

Charakterizace polymerních kompozitních materiálů pomocí měření elektrických veličin

Bc. Tomáš Vavříník

Diplomová práce
2012

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš VAVŘINÍK**

Osobní číslo: **T10973**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Charakterizace polymerních kompozitních materiálů pomocí měření elektrických veličin.**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši k řešené problematice.
2. Výroba zkušebních těles.
3. Experimentální stanovení fyzikálně mechanických vlastností.
4. Vyhodnocení výsledků.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

13. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2012

Ve Zlíně dne 2. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



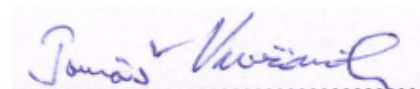
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové 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 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 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 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 17. 05. 2012



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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem práce je popsat polymerní kompozitní materiály a jejich elektrické vlastnosti. V teoretické části jsou popsány všeobecné vlastnosti polymerních kompozitů. Dále jsou zde rozebrány základní elektrické veličiny. V praktické části jsou nejprve popsány materiály a zařízení, s kterými se pracovalo a následně popsána výroba zkušebních těles s různou koncentrací dvou typů vodivých sazí a uhlíkového prachu pro dva typy pryskyřic. Na těchto zkušebních tělesech byly měřeny elektrické a dielektrické vlastnosti při různém chemickém složení, za různých teplot, v určitém frekvenčním rozsahu. Součástí této práce je i provedení zkoušky na tah a ohyb. Výpočty jsou zpracovány i graficky v tabulkách. Na závěr je provedeno vyhodnocení a shrnutí.

Klíčová slova:

Polymer, kompozit, epoxid, polyester, pryskyřice.

ABSTRACT

The goal of this study is subscription of polymer composite materials and their electroatributes. In theoretical part there are subscribed general atributes of polymer composites. Here is also specification of basic electroquantites. In practical part there are subscribed materials and equipements used in this study. Followly here is subscribed production of tested parts with different concentration of two types of conductive soot and carbon powder for two types of resin. At these tested parts was measured electrical and nonelectrical atributes at different chemical compositions, different temperatures and specifical frequence mode. Parts of this study are also tensile test and flection test. Calculations are enclosed in charts. In final part was made sumarisation and evaluation.

Keywords:

Polymer, composite, epoxy, polyester, resin.

Poděkování

V úvodu práce bych rád poděkoval všem, kteří mi svojí radou, nebo poskytnutím podkladů usnadnili vypracování této diplomové práce. Především děkuji vedoucímu práce Ing. Milanu Žalůdkovi, Ph.D. a doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D. za odbornou pomoc při řešení.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERNÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	12
1.1 CHARAKTERISTIKY	12
1.2 KLASIFIKACE.....	13
1.2.1 Partikulové kompozity	13
1.3 KOMPOZITY V DĚJINÁCH	14
1.4 MECHANICKÉ, FYZIKÁLNÍ, CHEMICKÉ A TECHNOLOGICKÉ VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....	14
1.5 VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	15
1.6 VÝZTUŽE.....	16
1.7 NENASYCENÉ POLYESTEROVÉ PRYSKYŘICE (UP-R).....	17
1.8 VINYLESTEROVÉ PRYSKYŘICE.....	18
1.9 EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE	18
1.9.1 Epoxidové laky.....	20
1.9.2 Lící epoxidové pryskyřice.....	20
2 CHOVÁNÍ POLYMERŮ V ELEKTRICKÝCH A MAGNETICKÝCH POLÍCH	22
2.1 ELEKTRICKÁ VODIVOST.....	23
2.1.1 Měření elektrické vodivosti.....	30
2.2 PRŮRAZOVÁ PEVNOST POLYMERŮ:.....	31
2.3 TYPY MATERIÁLŮ.....	31
2.4 VLÁKNA	32
2.5 VODIVOST MATERIÁLŮ.....	32
2.6 VODIVOST POLYMERŮ	32
2.7 ELEKTRICKÝ ODPOR	32
2.8 DIELEKTRICKÉ ZTRÁTY	33
2.9 PROSTOROVÝ NÁBOJ	33
2.10 ELEKTRICKÁ PEVNOST	34
2.11 VODIVÉ POLYMERY	34
2.12 BARIÉROVÁ EFEKTIVITA.....	34
2.13 PREDIKCE VODIVOSTI.....	35
2.14 PIEZOELEKTRICKÝ ODPOR	36
2.15 DIELEKTRICKÉ VLASTNOSTI	36
2.15.1 Kapacitance	36
2.15.2 Dielektrická konstanta.....	37
2.16 ELEKTROSTATICKÝ NÁBOJ	37
2.16.1 Vznik náboje	37
2.16.2 Proces tvorby statické elektřiny	38
2.16.3 Důsledky tvorby statické elektřiny.....	39
2.16.4 Omezení statického náboje	39

II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
3	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	41
4	CHARAKTERIZACE A POUŽITÍ MATERIÁLŮ	42
4.1	EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE L 285 (MGS)	42
4.2	POLYESTEROVÁ PRYSKYŘICE AROPOL ® G 105 E.....	43
4.3	UHLÍKOVÝ PRACH	44
4.4	MULTI – CARBON 200G/M2 45/45° UHLÍKOVÁ PROŠITÁ TKANINA.....	45
5	VÝROBA VZORKŮ	46
5.1	VÝROBA VZORKŮ Z EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE.....	46
5.1.1	Výroba vzorků z epoxidové pryskyřice – varianta II.....	50
5.2	VÝROBA VZORKŮ Z POLYESTEROVÉ PRYSKYŘICE	50
5.2.1	Výroba vzorků z polyesterové pryskyřice – varianta II.....	50
5.2.2	Výroba vzorků z polyesterové pryskyřice – varianta III.....	51
5.3	MECHANICKÉ ZKOUŠKY NA TAH A OHYB.....	51
5.3.1	Zkouška tahem	51
5.3.2	Zkouška ohybem	51
6	POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ	53
6.1	UNIVERZÁLNÍ TRHACÍ STROJ ZWICK 1456.....	53
6.2	PŘÍSTROJ NA MĚŘENÍ IZOLAČNÍCH ODPORŮ ELECTRON IZO 2500PC	54
6.3	SIGNÁLNÍ GENERÁTOR SMF 100A	55
6.4	DETEKTOR VÝKONU ROHDE – SCHWARZ NRP-Z21 DO 18GHZ.....	56
6.5	TRYCHTÝŘOVÁ HŘEBENOVÁ ANTÉNA DRH20-N.....	56
6.6	LCR HIESTER 3522-50.....	57
7	MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH A DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ	58
7.1	MĚŘENÍ OBJEMOVÉ VODIVOSTI	58
7.2	MĚŘENÍ POVRCHOVÉ VODIVOSTI.....	59
7.3	MĚŘENÍ STÍNÍCÍ ÚČINNOSTI	59
7.3.1	MĚŘENÍ ÚČINNOSTI STÍNĚNÍ	61
7.3.2	Měření stínící účinnosti u epoxidové matrice	62
7.3.3	Měření stínící účinnosti u polyesterové matrice	63
7.4	MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH A DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ	65
7.4.1	Popis měření elektrických a dielektrických vlastností	65
7.4.2	Výsledek měření na vzorcích s epoxidovou a polyesterovou pryskyřicí.....	66
7.5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ ZKOUŠKY OHYBEM.....	78
	ZÁVĚR	88
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	97
	SEZNAM TABULEK.....	100
	SEZNAM PŘÍLOH.....	101

ÚVOD

Cílem této práce je popsat, nebo charakterizovat elektrické vlastnosti kompozitních polymerních materiálů. Tyto materiály se v dnešní době stále a více používají v různých průmyslových odvětvích. Nahrazují dražší, nebo špatně dostupné původní materiály a jsou jimi plnohodnotně nahrazeny, ba někdy mají i lepší vlastnosti než původní materiál. Kompozitní materiály mají slibnou budoucnost. Snižují energetickou spotřebu při výrobě. Jsou lehčí a zároveň mají vysokou pevnost i tuhost. Mechanické vlastnosti kompozitních polymerních materiálů stoupají se zvyšujícím se obsahem vyztužující složky až do podílu 80%.

Přírodní polymery jako je dřevo, bavlna, kůže a slonovina užívali lidé po tisíce let. Znali pouze jejich užitečné vlastnosti. Teprve věda s moderními nástroji se začala zajímat o strukturu těchto polymerů a kolem roku 1907 se podařilo Berkelandovi synteticky vyrobit první umělý polymer, který našel technické použití. Nazval jej bakelit. Další desetiletí byly polymery středem zájmu chemiků, kteří připravovali nové polymery na základě syntézy malých organických molekul. Do inženýrské praxe se polymery dostávají po první a zejména po druhé světové válce. V padesátých letech minulého století přichází studium polymerů na akademickou půdu a vznikají výzkumná pracoviště, která se výhradně zabývají strukturou a vlastnostmi polymerů a vzniká věda o polymerech. Velmi brzy se poznalo, že syntetické polymery svými vlastnostmi mohou nahradit polymery přírodní, ale často i materiály kovové, keramiku a sklo. S ohledem na skutečnost, že se polymery vyrábějí z relativně levných a dostupných surovin a také proto, že se snadno zpracovávají, došlo k obrovskému rozvoji polymerních materiálů, takže bez nadsázky se dá říci, že po bronz a slitinách železa se staly polymery civilizačním materiálem v našem slova smyslu. [4]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Slovo „kompozitní“ znamená „vytvořený či skládající se ze dvou nebo více odlišných částí“. Materiál mající dvě nebo více odlišných materiálových složek nebo fází je podle toho tedy složeným materiálem. Avšak jen tehdy, když mají vytvářející fáze značně rozdílné fyzikální vlastnosti, a tudíž i vlastnosti složeného materiálu jsou zřetelně odlišné od vlastností jeho složek, označujeme takový materiál jako kompozit. Například běžné kovy obsahují většinou vždy nežádoucí nečistoty nebo slitinové prvky; plasty všeobecně obsahují malá množství plniv, apretur, pohlcovačů ultrafialového záření a jiných materiálů z důvodů ekonomických pro usnadnění výroby aj., nejsou však obecně klasifikovány jako kompozity. Ačkoliv plasty obsahující z cenových důvodů plniva a malá množství příměsí, jsou složenými materiály, nesmí být pokládány za kompozity, pokud jejich fyzikální vlastnosti nejsou podstatně ovlivněny těmito příměsemi. Tyto materiály jsou složeny ze dvou a více chemicky a fyzikálně odlišných částí (materiálů). Obvykle je v tomto složení **výztuž**, která je tvrdší, tužší a pevnější, nespojitá. Druhá složka slouží jako **pojivo**, které je spojitě a poddajnější. Úkolem pojiva je vyztužit celý materiál. [1]

Výztuže u kompozitních materiálů mohou být různých rozměrů a podle toho se kompozitní materiály dělí na:

- mikrokompозitní materiály – největší příčné rozměry výztuže jsou v rozmezí $10^0 \div 10^2$ μm . Mají menší hustotu v porovnání s kovy a z toho plyne větší měrná pevnost a měrný modul;
- makrokompозitní materiály – u těchto materiálů jsou největší příčné rozměry výztuže v rozmezí $10^0 \div 10^2$ mm. Makrokompозity nacházejí největší uplatnění ve stavebnictví. Jsou ale i použity v železárenském odvětví jako plátované kovy či různé konstrukce;
- nanokompозitní materiály – u těchto materiálů jsou rozměry výztuže v řádech nm.

Nejrozšířenějším materiálem používaným pro výztuže jsou skleněná vlákna. Tato vlákna jsou vyráběna tavením směsi křemenného písku, vápence, potaše a collemanitu. [1]

1.1 Charakteristiky

Kompозity tvoří jedna nebo více nespojitých fází, ponořených ve spojitě fázi. Diskontinuitní fáze je obvykle tvrdší a pevnější než spojitá fáze a nazývá se vyztužení nebo

vyztužovací materiál, zatímco spojitá fáze se nazývá matrice. Nejpozoruhodnější výjimkou z tohoto pravidla je skupina materiálů známých jako polymery modifikované kaučukem, skládající se z tuhé polymerní matrice, plněné kaučukovitými částicemi. [1]

Vlastnosti kompozitů jsou silně ovlivňovány vlastnostmi svých materiálových složek, jejich distribucí a interakcí mezi nimi. [1]

Kompozity mohou být lehké a přitom si zachovat pevnost a tuhost. K tomu přistupuje vyšší houževnatost, tepelná odolnost, rozměrová stálost, odolnost proti oděru. Žádný materiál totiž není dokonale homogenní.

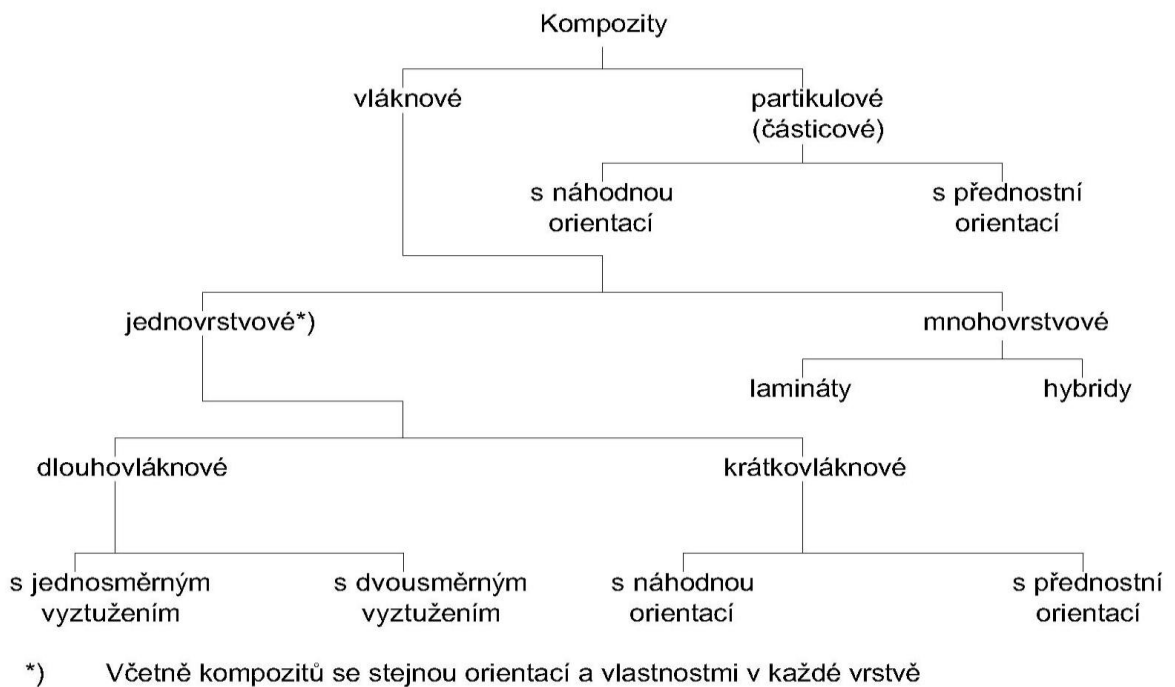
1.2 Klasifikace

Většina dosud vyvinutých kompozitních materiálů je vyráběna pro zlepšení mechanických vlastností, jako je pevnost, tuhost, tažnost a vysokoteplotní odolnost. [1]

Kompozity vyztužené částicemi jsou někdy označovány jako partikulové kompozity. Kompozity vyztužené vlákny se pak nazývají vláknové kompozity. [1]

1.2.1 Partikulové kompozity

Kompozit, jehož plnění může být klasifikováno jako částicové, se nazývá partikulový kompozit. Částice je definována jako nevláknový útvar a nemá žádný dlouhý rozměr s výjimkou destiček. Rozměry vyztužení určují její schopnost přispívat k vlastnostem kompozitu. [1]



Obr. 1 Klasifikace kompozitních materiálů [1]

1.3 Kompozity v dějinách

Staří Babyloňané již nejméně 3 000 let před Kristem používali kompozity založené na vyztužených přírodních pryskyřicích a živících. V Egyptě se stavěly říční čluny ze stvolu papyru uložených v živičné matrici.

1.4 Mechanické, fyzikální, chemické a technologické vlastnosti kompozitních polymerních materiálů

Mezi základní vlastnosti charakterizace materiálu patří jeho mechanické, technologické, fyzikální vlastnosti a chemické složení. U **mechanických vlastností** nás zajímá především pružnost, pevnost, plasticita a houževnatost.

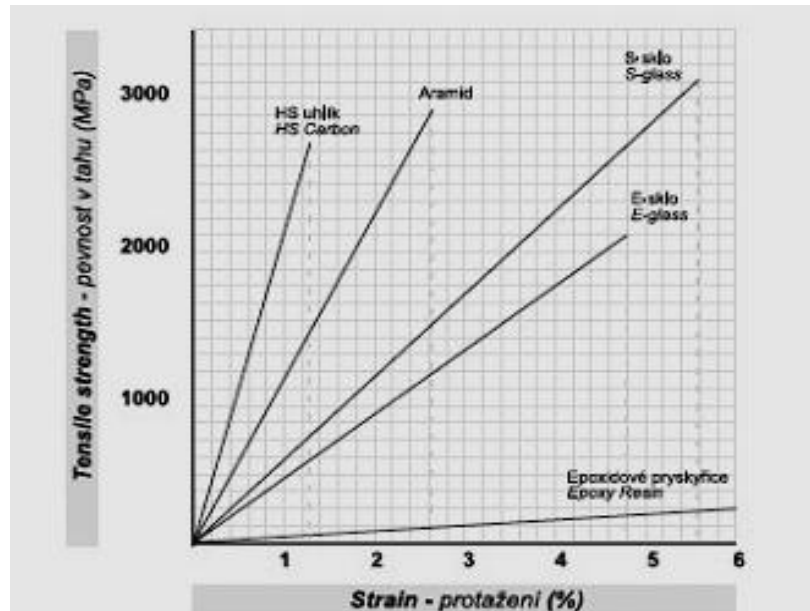
U **chemických vlastností** materiálů nás především zajímá, jak reagují s okolním prostředím, zda se po reakci mění vlastnosti – chemické složení a jak.

Technologické vlastnosti jsou charakterizovány možností použití v určitém zpracovatelském procesu.

Z **fyzikálních vlastností** je pro nás důležitý především vliv teploty, vlhkosti a světelného záření, elektrická vodivost a měrný odpor (rezistivita).

1.5 Vlastnosti kompozitních materiálů

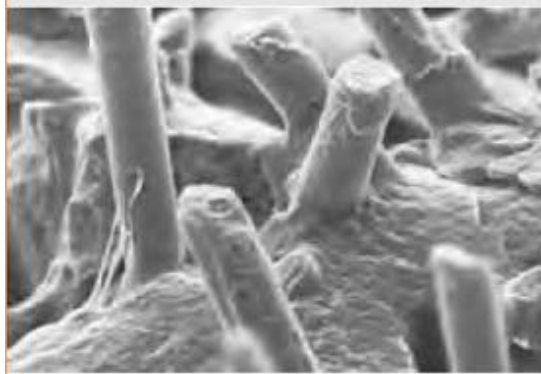
Kombinací dvou nebo více materiálů (fází) s rozdílnými vlastnostmi lze získat materiály nové, jejichž výsledné vlastnosti jsou lepší, než by odpovídalo pouhému součtu vlastností jednotlivých složek (synergický efekt). [7]



Obr. 2 Vlastnosti složek kompozitů [7]

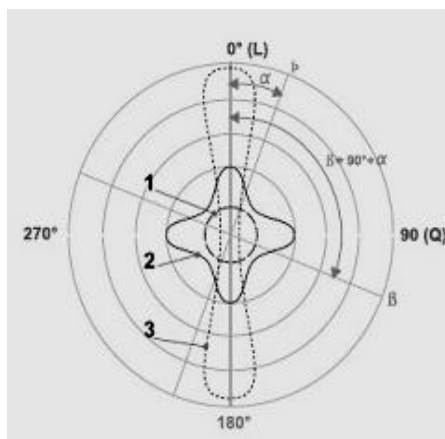
Vláknové polymerní kompozitní materiály jsou ceněny a používány pro svou lehkost při zachování vysokých hodnot pevnosti a tuhosti. [7]

Obecně platí, že mechanické vlastnosti kompozitu stoupají se zvyšujícím se obsahem vyztužující složky až do podílu 80%. Všechna vlákna musejí být totiž dokonale smočena pojivem-pryskyřicí. Aby se využily plně pevnosti vláken, musí se zabezpečit dobrá adheze mezi vlákny a matricí a tím i dokonalý přenos síly z matrice na výztuž. Vlákna se proto na povrchu chemicky upravují tak, aby se na rozhraní mezi matricí a vláknem vytvořily pevné chemické vazby. [7]



Obr. 3 Fázové rozhraní vlákno – matrice [7]

Charakteristickým rysem kompozitů oproti homogenním materiálům je jejich anizotropie – vlastnosti kompozitu silně závisí na směru uložení (orientaci) výztužných vláken. Tento jev dobře ilustruje i tzv. polární diagram pevnosti v tahu pro laminát se základními typy výztuží, které reprezentují různou orientaci vyztužujících vláken (jednosměrnou výztuž, tkaninu s plátňovou vazbou a rohož). [7]



Obr. 4 Pevnost v tahu v polárním diagramu [7]

1.6 Výztuže

Nejrozšířenějšími (cca 80%) vyztužujícími vlákny pro kompozitní materiály jsou vlákna skleněná. [7]

Vyrábějí se tavením tzv. sklářského kmene, což je směs křemenného písku (cca 70%), vápence, potaše a collemanitu (obsahuje bór). Chemické složení sklářského kmene se liší podle typu skla. Pro polymerní kompozity se užívá převážně typ E, tzv. bezalkalické sklo II. hydro-lytické třídy. Sklářský kmen se taví přibližně při 1 400°C a z taveniny se v jednostupňovém procesu přímo vytahují tzv. elementární vlákna – tavenina vytéká dnem

pece z platino-indiové slitiny malými otvory o $\Phi 1\div 2$ mm. Průměr vláken je $5\div 25$ mikromilimetru v závislosti na rychlosti odtahu. [7]

Přímo pod pecí se ještě za horka nanáší na nanovlákná tzv. přímá apretace, obsahující lubrikační složku, která vlákna „maže“ a tak usnadňuje jejich další textilní zpracování a zároveň chrání jejich povrch před mechanickým poškozením a ze složky apretační, která obsahuje vazebné prostředky zvyšující adhezi mezi vlákny a maticí. [7]

Vlákna se druzí do pramenů, které se navíjejí na kolony, které jsou pak výchozí jednotkou pro další zpracování jednak na pramence (roving), které se užívají přímo např. na technologii stříhání, tažení, navíjení nebo pro výrobu pramencových tkanin popřípadě vícesměrných výztuží a jednak se zpracovávají na příze se zákrutem, používané při výrobě tenkých tkanin a speciálních hustých tkanin např. pro elektroizolační účely. Část pramenců se zpracovává sekáním na délku 50 mm a výrobu pramencových rohoží – plošný útvar s náhodně orientovanými vlákny. Další část pramenců se seká na délky $2\div 6$ mm a tato krátká vlákna se používají pro výrobu premixů a vyztužování termoplastů. [7]

1.7 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)

Tyto reaktivní pryskyřice jsou bezbarvé, až slabě nažloutlé roztoky v reaktivních rozpouštědlech, které je možno vytvrzovat za normální nebo zvýšené teploty, aniž by vznikaly těkavé vedlejší produkty. Při vytvrzování se uvolňuje reakční teplo a dochází k objemovému smrštění o 5 až 9 %. [3]

Vzhledem k nízké viskozitě, dobrému smáčení vláken, vysoké (resp. pružně regulovatelné) rychlosti vytvrzování a přiměřeně nízké ceně jsou UP-R v mnoha případech nejčastěji používaným materiálem pro kompozitní aplikace. [3]

