

Experimentální studium elektrických a mechanických vlastností elektrovedivých kompozitů

Bc. Petr Gajoš

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Oficiální zadání

Oficiální zadání

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně dne 10.5.2013

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Experimentální studium elektrických a mechanických vlastností elektrovedivých kompozitů je tématem této práce. V části teoretické se seznámíme se základy výroby kompozitů, s přípravou pro výrobu, s materiály a s případnými problémy které mohou při výrobě kompozitů nastat.

V části praktické pak budeme zkoumat elektrické a mechanické vlastnosti elektrovedivých kompozitů při použití různých základních materiálů a při různých koncentracích plniv.

Klíčová slova: kompozit, epoxid, pryskyřice, vodivost, pevnost, matrice

ABSTRACT

Experimental study of electrical and mechanical properties of electro conductive composites is the subject of this work. Experimental study of electrical and mechanical properties of electro conductive composites is the subject of this work. In the theoretical part, we introduce the fundamentals of composites, preparation for production, materials, and any problems that may occur in the production of composites.

In the practical part we will examine the electrical and mechanical properties of electro conductive composites with different base materials and at different concentrations of fillers.

Keywords: composite, epoxy, resin, conductivity, strength, matrix

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu moji Diplomové práce panu ing. Milanu Žaludkovi Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, pomoc a připomínky, které mi při vypracovávání Diplomové práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat paní doc. Soni Rusnákové Ph.D. za asistenci při výrobě kompozitních desek, firmě Form za přípravu zkušebních vzorků, společnosti Havel Composites za poskytnuté informace a panu mgr. Ondřeji Bošákovi z Materiálovotechnické fakulty v Trnavě patřící pod Slovenskou technickou univerzitu v Bratislavě, za informace o měření elektrických vlastností kompozitních materiálů.

Motto

„Nejmocnější je ten, kdo přemůže sám sebe“

Lao-Tse

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a že odevzdaná verze Diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Obsah

ÚVOD	11
TEORETICKÁ ČÁST	13
1 KOMPOZIT	14
1.1 ROZDĚLENÍ KOMPOZITŮ	16
1.2 VÝZTUŽE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	16
1.2.1 VLÁKNA.....	19
1.2.2 UHLÍKOVÉ SAZE.....	29
1.2.3 UHLÍKOVÝ PRACH.....	30
1.3 MATRICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	30
1.3.1 POLYESTEROVÉ MATRICE (UP).....	31
1.3.2 EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE (EP).....	32
1.4 POUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	35
2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY KOMPOZITŮ	37
2.1 RUČNÍ KLADENÍ	37
2.2 STŘÍKÁNÍ	38
2.3 VYSOKOTLAKÉ VSTŘIKOVÁNÍ – RTM	39
2.4 VAKUOVÁ INFUZE - VFI	39
2.5 PULTRUZE	40
3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI KOMPOZITŮ	42
3.1 DRUHY ZKOUŠEK MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	42
3.1.1 STATICKÉ ZKOUŠKY.....	43
3.1.2 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY.....	45
4 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI KOMPOZITŮ	48
4.1 VODIVOST KOMPOZITŮ	48
4.2 REZISTIVITA	50
4.3 DIELEKTRICKÉ ZTRÁTY	50
4.4 PERKOLAČNÍ PRÁH	51
4.4.1 VLIV SILOVÉHO POLE NA CHOVÁNÍ POLYMERŮ.....	52
4.4.2 ELEKTRICKÁ PEVNOST POLYMERŮ.....	53
II. 54	
PRAKTICKÁ ČÁST	54
5 CÍL LABORATORNÍCH ZKOUŠEK	55
6 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	56
6.1 MATERIÁLY PRO VÝROBU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	56
6.1.1 MATERIÁLY VÝZTUŽE.....	56
6.1.2 EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE L 285.....	56
6.1.3 POLYESTEROVÁ PRYSKYŘICE NORPOL 420-100.....	58
6.1.4 VODOU ŘEDITELNÝ POLYAMIN.....	58
6.1.5 PLNIVA KOMPOZITŮ.....	59
6.2 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	59

6.2.1	POMŮCKY PRO VÝROBU	59
6.2.2	PŘÍPRAVA PODKLADU A TKANINY	60
6.2.3	PŘÍPRAVA PLNIVA	61
6.2.4	PŘÍPRAVA MATRICE.....	61
6.2.5	LAMINACE.....	63
6.2.6	VÝROBA VZORKŮ Z POLYAMINU	65
6.2.7	DĚLENÍ KOMPOZITNÍCH DESEK	66
7	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	67
7.1	ZKOUŠKA OHYBEM.....	67
7.2	ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU (CHARPYHO KLADIVO)	69
8	ZKOUŠKY ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ	70
8.1	MULTIMETR DMM APPA 305	71
8.2	TERMOČLÁNEK TYPU K.....	72
8.3	GOODWILL LCR 819	73
8.4	HIOKI 3522-50	74
9	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	75
9.1	VÝSLEDKY ZKOUŠKY V OHYBU	75
9.2	VÝSLEDKY ZKOUŠKY RÁZEM (CHARPYHO KLADIVO).....	85
9.3	VÝSLEDKY ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	92

9.3.1	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU E0C.....	92
9.3.2	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU E5C.....	93
9.3.3	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU E10C.....	96
9.3.4	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU E15C.....	97
9.3.5	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU E0C-2.....	98
9.3.6	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU E5C-2.....	99
9.3.7	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU P0C.....	100
9.3.8	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU P5C.....	101
9.3.9	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU E10C.....	102
9.3.10	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKU P15C.....	104
9.3.11	VÝSLEDKY MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI TEPLITĚ 20°C....	106
9.3.12	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI TEPLITĚ 20°C.....	109
9.3.13	VÝSLEDKY MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI TEPLITĚ 70°C....	111
9.3.14	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI TEPLITĚ 70°C.....	114
9.3.15	VÝSLEDKY MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI TEPLITĚ 150°C.....	117
9.3.16	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI TEPLITĚ 150°C.....	120
9.3.17	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI FREKVENCI 12 Hz.....	122
9.3.18	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI FREKVENCI 1000 Hz.....	123
9.3.19	GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ VZORKŮ PŘI FREKVENCI 100000 Hz.....	123
10	KONTROLA MIKROSTRUKTURY.....	125
	ZÁVĚR.....	130
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	132
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	136

ÚVOD

Obsahem Diplomové práce je technologie výroby elektrovodivých kompozitních materiálů a zkoumání jejich elektrických a mechanických vlastností. Seznámíme se s materiály a technologiemi potřebnými pro výrobu kompozitu s požadovanými vlastnostmi. V praktické části vyrobíme elektrovodivý kompozit, na kterém budeme zkoušet elektrické vlastnosti kompozitu (vodivost) a mechanické vlastnosti kompozitu (pevnost v ohybu, vrubovou houževnatost)

Kompozitem můžeme chápat materiál, který vznikl spojením dvou a více jednodušších složek, s výrazně odlišnými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Spojením těchto složek získáme materiál naprosto odlišných vlastností, než jaké mají jednotlivé složky samostatně.

Běžný kompozit je tvořen složkou amorfni a složkou krystalickou. Při spojení například polymeru s výztuží ve formě vláken, získáme zcela novou, unikátní skupinu materiálů synergicky kombinujících mechanické vlastnosti výztuže se snadností zpracování polymeru.

Z historického hlediska jsou kompozitní materiály na Zemi již miliony let. Nejběžnějším kompozitním materiálem je dřevo, i když se na něj jako na kompozit nepohlíželo, ale to jen do doby, ve které již byly možnosti pro podrobné prozkoumání samotné struktury dřeva.

Dalším nejrozšířenějším kompozitním materiálem je beton, který se začal používat již v Asýrii okolo 9. stol.p.ř.n.l. Za beton se nejčastěji považuje cementový beton, ve kterém se kamenivo (plnivo) mísí s cementovou kaší (plnivem). Po vytvrzení této směsi vzniká pevný materiál, který je nejrozšířenějším stavebním materiálem.

V dnešní si lidé pod pojmem kompozit představují sklolaminát, uhlíkový kompozit, nebo jiný vláknový kompozit, v kterém jsou jako plnivo použity jiné moderní materiály (kevlar, aramid).

Díky svým vlastnostem a širokému spektru využití by měli kompozitní materiály v blízké budoucnosti zaujímat první příčku mezi nejvíce využívanými konstrukčními materiály.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZIT

Kompozit je takový materiál, u kterého jsou cíleným způsobem modifikovány fyzikální a chemické vlastnosti přidáváním komponent a příměsí do základního materiálu. Přidáváním plniva do základního materiálu se mění jeho vlastnosti, např. větší odolnost vůči chemickým vlivům, vyšší elektrická vodivost atd. Kompozity mohou být tvořeny z nejrůznějších kombinací materiálů. Při kombinaci dvou a více složek dochází k pojíkování vlastností obou materiálů.

Matrice kompozitu určuje základní fyzikální vlastnosti a je pro plnivo nosným médiem. Mezi základní požadavky kladené na matici patří tvarová stálost, pevnost ve smyku, tlaku a pevnost v ohybu. Stále více se uplatňuje trend, aby byly původní vlastnosti vylepšovány plnivem přidaným do matrice kompozitu. Jako plniva kompozitů jsou v praxi používány nejrůznější materiály. Vždy závisí na druhu materiálu, ze kterého je vyrobena matrice. [1].

Podle současného chápání pojmu kompozit musí být k zařazení vícefázového materiálu mezi kompozitní materiály splněny následující podmínky:

- podíl výztuže musí tvořit minimálně 5% objemu kompozitu
- vlastnosti výztuže a matrice (mechanické, fyzikální a chemické) se liší. Výztuž je výrazně pevnější v tahu a obvykle tužší než matrice.
- kompozit musí být připraven smícháním jednotlivých složek kompozitu.[6]

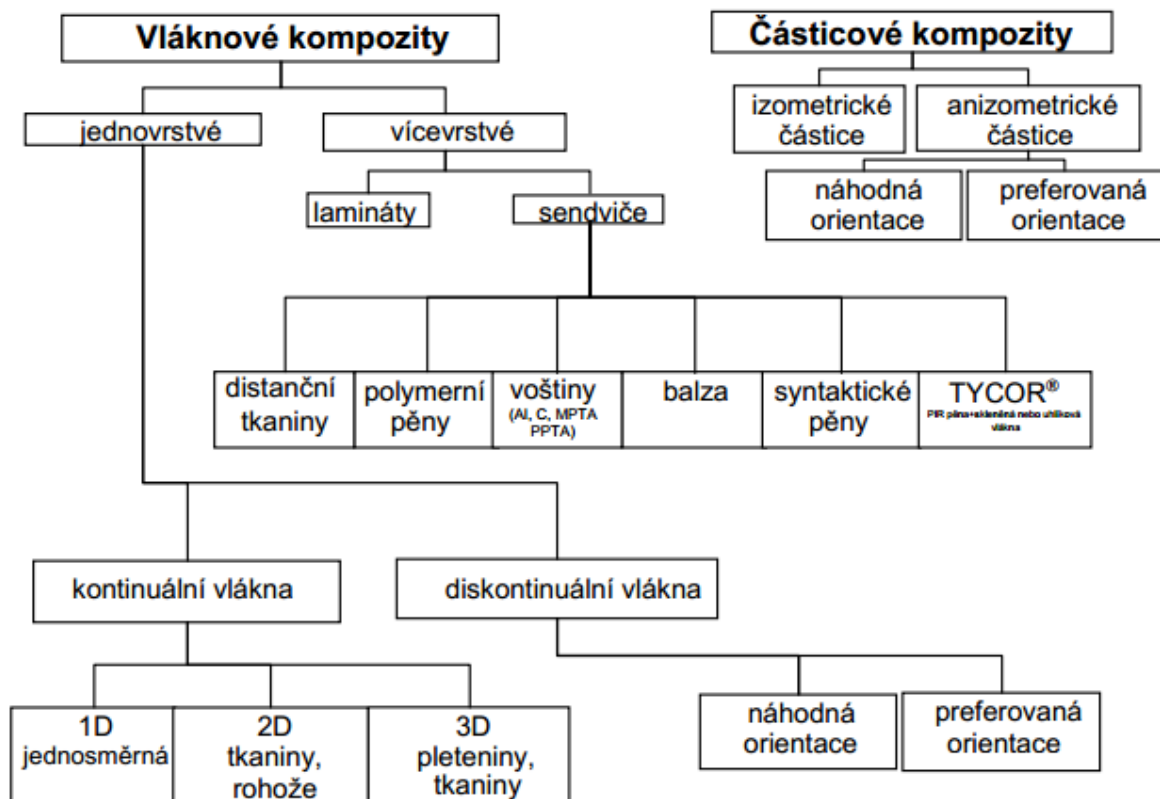
Podle těchto podmínek nelze za kompozit považovat plast, obsahující malá množství tuhých barviv, např. částic sazí (černý pigment) nebo oxidů (např. TiO_2 -bílý pigment) nebo částic elastomerů (přidávaných pro zlepšení houževnatosti; nejde o výztuž, modul pružnosti materiálu se naopak zmenší, ani slitinu kovů, ve kterém během ochlazování nebo při tepelném zpracování došlo k usměrněnému vyloučení tvrdších a tužších fází v podobě tyčinek nebo lamel, nelze považovat za pravé kompozity, protože není splněna třetí podmínka. Naproti tomu kov disperzně zpevněný částicemi oxidů je kompozitní materiál, protože se připravuje mechanickým míšením složek (např. hliník zpevněný částicemi Al_2O_3).

Kompozitní materiály mohou obsahovat vyztužující fáze různých rozměrů. V průmyslu mají největší význam mikrokompozitní materiály, u kterých největší příčné rozměry výztuže (vláken nebo částic) jsou v rozmezí $10^0 - 10^2 \mu\text{m}$. Oproti kovům a jejich slitinám

mají mikrokompozitní materiály menší hustotu a tedy příznivý poměr pevnosti v tahu a modulu pružnosti k hustotě, tj. dosahují velké měrné pevnosti (σ_{pt}/ρ) a měrného modulu (E/ρ).

Makrokompozity obsahují výztuž o velikosti příčného rozměru 10^0 - 10^2 mm a jsou používány především ve stavebnictví (železobeton, tj. beton zpevněný ocelovou výztuží, lehčený beton s obsahem polystyrenového plniva) Za makrokompozity lze považovat i plátové kovy, vícevrstvé materiály a konstrukce (např. chodníky a vozovky).[6]

1.1 Rozdělení kompozitů



Obr. 1 Rozdělení kompozitů podle geometrie a orientace plniva

1.2 Výztuže kompozitních materiálů

Výztuž kompozitu, rovněž nazývána jako plnivo, nese zatížení působící na kompozit. Výztuž může být realizována formou rohože, vlákna nebo tkaniny.

Vlákna - vlákno je útvar charakterizovaný ohebností, jemností a vysokým poměrem délky k průřezu. Za textilní vlákna se považují také ohebné pásy a dutinky, které mají šířku maximálně 5 mm a jsou vhodné pro textilní zpracování.

Vlákenná struktura vzniká vlivem nevratné orientace makromolekul podél osy vláken a částečnou krystalizací, (tj. třírozměrným uspořádáním).[2]



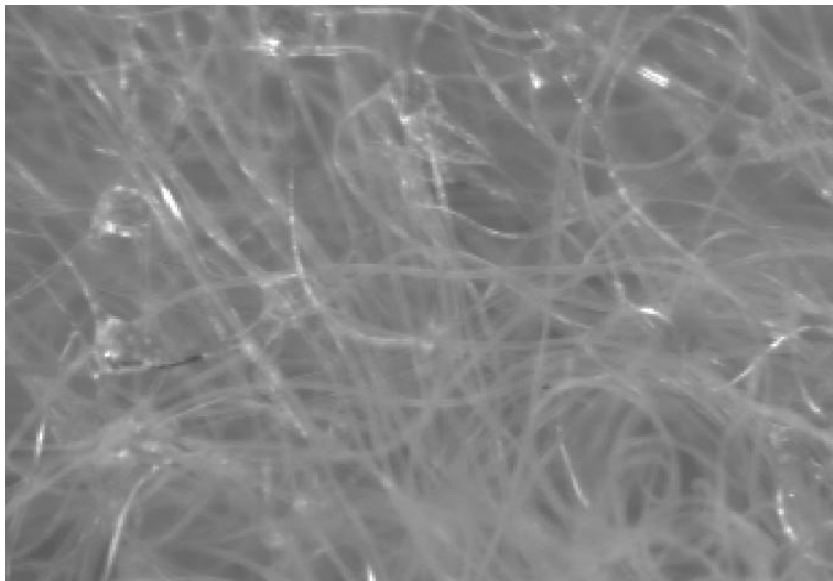
Obr. 2 Skelná vlákna

Rohož - je plošný textilní polotovár používaný výhradně jako výztuž kompozitů.

K nejnámějším druhům patří:

- Netkané textilie: jsou náhodně uspořádaná kontinuální nebo sekaná vlákna jsou uložena plošně vedle sebe, přeložena řadou nití probíhajících příčně pod proměnlivě nastavitelným úhlem (*multiaxial*) a zpevněna po celé šíři propletením nebo vpichováním. Rohože mívají 200-900 g/m², snadno se ohýbají a proto se používají na tvarově složitější dílce.
- Rohože ze sekaných vláken: Sekaná vlákna se stejnoměrně ukládají na dopravní pás a posypávají práškem, který se po zahřátí změní v lepidlo, kterým se vlákna spojují a vytváří rouno. Výrobky jsou poměrně tuhé, používají se s výhodou na velkoplošné dílce a na kompozity odolné proti vodě a chemikáliím.
- Rohože z náhodně uložených nekonečných vláken: Vlákna (nebo roviny) se před zpracováním do kompozitů (např. technologií *RTM*) spojují emulzí a nebo se pro injekční technologie prošívají jako netkané textilie.

- Povrchové (závojové) rohože se vyrábí ze sekaných vláken nebo filamentů ze skla, uhlíku nebo syntetických materiálů. Jsou to netkané, velmi lehké textilie (6-80 g/m²) pojené v matrici kompozitů rozpustnými pojivy. V kompozitech slouží jako povrchová „nárazníková“ vrstva, která má zvýšit odolnost proti korozi nebo chemickým látkám. Známe je také použití k vyztužení *gelcoatu* a *topcoatu* (ochranné vrstvy, které se nanáší na dílce z umělých hmot).[3]

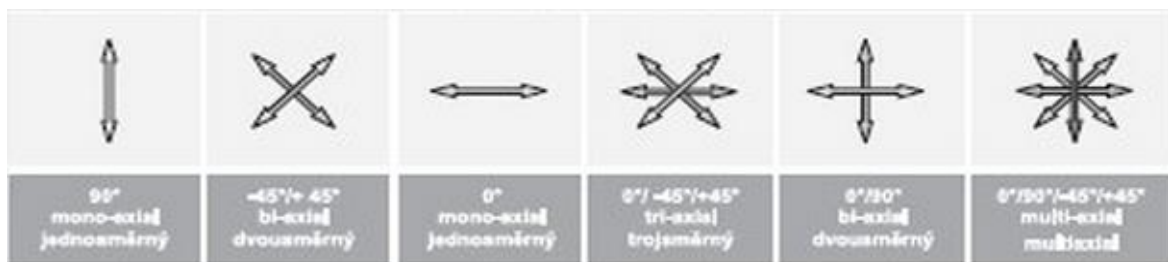


Obr. 3 Rohož s náhodně uspořádanými kontinuálními vlákny

Tkanina má plochý útvar, který vzniká propojením dvou vzájemně kolmo probíhajících soustav nití (vláken, drátů), osnovy a útku.[4]



Obr. 4 Skelná tkanina



Obr. 5 Orientace vláken v tkaninách

Rozdělení kompozitů podle velikosti plniva			
Typ kompozitu	Plnivo	Velikost částic [um]	Struktura
Konvenční	Ba-Sr sklo, křemen	1 - 50	
Mikrofilní	předpolymerizát s amorfni SiO2	1 - 50	<p>Matrix (BisGMA + photoinit. silox) Composite silica particles (prepolymerized matrix containing pyrogenic silica)</p>
	amorfni SiO2	0,04	
Hybridní	Ba-Sr sklo	1-5	
	amorfni SiO2	0,04	
Mikrohybridní	Ba-Sr sklo, syntetické	menší než 1	
	Zr-Si (zirconica-silica)		
	amorfni SiO2	0,02-0,04	
Nanokompozity	nanočástice	0,10 - 0,04	<p>~ 1 nm</p>
	nano klastry - nanočástice /mleté sklo	1-3	

Obr. 6 Rozdělení kompozitů podle velikosti plniva [5]

1.2.1 Vlákná

Skleněná

– skleněné vlákno je materiál vyrobený z velmi malých vláken skla. Využívá se jako výztuž mnoha produktů. Základem skleněných vláken je oxid křemičitý (SiO₂). Vyrábějí se tažením směsi oxidu Si s příměsí oxidů vápníku (Ca), hořčíku (Mg), hliníku (Al) a bóru (B).

První sklo využitě na výrobu vláken bylo sodno-vápenato-křemičitanové sklo známé také jako vlákno typu A. Toto vlákno mělo však nízkou odolnost proti okolním vlivům a tak se vyvinulo vlákno typu E. E-vlákno je jedno z nejpoužívanějších vláken na světě. Označení písmenem E se používá, protože vlákno bylo původně vyvinuto pro elektrické aplikace.

Dále byla vyvinuta vlákna typu S pro potřeby vysokého tahového napětí, vlákna typu C odolná vůči chemikáliím, převážně minerálních kyselin.

Průměry vláken se pohybují v rozmezí přibližně 3-20 μ m. Skleněná vlákna je nutno opatřit tenkou vrstvou laku pro zamezení vysoké křehkosti a lámavosti. Tato vrstva zároveň vylepšuje spojení mezi matricí a plnivem. [5]

Polymerní

– jsou dalšími výztužemi používanými pro kompozitní materiály. Nejvýznamnější polymerní vlákno je ze skupiny aromatických polyamidů (aramidy) a je označováno jako Kevlar. Tato vlákna mají velmi dobrou mechanickou a tepelnou pevnost, ale vyznačují se také poměrně vysokou cenou, která je o řád vyšší než například u skleněných vláken (hybridní tkanina karbon/kevlar = 37 € / m²).

Levnější, méně tuhé a pevné vlákno, se označuje jako Nomex nebo Nylon (polyamid), ty se však pro výrobu kompozitních dílů příliš nepoužívají. Levnější Nomex nedosahuje vlastností jako Kevlar, ale má stejnou odolnost proti vysokým teplotám (žáropevný).

Vlastnosti všech polymerních vláken je, že vlákna nejsou křehká a jsou velice odolná vůči síle působící kolmo na vlákno.

Vlákna Kevlaru se využívají jako výztuž termoplastů a pro využití v oblastech, kde je požadována vysoká odolnost proti opotřebení (ohnivzdorné oděvy, výztuže pneumatik, čluny, filtry, ochranné oděvy, atd.).

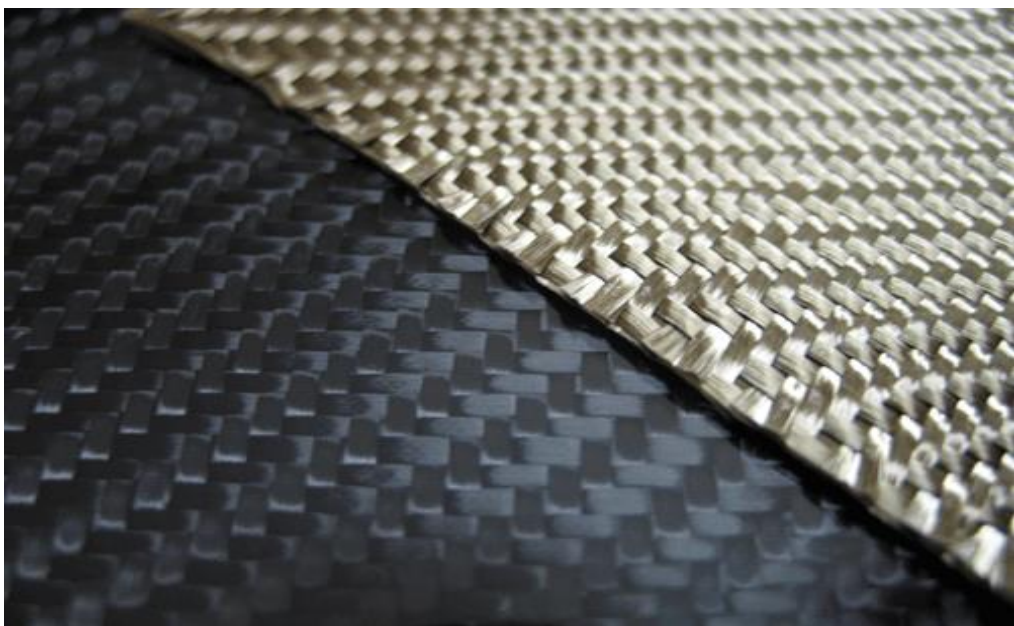
Existuje celá řada polymerních vláken (LCP, BOP, M5, PEN a PBN). Tato vlákna však nejsou ve větší míře využívána pro kompozity, protože jejich modul pružnosti (E) má jen poloviční hodnotu proti vláknům skleněným.[6]



Obr. 7 Neprůstřelná vesta z Kevlaru

Čedičová vlákna

– jsou podobná skelným vláknům typu S, jsou však až o 40 % levnější, mají specifickou hmotnost $2,8 \text{ g/dm}^3$, tažnou pevnost až $4,7 \text{ GPa}$, rozsah praktického použití v teplotách od -260 do $+820 \text{ °C}$ (skleněná vlákna = od -60 do 600 °C). Ve vývoji jsou vlákna o jemnosti $1-3 \text{ }\mu\text{m}$. [7]



Obr. 8 Uhlíková (vlevo) a čedičová tkanina

Přírodní vlákna

- jsou materiály z rostlin, živočichů a nerostů upravené pro textilní použití beze změny jejich chemické struktury. Jen malá část vláken se zpracovává do netkaných textilií a technických výrobků. Z téměř celé produkce se zhotovují příze, každý druh materiálu buďto jako jediný komponent a nebo ve směsi s jinými přírodními a umělými vlákny.

Na rozdíl od umělých vláken obsahují surová přírodní vlákna poměrně značné množství nežádoucích příměsí, které se musí před vlastním spřádáním odstranit (slupky ze semen, smotky vláken a nejkratší vlákna, tuk, pot, úlomky rostlin, exkrementy, bláto atd).



Obr. 9 Vlákna ze srsti Alpaky

Azbestová vlákna

- jsou spřadatelná vlákna z (modrého) amfibolu nebo (bílého) serpentinu. Amfibiolový azbest (česky také zvaný *osinek*) se taví při teplotách kolem 1150°C, serpentin při 1550 (trvalé zatížení jen do 600°C). Vlákna mají tvar trubičky s vnějším průměrem 20-30 nm (tisíckrát jemnější než ovčí vlna), specifickou hmotnost (u bílého azbestu) 2,2-2,6 g/cm³. Vlákna v hornině (před rozdrcením) mohou být až 3 metry dlouhá, ke spřádání se používají délky mezi 10 a 40 mm. K dalším důležitým vlastnostem patří např. odolnost proti louhům (nízká odolnost

proti kyselinám), nízké náklady na získání surového azbestu a snadné zpracování na textilní výrobky. Azbestové textilie se používají na ohnivzdorné oděvy, brzdová obložení, filtry, elektroizolace aj.

Začátkem 20. století bylo poprvé zaznamenáno nebezpečí azbestových vláken pro lidský organismus. Po mnoha pokusech se zvířaty a vyhodnocování statistik úmrtnosti byla ve 30. letech rakovina plic ve spojení s azbestózou uznána jako nemoc z povolání, 80. letech bylo v některých západoevropských státech zpracování azbestu zakázáno a od roku 2005 platí zákaz pro všechny státy Evropské unie.[8]



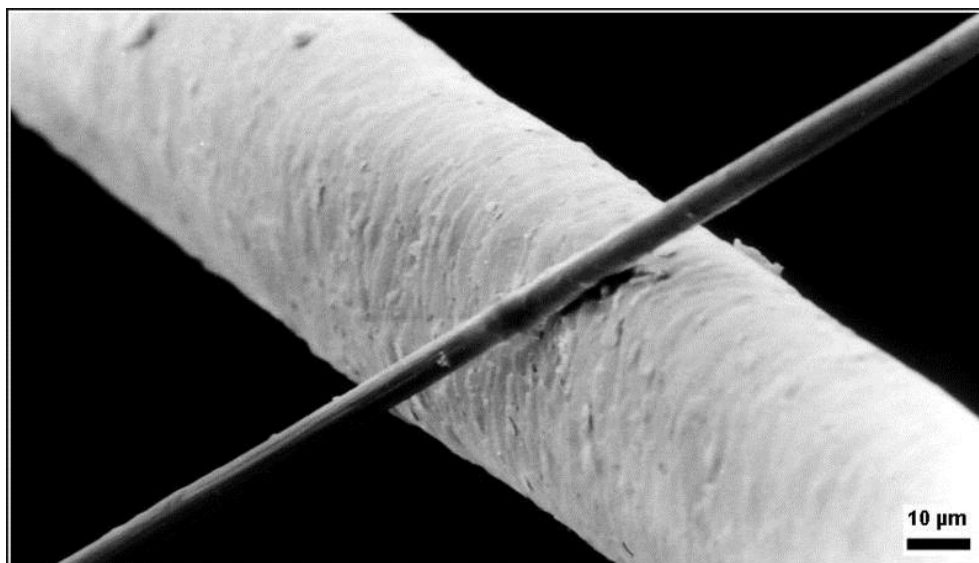
Obr. 10 Azbestová vlákna

Uhlíková vlákna

- je název pro vlákno obsahující uhlík v různých modifikacích. Jedná se o dlouhý, tenký pramen materiálu o průměru 5–8 μm složeného převážně z atomů uhlíku. Atomy uhlíku jsou spojeny dohromady v mikroskopické krystaly, které jsou více méně orientovány paralelně k dlouhé ose vlákna. Krystalové uspořádání způsobuje, že vlákno je na svou tloušťku velmi pevné.

Uhlíková vlákna se používají výhradně pro technické účely a naprostá většina z nich se uplatňuje jako výztuž kompozitů. Podíl výztuže obnáší maximálně 80 %

váhy kompozitu, uhlík se přidává ve formě mletých vláken, sekaných pramenů ("chopped strands"), filamentů, rovingů, rohoží, tkanin, pletenin, splétaných textilií.



Obr. 11 Uhlíkové vlákno v porovnání s lidským vlasem

Mají nejširší spektrum mechanických vlastností, při poměrně malé hustotě ($1,8-2\text{g/cm}^3$). Uhlík ve styku s méně ušlechtilými kovy vytváří galvanický článek, tím dochází k elektrochemické korozi, při níž kov koroduje. Kompozit obsahující uhlíková vlákna proto musí být od kovu oddělen materiálem s izolačními vlastnostmi (např. kompozit se skelnými vlákny).

Je známo, že krystal grafitu je vysoce anizotropní, ve směru kolmém k bazálním rovinám šesterečné mřížky působí jen slabé Van der Waalsovy vazby, kdežto v rovinách bazálních vrstev (tzv. aromatických rovinách) jsou atomy vázány velmi pevnými kovalentními vazbami. Teoretická pevnost grafitového monokrystalu namáhaného tahem ve směru rovnoběžném s bazálními rovinami činí přibližně 100 GPa a teoretický modul pružnosti v tahu je přibližně 1 TPa.

Polykrystalický grafit s náhodně orientovanými krystaly je měkký a drobný v důsledku málo pevné vazby mezi hustě obsazenými rovinami. Modul pružnosti v tahu je pouze 10 GPa a pevnost v tahu 20 MPa. Při smykovém namáhání ve směru rovnoběžném s rovinami se pevné kovalentní vazby mezi uhlíkovými atomy v bazálních rovinách neporuší a dochází k snadnému pohybu těchto rovin vůči sobě. To je příčinou známého mazacího účinku grafitu (např. při suchém tření).

Vysoké pevnosti a tuhosti „aromatických“ rovin je využito v uhlíkových vláknech, ve kterých jsou bazální roviny orientovány převážně rovnoběžně s podélnou osou vlákna.

Na rozdíl od krystalu grafitu nejsou „aromatické“ roviny ve vláknu pravidelně uspořádány ve sledu ABABA... (jak by odpovídalo hexagonální mřížce), ale jsou vedle sebe umístěny nahodile, v tzv. turbostratickém uspořádání.

Vzdálenost mezi „aromatickými“ rovinami je potom mírně větší, než je tomu u mřížky grafitu (0,34 – 0,345 nm oproti 0,335 nm u grafitu). Z těchto důvodů se nesprávný termín „grafitová vlákna“, ačkoliv některé zahraniční firmy pro vysoce tuhá uhlíková vlákna tento název používají.

Uhlíková vlákna se dnes vyrábějí převážně z vláken polyakrylonitrilových (PAN) a nejnovější z vláken novoloidu – vláken fenol-aldehydových.[6]

	Novoloid (Kynol)		PAN	
Teplota zpracování [°C]	800	2000	1500	2000
Hustota [g/cm ³]	1.5	1.4	1.8-1.9	1.9-2.0
Obsah uhlíku [% hmotnostních]	95	99.8	93	99.5
Pevnost v tahu [MPa]	500-700	400-600	1500-3000	
Poměrné prodloužení při přetržení, %	2.0-3.0	1.5-2.5	1.0-1.5	
Modul pružnosti [GPa]	200-300	150-200	150-300	
Teplota počátku ztráty hmotnosti na vzduchu [°C]	476	573	560	
Teplná odolnost, ztráty hmotnosti [%]	350°C vzduch	0	0	
	400°C vzduch	2.8	2.2	
Chemická afinita k epoxidovým pryskyřicím	dobrá		horší	

Obr. 12 Porovnání vlastností uhlíkových vláken ze dvou syntetických polymerních prekurzorů

Ve směru osy vlákna jsou protáhlé (acikulární) mikrokristaly turbostratického uhlíku v případě vláken vyrobených z PAN tvořeny vždy několika paralelními aromatickými rovinami. V příčném řezu vlákna pásy nedosahují větších rozměrů a jsou různě stočeny. V podélném směru vlákna jsou mikrokristaly vzájemně natočeny pod malými úhly (lze říci, že pás rovnoběžných aromatických rovin je zvlněný).

Mikrokristaly lze v pásách detekovat RTG metodou, mají charakteristickou délku 10 – 50 nm.

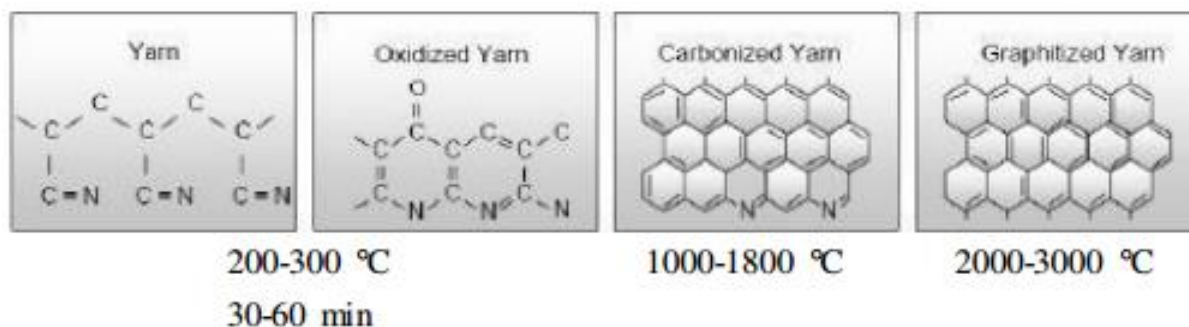
Z tloušťky pásů (transmisní elektronový mikroskop) lze odvodit, že je tvoří 10 – 30 paralelních aromatických rovin. Vláknem obsahuje též mikroskopické póry protažené ve směru podélné osy vlákna. Vedle těchto mikroskopických porů vláknem obsahuje i submikroskopické dutiny mezi jednotlivými mikrokrystaly. Submikroskopické dutiny mají v příčném řezu rozměr okolo 3 nm. Důsledkem malého odklonu aromatických rovin mikrokrystalů od podélné osy vlákna je, že vlákna z PAN nedosahují větších modulů pružnosti. Přesto mají modul pružnosti E větší než ocel.

Vysokou pevnost tzv. středněmodulových vláken (IM vlákna o pevnosti až 7 GPa) zaručují jemné mikrokrystaly a minimální množství defektů mezi nimi.

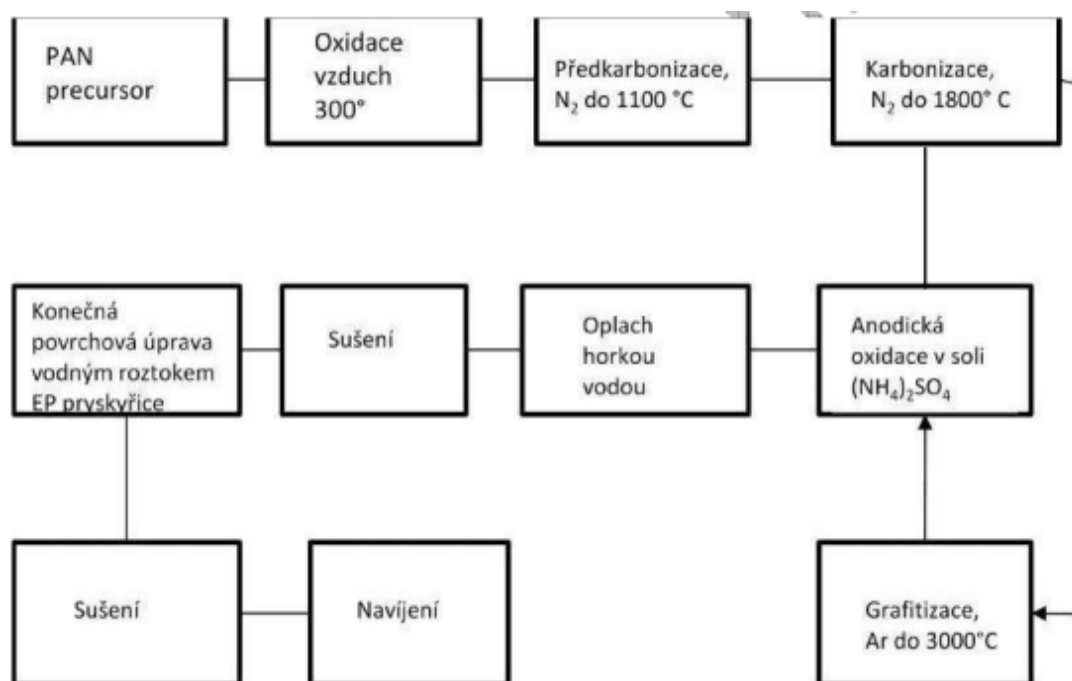
Postup výroby uhlíkového vlákna z PAN je možno rozdělit do tří etap:

- **stabilizace** – při teplotách 200 – 300°C, za působení tahového napětí a v oxidačním prostředí je vláknem PAN stabilizováno. Dojde k cyklaci vazeb v řetězci makromolekuly PAN (vytvoření paralelních žebříkovitých makromolekul) a k vzájemnému zesílení makromolekul kyslíkovými můstky. Vláknem při této etapě zčerná a stane se netavitelným.
- **karbonizace** – při teplotách od 1000 do 1800°C v inertním prostředí (velice čistý dusík) ve vláknem proběhne karbonizace (odstraní se vodík a nižší obsah dusíku a kyslíku, 80 – 95% tvoří uhlík). Vláknem dosáhne maximální pevnosti v tahu.
- **grafitizace** – při teplotách do 3000°C v inertním prostředí (argon). Ještě více se zvětší obsah uhlíku a umožní se vznik dokonalejších mikrokrystalů. Vyvinutější mikrokrystaly vedou k zvětšení tuhosti vlákna.

U vláken z PAN, je přírůstek tuhosti dosažen za cenu poklesu pevnosti, protože zvětšení velikosti mikrokrystalů vede též ke zvětšování defektů mezi nimi. U nejtužších vláken je používáno dlužení při grafítizaci. Při dlužení se změni úhel odklonu mikrokrystalů od osy vlákna (tzv. „vysokomodulová (UHM) vlákna PAN).[6]



Obr. 13 Změny struktury PAN vlákna

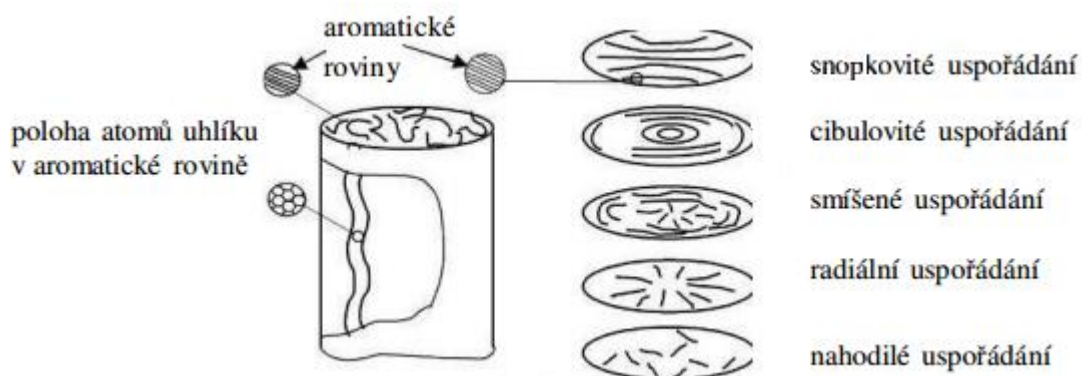


Obr. 14 Proces výroby uhlíkových vláken z PAN

Pro výrobu nejtuzších uhlíkových vláken se ovšem používá dehet (zbytkový materiál po destilaci ropy, nebo černého uhlí). Vysoce tuhá a přitom pevná vlákna poskytuje pouze tzv. mezifázový dehet.

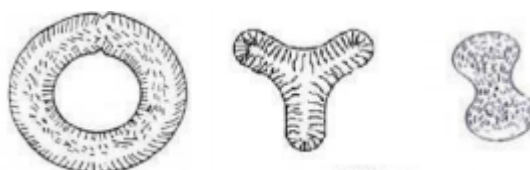
Zvláknění dehtu ve viskózním stavu se aromatické roviny orientují podél osy vlákna. Špičkové typy vláken se při grafitizaci ještě dluží. Tím získají jinou mikrostrukturu než vlákna z PAN. Krystaly jsou pak téměř rovnoběžné s osou vlákna.

Jejich převládající uspořádání v příčném řezu je možné charakterizovat jako snopkovité, cibulovité, radiální, smíšené nebo nahodilé.



