v ohybu má vzorek ze skleněného vlákna s úhlem křížení 15° a nejmenší modul pružnosti v ohybu má vzorek z čedičového vlákna s úhlem křížení 60°.

Kromě vzorků s úhlem křížení 15°, kde je největší odchýlení mezi vzorky ze skleněných a čedičových vláken, nebyly zaznamenány významné rozdíly, protože intervaly spolehlivosti se ve vzorcích překrývají.

3.2.2 Napětí v ohybu



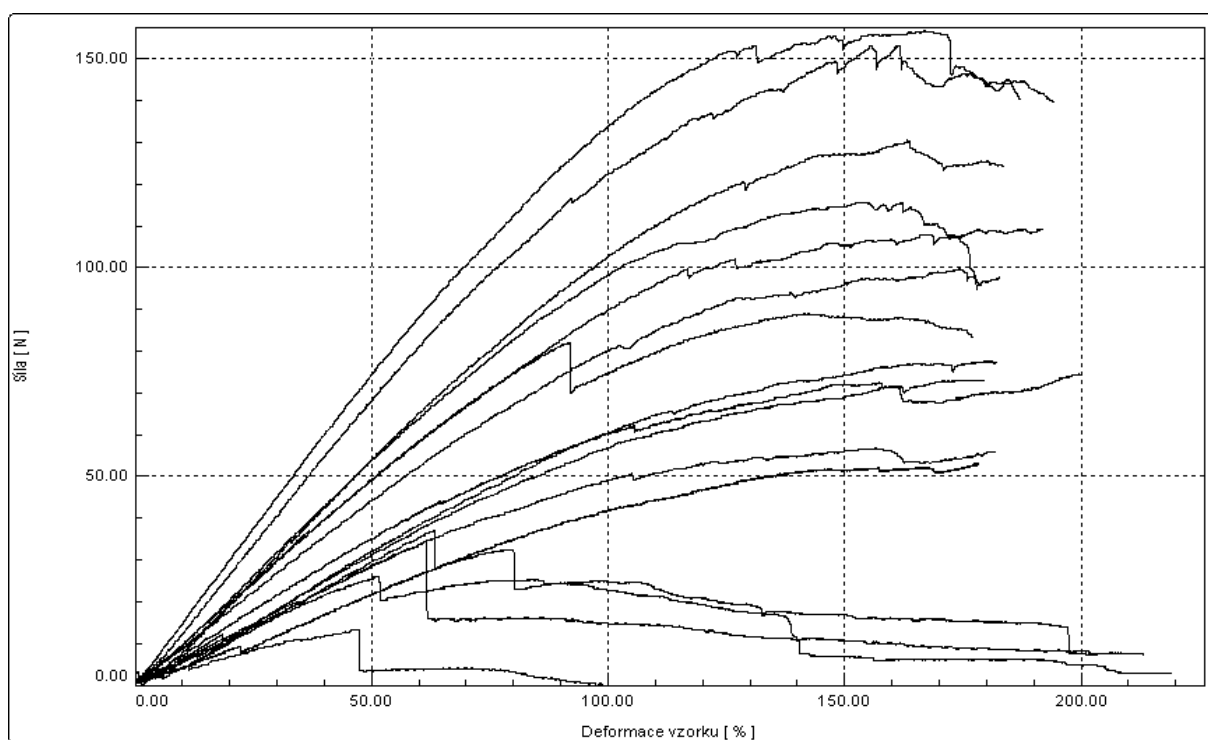
Obrázek 3.4-Graf napětí ohybu vzorků ze skleněných a čedičových vláken s vyznačenými odchylkami měření.

Ze spočítaných hodnot napětí v ohybu σ je vidět, že největší napětí v ohybu má vzorek ze skleněných vláken s úhlem křížení 15°. Nejmenší napětí v ohybu má vzorek z čedičových vláken s úhlem křížení 60°.