Zvláštní vlastnosti nenasycených polyesterových pryskyřic:

- levné, spolehlivé a mnohostranně použitelné licí pryskyřice;
- velká variabilita při zpracování, možnosti volby obsahu jednotlivých složek – styrene, a katalyzátoru/urychlovače;
- velké smrštění při zpracování (6 až 9 %), z velké části po zgelovatění;
- dobrá odolnost proti povětrnosti, částečně neodolávají alkalickému namáhání;
- velké nároky na životní prostředí působením styrenu. [3]

1.8 Vinylesterové pryskyřice

Vinylesterové pryskyřice (VE-R) se liší od nenasyčených polyesterových pryskyřic (UP-R) tím, že zesíťování probíhá pomocí koncových metakrylátových skupin, kde jsou také esterové vazby. U VE-R na bázi bisfenolu A je příčinou vysoké houževnatosti, velmi dobré odolnosti proti alkalickému prostředí, ale také – vzhledem ke dvojným vazbám – i nižší tvarové stálosti za tepla. Vinylesterové pryskyřice, vycházející ze základních složek fenolických pryskyřic, jsou podstatně reaktivnější a vzhledem ke kratším molekulovým řetězcům mají nižší viskozitu a vyšší stupeň zesíťení. Jsou proto odolné vyšším teplotám, ale také relativně křehké. [3]

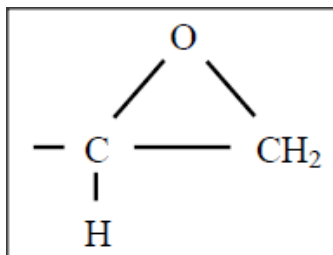
Zvláštní vlastnosti epoxidových pryskyřic:

- ve srovnání s nenasyčenými polyesterovými pryskyřicemi (UP-R) jsou VE-R houževnatější a dražší;
- velká variabilita při zpracování pomocí dávkování styrenu a urychlovače;
- aplikace v korozním prostředí;
- zatížení životního prostředí styrenem. [3]

1.9 Epoxidová pryskyřice

Tyto pryskyřice jsou za normálních teplot kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat přídatné pomocné látky, např. rozpouštědla. [3]

Epoxidová pryskyřice vzniká kondenzací dianu (hydroxifenylpropanu) s epichloridrinem, jelikož obsahuje na koncích makromolekuly epoxidové skupiny:



Obr. 5 Epoxidové pryskyřice [6]

Vzniklé makromolekuly jsou převážně lineární. Pryskyřice je termoplastická, rozpuští se v organických rozpouštědlech a nemá dostatečné mechanické vlastnosti. Použití je možné až po zesíťení, které nastane po přidání tzv. tvrdidla, kdy zmíněná epoxidová

skupina buď adičně reaguje s látkami, které obsahují pohyblivý vodík nebo katalizačním účinkem vhodných látek polymeruje. [6]

Použité tvrdidlo rozhoduje o vlastnostech vytvrzené epoxidové pryskyřice, jakož i o potřebné vytvrzovací teplotě a době. Dobré elektroizolační vlastnosti získávají pryskyřice při použití tvrdidla s aromatickými jádry (např. anhydrid kyseliny ftalové). Druh tvrdidla rozhoduje též o chemické a tepelné odolnosti i smrštivosti pryskyřice. Vlastnosti se však také mění teplotou a dobou potřebnou pro vytvrzování. [6]

K vytvrzení epoxidových pryskyřic lze použít i fenolických močovinových a melaminových pryskyřic, které zlepšují chemickou a tepelnou odolnost. [6]

Elektrická pevnost je kolem 25 kV/mm, permitivita $3,5 \div 4$, ztrátový činitel $\tan \delta$ přibližně 0,01, tepelná odolnost v rozmezí $-60 \div 260$ °C. [6]

Zmíněné dobré vlastnosti, které jsou doplněny dobrou odolností proti vlhku a plísním, malou paropropustností vodních par, jakož i výbornou adhezí i kohezí, zajišťují široké použití epoxidových pryskyřic i v elektrotechnickém průmyslu.

Zde se používají jako:

- a) elektroizolační laky;
- b) lepidla, pro výbornou adhezi;
- c) nejvíce jako licí pryskyřice. [6]

Zvláštní vlastnosti epoxidových pryskyřic:

- cenově jsou nevýhodné, 3 až 4 krát dražší než nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R);
- musí být dodržen přesný stechiometrický poměr mísení pryskyřice / tvrdidlo;
- vzhledem k velmi dobrým mechanickým vlastnostem (zejména při dynamickém namáhání) jsou vhodné jako matrice pro vysokopevnostní vlákna (např. uhlíková);
- dobrá adheze k mnoha druhům podkladu (lepidlo);
- pro poměrně vysokou viskozitu a pomalou vytvrzovací reakci jsou hůře zpracovatelné než nenasycené polyesterové (UP-R) nebo vinylesterové (VE-R) pryskyřice;

- chemická odolnost je závislá na druhu tvrdidla (aminy – odolnost proti alkáliím, anhydridy kyselin – odolnost proti kyselinám a horké vodě);
- rozsah tepelné odolnosti je vyšší než u UP-R a VE-R (teplota skelného přechodu $T_g > 200^\circ\text{C}$);
- možné podráždění kůže a alergie při zpracování kapalných pryskyřic. [3]

1.9.1 Epoxidové laky

Jsou hlavně používány jako látky impregnační a lepicí. Mají normálně velmi málo rozpouštědel (pod 10 %), nebo je vůbec neobsahují, jako např. látky tzv. bezrozpouštědlové. Při jejich použití ve spojení s elektroizolacemi stejných tříd se dosahuje vyšší tepelné odolnosti. Jelikož neobsahují rozpouštědla, dociluje se při nich 100 % plnění prostor. Impregnační pryskyřice se v přípravě laku široce uplatnily, neboť vyhověly podmínkám odolnosti vlhkostí a oděru a při dobrých elektroizolačních vlastnostech. [6]

Jako lepidla musí mít epoxidové pryskyřice:

- a) dobrou adhezi k hladkým povrchům;
- b) dobrou kohezi po vytvrzení;
- c) předlouhé životnosti i chemická odolnost;
- d) snadnou zpracovatelnost;
- e) dobré elektroizolační vlastnosti;
- f) nesmějí vykazovat smršťivost.

Lepicí technika má v elektrotechnice mnohostranné využití. Tak např. slepené vrstvy skelných tkanin tvoří pevné sklolamináty, slepené plechy točivých strojů, transformátorů a tlumivek zářivek snižují jejich chvění. Lepením je často nahrazováno spojování nýtováním, letováním a i svařováním, přičemž jsou spoje prachotěsné a vakuotěsné. [6]

1.9.2 Lící epoxidové pryskyřice

Nejvíce se epoxidových pryskyřic využívá jako lepicích hmot. Proti jiným lepicím pryskyřicím mají tyto výhody:

- při lící teplotě jsou málo viskózní a velmi dobře zatékají

- jejich odlévání a vytvrzování je možné bez tlaku, protože se při vytvrzování netvoří žádné vedlejší zplodiny. [6]

Některé lze odlévat a vytvrzovat při pokojové teplotě. Mají velmi malé objemové změny. Jsou dobře přilnavé. Vytvrzené mají dobré elektrické mechanické a chemické vlastnosti. Jsou netečné vůči chlorovým derivátům difenilu (clophen) a odolné proti mořské vodě i proti korónovému výboji. [6]

Povrch vytvrzené pryskyřice je hydrofobní. Povrchový odpor přibližně $10^{15} \Omega$, vnitřní měrný odpor $10^{-16} \Omega \cdot \text{cm}$. Jsou snadno zpracovatelné. [6]

Příprava licí pryskyřice záleží na jejím roztopení a odstranění vzdušných bublin při použití mírného vakua nebo přechodného zvýšení teploty. Pro zvýšení mechanických a teplotních vlastností se v další úpravě přidávají vhodná plniva, z nichž nejdůležitějším jsou taková, která obsahují křemen. Před odléváním se přidává v předepsaném množství tvrdidlo. Doba, po kterou zůstává pryskyřice schopna odlévání, se nazývá licí životností. [6]

K vyjmutí odlitku z formy je potřeba oddělit odlitek od formy separační vrstvou, provedenou ze silikonového laku nebo vazelíny. Při lití je hlavně nutné zabránit tvoření bublin. [6]

Vytvrzování odlitků se provádí podle druhu pryskyřice buď za tepla, nebo při normální teplotě. Vzhledem k exotermní reakci vznikající při vytvrzování je lépe volit vytvrzovací teplotu nižší k vyrovnání uvolněného tepla. [6]

Pro celkově dobré vlastnosti elektrické, mechanické i tepelné, pro jednoduchost tvarování i zalévání např. kovových částí je použití licích pryskyřic v elektrotechnice mnohostranné. Tak např. jako náhrada porcelánu se odlévají z plněných pryskyřic podpěrné izolátory, za tvrzený papír komory maloolejových vypínačů, zalévají se pólové cívky elektrických strojů i celá vinutí strojů vystavených vlivům prostředí. Zalévá se také vinutí měřících transformátorů. [6]

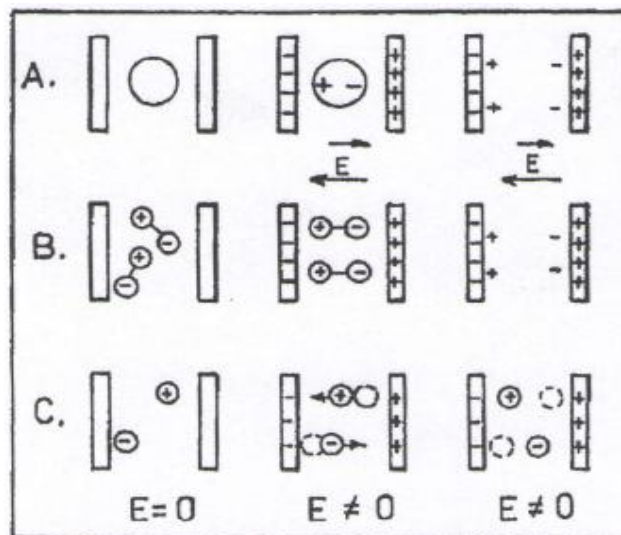
Polotovary vyrobené z licí pryskyřice, jako desky, tyče a trubky jsou pak konstrukčním materiálem ve stavbě elektrických přístrojů. Další využití epoxidových pryskyřic je ve výrobě skelných laminátů, kterých se užívá i u silně namáhaných elektrických strojů, nebo jako podkladový materiál plošných strojů. [6]

2 CHOVÁNÍ POLYMERŮ V ELEKTRICKÝCH A MAGNETICKÝCH POLÍCH

Polymery mají nezastupitelný význam v elektrotechnickém průmyslu. V následujícím textu je popsáno jejich chování v elektrickém poli. Bez speciálních úprav se prakticky všechny polymery chovají jako nevodiče. Jsou to nevodiče (dielektrika) elektricky polarizovatelná a to různě podle toho zda jde o el. pole stejnosměrné, nebo střídavé.

Odezva látek na působení elektrického pole má dva *mezí případy*:

1. Nevratný, časově závislý transport elektricky nabitých částic, které jsou v látce přítomné, tj. vznik proudu doprovázeného disipací energie. Látka s takovým chováním se označuje *vodič* (viz Obr. 6 C). [5]



Obr. 6 Odezva látek na působení elektrostatického pole E. [5]

- A- vznik indukovaných dipólů: polarizace téměř okamžitá (10^{-13} - 10^{-15} s), zcela vratná,
- B- orientační polarizace: časově závislá, vratná,
- C- transport nábojů: časově závislý, nevratný

2. Elektrické posunutí, způsobené vznikem indukovaných dipólů či orientací dipólů již v látce přítomných (Obr. 6 A, B), které je doprovázeno akumulací energie a je vratné - po odstranění pole mizí. Látka s tímto chováním se nazývá *dielektrikum* či *izolátor*. (Elektrické posunutí je obecně časově závislé a je doprovázeno částečnou disipací energie). [5]

Běžné polymery jsou dielektrika, avšak jejich vodivost není úplně nulová. Absolutním nevodičem je pouze vakuum. Přidáním některých přísad nebo syntézou polymerů se speciální strukturou lze získat *polovodivé polymerní systémy*. [5]

2.1 ELEKTRICKÁ VODIVOST

Elektrická vodivost patří mezi fyzikální veličiny popisující vedení elektrického proudu určitým materiálem. Jak již bylo uvedeno výše, kompozitní materiály jsou za běžných podmínek elektricky nevodivé prvky. Aby se staly elektricky vodivými, musí být k němu přidány látky (prvky) vykazující elektrickou vodivost. [15]

Elektrická vodivost dielektrik se rozděluje podle nositelů elektrického náboje:

- elektrická vodivost iontová
- elektrická vodivost elektronová
- elektrická vodivost elektroferotická. [15]

U iontové vodivosti zabezpečují přenos elektrického náboje ionty, které mohou být součástí daného materiálu, nebo můžou pocházet z nečistot. U elektronové vodivosti dochází k přenosu elektrického náboje pomocí volných elektronů. U elektroferotické vodivosti jsou nositeli elektrického náboje koloidní částice. Tato vodivost se vyskytuje pouze u kapalných látek, obsahujících příslušné koloidní částice. [15]

Elektrická vodivost se dále dělí podle pohybu náboje na vnitřní a povrchovou elektrickou vodivost. Vnitřní vodivost se vyskytuje u látek různého skupenství. Povrchová vodivost se vyskytuje pouze u látek pevného skupenství. Vnitřní elektrická vodivost závisí 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. [15]

Předpokládejme, že vnější elektrické pole udržuje na koncích tělesa o délce: L_0 a ploše průřezu A_0 konstantní potenciálový rozdíl (napětí) U (jednotkou je volt, V). Způsobuje přitom tok náboje, proud I (jednotkou je ampér, A). (Jednotkou náboje Q je coulomb, lze použít též označení ampérsekunda, platí: $1C = 1A.s$ a $I = dQ/dt$). Intenzita elektrického pole E v daném místě je rovna zápornému gradientu potenciálu. Pokud je pole homogenní, pak $E = U/L_0$ ($V.m^{-1}$). Pole o jednotkové intenzitě působí na náboj 1 C silou 1 N. Jednotkou intenzity elektrického pole je tedy *newton na coulomb*; jelikož však platí $1J = 1VC = 1Nm$, je $NC^{-1} = 1Vm^{-1}$, a uvedená jednotka intenzity pole se proto obvykle uvádí pod názvem *volt na metr*. Proud procházející jednotkou plochy průřezu je proudová

hustota $J = I / A_0$ (Am^{-2}). Obvykle se chování látky řídí Ohmovým zákonem: při zvýšení napětí U (intenzity E) se úměrně zvýší i proud I (hustota proudu J). [5]

$$I \equiv \frac{dQ}{dt} = GU \quad (1)$$

$$J = \sigma E$$

Poměr proudu a napětí $G = I/U$ (siemens, $S = AV^{-1}$) se nazývá *vodivost* tělesa, jeho konduktance.

Poměr plošné hustoty proudu a intenzity elektrického pole se nazývá *měrná elektrická vodivost* látky σ ($Sm^{-1} = AV^{-1}m^{-1}$)

$$\sigma = J / E = GL_0 / A_0 \quad (2)$$

Odpor R (ohm, $\Omega = S^{-1}$) je převrácenou hodnotou vodivosti:

$$R = U / I = 1 / G$$

Rezistivita ρ ($\Omega m = mS^{-1}$) je převrácenou hodnotou měrné elektrické vodivosti:

$$\rho = E / J = 1 / \sigma = RA_0 / L_0.$$

Základní roztřídění

Tab. 1 Klasifikace elektricky vodivých látek [5]

$10^2 - 10^8$	kovy, vodivost s teplotou klesá
$10^{-8} - 10^2$	polovodiče, vodivost s teplotou roste
$10^{-20} - 10^{-8}$	izolátory, vodivost s teplotou roste

při 20°C

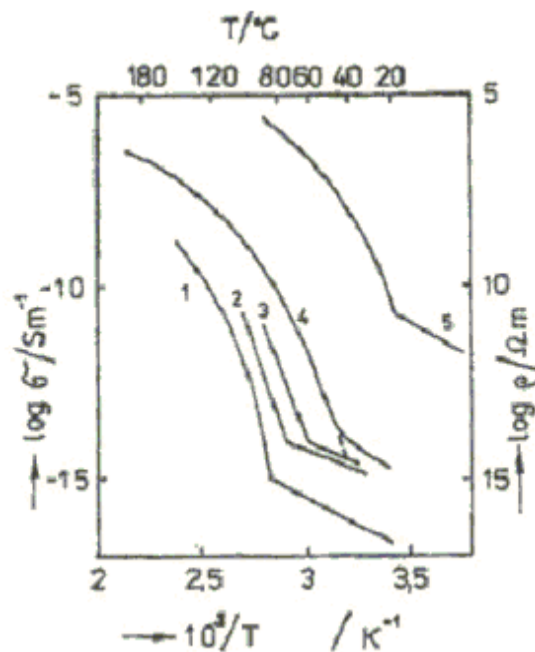
$$\frac{\sigma}{Sm^{-1}}$$

Podrobnější klasifikace

$$\frac{\sigma}{Sm^{-1}}$$

Tab. 2 Podrobnější klasifikace elektricky vodivých látek [5]

větší než 10^2	kovy
$10^{-1} - 10^2$	polokovy
$10^{-5} - 10^{-1}$	polovodiče
$10^{-14} - 10^{-5}$	poloizolátory
menší než 10^{-14}	izolátory



Obr. 7 Závislost měrné elektrické vodivosti některých polymerů na teplotě (arrheniovské souřadnice) [5]

- 1- PVC, měření za $2 \cdot 10^4$ s
- 2- PVC, měření za 10^2 s
- 3- PEPT
- 4- PA 6,6
- 5- PVAC – křivka podle rovnice (4)

Měrná elektrická vodivost různých typů látek při 20°C má hodnoty ležící ve velmi širokém rozmezí. Některé polymery (např. polytetrafluoethylen) mají extrémně nízké hodnoty σ řádu $10^{-19} \div 10^{-20} \text{ Sm}^{-1}$, které jsou na hranici měřitelnosti, naopak velmi vysoké

hodnoty dosahují kovy, především měď, jejíž měrná elektrická vodivost je $5 \cdot 10^7 \text{ Sm}^{-1}$. V tab. 1 je uvedena klasifikace látek podle měrné elektrické vodivosti. [5]

Vodivost polovodičů a izolátorů s rostoucí teplotou vzrůstá. K popisu teplotní závislosti se často používá rovnice Arrheniova typu: [5]

$$\sigma = \sigma_0 e^{-E_a / RT} \quad (3)$$

kde σ_0 je předexponenciální faktor mající význam konduktivity při velmi vysoké teplotě, E_a - tzv. aktivační energie vodivosti. U polymerů však rovnice (3) vyhovuje zpravidla jen v úzkém teplotním intervalu. Je to vidět z Obr. 7, kde jsou v arrheniovských souřadnicích vyneseny teplotní závislosti konduktivity několika polymerů. Společným rysem těchto závislostí je zlom v okolí teploty skelného přechodu. Například u polyvinylacetátu ($T_g = 27^\circ\text{C}$) k němu dochází při teplotě: $T_0 = 20^\circ\text{C}$ (křivka 5). Nad teplotou T_0 , tj. v kaučukovité oblasti, vzrůstá konduktivita polyvinylacetátu - a jiných amorfních i některých semikrystalických polymerů - mnohem rychleji než pod teplotou T_0 . Uspokojivý popis závislosti stanovených v oblasti nad teplotou T_0 poskytuje rovnice volnoobjemového typu.

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_\infty e^{-1/f} \\ f &= f_0 + \alpha_f (T - T_0) \end{aligned} \quad (4)$$

kde σ_∞ je mezní hodnota konduktivity při vysokých teplotách, f - poměrný volný objem, f_0 - jeho hodnota při teplotě zlomu T_0 (tj. v oblasti teploty T_g), α_f - jeho teplotní koeficient. Při porovnání změřené závislosti konduktivity polyvinylacetátu na teplotě s rovn. (4) byly nalezeny tyto hodnoty parametrů:

$\sigma_\infty = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$, $f_0 = 0,053$, $\alpha_f = 13,9 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Hodnoty f_0 , α_f jsou zde asi dvakrát větší než hodnoty f_g , α_f nalezené z viskozitních měření u průměrné taveniny. Rozdíl je pravděpodobně způsoben tím, že přeskakující nositel náboje má menší objem, a proto také menší kritický objem vakance v_k^+ , než segment. V důsledku toho se vodivost při zahřátí z oblasti skelného přechodu do oblasti velmi vysokých teplot změní pouze o $1/0,053$. $2,3 = 8,2$ dekadických logaritmických řádů, kdežto viskozita průměrné taveniny o $17,4$ řádu. Rovnice (4) může být použita i pod teplotou T_0 , a to se stejnými hodnotami (σ_∞, f_0), avšak se zmenšenou hodnotou teplotní roztažnosti volného objemu, $\alpha_{f,G}$. V případě polyvinylacetátu $\alpha_{f,G} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Použitelnost rovnice (4) pro polymery naznačuje, že volný objem

tu má důležitou úlohu i při transportu náboje. V některých případech se však objevují komplikovanější závislosti, dochází-li k náhlé změně koncentrace nositelů náboje. [5]

Celková rychlost transportu náboje dQ/dt průřezem A_0 je dána součinem koncentrace n ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$) nositelů náboje, jejich náboje q (Cmol^{-1}), jejich průměrné rychlosti v (ms^{-1}) a plochy průřezu A_0 (m^2): $dQ/dt = I = nqvA_0$. Rychlost nositelů náboje v je úměrná intenzitě pole E : $v = \mu_p E$. Konstanta úměrnosti μ_p ($\text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) tohoto vztahu se nazývá pohyblivost nositele náboje. Je to jeho rychlost v poli o jednotkové intenzitě. Jestliže do vztahu $\sigma = I/EA_0$ dosadíme podle uvedených rovnic za v a I , dostaneme výraz [5]

$$\sigma = nq\mu_p \quad (5)$$

Konduktivita je tedy určena součinem koncentrace nositelů náboje, jejich náboje a jejich pohyblivosti. Faradayův náboj je $0,96 \cdot 10^5 \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$. Jsou-li v systému nositele náboje různého druhu, $\sigma = \sum n_i q_i \mu_{pi}$. Hodnoty n , μ_p uvádí Tab. 3.