Obr. 15 Mikrostruktura uhlíkových vláken kruhového průřezu – vlevo vlákno PAN, vpravo vlákna z mezofázových dehtů

Nejtužší komerčně vyráběná vlákna z dehtů dnes dosahují modulu pružnosti v tahu E přes 900 GPa. Běžné typy vláken z dehtů ještě do nedávna nedosahovali ani pevnosti vláken z PAN. Souviselo to s tím, že výsledná pevnost je určována defekty mikrostruktury, kdežto modul pružnosti v tahu závisí na dokonalosti a velikosti mikroskopických krystalů a úhlů odchýlení aromatických rovin od osy vlákna.[6]



Obr. 16 Průřezy uhlíkových vláken

Druhy uhlíkových vláken:

- karbonizovaná vlákna, která mají střední modul pružnosti a dobrou pevnost v tahu
- vysokomodulová grafitizovaná vlákna
- vlákna vysoce pevná, se středním modulem pružnosti
- vlákna s vysokým modulem pružnosti

- dutá uhlíková vlákna
- diskontinuální uhlíková vlákna porušená tahem
- mletá uhlíková vlákna
- recyklovaná uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna se vyznačují těmito vlastnostmi:

- anizotropií mechanických vlastností
- křehkostí
- v podélném směru má záporný koeficient teplotní délkové roztažnosti (v příčném směru je koeficient kladný)
- v podélném směru mají vlákna malý elektrický odpor (jen $1,9 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{m}$)

Aktuální ceny uhlíkových materiálů jsou k nalezení na webových stránkách:

http://compositeenvisions.com/index.php?main_page=pricelist

1.2.2 Uhlíkové saze

V našem případě budou použity uhlíkové saze.

Saze jsou běžná polymerní plniva používaná pro zpevnění a zlepšení zejména fyzikálních vlastností jako je elektrická vodivost a mechanické vlastnosti.

Skládají se z práškových forem vysoce disperzních primárních uhlíků vyrobených kontrolovanou párovou pyrolýzou uhlovodíků. Existuje několik různých typů sazí, vyrobených různými průmyslovými technologiemi. Průměrné rozměry částic několika komerčně vyráběných sazí se pohybují v rozpětí od 0,01 do 0,4 μm . [9]

Vyrábí se nedokonalým spalováním uhlovodíků za nedostatku kyslíku. 96 – 99% objemu tvoří uhlík, 0,5 - 2,5% kyslík a 0,1 – 1% vodík (můžou také absorbovat vzdušnou vlhkost).

Využívají se jako barvivo jak průmyslové, tak potravinářské a v gumárenském a plastikářském průmyslu (plnivo pneumatik, polymerů, aj.)

1.2.3 Uhlíkový prach

Jsou to mletá uhlíková vlákna délek od 100 - 300 μ m, využívající se jako plnivo pryskyřic při výrobě kompozitních materiálů.

Využívají se zejména pro vylepšení mechanických vlastností a k zajištění vodivosti kompozitních materiálů. Dříve se vodivosti uhlíkového prachu využívalo při výrobě uhlíkových mikrofonů.

1.3 Matrice kompozitních materiálů

Matricí myslíme složku kompozitního materiálu, která spojuje a chrání výztuž, která je většinou křehká. Důležitým úkolem matrice je přenášení zatížení na výztuž. Je poddajnější než výztuž a také má menší pevnost v tahu.

Z reaktoplastických matric nejčastěji používáme vinylestery (VE), epoxidy (EP) a nenasyčené polyestery (UP). Z termoplastických jsou to polypropylen (PP) a polyamid (PA)

Užitné vlastnosti	Technologické vlastnosti
Pevnost	Viskozita pryskyřice
Modul pružnosti	Smáčivost vláken
Prodloužení při přetržení	Doba želatinace
Houževnatost	Skladovatelnost
Odolnost protitečení	Reakční rychlost
Tepelná odolnost	Doba želatinace
Hořlavost	Obsah těkavých složek
Navlhavost	Smrštění při reakci
Odolnost proti UV záření	Citlivost na poměr složek
Dielektrické vlastnosti	Vedlejší produkty vytvrzování
Chemická odolnost	Adheze k povrchu formy

Obr. 17 Důležité faktory při výběru pryskyřice

Matrice mohou být také nanášeny přímo na tkaninu a tím vzniknou polotovary pro výrobu kompozitních materiálů. Tyto tkaniny s matricí nazýváme prepregy.

Pro vytvoření pohledové strany o vysoké jakosti využíváme materiály na bázi nenasyčených epoxidových (EP) a polyesterových (UP) pryskyřic, zvané gelcoaty. Tyto materiály mohou obsahovat pigmenty, tixotropní přísady, stabilizátory proti UV záření, retardéry hydrolýzy aj.

Poškozený gelcoat je možno po předešlém obroušení brusným papírem (zrnitost 120 – 240) ošetřit tzv. topcoatem, který následně vyleštíme do původního vzhledu.

1.3.1 Polyesterové matrice (UP)

Jsou nejrozšířenějším druhem matric (pryskyřic). Patří mezi velmi univerzální a poměrně levné druhy matric

Je to nenasyčený lineární polyester připraven ze dvou funkčních složek (polypropylenglykolu a buďto kyseliny ftalátové, kumaronové maleinové nebo anhydridu).

Tzv. předpolymer, který nám vznikne reakcí těchto složek je rozpuštěn v reaktivním rozpouštědlu (většinou ve styrenu). Pro přípravu nestyrenových polyesterových matric se jako reaktivní rozpouštědlo používá například některý typ metakrylátu.

Pro vznik síťovací reakce se u polyesterových matric jako iniciátoru využívají organické peroxidy (nejčastěji methylethylketonperoxid (MEKP)). Urychlovačem síťovací reakce může být například oktoát kobaltnatý.

Dobu gelace a dobu vytvrzení můžeme ovlivnit správnou volbou vytvrzovacího systému. Proto jsou polyesterové pryskyřice vhodné pro všechny druhy technologií zpracování.

Samotnou viskozitu pryskyřice nám ovlivňuje celkový podíl reaktivního rozpouštědla.

Toho využíváme například u technologií navíjení (SCRIMP), injektáže (VIP) a infúze (RTM), kde požadujeme nízkou viskozitu pryskyřice (0,2 – 0,4 Pa.s). Nízké viskozity dosáhneme přidáním většího objemu rozpouštědla, to nám ale negativně ovlivní výslednou pevnost a tepelnou odolnost matrice kompozitu.

Výslednou viskozitu pryskyřic můžeme také ovlivnit přidáním různých plniv (mikrokuličkami, skleněnými vločkami, uhlíkovým prachem či sazemi, tixotropických vlastností můžeme dosáhnout přidáním plniv CAB-OSIL nebo Aerosil 200)

Do pryskyřic můžeme přidat také přísady zabraňující odpařování rozpouštědla. Tyto přísady (vosky) jsou účinné, pouze pokud je pryskyřice v klidu. Jakmile začneme s pryskyřicí pracovat, rozpouštědla se začnou odpařovat.

Nemodifikované nenasyčené polyesterové pryskyřice mají velké smrštění při vytvrzování (7 – 8 %). Jsou křehké a snadno v nich vznikají mikrotrhlínky. Elektrické vlastnosti (nevodivost, relativní permitivita) mají dobré, stejně jako odolnost proti ultrafialovému záření. [6]

Polyesterová pryskyřice má dobré smáčecí vlastnosti při použití na skleněná vlákna, ale výsledná pevnost mezi matricí a skleněnými vlákny je menší (v porovnání s epoxidovými pryskyřicemi).

Základní druhy nenasyčených polyesterových pryskyřic jsou:

- orhoftalová – nejnižší cena, maximální pracovní teplota 80°C
- izohtalová – dražší a kvalitnější než orhoftalová, lepší chemická a tepelná odolnost, maximální pracovní teplota 90°C
- fumarová – dobrá chemická a tepelná odolnost, maximální pracovní teplota 130°C
- chlorftalová – je nehořlavá, mechanické vlastnosti jsou horší, maximální pracovní teplota 140°C
- tereftalová – velmi dobrá chemická i tepelná odolnost, pryskyřice pro pstruzi je levnější než oftalová pryskyřice[6]

1.3.2 Epoxidová pryskyřice (EP)

Pro konstrukční použití jsou epoxidové pryskyřice nejvšestrannější. Mají nejširší rozsah vlastností v závislosti na jejich chemické struktuře, použitém tvrdidlu a na případných modifikujících příměsích.

V porovnání s ostatními reaktoplasty mají dobrou houževnatost, odolnost proti tečení a únavě, výbornou adhezi k plnivům, dobrou teplotní a chemickou odolnost, malé smrštění při vytvrzování a mají dobré elektrické vlastnosti (nevodivost).

Vzhledem k přítomnosti hydroxylových skupin jsou pryskyřice navlhavé. Plastifikační účinek vody značně zhorší teplotní odolnost a teplota skelného přechodu pryskyřice se posune do vyšších hodnot.

Molekulová hmotnost řadí epoxidové pryskyřice mezi kapaliny až tuhé nelepivé látky. Viskozita je vyšší než u polyesterových pryskyřic.

Užitné vlastnosti pryskyřice lze v širokém rozmezí měnit pomocí reaktivních ředidel případně přidáním modifikačních složek pro zvýšení houževnatosti.

S výjimkou tlustostěnných dílů probíhá vytvrzovací reakce u epoxidových pryskyřic stupňovitě, takže díky pomalé reakci nevznikají při vytvrzovacím procesu problémy s exotermickou povahou.

Výrobky z epoxidových pryskyřic neobsahují dutiny (bublinky plynu), které vznikají při uvolňování vedlejších produktů při vytvrzování.

Pro zkrácení vytvrzovacího procesu můžeme použít urychlovače (většinou benzyldimethylamin – BDMA)

Epoxidové pryskyřice jsou sice dražší oproti jiným pryskyřicím, ale můžeme je využít pro všechny technologie.

Základní druhy epoxidových pryskyřic:

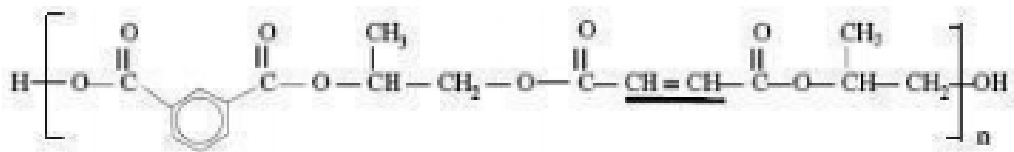
- glicidyly bisfenolu A, např. diglycidylether BP A – zkratka DGEBA
- novolakové pryskyřice, např. glycidylether fenolického novolaku (vyšší teplotní odolnost)
- třifunkční epoxidy, např. triglycidyletherifenyl methan (TGETPM) nebo triglycidylaminofenol (TGAF)
- tetrafunkční epoxidy, např. tetraglycidylmethyldianilin (TGMDA)[6]



Obr. 18 Orthořtalová nenasycená epoxidová pryskyřice

S rostoucí funkcí epoxidu roste hustota síť ve vytvrzeném stavu, což spolu s existencí aromatických skupin v řetězci dává větší teplotu skelného přechodu a tedy i vyšší teplotní odolnost (maximální teplota skelného přechodu je u epoxidové pryskyřice TGMDA 240°C). [6]

Rozpouštědla příliš viskózních epoxidů jsou jednofunkční epoxidy (zvyšují lepidlost a křehkost) a peroxidové a dvoufunkční epoxidy s alifatickými řetězci (butylenglykolglycidylether – BGDGE), které zvyšují houževnatost bez snížení teplotní odolnosti.



Obr. 19 Isořtalová nenasycená epoxidová pryskyřice

Tvrdidla pro epoxidové pryskyřice jsou:

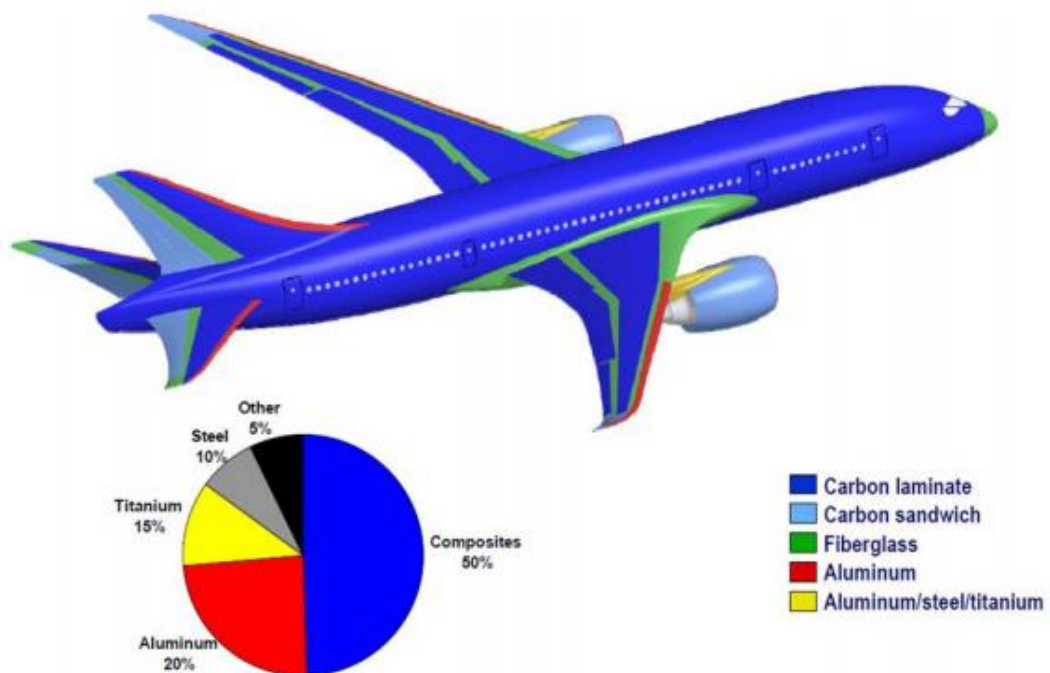
- alifatické aminy, např. diethylentriamin – DTA, tritriethyltetraamin – TETA, pro vytvrzování za normálních teplot
- polyamidy - poměr tvrdidla a pryskyřice se může měnit v širokém rozmezí, při podílu 1:1 je pryskyřice nejhouževnatější
- cykloalifatické aminy, např. aminoethylpiperazin – AEP, diethylaminopropylamin – DEAPA
- aromatické aminy, např. methylfenyldiamin – MPDA, methyldianilin – MDA a jejich eutektické směsi, diaminodifenylsulfon – DDS je tvrdidlo pro vícefunkční epoxidy

- anhydridy karboxylových kyselin, např. hexyhydroftalátový anhydrid – HHPA, trimelitanhydrid – TMA, benzofenontetrakarboxylový dianhydrid – BTDA, anhydrid kyseliny hexachlorkarboxylové – CA, anhydrid kyseliny dodeciljantarové – DDSA
- Lewisovy tvrdidla, především komplex trifluorid bóru s mono-ethylaminem – BF₃-MEA, který může fungovat též jako urychlovač v kombinaci s jiným tvrdidlem, např. DDS
- kyanamidy, především dikiyandiamid - DICY

1.4 Použití kompozitních materiálů

Kompozitní materiály mají díky svým vlastnostem velké množství uplatnění. Jejich nespornou výhodou je jejich pevnost při nízké zachování hmotnosti.

Vlastnosti kompozitů můžeme různě modifikovat a tím získat materiál, který splňuje naše požadavky. Můžeme vytvořit materiál odolný vysokým teplotám, povětrnostním podmínkám, agresivním prostředím, vysokým zatížením, materiál s dobrými izolačními vlastnostmi, ale po přidání plniv můžeme získat vodivý materiál.



Obr. 20 Využití kompozitních materiálů u letadla Boeing 787 Dreamliner [6]

Těchto předností můžeme využít ve:

- strojírenství – části strojů
- armáda – helmy, ochranné prostředky
- stavebnictví – konstrukční prvky, podlahy
- zdravotnictví – zubní lékařství
- letectví – opláštění a vybavení letadel
- automobilovém průmyslu – kapotáž, části motorů
- hudba – nástroje s uhlíkových vláken
- sportu – hokejky, boardy, aj.



Obr. 21 Příklady použití kompozitních materiálů

2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY KOMPOZITŮ

Tak jako všechny výrobky, tak i výrobky z kompozitních materiálů mají určité technologické postupy výroby, pomocí kterých získáme ze základních materiálů konečný výrobek.

Při výrobě kompozitů využíváme formy, které mají negativní tvar výrobku.

Formy máme:

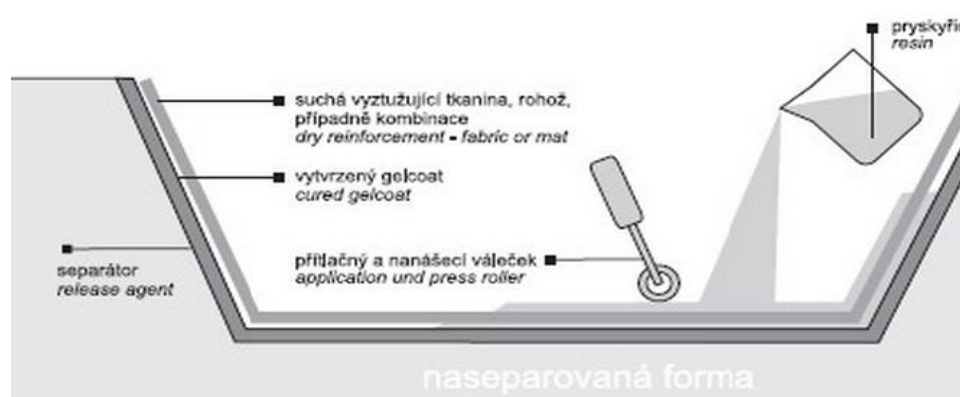
- otevřené
- uzavřené

2.1 Ruční kladení

Základní metodou výroby kompozitu je ruční kladení na/do otevřené formy. Ručním kladením lze vyrobit velmi rozměrné a tvarově náročné výrobky.

Pro snadnou práci s jednotlivými komponenty je vhodné, když je výztuž ve formě tkaniny nebo rohože a pryskyřice při výrobní teplotě musí téct.

Pomocí štětce, stěrky nebo válečku provádíme prosycování. Jde o činnost, při které se snažíme do výztuže dostat co nejvíce pryskyřice a zároveň z budoucího kompozitu vytlačit co nejvíce vzduchových bublinek, které nám nepříznivě ovlivňují mechanické vlastnosti kompozitu. Po prosycení následuje vytvrzování, které je nejčastěji prováděno při pokojové teplotě.



Obr. 22 Schéma výroby kompozitu ručním kladením [12]

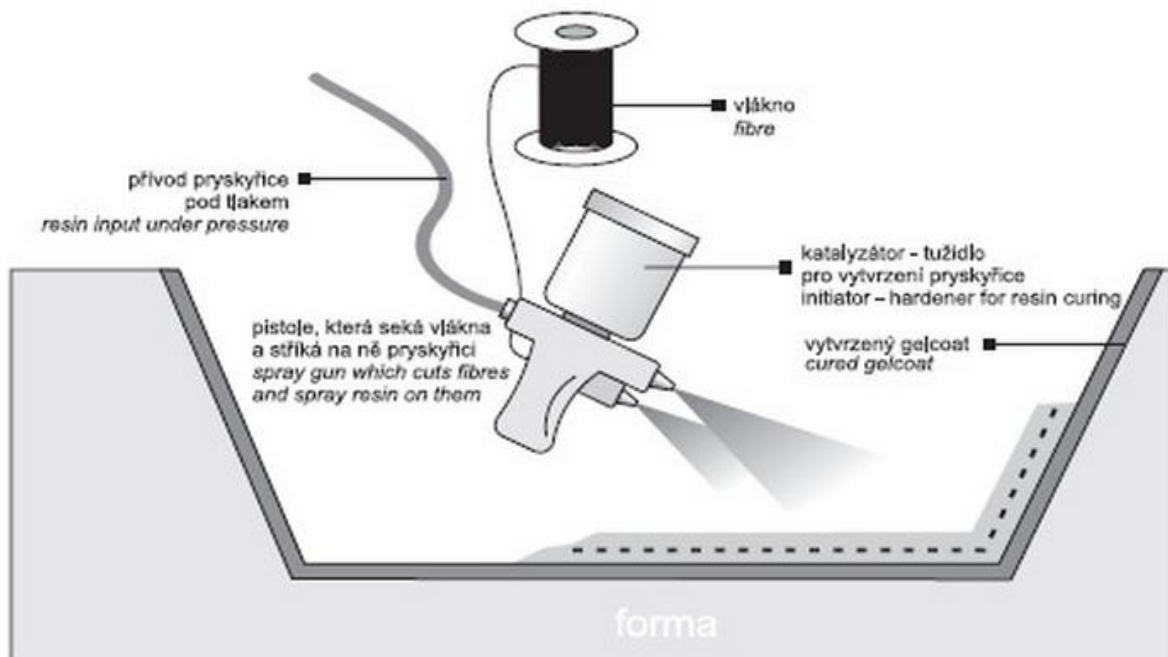
2.2 Stříkání

Katalyzovaná pryskyřice s krátkými vlákny jsou stříkáním nanášeny na otevřenou formu.

Při ručním stříkání je do speciální stříkací pistole zaveden roving (svazek nekonečných vláken bez zákrutu), který je sekán na drobné vlákna.

Protože se při této technologii značně odpařuje reaktivní rozpouštědlo, je potřeba použít do pryskyřice větší množství rozpouštědla.

Protože jsou pracovníci ohroženi nebezpečnými výpary z pryskyřic, rozšiřují se ve výrobě pomocí stříkání stříkací roboti.



Obr. 23 Schéma výroby kompozitu stříkáním [12]

2.3 Vysokotlaké vstřikování – RTM

Jde o metodu, při které je výztuž kladena do formy. Po uzavření formy se do dutiny formy začne vstřikovat pryskyřice.

Po dokonalém vyplnění formy dochází k vytvrzování kompozitu.

Po dostatečném vytvrzení se forma otevře a výrobek se vyjme.

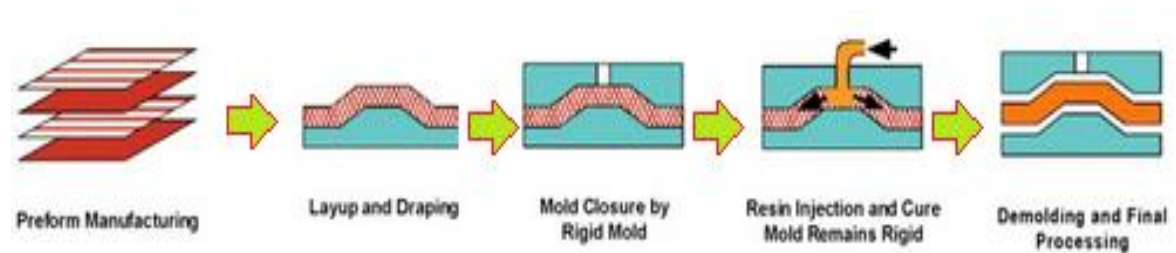
Je důležité, aby byla pryskyřice dostatečně tekutá, aby zatekla do celého prostoru formy.

Pro přetlačení je potřeba vysokého tlaku pryskyřice. Při použití více vrstev výztuže se může stát, že se neprosytí všechny vrstvy. Správné ustavení výztuže ve formě je také velmi důležité z toho důvodu, aby se při vstřikování výztuž neposunula.

Pokud chceme použít pryskyřici s plnivem, musíme si dát pozor na vhodné kladení výztuže, protože pryskyřice s plnivem má tendenci proudit po směru vláken.

Výhodou této metody je, že všechny plochy výrobku jsou takové jakosti, jaké je povrch formy, ovšem velkou nevýhodou je nelze vyrábět složitější tvary.

Tato metoda se může podpořit použitím vakua při odsávání vzduchu z formy. Tato metoda se nazývá Vacuum assisted RTM - VARTM



Obr. 24 Postup výroby pomocí RTM

2.4 Vakuová infuze - VFI

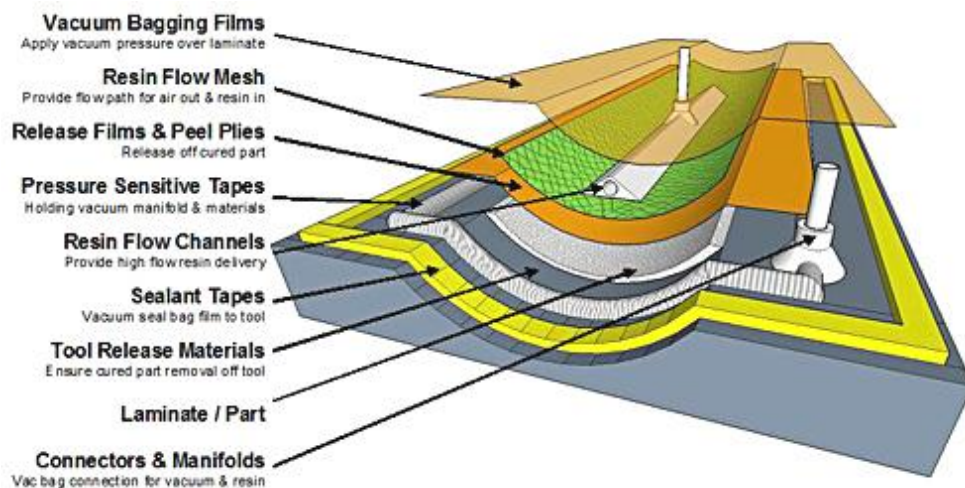
Technologie, při níž se využívá k prosycení výztuže vakuum. Výztuž je umístěna na otevřené formě. Forma musí být dostatečně ošetřena voskem, aby šel výrobek z formy snadno sundat. Jednotlivé vrstvy tkaniny se nakladou na sebe. Na poslední vrstvu se umístí odtrhová tkanina a rozvodová tkanina. K dobrému rozvodu pryskyřice je dobré použít tzv.

resin track, což je speciální pletenina odolná vůči zborcení, která se umísťuje pod přívod pryskyřice. Ta je přiváděna polyethylenovou hadicí o dostatečném vnitřním průměru.

Vzduch je odsáván vývěvou taktéž pomocí polyethylenových hadic a spirálových hadic.

Po vytvoření přívodového a odvodového systému, je forma připravena pro překrytí vakuovou fólií. Ta je utěsněna například těsnící páskou, která nám zajistí solidní těsnost pro vytvoření požadovaného vakua.

Při samotném procesu vakuové infuze je pryskyřice nasávána ze zásobníku. Ta následně proudí formou kde, při správném navržení formy, vyplní formu a prosytí výztuž. Přebytečná pryskyřice následně přepadne do rezervoáru a tím ochráníme vývěvu před poškozením.



Obr. 25 Součásti formy pro vakuovou infuzi

2.5 Pultruze

Pultruzí rozumíme metodu pro výrobu kontinuálních kompozitních profilů.

Rozeznáváme otevřený a uzavřený výrobní postup.

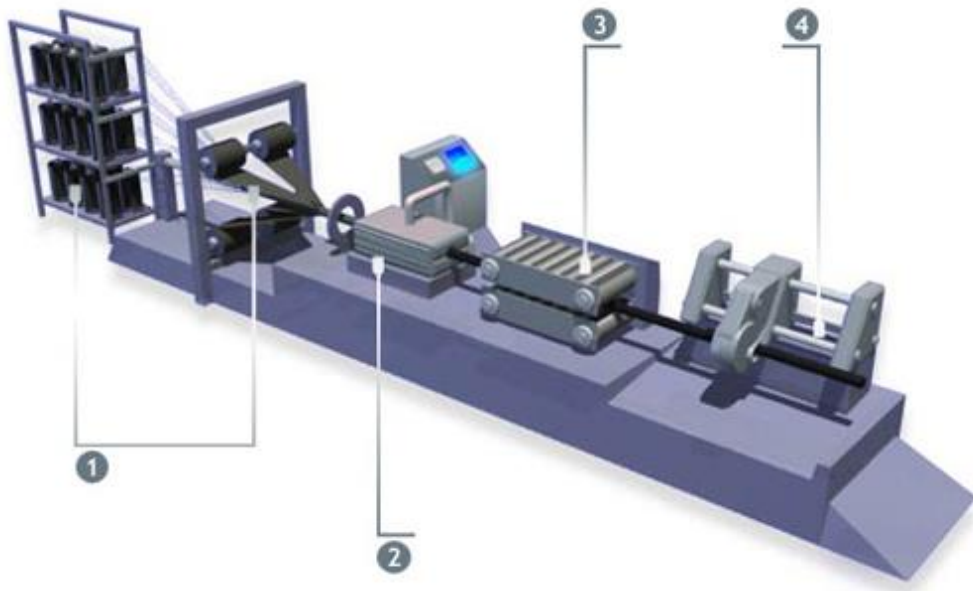
Při otevřeném postupu se vedou vyztužovací vlákna přes ponořovací válec do vany s pryskyřicí. S pomocí zvláštní mřížky se rozdělením vláken tvoří žádaný profil. Vlákna se

pak smáčí v pryskyřici a prochází několika oddíly, ve kterých se směs vláken a pryskyřice postupně formují až na konečný tvar.

Při uzavřeném postupu se dostávají všechna vyztužovaná vlákna do styku s pryskyřicí teprve při formování, zde však pod tlakem. Tímto výrobním postupem se dosahují vyšší objemy obsažených vláken, lepší impregnace a snížení emisí styrenu.

Kompozit tvrdne v pultruzním zařízení kontinuálně při teplotách mezi 100 a 200°C. Vytvrzený profil se pak může rozřezat na libovolně dlouhé díly.

Celý proces se udržuje v chodu pomocí tažného zařízení, které nepřetržitě táhne vytvrzený profil spolu s přiváděnými vlákny.[12]



Obr. 26 Uzavřená pultruzní linka (1 – výztuž, 2 – tlaková pultruze, 3 – odtah, 4 – dělicí zařízení)

3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI KOMPOZITŮ

Materiály jsou při používání vystaveny různému namáhání, např.:

- tah
- tlak
- krut
- ohyb
- smyk aj.

Tato namáhání nepůsobí samostatně, ale v různých kombinacích. Materiál je teda namáhán složeným namáháním. Tím může být například současné namáhání materiálu tahem, ohybem i krutem. Aby materiál odolal těmto námahám, musí mít určité vlastnosti, jako je pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost a jiné.

Na mechanické vlastnosti má značný vliv i teplota. Při změnách teploty se mění krystalická struktura látky a tím pádem i vlastnosti dané látky. [14]

3.1 Druhy zkoušek mechanických vlastností

Mechanickými vlastnostmi materiálů získáváme základní údaje, potřebné pro návrh tvaru, rozměrů a materiálů konečného výrobku.

Z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělujeme mechanické zkoušky takto:

- **statické zkoušky** – při nich zatížení zvětšujeme poměrně zvolna. Působí obvykle minuty, při dlouhodobých zkouškách dny až roky.
- **dynamické zkoušky** – rázové a cyklické – při kterých působí síla nárazově po zlomek sekundy. Při cyklických zkouškách (tzv. únavové zkoušky) se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu až do mnoha milionů jejich celkového počtu.
- **zvláštní mechanické zkoušky** – jejich údaje je možno považovat za směrné, neboť výsledky zkoušek zde závisí na mnoha vedlejších činitelích. Z těchto zkoušek jsou nejdůležitější zkoušky tvrdosti.[14]

3.1.1 Statické zkoušky

Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálů. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázu, a to buď pouze jednou, nebo zatěžování několikrát opakujeme. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti. Podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu.[14]

Pro samotné zkoušky využíváme buďto jednoúčelové stroje (pouze pro jeden druh zkoušek), nebo víceúčelové univerzální zkoušecí stroje (lze provádět různé druhy zkoušek).

Univerzální zkušební stroj skládá se z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního zařízení. Do tlakového válce se přivádí tlakový olej, tím se zvedá pohyblivý (vnitřní) rám stroje. Zkušební tyče se pro zkoušku v tahu upínají do upínacích hlav. Měřicí zařízení (tzv. kyvadlový manometr) je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího tlakového válečku je vyvážen kyvadlem se závažím. Ručička na ramenu páky kyvadla ukazuje na stupnici měřicího zatížení v jednotkách síly, tj. v Newtonech.[15]

Zkouška tahem/tlakem

Nejrozšířenější statická zkouška. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány. Počáteční délka L_0 zkušební tyče závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu a dlouhé tyče $10 d_0$ (d_0 - průměr zkušební tyče). Abychom mohli měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačíme na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10mm.

Zkouškou tahem zjišťujeme:

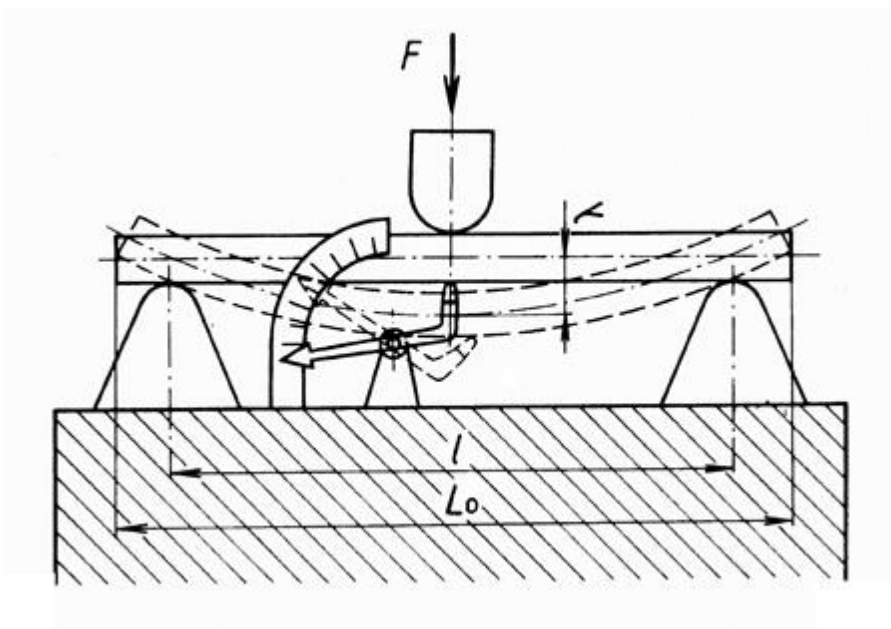
- pevnost v tahu
- poměrné prodloužení
- tažnost

- kontrakci (zúžení)

Při všech statických zkouškách vzniká v zatíženém tělese napětí. To je míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením vnějších sil. Rozeznáváme napětí normálové σ a napětí tečné τ . Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoli stádiu zkoušky nazýváme skutečným napětím. Běžně však používáme hodnoty smluvních napětí, protože neuvažujeme změnu průřezu tělesa a zatížení vztahujeme na původní průřez S_0 . [15]

Zkouška v ohybu

Mez pevnosti v ohybu R_{mo} je napětí, při němž se zkušební těleso přelomí. Měřítkem deformačních schopností materiálu je maximální prohnutí y_m při lomu zkušebního tělesa, měřené uprostřed podpěr ve směru působící síly. Tvar a rozměry zkušebního tělesa závisí na druhu zkoušeného materiálu a na normě, pro kterou je zkouška prováděna. [14]



Obr. 27 Princip zkoušky v ohybu

Zkouška krutem

Touto zkouškou se hlavně zjišťuje jakost drátů za studena (ČSN 42 0421 – zkouška drátu zkroucením). Zkouška se dělá většinou na válcových zkušebních tělesech, které se ve zkušebním stroji zatěžují až do porušení. Měří se příslušný krouťicí moment a zkroucení měřeného tělesa na určité délce. Touto zkouškou se zjišťuje poměrné zkroucení.[14]

3.1.2 Dynamické zkoušky

V praxi jsou většinou součásti namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce, popřípadě opakovaně mění. Potřebné údaje o chování takto namáhaného materiálu nemůžeme zjistit statickými zkouškami, ale zkouškami dynamickými. Při tomto namáhání dochází často k náhlému porušení zkušební vzorku, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu.[14]

Zkoušky rázem

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tělesa. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy na porušení zkušební tělesa se použije najednou dostatečné množství energie.

Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu a krutu.

Zkouška rázem v ohybu

Je to ze všech zkoušek rázem nejpoužívanější a je velmi dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálů. Nejběžnější je **zkouška vrubové houževnatosti** (ČSN EN 10045-1(42 0381):1998) na Charpyho kyvadlovém kladivu. Principem této zkoušky je, že těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí ve stojanu kyvadlového kladiva zkušební tyč ze zkoušeného materiálu.

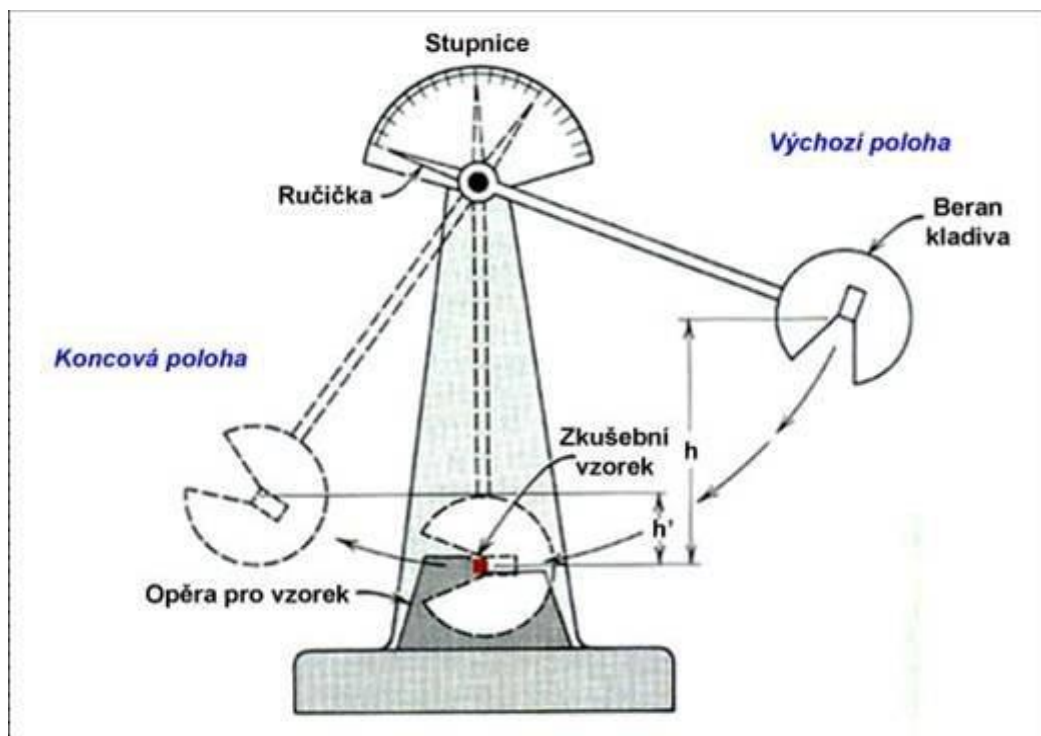
Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební těleso, přerazí ji a vykývá se do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přeražení zkušební tyče se spotřebovala určitá práce. Této práci říkáme **spotřebovaná nárazová práce** K [J] a vypočítáme ji z obecného vztahu:

$$K = G(h_1 - h_e) \quad [\text{J}] \quad (1)$$

Podíl spotřebované nárazové práce K a počátečního příčného průřezu v místě vrubu S_0 nazýváme **vrubová houževnatost** KC :

$$KCU = \frac{KC}{S_0} \quad \text{nebo} \quad KCV = \frac{KC}{S_0} \quad [\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}] \quad (2)$$

U polymerů se nejčastěji provádí zkouška rázem v ohybu na Charpyho kladivu dle ISO 179. Zkušební tyč je buď bez vrubu (u křehkých polymerů), nebo s vrubem (u houževnatějších polymerů).[14]



Obr. 28 Charpyho kladivo

Při vyšší teplotě se rázová i vrubová houževnatost zvyšují. Tyto vlastnosti se také mění při modifikaci polymerů (kopolymerace, příměsi, plniva apod.) a vlivem technologických podmínek při výrobě zkušebních těles.

Rázová a vrubová houževnatost je důležitou vlastností při výběru nejvhodnějšího polymeru pro určitý výrobek. Jednotlivé polymery však musí být zkoušeny stejnou metodou.

Protože většina polymerů za mrazu křehne, provádějí se normalizované zkoušky rázové a vrubové houževnatosti při +23 °C a při -30 °C.[14]

4 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI KOMPOZITŮ

4.1 Vodivost kompozitů

Elektrickou vodivostí rozumíme fyzikální veličinu, která nám popisuje schopnost materiálu vést elektrický proud. Udává nám velikost elektrického proudu procházejícího vodičem při jednotkovém napětí na koncích vodiče.

Můžeme říci, že čím lepší vodič, tím vyšší hodnotu vodivosti má a tím silnější elektrický proud může vodičem procházet při konstantním napětí.

Vedení elektrického proudu v pevných látkách zaručují volné částice s elektrickým nábojem.

Polymerní kompozity umožňují díky širokým spektrům kombinací komponentů vytvářet specifické materiály v závislosti na trendech vývoje a výzkumu.

Polymerní materiály spadají z hlediska elektrické vodivosti mezi izolanty, jejich měrná elektrická vodivost je menší než $10^{-12} \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Vodivosti u těchto materiálů může za určitých podmínek vzniknout integrací elektrovodivého plniva do matrice.

Za elektrovodivé plnivo můžeme považovat prášky různých kovů, ale nejčastěji se používají plniva na bázi různých modifikací uhlíku, jakožto částice grafitu a jiné přechodové formy alotropů uhlíku, uhlíkové saze, uhlíkový prach, fullereny, nanotrubičky a nanodestičky. Z vodivých polymerů se můžou použít polypyrol či polyanilin. Pro dosažení vodivosti kovů se do kompozitů přimíchává stříbrný prach.

Samotná vodivost kompozitů silně závisí na faktorech, jakými jsou elektrická vodivost jednotlivých komponent kompozitu, vlastnosti mezifázového rozhraní, tepelné a mechanické vlastnosti matrice, vlastnosti a koncentrace plniva.

Podle typu nositelů elektrického náboje se elektrická vodivost dielektrik rozděluje na:

- iontovou
- elektronovou
- elektroforetickou

U iontové vodivosti obstarávají přenos elektrického náboje ionty. Ty mohou být součástí daného materiálu, nebo můžou pocházet z nečistot v látce. Elektronová vodivost je taková, při které se na přenosu elektrického náboje podílejí volné elektrony. Většina dielektrik má však takových elektronů nedostatek a proto se tato vodivost projevuje až při vysokých intenzitách elektrického pole. Při elektroforetické vodivosti jsou nositeli elektrického náboje koloidní částice. Elektroforetická vodivost se může objevit pouze u kapalných látek, které obsahují příslušné koloidní částice.

Podle pohybu náboje se elektrická vodivost dělí na vnitřní a povrchovou. Vnitřní vodivost je možné pozorovat u látek různých skupenství, ale povrchovou vodivost lze pozorovat pouze u pevných látek. Vnitřní elektrická vodivost je závislá na složení příměsí dané látky intenzitě působícího elektrického pole. Povrchová vodivost závisí především na vlhkosti materiálu a na jeho schopnostech odpuzovat vodu. To závisí především na hladkosti povrchu [16].