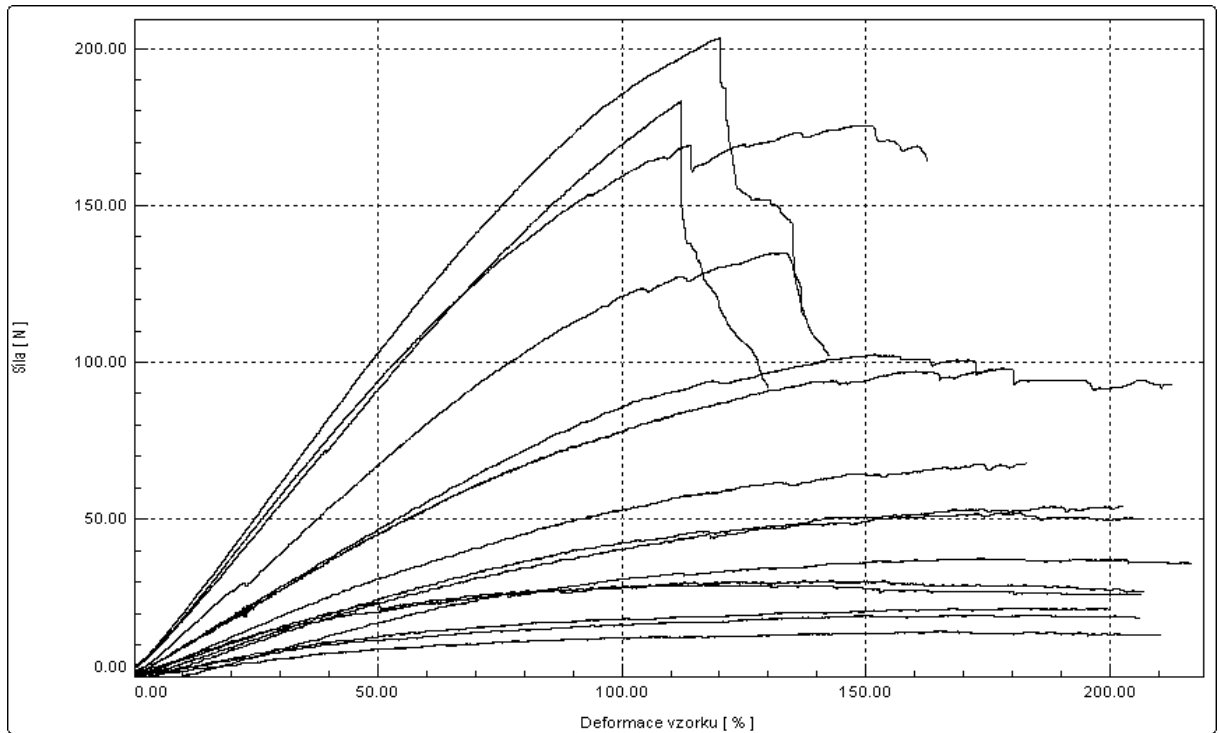
Stejně jako u výpočtů měření modulu pružnosti, tak i u napětí v ohybu jsou vzorky s 30°, 45° a 60° úhlem křížení bez významných rozdílů, tudíž se intervaly spolehlivosti překrývají. U vzorků s úhlem křížení 15° je odchýlení větší a intervaly spolehlivosti se nepřekrývají.



Obrázek 3.5- Poškozené vzorky z čedičových vláken po zkoušce měření modulu pružnosti ohybu a napětí v ohybu na přístroji dynamometr pro 3-bodý ohyb.



Obrázek 3.6- Graf deformace vzorku ze skleněných vláken v závislosti na síle F.



Obrázek 3.7- Graf deformace vzorku z čedičových vláken v závislosti na síle F.

Závěr

Cílem této bakalářské práce je porovnání vlastností kompozitů s výztuží ze skleněných a čedičových vláken.

Prvním typem jsou čtyři druhy kompozitů ze skleněných vláken. První má úhel křížení vláken k ose vzorku 15° , druhý 30° , třetí 45° a čtvrtý 60° . Druhým typem jsou také čtyři druhy kompozitů z čedičových vláken, se stejnými úhly křížení vláken k ose vzorku. Z těchto typů byly vytvořeny, matricí zpevněny a upečeny kompozity o rozměru $24 \times 24 \text{ cm}$ a následně rozřezány na menší vzorky o rozměrech dle normy, pro zkoušky na přístrojích Labortechlabtest CHK50J- Charpyho kladivo a trhací stroj dynamometr TIRA TEST 2300.

Nejprve byla provedena zkouška rázové houževnatosti na přístroji Charpyho kladivo, při rychlosti kyvadla $3,7 \text{ m/s}$. Z měření bylo zjištěno, že největší rázovou houževnatost má vzorek z čedičových vláken, s úhlem křížení 45° k ose kompozitu. Nejnižší houževnatost má vzorek také z čedičových vláken, ale s úhlem křížení 60° k ose kompozitu. Největší odchylka při měření – u vzorku z čedičových vláken s úhlem křížení 45° , k ní mohlo dojít např. větším počtem vláken v kompozitu, nebo správným prosycením matrice při výrobě kompozitu. Jiné větší odchylky naměřeny nebyly. Intervaly spolehlivosti se u stejného křížení úhlů u obou materiálů překrývaly. Ze všech zkoušených vzorků byly kyvadlem přeraženy vzorky ze skleněných vláken s úhlem křížení 45° , 60° a vzorky z čedičových vláken s úhlem křížení 45° .

Druhým testováním vlastností byla provedena zkouška 3- bodého ohybu na dynamometru, z kterého byly naměřeny a vypočítány: modul pružnosti v ohybu a napětí v ohybu. Vzorky byly upevněny na podpěrách s rozpětím 40 mm , při rychlosti posuvu 6 mm/min . Největší modul pružnosti v ohybu i napětí v ohybu má vzorek ze skleněných vláken s úhlem křížení 15° , nejmenší modul v ohybu i napětí v ohybu má vzorek z čedičových vláken s úhlem křížení 60° . Intervaly spolehlivosti obou vzorků s křížením úhle 15° jsou více odchýleny, ostatní se překrývaly.