V kovech jsou nositelem náboje volné elektrony. Překážky jejich pohybu představují vady mřížky. S rostoucí teplotou vliv těchto poruch vzrůstá, a proto vodivost kovů s teplotou mírně klesá, zpravidla lineárně. [5]

Tab. 3 Koncentrace a pohyblivost nositelů náboje [5]

	$\frac{n}{\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}}$	$\frac{\mu_p}{\text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}}$
Kovy	$10^3 - 10^4$	$10^{-3} - 10^3$
Anorganické polovodiče	$10^{-4} - 10^{-2}$	$10^{-3} - 10^3$
Organické polovodiče	$10^{-9} - 10^3$	$10^{-10} - 10^{-2}$

U anorganických polovodičů vznikají vodivostní elektrony teprve termickou excitací. Jejich koncentrace je úměrná Boltzmanovu faktoru $\exp(-E \sigma / 2RT)$, takže je mnohem menší než u kovů. Proto jejich vodivost je při zhruba stejné pohyblivosti elektronů menší než u kovů a vzrůstá s teplotou. Uvolněný elektron zanechává za sebou prázdné místo, díru, která představuje místo s kladným nábojem. Díra se může také pohybovat. Transportuje tak náboj a podílí se na vodivosti. V iontových sloučeninách typu alkalických silikátů

jsou rozhodujícím nositelem náboje ionty (kationty). Jejich pohyb je v tavenině řízen obsahem volného objemu a teplotní závislost vodivosti je uspokojivě popsána rovn. (4). [5]

Tab. 4 Konduktivita některých polymerů [5]

	$\frac{\sigma}{Sm^{-1}}$
Polytetrafluorethylen	10^{-19}
Polyethylen, polystyren	$10^{-13} - 10^{-16}$
Polyisopren	10^{-14}
Polykaprolaktam	$10^{-12} - 10^{-10}$
Polyvinylalkohol	10^{-8}
Polychinony	10^{-2}
Pyrolyzované polymery	$10^2 - 10^4$
Přírodní pryž s obsahem 50 dsk acetylenových sazí	$10^{1,6}$

Mechanismus elektrické vodivosti polymerů není zcela objasněn a jednotný mechanismus tu pravděpodobně neexistuje. Z Tab. 1, Tab. 2 a Tab. 4 je patrné, že běžné polymery jsou nevodíče, izolátory. Polymery se speciálně konstruovanou strukturou zasahují svými vodivostmi do kategorie polovodičů a blíží se vodičům. Možnými nositeli náboje jsou u polymerů ionty, elektrony a díry. U nepolárních zcela čistých polymerů by proto vodivost měla být prakticky nulová. Velmi malá vodivost nepolárních polymerů i poněkud větší vodivost polymerů polárních je větší částí způsobena ionty přítomnými ve formě příměsí, např. nečistot z výroby, vlhkosti apod. U polyamidu 6,6 se uplatňuje při vyšších teplotách protonová vodivost a na elektrodě se vyvíjí vodík. Při nižších teplotách je zde vodivost zřejmě elektronová. U polymerů neobsahujících konjugované systémy násobných vazeb jsou ovšem elektrony vázány v primárních vazbách a mohou se začít pohybovat teprve v důsledku termické, světelné či jiné excitace. Koncentrace takových nositelů náboje je malá a experimentálně stanovené hodnoty jejich pohyblivosti jsou i u polovodivých polymerů řádově menší než u anorganických polovodičů. To dalo podnět k představě, podle které má vodivost polymerů *přeskokový charakter*. Elektron (popř. díra) je při svém pohybu zachycován do pastí, ve kterých setrvává poměrně dlouhou dobu, než se mu podaří pře-

skočit do dalšího místa či do něj přejít tzv. *tunelovým mechanismem*. Tento přeskokový děj se uplatňuje i u polymerů obsahujících systémy konjugovaných vazeb, protože konjugované úseky jsou přerušeny v místech poruch v řetězci a na koncích molekul. Proto je výhodné, aby konjugovaný systém měl strukturu dvourozměrné kontinuální sítě. Ta vzniká oxidací a následnou pyrolýzou polymerů, např. poly-p-divinylbenzenu, polyakrylonitrilu aj. Extrémním případem je pravidelná planární konjugovaná struktura grafitu s vodivostí 10^7 Sm^{-1} . [5]

Některé polymery se mohou stát vodivými absorpcí světla; jde o fotovodivost. Po absorpci světelného kvanta vzniká tzv. exciton, který se termicky nebo interakcí s defekty rozpadá na pár elektron-díra. Po zachycení jednoho z těchto dvou partnerů se druhý uvolní a transportuje náboj. Výhodným polymerem pro studium tohoto jevu je poly-N-vinylkarbazol. Ke zvýšení vodivosti izolátorů dochází i účinkem ultrafialového světla, paprsků X, γ , urychlených elektronů. Efekt může být částečně nevratný. [5]

Na povrchu izolátorů či polovodičů s malou vodivostí vznikají kontaktem s jinými materiály - např. mechanickým třením - snadno povrchové náboje. Odtoku těchto nábojů do objemu polymeru brání tzv. *blokovací kontak*, který může být tvořen vrstvou plynu. Disipaci povrchových nábojů lze usnadnit zvýšením vodivosti polymeru např. přidávkou vodivých přísad (vodivých sazí, kovových prášků) nebo zvýšením povrchové vodivosti výrobku hydrofilním nátěrem. [5]

Elektrická vodivost je u polymerů zpravidla velmi nízká a je způsobena především přítomností volných iontů ve hmotě. Jejich koncentraci můžeme zvýšit dodáním některých přísad. [2]

Úroveň elektrické vodivosti můžeme zjistit (měřit) zařazením vzorku polymeru do elektrického obvodu, kde můžeme dále aplikovat Ohmův zákon v diferenciálním tvaru a dát tak do souvislosti intenzitu elektrického pole E s proudovou hustotou j. [2]

$$j = \frac{dl}{ds} = \text{změna el. proudu/změna plochy}; \quad E = \frac{F}{q} \Rightarrow \text{síla/ náboj} = \text{intenzita pole}$$

$$\text{pak } i = \kappa \cdot E \quad \kappa - \text{měrná (specifická) vodivost látky } [\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}];$$

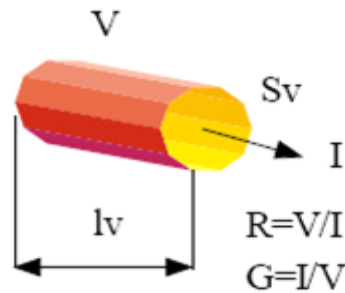
$$\text{častěji se používá } \rho = \frac{1}{\kappa} [\Omega \cdot \text{m}] - \text{měrný odpor}$$

El. vodivost je v souvislosti s pohyblivostí iontů závislá na teplotě:

$$\kappa = \kappa_o \cdot e^{\frac{\Delta U}{RT}} \quad (6)$$

κ_o - frekvenční faktor (málo závislý na T)

ΔU - aktivní energie přechodu iontů přes různé stavy



Obr. 8 Průřez vodičem [10]

Vodivost vlákna σ_E o délce l_v a ploše příčného průřezu S_v je poměr plošné hustoty proudu I/S_v a intenzity elektrického pole U/l_v (Obr. 8).

$$\sigma_E = \frac{I \cdot l_v}{U \cdot S_v} = \frac{G \cdot l_v}{S_v} \quad [S \cdot m^{-1}] \quad [12] \quad (7)$$

2.1.1 Měření elektrické vodivosti

Provádí se v el. okruhu, kde se pak měří jen napětí a proud. Polymer se umístí mezi dvě deskové elektrody - má tloušťku d. [2]

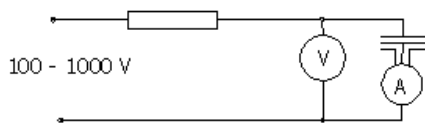
$$\text{Pak } \kappa = \frac{1}{R} \cdot \frac{d}{F}$$

d - vzdálenost elektrod – tl. vzorku

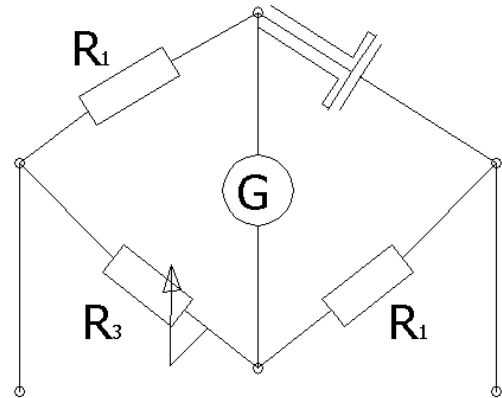
F – plocha styku elektrod se vzorkem

R – celkový odpor soustavy: elektrody – vzorek

..

Obvody:

Obr. 9 Odporový dělič [2]



Obr. 10 Zapojení do můstku [2]

2.2 Průrazová pevnost polymerů:

Je to napětí, při kterém nastane ve vzorku o jednotkové tloušťce výboj, který prochází jeho hmotou [kV/mm]. Je to napětí, při kterém platí Ohmův zákon a proud roste nad všechny meze. Průrazová pevnost je tedy mírou měrného napětí, při kterém už nesmíme polymerní materiál používat!!!! [2]

Je zejména funkcí teploty a vlhkosti. V oblasti nižších teplot je závislost poměrně slabá a hovoříme o průrazu elektrickým polem. [2]

Při vyšších teplotách je více aktivován tepelný pohyb a pak hovoříme, že s tloušťkou průrazová pevnost klesá v důsledku stoupajícího počtu nehomogenit. Vlhkost průrazovou pevnost významně snižuje. [2]

2.3 Typy materiálů

U látek umístěných v elektrickém dochází:

- k transportu elektricky nabitých částic, tj. vzniká elektrický proud doprovázený rozptylem energie; to je typické pro vodiče;
- k vzniku dipólů a indukovaných dipólů, který je doprovázený akumulací energie; tento proces je vratný a typický pro izolátory (dielektrika). [10]

2.4 Vlákna

- většina textilních vláken patří mezi elektrické izolátory. To je způsobeno skutečností, že všechny elektrony jsou vázány k atomovým jádrům nebo sdílené v kovalentních vazbách; [10]
- elektrická vodivost však není úplně nulová a závisí na obsahu různých přísad, resp. obsahu vlhkosti; [10]
- bylo experimentálně ověřeno, že pro hydrofilní polymery postačuje obsah vlhkosti ve výši 1%, aby jejich vodivost vzrostla o 8 ÷ 10 řádů. [10]

2.5 Vodivost materiálů

Vodivost je součin koncentrace nositelů náboje $[mol.m^{-3}]$ velikosti náboje $q.[C.mol^{-1}]$ a pohyblivosti nositele náboje $u_p.[m^2.V^{-1}s^{-1}]$. Pro systémy kde je více nositelů náboje platí vztah:

$$\sigma_E = \sum n_i * q_i * u_{pi} \quad [10] \quad (8)$$

2.6 Vodivost polymerů

Možnými nositeli náboje jsou ionty, elektrony a díry. Vodivost polymerů souvisí s přeskoky elektronů z valenčního pásu do vodivostního pásu přes zakázaný pás. Při přeskoku padají elektrony do pastí a přecházejí mezi pastmi tunelovacím mechanismem. [3]

Pro přeskoky je potřebná energie (např. tepelná). Tento přeskokový mechanismus se uplatňuje u polymerních vodičů s konjugovanými dvojnými vazbami, protože konjugované úseky jsou přerušeny v místech lokálních poruch a na koncích řetězců. Liší se od vodivosti kovů, kde není zakázané pásmo a volné elektrony se vyskytují i ve vodivostním pásu při běžné teplotě. [10]

U polovodičů je zakázaný pás úzký, takže je jejich vodivost mezi vodivostí kovů a izolátory. [10]

2.7 Elektrický odpor

Rezistivita (elektrický odpor) je fyzikální veličina popisující elektrický odpor vodiče. U nanokompozitních materiálů se zkoumá jejich povrchová a vnitřní rezistivita. U těchto materiálů se mění přidáváním plniva do matrice a ovlivňuje i tvar částic, jejich rozměry a množství. [9]

Reciprokou hodnotou měrné vodivosti je měrný elektrický odpor. [10]

$$R_E = 1/\sigma_E \quad [S^{-1} \cdot m = m] \quad (9)$$

Elektrický odpor u izolátorů a polovodičů s teplotou klesá. U kovů s rostoucí teplotou roste. [10]

2.8 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 v 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 plyných látek. [8] Velikost dielektrických ztrát lze vyjádřit hodnotou čtyř materiálových veličin:

- ztrátový úhel – δ
- ztrátový činitel – $\text{tg } \delta$
- ztrátové číslo – $\varepsilon'' = \varepsilon' \cdot \text{tg } \delta$
- měrné dielektrické ztráty – P_z [8].

2.9 Prostorový náboj

Jedná se v podstatě o elektrický náboj obsažený v určitém prostoru. Nanoplňiva mají tendenci tento prostorový náboj snižovat. Bylo zjištěno, že při plnění nanočásticemi se prostorový náboj až dvakrát sníží, oproti plnění mikročásticemi. Prostorový náboj byl zjištěn na nanokompozitech epoxid – oxid titaničitý, oxid hlinitý nebo například EVA nanokompozitech. [15]

2.10 Elektrická pevnost

Elektrická pevnost je velikost intenzity elektrického pole, při které dojde k průrazu dielektrika. Elektrická pevnost závisí na chemické čistotě materiálu, mechanickém namáhání, teplotě a klimatickém prostředí, ve kterém se materiál nachází. Při plnění kompozitu mikročásticemi se elektrická pevnost zhoršuje. Naproti tomu kompozit plněný nanočásticemi epoxid – oxid titaničitý nevykazoval zhoršení elektrické pevnosti, až do hmotnostního naplnění deseti procent nanoplniva. Lze tedy považovat nanoplniva za kladně působící na elektrickou pevnost kompozitu a tím i zvýšení doby do průrazu. [15]

2.11 Vodivé polymery

Je známo více než 100 polymerů, s různým rozsahem elektrické vodivosti. Řada těchto polymerů se dá zvláknovat, což umožňuje jejich použití v textilních strukturách. [10]

Vodivé polymery jsou charakterizovány konjugovaným systémem π vazeb s – elektrony. Jde o polymery obsahující aromatické řetězce, dvojné vazby, rezonanční struktury a iontové elektronové páry. Příkladem jsou polyacetylen, polyanilin, polythiofen, polypfenylénsulfid a polypyrrol. [10]

Většinou nejsou v čisté formě vodivé, ale postačuje dopování pomocí oxidačních, resp. redukčních látek (jako je AsF_5), aby došlo ke změně pásmové struktury a zvýšení vodivosti alespoň na úroveň anorganických polovodičů. [10]

Mechanismus působení dopantů je stejný jako u anorganických polovodičů.

Výhodou polymerů je, že vodivost se dá výrazně měnit, protažením nebo přidáváním různých dopantů. [10]

2.12 Bariérová efektivita

Řízením koncentrace dopantu lze v širokých mezích ovlivňovat propustnost pro elektromagnetické vlnění. Bariérová efektivita SE pro elektrická pole se obvykle vyjadřuje

je v decibelech (dB) podle vztahu: $SE = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_1} \right|$ [10]

kde E_i a E_1 je dopadající a prošlá intenzita elektrického pole. Pro bariéry s malou tloušť-

$$\text{kou} \quad SE = 20 \log \left(1 + 3,77 \cdot \frac{S_0 * d}{2} \right)$$

kde S_0 je objemová vodivost a $377.S$ je vnitřní impedance. [10]

Vysoce dopovaná polypyrrolová folie má SE větší, než 40 dB pro záření od 300 MHz do 2 GHz. [10]

2.13 Predikce vodivosti

Po překonání jisté koncentrace (perlokační práh) dochází náhle ke zvýšení vodivosti o několik řádů, a přiblížení k vodivosti částic. Perlokační práh odpovídá koncentraci, kdy částice již vytvoří spojitou vodivou strukturu. [10]

Kromě koncentrace vodivých částic záleží také na jejich typu velikosti a tvaru. Pro kulovité částice vede zmenšení jejich průměru k snížení perlokačního prahu. Pro částice kde je poměr délky a tloušťky větší než 1 vede ke snížení perlokačního prahu zvýšení délky částic. Roli hraje také povrch částic a jejich kompatibilita s polymerem. [10]

Jednoduchý statistický model pro predikci vodivosti polymeru plněného vodivými částicemi s objemovým podílem V má tvar

$$\sigma = \sigma_c * (V - V_0)^E \quad [10] \quad (10)$$

kde σ_c je vodivost částic a V_0 je perlokační práh. Exponent E . závisí na struktuře částic.

Model založený na představě gelace polymeru. Pokud je R_M relativní odpor směsi (vlákna částicemi), R_V relativní odpor původního vlákna a R_C relativní odpor vodivých částic má tento model tvar

$$R_M = \frac{R_C * R_V}{(1 - V) * R_C + V * \omega * R_V} \quad [12] \quad (11)$$

kde ω je hmotnostní podíl vodivé fáze v nekonečném shluku (funkce počtu kontaktů na částici a pravděpodobnosti těchto kontaktů). [10]

Pro některé aplikace vyhovuje dobře model popisující vodivost nad perlokačním prahem

$$\log \sigma_E = \log \sigma_0 + (\sigma_F - \sigma_0) \cdot \left(\frac{V - V_0}{F - V_0} \right)^K \quad [10]$$

kde σ_0 je vodivost na perlokačním prahu σ_F je vodivost při maximální uspořádanosti vodivých částic, F je faktor maximálního uspořádání částic a konstanta K souvisí s povrchovým napětím mezi částicemi a polymerem. [10]

2.14 Piezoelektrický odpor

Náhodně uspořádané kulové částice v polymerní matrici. Objemový podíl částic v_f průměr částic D . [10]

Piezoelektrický odpor R : snižuje se přibližování částic.

S ... tlakové napětí v systému,

M ... modul matrice v tlaku

$$g \dots \text{konstanta} \quad \frac{R}{R_0} = \left(1 - \frac{S}{M} \right) * \exp \left\{ -g * D \left[\left(\frac{\pi}{6} \right)^{\frac{1}{3}} v_f^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^{\frac{1}{3}} \frac{S}{M} \right\}$$

$$\text{Vzdálenost mezi částicemi} \quad L_C = \left[\left(\frac{\pi}{6} \right)^{\frac{1}{3}} v_f^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \quad [10]$$

2.15 Dielektrické vlastnosti

- dielektrické vlastnosti – permitivita ε
- míra schopnosti polarizovat se mezi deskami kondenzátoru je elektrická polarizace

$$P = E * (\varepsilon - \varepsilon_0)$$

ε_0 ... je permitivita vakua

$E [C.m^{-2}]$... je intenzita pole mezi deskami. [10]

2.15.1 Kapacitance

Paralelní desky plochy A , vzdálenost L náboj $+ -Q$

ε_0 ... permitivita vakua

$$\text{Elektrické pole} \quad E = \frac{Q}{A\epsilon_0} \quad (12)$$

$$\text{Napětí mezi deskami} \quad U = E * L = \frac{Q}{C} \quad (13)$$

$$\text{Kapacitance} \quad C = \frac{A\epsilon_0}{L} \quad [12] \quad (14)$$

2.15.2 Dielektrická konstanta

Dielektrická konstanta e_d je poměr kapacit deskového kondenzátoru měřeného za podmínky, že je mezi deskami polymerní substance a za podmínky, kdy je mezi deskami vzduch. U řady polymerů souvisí e_d s parametrem rozpustnosti Ω podle vztahu $\delta \approx 7 * e_d$

Dielektrická konstanta se pohybuje v rozmezí $2 < e_d < 4$. Pro hydrofilní polymery je e_d silně citlivá na přítomnost vlhkosti (voda má vysokou dielektrickou konstantu). Elektrický odpor $\ln(R_E) = 19 - 2 * (e_d - 2)$. [10]

2.16 Elektrostatický náboj

Velikost elektrostatického náboje souvisí přímo s velikostí elektrického odporu vláken. Nesouvisí pouze s „lepením“ oděvních součástí, ale souvisí také s problémy týkajícími se výroby textilií, resp. jejich zušlechťování. [10]

Nabíjení elektrostatickým nábojem vyžaduje jistý přesun náboje. Teoretická velikost elektrostatického náboje na textiliích je až $10^5 [\mu C / m^2]$, ale jeho „vytékání“ do okolí tuto hodnotu snižuje na $30 [\mu C / m^2]$. Tomu odpovídá elektrické pole velikosti $3000 [kV / m]$. [10]

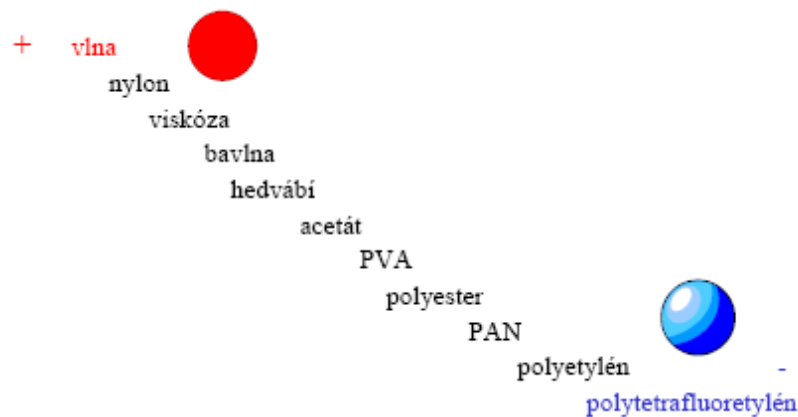
2.16.1 Vznik náboje

V případě, že je vlákno ve styku s kovem, nemohou volné elektrony přecházet z kovu, ale z izolátoru (vlákna). To vede ke stavu, kdy se vlákna nabíjejí kladně. [10]

Pokud jsou na povrchu vlákna skupiny kyselé, resp. zásadité, dochází při kontaktu s jinými polymery k jejich redistribuci podle Boltzmanova statistického principu. Počet pohybujících se částic exponenciálně roste s růstem teploty. Při styku dvou polymerů se

podle typu povrchových skupin nabíjí jeden kladně a druhý záporně. Podle velikosti těchto nábojů se konstruuje triboelektrické řady. [10]

Čím jsou v řadě polymery vzdálenější, tím větší náboj vzniká. [10]



Obr. 11 Triboelektrická řada [10]

Vlivem tření dochází ke vzniku teplotního gradientu a pohyblivý náboj (elektrony) přechází z teplejších míst na studenější. Tento mechanismus nevyžaduje dva různé materiály. [10]

Pokud má jeden materiál na povrchu elektricky nabitou vrstvu, může při vzájemném kontaktu s jiným materiálem dojít k jejímu „stírání“ na původně nenabitý materiál. [10]

U některých materiálů dochází ke generování náboje při mechanickém napětí (piezoelektrický jev). Většina orientovaných vláken má piezoelektrické projevy (např. vlna). [10]

Většina vláken má také pyroelastické vlastnosti, tj. náboj se generuje vlivem zvýšené teploty. [10]

2.16.2 Proces tvorby statické elektřiny

Proces tvorby statické elektřiny se dá rozdělit do tří fází:

- a. při kontaktu dvou povrchů dochází k pohybu elektrického náboje tak, že se na jednom povrchu hromadí přebytek elektronů; [10]

- b. na kontaktním mezi-povrchu vzniká elektrická dvojvrstva, ale elektrostatická elektřina se neprojevuje, protože díky kontaktu obou povrchů se celý systém jeví elektricky neutrální; [10]
- c. při mechanickém oddělení dvou povrchů dochází ke vzniku statické elektřiny a jejímu postupnému snižování vlivem neutralizace a disipace v závislosti na elektrickém měrném odporu materiálu. [10]

2.16.3 Důsledky tvorby statické elektřiny

Na materiálech, kde je vytvořen elektrický náboj dochází k těmto jevům:

- statická přitažlivost – důsledek je vzájemné lepení textilních vrstev, akumulace prachu na povrchu, špinění atd.; [10]
- statická odpudivost – špatná adheze při nánosování, vrstvení a pojení více vrstev; [10]
- statické vybíjení – elektrické šoky při vybíjení přes vodiče, tvorba jiskry způsobují hoření až explozi, poškození elektronických přístrojů, vznik elektronického šumu;
- fyziologické změny – růst krevního tlaku a pH krve, zvýšení únavy, snížení obsahu vápníku v moči. [10]

2.16.4 Omezení statického náboje

- pro omezení vzniku elektrostatického náboje lze využít především selekce materiálu, snížení vzájemného tření, snížení kontaktního tlaku a rychlosti vzájemného tření, snížení kontaktního tlaku a rychlosti vzájemného pohybu mezi materiály. [10]
- odvod již vzniklého elektrostatického náboje lze docílit buď použitím vodičů nebo zvýšením navlhavosti (hydrofilizace). Zvýšení vlhkosti okolí také napomáhá odstranění elektrostatického náboje. [10]
- k neutralizaci elektrostatického náboje dochází řízeným pohybem volných iontů v blízkosti nabitě látky. V případě vodivých vláken je náboj neutralizován vlivem koronového vybíjení. [10]
- k blokování elektrostatického náboje dochází pokrytím nabitěho tělesa vodivou vrstvou. [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je zjistit elektrické vlastnosti kompozitních materiálů v závislosti na stupni plnění.