Vnitřní elektrická vodivost tuhých izolantů je závislá na chemickém složení, struktuře látky a intenzitě působícího elektrického pole. Podle charakteru nositelů nábojů se dělí na iontovou a elektronovou, nebo podle složení látky na příměsovou a vlastní. Iontová vodivost se vyskytuje u izolantů v pevné fázi při malých nebo středních intenzitách elektrického pole. Při působení velmi silných polí se začne projevovat elektronová vodivost. Iontová vodivost se projevuje přenosem látky na elektrody. Při elektronové vodivosti se stav ani složení elektrod nemění. Vnitřní vodivost izolantů závisí na teplotě. Je to dáno teplotní změnou koncentrace nositelů náboje. Závislost lze vyjádřit vztahem:

$$\gamma_v = A \cdot \exp\left(-\frac{b}{T}\right) \quad (3)$$

Další složkou vodivosti pevných látek je povrchová vodivost a závisí především na vlhkosti povrchu materiálu. Díky vysoké vodivosti vody má i velmi tenká vrstva značný vliv. Povrchová elektrická vodivost je ovlivněna relativní vlhkostí, schopností látky odpuzovat vodu, čistotou a hladkostí povrchu. Povrchová vodivost je teplotně závislá. Při nízkých teplotách se voda na povrchu materiálu sráží a při vyšších se odpařuje.[17]

4.2 Rezistivita

Jedná se o fyzikální veličinu, která charakterizuje elektrický odpor vodiče. U kompozitů se zkoumá jejich povrchová a vnitřní rezistivita. Rezistivita kompozitů se mění přidáváním plniva do matrice a ovlivňuje ji tvar částic, jejich rozměry a množství.

Polymerní kompozity vykazují pozitivní teplotní závislost (PTC). Experimentem bylo dokazováno, že vazby mají vliv na zvýšení rezistivity v závislosti na teplotě. U polymerních kompozitů je vyžadováno, aby se PTC projevil při vytvrzovací teplotě polymeru [18]

4.3 Dielektrické ztráty

Ztráty v materiálu jsou celková energie, která se rozptýlí v dielektriku za časový interval při působení elektrického pole. Ztráty je možné pozorovat při působení, jak střídavých, tak i stejnosměrných polí. Většina rozptýlené energie se promění na teplo.

V dielektriku se rozlišují tři druhy ztrát:

- vodivostní
- polarizační
- ionizační

Vodivostní ztráty se vyskytují u všech druhů dielektrik a jsou způsobeny povrchovou a vnitřní rezistivitou. Polarizační děje, které se odehrávají v dielektriku mají za následek polarizační ztráty. Ionizační ztráty se vyskytují pouze u plynných látek.

Velikost dielektrických ztrát lze vyjádřit hodnotou čtyř materiálových veličin :

- ztrátový úhel – δ
- ztrátový činitel – $\text{tg}\delta$
- ztrátové číslo – $\varepsilon'' = \varepsilon' \cdot \text{tg}$
- měrné dielektrické ztráty – P_z [16]

4.4 Perkolační práh

Z hlediska vodivosti při elektrovedivých kompozitech pozorujeme zajímavý efekt, existenci tzv. perkolačního prahu. Toto se projevuje prudkým zvýšením vodivosti o několik řádů v úzkém rozmezí koncentrace vodivého plniva. Vysvětlení tohoto jevu spočívá v představě vytvoření vodivých propojení přes celý geometrický průřez zkoumaného tělesa. Při postupném zvyšování koncentrace vodivého plniva se úměrně zvyšuje vodivost v důsledku rychlého přeskočení elektronů přes ohraničené oblasti materiálu, vytvořené shluky vodivého plniva. Počet těchto aglomerátů a jejich velikost se s růstem koncentrace postupně zvětšuje, přičemž vodivost roste více-méně lineárně v rozsahu 2-3 řádů. Při určité koncentraci se z částic plniva vytvoří první vodivé propojení přes celý průřez tělesa. Tato skutečnost vytvoří celkem novou situaci, kdy elektron může přeběhnout přes celý průřez bez toho, aby musel překonávat diskrétní oblasti sestávající se jen z nevodivé matrice. Oblast koncentrace, při které dochází k tomuto jevu, nazýváme perkolační práh (percolation threshold).

Vodivost se zvýší v rozmezí přídatku cca 1-3% plniva minimálně o čtyři, ale i o šest řádů. Při dalším přidávání plniva se zvyšuje počet vytvořených vodivých cest a vodivost nadále narůstá, ale prakticky opět relativně pomalu a úměrně s růstem koncentrace plniva. Toto následné zvětšení představuje 2-3 řády v rozmezí změny koncentrace 15-30obj% plniva.

Koncentrace perkolačního prahu velmi závisí na vlastnostech plniva a matrice. Všeobecně můžeme říct, že s růstem anizotropie vodivých částic perkolační práh výrazně klesá. Taktéž náchylnost plniva k tvorbě aglomerátů vede k poklesu perkolační koncentrace. Z tohoto pohledu pro nízký perkolační práh jsou vhodné uhlíkové vlákna (anizotropie) a saze (tvorba agregátů), zejména ty, které mají tendenci tvořit aglomeráty nepravidelného anebo dokonce řetízkového tvaru. Méně vhodné jsou částice grafitu, anebo kovové částicové pravidelné izotropní částice.

Vodivost kompozitu a zejména perkolační koncentrace výrazně závisí i na kvalitě matrice, především na jejím krystalickém podílu. U amorfních polymerů se totiž celé plnivo rozptýlí rovnoměrně v celém objemu, zatím co u semikrystalických maticích se plnivo uloží jen v amorfní části. Perkolační práh je proto možné dosáhnout s menší koncentrací plniva jako v případě matrice celkově tvořenou amorfním polymerem.

Jak bylo řečeno výše, náhlé zvýšení vodivosti v oblasti perkolační prahu je zapříčiněné tvorbou vodivých cest pozůstávajících z elektrovodivého plniva přes celý průřez zkušební tělesa. Při této představě je snadno pochopitelné, že při mechanické deformaci vodivého kompozitu s kaučukovou maticí a obsahem vodivého plniva nad perkolační koncentraci dochází ke snížení vodivosti, protože při jednoosé deformaci se poměrně rigidní vodivé propojení relativně lehce naruší. Oproti tomu, následný návrat do původního stavu po uvolnění napětí většinou nevede k obnovení původní vodivosti před aplikací deformační síly, ale poměry jsou komplikovanější. Podobné efekty změny vodivosti lze pozorovat i při změnách rozměrů kompozitu v důsledku tepelné roztažnosti.

Dalším zajímavým rysem těchto materiálů je výrazné křehnutí při zvyšování obsahu plniva. To je možné charakterizovat například hodnotou prodloužení při přetrhnutí. Je zajímavé, že oblast koncentrace, v které dochází k nejstrmějšímu poklesu prodloužení v mnohých případech zodpovídá perkolační oblast, v které dochází k výraznému zvýšení elektrické vodivosti. Vysvětlení je založené na úvaze, že vytvoření elektrovodivých cest z části plniva současně představuje i ulehčenou cestu pro růst mechanické trhliny při aplikaci deformační síly. Trhlina se proto tvoří již při nižším napětí a její růst je podstatně rychlejší.

4.4.1 Vliv silového pole na chování polymerů

Silovým polem v této kapitole rozumíme především působení elektrického, případně magnetického pole.

Z toho hlediska můžeme definovat dva typy látek:

- vodič elektrického proudu, přes který je možný nevratný transport elektricky nabitých elementů částicové povahy,
- dielektrikum, neboli izolátor, v kterém vzniká elektrické posunutí způsobené vznikem indukovaných dipólů, nebo orientací dipólů již přítomných v materiálu, přičemž toto posunutí je provázené akumulací energie a po odstranění pólu je vratné.

Přechod mezi těmito dvěma skupinami látek a na vlastnosti působí výrazně i vnější podmínky, například teplota.

Dělení podle hodnoty elektrické vodivosti σ je přibližně následovné:

- kovy s vodivostí $10^2 - 10^6 \text{ S.m}^{-1}$
- polovodiče s vodivostí $10^{-8} - 10^2 \text{ S.m}^{-1}$
- izolátory s vodivostí nižší než 10^{-8} S.m^{-1} , ve výjimečných případech až $10^{-30} \text{ S.m}^{-1}$

Za zmínku stojí též změna vodivosti s teplotou, když u kovů s rostoucí teplotou vodivost klesá, kdežto u zbylých dvou skupin vodivost s teplotou roste.

Pro popis růstu vodivosti s teplotou můžeme použít vztah Arrheniova typu:

$$\sigma = \sigma_{\infty} \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

kde σ_{∞} je předexponenciální faktor s významem vodivosti při velmi vysoké teplotě a E_a je aktivační energie vodivosti.

4.4.2 Elektrická pevnost polymerů

Podstatnou vlastností dielektrika je jeho izolační schopnost, tj. schopnost odolávat účinkům elektrického pole. Tato vlastnost však závisí na vnějších podmínkách, v tomto případě především na intenzitě působícího elektrického pole. při postupném zvyšování intenzity pole se dosáhne mezní intenzita, kdy vodivost dielektrika vzroste na hodnoty charakteristické pro vodiče. Tento stav se navenek projeví elektrickým průrazem. Zodpovídající napětí, které odpovídá intenzitě pole, se nazývá průrazné elektrické napětí U_p . Vztáhneme-li tohle na tloušťku, charakterizuje elektrickou pevnost:

$$E_p = \frac{U_p}{d} \quad (5)$$

kde E_p má rozměr elektrického pole V.m^{-1} .

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL LABORATORNÍCH ZKOUŠEK

V experimentální části jsme chtěli za pomoci mechanických a elektrických zkoušek zjistit, jakými vlastnostmi disponují jednotlivé kompozitní materiály.

K dispozici jsme měli uhlíkovou tkaninu o gramáži 200 g/m² a o gramáži 180 g/m², kterou jsme prosycovali různými matricemi.

Jednalo se o epoxidovou pryskyřici L 285 a polyesterovou pryskyřici NORPOL 420-100.

Do těchto matric jsme přidávali uhlíkový prach v různém objemovém procentu, který měl zajistit vodivost výsledného materiálů.

Pro porovnání jsme vyzkoušeli jeden vzorek vyrobený pomocí matrice s vodou ředitelného polyaminu.

Jako zkoušky mechanických vlastností jsme zvolili zkoušku ohybem a zkoušku rázem v ohybu (Charpyho kladivo).

Výsledné hodnoty jsme porovnali v tabulkách a grafech.

Pro zjištění, zda je plnivo v kompozitu dostatečně dispergováno, jsme udělali kontrolu mikrostruktury daných kompozitů.

6 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

6.1 Materiály pro výrobu zkušebních vzorků

6.1.1 Materiály výztuže

Pro výrobu zkušebních vzorků jsme použili uhlíkovou tkaninu prošitou *Multi – carbon 0/90°* o gramáži 200g/m^2 a tkaninu *Multi – carbon 0/90°* o gramáži 180g/m^2 . Jedná se o tkaniny vyrobené z uhlíkových vláken a se skladbou po 90° . Tato skladba vláken nám umožňuje vyšší zatěžování tkaniny. [Příloha 1]



Obr. 29 Tkanina *Multi – carbon 0/90°*, 200g/m^2

6.1.2 Epoxidová pryskyřice L 285

Pryskyřice určená díky svým vlastnostem převážně pro letecký průmysl a modelářství.

Díky velmi vysoké viskozitě pryskyřice s tužidlem ($600 - 900\text{ mPas} / 25^\circ\text{C}$) jsou vlákna rychle, snadno a kvalitně prosycena, tím docílíme snížení celkové hmotnosti kompozitu. Velkou výhodou této pryskyřice je, že má velmi dobré mechanické vlastnosti a velmi krátké vytvrzovací teploty při nízkých teplotách.

Pryskyřice se s tužidlem míchá v hmotnostním poměru 100:40. [Příloha 2]

Schválení:	Německý federální úřad pro letectví
Použití:	výroba kluzáků, motorových kluzáků a motorových letadel, lodě a stavba lodí, sportovní nářadí, letecké modely, formy a nástroje
Teplotní odolnost výrobků bez výrazných změn jejich parametrů:	- 60 °C - > + 50-60 °C za temperování - 60 °C - > + 80-+ 100 °C po temperování
Zpracování:	Při teplotách mezi 10 °C a 50 °C Všechny běžné metody zpracování
Zvláštní vlastnosti:	Extrémně dobrá fyziologická kompatibilita Dobré mechanické a tepelné vlastnosti Doba zpracovatelnosti (tzv. pot life) od přibližně 45 minut do asi 5 hodin (závisí na použitém tužidle)
Zvláštní úpravy:	L 285 T: tixotropní L 285 K2: tixotropní tepelná úprava L 285 W: bílá

Obr. 30 Charakteristiky epoxidové pryskyřice L 285

		Laminační pryskyřice L 285
Hustota	g/cm³ / 25 °C	1,18 - 1,23
Viskozita	mPas / 25 °C	600 - 900
Ekvivalent epoxidu	-	165 - 170
Hodnota epoxidu	-	0,59 - 0,65
Barva	Gardner	max 3

Obr. 31 Specifikace epoxidové pryskyřice L 285

6.1.3 Polyesterová pryskyřice NORPOL 420-100

Jedná se o netixotropní pryskyřici bez obsahu urychlovače. Základem této pryskyřice je kyselina ortoftalátová. Pryskyřice má nízkou viskozitu.

Je vhodná především pro metodu vstřikování a lisování do formy. [Příloha 3]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Viskozita			
-Kužel-Deska	180-210	mPa.s(cP)	ISO 2884-1974
Hustota	1,10	g/cm ³	ISO 2811-1974
Číslo kyselosti	22	mg KOH/g	ISO 2114-1974
Obsah styrenu	43±2	% hm.	-
Bod vzplanutí	34	°C	ASTM D 3278-73
Doba želatinace :			
-1% Norpol 1			
-1% Co urychlovač(1%)	20-30	min.	-
Skladovatelnost	6	měsíce při teplotě do 23°C	

Obr. 32 Vlastnosti polyesterové pryskyřice NORPOL 420-100

6.1.4 Vodou ředitelný polyamin

Jedná se o matrici, jejíž převážná část byla tvořena vodou, která se při vytvrzování odpařuje. Maximální množství uhlíkových sazí přidanych do této matrice je 3,3 objemového procenta.

Tato matrice se skládala z těchto složek:

- polyamin
- tužidlo
- zahušťovadlo
- dispergátor
- máčedlo
- uhlíkové saze
- stříbřenka
- odpěňovač
- slída

Tyto složky se podle přesného návodu přidávali v určitém množství do vody, která tvořila 60% z celkové hmotnosti matrice.

6.1.5 Plniva kompozitů

V našem případě se jedná o uhlíkový prach, který jsme přidávali do matrice na výrobu kompozitů. Přidáním tohoto uhlíkového prachu jsme chtěli docílit zlepšení mechanických a elektrických vlastností kompozitů. [Příloha 4]

6.2 Příprava zkušebních vzorků

6.2.1 Pomůcky pro výrobu

Pro výrobu kompozitních desek budeme dále potřebovat:

- skleněnou tabuli
- kelímky
- dřevěné lékařské lopatky
- drážkovaný váleček
- plastová stěrka
- vývěva s vakuovou nádobou
- ochranné osobní pracovní prostředky
- škrabka
- kancelářské nůžky
- separátor
- papírové utěrky
- tyčový mixer

6.2.2 Příprava podkladu a tkaniny

Bylo zapotřebí vyrobit ploché kompozitní desky, z kterých je následně možné vyřezat zkušební tělesa.

Zkušební vzorky jsme se rozhodli vyrábět metodou ručního laminování, protože je to nejlevnější metoda, s kterou se dá dosáhnout dobré kvality konečného výrobku, která ovšem závisí na zkušenostech výrobního pracovníka.

Podklad pro výrobu jsme zvolili tabuli skla, která nám zaručila velmi rovný a hladký povrch. Pro snadnější sejmutí hotového výrobku jsme na tabuli skla aplikovali separátor, který jsme po jeho zaschnutí vyleštili papírovou utěrkou. Tuto aplikaci s následným přeleštěním jsme opakovali 3x, tím jsme na skle vytvořili separační film, díky kterému se nám výrobek nepřilepil k tabuli skla. Před samotnou separací bylo ovšem zapotřebí očistit škrabkou všechny možné nečistoty ze skleněné tabule.



Obr. 33 Tabule skla a separační pasta

V mezíchasech, kdy nám schnul separátor, jsme si nastříhali uhlíkovou tkaninu.

Volili jsme rozměr 30 x 16 cm. Z desky takových rozměru se dá následně vyrobit dostatečný počet vzorků pro mechanické a elektrické zkoušky. Pro stříhání byly použity obyčejné kancelářské nůžky, které tkaninu snadno stříhaly.

Na jednu kompozitovou desku jsme si nachystali 5 kusů této tkaniny o rozměrech 30 x 16 cm.

6.2.3 Příprava plniva

Do kelímku jsme si navážili určité množství pryskyřice, do které jsme poté přimíchávali uhlíkový prach v poměru 150:40. Protože do této směsi nebyl přidán aktivátor, mohli jsme s ní pracovat v delším časovém intervalu (řádově v hodinách), proto jsme si mohli připravit větší množství koncentrátu.

6.2.4 Příprava matrice

Pro výpočet hmotnosti jednotlivých složek jsme si již dříve připravili výpočtovou tabulku v programu Microsoft Excel, který nám počítání velmi usnadnil. Tato tabulka se odvíjela od hmotnosti jednoho kusu tkaniny, počtu vrstev tkaniny, poměru složek v koncentrátu pryskyřice s uhlíkovým prachem, poměru míchání pryskyřice s tužidlem, celkové koncentrace plniva v matrici a celkovou hmotnost jsme ještě vynásobili 40%, z důvodu zajištění dostatečného množství pryskyřice pro následnou výrobu

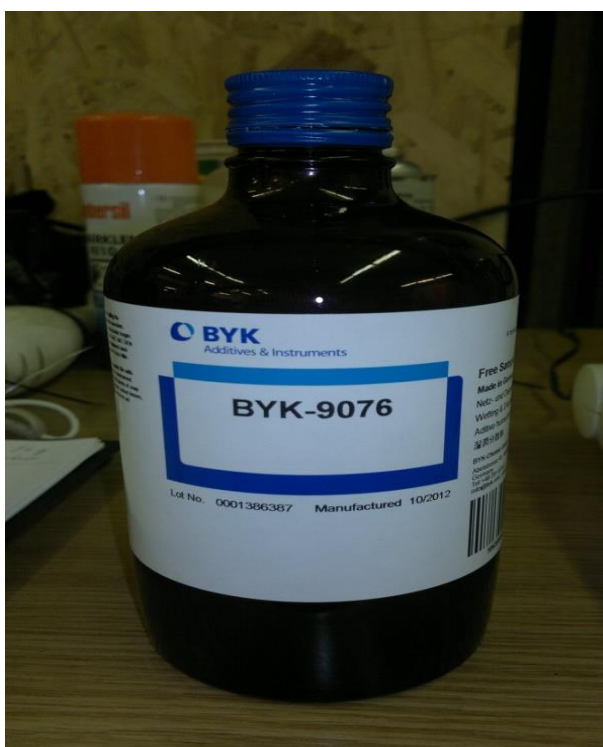
Zadání:			Výpočty:		
Tkanina:			Celková hmotnost pryskyřice bez rezervy		
Počet tkanin	5	ks		47,50	g
Hmotnost jedné tkaniny	9,50	g	Celková hmotnost pryskyřice s rezervou		
				66,50	g
Poměr míchání pryskyřice a tužidla:			Hmotnost tužidla při 0% koncentraci		
pryskyřice	100,00	dílů		26,60	g
tužidlo	40,00	dílů	Hmotnost tužidla při dané koncentraci		
				22,61	g
Koncentrát:			Hmotnost plniva		
Hmotnost plniva v koncentrátu	40,00	g		13,97	g
Hmotnost pryskyřice v koncentrátu	150,00	g	Hmotnost pryskyřice při dané koncentraci		
				56,53	g
Celková koncentrace plniva	15,00	%	Hmotnost zvoleného koncentrátu		
				66,33	g
Bezpečnostní rezerva pryskyřice	40,00	%	Hmotnost pryskyřice v koncentrátu		
				52,37	g
*zadat hodnoty do žlutých polí			Hmotnost čisté pryskyřice (bez té v koncentrátu)		
				4,16	g
			Celková hmotnost		
				93,10	g
Výsledky (s koncentrátem):			Výsledky (bez koncentrátu):		
Hmotnost dodané pryskyřice	4,16	g	Hmotnost dodané pryskyřice	66,50	g
Hmotnost dodaného koncentrátu	66,33	g	Hmotnost dodaného koncentrátu	0,00	g
Hmotnost tužidla	22,61	g	Hmotnost tužidla	26,60	g

Obr. 34 Tabulka pro výpočet hmotností jednotlivých složek matrice

Po získání všech potřebných hmotností jednotlivých složek matrice jsme mohli přejít k samotnému navažování.

Navazovali jsme do polypropylenových kelímků na laboratorní váze, vážící s přesností 0,2g.

Jako první složku jsme navážili pryskyřici, do které se přimíchával koncentrát pryskyřice s uhlíkovým prachem. Pro lepší odpěnění se do směsi přidal ještě 1g odpěňovače BYK-9076. Poslední složkou, která se do směsi přidávala, byl aktivátor.



Obr. 35 Odpěňovač BYK-9076

Celá směs se následně důkladně promíchala pomocí dřevěné lékařské lopatky.

Následná činnost se směsí již musela být poměrně rychlá, protože hrozila želatinace a následné tvrdnutí matrice.

Ovšem pro lepší odpěnění jsme museli obětovat část času, který jsme měli pro zpracování matrice, a kelímek se směsí jsme umístili do vakuové nádoby, ve které jsme vytvořili pomocí vývěvy podtlak. Ten zajistil to, že většina vzduchu vystoupila ze směsi napovrch, kde se vytvořila pěna.



Obr. 36 Vývěva s vakuovou nádobou

Po vyjmutí kelímku z vakuové nádoby se vytvořená pěna z povrchu směsi odstranila dřevěnou lékařskou lopatkou.

Takto připravená směs byla připravena k samotné aplikaci.

6.2.5 Laminace

Aby měla kompozitová deska dostatečnou tloušťku, určili jsme, že se deska bude vyrábět jako pětivrstvá, tzn., pro její výrobu bude použito pět vrstev tkaniny. Tím nám vznikne deska s tloušťkou od 1,5 mm do 2 mm (rozptyl tloušťky je ovlivněn obsahem plniva v matrici).

Na naseparovanou tabuli skla jsme nanесли plastovou stěrku první vrstvu matrice, na kterou se položila první tkanina.

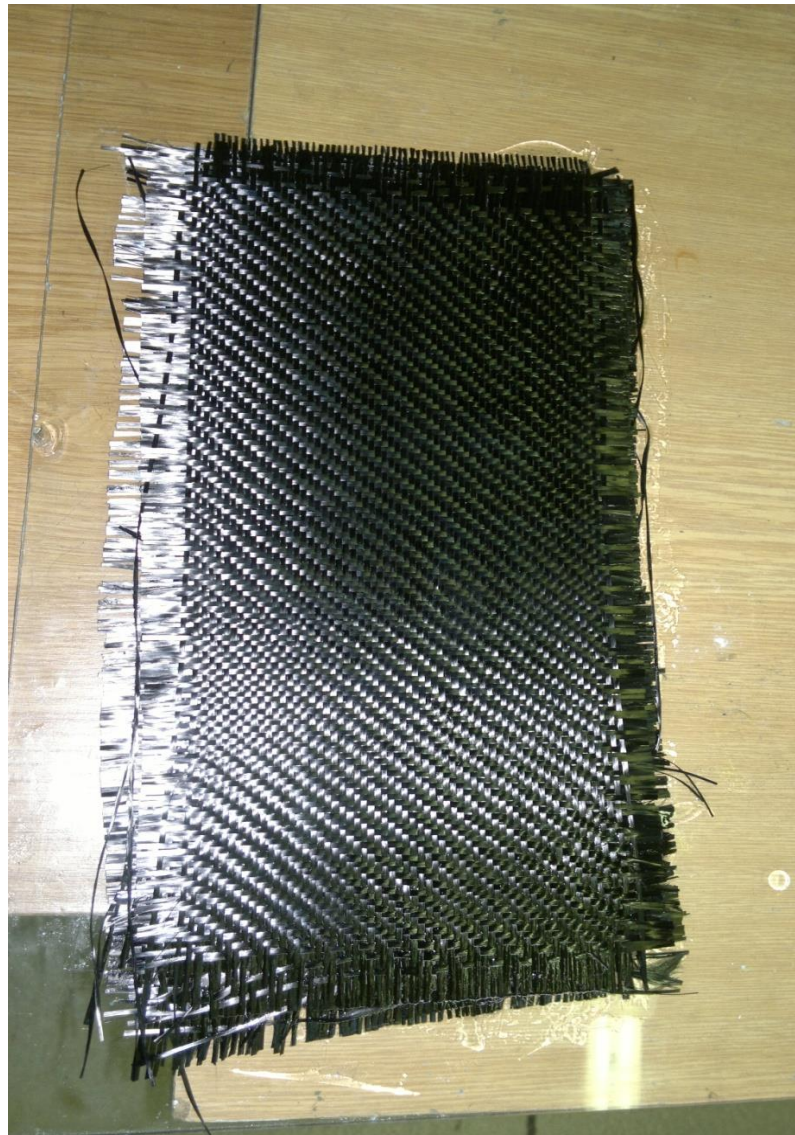
Tkanina se následně přitlačí pomocí drážkovaného válečku. Tím dojde k prosycení tkaniny matricí.

Po dostatečném prosycení se nanese další vrstva matrice, na kterou se položí další tkanina. Takto se postupuje až do položení a prosycení poslední tkaniny.



Obr. 37 Nanesení první vrstvy matrice na skleněnou tabuli

Na tuto tkaninu se nanese ještě poslední vrstva matrice, aby došlo k co nejlepšímu prosycení. Přebytečnou matici vytlačíme pomocí drážkovaného válečku a následně odstraníme pomocí plastové stěrky. Tím docílíme rovnoměrné vrstvy matrice a získáme na pohled kvalitního povrchu kompozitu.



Obr. 38 Vrstvení kompozitu

Takto vyrobený kompozit se nechá vytvrdit. Vytvrzenou kompozitovou desku jsme poté sejmuly z tabule skla.

6.2.6 Výroba vzorků z polyaminu

Výroba vzorků z polyaminu byla obdobou výroby ostatních vzorků. Jediným rozdílem bylo, že matrice měla jiný způsob přípravy.

V případě polyaminové matrice tvořila převážnou objemu matrice voda, bylo ji 60%. Následně se postupně přidávali další ingredience, které se museli řádně promíchat pomocí

ponorného tyčového mixéru. Pomocí vzniklé směsi se prosytila uhlíková tkanina, která byla použita i při výrobě jiných vzorků.

6.2.7 Dělení kompozitních desek

Samotné zkušební tělíska jsme získali tak, že vyrobené kompozitní desky jsme rozměřili a následně rozřezali strojní rozbrušovací pile. Samotné řezání bylo provedeno ve firmě Form. Pro zkoušky ohybem byly připraveny tělíska o šířce 15 mm a minimální délce 50 mm, pro zkoušku rázem v ohybu měla tělíska šířku 10 mm a minimální délku taktéž 50 mm.

Zkoušky elektrických vlastností byly prováděny na vzorcích o rozměrech 30 x 30 mm .

7 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Mechanické zkoušky jsme prováděli v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství na zkušebních strojích, jimiž ústav disponuje.

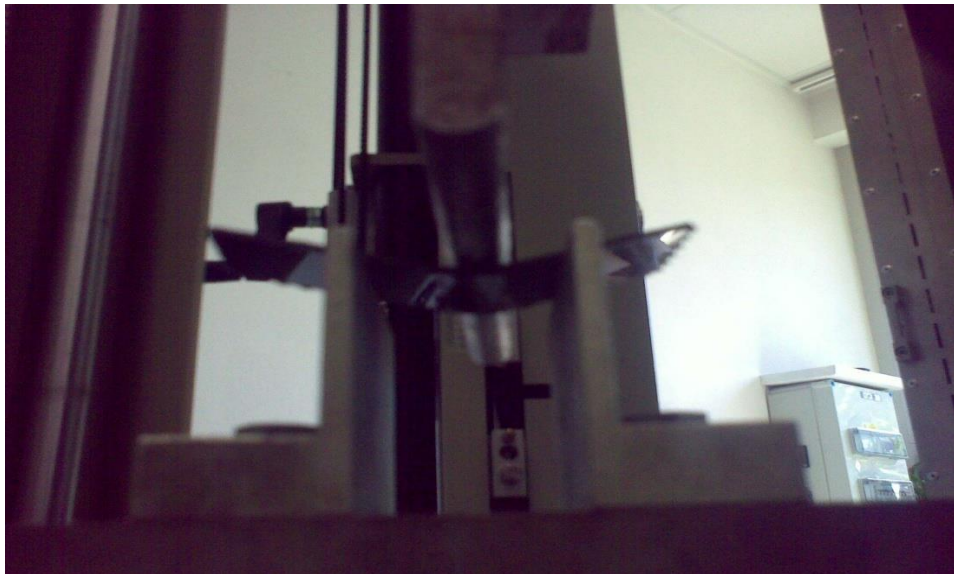
7.1 Zkouška ohybem

Zkouška byla provedena na zkušebním stroji Zwick 145 665.

Zkušební vzorek byl umístěn na stavitelné podpěry, které od sebe byly vzdáleny 16ti násobek tloušťky zkoušeného vzorku. Vzhledem k tloušťce zkušebních tělísek 2 mm, byly podpěry nastaveny do vzdálenosti 32 mm od sebe.

Po ustavení vzorku na podpěry byl zapnut zkušební stroj a na těleso začala působit postupně se zvětšující kolmá síla. Tuto sílu zkušební stroj registroval a následně zapisoval jak do tabulky, tak do grafu, díky čemu následně můžeme provést vyhodnocení naměřených hodnot.

Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 14125.



Obr. 39 Zkouška ohybem



Obr. 40 Zkušební stroj Zwick 145 665

Strojová výška	1284 mm
Celková výška	2012 mm
Celková šířka	630 mm
Šířka pracovního prostoru	420 mm
Hmotnost	150 mm
Maximální zkušební síla	20 kN
Maximální rychlost posuvu příčnicku	750 mm.min ⁻¹
Extenzometry měření protažení	macro
	přídavný
Vyhodnocovací software	master - tah
	standard - ohyb a tlak
	standardní hysterezní (cyklické zkoušky)

Obr. 41 Parametry zkušebního stroje Zwick 145 665

7.2 Zkouška rázem v ohybu (Charpyho kladivo)

Zkouška byla provedena na zkušebním stroji Resil Impactor Junior od společnosti Ceast.

Zkušební těleso, umístěno na podpěrách, je namáháno ve směru kolmém k přímce rázu, procházející středem mezi podpěrami a ohýbáno vysokou, nominálně konstantní rychlostí. Během rázu se zaznamenává rázová síla.

Podle způsobu vyhodnocování lze průhyb zkušebního tělesa buď měřit přímo vhodným měřícím zařízením, nebo v případě nosiče energie, který poskytuje ráz s minimálním třením, lze průhyb vypočítat z počáteční rychlosti a síly jako funkci času.

Získaná křivka síla-průhyb popisuje chování zkušebního tělesa při rázovém ohybovém namáhání, ze kterého lze odvodit některé vlastnosti materiálu.



Obr. 42 Zkušební stroj Resil Impactor Junior

CEAST © Resil Impactor Junior: Specifikace					
Číslo modelu	Typ brzdy	Potenciální energie	Rozměry	Hmotnost	Síla
6963.000	Manuál	1-25 J	900 x 500 x 800 mm	180 kg	230 V 50-60 Hz 1P 110 V volitelné

Obr. 43 Specifikace zkušebního stroje Resil Impactor Junior

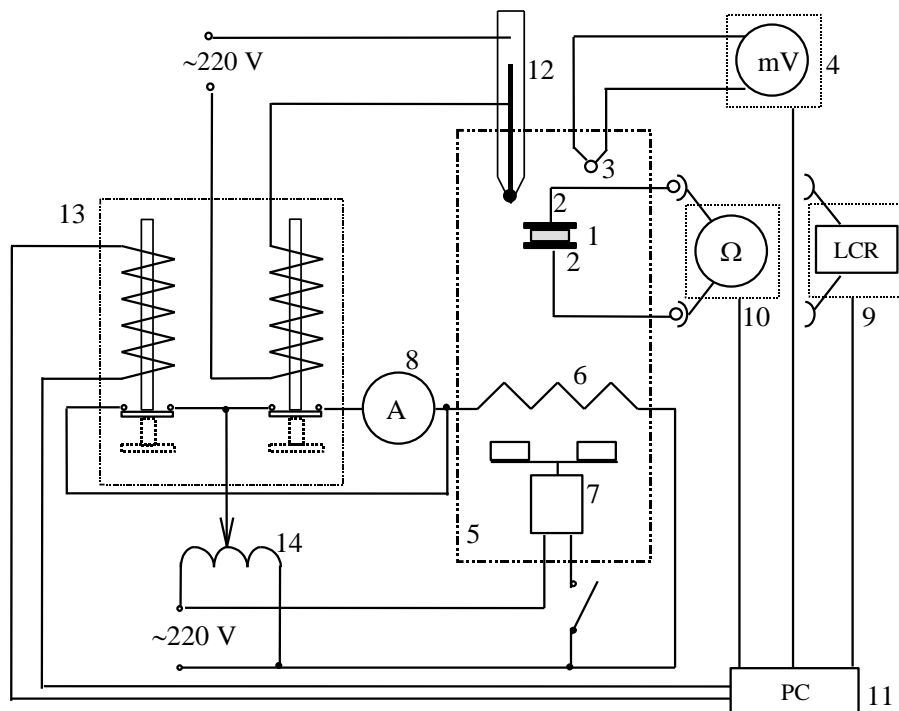
8 ZKOUŠKY ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ

Zkoušení elektrických vlastností bylo provedeno na Materiálovotechnické fakultě v Trnavě patřící pod Slovenskou technickou univerzitu v Bratislavě.

Měření bylo prováděno nařízením pro měření elektrických a dielektrických vlastností. Toto zařízení umožňuje uskutečňovat měření při různých teplotách vzorku a při různých frekvencích vstupního napětí.

Teploty vzorku byly v rozmezí od 20°C do 150°C a stupňovali se po 10°C.

Frekvence vstupního napětí byla v rozsahu od 12Hz po 100000Hz.



Obr. 44 Elektrické schéma zařízení pro měření elektrických a dielektrických vlastností:
 1 vzorek, 2 elektrody, 3 termočlánek typu K (Ni-NiCr), 4 milivoltmetr (DMM APPA 305),
 5 měřicí buňka, 6 vinutí ohřevu, 7 ventilátor, 8 ampérmetr, 9 LCR metr (goodwill LCR
 819, HIOKI 3522-50), 10 ohmmetr (DMM APPA 305), 11 počítač, 12 spínací teploměr
 Vertex, 13 ovládání ohřevu, 14 autotransfornátor

8.1 Multimetr DMM APPA 305

Jde o elektrický přístroj, pro měření elektrických veličin. Je to přenosné zařízení, takže s ním jde pracovat i v terénu.



Obr. 45 DMM APPA 305

Specifikace:

- DC napětí: 40mV ~ 1000
- Základní přesnost: $\pm 40\text{mV}$ (0,06% +8 d) / 400mV, 4V, 40V 400V 1000V \pm (0,06% + 2 d)
- rozlišení: 0.1 μ V (40mV rozsah)
- AC napětí: 400mV ~ 750V
- Základní přesnost: \pm (0.70% +5 d) @ 4V rozsah 40Hz ~ 100Hz s
- rozlišení: 0.1 μ V (40mV rozsah)
- Frekvenční rozsah: 40Hz ~ 100kHz
- DC proud: 40mA ~ 10A
- Základní přesnost: \pm (0,20% +4 d)
- rozlišení: 0.1 μ A (40 mA rozsah)
- AC proud: 40mA ~ 10A
- Základní přesnost: \pm (0,80% +8 d)
- rozlišení: 0.1 μ A (40 mA rozsah)

- odpor $400\Omega \sim 40M\Omega$
- Základní přesnost: $\pm (0,30\% + 2 \text{ d}) @ 400\Omega \sim 400K\Omega / \pm (0,60\% + 2 \text{ d}) @ 4K\Omega \sim 400K\Omega$ nízké napětí
- rozlišení: 0.01Ω (400Ω rozsah)
- kapacita: $4\text{NF} \sim 10\text{mF}$
- Přesnost: $\pm (0,90\% + 2 \text{ d}) @ 4\text{NF} \sim 4\mu\text{F}$
- rozlišení: 1pF (4NF rozsah)
- frekvence: $400\text{Hz} \sim 400\text{MHz}$
- Základem přesnost: $\pm (0,01\% + 1 \text{ d}) @ 40\text{Hz} \sim 1\text{MHz}$
- rozlišení: $0,01 \text{ Hz}$ (400 Hz rozsah)
- teplota: -200°C až $+1300^\circ \text{C}$
- Základní přesnost: $\pm (1^\circ \text{C} + 2 \text{ d}) @ -50^\circ \text{C}$ až $+1200^\circ \text{C}$
- Rozlišení: $0,1^\circ \text{C}$

8.2 Termočlánek typu K

Termočlánek je snímač pro měření teploty. Sestává ze dvou různorodých kovů, spojených do jednoho bodu. Když je tento spoj dvou kovů zahříván nebo chlazen, vzniká napětí souvztažné k teplotě. Termočlánekové slitiny jsou dodávány jako dráty.

Teplotní rozsahy běžných termočláneků			
Kalibrace	Teplotní rozsah	Standardní přesn.	Výběrová přesn.
J	0°C až 750°C (32°F až 1382°F)	Více než 2.2°C nebo 0.75%	Více než 1.1°C nebo 0.4%
K	-200°C až 1250°C (-328°F až 2282°F)	Více než 2.2°C nebo 0.75%	Více než 1.1°C nebo 0.4%
E	-200°C až 900°C (-328°F až 1652°F)	Více než 1.7°C nebo 0.5%	Více než 1.0°C nebo 0.4%
T	-250°C až 350°C (-328°F až 662°F)	Více než 1.0°C nebo 0.75%	Více než 0.5°C nebo 0.4%

Obr. 46 Teplotní rozsahy běžných termočláneků

8.3 Goodwill LCR 819

Komponentní/materiálový měřicí přístroj používající se pro výzkum a vývoj. Disponuje velkým displejem, díky kterému je možné měřit dva vzorky najednou. Pomocí rozhraní RS-232C lze propojit s PC.



Obr. 47 Goodwill LCR 819

Specifikace:

Testovací frekvence: 12Hz ~ 200kHz (LCR-821)

12Hz ~ 100kHz (LCR-819/829)

12Hz ~ 10kHz (LCR-817/827)

100Hz ~ 2kHz (LCR-816/826)

Základní přesnost 0,05% ~ 0,1%

Paměť: 100 měření

Zkušební režimy: R / Q, C / D, C / R, L / Q, Z / θ , L / R

240 x 128 Bodový maticový LCD displej

Zobrazuje stav a výsledek testu Současně

Rozhraní: RS-232C (LCR-821/819/817/816) / Handler (LCR-829/827/826)

8.4 HIOKI 3522-50

Univerzální měřicí přístroj pro měření elektrických vlastností s vysokou přesností.



Obr. 48 HIOKI 3522-50

Specifikace		
	3522-50	3532-50
Měření parametrů	Z , Y , θ , Rp (DCR), R (ESR, DCR), G, X, B, Cp, Cs, Lp, Ls, D, Q	Z , Y , θ , Rp, Rs (ESR), G, X, B, Cp, Cs, Lp, Ls, D, Q
Měřicí rozsahy: Z , R, X	10,00 M Ω m na 200,00 M Ω m (v závislosti na četnosti měření a úrovni signálu)	
θ	-180,00 ° až 180,00 °	
C	0,3200 1,0000 pF F	0,3200 pF 370,00 mF
L	16,000 nH na 750,00 kH	
D	0,00001-9,99999	
Q	0,01-999,99	
X Y , G, B	5,0000 ns až 99,999 S	
Základní přesnost	Z: $\pm 0,08\%$ odečtu. $\theta \pm 0,05^\circ$	
Měření frekvence	DC, 1 mHz až 100 kHz	42 Hz až 5 MHz
Úroveň měření signálu	10 mV až 5 V rms / 10 μ A až 100 mA rms	
Výstupní impedance	50 Ω	
Obrazovka displeje	LCD displej s podsvícením / 99999 (plná 5 číslic)	
Čas měření (typické hodnoty pro zobrazení Z)	Rychle: 5ms Normální: 16ms Pomalé 1: 88ms Slow 2: 828ms	Rychle: 5ms Normální: 21ms Pomalé 1: 72ms Slow 2: 140ms
Do paměti	Max. 30 Sady	
Srovnání funkce	HI / IN / Lo nastavení dvou parametrů měření, procento, $\Delta\%$ nebo absolutní hodnota nastavení	
DC Bias	Externí DC zkreslení ± 40 V Max. (Na přání)	
Externí tiskárna	9442 tiskárna (volitelné)	
Externí rozhraní	GP-IB nebo RS-232C (Volby), externí I / O pro použití sekvenceru	
Napájení	100, 120, 220 nebo 240 V ($\pm 10\%$) AC (volitelné), 50/60 Hz	
Maximální jmenovitý výkon	40 VA Přibl.	50 VA Přibl.

Obr. 49 Specifikace přístroje HIOKI 3522-50

9 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

9.1 Výsledky zkoušky v ohybu

Zkouška byla provedena na univerzálním zkušebním stroji Zwick 145 665.

Byly měřeny vzorky s dvěma různými matricemi. Popis samotné zkoušky byl popsán již v kapitole 7.1 *Zkouška ohybem*.

U této zkoušky jsme sledovali tyto výsledné hodnoty:

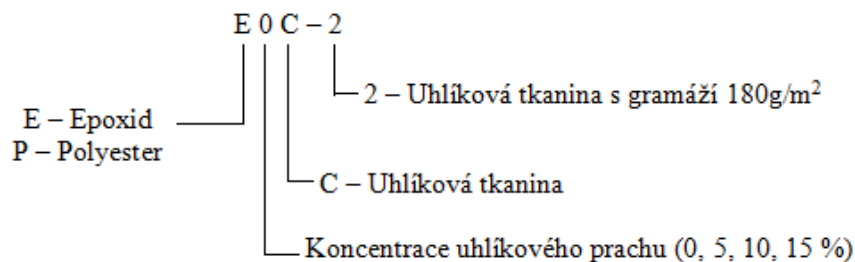
- E – modul pružnosti
- σ_m – mez pevnosti
- ε - poměrná deformace při mezi pevnosti
- W to Fm – spotřebovaná energie
- W to break – energie potřebná k porušení vzorku.

Další hodnoty uvedené v následujících tabulkách jsou vstupní parametry vzorků:

- a – tloušťka vzorku
- b – šířka vzorku
- S – plocha průřezu daným vzorkem.

Pro vyhodnocení výsledků jsme použili tyto statistické funkce:

- x – aritmetický průměr výběrového souboru
- s – směrodatná odchylka
- v – variační koeficient.