Z testování na přístrojích Charpyho kladivo a dynamometru bylo zjištěno, že konečné mechanické vlastnosti se v závislosti na materiálu kompozitu a úhlu křížení vláken k ose kompozitu liší.

Použitá literatura

- [1] Bareš, Richard A., *Kompozitní materiály*, SNTL Praha 1988
- [2] Ehrenstein, Gottfried W., *Polymerní kompozitní materiály*, SCIENTIA Praha 2009
- [3] Kořínek, Zdeněk, *Kompozity 2005*,
Dostupné z <http://www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf>
- [4] Vertex, *Skleněná vlákna: Nové výrobky pro prům., elektrotechn., chem., stavební*, Litomyšl 1954
- [5] Asociace sklářského a keramického průmyslu ČR, <http://www.askpcer.cz> [online], [cit. 2015-01-30], dostupné z <http://www.askpcer.cz/vyrocnizpravy/vyrocnizprava-2010/trendy-sklarskeho-prumyslu/>
- [6] Basaltex a.s., <http://www.basaltex.cz> [online], [cit. 2014-12-11], dostupné z http://www.basaltex.cz/cedic/cedic_charakteristika_cz.htm
- [7] Czechdesign.cz, z.s., <http://www.czechdesign.cz> [online], [cit. 2015-01-08], dostupné z <http://www.czechdesign.cz/temata-a-rubriky/sklenena-vlakna-historie-soucasnost2975>
- [8] Odetka a.s., <http://www.odetka.cz> [online], [cit. 2015-01-30], dostupné z http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat_basalt.aspx
- [9] Svitap J.H.J spol.s.r.o., <http://www.svitap.cz> [online], [cit. 2015-01-30], dostupné z <http://www.svitap.cz/kompozitni-tkaniny/>
- [10] DEK TIME 03/2011, časopis společnosti DEK pro projektanty a architektky, DEK a.s., Praha 2011
- [11] Kořínek Zdeněk, *Kompozity*, <http://mujweb.cz/zkorinek> [online], [cit. 2015-04-12], dostupné z <http://mujweb.cz/zkorinek/historie.pdf>
- [12] Česká technická norma ICS 83.080.01, Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy- část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška
ČSN EN ISO 179-1, idt ISO 179-1:2010
- [13] Česká technická norma ICS 83.120, Vlákny vyztužené plastové kompozity-
Stanovení ohybových vlastností ČSN EN ISO 14125, EN ISO 14125:1998

Seznam obrázků a tabulek

- Obrázek 2.1 Příprava kompozitu ze skleněných vláken.
- Obrázek 2.2 Nalepená skleněná vlákna v obou směrech.
- Obrázek 2.3 Tvrdidlo (hardener) a pryskyřice (resin).
- Obrázek 2.4 Nanášení matrice na vzorek z čedičových vláken.
- Obrázek 2.5 Sešroubované kovové desky.
- Obrázek 2.6 Pec HS122A na vytvrzování matrice.
- Obrázek 2.7 Přístroj Charpyho kladivo.
- Obrázek 2.8 Přístroj pro měření 3-bodého ohybu.
- Obrázek 3.1 Graf průměrné houževnatosti vzorků ze skleněných a čedičových vláken, s vyznačenými odchylkami měření.
- Obrázek 3.2 Přeražené vzorky ze skleněných vláken pod úhlem křížení 60° po zkoušce na přístroji Charpyho kladivo.
- Obrázek 3.3 Graf modulu pružnosti v ohybu ze skleněných a čedičových vláken s vyznačenými odchylkami měření.
- Obrázek 3.4 Graf napětí v ohybu vzorků ze skleněných a čedičových vláken s vyznačenými odchylkami měření.
- Obrázek 3.5 Poškozené vzorky z čedičových vláken po zkoušce měření na přístroji dynamometr pro 3- bodý ohyb.
- Obrázek 3.6 Graf deformace vzorku ze skleněných vláken v závislosti na síle F .
- Obrázek 3.7 Graf deformace vzorku z čedičových vláken v závislosti na síle F .
- Tabulka 3.1 Průměrná houževnatost, statistické údaje a typ přeražení vzorků ze skleněných vláken s různým úhlem křížení k ose kompozitu.
- Tabulka 3.2 Průměrná houževnatost, statistické údaje a typ přeražení vzorků z čedičových vláken s různým úhlem křížení k ose kompozitu.
- Tabulka 3.3 Průměrný modul pružnosti v ohybu, průměrné napětí ohybu a statistické údaje u vzorků ze skleněných vláken.
- Tabulka 3.4 Průměrný modul pružnosti v ohybu, průměrné napětí ohybu a statistické údaje u vzorků z čedičových vláken.