Nejprve bude proveden výpočet složení jednotlivých částí směsí, následně proběhne samotná výroba vzorků pro měření. Po vyrobení vzorků proběhne měření jejich elektrických vlastností. Po tomto měření proběhne zkouška ohybem na zkušebním stroji Zwick 1456. Po naměření všech potřebných hodnot proběhne jejich vyhodnocení a závěrečné shrnutí.

Pro měřicí vzorky vyrobené jak z polyesterové tak i z epoxidové pryskyřice budou použita různá plniva:

- uhlíkové vodivé saze: **CABOT VXC 605**
- uhlíkové saze **Vulcan CABOT XC-72R**
- uhlíkový prach **Milled carbon fibre** (technický list je uveden v příloze P III).

Na všech těchto vyrobených vzorcích budou měřeny tyto elektrické vlastnosti:

- vodivost
- stínící účinnost
- frekvenční závislosti střídavé konduktivity při dané teplotě
- frekvenční závislosti ztrátového činitele při dané teplotě
- teplotní závislosti střídavé a stejnosměrné konduktivity.

Vliv stupně plnění uhlíkovým prachem na mechanické vlastnosti bude vyhodnocena pomocí statické zkoušky ohybem dle normy ČSN EN ISO 14125.

4 CHARAKTERIZACE A POUŽITÍ MATERIÁLŮ

V následující kapitole budou popsány jednotlivé směsi, s kterými se pracovalo při výrobě zkušebních vzorků.

4.1 Epoxidová pryskyřice L 285 (MGS)

Jedná se o velmi kvalitní pryskyřici pro letecký průmysl a pro výrobu modelů. Pryskyřice s tužidlem (Obr. 12) vytváří velmi viskózní směs a díky tomu jsou vlákna rychle a kvalitně prosycena. Díky tomu má výrobek podstatně nižší hmotnost a vyšší užitkovou hodnotu. [Příloha P I]

Tab. 5 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

Tab. 6 Mechanická data nezesílené pryskyřice

Hustota	g/cm ³	1,18 ÷ 1,20
Pevnost v ohybu	psi x 10 ³ N / nm ²	16 ÷ 18
		110 ÷ 120
Modul pružnosti	psi x 10 ⁵ kN / mm ²	4,6 ÷ 4,8
		3,0 ÷ 3,3
Pevnost v tahu	psi x 10 ⁵ kN / mm ²	10 ÷ 11,5
		70 ÷ 80
Pevnost v tlaku	psi x 10 ³ kN / mm ²	18 ÷ 20
kN/mm ²		120 ÷ 140
Průtažnost	%	5 ÷ 6,5
Síla nárazu	Nmm/mm ²	45 ÷ 55
Pevnost ve střihu	D	80 ÷ 85
Absorpce vody %	24 h 23 °C	0,20 ÷ 0,30
		0,60 ÷ 0,80
Odolnost proti únavě pod tlakem na obrácený ohyb dle DLR Brunsw.	10%	> 2 X 10 ⁴
	90%	> 2 X 10 ⁶
Vytvrzení:	24 h při 23 °C	+ 15 h při 60 °C



Obr. 12 Směs epoxidové pryskyřice a tužidla

4.2 Polyesterová pryskyřice AROPOL® G 105 E

AROPOL G 105 E je netixotropní pryskyřice s obsahem urychlovače, na základě ortoftalové kyseliny s nízkou viskozitou. Tato pryskyřice se používá především pro metodu vstřikování a lisování do formy za studena. Při výrobě laminátů silnějších než 7 mm se doporučuje použít 1,3 % Triginox 75. Doba želatinace zůstane stejná jako při použití 1 % MEK – peroxidu z poloviny, nebo úplně AAP (acetyl aceton peroxidem) např. Triginox 44 B. [Příloha P II]

Tab. 7 Vlastnosti nevytvrzené pryskyřice AROPOL G 105 E [Příloha P II]

Vlastnosti při 23°C	Hodnota	Jednotka	Metoda
Viskozita, BROOKFIELD RV2, 10 rpm	180	mPa.s	ISO 2555
Viskozita, kužel a deska	180	mPa.s	ISO 2884
Obsah styrenu	41	%	SFS 4864
Hustota	1,1	kg/dm ³	ISO 2811
Doba želatinace, 1% MEKP-50	13	min	D006
Vytvrzovací teplota, 1% MEKP-50	120	°C	D006

Tab. 8 Vlastnosti vytvrzené pryskyřice AROPOL G 105 E [Příloha P II]

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Metoda
Pevnost v tahu	55	Mpa	ISO 527
Modul pružnosti v tahu	3600	MPa	ISO 527
Protažení při přetržení	2	%	ISO 527
Pevnost v ohybu	90	MPa	ISO 178
Tvarová stálost za tepla (HDT)	4100	MPa	ISO 178
Tvrдость	66	°C	ISO 75/2 (A)
Nasákavost, 24 hodin	45	Barcol	ASTM D2583
Nasákavost, 28 dní	19	mg/vzorek *	ISO 62-80
* Zkušební vzorek 50 x 50 x 4 mm			

4.3 Uhlíkový prach

Dalším používaným materiálem pro přípravu vzorků na měření elektrických vlastností byl uhlíkový prach Milled carbon fibre (technický list je uveden v příloze P III).

Uhlík má dvě základní formy. První formou je krystalický uhlík a v této formě je uhlík znám jako diamant. Druhou formou je amorfni uhlík a v amorfni formě je uhlík znám jako grafit.

Grafit je štěpný v rovinách kolmo na slabou vazbu (štěpné – bazální roviny).

Jeho hustota je $2,2 \text{ g/cm}^3$.

Mineralogická tvrdost je $1 \div 2$, okolo 50 HV.

Youngův modul 180 GPa.

Pevnost: v tlaku 650 MPa

v ohybu 400 MPa

v tahu 150 MPa

Při pokojové teplotě je křehký. [16]

Grafit je prvek na omak mastný, snadno otíratelný. Lze s ním psát po papíře. Má vysoký bod tání, který se pohybuje kolem 3000°C . Grafit dobře vede elektrický proud.

4.4 Multi – Carbon 200g/m² 45/45° uhlíková prošitá tkanina

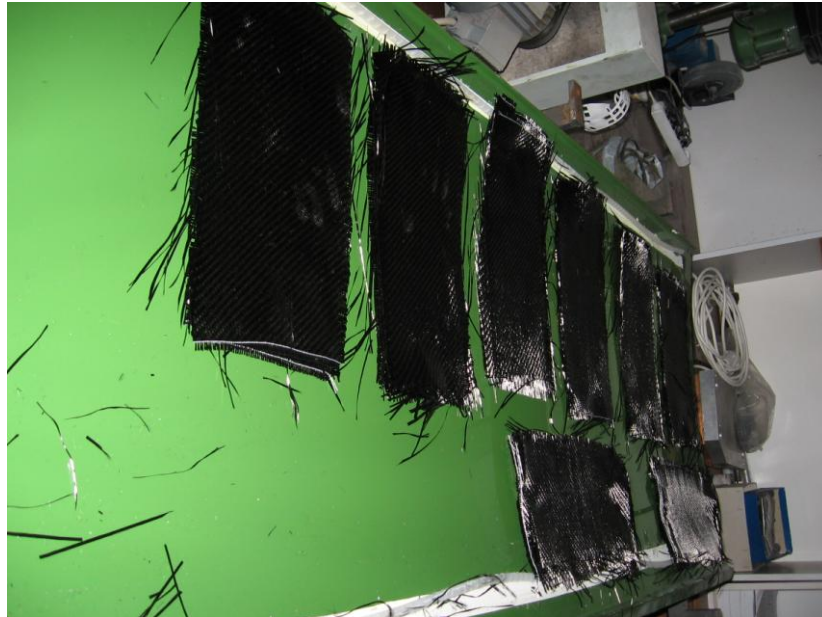
Tkanina vyrobená z uhlíkových vláken (Obr. 13) orientovaných po délce a šíři tkaniny a je prošitá polyesterovým vláknem. Výhodou této tkaniny je, že v případě extrémního namáhání se nemohou vlákna navzájem přerézávat a tudíž vydrží vyšší zatížení než normálně tkané tkaniny.



Obr. 13 Uhlíková tkanina

5 VÝROBA VZORKŮ

Pro výrobu na měření elektrických vlastností bylo z této uhlíkové tkaniny nastříháno celkem 40 tkanin o rozměrech cca 30 x 15 cm (Obr. 14). Dvacet takto nastříhaných tkanin bylo přichystáno pro použití s polyesterovou pryskyřicí a dvacet tkanin s epoxidovou pryskyřicí.



Obr. 14 Přichystané uhlíkové tkaniny pro nanášení pryskyřice

5.1 Výroba vzorků z epoxidové pryskyřice

Jako první pro měření byly vyrobeny vzorky z epoxidové pryskyřice a to čtyř druhů. Smícháním epoxidové pryskyřice a uhlíkových sazí (Technický list je součástí Přílohy P IV) vznikla směs koncentrátu (dále jen koncentrát) pro další použití. Následně bylo do této směsi přimícháno tužidlo tak, aby uhlík ve směsi zaujímal 0, 6, 12 a 18 % z celkové hmotnosti plněné pryskyřice. Postup výpočtu složení jednotlivých částí je následující:

Celková hmotnost směsi bude: $m_C = 84g$

Zvolíme si poměr míchání pryskyřice a tužidla: $m_P : m_T = 100 : 40 = 5 : 2$

Jako první bude namíchána směs koncentrátu a epoxidové pryskyřice bez tužidla.

$$\text{Hmotnost uhlíkových sazí: } m_U = m_C \cdot 0,06 = 84 \cdot 0,06 = 5,04 \text{ g} \quad (15)$$

$$\text{Hmotnost pryskyřice a tužidla: } m_{P+T} = m_C \cdot 0,94 = 84 \cdot 0,94 = 78,96 \text{ g} \quad (16)$$

Výpočet pro 6% směs.

Poměr míchání 5 : 2

$$\text{Hmotnost pryskyřice: } m_P = \frac{m_{P+T} \cdot 5}{7} = \frac{78,96 \cdot 5}{7} = 56,4 \text{ g} \quad (17)$$

$$\text{Hmotnost tužidla: } m_T = \frac{m_{P+T} \cdot 2}{7} = \frac{78,96 \cdot 2}{7} = 22,56 \text{ g} \quad (18)$$

Abychom získali 6% uhlíku v celkové hmotnosti plněné pryskyřice, musíme dodat čtyřnásobek jeho 25% koncentrátu (25% uhlíku + 75% pryskyřice).

$$\text{Hmotnost koncentrátu: } m_K = m_U \cdot 4 = 5,04 \cdot 4 = 20,16 \text{ g}$$

$$\text{Hmotnost pryskyřice v koncentrátu: } m_{PK} = m_U \cdot 3 = 5,04 \cdot 3 = 15,12 \text{ g}$$

$$\text{Hmotnost pryskyřice dodané: } m_{PD} = m_P - m_{PK} = 56,4 - 15,12 = 41,28 \text{ g}$$

$$\text{Hmotnost dodaného koncentrátu: } 20,16 \text{ g}$$

$$\text{Hmotnost dodané pryskyřice: } 41,28 \text{ g}$$

$$\text{Hmotnost tužidla: } 22,56 \text{ g}$$

$$\text{Celkem: } 84,0 \text{ g}$$

Lze použít pro maximální obsah uhlíku <19% (při koncentraci 25% uhlíku v koncentrátu).

Při zvýšení koncentrace koncentrátu můžeme zvýšit obsah uhlíku.

Výpočet pro 12% směs.

Hmotnost uhlíkových sazí:	$m_U = m_C \cdot 0,12 = 84 \cdot 0,12 = 10,08g$
Hmotnost pryskyřice a tužidla:	$m_{P+T} = m_C \cdot 0,88 = 84 \cdot 0,88 = 73,92g$
Poměr míchání	5 : 2
Hmotnost pryskyřice:	$m_P = \frac{m_{P+T} \cdot 5}{7} = \frac{73,92 \cdot 5}{7} = 52,8g$
Hmotnost tužidla:	$m_T = \frac{m_{P+T} \cdot 2}{7} = \frac{73,92 \cdot 2}{7} = 21,12g$
Hmotnost koncentráту:	$m_K = m_U \cdot 4 = 10,08 \cdot 4 = 40,32g$
Hmotnost pryskyřice v koncentráту:	$m_{PK} = m_U \cdot 3 = 10,08 \cdot 3 = 30,24g$
Hmotnost pryskyřice dodané:	$m_{PD} = m_P - m_{PK} = 52,8 - 30,24 = 22,56g$
Hmotnost dodaného koncentráту:	40,32g
Hmotnost dodané pryskyřice:	22,56g
Hmotnost tužidla:	21,12g
<hr/>	
Celkem	84,0g

Výpočet pro 18% směs

Hmotnost uhlíkových sazí:	$m_U = m_C \cdot 0,18 = 84 \cdot 0,18 = 15,12g$
Hmotnost pryskyřice a tužidla:	$m_{P+T} = m_C \cdot 0,82 = 84 \cdot 0,82 = 68,88g$
Poměr míchání	5 : 2
Hmotnost pryskyřice:	$m_P = \frac{m_{P+T} \cdot 5}{7} = \frac{68,88 \cdot 5}{7} = 49,2g$

Hmotnost tužidla:	$m_T = \frac{m_{P+T} \cdot 2}{7} = \frac{68,88 \cdot 2}{7} = 19,68 \text{ g}$
Hmotnost koncentrátu:	$m_K = m_U \cdot 4 = 15,12 \cdot 4 = 60,48 \text{ g}$
Hmotnost pryskyřice v koncentrátu:	$m_{PK} = m_U \cdot 3 = 15,12 \cdot 3 = 45,36 \text{ g}$
Hmotnost pryskyřice dodané:	$m_{PD} = m_P - m_{PK} = 49,2 - 45,36 = 3,84 \text{ g}$
Hmotnost dodaného koncentrátu:	60,48g
Hmotnost dodané pryskyřice:	3,84g
Hmotnost tužidla:	19,12g
<hr/>	
Celkem:	84,0g

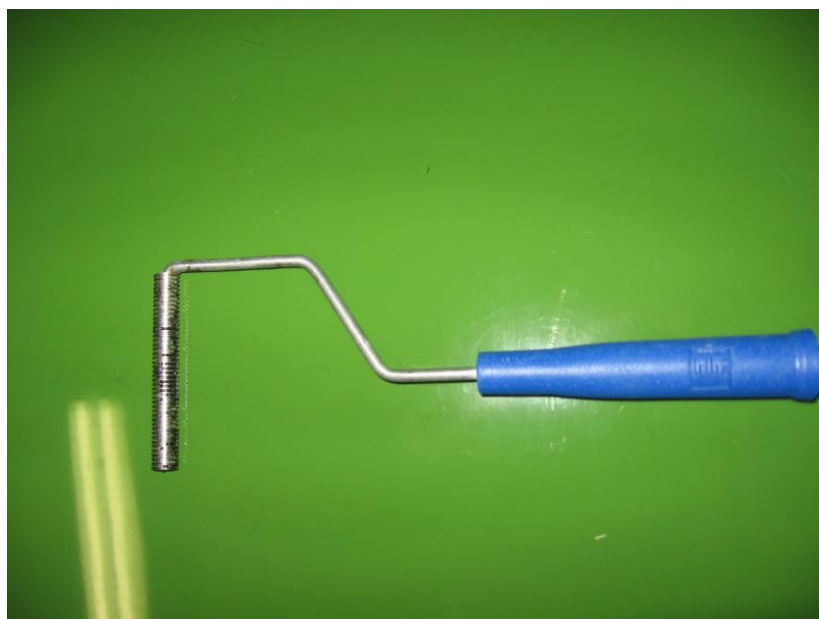
Tab. 9 Hmotnostní podíl jednotlivých složek u epoxidové pryskyřice

	0% směs	6% směs	12% směs	18% směs
Hmotnost pryskyřice dodané	78,96 g	41,28 g	22,56 g	3,84 g
Hmotnost koncentrátu	0 g	20,16 g	40,32 g	60,48 g
Hmotnost tužidla	5,04 g	22,56 g	21,12 g	19,68 g

Jak plyne z Tab. 9, tak se zvyšujícím se obsahem uhlíku v celkové hmotnosti plněné pryskyřice, klesá podíl dodané pryskyřice.

Jako první byla smíchána směs pryskyřice a koncentrátu bez tužidla. Po navážení jednotlivých složek a důkladném promíchání směsi byla nanášena první vrstva směsi na podkladovou desku. Na takto nanášenou vrstvu byla položena uhlíková tkanina a vytlačovacím válečkem (Obr. 15) srovnána. Po srovnání tkaniny byla opět nanášena vrstva směsi. Celkem bylo proloženo pět uhlíkových tkanin.

Stejným způsobem byly vyrobeny vzorky pro měření s 6%, 12% a 18% obsahem uhlíku v celkové hmotnosti plněné pryskyřice.



Obr. 15 Vytlačovací váleček

5.1.1 Výroba vzorků z epoxidové pryskyřice – varianta II

Rovněž pro tuto variantu výroby měřících vzorků byla použita stejně jako v předcházejícím případě epoxidová pryskyřice L 285, ale uhlíkové saze byly typu Carbon Black VXC605 (technický list uveden v příloze P VI). Vzorky pro měření byly vyrobeny s 0%, 1,25%, 2,5% a 5% obsahem uhlíku v celkové hmotnosti plněné pryskyřice.

5.2 Výroba vzorků z polyesterové pryskyřice

Obdobně jako u epoxidové pryskyřice, tak i u polyesterové pryskyřice bylo třeba nejdříve spočítat hmotnostní podíl jednotlivých složek. Hmotnostní podíl jednotlivých složek je uveden v Tab. 10.

Tab. 10 Hmotnostní podíl jednotlivých složek u polyesterové pryskyřice

	0% směs	6% směs	12% směs	18% směs
Hmotnost pryskyřice dodané	84,0 g	63,84 g	43,68 g	23,52 g
Hmotnost koncentrátu	0 g	20,16 g	40,32 g	60,48 g
Hmotnost BUTANOXu *	1,26 g	1,26 g	1,26 g	1,26 g

* BUTANOX = Metyletonketonperoxid

5.2.1 Výroba vzorků z polyesterové pryskyřice – varianta II

Pro tuto variantu výroby měřících vzorků byla použita stejně jako v předcházejícím případě polyesterová pryskyřice G 105 E, ale uhlíkové saze byly typu Carbon Black

VXC72 (technický list uveden v příloze P V). Vzorky pro měření byly vyrobeny s 0,6%, 1,25%, 2,5% a 5% obsahem uhlíku v celkové hmotnosti plněné pryskyřice.

5.2.2 Výroba vzorků z polyesterové pryskyřice – varianta III

V této variantě výroby měřících vzorků byla použita Polyesterová pryskyřice Polyester 1100. Uhlíkové saze byly použity dvojího druhu. Nejprve typu Vulcan Cabot XC-72 a posléze typu Cabot VXC605. Pro oba případy použitých sazí byly vyrobeny vzorky pro měření s 0%, 2,5% a 5% obsahem uhlíku v celkové hmotnosti plněné pryskyřice.

5.3 Mechanické zkoušky na tah a ohyb

Součástí zadání diplomové práce bylo stanovit i mechanické vlastnosti kompozitních polymerních materiálů. Vyrobené měřící vzorky byly podrobeny zkoušce na tah a na ohyb.

Většina materiálů je při svém používání vystavena různému namáhání. Aby tomuto namáhání po svém vyrobení odolala, je třeba tyto materiály podrobit různým mechanickým zkouškám.

5.3.1 Zkouška tahem

Tato zkouška byla provedena na univerzálním trhacím stroji Zwick 1456 a byla provedena dle normy ČSN EN ISO 527.

Zkušební těleso je protahováno ve směru své hlavní podélné osy konstantní rychlostí zkoušení do jeho porušení nebo do okamžiku, kdy napětí v tahu (zatížení) nebo protažení (poměrné prodloužení) dosáhnou předem zvolené hodnoty. Během zkoušky se měří zatížení působící na zkušební těleso a prodloužení. [19]

Zkušební tělesa musí být vyrobena podle příslušné materiálové specifikace. Pokud tato neexistuje nebo neobsahuje, musí být buď přímo tvářena, nebo vstříkována z Materiálu podle norem ISO 293, ISO 294 nebo ISO 295 nebo vyrobena mechanickým obráběním, ISO 2818 z desek, které byly z materiálu vylisovány nebo vstříkovány. [19]

5.3.2 Zkouška ohybem

Zkušební těleso, podepřené jako nosník dvěma podpěrami, je konstantní rychlostí prohýbáno trnem působícím uprostřed rozpětí podpěr tak dlouho, dokud se těleso nezlomí

nebo deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. V průběhu procesu je měřena síla působící na těleso. [20]

Zkouška se provádí v prostředí předepsaném předmětovou normou zkoušeného materiálu. Jestliže není k dispozici, vyberou se nejvhodnější podmínky z ISO 291. [20]

Během zkoušky se zaznamenává velikost síly a odpovídajícího průhybu pokud možno automatickým záznamovým zařízením, dávajícím úplnou křivku ohybového napětí průhyb. [20]

6 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

V této kapitole budou popsána zařízení a přípravky s kterými se pracovalo při zjišťování fyzikálních vlastností zkoumaných materiálů.

6.1 Univerzální trhací stroj Zwick 1456

Univerzální trhací stroj Zwick 1456 (Obr. 16) je zařízení určené pro statické i dynamické (nizkokycklové) zkoušky. Lze na něm provádět zkoušky na: tlak, tah, smyk a ohyb.

Toto zařízení je určeno především pro: polymery (plasty a pryže), kompozitní materiály, kovy a jejich slitiny. Zkoušky lze provádět v teplotním rozmezí $-70^{\circ}\text{C} \div 290^{\circ}\text{C}$. Zařízení má snímače síly na 25 kN a 2,5 kN. Technické parametry tohoto stroje jsou uvedeny v Tab. 11.



Obr. 16 Univerzální trhací stroj Zwick 1456

Tab. 11 Technické parametry Univerzální trhacího stroje Zwick 1456

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)

6.2 Přístroj na měření izolačních odporů ELECTRON IZO 2500PC

Jedná se o procesorem řízený měřicí stroj sloužící pro měření:

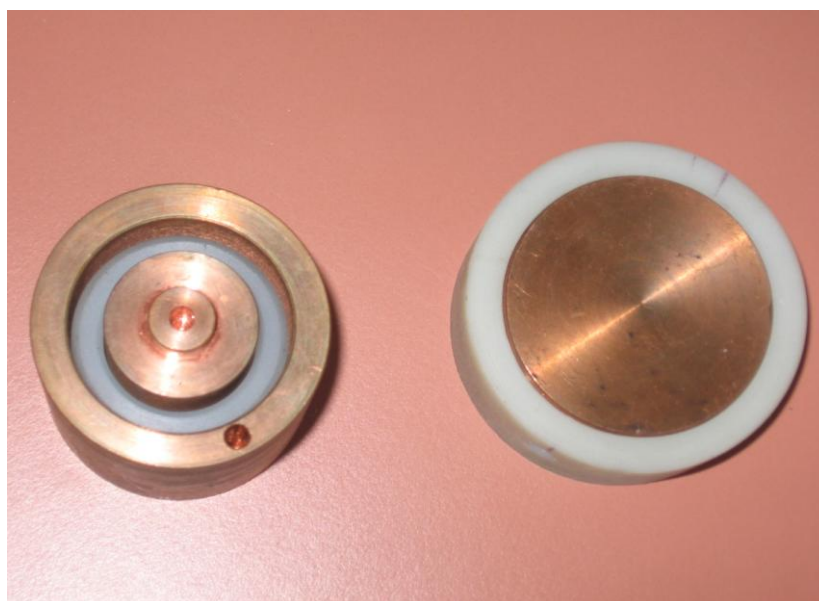
- izolačních odporů přednastaveným měřícím napětím: 100 V, 250 V, 500 V, 1000 V resp. 2500 V;
- izolačních odporů plynule nastavitelným měřícím napětím v rozsahu: 50 ÷ 2500 V;
- přechodových odporů měřícím proudem min. 200 mA, DC;
- střídavého napětí do 750 V;
- jednosměrného napětí do 1000 V;
- elektrické pevnosti (test varistorů) plynule nastavitelným měřícím napětím 50 ÷ 2500 V, DC;
- pomocí sondy LUX je možné měřit osvětlení až do 50000 lux.