Obr. 50 Popis jednotlivých vzorků

Tab. 1 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E0C

E0C	E	$\bar{\sigma}_m$	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 11	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	17200	437	2,7	606,65	752,73	1,7	14	23,8
2	26200	548	2,1	518,23	780,27	1,7	14	23,8
3	22900	451	1,9	357,8	727,33	1,7	14	23,8
4	21900	480	2,1	431,16	698,25	1,7	14	23,8
5	20200	493	2,6	601,86	747,36	1,7	14	23,8
6	21400	481	2,3	530,61	771,67	1,7	14	23,8
7	18900	547	2,4	573,82	610,04	1,7	14	23,8
8	21300	522	2,3	513,1	674,8	1,7	14	23,8
9	20900	497	2,3	505,7	594,48	1,7	14	23,8
10	20500	481	2,4	530,94	786,68	1,7	14	23,8
11	21800	510	2,3	509,04	962,27	1,7	14	23,8
x	21200	495	2,3	516,27	736,9	1,7	14	23,8
s	2270	35,1	0,2	71,94	99,27	0	0	0
v	10,73	7,08	9,91	13,94	13,47	0	0	0

Tab. 2 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E5C

E5C	E	$\bar{\sigma}_m$	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 12	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	24700	506	2,1	498,54	905,01	1,7	14	23,8
2	23300	494	2,2	494,53	894,49	1,7	14	23,8
3	25800	500	2,5	625,91	838,55	1,7	14	23,8
4	21600	457	2,6	609,66	953,35	1,7	14	23,8
5	24700	499	2,5	614,69	841,47	1,7	14	23,8
6	21700	504	2,1	439,49	811,91	1,7	14	23,8
7	23000	457	1,9	399,55	705,33	1,7	14	23,8
8	22300	485	2	429,2	769,66	1,7	14	23,8
9	24200	482	2,4	600,63	802,49	1,7	14	23,8
10	24900	550	2	474,98	660,55	1,7	14	23,8
11	27400	575	2,2	584,09	919,47	1,7	14	23,8
12	23700	532	2,5	671,11	761,53	1,7	14	23,8
x	23900	503	2,2	536,86	821,98	1,7	14	23,8
s	1700	34,8	0,2	90,76	88,48	0	0	0
v	7,1	6,9	10,14	16,91	10,76	0	0	0

Tab. 3 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E10C

E10C	E	σ_m	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 12	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	22400	435	2,2	531,34	835,25	1,95	14	27,3
2	22800	482	2,4	657,83	1189,48	1,95	14	27,3
3	25400	524	2,4	710,93	1302,18	1,95	14	27,3
4	16800	414	2,4	548,24	1133,95	1,95	14	27,3
5	19900	479	2,4	676,72	969,68	1,95	14	27,3
6	24100	469	2,5	729,33	1121,37	1,95	14	27,3
7	17700	431	2,7	692,16	1236,09	1,95	14	27,3
8	21000	391	2,2	507,55	1140,61	2,05	14	28,7
9	25900	526	2,6	878,37	965,25	2,05	14	28,7
10	19200	482	2,9	837,94	1082,19	2,05	14	28,7
11	22500	517	2,4	706,23	919,42	2,05	14	28,7
12	21700	471	2,5	735,6	1089,61	2,15	14	30,1
x	21600	469	2,5	684,35	1082,09	2	14	28
s	2850	43,4	0,2	113,25	136,54	0,06742	0	0,94
v	13,17	9,27	8,33	16,55	12,62	3,37	0	3,37

Tab. 4 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E15C

E15C	E	σ_m	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 12	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	21600	570	2,5	743,39	969,66	1,85	14	25,9
2	25300	476	2,3	615,57	916,44	1,85	14	25,9
3	17100	413	2,5	617,6	740,59	2	14	28
4	16700	426	2,5	653,96	938,65	2,1	14	29,4
5	19000	419	2,6	725,68	831,64	2,2	14	30,8
6	23000	483	2,1	507,58	1026,39	2	13,1	26,2
7	22900	470	2,6	749,09	1060,55	2,2	12,8	28,16
8	21600	447	2,5	761,43	889,68	2,2	14	30,8
9	21700	437	2,3	641,94	847,91	2,3	13,3	30,59
10	16000	426	2,5	685,11	848,69	2,4	13,3	31,92
11	17600	363	2,5	640,38	761,44	2,4	13,7	32,88
12	17100	412	2,3	598,68	899,27	2,4	13,7	32,88
x	20000	445	2,4	661,7	894,24	2,158	13,66	29,45
s	3080	51,2	0,1	74,83	96,63	0,2009	0,4274	2,6
v	15,46	11,5	5,88	11,31	10,81	9,31	3,13	8,81

Tab. 5 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E0C-2

E0C-2	E	σ_m	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 10	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	22000	505	2,3	585,56	651,81	1,7	15	25,5
2	22400	543	2,4	605,13	655,37	1,7	15	25,5
3	20600	437	2,4	540,52	562,38	1,7	15	25,5
4	19500	464	2,4	558,28	580,12	1,7	15	25,5
5	20500	473	2,3	526,36	634,88	1,7	15	25,5
6	20900	501	2,1	486,83	590,66	1,7	15	25,5
7	21200	491	2,5	643,51	643,51	1,7	15	25,5
8	20300	471	2,3	507,1	614,11	1,7	15	25,5
9	22100	475	2,4	587,88	611,76	1,7	15	25,5
10	21600	487	2,2	368,77	430,61	1,7	11	18,7
x	21100	485	2,3	540,99	597,52	1,7	14,6	24,82
s	930	28,3	0,1	76,79	66,44	0	1,265	2,15
v	4,4	5,83	5,26	14,19	11,12	0	8,66	8,66

Tab. 6 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E5C-2

E5C-2	E	σ_m	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 12	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	14400	438	2,7	608,86	608,86	2	14	28
2	20400	524	2,5	712,49	712,49	2	14,5	29
3	20000	521	2,5	704,31	710,65	2	14,5	29
4	19600	525	2,6	737,26	760,34	2	14,5	29
5	20200	493	2,3	591,84	662,73	2	14,5	29
6	18100	482	2,6	697,06	773,3	2	14,5	29
7	20700	504	2,6	773,05	781,26	2	15	30
8	17300	476	2,5	652,41	742,8	2	15	30
9	20400	498	2,4	661,37	681,99	2	15	30
10	14300	480	2,4	593,25	636,43	2	15	30
11	19900	500	2,4	684,28	722,72	2	15	30
12	16900	472	2,8	814,99	823,31	2	16	32
x	18500	493	2,5	685,93	718,07	2	14,79	29,58
s	2310	25,1	0,1	69,52	62,94	0	0,4981	1
v	12,49	5,09	5,77	10,13	8,77	0	3,37	3,37

Tab. 7 Výsledky zkoušky ohybem vzorku P0C

P0C	E	σ_m	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 9	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	22100	314	1,2	191,52	2124,61	1,45	20	29
2	20500	293	1,4	223,7	1568,39	1,45	20	29
3	22700	333	1,7	343,13	1569,39	1,45	20	29
4	17300	285	1,4	196,93	1468	1,45	20	29
5	17900	280	1,9	331,54	1422,79	1,45	20	29
6	12900	257	1,3	177,38	1455,92	1,45	20	29
7	21900	287	1,3	238,01	2166,63	1,45	22	31,9
8	16400	274	1,6	271,03	1848,21	1,45	22	31,9
9	21800	295	1,4	263,75	2663,24	1,45	23	33,35
x	19300	291	1,5	248,56	1809,69	1,45	20,78	30,13
s	3350	22,1	0,2	59,46	427,81	0	1,202	1,74
v	17,35	7,59	14,39	23,92	23,64	0	5,78	5,78

Tab. 8 Výsledky zkoušky ohybem vzorku P5C

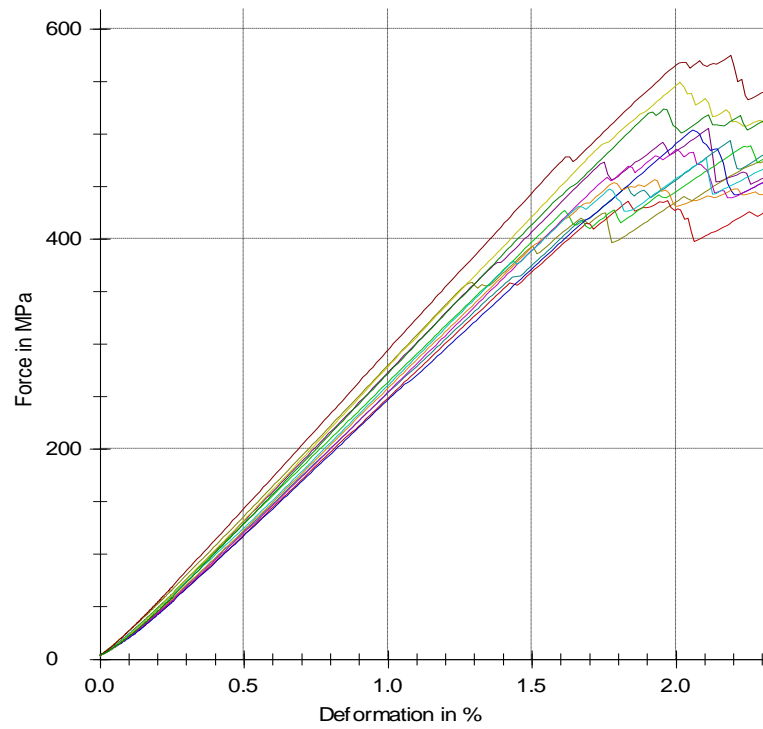
P5C	E	σ_m	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 9	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	16500	239	1,4	208,07	1276,87	1,45	23	33,35
2	17000	178	1,3	168,26	1229,6	1,45	23	33,35
3	18300	230	1,2	182,84	1304,77	1,45	23	33,35
4	14200	201	1,8	266,22	2166,97	1,45	23	33,35
5	15900	189	1,5	202,39	1683,01	1,45	23	33,35
6	13100	298	1,3	218,25	1553,23	1,45	23	33,35
7	13700	221	1,6	241,59	1737,56	1,45	23	33,35
8	17100	197	1,5	226,1	1741,38	1,45	23	33,35
9	19600	218	1,3	196,32	1140,17	1,45	23	33,35
x	16200	219	1,4	212,23	1537,06	1,45	23	33,35
s	2160	35,7	0,2	29,94	330,53	0	0	0
v	13,34	16,31	12,05	14,11	21,5	0	0	0

Tab. 9 Výsledky zkoušky ohybem vzorku P10C

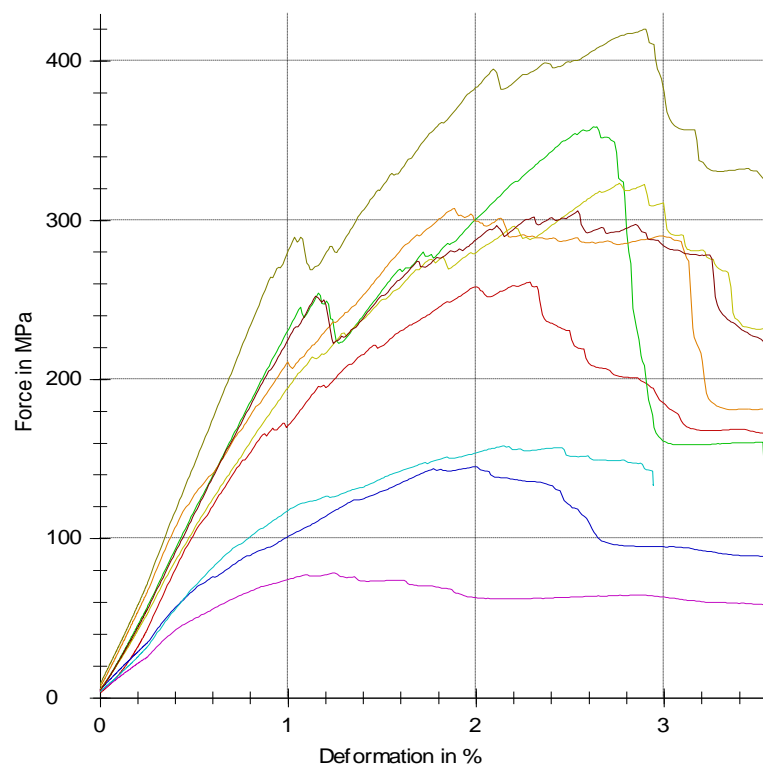
P10C	E	σ_m	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 9	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	18200	217	1,6	218,72	1261,35	1,5	20	30
2	18200	215	1,8	260,77	1582,46	1,5	20	30
3	17700	172	1,7	211,6	1174,15	1,5	20	30
4	18900	231	1,5	222,84	1517,67	1,5	20	30
5	18500	222	1,5	225,96	2513,46	1,5	20	30
6	18100	176	1,4	172,89	2339,23	1,5	20	30
7	18300	149	2,7	367,33	-	1,5	22	33
8	17600	175	2,5	386,85	-	1,5	22	33
9	12600	213	1,7	244,5	-	1,5	22	33
x	17600	197	1,8	256,83	1731,39	1,5	20,67	31
s	1920	28,6	0,5	72,4	562,21	0	1	1,5
v	10,94	14,54	25,69	28,19	32,47	0	4,84	4,84

Tab. 10 Výsledky zkoušky ohybem vzorku P15C

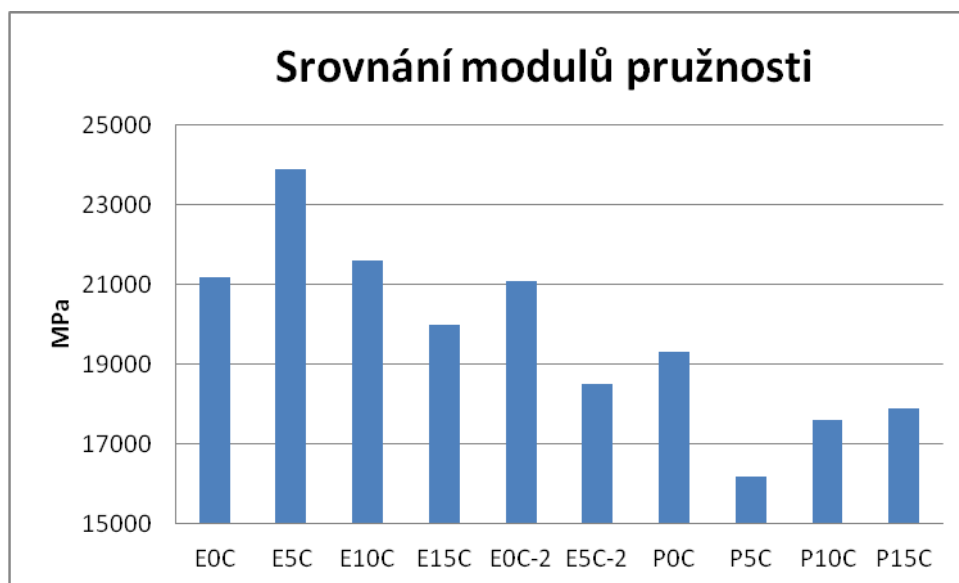
P15C	E	σ_m	ϵ	W to Fm	W to break	a	b	S
n = 11	MPa	MPa	%	Nmm	Nmm	mm	mm	mm ²
1	25400	420	2,9	972,29	-	1,5	22	33
2	17400	261	2,3	457,54	-	1,5	22	33
3	21700	359	2,6	684,91	-	1,5	22	33
4	11600	145	2	221,25	-	1,5	22	33
5	24400	308	1,9	407,14	-	1,5	22	33
6	8670	78,6	1,2	75,58	-	1,5	22	33
7	11400	158	2,1	263,7	-	1,5	22	33
8	19700	323	2,8	677,47	-	1,5	22	33
9	20900	306	2,5	623,04	-	1,5	22	33
x	17900	262	2,3	486,99	-	1,5	22	33
s	6050	112	0,5	279,83	-	0	0	0
v	33,8	42,68	22,76	57,46	-	0	0	0



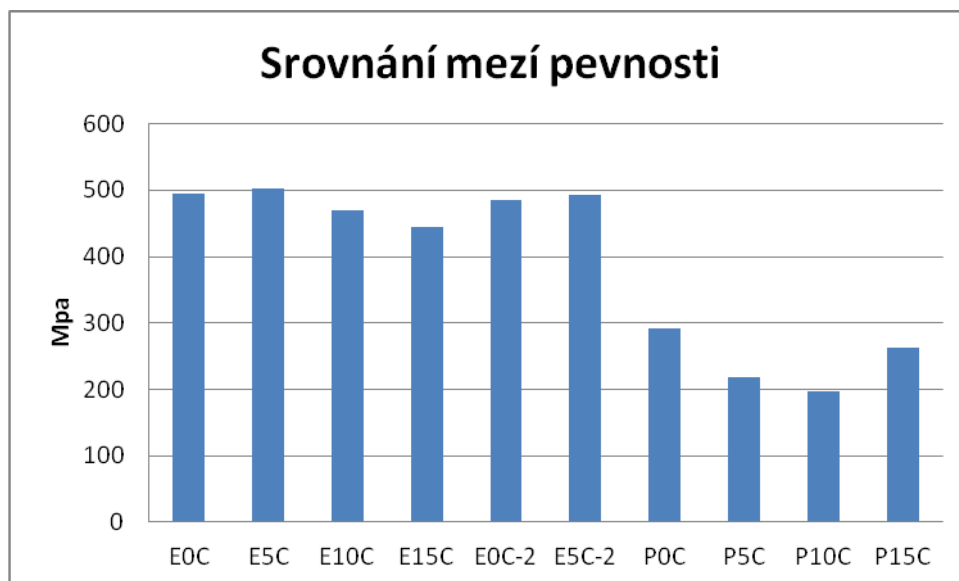
Obr. 51 Průběh napětí při zkoušce ohybem vzorků E5C



Obr. 52 Průběh napětí při zkoušce ohybem vzorků P15C



Obr. 53 Srovnání modulů pružnosti



Obr. 54 Srovnání mezí pevnosti

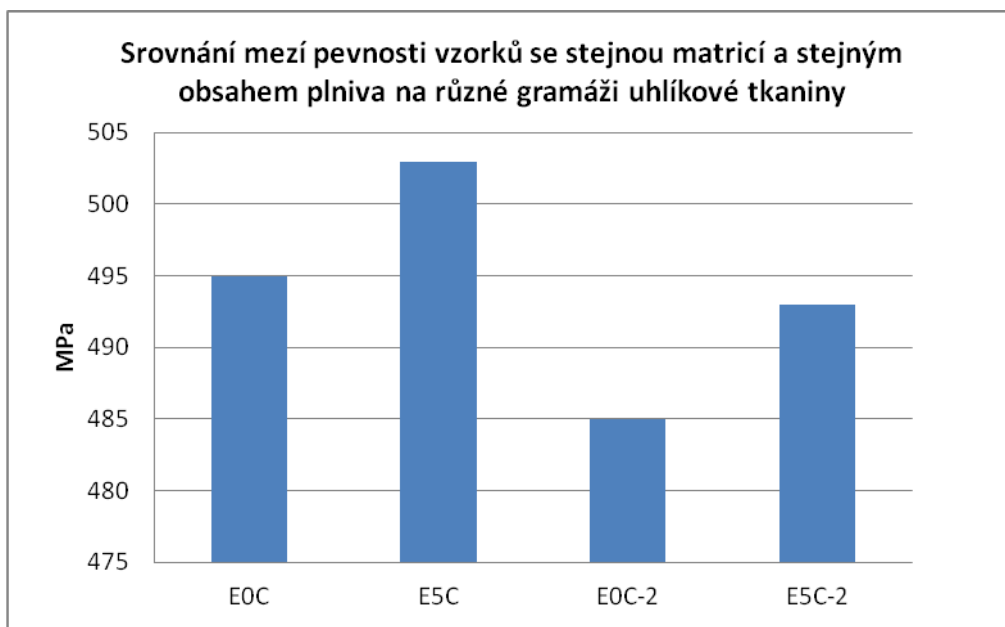
Hodnoty, které pro nás mají největší význam jsou modul pružnosti E a mez pevnosti σ_m . Při prostudování těchto tabulek zjistíme, že nejvyšší průměrnou hodnotu $\sigma_m = 503$ MPa má vzorek E5C. Zároveň má také nejvyšší průměrnou hodnotu $E = 23900$ MPa.

Naopak nejnižší hodnotu $\sigma_m = 197$ MPa má vzorek P10C.

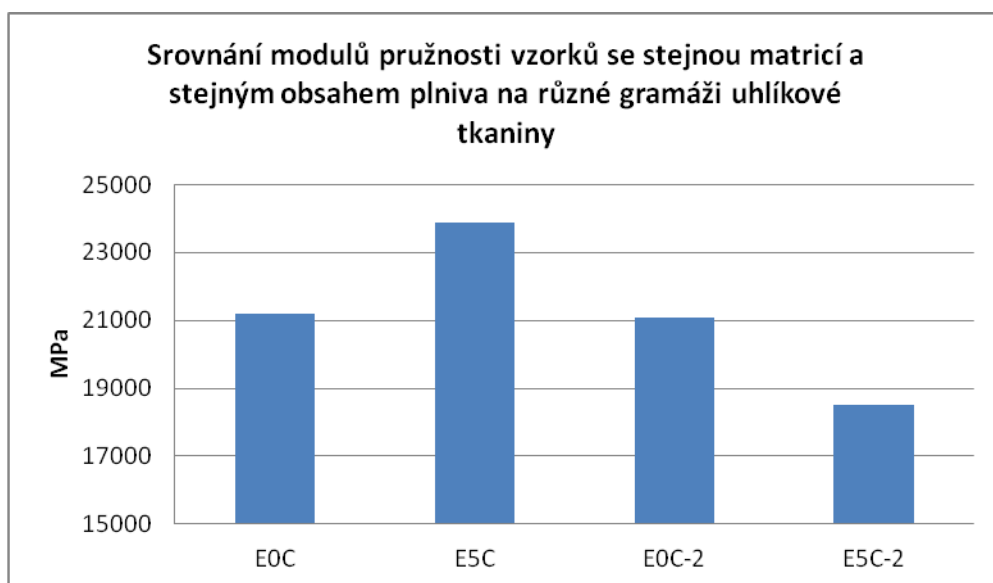
Vzorek s polyamidovou pryskyřicí jsme se rozhodli zkoušce nepodrobit, vzhledem ke špatným vlastnostem výsledného vzorku.

Z grafů je zřejmé, že vzorky vyrobené z polyesterové pryskyřice nedosahují takové pevnosti a takových modulů pružnosti jako vzorky vyrobené z epoxidové pryskyřice.

Také můžeme říci, že se vzrůstajícím obsahem uhlíkového prachu se mechanické vlastnosti zhoršují.



Obr. 55 Srovnání modulů pružnosti vzorků se stejnou matricí a stejným obsahem plniva na různé gramáže uhlíkové tkaniny



Obr. 56 Srovnání mezi pevností vzorků se stejnou matricí a stejným obsahem plniva na různé gramáže uhlíkové tkaniny

Při srovnání vzorků se stejnou matricí a se stejným obsahem plniva, které se lišili pouze v gramáži použité tkaniny, jsme zjistili, že tkanina s gramáží 180 g/m^2 má při koncentraci plniva 0 % mez pevnosti nižší o 10 MPa a při koncentraci plniva 5 % má mez pevnosti nižší taktéž o 10 MPa.

9.2 Výsledky zkoušky rázem (Charpyho kladivo)

Při zkouškách rázem je našim cílem zjistit houževnatost daného vzorku. Tato zkouška byla provedena podle postupu v kapitole 7.2 *Zkouška rázem v ohybu*.

Pro vyhodnocení výsledků jsme použili tyto statistické funkce:

- \bar{x} – aritmetický průměr výběrového souboru
- s – směrodatná odchylka
- v – variační koeficient.

Tab. 11 Zkouška rázem vzorku

EOC

Vzorek EOC	
měření č.	houževnatost [KJ/m ²]
1	85,52
2	97,67
3	102,78
4	105,85
5	105,48
6	96,87
7	115,79
8	96,59
9	92,18
\bar{x}	99,86
s	8,29
v	0,08

Tab. 12 Zkouška rázem vzorku

E5C

Vzorek E5C	
měření č.	houževnatost [KJ/m2]
1	89,13
2	79,87
3	109,56
4	92,24
5	104,8
6	96,52
7	92,75
8	101,19
9	100,87
x	96,33
s	8,45
v	0,09

Tab. 13 Zkouška rázem vzorku

E10C

Vzorek E10C	
měření č.	houževnatost [KJ/m2]
1	135,98
2	107,18
3	108,38
4	133,68
5	121,28
6	102,88
7	93,17
8	97,08
9	112,06
x	112,41
s	14,25
v	0,13

Tab. 14 Zkouška rázem vzorku
E15C

Vzorek E15C	
měření č.	houževnatost [KJ/m ²]
1	111,67
2	81,37
3	94,06
4	86,58
5	117,65
6	98,94
7	81,91
8	73,34
9	93,94
x	93,27
s	13,66
v	0,15

Tab. 15 Zkouška rázem vzorku
E0C-2

Vzorek E0C-2	
měření č.	houževnatost [KJ/m ²]
1	76,32
2	63,28
3	74,78
4	76,3
5	78,64
6	72,94
7	81,6
8	70,75
9	122,41
x	79,67
s	15,89
v	0,20

Tab. 16 Zkouška rázem vzorku
E5C-2

Vzorek E5C-2	
měření č.	houževnatost [KJ/m2]
1	92,74
2	106,03
3	97,57
4	89,86
5	101,89
6	88,87
7	99,27
8	99,32
9	133,84
x	101,04
s	12,74
v	0,13

Tab. 17 Zkouška rázem vzorku
POC

Vzorek POC	
měření č.	houževnatost [KJ/m2]
1	75,29
2	70,28
3	57,61
4	58,99
5	80,29
6	72,61
7	53,54
8	57,52
9	69,15
x	66,14
s	8,88
v	0,13

Tab. 18 Zkouška rázem vzorku

P5C

Vzorek P5C	
měření č.	houževnatost [KJ/m2]
1	54,28
2	54,25
3	67,89
4	92,42
5	55,39
6	52,03
7	72,55
8	71,73
9	109,2
x	69,97
s	18,51
v	0,26

Tab. 19 Zkouška rázem vzorku

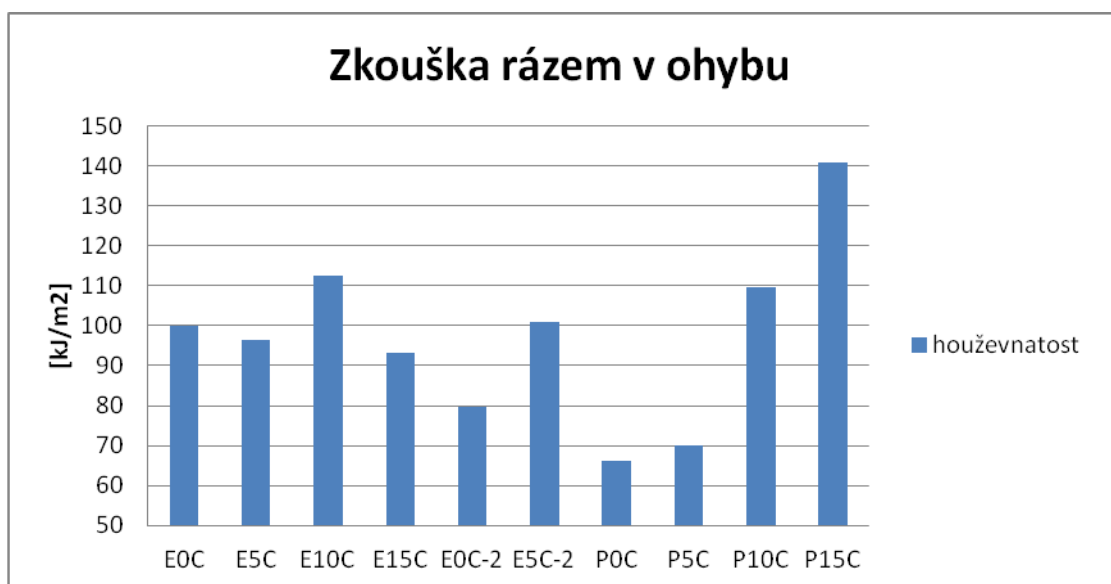
P10C

Vzorek P10C	
měření č.	houževnatost [KJ/m2]
1	144,4
2	69,21
3	167,96
4	68,77
5	133,3
6	181,87
7	85,14
8	57,68
9	79,41
x	109,75
s	44,60
v	0,41

Tab. 20 Zkouška rázem vzorku

P15C

Vzorek P15C	
měření č.	houževnatost [KJ/m ²]
1	129,31
2	163,36
3	160,17
4	182,37
5	88,31
6	176,28
7	128,56
8	110,03
9	128,05
x	140,72
s	29,85
v	0,21



Obr. 57 Zkouška rázem v ohybu

Z výsledků zkoušek ohybem jsme zjistili, že nejmenší houževnatost 66,14 kJ/m² má vzorek P0C. Nejvyšší houževnatost 140,72 kJ/m² má vzorek P15C.

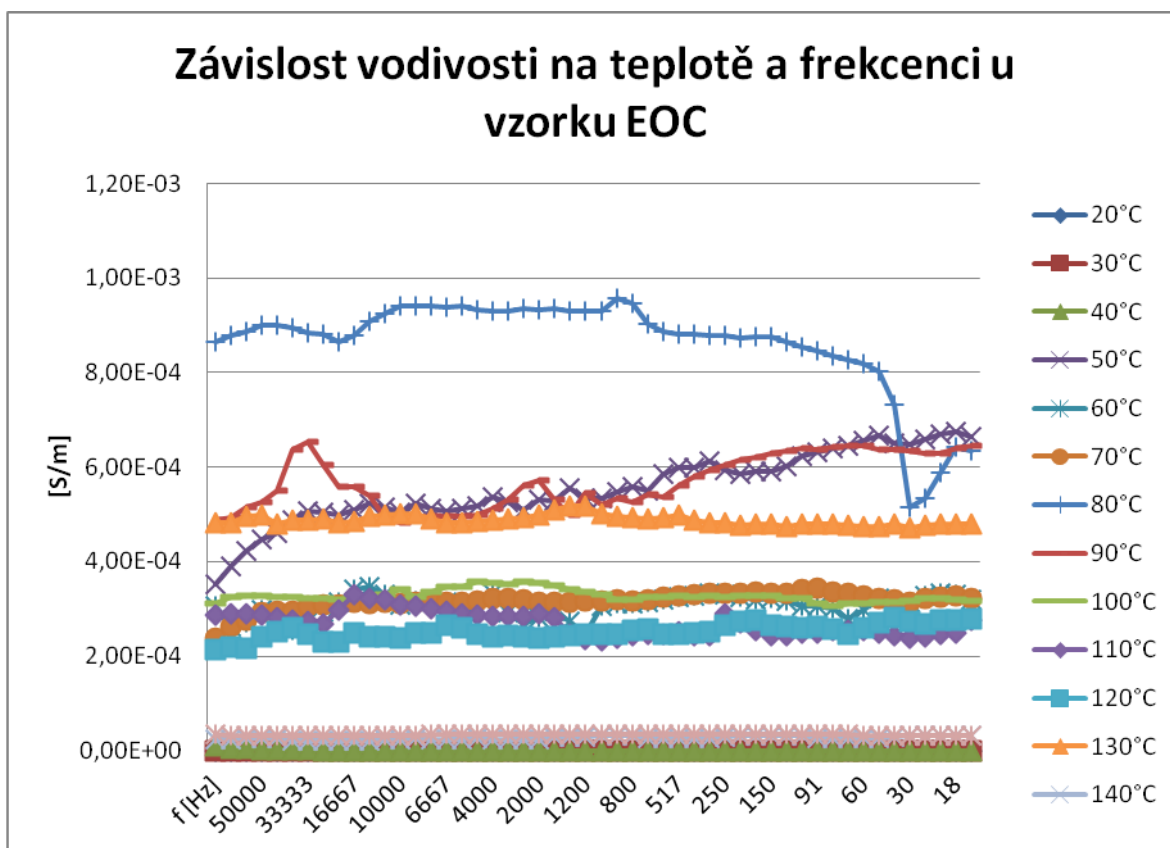
Dodáním plniva se měla houževnatost zvýšit. V případě vzorků s tkaninou o gramáži 180 g/m^2 a vzorků s polyesterovou maticí tomu tak bylo. U vzorků E0C-2 a E5C-2 se zvýšila houževnatost ze $79,67 \text{ kJ/m}^2$ na $101,04 \text{ kJ/m}^2$.

9.3 Výsledky elektrických vlastností

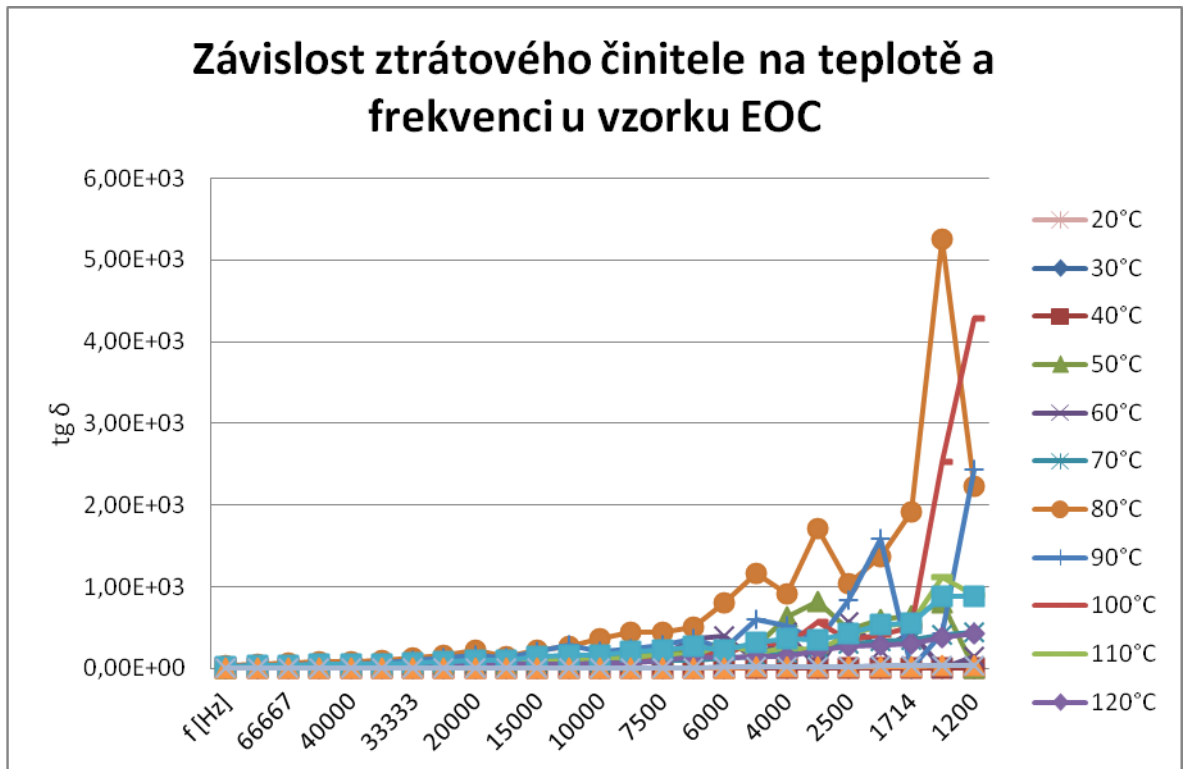
U zkoušek elektrických vlastností nás bude nejvíce zajímat vodivost G zkušebních vzorků a ztrátový činitel $\text{tg } \delta$.

Nejdříve vyhodnotíme vodivost a ztrátové činitele u jednotlivých vzorků. Následně budeme srovnávat vodivost a ztrátový činitel všech vzorků při teplotách měření 20°C, 70°C a 150°C a při frekvencích vstupního napětí 12 Hz, 1000Hz a 100000 Hz.

9.3.1 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku E0C

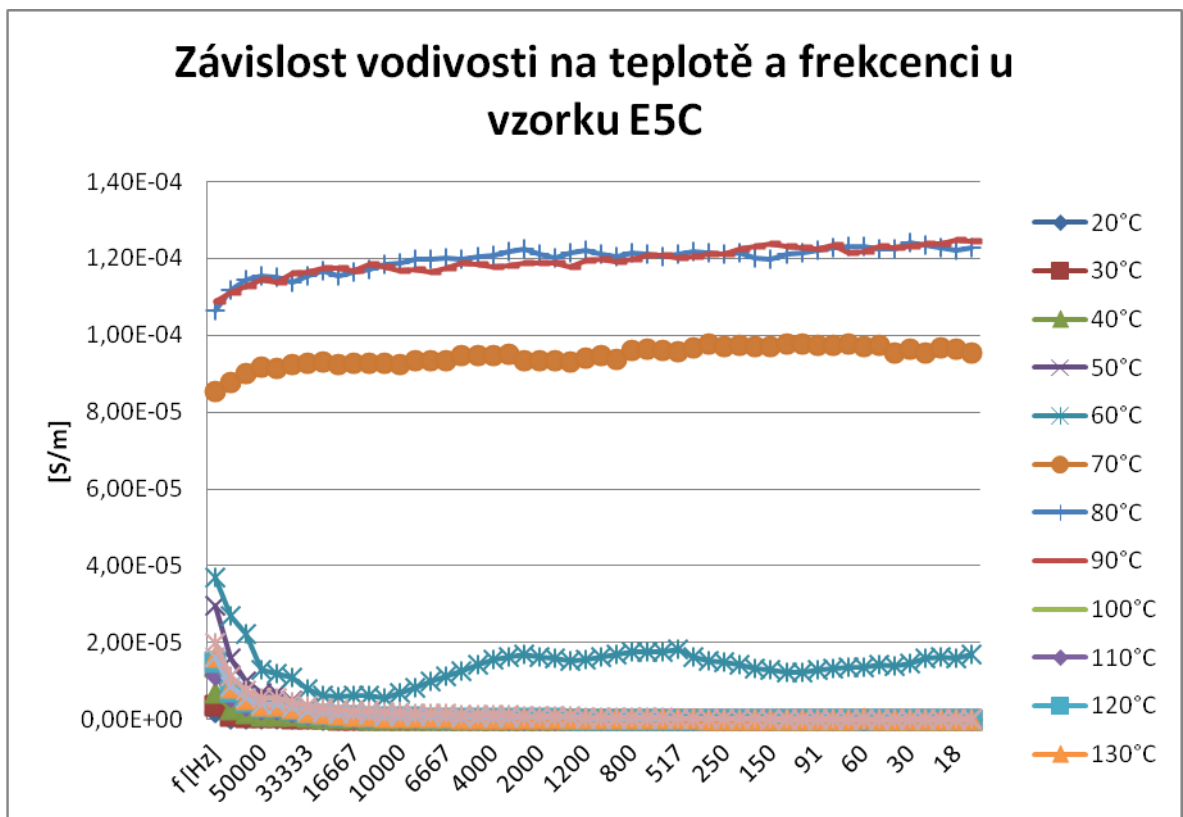


Obr. 58 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E0C

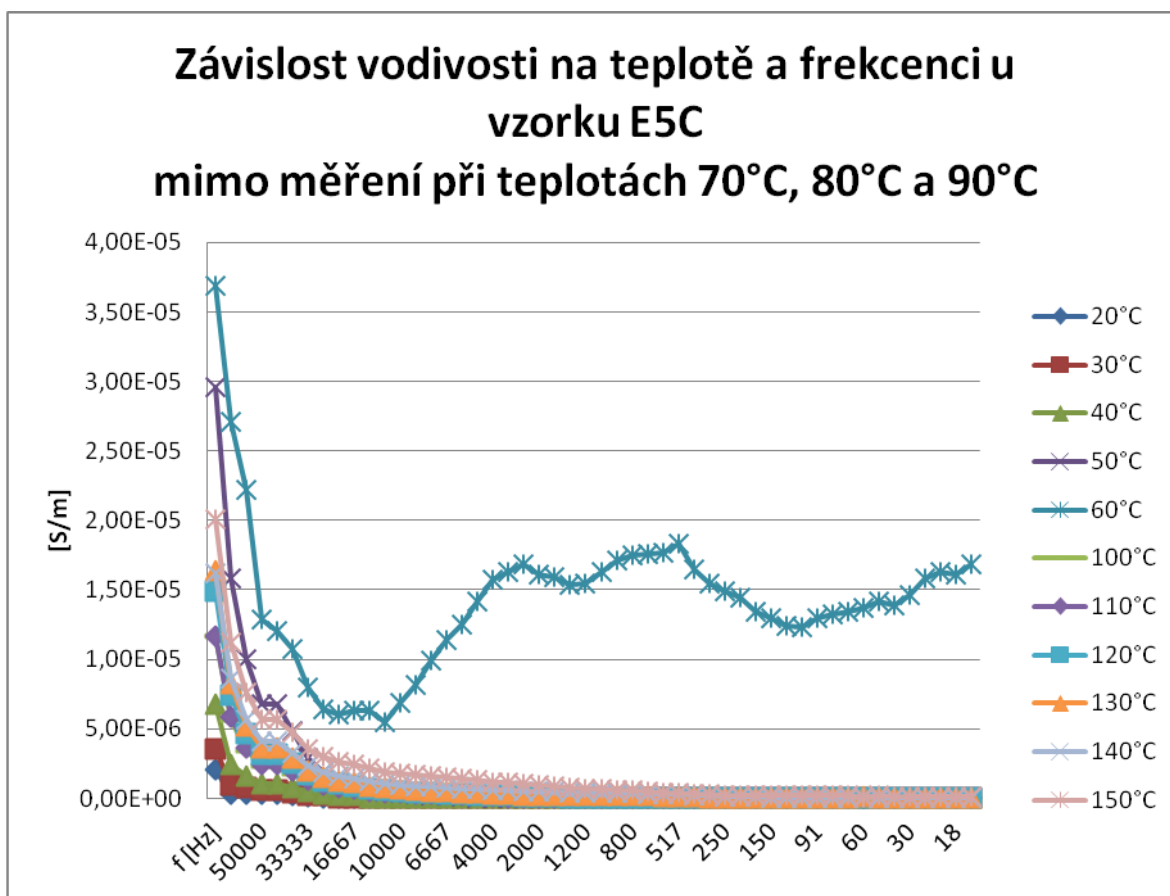


Obr. 59 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku EOC

9.3.2 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku E5C



Obr. 60 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E5C



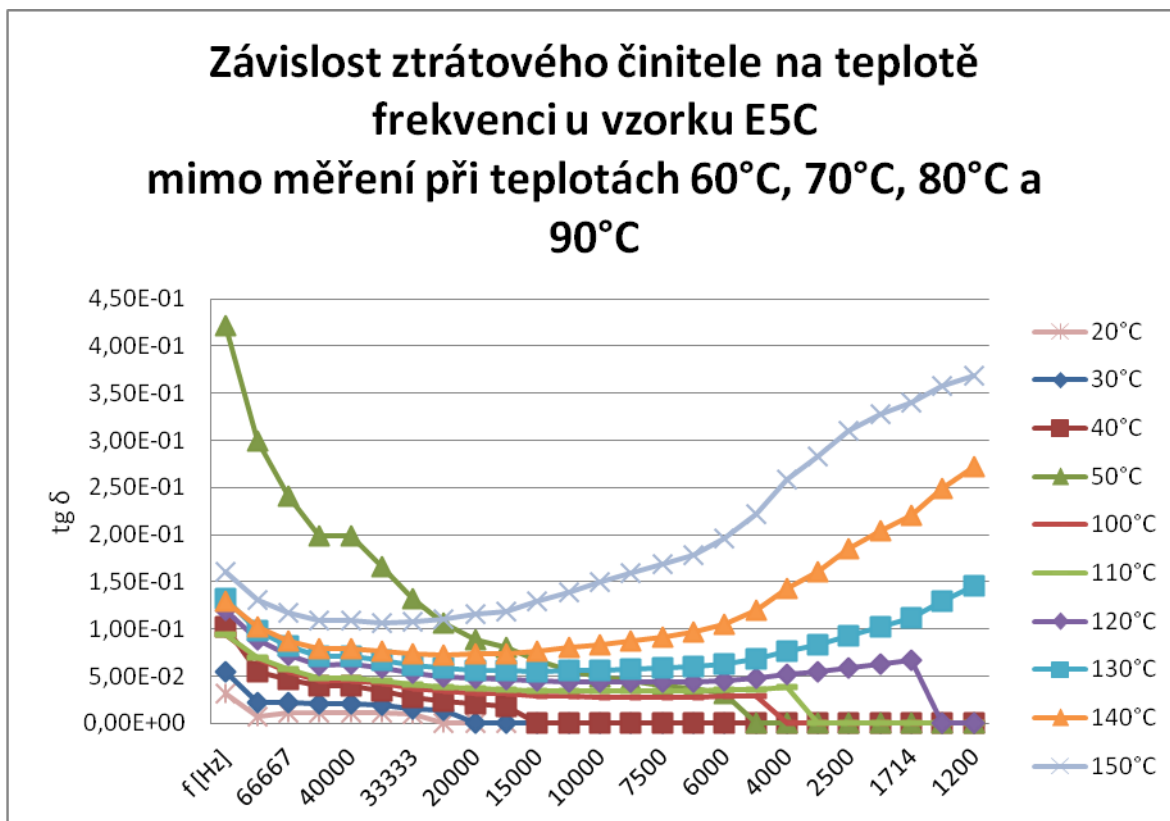
*Obr. 61 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E5C
mimo měření při teplotách 70°C, 80°C a 90°C*

Předchozí grafy jsou téměř totožné, pouze u grafu na Obr. 66 jsme vynechaly hodnoty z měření při teplotách 70°C, 80°C a 90°C. To z toho důvodu, aby byly na grafu viditelné výsledky měření při zbylých teplotách.