Při měření izolačních odporů přístroj umožňuje nastavit limitní hodnotu v rozsahu: 1 ÷ 999 MΩ.



Obr. 17 Měřicí přístroj ELECTRON IZO 2500PC

Na Obr. 18 jsou měřicí přípravky určené pro měření vodivosti.



Obr. 18 Přípravek pro měření vodivosti

6.3 Signální generátor SMF 100A

Signální generátor SMF 100A (Obr. 19) je zařízení, které generuje signál ve frekvenčním rozsahu $1 \div 22$ GHz. Generovaný signál může být analogově nebo digitálně modulován.



Obr. 19 Signální generátor SMF 100A

6.4 Detektor výkonu Rohde – Schwarz NRP-Z21 do 18GHz

Jedná se o univerzální napájecí senzor pro obrovské množství aplikací.

Rozsah měření: - 67 dBm ÷ 23 dBm

Frekvenční rozsah: 10 MHz ÷ 18 GHz



Obr. 20 Detektor výkonu Rohde – Schwarz NRP-Z21

6.5 Trychtýřová hřebenová anténa DRH20-N

Elektrická specifikace:

Frekvenční rozsah: 1,7 GHz ÷ 20 GHz

VSWR (max.) <1,5 : 1

Impedance 50 Ω



Obr. 21 Trychtýřová hřebenová anténa DRH20-N

6.6 LCR HiTESTER 3522-50

Jedná se o zařízení, kterým je možné měřit indukčnost, kapacitu, impedanci. Toto zařízení (Obr. 22) bylo použito pro měření elektrických a dielektrických vlastností vzorků vyrobených z polyesterové a epoxidové pryskyřice.



Obr. 22 LCR HiTESTER 3522-50

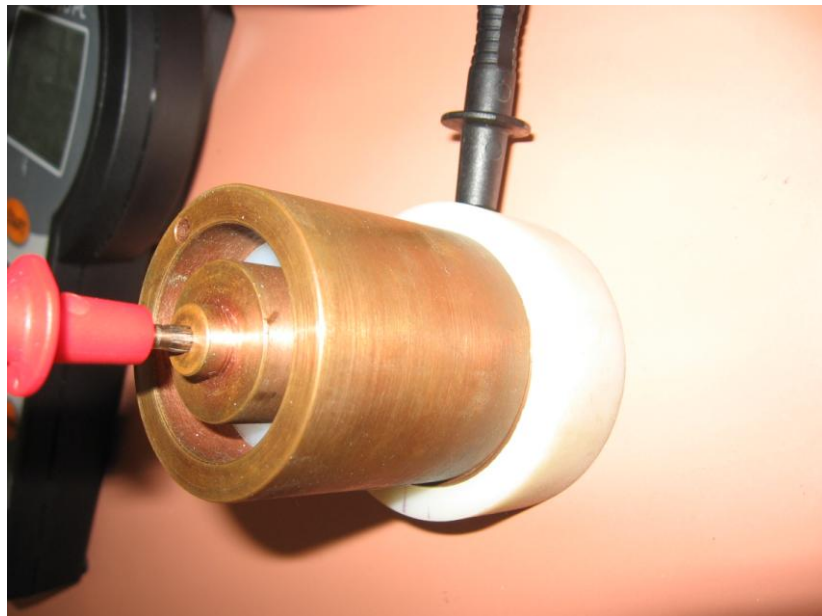
7 MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH A DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ

V této kapitole jsou popsány výsledky všech měření včetně jejich vyhodnocení.

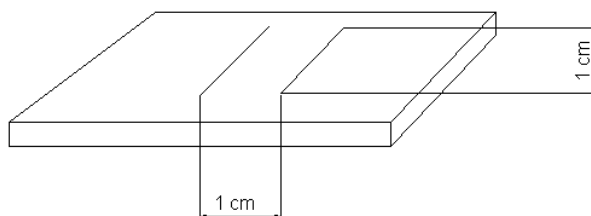
7.1 Měření objemové vodivosti

Na Obr. 23 je znázorněno zapojení měřícího přípravku pro měření objemové vodivosti.

Objemová vodivost je poměr stejnosměrného proudu protékajícímu mezi dvěma elektrodami k napětí, nebo specifikovaná konfigurace, která se dotýká protilehlých stran materiálu. [17]



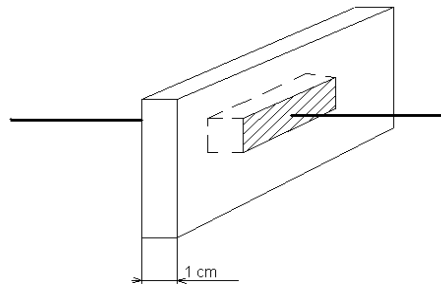
Obr. 23 Zapojení pro měření objemové vodivosti



Obr. 24 Vnitřní izolační odpor [2]

7.2 Měření povrchové vodivosti

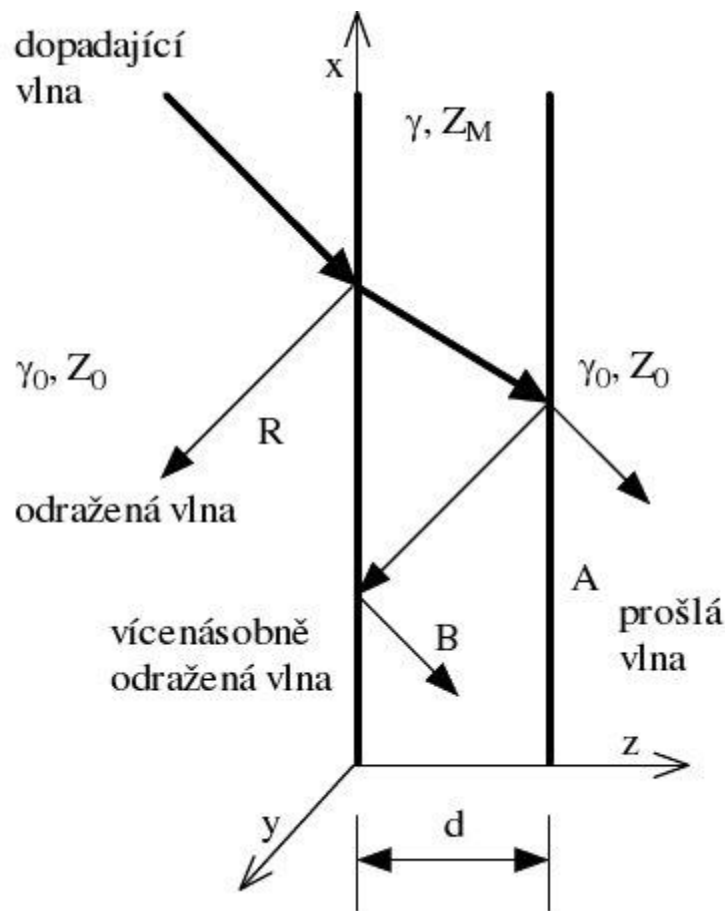
U elektrického proudu protékajícího napříč povrchem (Obr. 25), je to převrácená hodnota poměru poklesu stejnosměrného napětí na jednotku délky k povrchovému proudu na jednotku šířky. [17]



Obr. 25 Povrchový izolační odpor [2]

7.3 Měření stínící účinnosti

Elektromagnetická stínící účinnost je parametr popisující schopnost daného materiálu omezit průchod vysokofrekvenčního signálu přes uvažovanou bariéru. Schopnosti stínění, tedy snížení intenzity elektromagnetického pole, je založena na vznikajících odrazech elektromagnetického vlnění a na jeho absorpci v daném materiálu. Během absorpce vysokofrekvenční energie vzniká teplo jako produkt přeměny energie elektromagnetického pole na energii tepelnou. Mechanismus stínění popisuje Obr. 26. [18]



Obr. 26 Fyzikální podstata vzniku stínící účinnosti [18]

Na bariéru o tloušťce d dopadá elektromagnetická vlna. Část energie této vlny je odražena od bariéry (Reflection). Další část dopadající energie je utlumena odrazy uvnitř bariéry (Re-reflection) a zbývající část bariérou projde (Transmission). Obecnou stínící účinnost dané bariéry lze tedy popsat následujícím vztahem (19) [18]:

$$SE = R + A + B[\text{dB}] \quad [18] \quad (19)$$

kde R jsou ztráty jednoduchým odrazem od bariéry (Reflection), A odpovídá ztrátám absorpcí vysokofrekvenční energie v dané bariéře (Absorption) a proměnná B odpovídá vícenásobným odrazům vznikajícím uvnitř bariéry. [18]

Hodnoty jednotlivých parametrů, které odpovídají danému materiálu a konstrukci použité bariéry, ovlivňují mechanismus vzniku výsledného tlumení – tedy výslednou hodnotu SE . Ta udává rozdíl mezi intenzitou elektromagnetického pole, které na bariéru dopadá a intenzitou elektromagnetického pole, které bariérou projde. Z toho také vyplývají možnosti dalšího vyjádření SE pomocí logaritmů podílů intenzit elektrické či magnetické

složky elektromagnetického pole a také jako rozdílu absolutních výkonových úrovní (20). To vše pro hodnoty veličin před a za bariérou. [18]

$$SE = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_1} \right| = 20 \cdot \log \left| \frac{H_i}{H_1} \right| = Lm_i - Lm_1 [dB] \quad (20)$$

7.3.1 MĚŘENÍ ÚČINNOSTI STÍNĚNÍ

Nejčastější metodou měření SE je měření porovnávací, které vychází z definičního vztahu (20). Nejprve je tedy změřena kalibrační křivka průběhu frekvenční závislosti výkonu měřicího přípravku bez daného vzorku a od této křivky je následně odečten stejně měřený průběh s vloženým vzorkem. Obdobným způsobem se postupuje při měření SE pomocí měření elektrické či magnetické složky elektromagnetického pole (např. s využitím detektorů). [18]

STANDARD ASTM D4935

Jedním ze standardizovaných postupů pro měření stínící elektromagnetické účinnosti je standard ASTM D4935, který byl publikován v roce 1999. V roce 2005 byl však tento postup ze standardů ASTM vyjmut. Přesto je i nadále používán jako „nenormalizovaný“ standard mnoha výzkumnými skupinami v oboru Elektromagnetické kompatibility (EMC). [18]

Měření elektromagnetické stínící účinnosti je jedním ze základních měření v oblasti EMC. Stínící struktury jsou využívány jako funkční prvky elektrotechnických zařízení i jako doplňkové prvky ochrany před nežádoucími účinky elektromagnetického záření z pohledu elektromagnetické interference (EMI). Jednou z moderních aplikací je nejen ochrana techniky, ale též ochrana člověka jako obsluhy specifických elektrických zařízení během jejich provozu či údržby. [18]

7.3.2 Měření stínící účinnosti u epoxidové matrice

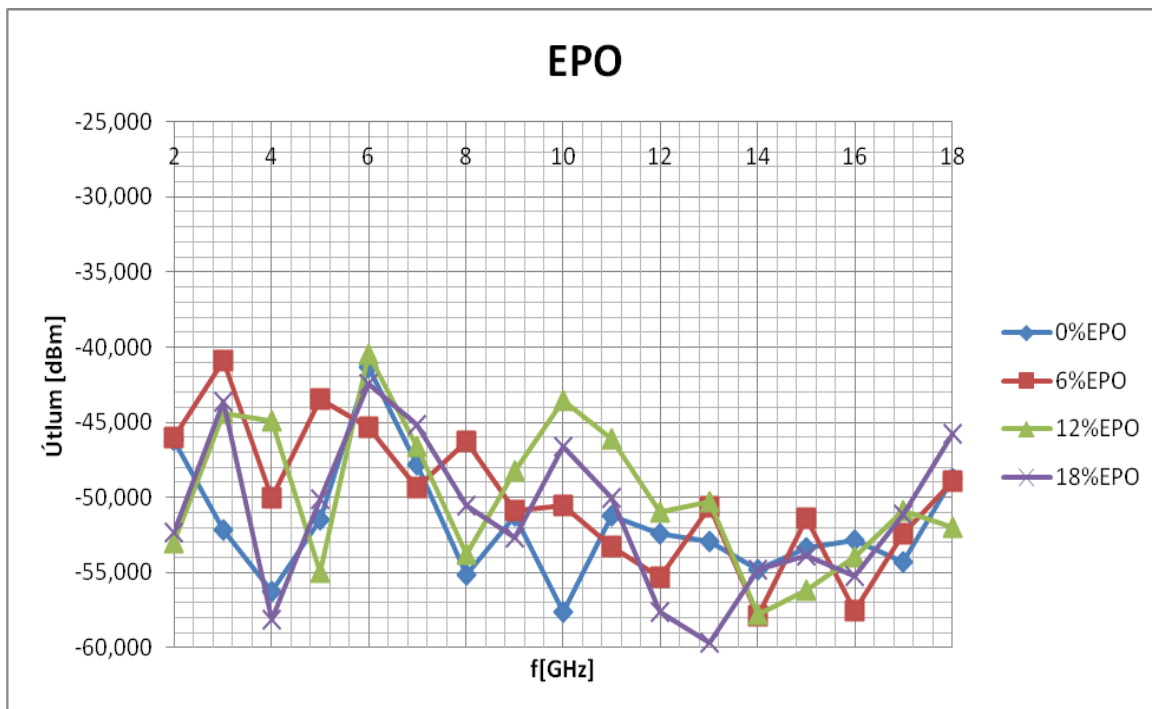
Tab. 12 Tabulka naměřených hodnot stínící účinnosti u epoxidové pryskyřice

Frekvence [GHz]	P _{AVG0%} [dbM]	P _{AVG6%} [dbM]	P _{AVG12%} [dbM]	P _{AVG18%} [dbM]
1	-28,482	-29,032	-28,692	-30,270
2	-46,217	-46,031	-53,014	-52,318
3	-52,187	-40,916	-44,419	-43,591
4	-56,286	-50,014	-44,875	-58,101
5	-51,518	-43,470	-54,942	-50,144
6	-41,300	-45,307	-40,511	-42,407
7	-47,829	-49,309	-46,617	-45,163
8	-55,141	-46,300	-53,818	-50,574
9	-51,229	-50,878	-48,214	-52,700
10	-57,612	-50,510	-43,574	-46,588
11	-51,223	-53,300	-46,101	-50,055
12	-52,377	-55,279	-51,003	-57,633
13	-52,892	-50,636	-50,319	-59,708
14	-54,782	-57,904	-57,792	-54,774
15	-53,367	-51,364	-56,151	-53,849
16	-52,838	-57,531	-53,975	-55,265
17	-54,259	-52,423	-50,877	-51,165
18	-48,733	-48,895	-51,986	-45,739

Tab. 13 Tabulka naměřených hodnot stínící účinnosti u epoxidové pryskyřice

Frekvence [GHz]	P _{AVG0%} [dbM]	P _{AVG6%} [dbM]	P _{AVG12%} [dbM]	P _{AVG18%} [dbM]
1	-28,360	-28,91	-28,57	-30,148
2	-29,140	-28,954	-35,937	-35,241
3	-36,518	-25,247	-28,75	-27,922
4	-42,105	-35,833	-30,694	-43,920
5	-42,492	-34,444	-45,916	-41,118
6	-34,627	-38,634	-33,838	-35,734
7	-38,992	-40,472	-37,78	-36,326
8	-46,133	-37,291	-44,809	-41,565
9	-44,032	-43,681	-41,017	-45,503
10	-53,113	-46,012	-39,076	-42,090
11	-45,541	-47,618	-40,419	-44,373
12	-46,943	-49,845	-45,569	-52,199
13	-48,164	-45,908	-45,591	-54,980
14	-49,882	-53,004	-52,892	-49,873
15	-49,682	-47,679	-52,466	-50,164
16	-48,441	-53,135	-49,579	-50,868
17	-52,565	-50,728	-49,182	-49,471
18	-49,147	-49,309	-52,4	-46,153

Grafické vyhodnocení



Obr. 27 Grafické vyhodnocení měření stínící účinnosti u epoxidové pryskyřice

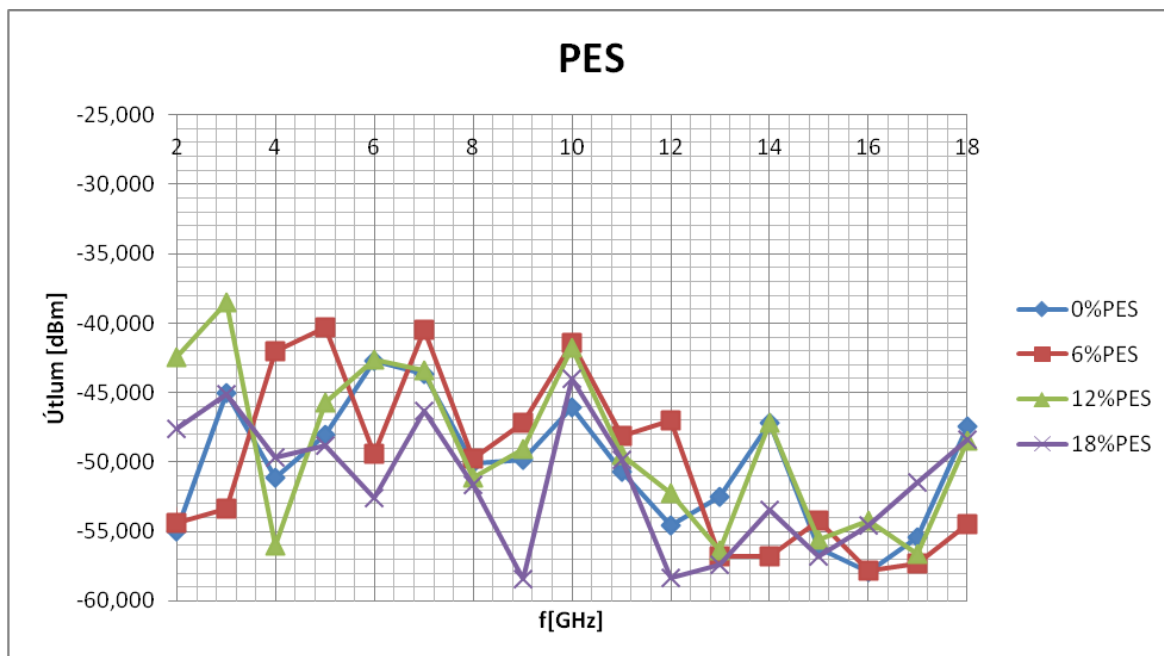
7.3.3 Měření stínící účinnosti u polyesterové matrice

Tab. 14 Tabulka naměřených hodnot stínící účinnosti u polyesterové pryskyřice

Frekvence [GHz]	$P_{AVG0\%}$ [dBm]	$P_{AVG6\%}$ [dBm]	$P_{AVG12\%}$ [dBm]	$P_{AVG18\%}$ [dBm]
1	-30,914	-29,911	-31,586	-33,352
2	-54,963	-54,421	-42,451	-47,645
3	-45,074	-53,343	-38,520	-45,157
4	-51,121	-41,988	-56,060	-49,669
5	-48,010	-40,342	-45,759	-48,826
6	-42,718	-49,444	-42,627	-52,616
7	-43,697	-40,460	-43,420	-46,315
8	-50,134	-49,742	-51,153	-51,675
9	-49,873	-47,156	-49,030	-58,462
10	-46,051	-41,414	-41,761	-43,994
11	-50,699	-48,149	-49,467	-49,881
12	-54,595	-47,035	-52,216	-58,314
13	-52,502	-56,834	-56,395	-57,382
14	-47,154	-56,835	-47,196	-53,427
15	-56,213	-54,213	-55,557	-56,795
16	-57,951	-57,795	-54,239	-54,595
17	-55,443	-57,296	-56,594	-51,443
18	-47,451	-54,446	-48,426	-48,378

Tab. 15 Tabulka naměřených hodnot stínící účinnosti u polyesterové pryskyřice

Frekvence [GHz]	$P_{AVG0\%}$ [dbM]	$P_{AVG6\%}$ [dbM]	$P_{AVG12\%}$ [dbM]	$P_{AVG18\%}$ [dbM]
1	-30,792	-29,789	-31,464	-33,230
2	-37,886	-37,344	-25,374	-30,568
3	-29,405	-37,674	-22,851	-29,488
4	-36,940	-27,807	-41,879	-35,488
5	-38,984	-31,316	-36,733	-39,800
6	-36,045	-42,771	-35,954	-45,943
7	-34,860	-31,622	-34,583	-37,478
8	-41,125	-40,734	-42,144	-42,666
9	-42,676	-39,958	-41,833	-51,265
10	-41,553	-36,916	-37,263	-39,496
11	-45,017	-42,467	-43,785	-44,199
12	-49,161	-41,601	-46,782	-52,880
13	-47,774	-52,106	-51,667	-52,654
14	-42,254	-51,935	-42,296	-48,527
15	-52,528	-50,528	-51,872	-53,110
16	-53,555	-53,398	-49,843	-50,199
17	-53,748	-55,601	-54,899	-49,748
18	-47,865	-54,860	-48,84	-48,792



Obr. 28 Grafické vyhodnocení měření stínící účinnosti u polyesterové pryskyřice

7.4 Měření elektrických a dielektrických vlastností

7.4.1 Popis měření elektrických a dielektrických vlastností

Pro měření elektrických a dielektrických vlastností byl použit LCR metr HIOKI 3522-50. Měření probíhalo na 80 měřících frekvencích z intervalu od 0,1 Hz do 100 kHz ve střídavém elektrickém poli. Měření taky proběhlo ve stejnosměrném elektrickém poli. Měřicí zařízení pro experimenty je kompletně softwarově řízené.

Měření proběhlo na zkušebních vzorcích z polyesterové pryskyřice a z epoxidové pryskyřice. Měření vzorcích z epoxidové pryskyřice (Tab. 16) bylo provedeno v jednom měřícím cyklu, postupně při teplotách 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C a 150°C. Pro každé samotné měření byli měřicí vzorky stabilizovány na měřicí teplotu po dobu 1 200 s. Měření v cyklu probíhalo kontinuálně bez přerušení. Po kontaktování koloidním grafitem byly naměřeny vysoké hodnoty konduktivity znemožňující měření. Z měření na nově vyrobených vzorcích byla vyloučena vlastní grafitová elektroda a byl změněn tvar zkušebních vzorků (byla zmenšena plocha). Byly použity měřicí vzorky tvaru kvádru s plochou podstavy 15 x 15 mm bez nanesení grafitu.

Tab. 16 Popis složení měřících vzorků s epoxidovou pryskyřicí

Epoxid	Saze A 1. druh sazí [%]	Saze B 2. druh sazí [%]	Označení výsledků v grafech
1.	5	-	Epoxid 1 500 A
2.	2,5	-	Epoxid 2 250 A
3.	-	5	Epoxid 3 500 B
4.	-	2,5	Epoxid 4 250 B
5.	- (Bez sazí)	- (Bez sazí)	Epoxid 5 bez

Měření na vzorcích s polyesterovou pryskyřicí (Tab. 17) proběhlo podobným způsobem jako v předcházejícím případě s epoxidovou pryskyřicí. Měření proběhlo v jednom měřícím cyklu, postupně při teplotách 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, 110°C a 120°C. Před každým samotným měřením byly měřicí vzorky stabilizovány na měřicí teplotu po dobu 1 200 s. Měření v cyklu probíhalo kontinuálně bez přerušení. Vzorky pro měření byly vyřezány z plátů tvaru válce o Φ 30 mm. Jako vlastní

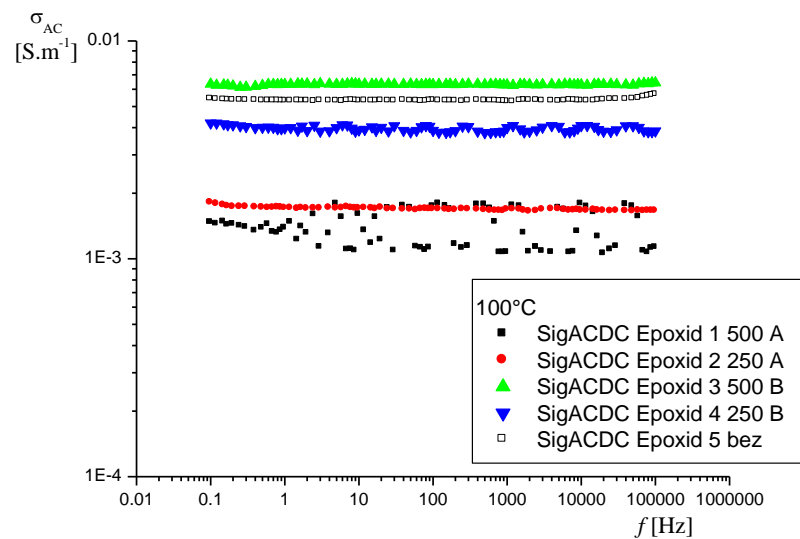
elektroda byl použit koloidní grafit nanášený v tenké vrstvě v suspenzi s izoamylalkoholem.

Tab. 17 Popis složení měřících vzorků s polyesterovou pryskyřicí

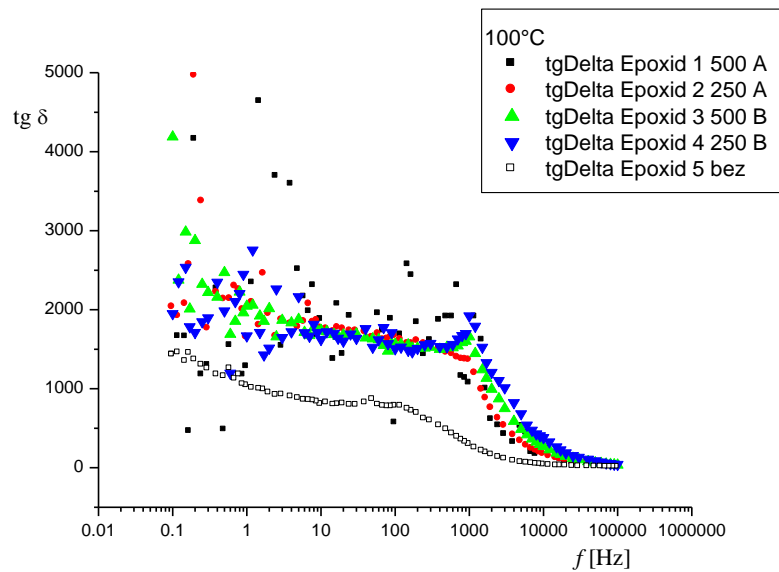
Polyester	Saze [%]	Označení výsledků v grafech
Polyester 0,6	0,6	Polyester 06
Polyester 1,25	1,25	Polyester 125
Polyester 2,5	2,5	Polyester 250
Polyester 5	5	Polyester 500

7.4.2 Výsledky měření na vzorcích s epoxidovou a polyesterovou pryskyřicí

a) Výsledky měření na vzorcích s epoxidovou pryskyřicí

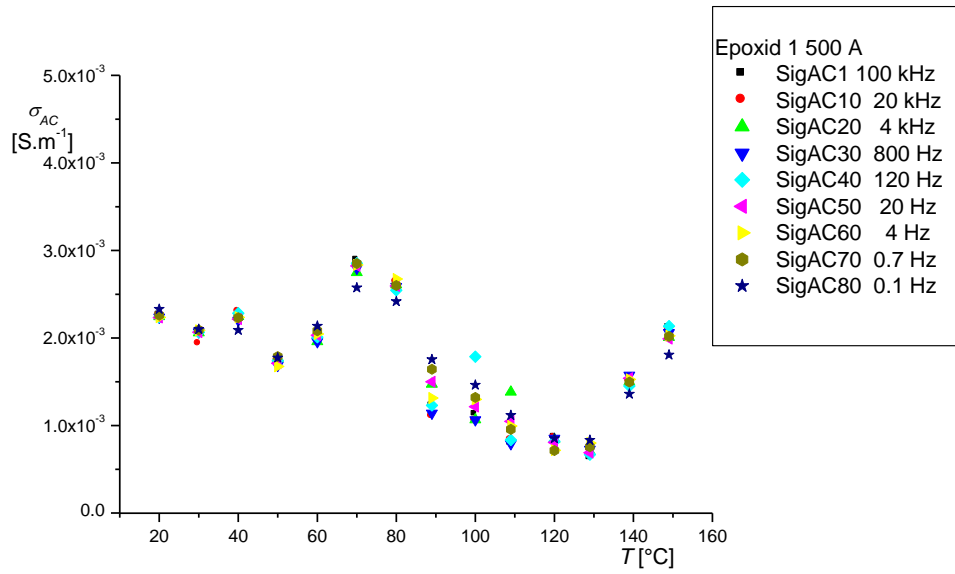


Obr. 29 Frekvenční závislost střídavé konduktivity vzorků s epoxidovou pryskyřicí s měnící se koncentrací a typem sazí stanovená při teplotě 100°C.

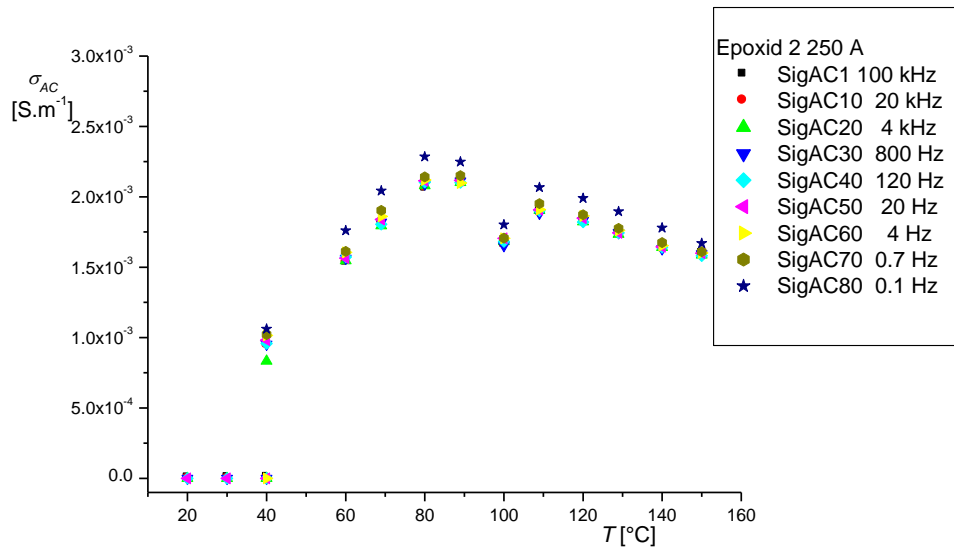


Obr. 30 Frekvenční závislost ztrátového činitele vzorků s epoxidovou pryskyřicí s měnící se koncentrací a typem sazí stanovená při teplotě 100°C

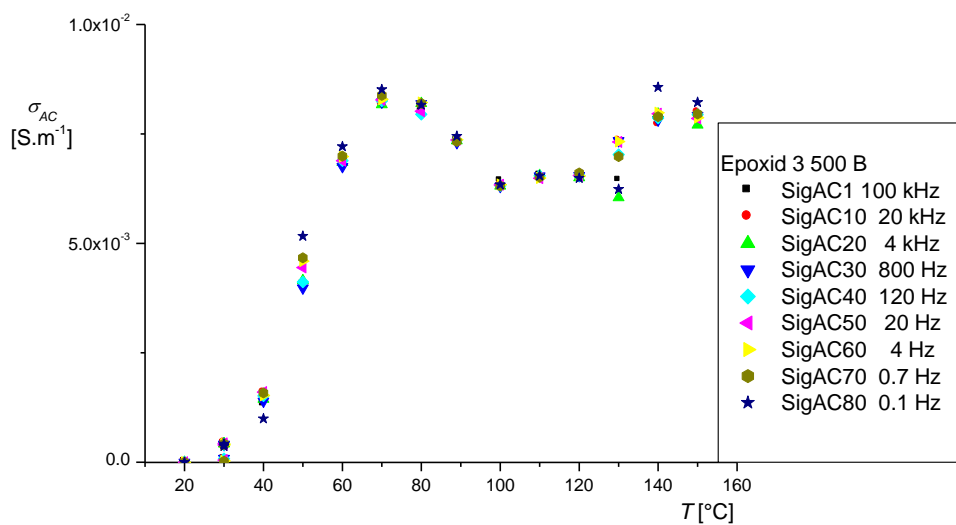
Na Obr. 29 a Obr. 30 jsou uvedeny frekvenční závislosti střídavé konduktivity a ztrátového činitele ve frekvenčním intervalu 0,1 Hz – 100 kHz měřeny při teplotě 100°C pro vzorky na bázi epoxidu (Epoxid 1 – Epoxid 5). Hodnoty střídavé konduktivity jsou poměrně vysoké. Tato vodivost je pravděpodobně způsobena dominantně výztužnou tkáninou. Vliv plniva (sazí) zachycuje ztrátový činitel (Obr. 30), kde už množství 2,5 % přestavuje nasycení materiálu sazemí.



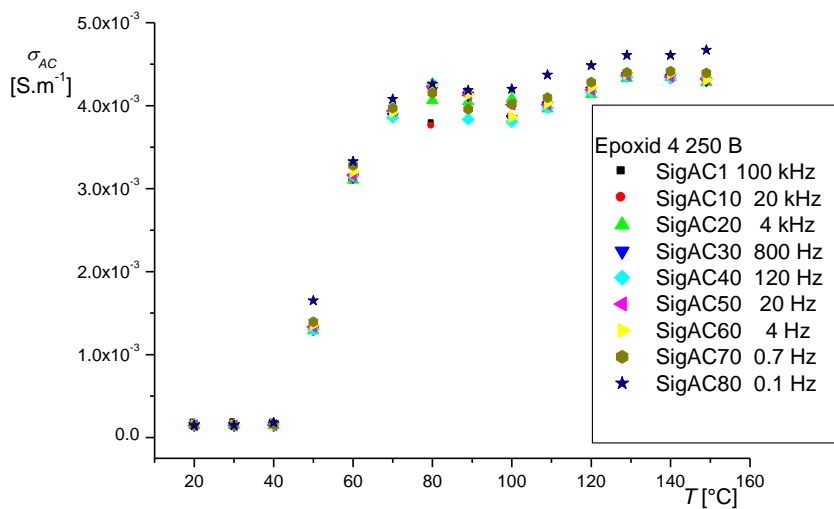
Obr. 31 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 1



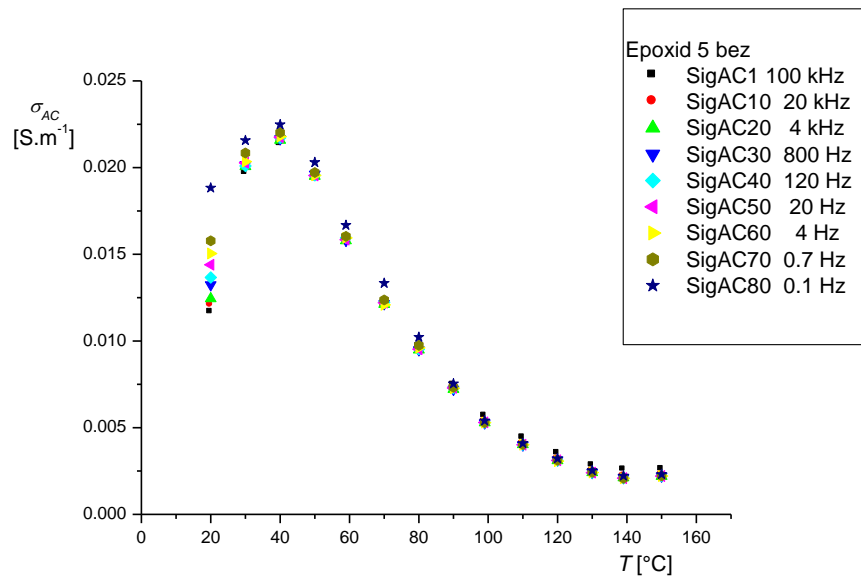
Obr. 32 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 2



Obr. 33 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 3



Obr. 34 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 4

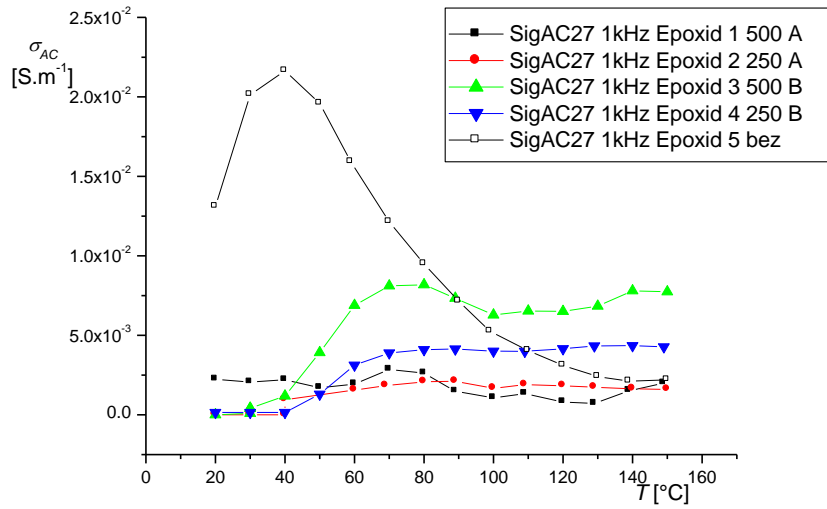


Obr. 35 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 5

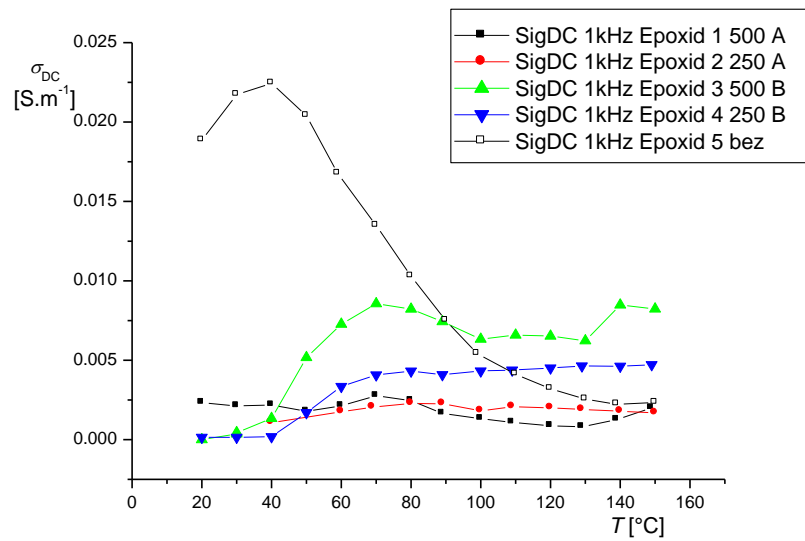
Teplotní závislosti střídavé konduktivity epoxidových vzorků (Epoxid 1 – Epoxid 5) jsou znázorněny postupně na Obr. 31 – Obr. 35. Pro přehlednost je vybraných 9 z 80 měřících frekvencí. Vzhledem na vysoké hodnoty konduktivity daných vzorků není vidět výraznější vliv změny frekvence použitého elektrického pole, to znamená, není možné hodnotit stupeň kvality dispergace plniva (sazí).

Na Obr. 36 je znázorněn vliv složení na teplotní závislosti střídavé konduktivity epoxidových vzorků, na Obr. 37 jsou vyneseny teplotní závislosti stejnosměrné vodivosti. Počáteční zvýšení hodnot konduktivity do cca 60°C (mimo vzorek epoxid 5) je pravděpodobně způsobeno zlepšením kontaktu mezi měřícími elektrodami. Následné hodnoty jsou opět v dominantní míře dány vysokým obsahem vodivých složek (tkanina, saze). Změna hodnoty konduktivity pro vzorek Epoxid 5 ukazuje dva možné směry změn ve vzorku:

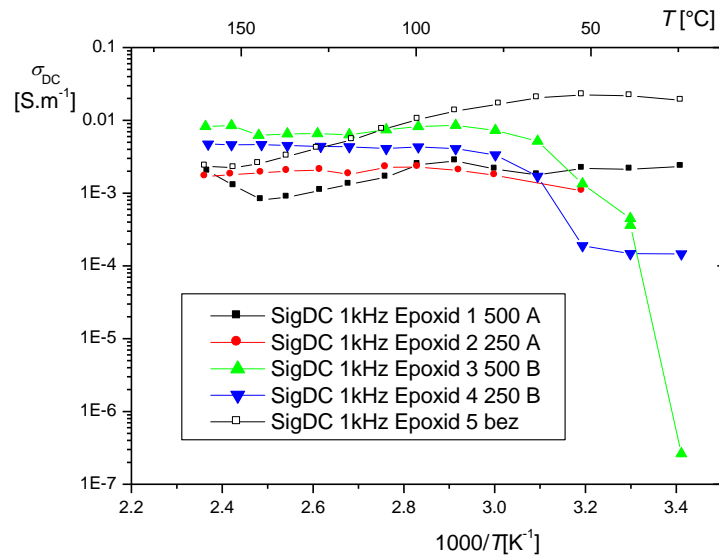
- 1.) Uvolnění vodivé příměsi, pravděpodobně vody. Tento efekt by se však měl projevit aspoň z části na ostatních vzorcích.
- 2.) Uvolnění plynu v objemu vzorku.



Obr. 36 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorku epoxid 1 až epoxid 5, měřící frekvence 1 kHz



Obr. 37 Teplotní závislost stejnosměrné konduktivity, vzorku 1 epoxid 1 až epoxid 5



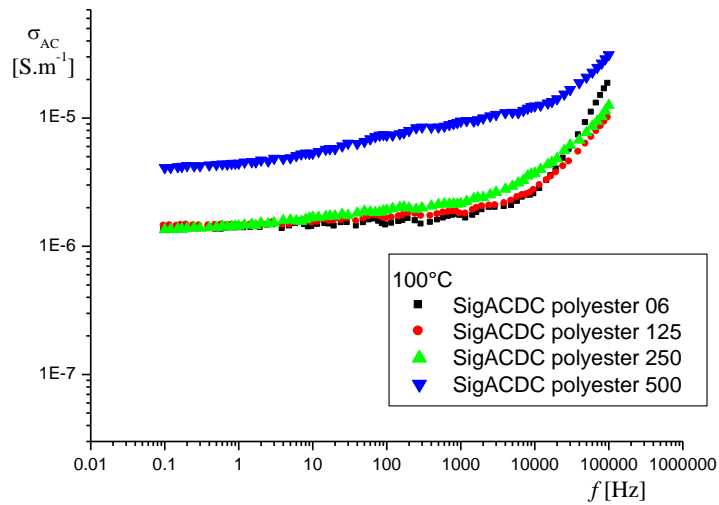
Obr. 38 Teplotní závislost stejnosměrné konduktivity, vzorku epoxid 1 až epoxid 5, zobrazení $\log \sigma$ vs. $1000/T$

b) Výsledky měření na vzorcích s polyesterovou pryskyřicí

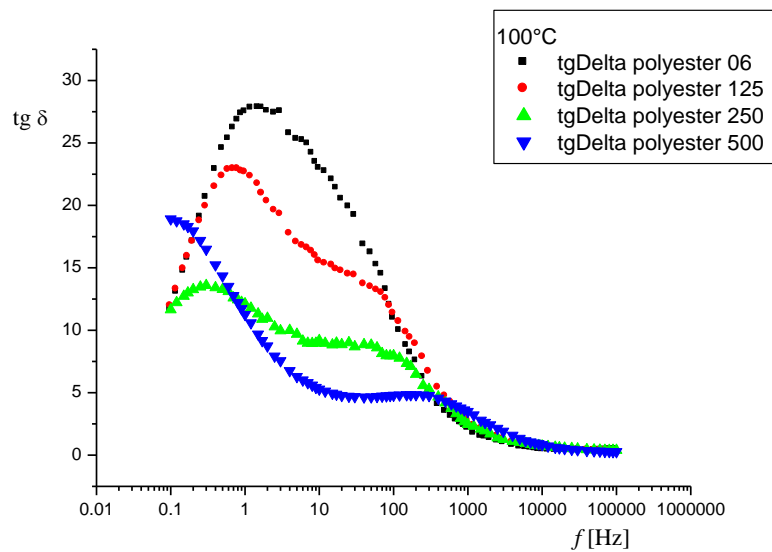
Na Obr. 39 a Obr. 40 jsou znázorněny frekvenční závislosti střídavé konduktivity a ztrátového činitele ve frekvenčním intervalu 0,1 Hz až 100 kHz naměřeny při teplotě 100°C pro vzorky na bázi polyesteru (Polyester 0,6, Polyester 1,25, polyester 2,5, Polyester 5).

Frekvenční závislosti všech vzorků ukazují, že dominantním mechanismem je elektronová vodivost ovlivněná přidávkem plniva.

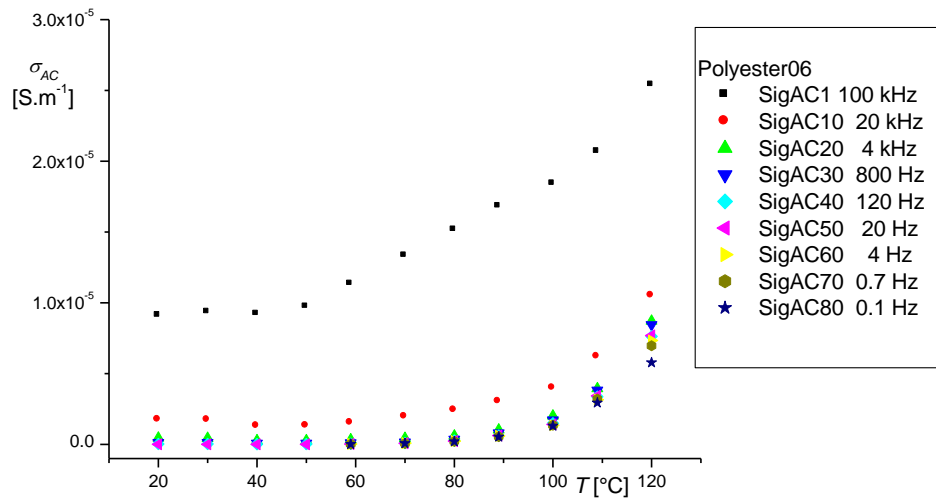
Frekvenční závislosti ztrátového činitele (Obr. 40) ukazují, že je možné sledovat stupeň dispergace plniva v matrici. Objevují se zde dvě maxima (polyester 2,5 - zelený trojúhelník – cca. 100 Hz a 6Hz). První maximum odpovídá osamostatněným částicím, druhé maximum větším aglomerátům. Výška maxima naznačuje relativní zastoupení. Ukazuje se, že lepší stupeň dispergace (homogenity) je možné dosáhnout při vyšším plnění sazemi.