Tuto úpravu jsme provedli i u několika následujících grafů, které nebyly dostatečně přehledné.

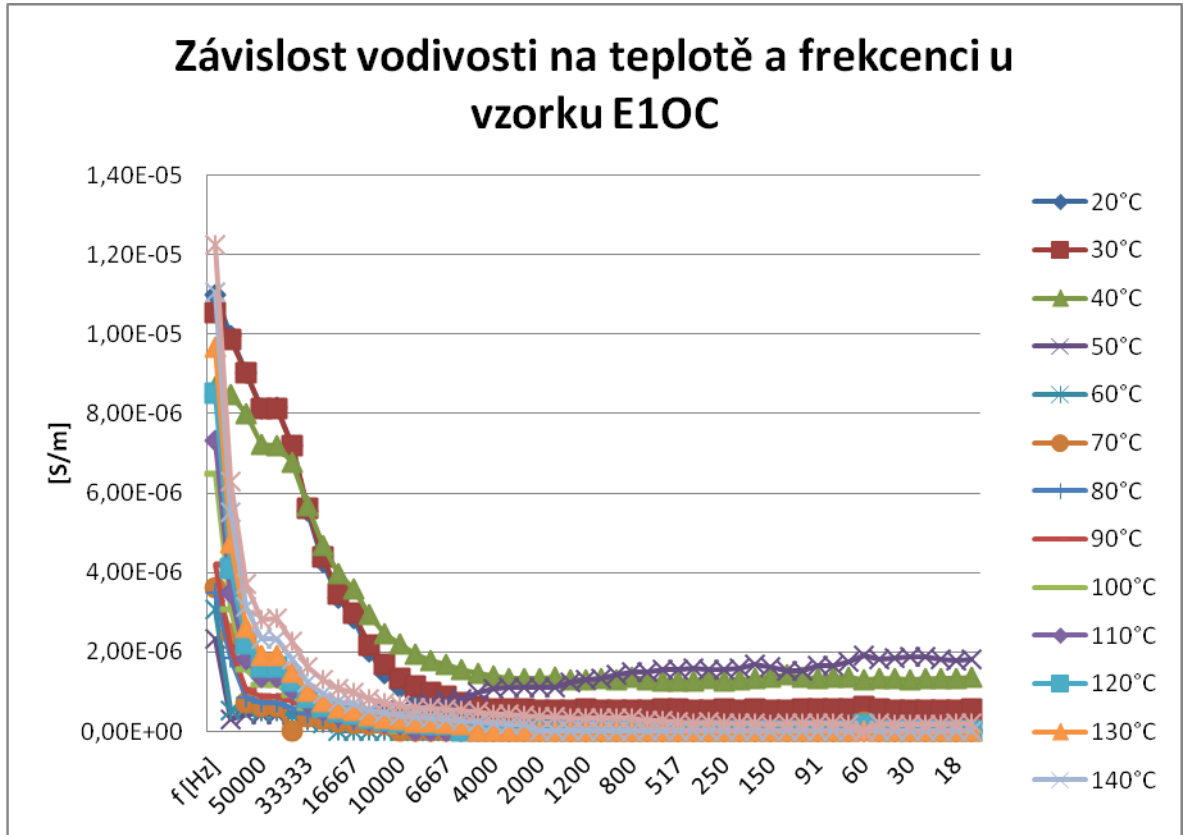


Obr. 62 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E5C

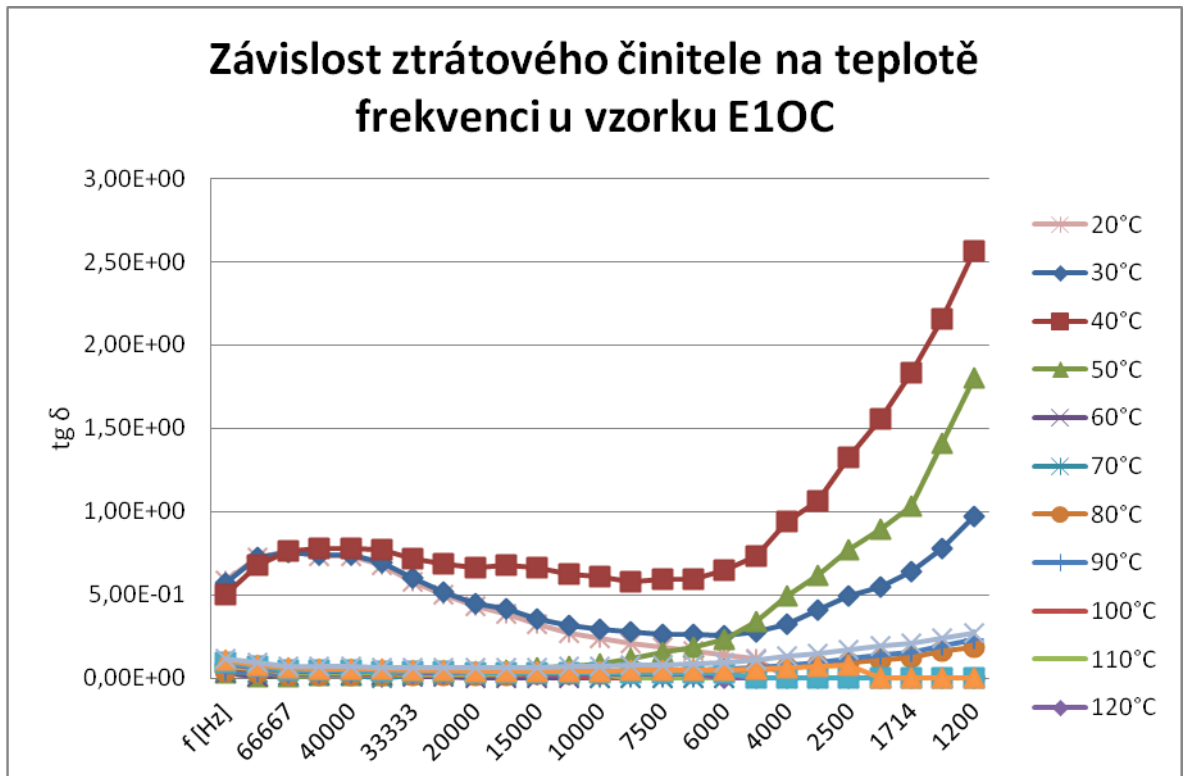


Obr. 63 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E5C
mimo měření při teplotách 60°C, 70°C, 80°C a 90°C

9.3.3 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku E10C

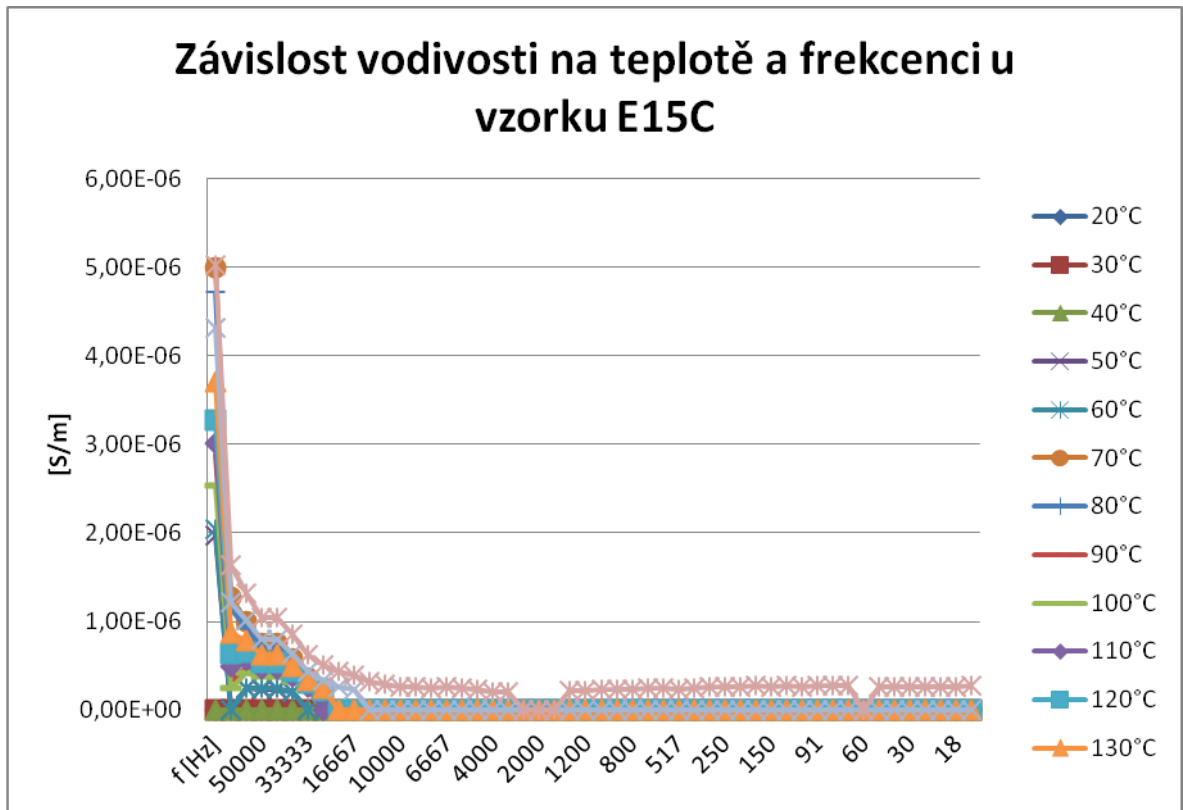


Obr. 64 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E10C



Obr. 65 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E10C

9.3.4 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku E15C

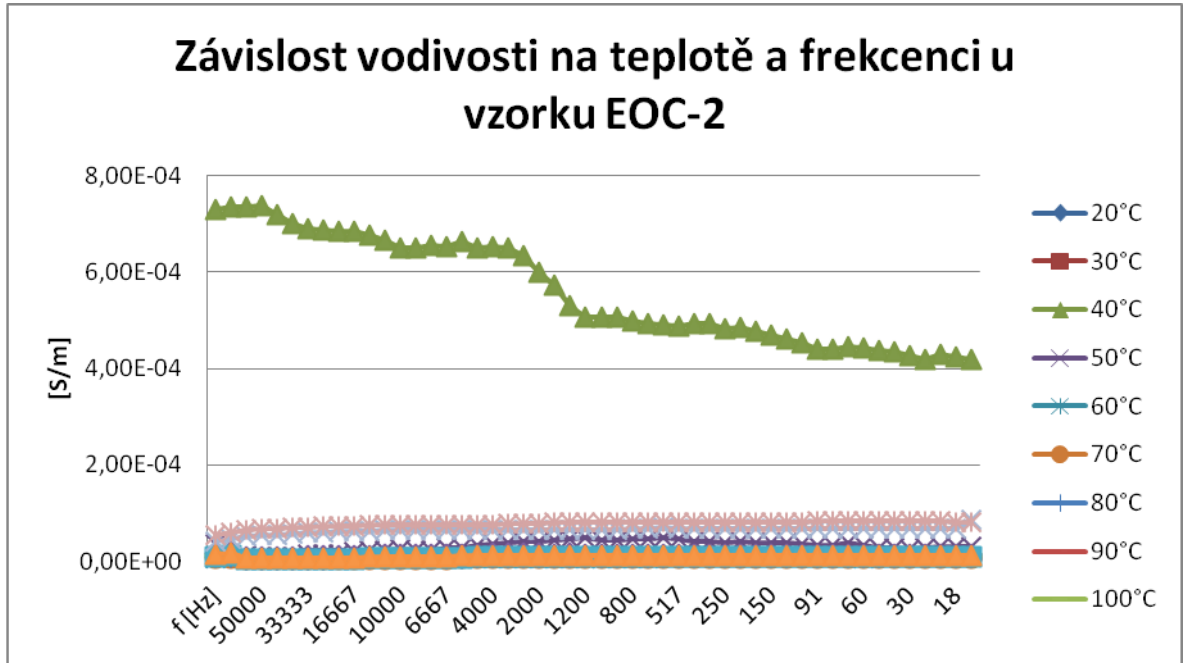


Obr. 66 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci i vzorku E15C

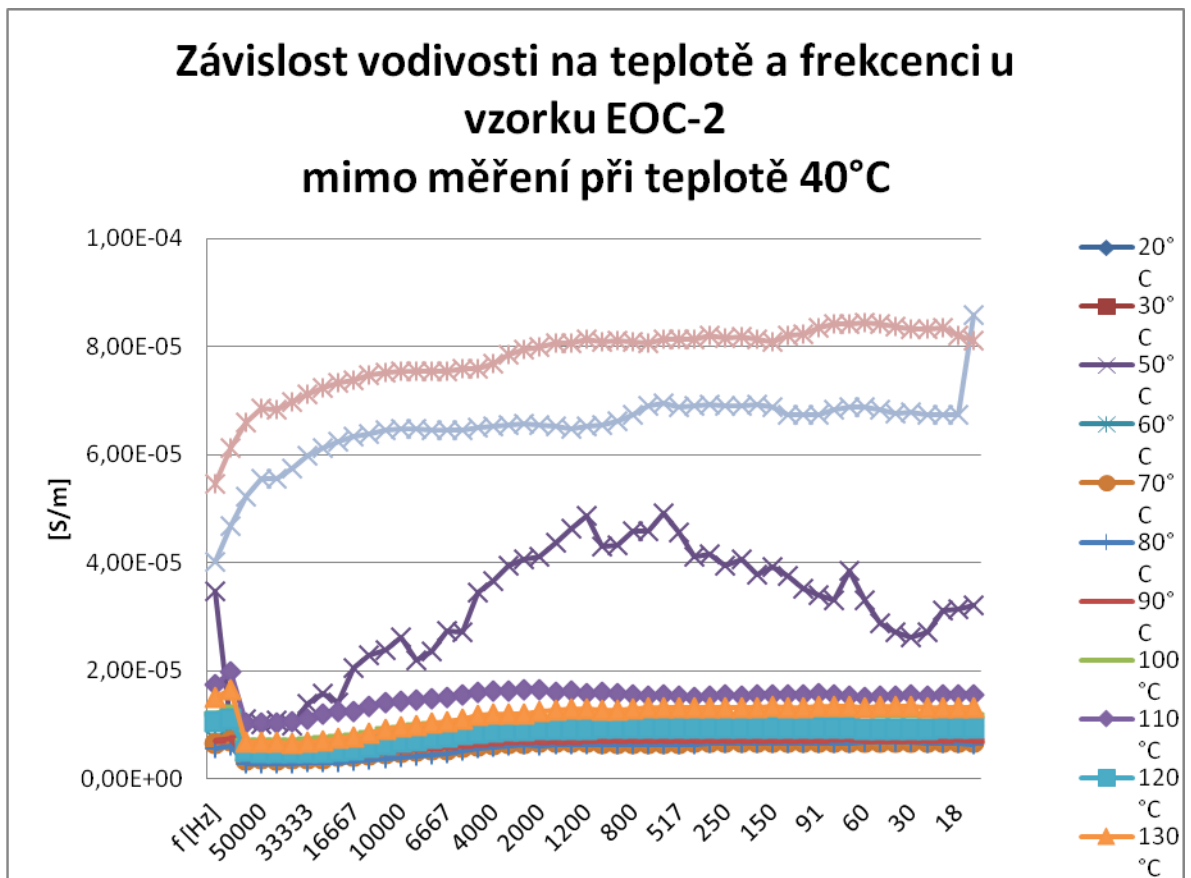


Obr. 67 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E15C

9.3.5 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku E0C-2



Obr. 68 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E0C-2

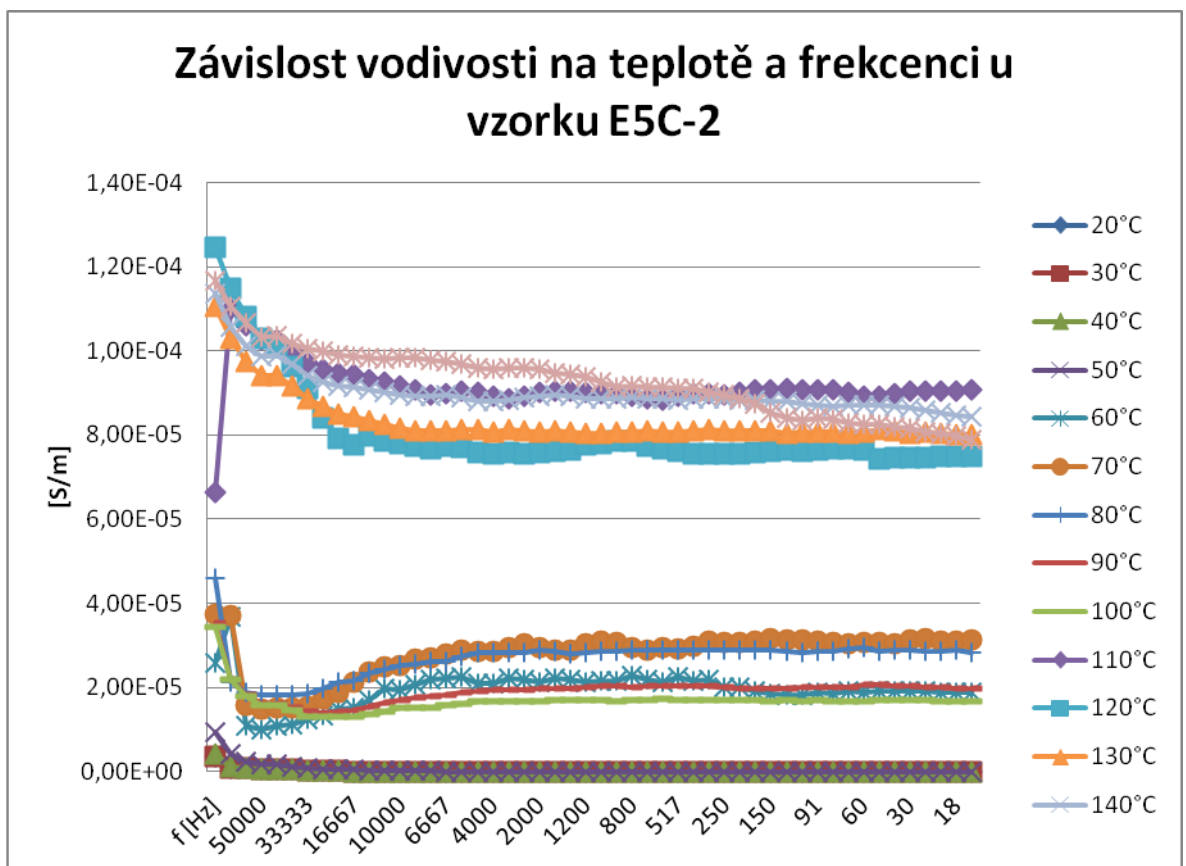


Obr. 69 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E0C-2 mimo měření při teplotě 40°C



Obr. 70 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci vzorku EOC-2

9.3.6 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku E5C-2

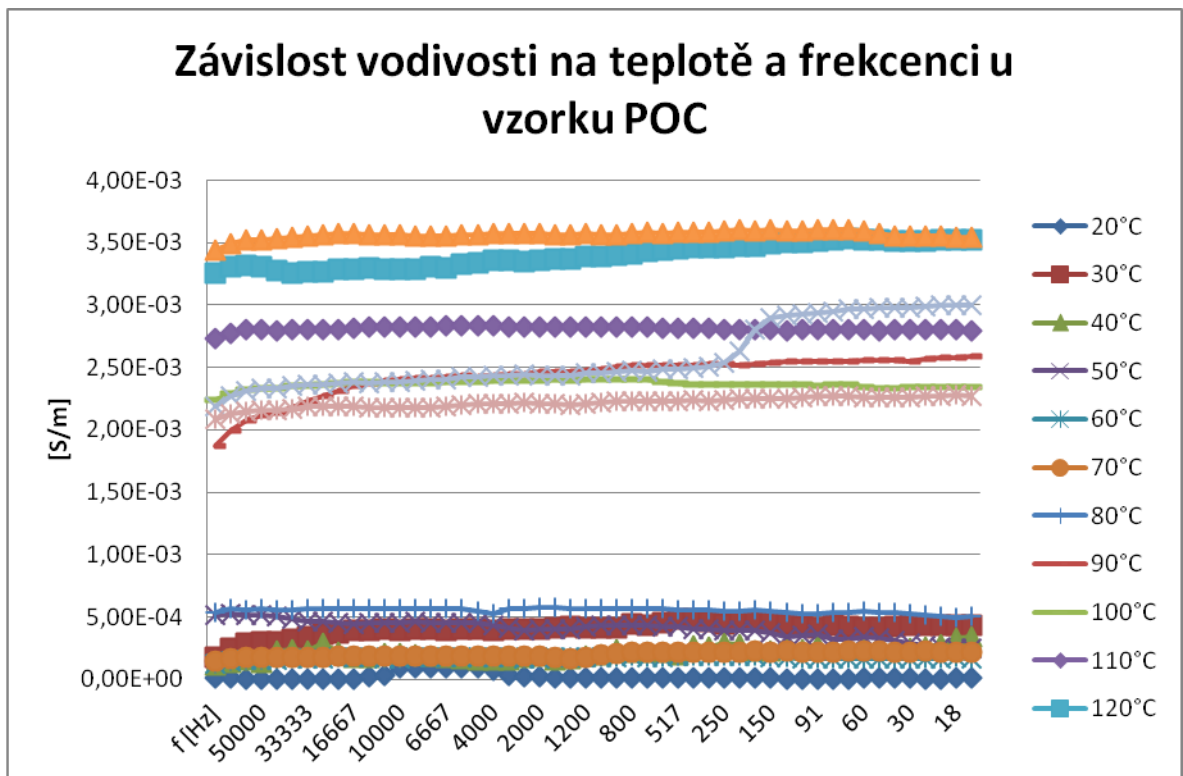


Obr. 71 Závislost vodivosti na teplotě u vzorku E5C-2

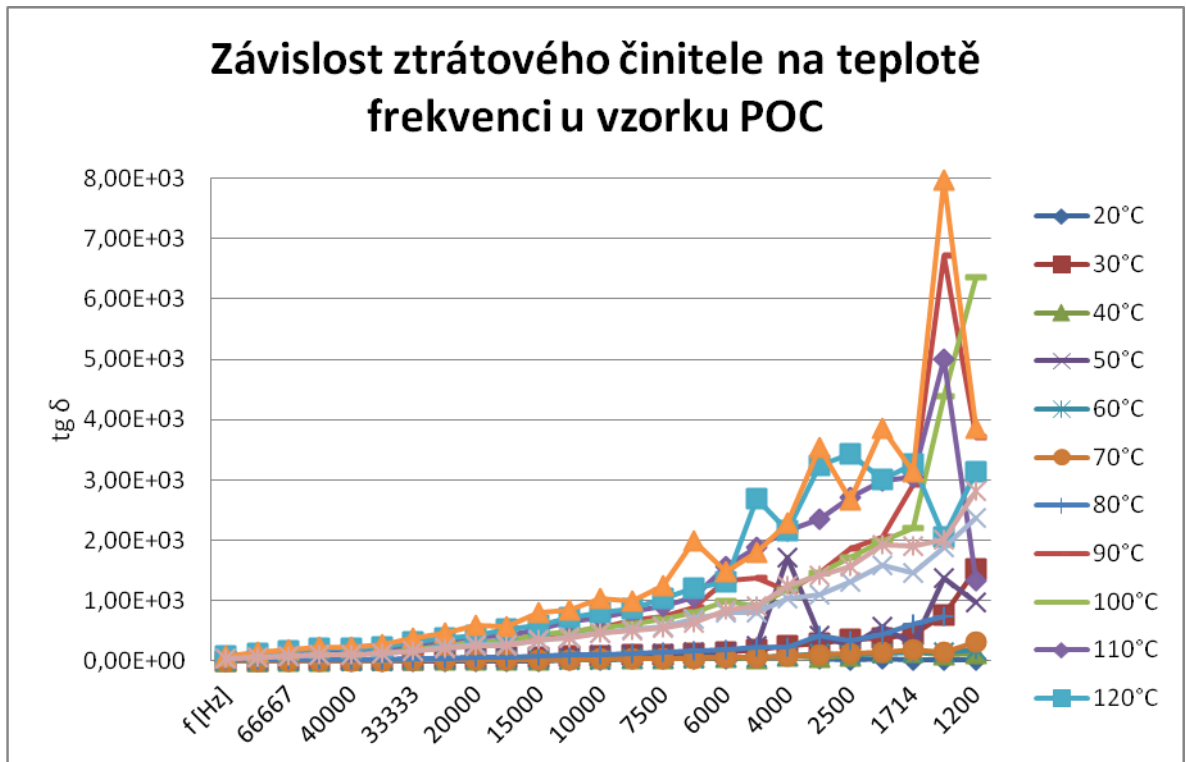


Obr. 72 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E5C-2

9.3.7 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku P0C

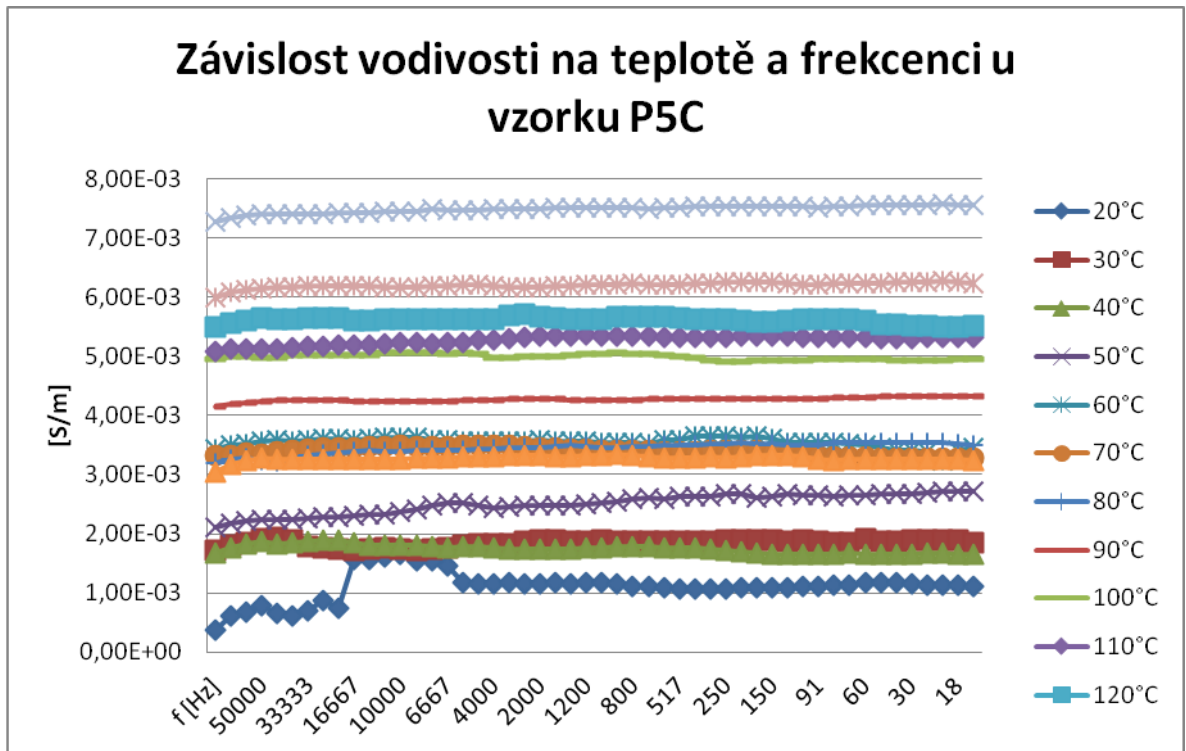


Obr. 73 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku P0C



Obr. 74 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci vzorku POC

9.3.8 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku P5C

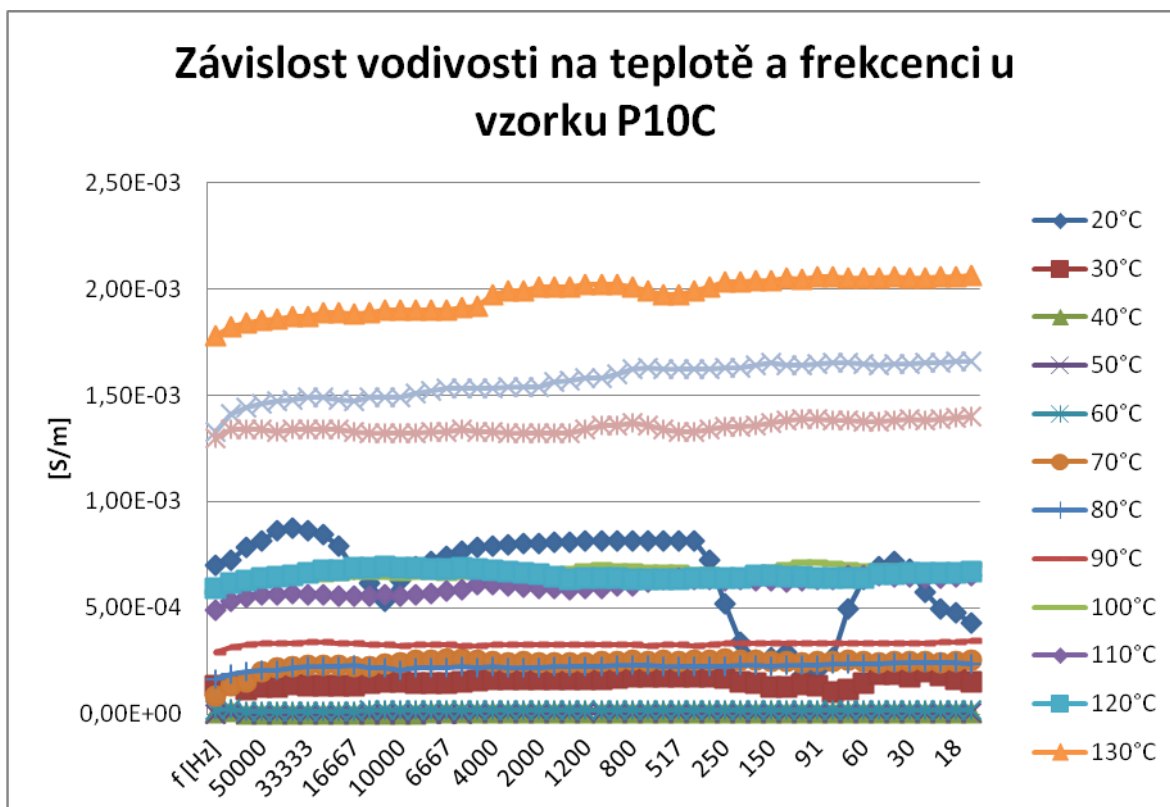


Obr. 75 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku P5C



Obr. 76 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku P5C

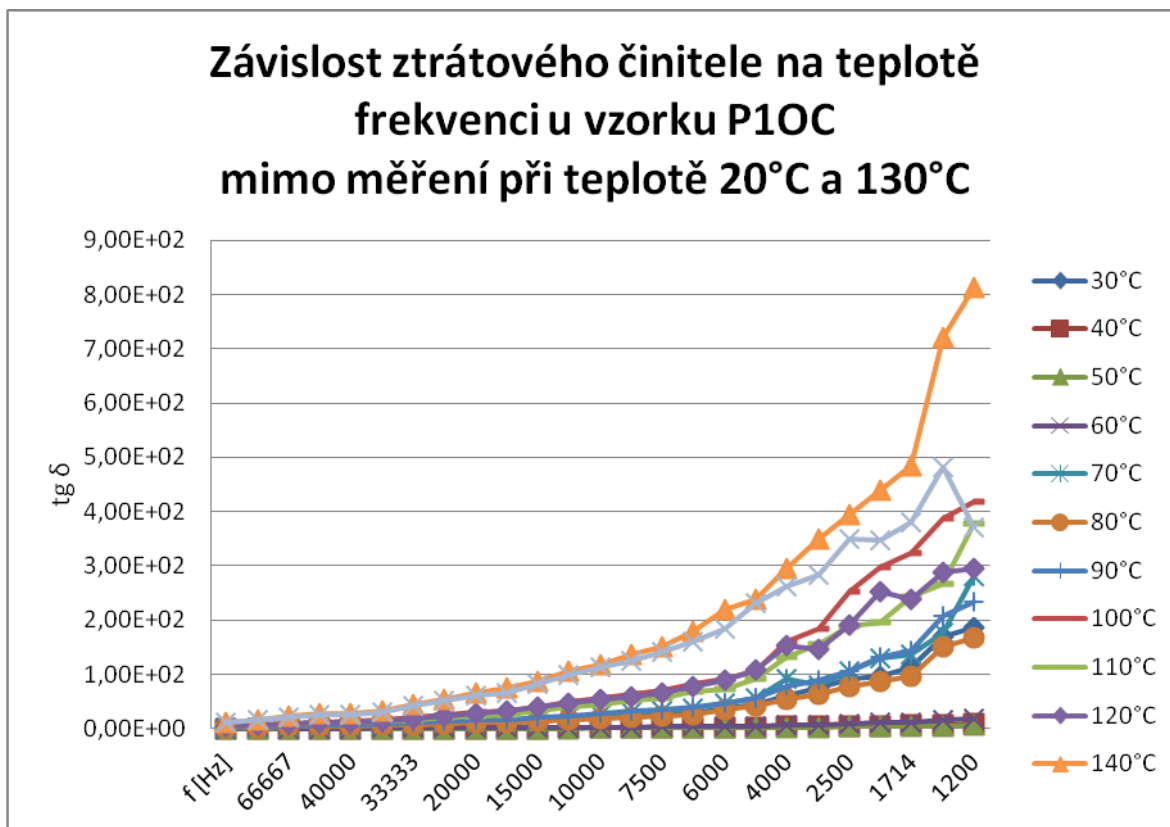
9.3.9 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku E10C



Obr. 77 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku P10C

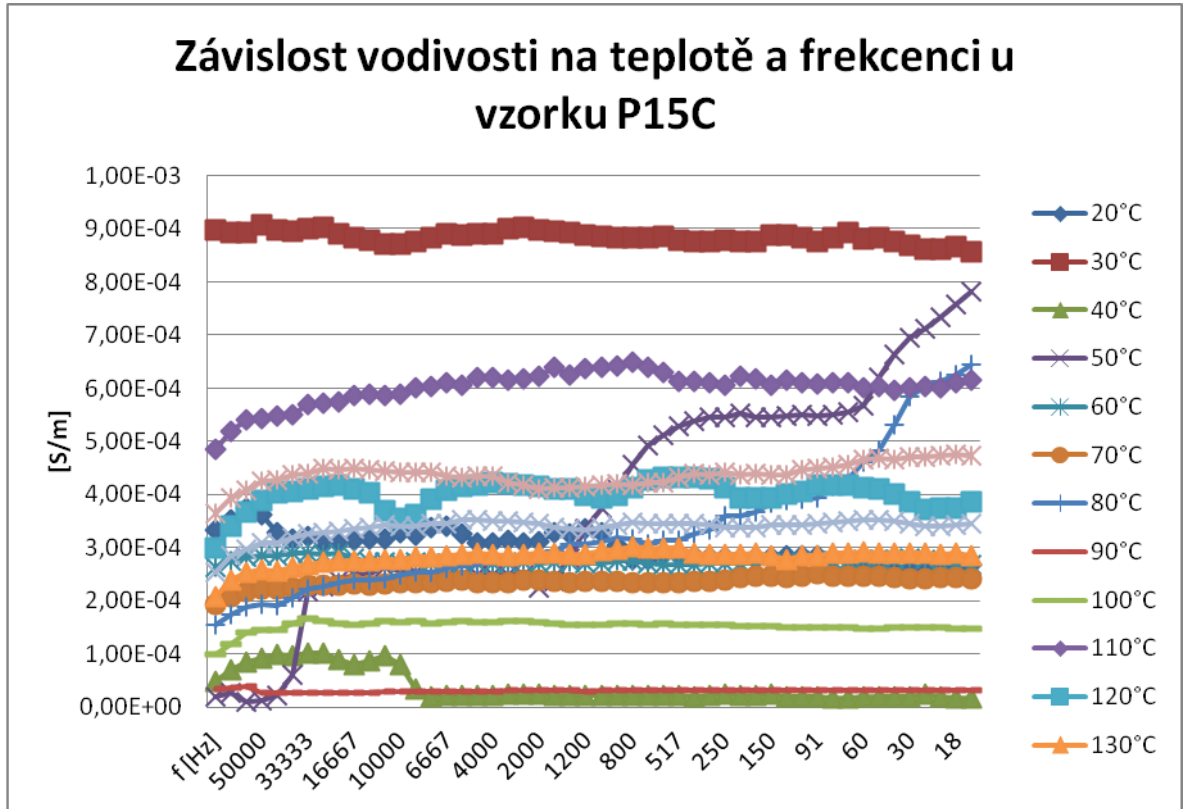


Obr. 78 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku P10C



Obr. 79 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku P10C
mimo měřené při teplotě 20°C a 130°C

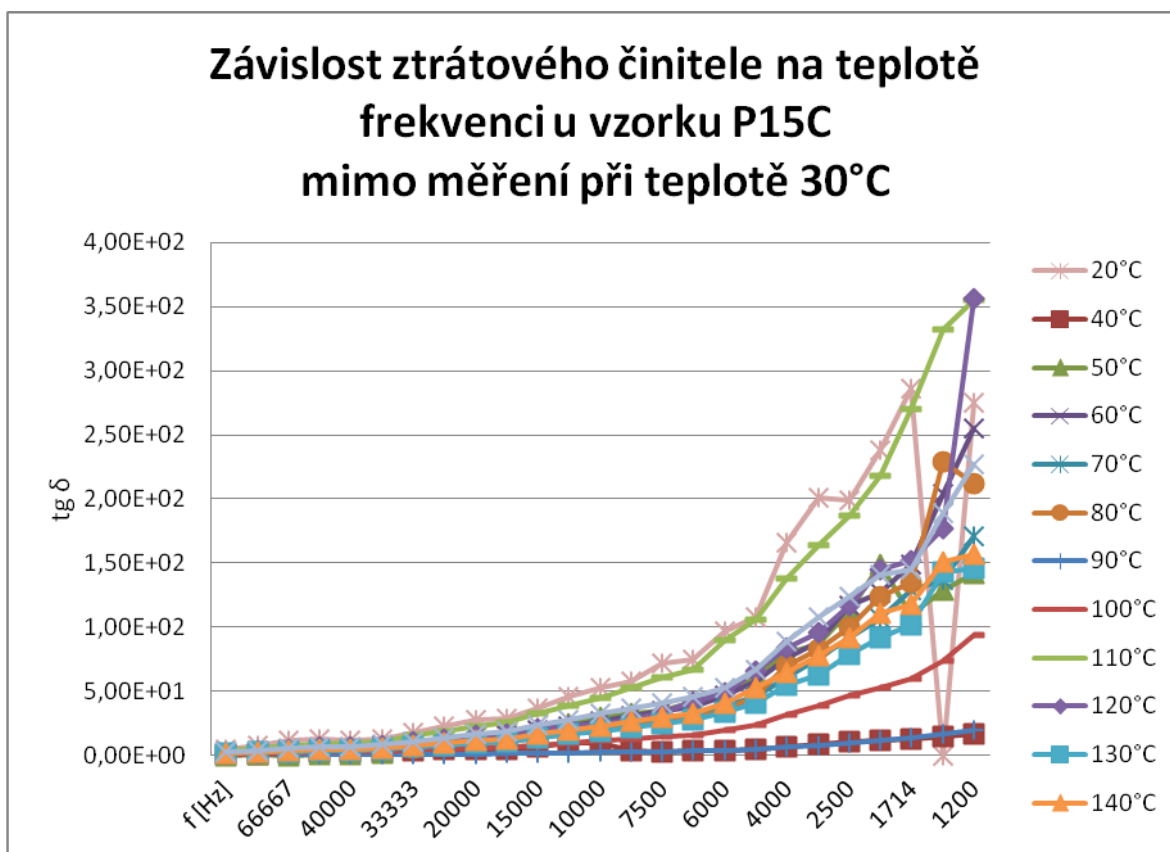
9.3.10 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorku P15C



Obr. 80 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku P15C



Obr. 81 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku P15C



Obr. 82 Závislost ztrátového činitele na teplotě a vodivosti u vzorku E15C
mimo měření při teplotě 30°C

9.3.11 Výsledky měření elektrických vlastností vzorků při teplotě 20°C

Tab. 21 Výsledky měření při 20°C
(E0C – E0C-2)