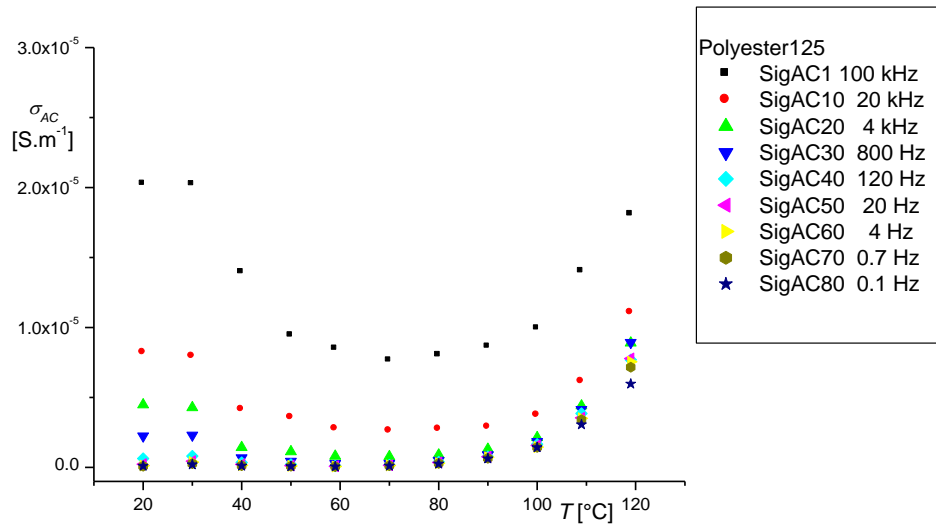
Obr. 39 Frekvenční závislost střídavé konduktivity vzorků na bázi polyesteru s měnící se koncentrací a typem sazí stanovená při teplotě 100°C



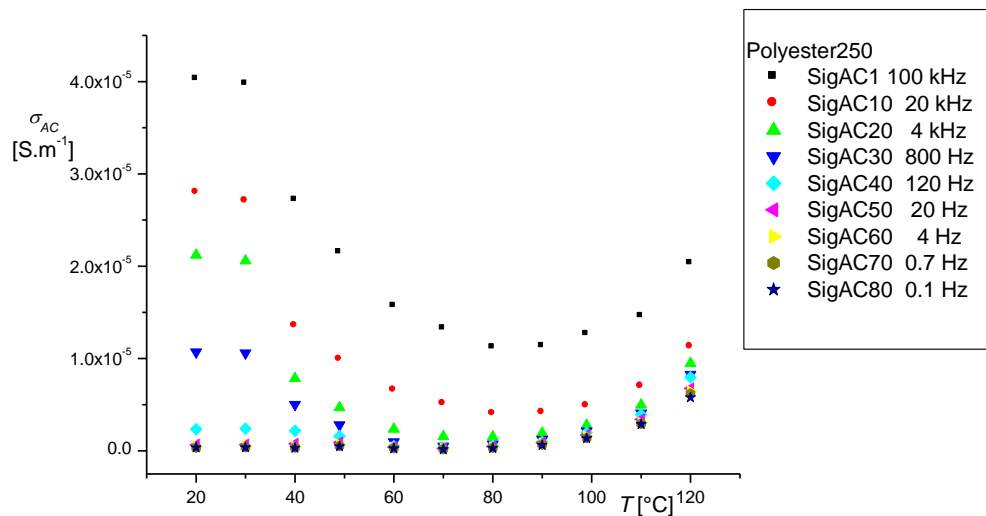
Obr. 40 Frekvenční závislost ztrátového činitele vzorků na bázi polyesteru s měnící se koncentrací a typem sazí stanovená při teplotě 100°C



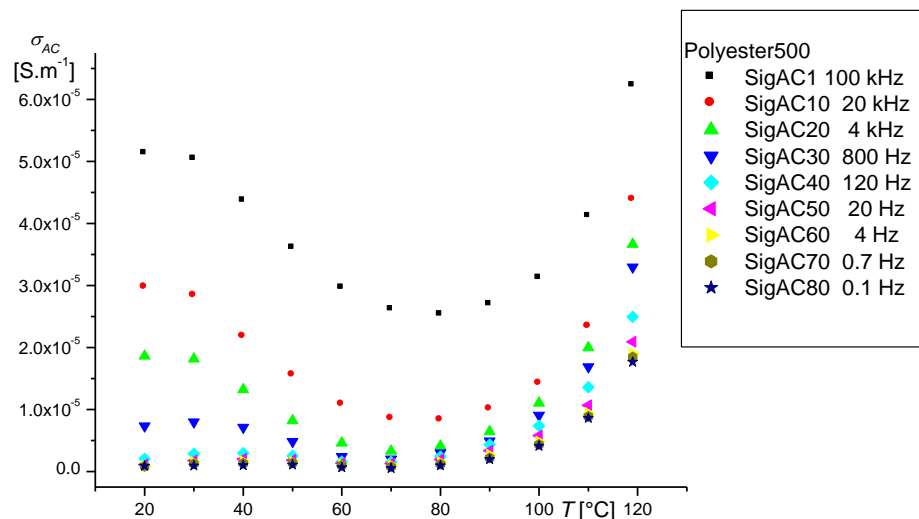
Obr. 41 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 0,6



Obr. 42 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 1,25



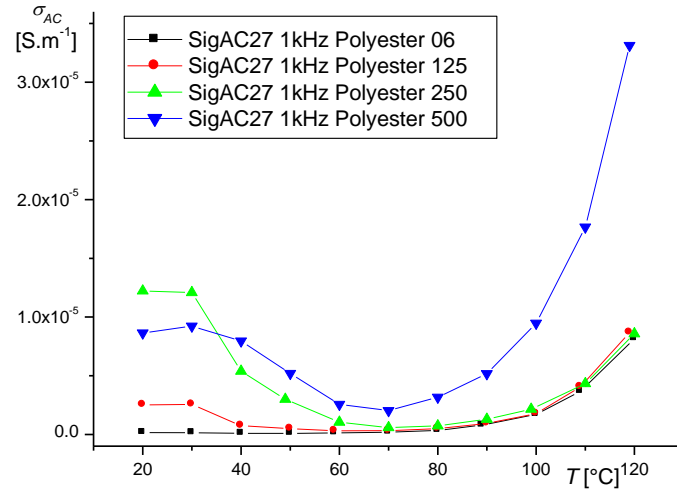
Obr. 43 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 2,5



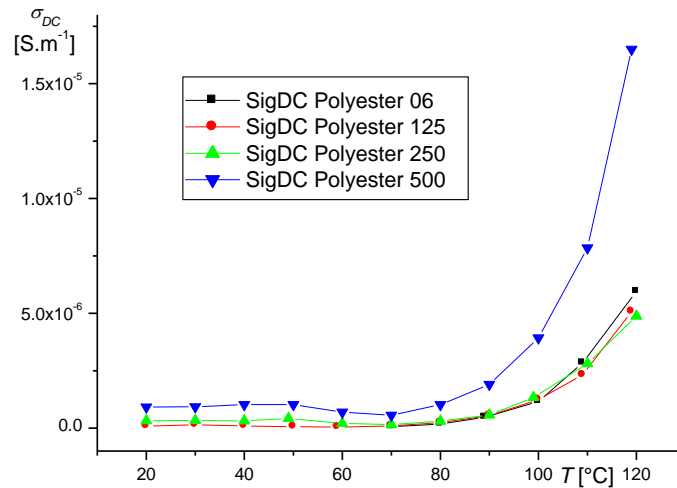
Obr. 44 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 5

Teplotní závislosti střídavé konduktivity polyesterových vzorků (Polyester 0,6, Polyester 1,25, Polyester 2,5 a Polyester 5) jsou postupně znázorněny na Obr. 41 až Obr. 44. Pro přehlednost je vybraných 9 z 80 měřených frekvencí. Obr. 45 znázorňuje vliv složení na teplotní závislosti střídavé konduktivity vzorků na bázi polyesteru, na Obr. 46 jsou znázorněny teplotní závislosti stejnosměrné vodivosti.

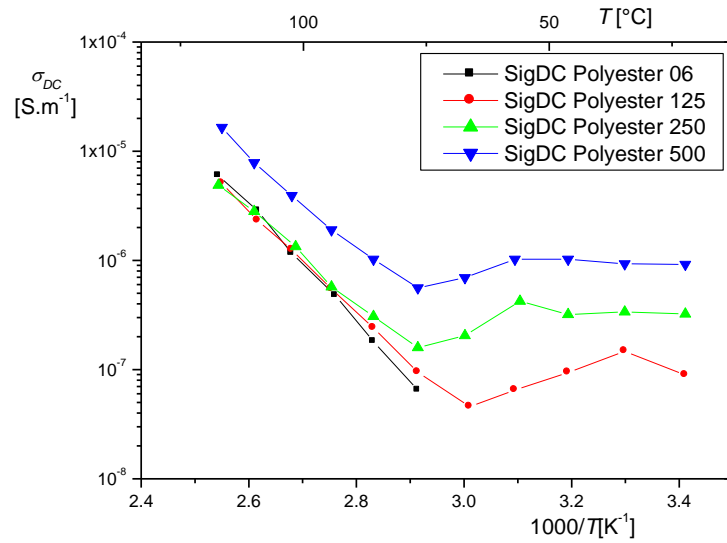
Teplotní závislosti jsou v dominantní míře dány obsahem sazí, přesto měření naznačují, že vzorek Polyester 5 obsahuje pravděpodobně navzájem dotýkající se aglomeráty.



Obr. 45 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 0,6, polyester 1,25, polyester 2,50 a polyester 5, měřící frekvence 1 kHz

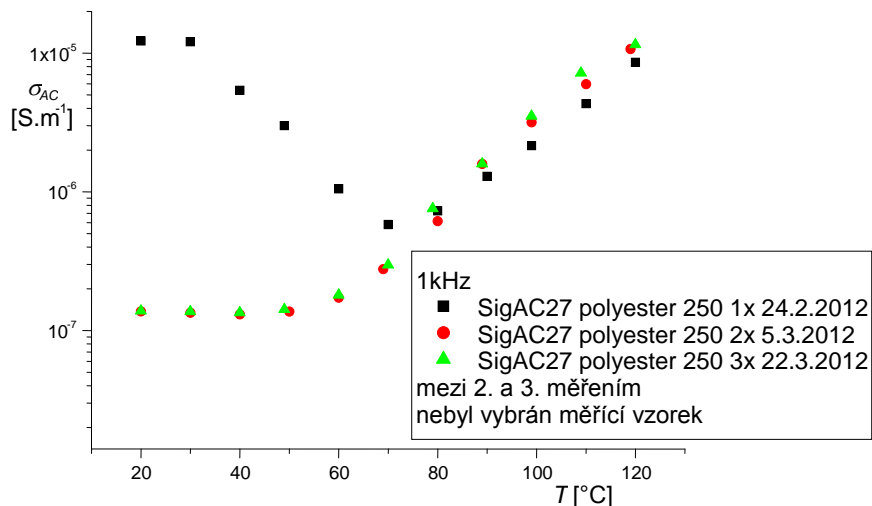


Obr. 46 Teplotní závislost stejnosměrné konduktivity, vzorek polyester 0,6, polyester 1,25, polyester 2,5 a polyester 5



Obr. 47 Teplotní závislost stejnosměrné konduktivity, vzorků polyester 0,6, polyester 1,25, polyester 2,5 a polyester 5, zobrazení $\log \sigma$ vs. $1000/T$

Na Obr. 48 jsou opakovaná měření střídavé konduktivity vzorků polyester 2,5 při frekvenci 1 kHz. Pokles vodivosti při prvním ohřevu může být způsoben uvolňováním vody, která je vázána v materiálu.



Obr. 48 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorku polyester 2,5 měřící frekvence 1 kHz

7.5 Výsledky měření zkoušky ohybem

Měření bylo prováděno Univerzálním trhacím stroji Zwick 1456. Tato zkouška byla provedena na všech vzorcích vyrobených z epoxidové a polyestrové pryskyřice při 0, 6, 12 a 18 % obsahu uhlíku v materiálu. Při této zkoušce byl měřen modul pružnosti (E), mez pevnosti (σ_m), poměrná deformace při mezi pevnosti (ε_{at}), energie (W to F_m), při daných rozměrech zkušebních těles (A_0, B_0) a ploše daného tělesa (S_0) (Tab. 18).

Tab. 18 Tabulka naměřených hodnot

	E	σ_m	ε_{at}	F_m	W to F_m	A_0	B_0	S_0
Nr	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²	
1.29	42400	720	2	716,01	1,3	20,6	26,78	
1.30	35800	616	2,1	622,97	1,3	20,6	26,78	
1.32	41200	702	2	771,09	1,3	22,6	29,38	
46.1	57500	872	1,6	678,96	1,3	20,8	27,04	
46.2	55300	740	1,5	542,21	1,3	20,9	27,17	
46.3	55600	837	1,8	663,89	1,3	20,2	26,26	
46.4	55600	866	1,7	711,43	1,3	20,55	26,72	
47.1	56800	864	1,8	749,3	1,3	20,9	27,17	
47.3	69000	1000	1,7	777,54	1,3	20,4	26,52	
47.4	66500	915	1,6	734,21	1,3	21,3	27,69	
48.1	69300	984	1,7	747,2	1,3	20,3	26,39	
48.2	92800	1230	1,5	810,02	1,3	20,88	27,14	
48.4	91900	1240	1,5	889,4	1,3	20,45	26,59	
49.1	32200	487	1,9	473,76	1,3	21,11	27,44	
49.2	36000	531	1,8	491,48	1,3	21,11	27,44	
49.3	34900	594	2	614,29	1,3	20,4	26,52	
49.4	31200	488	1,9	458,74	1,3	20,36	26,47	
50.1	46200	782	2	799,7	1,3	21,2	27,56	
50.2	44100	809	2	791,12	1,3	20,6	26,78	
50.3	40800	731	1,9	703,22	1,3	22	28,6	
50.4	47800	757	1,9	769,55	1,3	20,75	26,98	
51.1	59300	829	1,6	691,42	1,3	21,6	28,08	
51.2	55900	791	1,7	742,66	1,3	21	27,3	
51.4	62700	908	1,7	791,43	1,3	20,4	26,52	
52.1	18100	215	1,7	224,39	1,3	21,3	27,69	
52.3	16000	283	2,7	462,9	1,3	21,3	27,69	
52.4	21600	207	1	99,81	1,3	20,6	26,78	
52.6	5830	75,4	1,6	68,73	1,3	20,6	26,78	

U všech sérií měření byla vzdálenost podpěr 32mm. Napětí je přepočteno na tloušťku 1,3mm u všech zkoušek. (význam symbolů: x-průměr, s-směrodatná odchylka, v-variační koeficient).

Tab. 19 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 0 % obsahem uhlíku

0%_epoxid	E	$\bar{\sigma}_m$	$\varepsilon_{at} F_m$	W to F_m	A ₀	B ₀	S ₀
n = 5	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
x	39800	679	2	703,36	1,3	21,27	27,65
s	3480	55,5	0,1	74,86	0	1,155	1,5
v	8,75	8,17	2,57	10,64	0	5,43	5,43

Tab. 20 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 6 % obsahem uhlíku

6%_epoxid	E	$\bar{\sigma}_m$	$\varepsilon_{at} F_m$	W to F_m	A ₀	B ₀	S ₀
n = 5	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
x	56000	829	1,6	649,12	1,3	20,61	26,8
s	1020	61	0,1	73,98	0	0,3119	0,41
v	1,82	7,36	7,77	11,4	0	1,51	1,51

Tab. 21 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 12 % obsahem uhlíku

12%_epoxid	E	$\bar{\sigma}_m$	$\varepsilon_{at} F_m$	W to F_m	A ₀	B ₀	S ₀
n = 5	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
x	64100	927	1,7	753,68	1,3	20,87	27,13
s	6440	70	0,1	22	0	0,4509	0,59
v	10,05	7,55	6,01	2,92	0	2,16	2,16

Tab. 22 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek
z epoxidové pryskyřice s 18 % obsahem uhlíku

18%_epoxid	E	$\bar{\sigma}_m$	$\varepsilon_{at F_m}$	W to F_m	A_0	B_0	S_0
n = 5	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
x	84600	1150	1,6	815,54	1,3	20,54	26,71
s	13300	143	0,1	71,26	0	0,3011	0,39
v	15,76	12,41	8,24	8,74	0	1,47	1,47

Tab. 23 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek
z polyesterové pryskyřice s 0 % obsahem uhlíku

0%_polyester	E	$\bar{\sigma}_m$	$\varepsilon_{at F_m}$	W to F_m	A_0	B_0	S_0
n = 5	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
x	33600	525	1,9	509,57	1,3	20,75	26,97
s	2290	50,4	0,1	71,09	0	0,4218	0,55
v	6,81	9,6	3,86	13,95	0	2,03	2,03

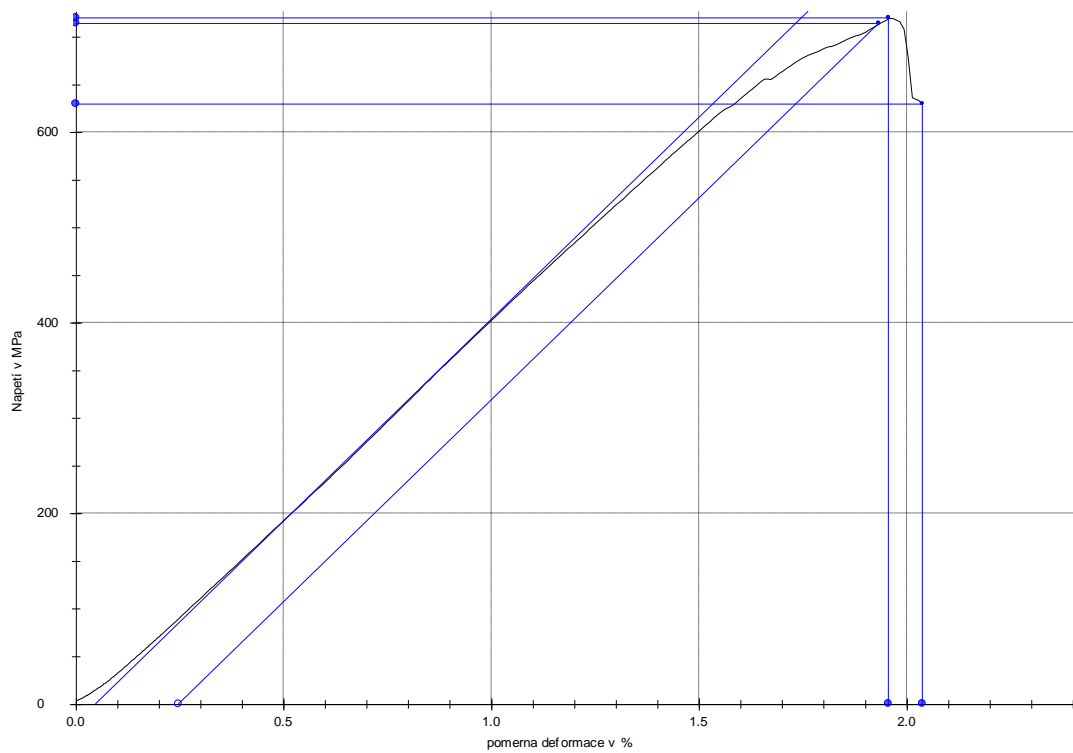
Tab. 24 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek
z polyesterové pryskyřice s 6 % obsahem uhlíku

6%_polyester	E	$\bar{\sigma}_m$	$\varepsilon_{at F_m}$	W to F_m	A_0	B_0	S_0
n = 5	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
x	44700	770	2	765,9	1,3	21,14	27,48
s	3040	33,6	0,1	43,67	0	0,629	0,82
v	6,81	4,37	3,01	5,7	0	2,98	2,98

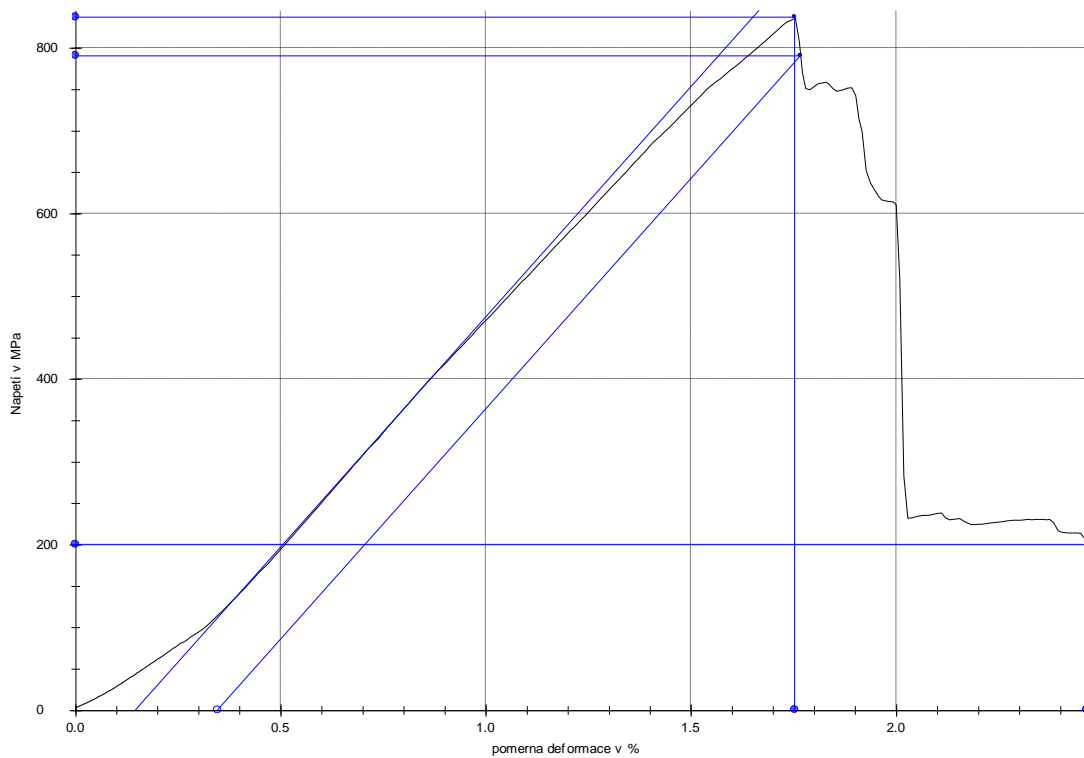
Tab. 25 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek
z polyesterové pryskyřice s 12 % obsahem uhlíku

12%_polyester	E	$\bar{\sigma}_m$	$\varepsilon_{at F_m}$	W to F_m	A_0	B_0	S_0
n = 5	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
x	59300	843	1,7	741,84	1,3	21	27,3
s	3400	59,9	0,1	50,01	0	0,6	0,78
v	5,73	7,1	5,19	6,74	0	2,86	2,86