20°C					
f [Hz]	E0C	E5C	E10C	E15C	E0C-2
100000		2,03E-06	1,10E-05		1,38E-03
66667	4,67E-07	2,94E-07	9,97E-06		1,40E-03
50000	3,89E-07	3,60E-07	9,04E-06		1,42E-03
40000	2,98E-07	3,05E-07	8,14E-06		1,43E-03
40000	2,98E-07	3,05E-07	8,17E-06		1,44E-03
33333	2,31E-07	2,46E-07	7,20E-06		1,45E-03
25000		1,66E-07	5,55E-06		1,47E-03
20000			4,28E-06		1,47E-03
16667			3,35E-06		1,48E-03
15000			2,83E-06		1,50E-03
12000			2,01E-06		1,49E-03
10000			1,47E-06		1,49E-03

8572			1,11E-06		1,50E-03
7500			8,82E-07		1,50E-03
6667			6,98E-07		1,51E-03
6000			5,63E-07		1,52E-03
5000			3,97E-07		1,52E-03
4000			2,63E-07		1,52E-03
3000					1,53E-03
2500					1,54E-03
2000					1,55E-03
1714					1,57E-03
1500					1,56E-03
1200					1,56E-03
1000					1,56E-03
909					1,56E-03
800					1,56E-03
706					1,56E-03
600					1,57E-03
517					1,57E-03
400					1,57E-03
300					1,57E-03
250					1,58E-03
200					1,59E-03
176					1,59E-03
150					1,59E-03
120					1,59E-03
100					1,60E-03
91					1,60E-03
81					1,60E-03
71					1,60E-03
60					1,60E-03
50					1,59E-03
40					1,60E-03
30					1,59E-03
25					1,60E-03
20					1,60E-03
18					1,60E-03
15					1,60E-03
12					1,60E-03
x	3,37E-07	5,29E-07	4,27E-06		1,54E-03
s	8,23E-08	6,14E-07	3,62E-06		5,93E-05
v	2,45E-01	1,16E+00	8,47E-01		3,85E-02

Tab. 22 Výsledky měření při 20°C
(E5C-2 – P15C)

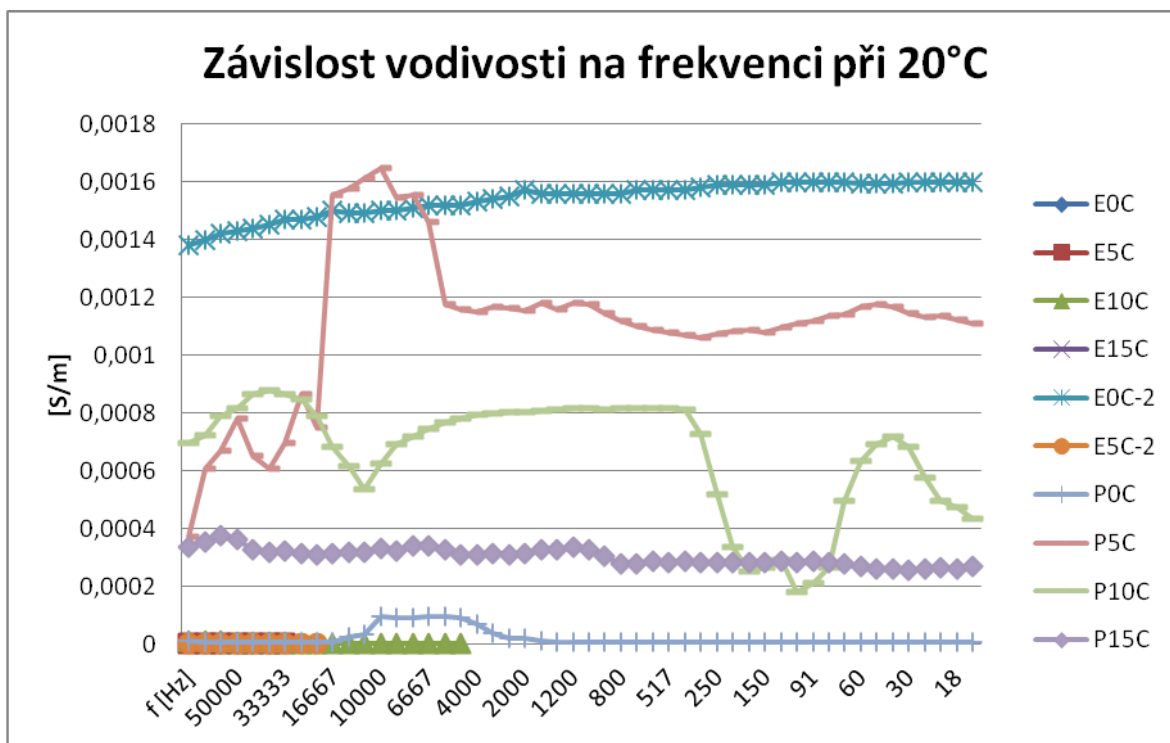
20°C					
f [Hz]	E5C-2	P0C	P5C	P10C	P15C
100000	3,62E-06	1,06E-05	3,70E-04	6,98E-04	3,34E-04
66667	8,69E-07	7,54E-06	6,08E-04	7,22E-04	3,53E-04
50000	7,73E-07	6,26E-06	6,71E-04	7,88E-04	3,74E-04
40000	6,12E-07	5,88E-06	7,79E-04	8,17E-04	3,63E-04
40000	6,13E-07	5,34E-06	6,53E-04	8,63E-04	3,29E-04
33333	4,93E-07	5,03E-06	6,09E-04	8,77E-04	3,16E-04
25000	3,37E-07	4,81E-06	6,98E-04	8,64E-04	3,21E-04
20000	2,50E-07	5,98E-06	8,67E-04	8,46E-04	3,12E-04
16667	1,97E-07	5,96E-06	7,49E-04	7,91E-04	3,09E-04
15000		5,94E-06	1,56E-03	6,80E-04	3,15E-04
12000		2,32E-05	1,58E-03	6,16E-04	3,17E-04
10000		3,43E-05	1,61E-03	5,34E-04	3,17E-04
8572		9,43E-05	1,65E-03	6,27E-04	3,30E-04
7500		9,17E-05	1,55E-03	6,93E-04	3,24E-04
6667		9,24E-05	1,55E-03	7,19E-04	3,38E-04
6000		9,68E-05	1,46E-03	7,44E-04	3,41E-04
5000		9,60E-05	1,18E-03	7,65E-04	3,26E-04
4000		9,16E-05	1,16E-03	7,82E-04	3,09E-04
3000		6,98E-05	1,15E-03	7,94E-04	3,09E-04
2500		3,58E-05	1,17E-03	7,98E-04	3,13E-04
2000		1,92E-05	1,16E-03	8,01E-04	3,09E-04
1714		1,98E-05	1,15E-03	8,04E-04	3,12E-04
1500		9,92E-06	1,18E-03	8,07E-04	3,29E-04
1200		7,86E-06	1,16E-03	8,09E-04	3,26E-04
1000		7,82E-06	1,18E-03	8,15E-04	3,35E-04
909		7,91E-06	1,18E-03	8,15E-04	3,28E-04
800		7,97E-06	1,14E-03	8,12E-04	3,05E-04
706		7,91E-06	1,12E-03	8,14E-04	2,78E-04
600		7,91E-06	1,10E-03	8,14E-04	2,78E-04
517		8,32E-06	1,09E-03	8,15E-04	2,88E-04
400		8,12E-06	1,08E-03	8,15E-04	2,84E-04
300		7,88E-06	1,07E-03	8,13E-04	2,86E-04
250		7,87E-06	1,06E-03	7,26E-04	2,82E-04
200		7,20E-06	1,07E-03	5,20E-04	2,84E-04
176		6,90E-06	1,08E-03	3,37E-04	2,81E-04
150		6,87E-06	1,09E-03	2,53E-04	2,82E-04
120		6,86E-06	1,08E-03	2,65E-04	2,82E-04
100		6,49E-06	1,10E-03	2,89E-04	2,85E-04
91		6,40E-06	1,11E-03	1,81E-04	2,84E-04
81		6,37E-06	1,12E-03	2,09E-04	2,85E-04

71		6,38E-06	1,14E-03	2,66E-04	2,80E-04
60		6,40E-06	1,14E-03	4,96E-04	2,78E-04
50		6,79E-06	1,17E-03	6,32E-04	2,68E-04
40		6,81E-06	1,18E-03	6,92E-04	2,62E-04
30		6,67E-06	1,17E-03	7,18E-04	2,58E-04
25		6,69E-06	1,14E-03	6,80E-04	2,57E-04
20		6,59E-06	1,13E-03	5,74E-04	2,60E-04
18		6,61E-06	1,14E-03	4,98E-04	2,63E-04
15		7,41E-06	1,12E-03	4,76E-04	2,61E-04
12		7,81E-06	1,11E-03	4,32E-04	2,68E-04
x	8,63E-07	2,07E-05	1,11E-03	6,60E-04	3,03E-04
s	9,98E-07	2,90E-05	2,63E-04	1,96E-04	2,87E-05
v	1,16E+00	1,40E+00	2,37E-01	2,97E-01	9,50E-02

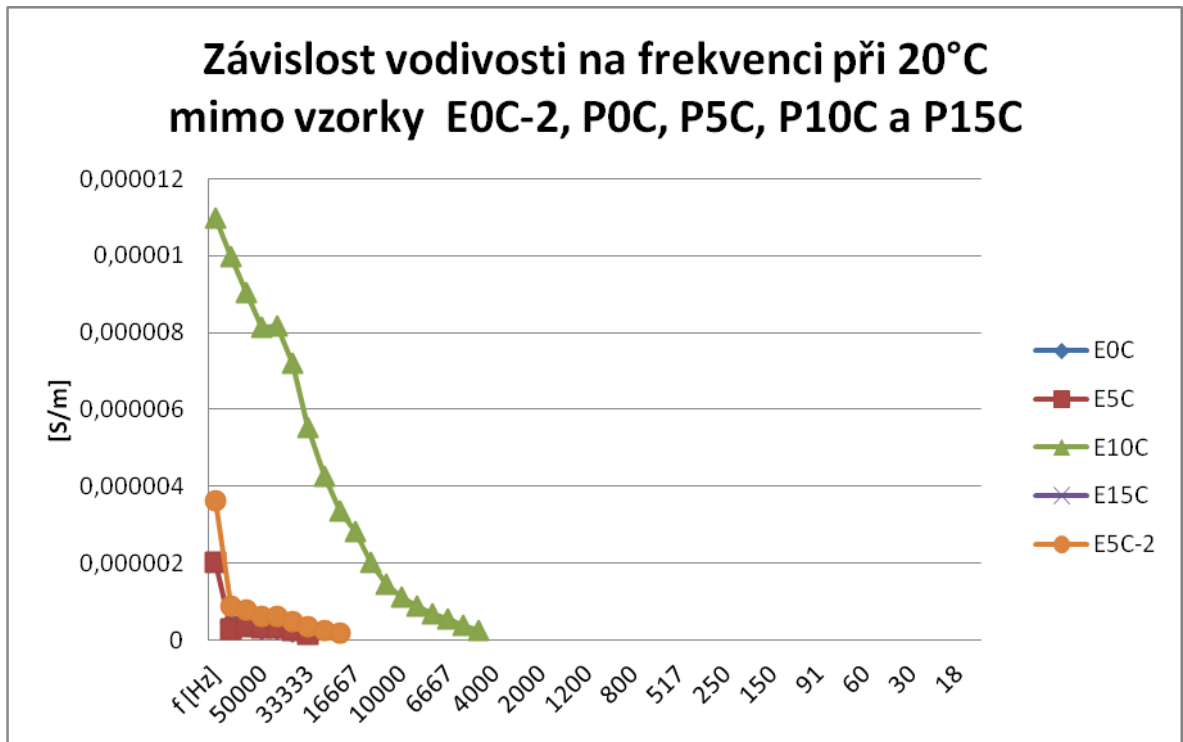
Minimální průměrnou hodnotu vodivosti 0,000000337 S/m má při 20°C vzorek E0C.

Maximální průměrnou hodnotu vodivosti 0,000154 S/m má při 20°C vzorek E0C-2

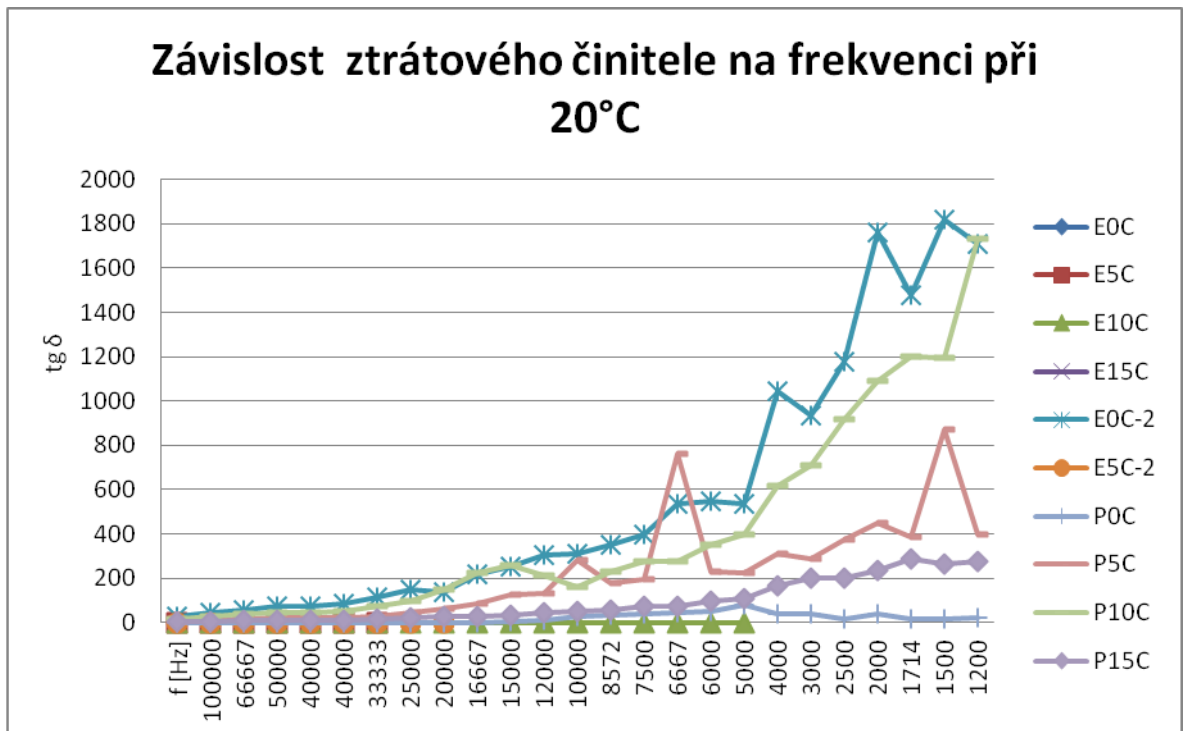
9.3.12 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorků při teplotě 20°C



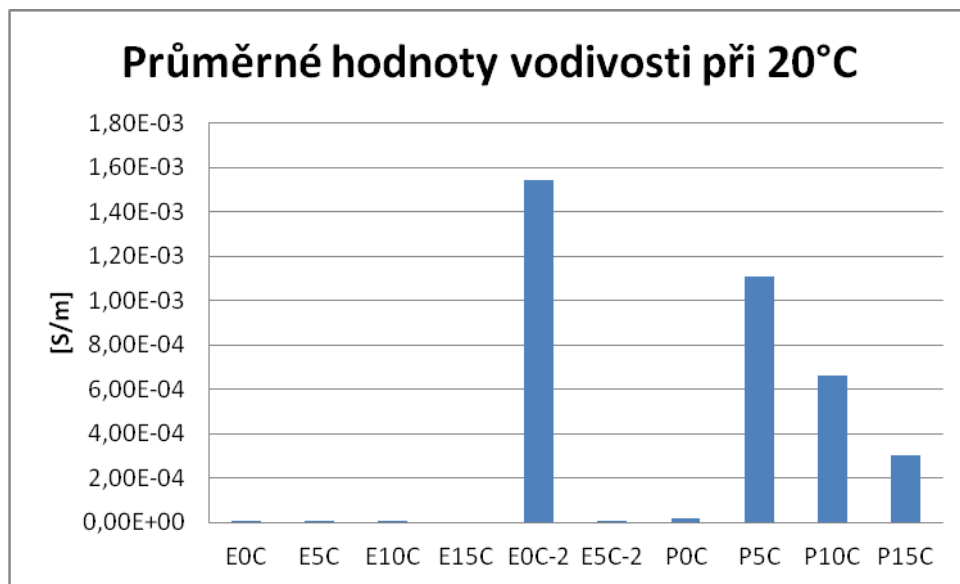
Obr. 83 Závislost vodivosti na frekvenci při 20°C



Obr. 84 Závislost vodivosti na frekvenci při 20°C mimo vzorky E0C-2, P0C, P5C, P10C a P15C



Obr. 85 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 20°C



Obr. 86 Průměrné hodnoty vodivosti při 20°C

9.3.13 Výsledky měření elektrických vlastností vzorků při teplotě 70°C

Tab. 23 Výsledky měření při 70°C

(EOC – EOC-2)

70°C					
f [Hz]	EOC	E5C	E10C	E15C	EOC-2
100000	2,40E-04	8,54E-05	3,48E-06	5,00E-06	6,57E-06
66667	2,62E-04	8,76E-05	1,85E-06	1,28E-06	7,04E-06
50000	2,77E-04	9,01E-05	8,40E-07	9,99E-07	3,50E-06
40000	2,92E-04	9,19E-05	7,17E-07	7,50E-07	3,59E-06
40000	2,94E-04	9,13E-05	7,09E-07	7,54E-07	3,57E-06
33333	2,96E-04	9,25E-05	5,98E-07	5,79E-07	3,61E-06
25000	3,05E-04	9,27E-05	4,48E-07	3,68E-07	3,69E-06
20000	3,07E-04	9,31E-05	3,61E-07	2,56E-07	3,81E-06
16667	3,09E-04	9,23E-05	3,13E-07		4,10E-06
15000	3,14E-04	9,27E-05	2,82E-07		4,20E-06
12000	3,12E-04	9,28E-05	2,45E-07		4,44E-06
10000	3,14E-04	9,27E-05	2,28E-07		4,71E-06
8572	3,12E-04	9,25E-05	2,18E-07		4,89E-06
7500	3,14E-04	9,36E-05	2,12E-07		5,14E-06
6667	3,13E-04	9,35E-05	2,06E-07		5,29E-06
6000	3,14E-04	9,34E-05	2,00E-07		5,43E-06
5000	3,14E-04	9,49E-05	1,94E-07		5,76E-06
4000	3,16E-04	9,47E-05	1,97E-07		6,08E-06

3000	3,23E-04	9,47E-05	1,97E-07		6,35E-06
2500	3,23E-04	9,51E-05	1,93E-07		6,47E-06
2000	3,20E-04	9,33E-05	1,93E-07		6,59E-06
1714	3,14E-04	9,36E-05	1,88E-07		6,67E-06
1500	3,13E-04	9,33E-05	1,90E-07		6,71E-06
1200	3,13E-04	9,29E-05	1,91E-07		6,71E-06
1000	3,18E-04	9,41E-05	1,85E-07		6,74E-06
909	3,16E-04	9,47E-05	1,86E-07		6,57E-06
800	3,19E-04	9,38E-05	1,87E-07		6,61E-06
706	3,16E-04	9,62E-05	1,86E-07		6,64E-06
600	3,20E-04	9,64E-05	1,86E-07		6,62E-06
517	3,25E-04	9,60E-05	1,87E-07		6,65E-06
400	3,28E-04	9,59E-05	1,94E-07		6,63E-06
300	3,30E-04	9,67E-05	1,91E-07		6,68E-06
250	3,33E-04	9,79E-05	1,80E-07		6,70E-06
200	3,33E-04	9,72E-05	1,88E-07		6,71E-06
176	3,34E-04	9,75E-05	1,87E-07		6,74E-06
150	3,37E-04	9,71E-05	--		6,73E-06
120	3,32E-04	9,69E-05	1,87E-07		6,71E-06
100	3,32E-04	9,76E-05	1,85E-07		6,72E-06
91	3,41E-04	9,78E-05	1,83E-07		6,73E-06
81	3,43E-04	9,74E-05	1,92E-07		6,76E-06
71	3,35E-04	9,73E-05	1,89E-07		6,79E-06
60	3,34E-04	9,78E-05	1,93E-07		6,81E-06
50	3,27E-04	9,71E-05	--		6,69E-06
40	3,24E-04	9,73E-05	1,90E-07		6,75E-06
30	3,19E-04	9,55E-05	1,87E-07		6,73E-06
25	3,15E-04	9,64E-05	1,89E-07		6,73E-06
20	3,21E-04	9,55E-05	1,89E-07		6,71E-06
18	3,25E-04	9,67E-05	1,90E-07		6,68E-06
15	3,27E-04	9,64E-05	1,78E-07		6,74E-06
12	3,22E-04	9,55E-05	1,84E-07		6,67E-06
x	3,16E-04	9,46E-05	3,53E-07	1,25E-06	5,98E-06
s	1,84E-05	2,61E-06	5,31E-07	1,45E-06	1,13E-06
v	5,83E-02	2,75E-02	1,51E+00	1,16E+00	1,89E-01

Tab. 24 Výsledky měření při 70°C
(E5C-2 – P15C)

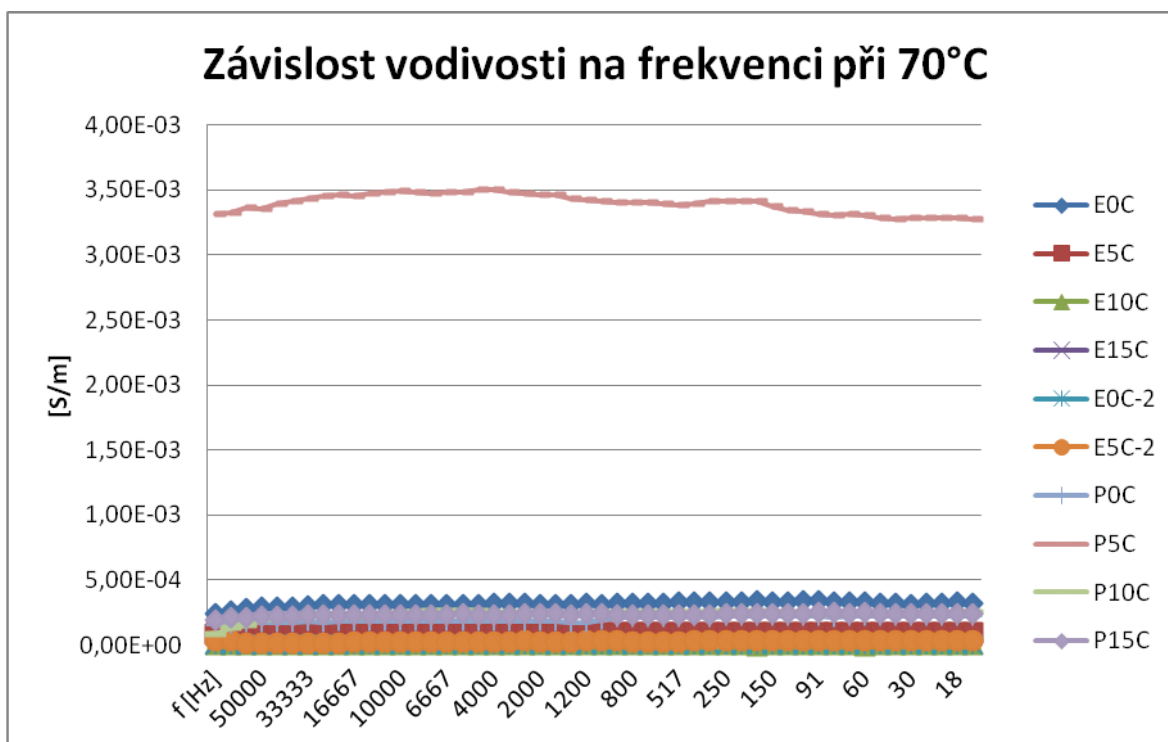
70°C					
f [Hz]	E5C-2	P0C	P5C	P10C	P15C
100000	3,73E-05	1,50E-04	3,31E-03	8,74E-05	1,92E-04
66667	3,72E-05	1,64E-04	3,33E-03	1,33E-04	2,08E-04
50000	1,58E-05	1,72E-04	3,36E-03	1,55E-04	2,17E-04
40000	1,50E-05	1,76E-04	3,36E-03	2,03E-04	2,22E-04
40000	1,52E-05	1,76E-04	3,39E-03	2,21E-04	2,22E-04
33333	1,51E-05	1,75E-04	3,42E-03	2,22E-04	2,26E-04
25000	1,54E-05	1,78E-04	3,44E-03	2,29E-04	2,29E-04
20000	1,72E-05	1,75E-04	3,45E-03	2,33E-04	2,29E-04
16667	1,88E-05	1,83E-04	3,46E-03	2,31E-04	2,29E-04
15000	2,12E-05	1,83E-04	3,46E-03	2,25E-04	2,31E-04
12000	2,37E-05	1,82E-04	3,48E-03	2,26E-04	2,29E-04
10000	2,50E-05	1,84E-04	3,49E-03	2,38E-04	2,33E-04
8572	2,54E-05	1,83E-04	3,49E-03	2,45E-04	2,34E-04
7500	2,67E-05	1,82E-04	3,48E-03	2,52E-04	2,34E-04
6667	2,71E-05	1,82E-04	3,47E-03	2,57E-04	2,35E-04
6000	2,80E-05	1,84E-04	3,48E-03	2,59E-04	2,37E-04
5000	2,89E-05	1,85E-04	3,49E-03	2,60E-04	2,38E-04
4000	2,85E-05	1,84E-04	3,50E-03	2,57E-04	2,35E-04
3000	2,86E-05	1,85E-04	3,50E-03	2,49E-04	2,35E-04
2500	2,97E-05	1,84E-04	3,49E-03	2,46E-04	2,36E-04
2000	3,06E-05	1,84E-04	3,48E-03	2,49E-04	2,38E-04
1714	2,96E-05	1,85E-04	3,46E-03	2,45E-04	2,40E-04
1500	2,88E-05	1,78E-04	3,46E-03	2,45E-04	2,38E-04
1200	2,89E-05	1,70E-04	3,44E-03	2,45E-04	2,34E-04
1000	3,05E-05	1,77E-04	3,43E-03	2,43E-04	2,37E-04
909	3,11E-05	1,94E-04	3,42E-03	2,46E-04	2,38E-04
800	3,08E-05	2,08E-04	3,40E-03	2,51E-04	2,37E-04
706	2,96E-05	2,16E-04	3,40E-03	2,52E-04	2,35E-04
600	2,91E-05	2,17E-04	3,40E-03	2,51E-04	2,36E-04
517	2,95E-05	2,16E-04	3,40E-03	2,53E-04	2,35E-04
400	2,92E-05	2,17E-04	3,39E-03	2,50E-04	2,35E-04
300	3,00E-05	2,18E-04	3,40E-03	2,56E-04	2,37E-04
250	3,11E-05	2,16E-04	3,41E-03	2,56E-04	2,36E-04
200	3,06E-05	2,19E-04	3,42E-03	2,60E-04	2,39E-04
176	3,07E-05	2,21E-04	3,41E-03	2,53E-04	2,43E-04
150	3,12E-05	2,22E-04	3,41E-03	2,58E-04	2,46E-04
120	3,16E-05	2,21E-04	3,37E-03	2,49E-04	2,46E-04
100	3,13E-05	2,23E-04	3,34E-03	2,49E-04	2,45E-04
91	3,12E-05	2,18E-04	3,33E-03	2,46E-04	2,47E-04
81	3,09E-05	2,20E-04	3,32E-03	2,46E-04	2,51E-04

71	3,08E-05	2,16E-04	3,31E-03	2,48E-04	2,47E-04
60	3,05E-05	2,25E-04	3,31E-03	2,52E-04	2,46E-04
50	3,09E-05	2,22E-04	3,30E-03	2,51E-04	2,47E-04
40	3,07E-05	2,23E-04	3,28E-03	2,44E-04	2,47E-04
30	3,06E-05	2,21E-04	3,28E-03	2,51E-04	2,43E-04
25	3,13E-05	2,21E-04	3,28E-03	2,51E-04	2,43E-04
20	3,16E-05	2,23E-04	3,28E-03	2,47E-04	2,42E-04
18	3,10E-05	2,22E-04	3,29E-03	2,44E-04	2,45E-04
15	3,11E-05	2,20E-04	3,28E-03	2,48E-04	2,43E-04
12	3,13E-05	2,18E-04	3,27E-03	2,53E-04	2,43E-04
x	2,79E-05	1,98E-04	3,40E-03	2,38E-04	2,36E-04
s	5,44E-06	2,11E-05	7,19E-05	3,15E-05	1,03E-05
v	1,95E-01	1,06E-01	2,12E-02	1,32E-01	4,35E-02

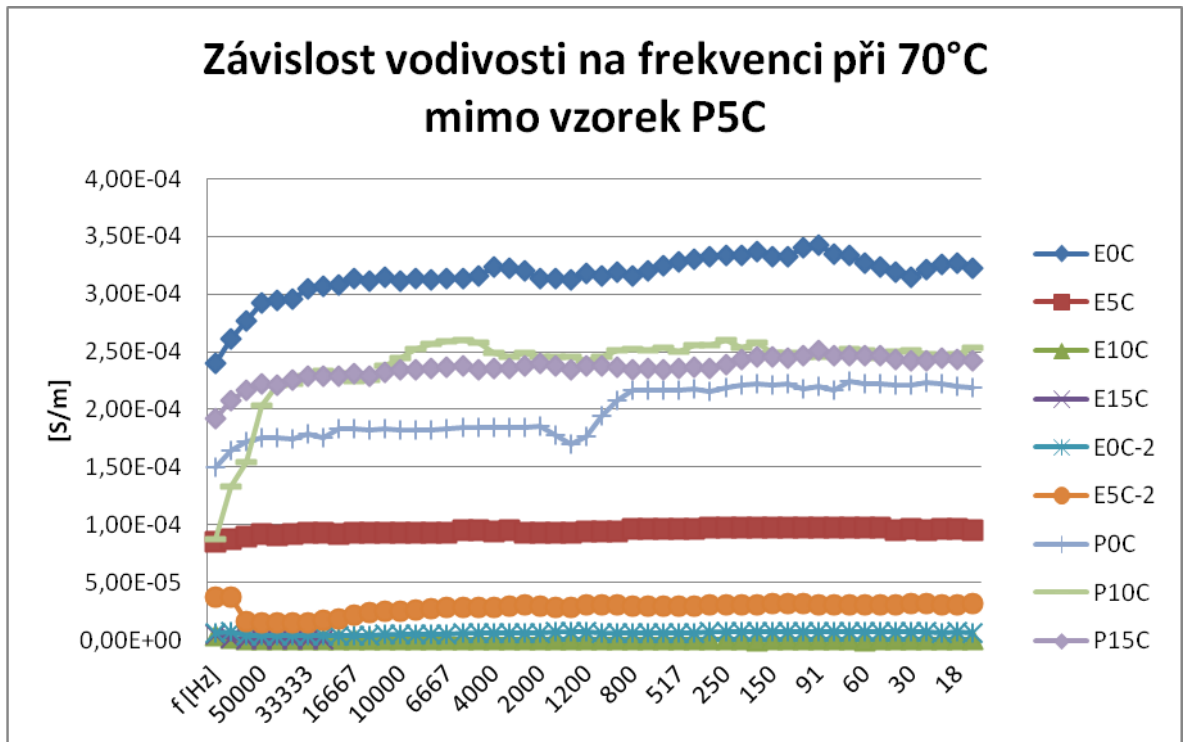
Minimální průměrnou hodnotu vodivosti 0,000000353 S/m má při 70°C vzorek E10C.

Maximální průměrnou hodnotu vodivosti 0,00034 S/m má při 70°C vzorek P5C

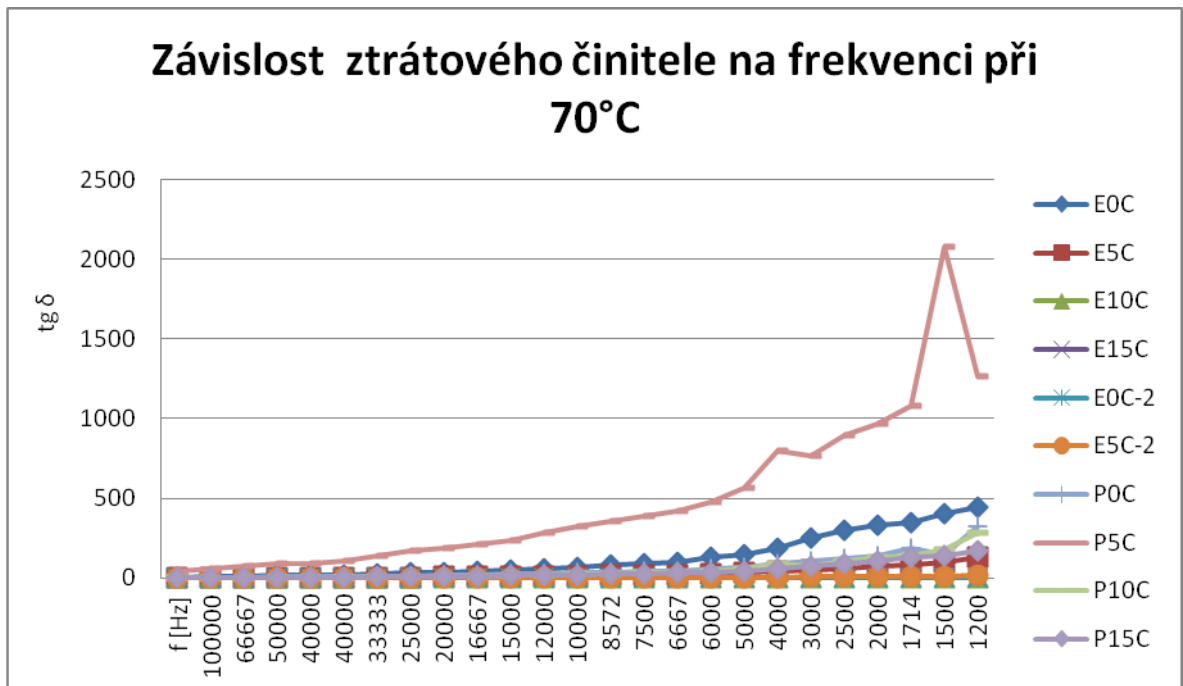
9.3.14 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorků při teplotě 70°C



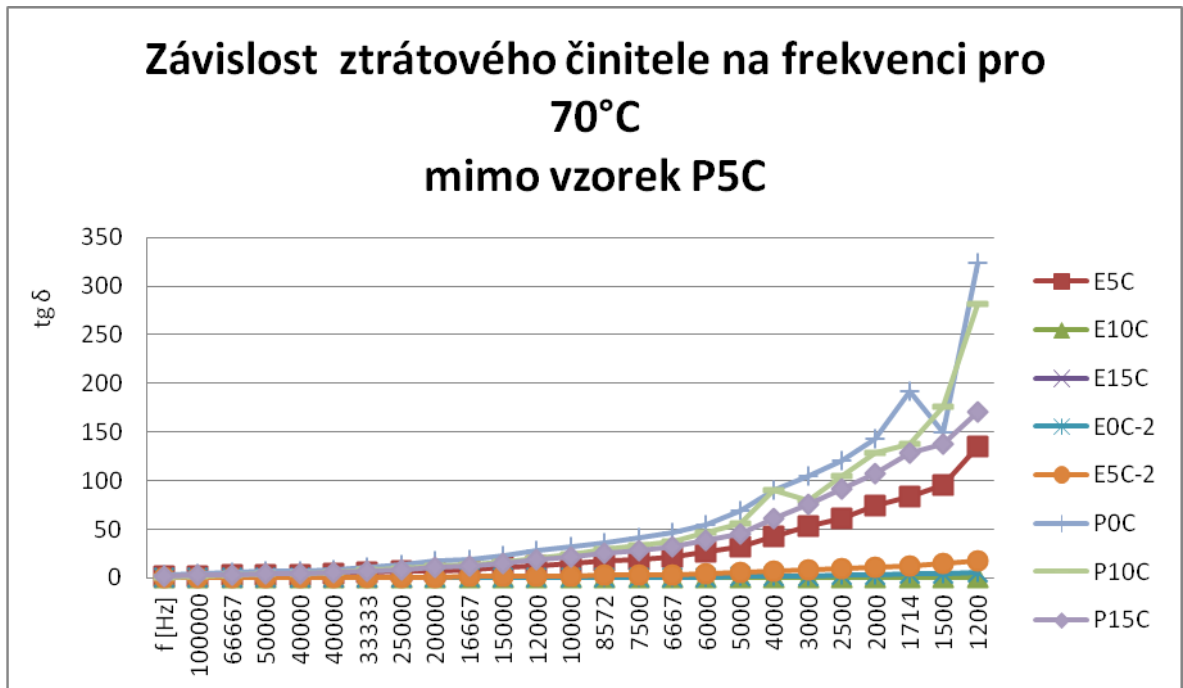
Obr. 87 Závislost vodivosti na frekvenci při 70°C



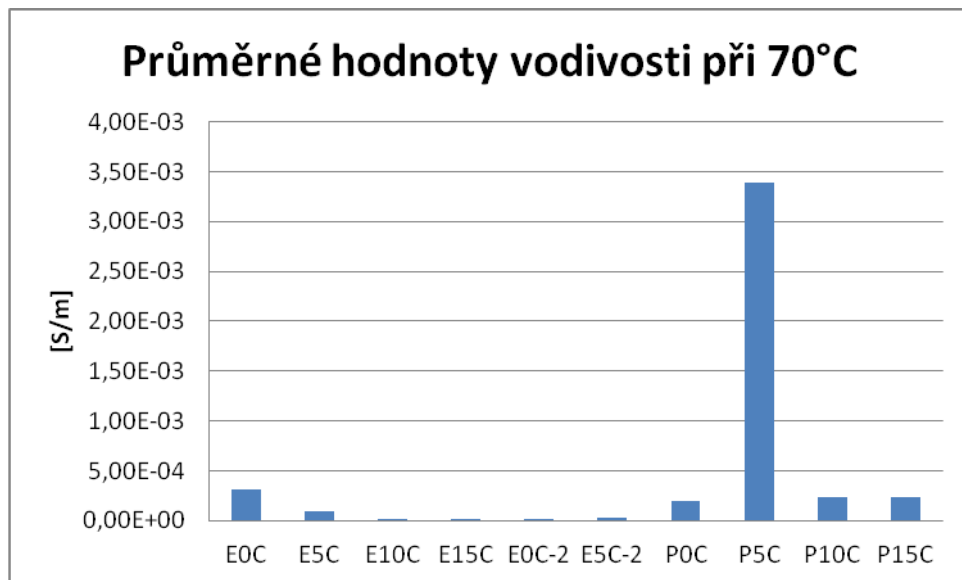
Obr. 88 Závislost vodivosti na frekvenci při 70°C
mimo vzorek P5C



Obr. 89 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 70°C



Obr. 90 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 70°C
mimo vzorek P5C



Obr. 91 Průměrné hodnoty vodivosti při 70°C

9.3.15 Výsledky měření elektrických vlastností vzorků při teplotě 150°C

Tab. 25 Výsledky měření při 150°C

(E0C – E0C-2)

150°C					
f [Hz]	E0C	E5C	E10C	E15C	E0C-2
100000	3,37E-05	2,01E-05	1,23E-05	5,02E-06	5,45E-05
66667	3,16E-05	1,12E-05	6,30E-06	1,65E-06	6,12E-05
50000	3,12E-05	7,62E-06	3,73E-06	1,33E-06	6,59E-05
40000	3,12E-05	5,71E-06	2,82E-06	1,05E-06	6,87E-05
40000	3,13E-05	5,69E-06	2,83E-06	1,04E-06	6,84E-05
33333	3,20E-05	4,71E-06	2,26E-06	8,52E-07	6,97E-05
25000	3,13E-05	3,59E-06	1,63E-06	6,19E-07	7,12E-05
20000	3,08E-05	2,98E-06	1,29E-06	5,08E-07	7,24E-05
16667	3,14E-05	2,61E-06	1,08E-06	4,31E-07	7,32E-05
15000	3,21E-05	2,43E-06	9,78E-07	3,90E-07	7,38E-05
12000	3,27E-05	2,13E-06	8,15E-07	3,23E-07	7,48E-05
10000	3,30E-05	1,93E-06	7,21E-07	2,90E-07	7,53E-05
8572	3,31E-05	1,79E-06	6,54E-07	2,66E-07	7,55E-05
7500	3,33E-05	1,69E-06	6,10E-07	2,59E-07	7,55E-05
6667	3,35E-05	1,60E-06	5,80E-07	2,46E-07	7,55E-05
6000	3,42E-05	1,53E-06	5,57E-07	2,61E-07	7,54E-05
5000	3,45E-05	1,42E-06	5,22E-07	2,47E-07	7,58E-05
4000	3,38E-05	1,31E-06	4,84E-07	2,33E-07	7,59E-05
3000	3,38E-05	1,18E-06	4,45E-07	2,12E-07	7,69E-05
2500	3,41E-05	1,11E-06	4,22E-07	2,11E-07	7,84E-05
2000	3,47E-05	1,01E-06	3,96E-07	--	7,95E-05
1714	3,45E-05	9,44E-07	3,76E-07	--	7,99E-05
1500	3,44E-05	8,82E-07	3,61E-07	--	8,07E-05
1200	3,42E-05	7,79E-07	3,36E-07	2,14E-07	8,07E-05
1000	3,42E-05	6,96E-07	3,25E-07	2,19E-07	8,13E-05
909	3,46E-05	6,55E-07	3,26E-07	2,34E-07	8,08E-05
800	3,50E-05	6,01E-07	3,28E-07	2,41E-07	8,10E-05
706	3,40E-05	5,52E-07	3,24E-07	2,38E-07	8,09E-05
600	3,40E-05	4,95E-07	2,87E-07	2,45E-07	8,07E-05
517	3,45E-05	4,49E-07	2,65E-07	2,47E-07	8,13E-05
400	3,48E-05	3,79E-07	2,39E-07	2,42E-07	8,13E-05
300	3,52E-05	3,18E-07	2,21E-07	2,46E-07	8,14E-05
250	3,46E-05	2,90E-07	2,37E-07	2,66E-07	8,20E-05
200	3,44E-05	2,58E-07	2,00E-07	2,70E-07	8,16E-05
176	3,42E-05	2,44E-07	1,99E-07	2,70E-07	8,19E-05
150	3,42E-05	2,18E-07	1,98E-07	2,73E-07	8,14E-05

120	3,44E-05	2,12E-07	1,77E-07	2,69E-07	8,09E-05
100	3,44E-05	2,01E-07	1,95E-07	2,73E-07	8,22E-05
91	3,37E-05	1,96E-07	2,24E-07	2,71E-07	8,24E-05
81	3,37E-05	1,91E-07	2,24E-07	2,74E-07	8,35E-05
71	3,40E-05	1,88E-07	1,96E-07	2,72E-07	8,41E-05
60	3,36E-05	1,85E-07	1,82E-07	2,75E-07	8,41E-05
50	3,29E-05	--	--	--	8,44E-05
40	3,23E-05	1,77E-07	1,94E-07	2,69E-07	8,41E-05
30	3,16E-05	1,72E-07	1,84E-07	2,67E-07	8,38E-05
25	3,20E-05	1,69E-07	1,73E-07	2,62E-07	8,32E-05
20	3,20E-05	1,65E-07	1,83E-07	2,67E-07	8,34E-05
18	3,25E-05	1,62E-07	1,90E-07	2,70E-07	8,34E-05
15	3,30E-05	1,62E-07	1,94E-07	2,68E-07	8,20E-05
12	3,27E-05	1,55E-07	1,95E-07	2,72E-07	8,10E-05
x	3,33E-05	1,91E-06	9,82E-07	4,81E-07	7,79E-05
s	1,21E-06	3,38E-06	1,97E-06	7,42E-07	6,2E-06
v	3,62E-02	1,78E+00	2,00E+00	1,54E+00	7,96E-02

Tab. 26 Výsledky měření při 150°C

(E5C-2 – P15C)

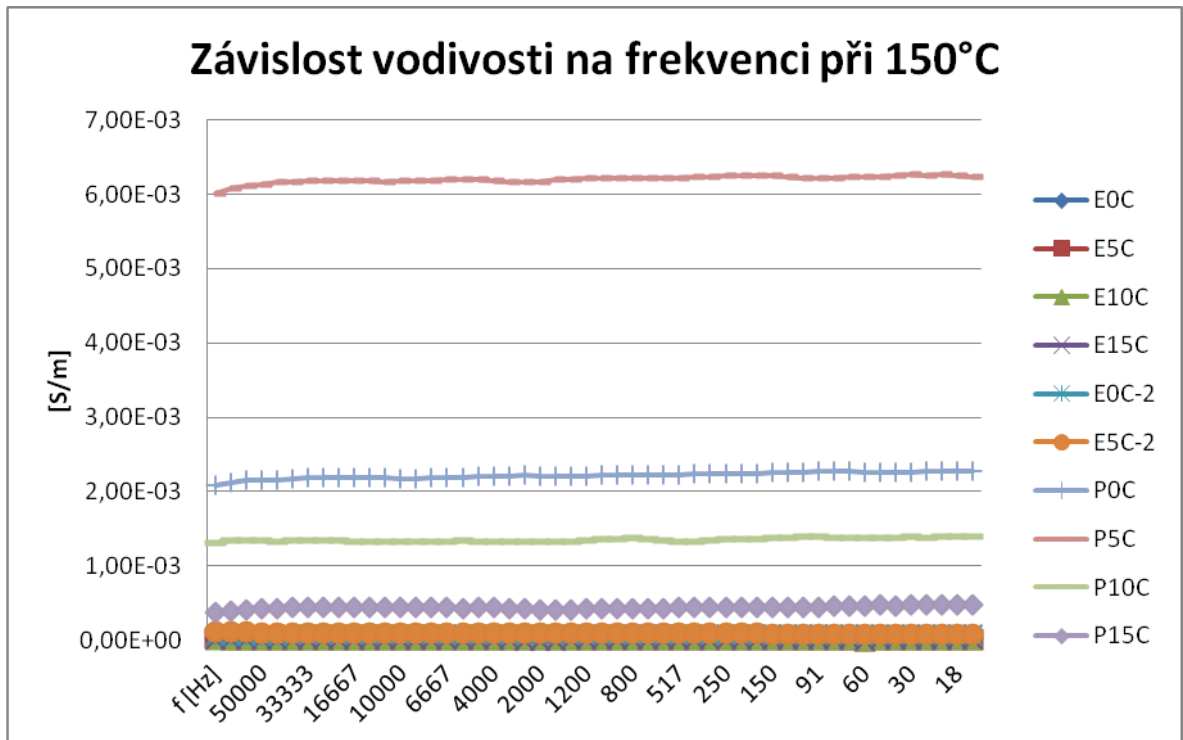
150°C					
f [Hz]	E5C-2	P0C	P5C	P10C	P15C
100000	1,17E-04	2,08E-03	6,00E-03	1,30E-03	3,64E-04
66667	1,11E-04	2,13E-03	6,08E-03	1,34E-03	3,94E-04
50000	1,07E-04	2,15E-03	6,11E-03	1,34E-03	4,08E-04
40000	1,03E-04	2,16E-03	6,14E-03	1,34E-03	4,26E-04
40000	1,04E-04	2,16E-03	6,16E-03	1,33E-03	4,27E-04
33333	1,02E-04	2,17E-03	6,17E-03	1,34E-03	4,36E-04
25000	1,00E-04	2,19E-03	6,18E-03	1,34E-03	4,39E-04
20000	9,98E-05	2,19E-03	6,18E-03	1,34E-03	4,49E-04
16667	9,91E-05	2,19E-03	6,18E-03	1,34E-03	4,46E-04
15000	9,87E-05	2,19E-03	6,18E-03	1,33E-03	4,49E-04
12000	9,84E-05	2,18E-03	6,18E-03	1,32E-03	4,46E-04
10000	9,81E-05	2,18E-03	6,16E-03	1,32E-03	4,44E-04
8572	9,84E-05	2,18E-03	6,17E-03	1,32E-03	4,43E-04
7500	9,84E-05	2,18E-03	6,17E-03	1,32E-03	4,41E-04
6667	9,79E-05	2,18E-03	6,18E-03	1,33E-03	4,41E-04
6000	9,73E-05	2,19E-03	6,19E-03	1,33E-03	4,34E-04
5000	9,68E-05	2,20E-03	6,20E-03	1,34E-03	4,32E-04
4000	9,59E-05	2,20E-03	6,20E-03	1,33E-03	4,35E-04
3000	9,56E-05	2,21E-03	6,18E-03	1,33E-03	4,33E-04
2500	9,60E-05	2,21E-03	6,16E-03	1,32E-03	4,23E-04
2000	9,59E-05	2,21E-03	6,16E-03	1,32E-03	4,17E-04

1714	9,55E-05	2,21E-03	6,16E-03	1,32E-03	4,11E-04
1500	9,48E-05	2,20E-03	6,19E-03	1,32E-03	4,14E-04
1200	9,43E-05	2,20E-03	6,19E-03	1,32E-03	4,14E-04
1000	9,40E-05	2,21E-03	6,21E-03	1,34E-03	4,15E-04
909	9,26E-05	2,22E-03	6,21E-03	1,36E-03	4,18E-04
800	9,14E-05	2,23E-03	6,22E-03	1,36E-03	4,20E-04
706	9,18E-05	2,23E-03	6,22E-03	1,37E-03	4,17E-04
600	9,14E-05	2,23E-03	6,22E-03	1,36E-03	4,23E-04
517	9,14E-05	2,22E-03	6,21E-03	1,34E-03	4,23E-04
400	9,10E-05	2,23E-03	6,22E-03	1,33E-03	4,32E-04
300	9,10E-05	2,24E-03	6,22E-03	1,33E-03	4,39E-04
250	9,02E-05	2,23E-03	6,24E-03	1,34E-03	4,37E-04
200	8,96E-05	2,24E-03	6,24E-03	1,35E-03	4,41E-04
176	8,88E-05	2,25E-03	6,24E-03	1,35E-03	4,38E-04
150	8,73E-05	2,25E-03	6,24E-03	1,36E-03	4,40E-04
120	8,54E-05	2,25E-03	6,25E-03	1,37E-03	4,36E-04
100	8,39E-05	2,25E-03	6,24E-03	1,38E-03	4,37E-04
91	8,34E-05	2,26E-03	6,22E-03	1,38E-03	4,47E-04
81	8,41E-05	2,27E-03	6,22E-03	1,39E-03	4,49E-04
71	8,37E-05	2,27E-03	6,22E-03	1,38E-03	4,51E-04
60	8,29E-05	2,27E-03	6,23E-03	1,38E-03	4,57E-04
50	8,26E-05	2,26E-03	6,23E-03	1,37E-03	4,65E-04
40	8,25E-05	2,26E-03	6,24E-03	1,38E-03	4,69E-04
30	8,20E-05	2,26E-03	6,25E-03	1,38E-03	4,67E-04
25	8,17E-05	2,26E-03	6,26E-03	1,38E-03	4,70E-04
20	8,09E-05	2,27E-03	6,26E-03	1,38E-03	4,72E-04
18	8,03E-05	2,27E-03	6,27E-03	1,39E-03	4,74E-04
15	7,98E-05	2,28E-03	6,25E-03	1,39E-03	4,76E-04
12	7,90E-05	2,27E-03	6,23E-03	1,40E-03	4,73E-04
x	9,27E-05	2,22E-03	6,20E-03	1,35E-03	4,37E-04
s	8,32E-06	4,21E-05	4,74E-05	2,51E-05	2,15E-05
v	8,97E-02	1,90E-02	7,65E-03	1,86E-02	4,93E-02

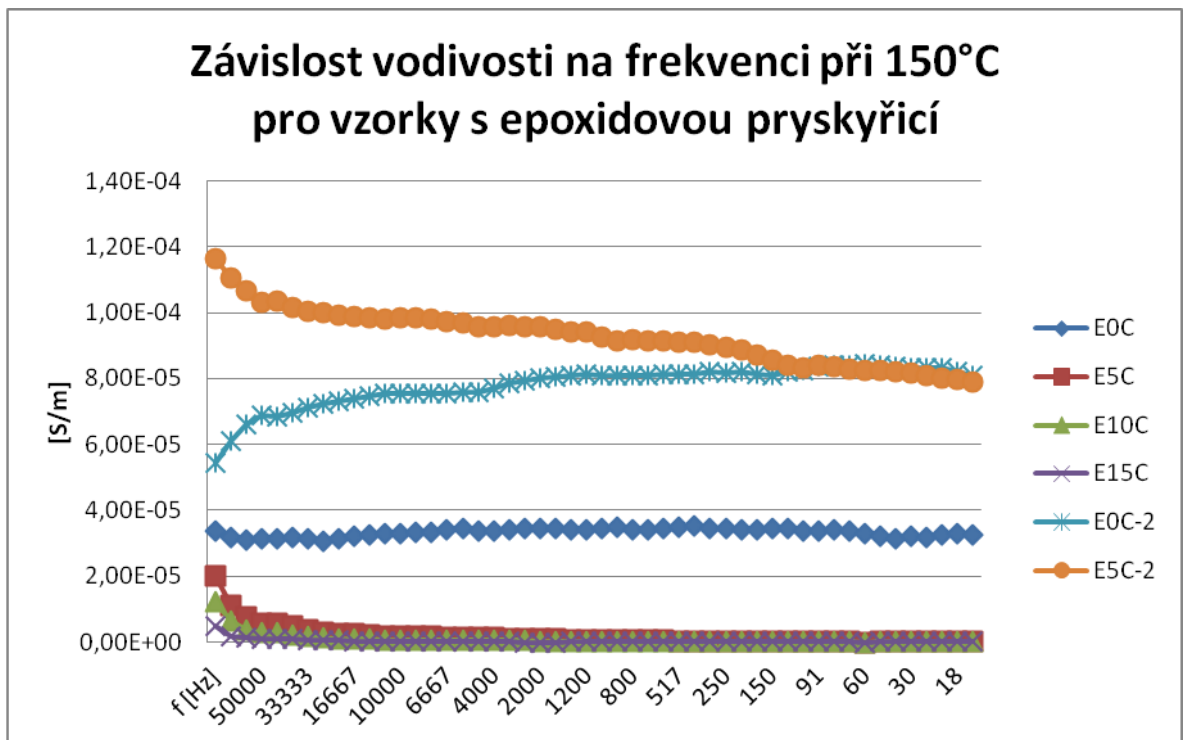
Minimální průměrnou hodnotu vodivosti 0,000000481 S/m má při 150°C vzorek E15C.

Maximální průměrnou hodnotu vodivosti 0,00062 S/m má při 150°C vzorek P5C

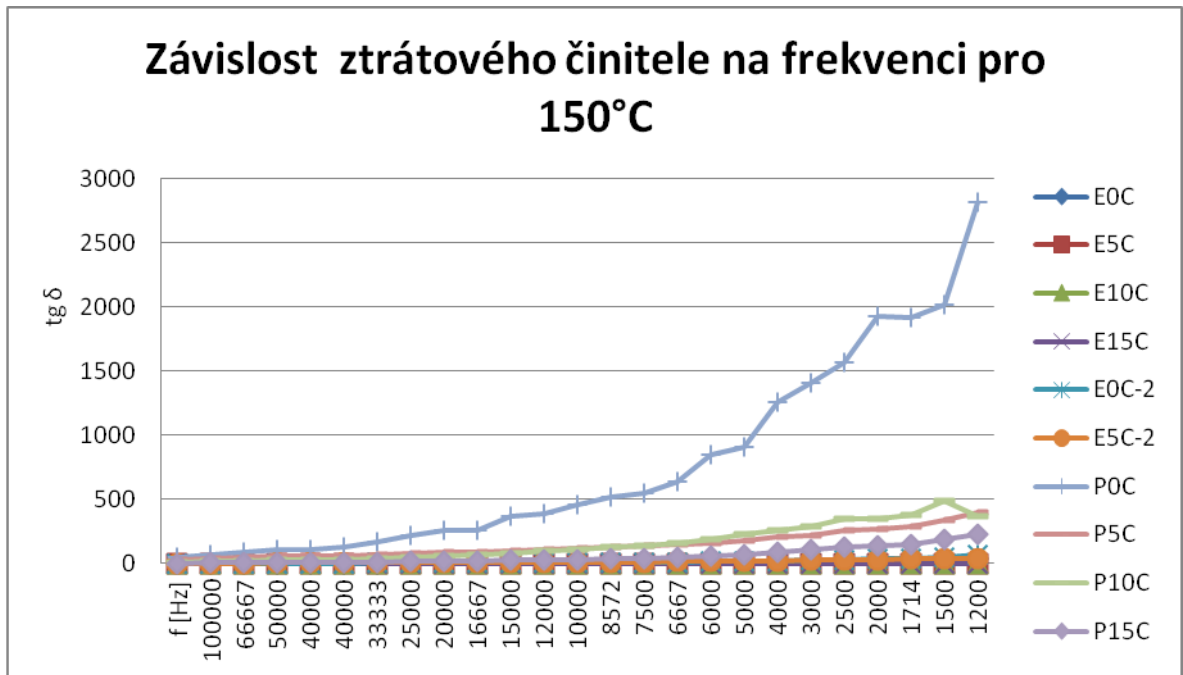
9.3.16 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorků při teplotě 150°C



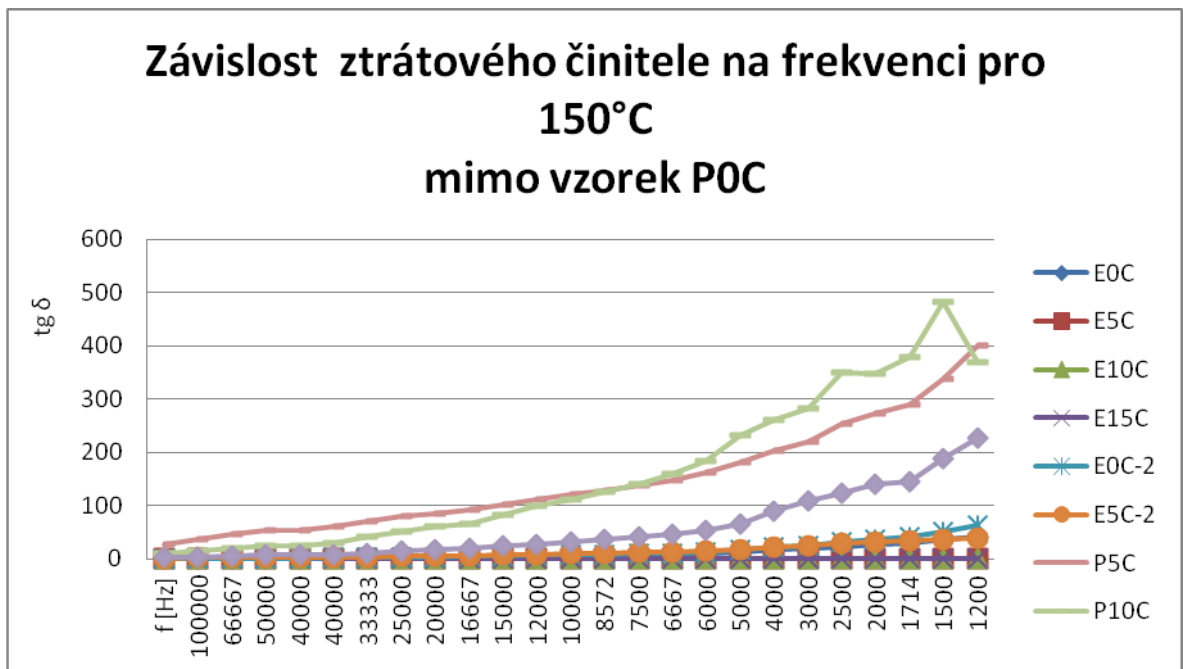
Obr. 92 Závislost vodivosti na frekvenci při 150°C



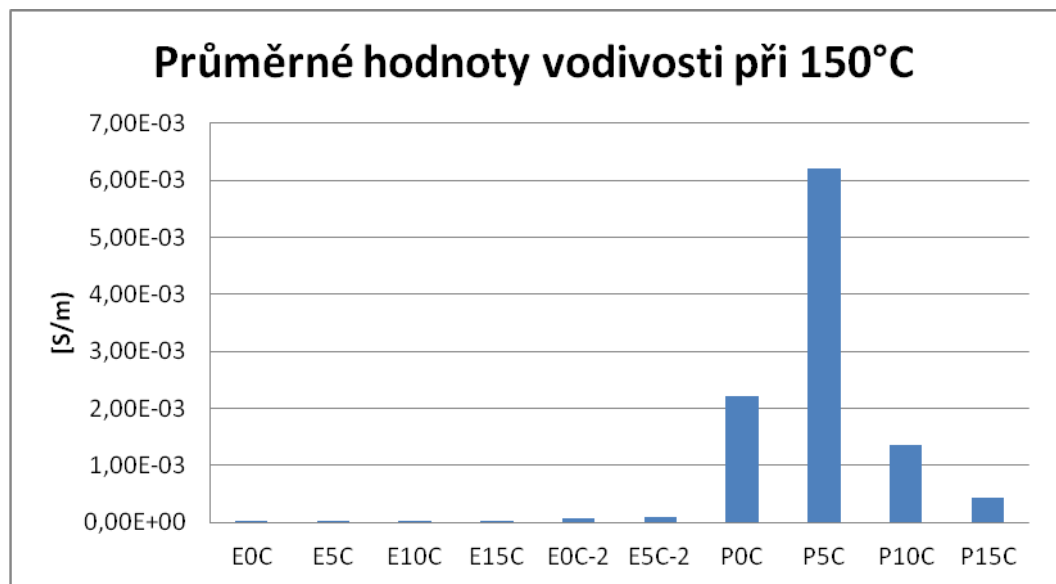
Obr. 93 Závislost vodivosti na frekvenci při 150°C pro vzorky s epoxidovou pryskyřicí



Obr. 94 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 150°C

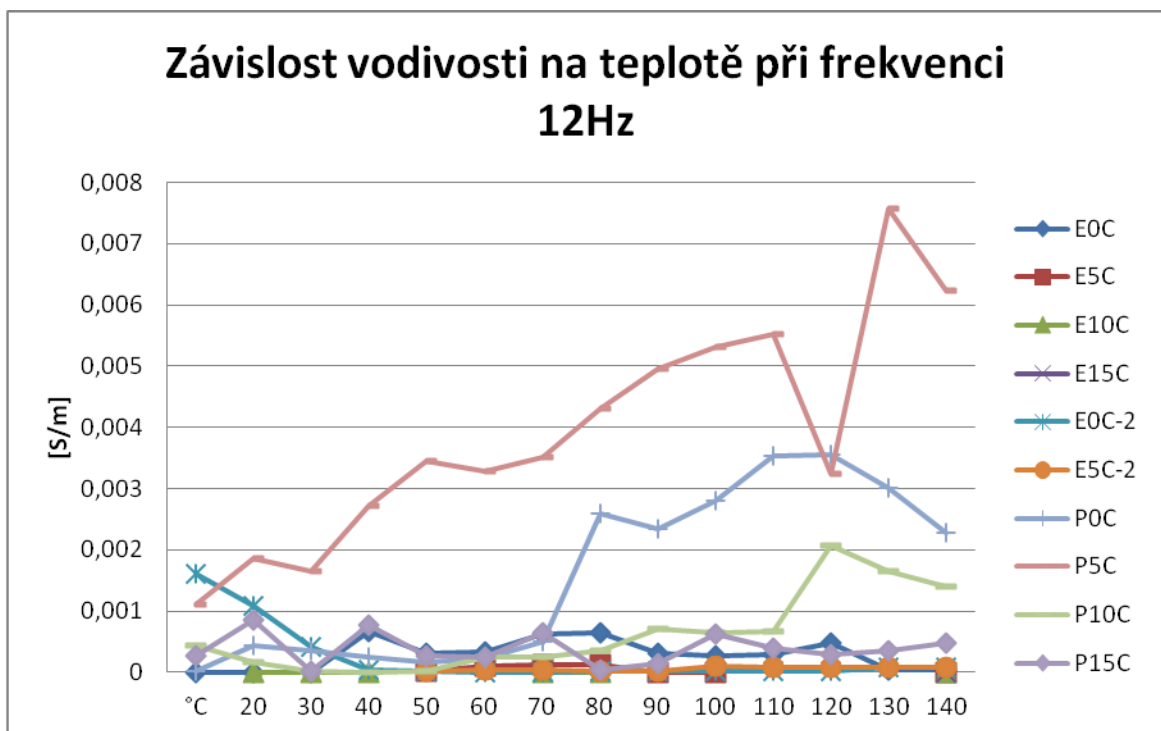


Obr. 95 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 150°C mimo vzorek P0C



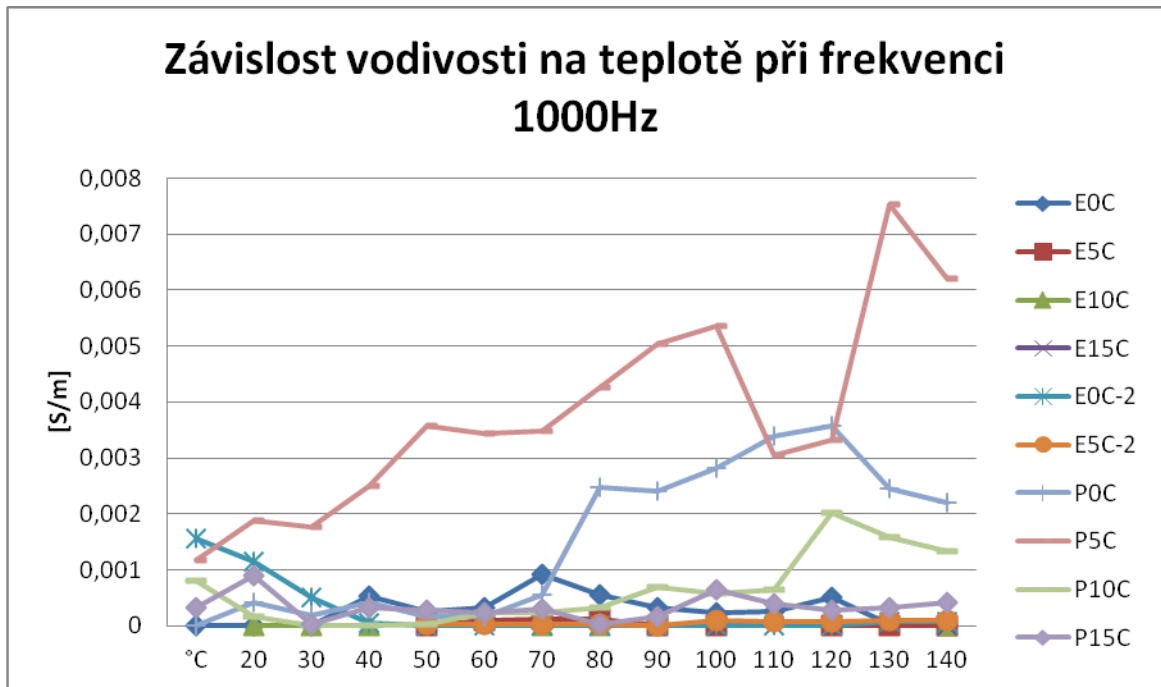
Obr. 96 Průměrné hodnoty vodivosti při 150°C

9.3.17 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorků při frekvenci 12 Hz



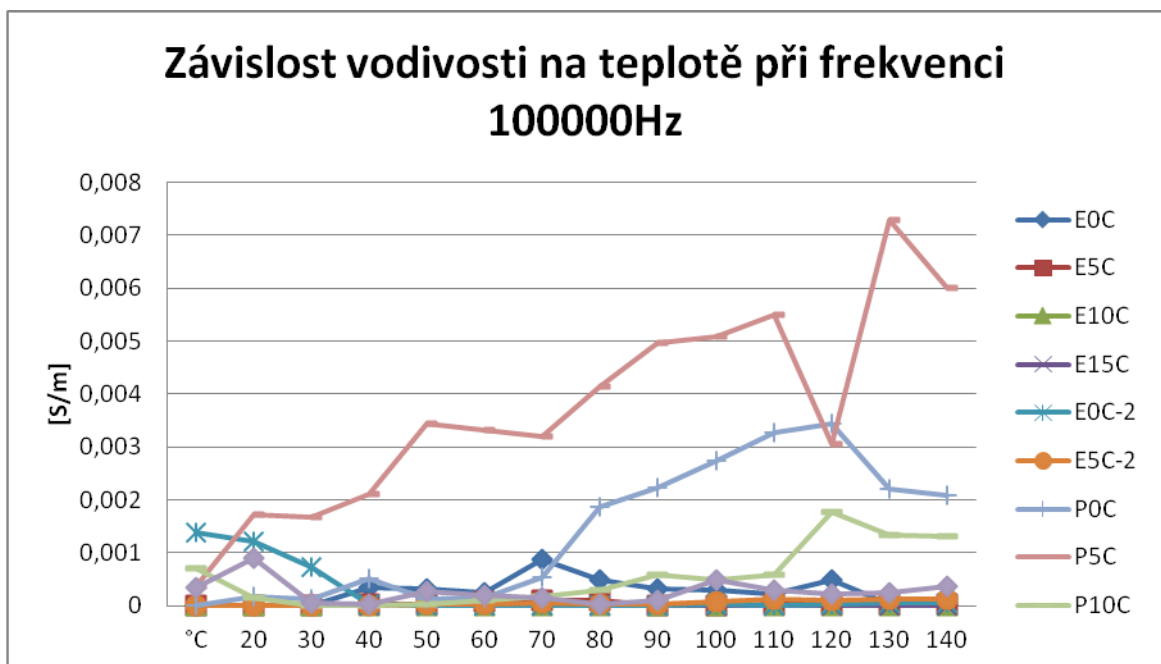
Obr. 97 Závislost vodivosti na teplotě při frekvenci 12 Hz

9.3.18 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorků při frekvenci 1000 Hz



Obr. 98 Závislost vodivosti na teplotě při frekvenci 1000 Hz

9.3.19 Grafické znázornění výsledků měření elektrických vlastností vzorků při frekvenci 100000 Hz



Obr. 99 Závislost vodivosti na teplotě při teplotě 100000 Hz

Pro porovnání vodivosti G a ztrátového činitele $\tan \delta$ jsme si vybrali měření při teplotě 20°C, 70°C a 150°C.

Po prostudování grafů jsme zjistili, že při měření při 20°C dosahuje nejvyšší průměrné hodnoty vodivosti vzorek EOC-2, naopak nejnižší průměrnou vodivost má vzorek E0C. Tento výsledek je zvláštní v tom, že vzorky se mezi sebou liší pouze v druhu uhlíkové tkaniny. Samotná matrice, která nám má zabezpečovat vodivost, je naprosto totožná.

Při měření při 70°C má nejvyšší průměrnou hodnotu vodivosti vzorek P5C. Nejnižší průměrnou hodnotu má vzorek E10C.

To je další zvláštní výsledek měření, protože matrice s vyšším obsahem vodivého plniva má nižší hodnotu vodivosti, než matrice s nižším obsahem vodivého plniva.

Měření při 150°C nám ukázalo, že nejvyšší průměrná hodnota vodivosti je opět u vzorku P5C. Nejnižší vodivost má vzorek E15C.

Tady vidíme stejnou zvláštnost, jako u měření při 70°C. Vzorek s obsahem vodivého plniva 15 % má nižší vodivost než vzorek s obsahem plniva 5 %.

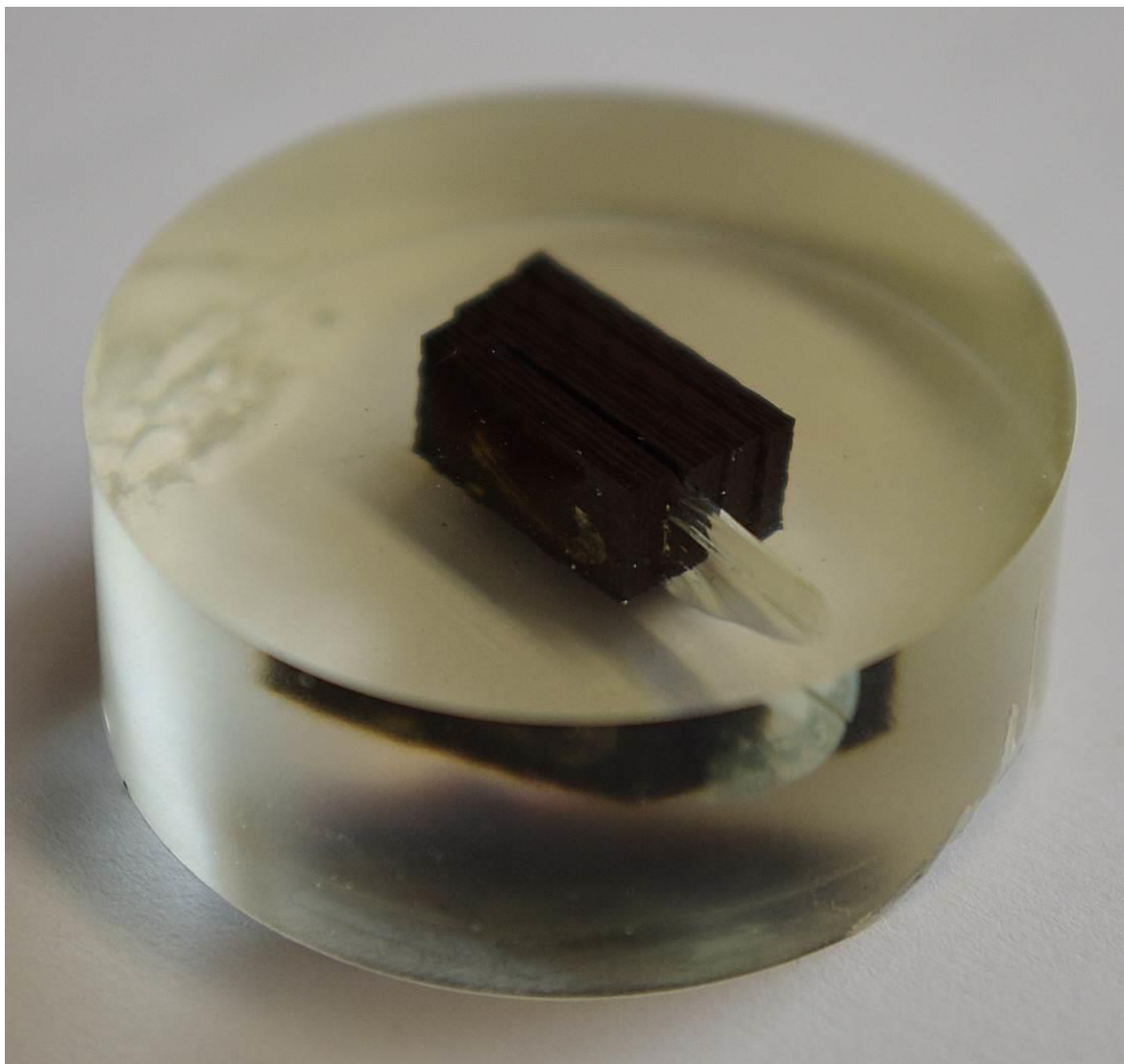
Ovšem při prostudování grafů průměrných hodnot vodivosti, jsou některé hodnoty značně odlišné oproti ostatním hodnotám. Protože výsledky měření byly zpracovány dobře, chyba byla s největší pravděpodobností již při samotném měření.

10 KONTROLA MIKROSTRUKTURY

Abychom zjistili, zda je uhlíkový prach ve zkušebních vzorcích dostatečně dispergován, provedli jsme kontrolu mikrostruktury vzorků, které obsahují uhlíkový prach.

Dobře dispergovaný uhlíkový prach nám zaručí zlepšení mechanických vlastností a zvýšení vodivosti kompozitů.

Vzorky pro kontrolu mikrostruktury byly zality do Dentakrylu. Následně byly vybroušeny a vyleštěny, aby byl povrch co možná nejkvalitnější.

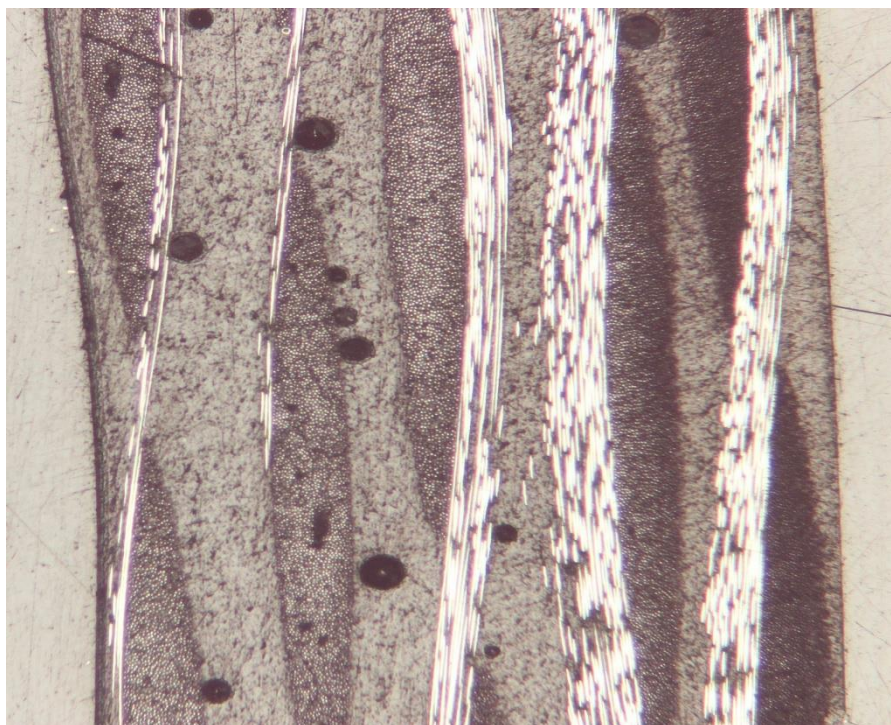


Obr. 100 Zkušební vzorky zalité v Dentakrylu

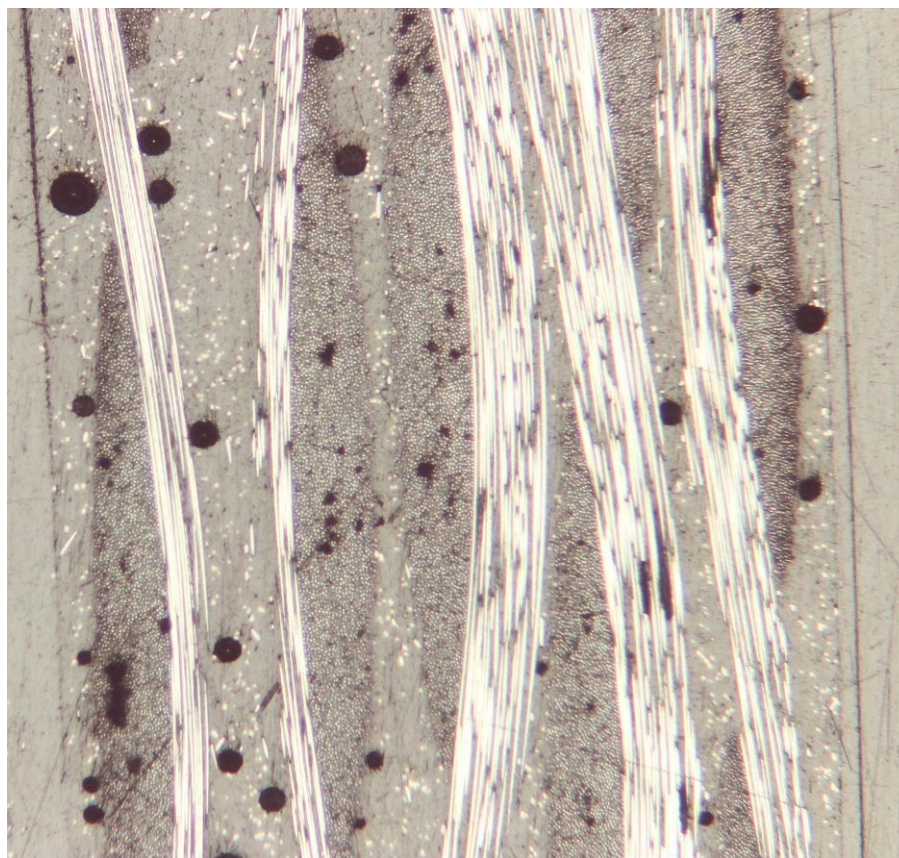
Pro zvětšení byl použit mikroskop Leica DMI 3000 M, na kterém došlo k 50ti násobnému zvětšení vzorků.



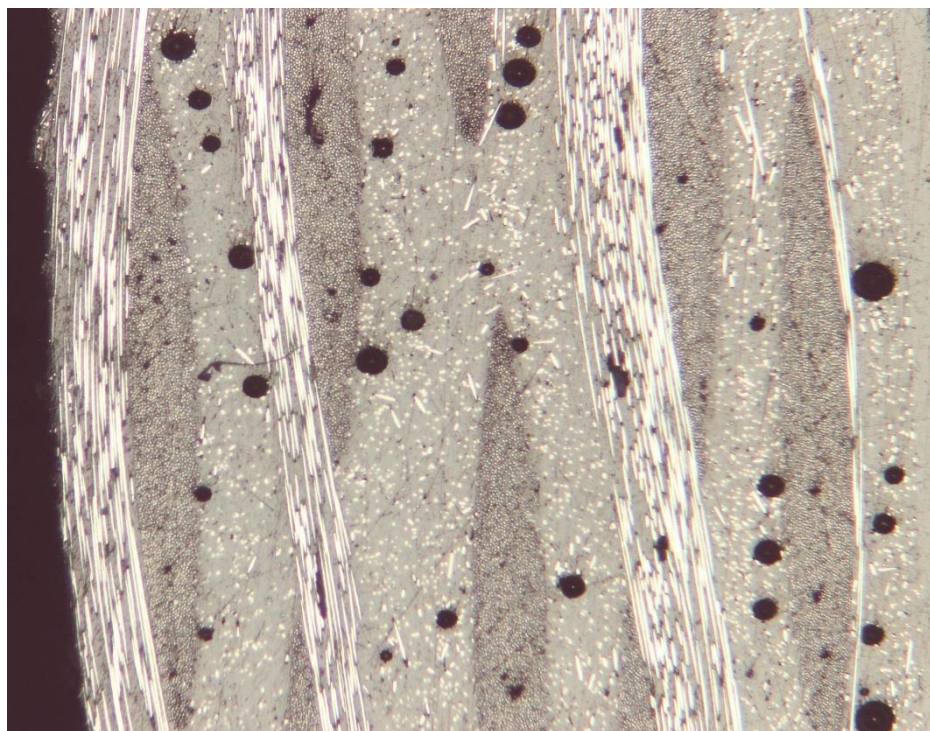
Obr. 101 Mikroskop Leica DMI 3000 M



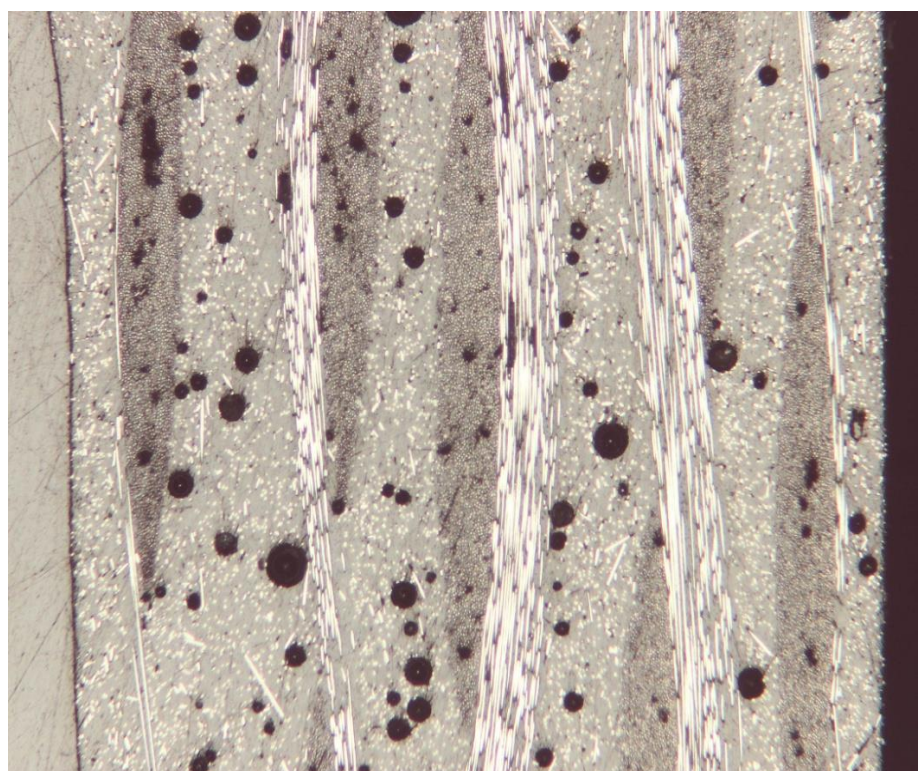
Obr. 102 Mikrostruktura vzorku E0C (zvětšeno 50x)



Obr. 103 Mikrostruktura vzorku E5C (zvětšeno 50x)



Obr. 104 Mikrostruktura vzorku E10C (zvětšeno 50x)



Obr. 105 Mikrostruktura vzorku E15C (zvětšeno 50x)

Na obrázcích jsme nenašli žádné místa, kde by byla větší koncentrace uhlíkového prachu, takže můžeme říci, že uhlíkový prach byl v matrici dispergován dostatečně.

Černé flíčky na obrázcích jsou bohužel bublinky vzduchu obsažené v matrici, které nám negativně ovlivňují vodivost. To jsme usoudili z nestejně velikosti flíčků a také z toho, že u vzorku E0C se nevyskytuje žádné uhlíkové plnivo, kdežto na snímku ze zkoušky mikrostruktury se černé flíčky vyskytují.

Navíc na fotografiích můžeme vidět, jak se s rostoucí koncentrací uhlíkového prachu, zvyšuje i počet černých flíčků, tzn., že přibývá vzduchových bublinek, které v našem případě snižují vodivost.

Můžeme tedy říci, že vzorky nejsou vhodné k provedení zkoušek.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo studium mechanických a elektrických vlastností kompozitních materiálů v závislosti na obsahu vodivého plniva.

K dispozici jsme měli dva druhy uhlíkové tkaniny, dva druhy pryskyřice a uhlíkový prach, ze kterých jsme vytvořili 10 různých kompozitních desek, které byly následně rozřezány na zkušební vzorky.

Výrobou těchto kompozitních desek jsme si vyzkoušeli své znalosti s výrobou kompozitu pomocí metody ručního kladení.

První zkouškou, kterou jsme dělali, byla zkouška ohybem. Ta byla provedena na zkušebním stroji Zwick 145 665.

Výsledky nám řekli, že v ohybu jsou pevnější kompozity s epoxidovou matricí. Zvyšující obsah plniva pevnost v ohybu ve většině případů snižoval.

Další zkouška byla zkouška rázem. K tomu jsme použili Charpyho kladivo s označením Resil Impactor Junior.

U těchto zkoušek bylo přidání plniva ku prospěchu. Vzorky s polyesterovou pryskyřicí měli po přidání 15% plniva až dvojnásobně zvýšenou houževnatost. Vzorky s epoxidovou pryskyřicí měly jen mírnou změnu houževnatosti.

Poslední zkouškou, kterou jsme prováděli, byla zkouška elektrických vlastností, přesněji elektrické vodivosti.

Teorie nám říká, že po přidání vodivého plniva do matrice, se zlepší její elektrické vlastnosti. Ovšem musíme myslet i na to, že nemůžeme přidávat plnivo donekonečna a to z důvodu existence tzv. perkolačního prahu.

Při prostudování výsledků měření jsme ovšem zjistili, že s přibývajícím obsahem vodivého plniva se vodivost nezvyšuje, ale naopak snižuje.

Tento jev si dokážu vysvětlit jedině tím, že matrice byla při její přípravě natolik napěněna a navázala na sebe takové množství vzduchových bublinek, že tyto vzduchové bublinky díky izolačním vlastnostem vzduchu ovlivnily negativně celkovou vodivost kompozitu.

Na to také poukazuje fakt, že čím vyšší obsah plniva v kompozitu byl, tím nižší vodivosti jsme dosáhli.

Tomuto jsme nedokázali zabránit ani tím, že jsme matrici po jejím namíchání, dali do vakuové nádoby, čímž jsme chtěli dosáhnout toho, že vzduchové bublinky vystoupí na povrch matrice, kde vytvoří pěnu, kterou jsme schopni odstranit.

Výsledné hodnoty měření nám prozradily, že dané kompozitní vzorky můžeme řadit do skupiny polovodičů. Na to také poukazuje fakt, že s rostoucí teplotou rostla také vodivost.

Frekvence vstupního napětí na vodivost kompozitů neměla přílišný vliv.

Když porovnáme vodivost podle druhu použité pryskyřice, zjistíme, že polyesterová pryskyřice má lepší elektrickou vodivost, než pryskyřice epoxidová.

Při výběru pryskyřice musíme ovšem hledět i na ekonomickou stránku. Ceny polyesterových pryskyřic se pohybují okolo 100Kč/kg, kdežto ceny epoxidových pryskyřic jsou 4x až 7x dražší. Námi použitá epoxidová pryskyřice L 285 stojí na českém trhu 416K4/kg.

Proto se musíme rozhodnout, zda chceme dobré mechanické a ucházející elektrické vlastnosti, které nám zajistí epoxidová pryskyřice, nebo jestli využijeme ne tak mechanicky odolnou, ale za to podstatně levnější polyesterovou pryskyřici, která má navíc lepší elektrické vlastnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STARÝ J. *Montážní a propojovací technologie.pdf*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií; Brno, 2010, 262 s.
- [2] *Textilní vlákno*, Wikipedie [online], dostupné z [www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Textiln%C3%AD_vl%C3%A1kno>](http://cs.wikipedia.org/wiki/Textiln%C3%AD_vl%C3%A1kno)
- [3] *Rohož*, Wikipedie [online], dostupné z [www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Roho%C5%BE_\(kompozit\)>](http://cs.wikipedia.org/wiki/Roho%C5%BE_(kompozit))
- [4] *Tkanina*, Wikipedie [online], dostupné z [www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tkanina>](http://cs.wikipedia.org/wiki/Tkanina)
- [5] Libra M., *Sledování vlastností nanokompozitů na bázi epoxidových pryskyřic*, Brno: Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a telekomunikačních technologií, Brno:2011, 40s.
- [6] KOŘÍNEK Z., *Kompozity* [online], nevedeno [cit. 2010-11-26]. Kompozity. dostupné z [www: <http://www.volny.cz/zkorinek/>](http://www.volny.cz/zkorinek/)
- [7] *Čedičová vlákna*, Wikipedie [online], dostupné z [www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cedi%C4%8Dov%C3%A1_vl%C3%A1kna>](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cedi%C4%8Dov%C3%A1_vl%C3%A1kna)
- [8] *Azbestová textilní vlákna*, Wikipedie [online], dostupné z [www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Azbestov%C3%A1_textiln%C3%AD_vl%C3%A1kna>](http://cs.wikipedia.org/wiki/Azbestov%C3%A1_textiln%C3%AD_vl%C3%A1kna)
- [9] *Uhlíková vlákna*, Wikipedie [online], dostupné z [www: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%ADkov%C3%A9_vl%C3%A1kna>](http://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%ADkov%C3%A9_vl%C3%A1kna)
- [10] *Uhlíkové saze*, CABOT, [online], dostupné z [www: <http://www.cabot.cz/cs/vyrobky/aplikace>](http://www.cabot.cz/cs/vyrobky/aplikace)
- [11] *Pultruze*, Wikipedie [online], dostupné z [www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Pultruze](http://cs.wikipedia.org/wiki/Pultruze)
- [12] *Technologie výroby kompozitů*, Havel composites [online], dostupné z [www: http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html](http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html)
- [13] Vilčák P., *Elektrické vlastnosti polymerních kompozitů*, Plasty a kaučuk č. 3-4, ročník 45, 2008, 68-72s

- [14] Hluchý M., Kolouch J., *Strojírenská technologie 1 – 1. díl*, Praha:Scienta, 2002, 266s
- [15] Gajoš P., *Lepení kovů*, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Bakalářská práce, Zlín 2011, 73s
- [16] Bariš M., *Studium elektrických vlastností kompozitů*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Bakalářská práce, Brno 2009, 34s
- [17] Ovsík J., *Studium elektrických vlastností nanokompozitů*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Bakalářská práce, Brno 2010, 50s
- [18] ČSN EN ISO 179, *Plasty – Stanovení rázové houževnatosti Charpy*, Český Normalizační Institut, Praha, 1998, 20s
- [19] ČSN EN ISO 179-2, *Plasty – Stanovení rázové houževnatosti Charpy – Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*, Český Normalizační institut, Praha, 2000, 20s
- [20] ČSN EN ISO 178, *Plasty – Stanovení ohybových vlastností*, Český normalizační institut, Praha, 2000, 12s
- [21] Gottfried W. Ehrenstein, *Polymerní kompozitní materiály*, Praha, 2009, 343s

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

°C	stupeň Celsia
A	Ampér
A.s	Ampérsekunda
A.V ⁻¹	Ampér na volt
C	Coulomb
E	intenzita el. pole
E	modul pružnosti
G	vodivost
Hz	Hertz
I	el. proud
J	Joule
L	délka
M	Modul
N	Newton
N.C ⁻¹	Newton na Coulomb
Nm	Newtonmetr
Q	el. náboj
E	el. odpor
S	Siemens
S.m ⁻¹	Siemens na metr
S	plocha průřezu
U	el. napětí
V	Volt
V.m ⁻¹	Volt na metr

V_0	Perkolační práh
T	teplota
a	tloušťka
b	šířka
f	frekvence
mm	milimetr
q	náboj
s	sekunda
$\text{tg } \delta$	ztrátový činitel
δ	ztrátový úhel
μm	mikrometr
σ	měrná el. vodivost
σm	mez pevnosti
Ω	Ohm
$\Omega.\text{cm}^{-1}$	Ohm na centimetr

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení kompozitů podle geometrie a orientace plniva</i>	16
<i>Obr. 2 Skelná vlákna</i>	17
<i>Obr. 3 Rohož s náhodně uspořádanými kontinuálními vlákny</i>	18
<i>Obr. 4 Skelná tkanina</i>	18
<i>Obr. 5 Orientace vláken v tkaninách</i>	19
<i>Obr. 6 Rozdělení kompozitů podle velikosti plniva [5]</i>	19
<i>Obr. 7 Neprůstředlná vesta z Kevlaru</i>	21
<i>Obr. 8 Uhlíková (vlevo) a čedičová tkanina</i>	21
<i>Obr. 9 Vlákna ze srsti Alpaky</i>	22
<i>Obr. 10 Azbestová vlákna</i>	23
<i>Obr. 11 Uhlíkové vlákno v porovnání s lidským vlasem</i>	24
<i>Obr. 12 Porovnání vlastností uhlíkových vláken ze dvou syntetických polymerních prekurzorů</i>	25
<i>Obr. 13 Změny struktury PAN vlákna</i>	27
<i>Obr. 14 Proces výroby uhlíkových vláken z PAN</i>	27
<i>Obr. 15 Mikrostruktura uhlíkových vláken kruhového průřezu – vlevo vlákno PAN, vpravo vlákna z mezofázových dehtů</i>	28
<i>Obr. 16 Průřezy uhlíkových vláken</i>	28
<i>Obr. 17 Důležité faktory při výběru pryskyřice</i>	31
<i>Obr. 18 Orthoftalová nenasycená epoxidová pryskyřice</i>	34
<i>Obr. 19 Izoftalová nenasycená epoxidová pryskyřice</i>	34
<i>Obr. 20 Využití kompozitních materiálů u letadla Boeing 787 Dreamliner [6]</i>	35
<i>Obr. 21 Příklady použití kompozitních materiálů</i>	36
<i>Obr. 22 Schéma výroby kompozitu ručním kladením [12]</i>	38
<i>Obr. 23 Schéma výroby kompozitu stříkáním [12]</i>	38
<i>Obr. 24 Postup výroby pomocí RTM</i>	39
<i>Obr. 25 Součásti formy pro vakuovou infuzi</i>	40
<i>Obr. 26 Uzavřená pultruzní linka (1 – výztuž, 2 – tlaková pultruze, 3 – odtah, 4 – dělicí zařízení)</i>	41
<i>Obr. 27 Princip zkoušky v ohybu</i>	44
<i>Obr. 28 Charpyho kladivo</i>	47
<i>Obr. 29 Tkanina Multi – carbon 0/90°, 200g/m²</i>	56

<i>Obr. 30</i>	<i>Charakteristiky epoxidové pryskyřice L 285</i>	57
<i>Obr. 31</i>	<i>Specifikace epoxidové pryskyřice L 285</i>	57
<i>Obr. 32</i>	<i>Vlastnosti polyesterové pryskyřice NORPOL 420-100</i>	58
<i>Obr. 33</i>	<i>Tabule skla a separační pasta</i>	60
<i>Obr. 34</i>	<i>Tabulka pro výpočet hmotností jednotlivých složek matrice</i>	61
<i>Obr. 35</i>	<i>Odpěňovač BYK-9076</i>	62
<i>Obr. 36</i>	<i>Vývěva s vakuovou nádobou</i>	63
<i>Obr. 37</i>	<i>Nanesení první vrstvy matrice na skleněnou tabuli</i>	64
<i>Obr. 38</i>	<i>Vrstvení kompozitu</i>	65
<i>Obr. 39</i>	<i>Zkouška ohybem</i>	67
<i>Obr. 40</i>	<i>Zkušební stroj Zwick 145 665</i>	68
<i>Obr. 41</i>	<i>Parametry zkušebního stroje Zwick 145 665</i>	68
<i>Obr. 42</i>	<i>Zkušební stroj Resil Impactor Junior</i>	69
<i>Obr. 43</i>	<i>Specifikace zkušebního stroje Resil Impactor Junior</i>	69
<i>Obr. 44</i>	<i>Elektrické schéma zařízení pro měření elektrických a dielektrických vlastností:</i>	70
<i>Obr. 45</i>	<i>DMM APPA 305</i>	71
<i>Obr. 46</i>	<i>Teplotní rozsahy běžných termočlánků</i>	72
<i>Obr. 47</i>	<i>Goodwill LCR 819</i>	73
<i>Obr. 48</i>	<i>HIOKI 3522-50</i>	74
<i>Obr. 49</i>	<i>Specifikace přístroje HIOKI 3522-50</i>	74
<i>Obr. 50</i>	<i>Popis jednotlivých vzorků</i>	75
<i>Obr. 51</i>	<i>Průběh napětí při zkoušce ohybem vzorků E5C</i>	81
<i>Obr. 52</i>	<i>Průběh napětí při zkoušce ohybem vzorků PI5C</i>	81
<i>Obr. 53</i>	<i>Srovnání modulů pružnosti</i>	82
<i>Obr. 54</i>	<i>Srovnání mezi pevnosti</i>	82
<i>Obr. 55</i>	<i>Srovnání modulů pružnosti vzorků se stejnou matricí a stejným obsahem plniva na různé gramáže uhlíkové tkaniny</i>	83
<i>Obr. 56</i>	<i>Srovnání mezi pevnosti vzorků se stejnou matricí a stejným obsahem plniva na různé gramáže uhlíkové tkaniny</i>	83
<i>Obr. 57</i>	<i>Zkouška rázem v ohybu</i>	90
<i>Obr. 58</i>	<i>Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E0C</i>	92
<i>Obr. 59</i>	<i>Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E0C</i>	93


Obr. 60 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E5C.....	93
Obr. 61 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E5C mimo měření při teplotách 70°C, 80°C a 90°C	94
Obr. 62 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E5C.....	95
Obr. 63 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E5C mimo měření při teplotách 60°C, 70°C, 80°C a 90°C	95
Obr. 64 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E10C.....	96
Obr. 65 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E10C.....	96
Obr. 66 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci i vzorku E15C.....	97
Obr. 67 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E15C.....	97
Obr. 68 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E0C-2	98
Obr. 69 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku E0C-2 mimo měření při teplotě 40°C.....	98
Obr. 70 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci vzorku EOC-2	99
Obr. 71 Závislost vodivosti na teplotě u vzorku E5C-2	100
Obr. 72 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku E5C-2	100
Obr. 73 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku P0C.....	100
Obr. 74 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci vzorku P0C.....	101
Obr. 75 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku P5C.....	101
Obr. 76 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku P5C.....	102
Obr. 77 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku P10C.....	103
Obr. 78 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku P10C.....	103
Obr. 79 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku P10C mimo měření při teplotě 20°C a 130°C	104
Obr. 80 Závislost vodivosti na teplotě a frekvenci u vzorku P15C.....	104
Obr. 81 Závislost ztrátového činitele na teplotě a frekvenci u vzorku P15C.....	105
Obr. 82 Závislost ztrátového činitele na teplotě a vodivosti u vzorku E15C mimo měření při teplotě 30°C	106
Obr. 83 Závislost vodivosti na frekvenci při 20°C.....	109
Obr. 84 Závislost vodivosti na frekvenci při 20°C mimo vzorky E0C-2, P0C, P5C, P10C a P15C.....	110
Obr. 85 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 20°C	110
Obr. 86 Průměrné hodnoty vodivosti při 20°C.....	111

<i>Obr. 87 Závislost vodivosti na frekvenci při 70°C</i>	114
<i>Obr. 88 Závislost vodivosti na frekvenci při 70°C mimo vzorek P5C</i>	115
<i>Obr. 89 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 70°C</i>	115
<i>Obr. 90 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 70°C mimo vzorek P5C</i>	116
<i>Obr. 91 Průměrné hodnoty vodivosti při 70°C</i>	116
<i>Obr. 92 Závislost vodivosti na frekvenci při 150°C</i>	120
<i>Obr. 93 Závislost vodivosti na frekvenci při 150°C pro vzorky s epoxidovou pryskyřicí</i>	120
<i>Obr. 94 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 150°C</i>	121
<i>Obr. 95 Závislost ztrátového činitele na frekvenci při 150°C mimo vzorek P0C</i>	121
<i>Obr. 96 Průměrné hodnoty vodivosti při 150°C</i>	122
<i>Obr. 97 Závislost vodivosti na teplotě při frekvenci 12 Hz</i>	122
<i>Obr. 98 Závislost vodivosti na teplotě při frekvenci 1000 Hz</i>	123
<i>Obr. 99 Závislost vodivosti na teplotě při teplotě 100000 Hz</i>	123
<i>Obr. 100 Zkušební vzorky zalité v Dentakrylu</i>	125
<i>Obr. 101 Mikroskop Leica DMI 3000 M</i>	126
<i>Obr. 102 Mikrostruktura vzorku E0C (zvětšeno 50x)</i>	127
<i>Obr. 103 Mikrostruktura vzorku E5C (zvětšeno 50x)</i>	127
<i>Obr. 104 Mikrostruktura vzorku E10C (zvětšeno 50x)</i>	128
<i>Obr. 105 Mikrostruktura vzorku E15C (zvětšeno 50x)</i>	128

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E0C</i>	76
<i>Tab. 2 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E5C</i>	76
<i>Tab. 3 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E10C</i>	77
<i>Tab. 4 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E15C</i>	77
<i>Tab. 5 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E0C-2</i>	78
<i>Tab. 6 Výsledky zkoušky ohybem vzorku E5C-2</i>	78
<i>Tab. 7 Výsledky zkoušky ohybem vzorku P0C</i>	79
<i>Tab. 8 Výsledky zkoušky ohybem vzorku P5C</i>	79
<i>Tab. 9 Výsledky zkoušky ohybem vzorku P10C</i>	80
<i>Tab. 10 Výsledky zkoušky ohybem vzorku P15C</i>	80
<i>Tab. 11 Zkouška rázem vzorku E0C</i>	85
<i>Tab. 12 Zkouška rázem vzorku E5C</i>	86
<i>Tab. 13 Zkouška rázem vzorku E10C</i>	86
<i>Tab. 14 Zkouška rázem vzorku E15C</i>	87
<i>Tab. 15 Zkouška rázem vzorku E0C-2</i>	87
<i>Tab. 16 Zkouška rázem vzorku E5C-2</i>	88
<i>Tab. 17 Zkouška rázem vzorku P0C</i>	88
<i>Tab. 18 Zkouška rázem vzorku P5C</i>	89
<i>Tab. 19 Zkouška rázem vzorku P10C</i>	89
<i>Tab. 20 Zkouška rázem vzorku P15C</i>	90
<i>Tab. 21 Výsledky měření při 20°C (E0C – E0C-2)</i>	106
<i>Tab. 22 Výsledky měření při 20°C (E5C-2 – P15C)</i>	108
<i>Tab. 23 Výsledky měření při 70°C (E0C – E0C-2)</i>	111
<i>Tab. 24 Výsledky měření při 70°C (E5C-2 – P15C)</i>	113
<i>Tab. 25 Výsledky měření při 150°C (E0C – E0C-2)</i>	117
<i>Tab. 26 Výsledky měření při 150°C (E5C-2 – P15C)</i>	118

PŘÍLOHA 1: Technický list tkaniny Multi – carbon



HVEL COMPOSITES CZ s.r.o.
 Husarova 67
 752 04 Přáslavice
 tel: +420 585 120 011
 fax: +420 585 120 040
 e-mail: hvel@hvel.cz
 www: www.hvel.cz
 IČ: 25467376
 DIČ: CZ3387919


Technický list / Technical Data sheet
Textilní tkanina / Textile tissue

Uhlíková tkanina „Multi Carbon“

Popis / Description		Vystaveno / Issue 02/2006	
Směr / Direction	Klaní % / Orientation	Hmotnost/weight	
1	90°	100 g/m ²	
2	90°	100 g/m ²	
Zsílenné vlákno: (Reinforcement yarn)		Carbon HR	
Celková hmotnost (g/m ²): (Nominal weight per unit area)		200 g/m ²	
Polyesterová pletovina: (Polyester knitting)		106/M2	
Povrchová úprava: (Sizing)		kompatibilní epoxidová pryskyřice (Compatible Epoxy)	
Tloušťka tkaniny: (Theoretical thickness on cured ply)		0,2 mm env	
Šířka tkaniny: (Standard width)		1270 mm	
Stabilizátory (Stabilisateurs)		Yes/0 -	

Technické informace jsou uvedeny na základě laboratorních zkoušek. Dodávaný materiál odpovídá standardní kvalitě a poznatky nezakládají žádný právní nárok. J. nesignované technické listy jsou platné.

These technical information furnished is based on laboratory findings and believed to be correct. No warranties or any kind are made except that the materials supplied are of standard quality. All risks and liabilities arising from handling, storage and use of products, as well as compliance with applicable legal restrictions, rests with the user. All unsigned technical data sheets are current too.

Datum poslední revize / Last revision: 

PŘÍLOHA 2: Technický list epoxidové pryskyřice L 285



Laminating resin L 285
Hardener 500

Résine L 285
Durcisseur 500

Characteristics**Caractéristiques**

Approval:	--
Application:	Production of composite structures Boat and shipbuilding Sports equipment Model airplanes Moulds and tools
Operational temperature:	-60°C → +50 - 60°C (-75°F → +120 - 140°F) without heat treatment
Processing:	At temperatures between 10°C and 40°C (50-105°F) All usual processing methods
Special properties:	Extremely good physiological compatibility Good mechanical properties Very short curing times even at low temperatures
Special modifications:	L 285 T: Thixotropic L 285 W: White

Homologation:	--
Domaines d'application:	Fixations et encollages lors de la fabrication de composants en matériaux composites Construction de bateaux, équipements sportifs, aéromodélisme Construction de moules, de gabarits et de montures
Température d'application:	-60°C à +50 - 60°C sans traitement thermique
Mise en oeuvre:	A des températures entre 10°C et 40°C Tous les procédés de traitement d'usage
Particularités:	Excellent caractère physiologique Bonnes propriétés mécaniques Durcissement très rapide, même à basses températures
Adaptations spéciales:	L 285 T: rhéotrope L 285 W: teinture blanche



Laminating resin L 285 Hardener 500

Résine L 285 Durcisseur 500

Application

Low-viscosity laminating resin system not containing solvents or fillers, intended for processing and curing at room temperature. Suitable for production of parts with glass, carbon and aramide-fiber reinforcements featuring high static and dynamic loadability.

The pot life is approx. 10- 15 min. Laminating resin L 285 combined with hardener 500 is distinguished by very short curing times even at low temperatures (good curing is assured at temperatures starting at +10 °C). Non-tacky, high-gloss surfaces are obtained even with unfavorable curing conditions, such as lower temperatures or high relative humidity.

The mixing viscosities have been adjusted such that the resin will not run out of wide-meshed fabrics on vertical surfaces.

Thanks to their excellent adhesive properties, this system can also be used as adhesives for wood, metal, glass, concrete and numerous plastics. The thixotropic modification (e.g. laminating resin L 285 T) is to be preferred for thicker adhesive joints and vertical surfaces. Fillers (e.g. metal powder, talcum, cotton flakes, etc.) may be admixed to obtain special system properties.

Due to the elongation of 4-7%, which is advantageous for use as a laminating resin, the shear strength and peel resistance are somewhat lower than those of our special adhesive resins:

**Adhesive resin L 135 / K2 and
Adhesive resin A 10 / A 20.**

As a general rule applicable to all adhesives, thorough preparation of the intended adhesion surface is a fundamental prerequisite for good adhesion. Parting agent residue and contamination, such as dust, grease or water residue, will prevent effective bonding.

Application

Système de résine pour stratifié, de faible viscosité et exempt de solvants et d'additifs, pour la mise en œuvre et le durcissement à température ambiante. Ce système permet de produire des composants, avec renforcement à fibres de carbone et d'aramide, possédant une charge statique et dynamique élevée.

Le temp d'utilisation se situe env. entre 10 et 15 minutes. La résine L 285 avec le durcisseur 500 se distingue par des temps de durcissement très rapides, même à des basses températures (très bon durcissement à partir de + 10°C). Même dans des conditions de durcissement désavantageuses (basses températures ou humidité de l'air élevée), on obtient des surfaces polies et non adhérentes.

Les viscosités de mélange ont été choisies de manière à empêcher, de manière sûre, toute fuite de résine lors de l'utilisation de tissus à larges mailles sur des surfaces verticales.

Grâce aux bonnes propriétés d'adhésion, ce système peut également être utilisé comme adhésif pour des matériaux tels que le bois, le métal, le verre, le béton et de nombreuses matières synthétiques. La formule thixotropique (par ex. résine L 285 T) convient en particulier pour des larges joints de collage et sur des surfaces verticales. L'utilisateur peut lui-même ajouter des additifs afin d'attribuer au système des propriétés spéciales (poudre métallique, talc, flocons de coton, etc.).

Les elongations avantageuses de 4 à 7% de l'application d'une résine pour stratifiés présentent cependant des résistances au cisaillement et au décollement légèrement inférieures à celles de nos

résines adhésives spéciales - type L 135/K2 et A 10/A 20.

Comme c'est le cas pour toutes les colles, le traitement préalable de la surface d'encollage est une condition primordiale pour assurer une bonne adhésion. Les résidus d'agent de démouillage ainsi que des souillures telles que poussière, graisse ou eau empêchent une bonne adhésion.



Ein Unternehmen der Baskoite Gruppe

Laminating resin L 285
Hardener 500

Résine L 285
Durcisseur 500

Specifications

Spécifications

		Laminating resin L 285 Résine L 285
Density	lbs/gal / 77°F	9,85 - 10,26
Densité	g/cm ³ / 25°C	1,18 - 1,23
Viscosity	cps / 77°F	600 - 900
Viscosité	mPas / 25°C	
Epoxyde equivalent	–	165 - 170
Équivalent époxy		
Epoxyde value	–	0,59 - 0,65
Valeur EP		
Colour	Gardner	max 3
Coloration selon		

		Hardener 500 Durcisseur 500
Density	lbs/gal / 77°F	8,34 - 8,84
Densité	g/cm ³ / 25°C	1,00 - 1,06
Viscosity	cps / 77°F	200 - 350
Viscosité	mPas / 25°C	
Amine value	mg KOH / g	350 - 400
Indice d'amine		
Colour	Gardner	max 5
Coloration selon		



Laminating resin L 285 Hardener 500

Résine L 285 Durcisseur 500

Processing details

Caractéristiques de mise en oeuvre

	Laminating resin L 285 Résine L 285	Hardener 500 Durcisseur 500
Average EP -Value Valeur moyenne EP	0,63	–
Average amine equivalent Équivalent moyen d'amine	–	62

Storage Stockage	>12 months in original containers >12 mois dans l'emballage d'origine
Processing temperature Température d'application	50 - 120 °F 10 - 50 °C
Temperature rise Montée de température	see diagram voir diagramme
Setting Durcissement	Curing at room temperature or curing in the mold at high temperatures Durcissement à température ambiante ou durcissement à chaud dans le moule
Heat treatment Traitement thermique	Not required- possible at 50 °C (120 °F) → 150 °C (300 °F) Non requis-au besoin entre 50 °C → 150 °C

Storage

The resins and hardeners can be stored for at least 12 months in their carefully sealed original containers. The resins and hardeners may crystallize at temperatures below +15°C (60°F). The crystallization is visible as a clouding or solidification of the contents of the container. Before processing, the crystallization must be removed by warming up. Slow warming up to approx. 50 - 60°C (120-140°F) in a water bath or oven and stirring or shaking will clarify the contents of the container without any loss of quality. Use only completely transparent products. Before warming up, open containers slightly to permit equalization of pressure. Caution during warm-up! Do not warm up over an open flame! While stirring up use safety equipment (gloves, eyeglasses, respirator).

Stockage

Les résines et durcisseurs peuvent être stockés dans leur emballage d'origine, bien fermé, pendant une durée minimale de 12 mois. Les résines et durcisseurs peuvent cristalliser à des températures inférieures à +15°C, reconnaissable à une consistance trouble ou une solidification du contenu du récipient. Avant la mise en oeuvre, il faut éliminer la cristallisation par réchauffement. La cristallisation est éliminée, sans perte de qualité, en réchauffant lentement le produit à env. 50-60°C dans un bain marie avec four et en agitant ou battant la substance. Traiter uniquement des produits entièrement transparents / Attention lors du réchauffement / Avant son réchauffement, ouvrir un peu le récipient afin de compenser la pression. Ne jamais réchauffer le récipient sur feu nu / Porter des équipements de protection (lunettes et gants de protection, masque respiratoire) pendant l'agitation des produits réchauffés.



Ein Unternehmen der Bielefeld Gruppe

**Laminating resin L 285
Hardener 500**

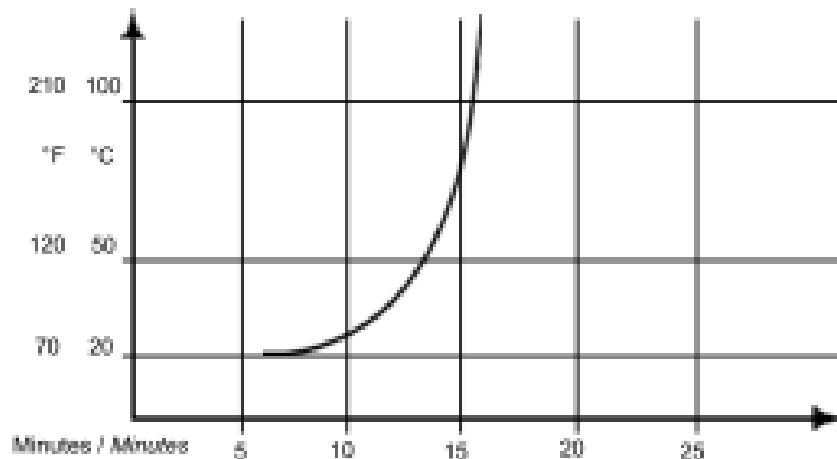
**Résine L 285
Durcisseur 500**

Temperature rise

Quantity: 100 g./20°C (70°F)

Montée en température

Quantité: (100g./20 °C)



The optimal processing temperature is in the range between 20 and 25°C (70-80°F). Higher processing temperatures are possible, but will shorten pot life. A rise in temperature of 10 °C (20°F) will halve the pot life. Water (for example very high humidity or contained in fillers) causes an acceleration of the resin/hardener reaction. Different temperatures and humidities during processing have no significant effect on the strength of the cured product.

Do not mix large quantities, especially from this highly reactive system. The heat flow from the mixing container is very low, so the contents will be warmed up very fast because of the reaction heat (exothermic resin-hardener reaction). This can cause temperatures >200°C (400°F) which may cause smoke intensive burning of the resin-hardener mixture.

La température de mise en oeuvre optimale se situe entre 20 et 25°C. Des températures supérieures sont possibles, mais elles réduisent le temps d'utilisation. Une augmentation de la température de mise en oeuvre de 10°C réduit le temps d'utilisation de moitié. L'eau (p. ex. une humidité de l'air très élevée ou des additifs humides) agit comme accélérateur pour la réaction résine/durcisseur. Cependant, des variations de température et de l'humidité de l'air pendant la mise en oeuvre n'ont pratiquement aucun effet sur la résistance du produit durci.

Avec des températures de mise en oeuvre supérieures, surtout pour des systèmes hautement réactifs, il est recommandé de ne pas mélanger de grandes quantités. La dissipation de chaleur hors du récipient de mélange étant très faible, la chaleur de réaction / réaction exothermique de résine/durcisseur entraîne un réchauffement rapide du contenu du récipient. Les températures à l'intérieur du récipient peuvent dépasser 200 °C et entraîner la carbonisation de la masse de résine avec une forte émission de fumée.

Gel time

Film thickness
1 mm
at different
temperatures

70 - 80°F	app. 45 - 60 min.
20 - 25°C	env. 45 - 60 min.
105-115°F	app. 20 - 30 min.
40 - 45°C	env. 20 - 30 min.

Temps de gélification

Épaisseur de
couche 1 mm
à différentes
températures



**Laminating resin L 285
Hardener 500**

**Résine L 285
Durcisseur 500**

Mixture ratio

Rapports de mélange

	Resin L 285 : Hardener 500 Résines L 285 : Durcisseur 500
Parts by weight Parts de poids	100 : 40 +/-2
Parts by volume Parts de volume	100 : 50 +/-2

The specified mixing ratios must be observed as exactly as possible. Adding more or less hardener will not effect a faster or slower reaction - only incomplete curing which cannot be corrected in any way.

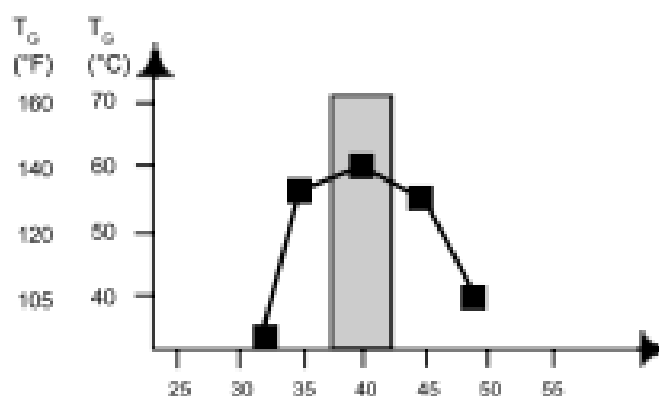
The mixture of resin and hardener must be mixed very thoroughly. Mix until no clouding is visible in the mixing container. Pay special attention to the walls and the bottom of the mixing container.

Les rapports de mélange indiqués doivent être observés. L'augmentation ou la réduction des parts de durcisseur n'entraîne en aucun cas une réaction plus rapide ou plus lente, mais uniquement un durcissement partiel du produit qui ne se laisse plus corriger, même par un post-traitement.

La résine et le durcisseur doivent être mélangés avec grande précaution. Dans le récipient, le mélange doit être exempt de striés. Prêter une attention particulière aux zones dans le fond et sur les parois du récipient de mélange.

**Mixing ratio ↔
glass transition temperature**

**Rapport de mélange ↔ Température de
transition vitreuse**



....Parts by weight of hardener 500 to
100 parts by weight of laminating resin L 285
Curing: 14 days at 25°C (80°F)

....Parts de poids du durcisseur 500 sur
100 parts de poids de résine L 285
Durcissement 14 jours à 25°C



**Laminating resin L 285
Hardener 500**

**Résine L 285
Durcisseur 500**

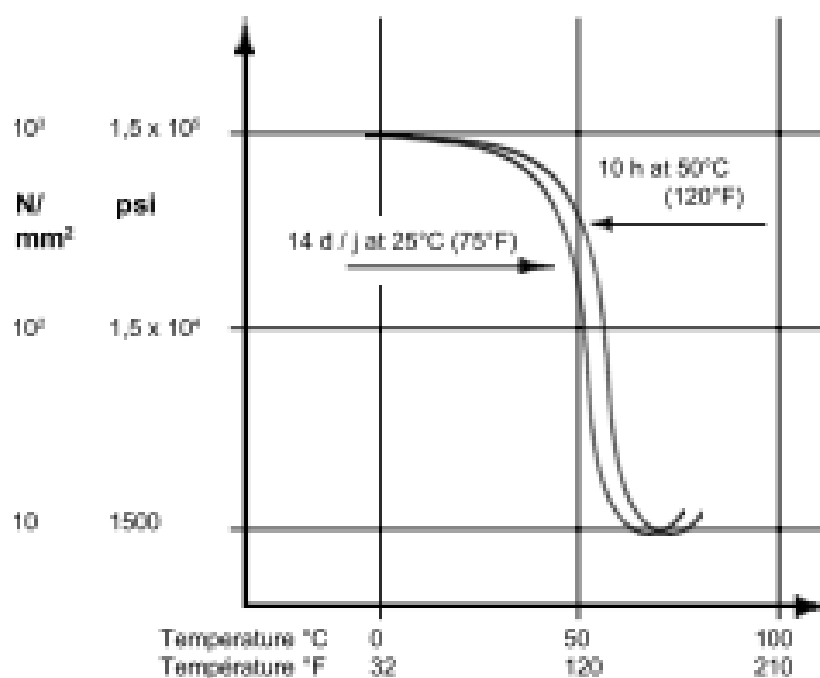
Laminating resin L 285 - Hardener 500 Résine L 285 - Durcisseur 500	
Max T_g for curing at 18°C (65°F) Max T_g à 18°C durcissement	100 - 110°F 40 - 45°C
Max T_g for curing at 25°C (80°F) Max T_g à 25°C durcissement	120 - 150°F 50 - 60°C
Max T_g for heat treatment at 50°C (120°F) Max T_g à 50°C traitement thermique	140 - 150°F 60 - 65°C

DSC DIN 51007

DSC DW 51007

Modulus of rigidity DIN 53448

Module d'élasticité DIN 53448



PŘÍLOHA 3: Technický informační list NORPOL 420-100

Technický informační list NORPOL 420-100

POPIS

NORPOL 420-100 je středně reaktivní, orthofthalová polyesterová pryskyřice pro injekční vrškování. NORPOL 420-100 neobsahuje urychlovač a není thixotropizována.

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI V KAPALNÉM STAVU PŘI 23°C

Vlastnost	Hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Viskozita			
-Kučel-Deska	180-210	mPa.s(cP)	ISO 2884-1974
Hustota	1,10	g/cm ³	ISO 2811-1974
Číslo kyselosti	22	mg KOH/g	ISO 2114-1974
Obsah styrenu	43±2	% hm.	-
Bod vzplanutí	34	°C	ASTM D 3278-73
Doba katalyzace:			
-1% Norpol 1			
-1% Co urychlovač(1%)	20-30	min.	-
Stádovatelnost	6	měsíce při teplotě do 23°C	

VLASTNOSTI VÝROBKU VE VYTVRZENÉM STAVU

Vlastnost	Čistá pryž.	Sklenná rohož	Jednotka	Zkušební metoda
Obsah skla	-	23-33 33-40	% hm.	ISO 1172-1975
Pevnost v tahu	70	110 160	MPa	ISO 527-1993
E-modul v tahu	3700	8000 10300	MPa	ISO 527-1993
Protažení	3,5	2,0 2,2	%	ISO 527-1993
Teplotní stálost za tepla	67	- -	°C	ISO 75-1993
Pevnost v ohybu	140	155 215	MPa	ISO 178-1993
E-modul v ohybu	3600	7200 10000	MPa	ISO 178-1993
Rázová houževnatost	12	- -	kJ/m ²	ISO 179-1982

Hodnoty uvedené v tabulce byly dosaženy na laminátu vyzrálém standardní práškové pojistou souběž, ruční laminací aby se dosáhlo hodnot, srovnatelných s ostatními typy polyesterových pryskyřic.

Bezpečnostní údaje

Vše je uvedeno v Bezpečnostním listě, se kterým je auto se před prvním použitím výrobku seznámit.

Označení nebezpečí

Nenasycené polyesterové pryskyřice jsou označovány jako **X_n** – Zdraví škodlivý.

POZNÁMKA

Údaje v tomto informačním listu byly získány laboratorními zkouškami v technickém odboru Jonan Polymer A/S. Všechny údaje jsou na bázi je šifrových hodnot a s nepřesností ± 10%.

Uvedené informace jsou podle našeho nejlepšího vědomí správné a mají sloužit jako vodítko pro uživatele, nezakládají však žádnou právní zodpovědnost.

PŘÍLOHA 4: Uhlíkový prach Cabot black vxc 605



Cabot Corporation
 Pampa Plant
 3 Miles West Highway 60
 1-806-661-3111
 Pampa, TX 79065

CARBON BLACK CERTIFICATE OF ANALYSIS

SIS No.
 Vehicle No.
 Customer Order
 Shipping Date
 Packing Lot No. 1486103 - CSI
 Grade VXC72
 Customer Grade
 Quantity

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES						
Property Description	Unit	Ref	Specification Min	Individual Values		Specification Max
					Individual	
INO	g/Ka	D-1101			251.7	
OAN	wt/100g	D-2414			173.2	
MOISTURE	%	D-1100			0.6	
RES-325	Ppm	D-1114			1	
TINT	%	D-3245			90.4	

The data above was obtained from tests on samples taken during the time of production and/or packaging of this product. We do not guarantee the same results will be obtained by others in other laboratories and we disclaim liability resulting from the use of contents of this report. BLACK PEARLS, ELFTEX, EMPEROR, MOGUL, MONARCH, REGAL, STERLING, VULCAN, CRX, CSX and BRX are registered trademarks for Carbon Blacks produced by Cabot Corporation. Rubber results reported as difference from IRB 7.

CABOT**CARBON BLACK CERTIFICATE OF ANALYSIS**

Sales Order Number: SAMPLE000010044 / 1
 Customer P.O. Number: SAMPLE
 Grade: VULCAN XC605
 ASTM Code:
 Customer Grade: VXC605
 Quantity Shipped: 1 Kg
 Vehicle ID: TNT
 Lot Number: 3131640
 Shipping Date: 09 Nov 2011
 Manufacturing Plant: BO

Univerzita T Bati ve Zline
 Nad Stranami 4511
 Zim 760 01
 Atm : Zdenek Dvorak

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES							
Production and Packing Lot Average Data							
Property Description	Unit	Ref	Specification Min	Average Values			Specification Max
				Min	Average	Max	
DAN	ml/100g	D-2414	133.0	144.1	146.9	149.0	163.0
RES-325	ppm	D-1514	0	1	1	2	20
MOISTURE	%	D-1509	0.0	0.4	0.4	0.4	1.0
INO-DEVOL	mg/g	25.4	75.0	86.0	86.0	86.0	105.0

Previous Shipment Data

None as no previous shipment.

The data above was obtained from tests on samples taken during the time of production and/or packaging of this product using ASTM or Cabot Test Methods. We do not guarantee the same results will be obtained by others in other laboratories and we disclaim liability resulting from the use of the contents of this report.

BLACK PEARLS, ELFTEX, EMPEROR, MOGUL, MONARCH, REGAL, SPHERON, STERLING, VULCAN, CRX, CSX and RX are registered trademarks for Carbon Blacks produced by Cabot Corporation. Rubber results are reported as difference from IRB7.

Pallet No. / Container ID

None as no production and Packing Lot Average Data.

Signature: Dick Nieuwenkamp (Laboratory Manager)

Shipping Origin

Cabot B.V.
 Borsikemaat 2
 3147 KX Bodek RT
 P.O. Box 1009
 3180 AA Bredaweg ZH
 The Netherlands

Telephone: +31 (0)11 - 291088
 Telefax accounting: +31 (0)11 - 291080
 Telefax Sales: +31 (0)11 - 291079
 Telex: 14402
 Chamber of Commerce: 1308495 (Rotterdam)
 VAT No.: NL002186833B01

Page 1 of 1

Cabot B.V. is a subsidiary
 of Cabot Corporation, Boston,
 Massachusetts, U.S.A.

* = A trade mark of Cabot
 Corporation