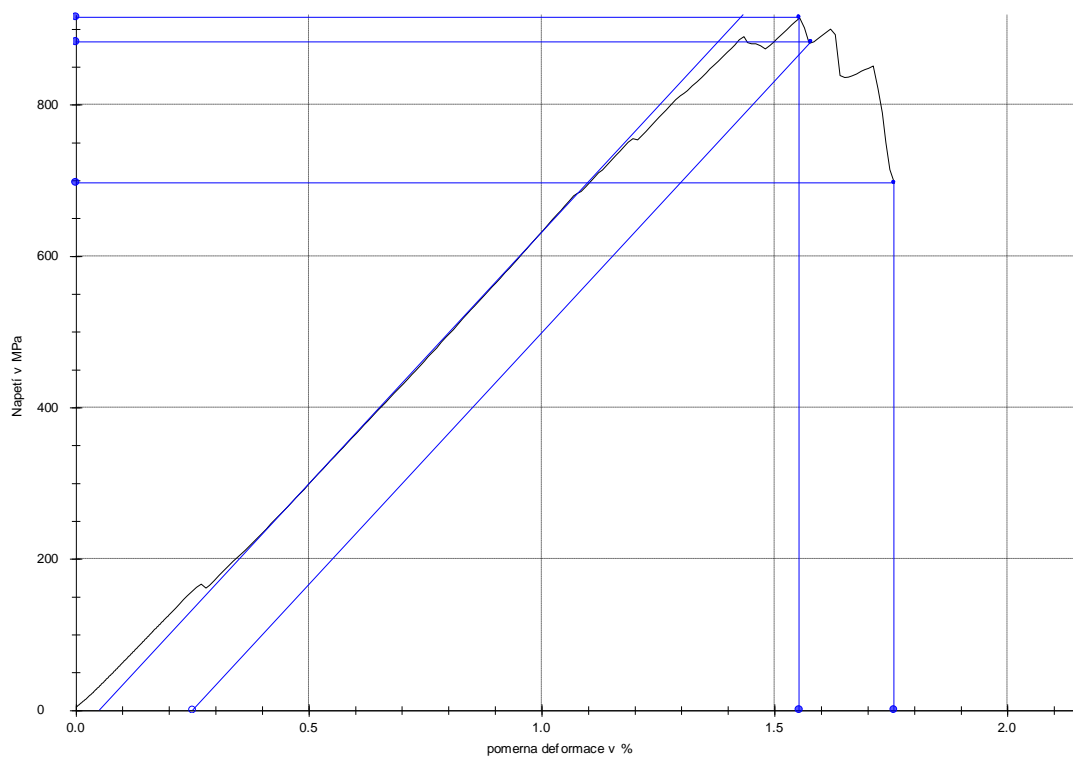
Typické závislosti pro testované série 1÷7:



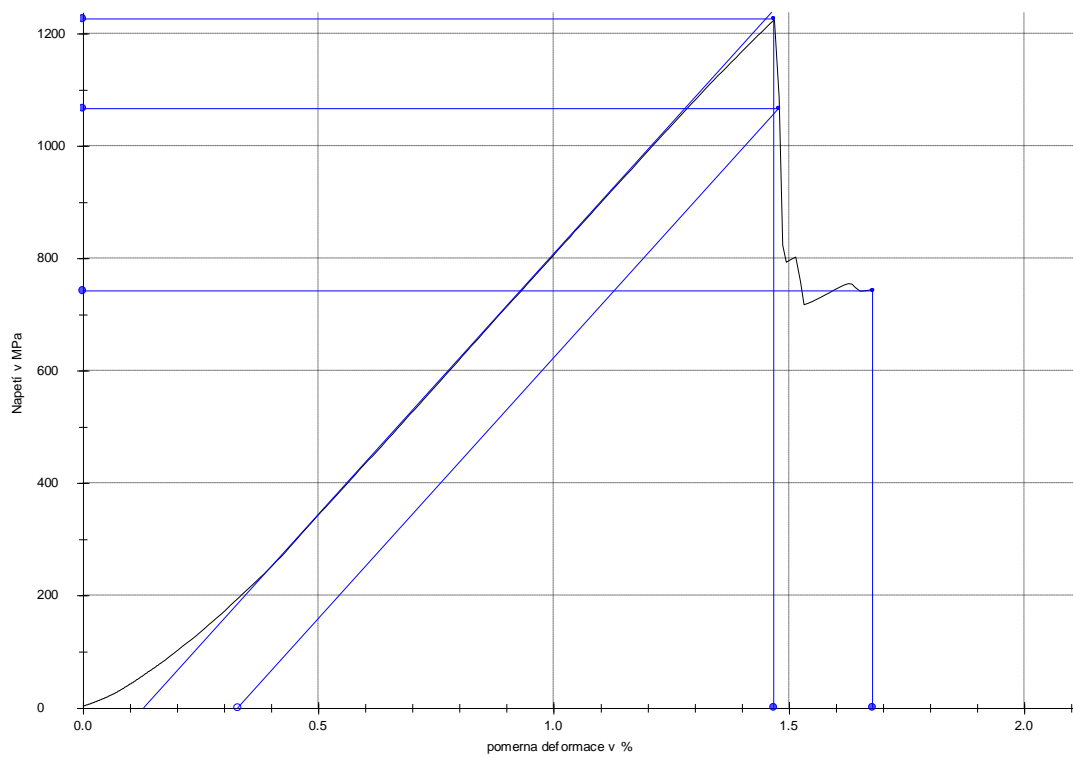
Obr. 49 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 0 % obsahem uhlíku



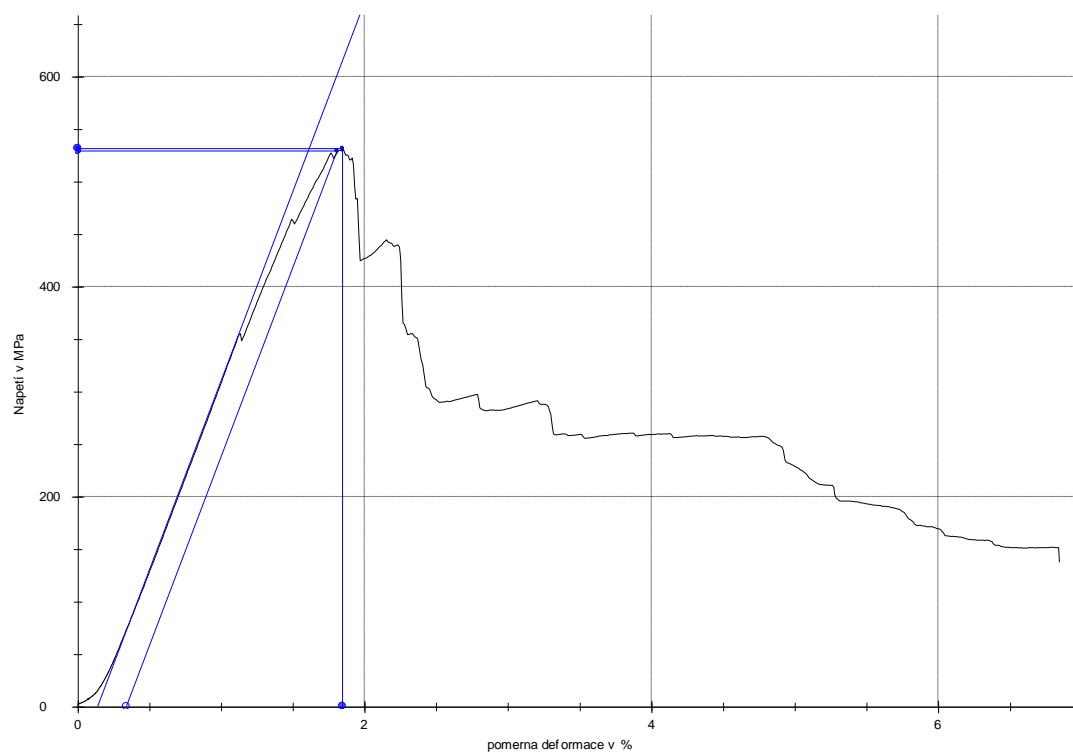
Obr. 50 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 6 % obsahem uhlíku



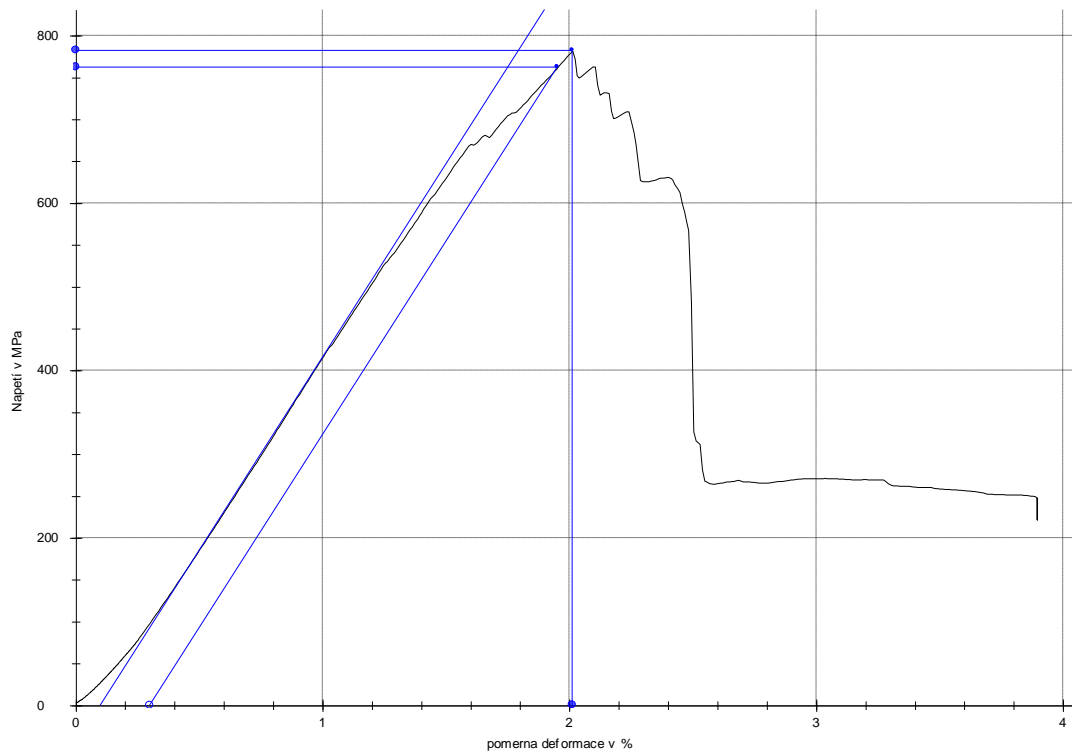
Obr. 51 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 12 % obsahem uhlíku



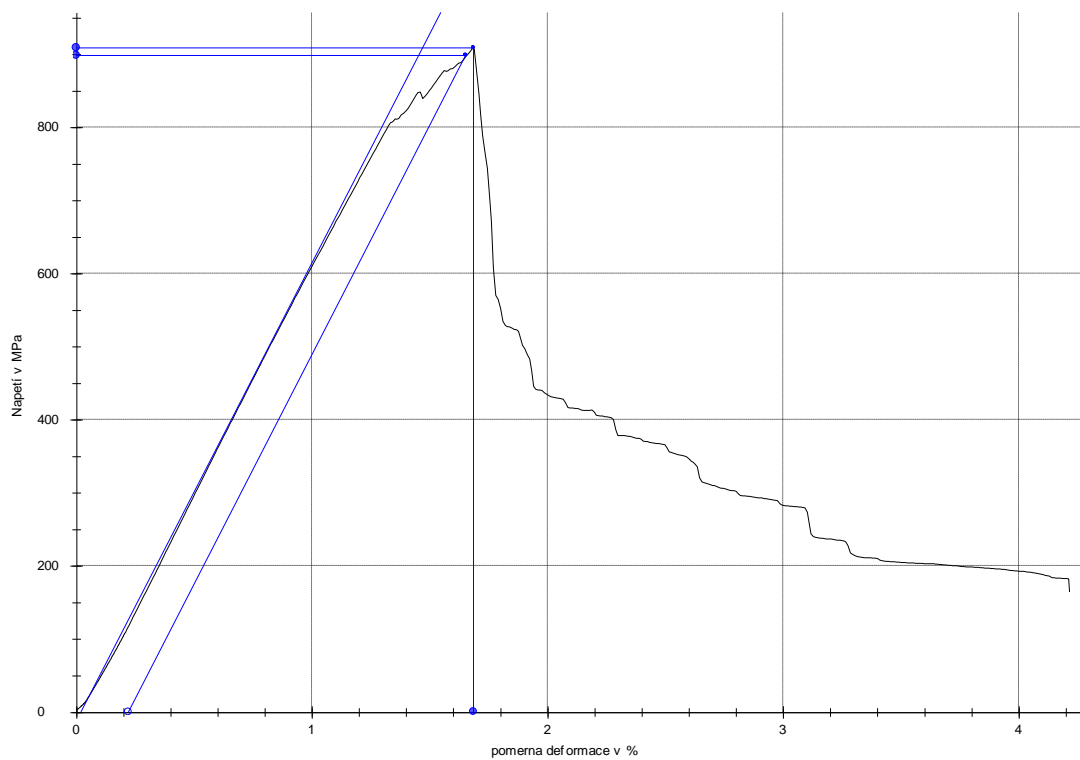
Obr. 52 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 18 % obsahem uhlíku



Obr. 53 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 0 % obsahem uhlíku



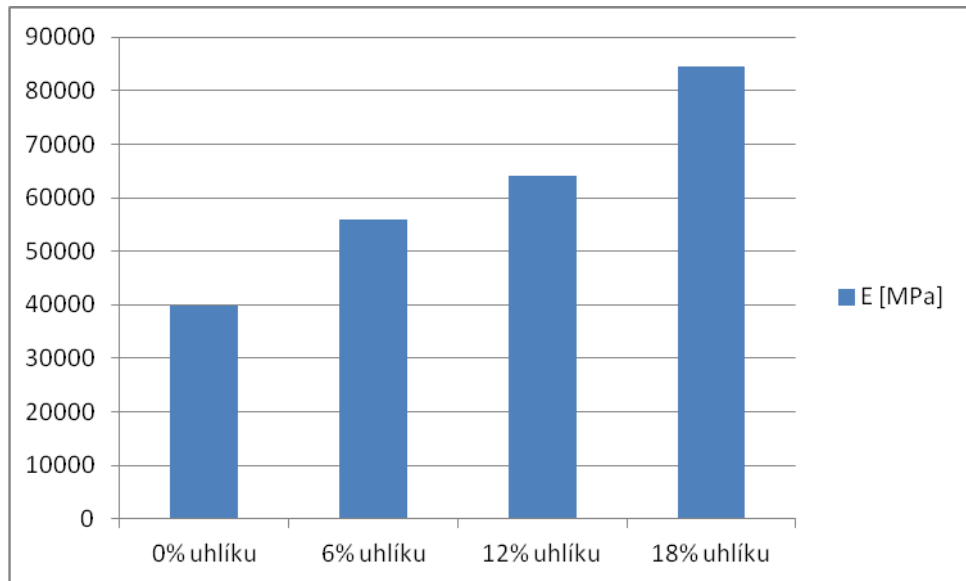
Obr. 54 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 6 % obsahem uhlíku



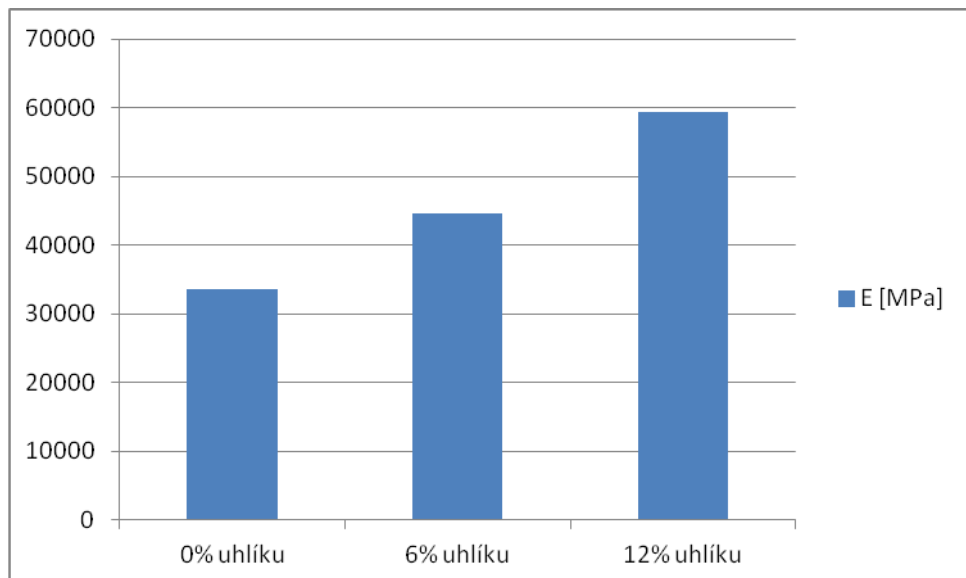
Obr. 55 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 12 % obsahem uhlíku

Jak z Tab. 19 ÷ Tab. 25, tak i z Obr. 49 ÷ Obr. 55 je vidět, že se zvyšujícím se obsahem uhlíku, roste modul pružnosti, mez pevnosti. Tato závislost platí pro vzorky vyrobené jak z epoxidové, tak i z polyesterové pryskyřice.

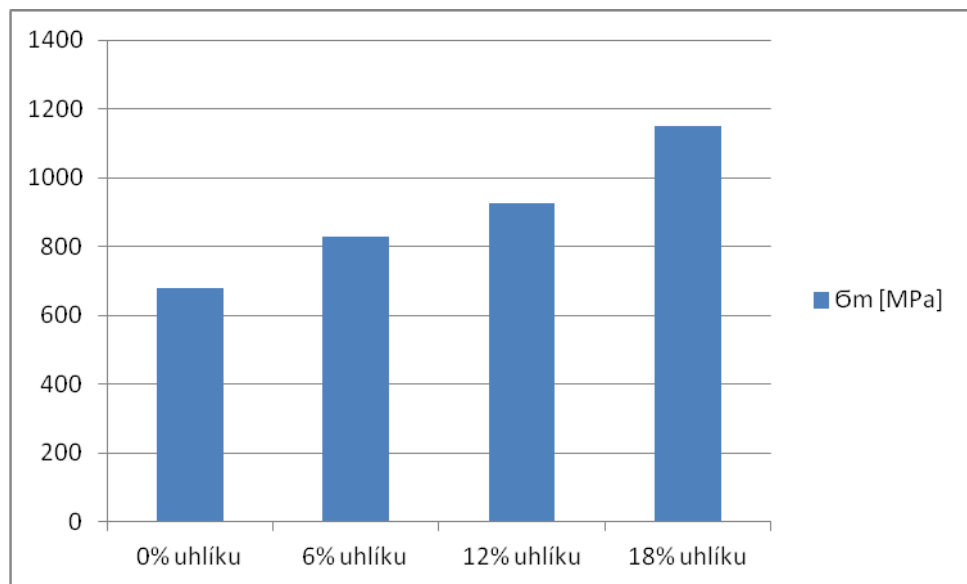
Na Obr. 56 ÷ 59 je znázorněna závislost modulu pružnosti a meze pevnosti na obsahu uhlíku v měřicích vzorcích z polyesterové pryskyřice.



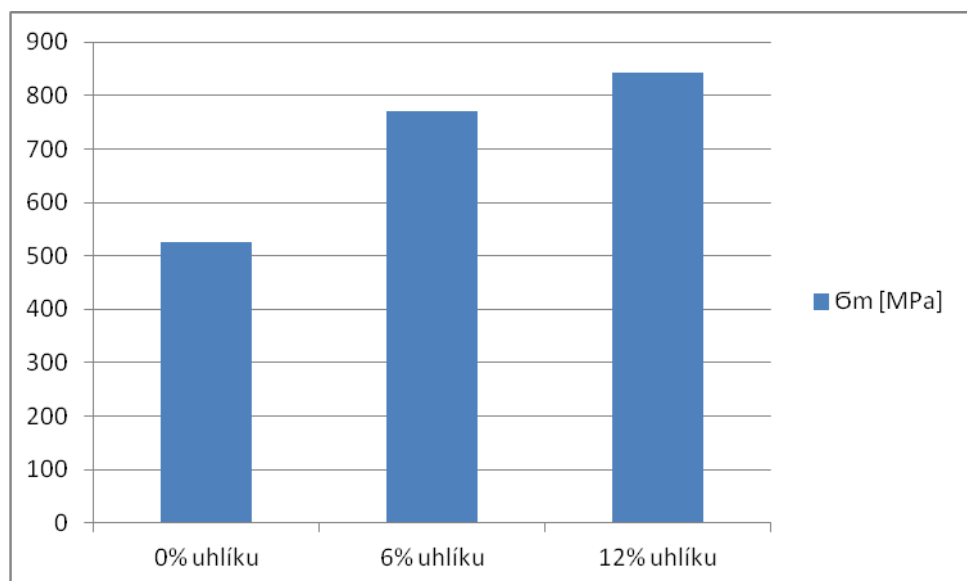
Obr. 56 Závislost modulu pružnosti na obsahu uhlíku v měřicích vzorcích z epoxidové pryskyřice



Obr. 57 Závislost modulu pružnosti na obsahu uhlíku v měřicích vzorcích z polyesterové pryskyřice



Obr. 58 Závislost meze pevnosti na obsahu uhlíku v měřících vzorcích z epoxidové pryskyřice



Obr. 59 Závislost meze pevnosti na obsahu uhlíku v měřících vzorcích z epoxidové pryskyřice

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá vlivem různých elektrovedivých plniv na fyzikálně-mechanické vlastnosti kompozitních polymerních materiálů

V teoretické části byla provedena literární rešerše na zadané téma. Bylo popsáno základní rozřídění těchto materiálů, jejich historický vývoj a základní fyzikálně-mechanické vlastnosti. Součástí teoretické části je i popis chování polymerů v elektrických a magnetických polích a jejich elektrických vlastností.

Praktická část začíná charakterizací použitých materiálů. Základním materiálem, který byl použit pro výrobu měřících vzorků byla polyesterová a epoxidová pryskyřice, uhlíkové saze dvojího druhu, uhlíkový prach, uhlíková prošíta tkanina a tužidlo. Z těchto materiálů byly vyrobeny měřící vzorky. V další části je proveden hmotnostní výpočet jednotlivých složek pro výrobu měřících vzorků. Pro měření fyzikálně-mechanických vlastností bylo vyrobeno několik typů vzorků, které se od sebe lišily různým poměrem jednotlivých složek. Po charakterizaci použitých materiálů jsou uvedeny měřící zařízení, s kterými se zjišťovaly požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti.

Stínící účinnost byla měřena na vzorcích z polyesterové i epoxidové pryskyřice s 0%, 6%, 12% a 18% obsahem uhlíku ve směsi. Výsledky měření vycházely jak pro vzorek z epoxidové, tak i z polyesterové pryskyřice podobně, nebyly mezi nimi relevantní (výrazné) rozdíly. Stínící účinnost testovaných materiálů je poměrně vysoká, je to zhruba 50%. Toto měření bylo provedeno pod úhlem natočení 0° a 45° . Rovněž i u tohoto měření byly výsledky obdobné. Vliv natočení měřené desky (jiná orientace výztuže k vlnění) se neprokázal.

Dodané měřící vzorky na bázi epoxidu s vyztuženou tkaninou měli poměrně vysoké hodnoty vodivosti. Pro další studium vlastností těchto materiálů je potřebné zvýšit při přípravě tloušťku vzorků.

Přípravu polyesterových vzorků pro měření elektrických vlastností není potřebné měnit, výsledky naznačují možnost sledování dispergace plniva v matrici. Při nízkých koncentracích plniva saze aglomerují, při vyšších plněních se v matrici pravděpodobně nacházejí menší částice sazí.

Z ohybové zkoušky plyne: V závislosti na stupni plnění uhlíkovým prachem roste modul pružnosti, mez pevnosti. Tato závislost platí pro vzorky vyrobené jak z epoxidové, tak i polyesterové pryskyřice.

Byl uskutečněn i pokus měření tahové zkoušky. Díky špatnému uchycení nebylo dosaženo relevantních výsledků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AGARWAL, Bhagwan D. a Lawrence J. BROUTMAN. *Vláknové kompozity*. 1.vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [2] PULCOVÁ, Tereza. *Elektrické vlastnosti pryže*. Zlín, 2011. Seminární práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [3] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vydání. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [4] MACHEK, Václav a Jaromír SODOMKA. *Nauka o materiálu: Polymery a kompozity s polymerní maticí, Svazek 4*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03927-4.
- [5] MEISNER, Bohumil a Václav ZILVAR. *Fyzika polymerů. Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [6] MACHÁČEK, Miroslav. *Studium elektrických vlastností kompozitních materiálů*. Brno, 2009. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_ve_rejne.php?file_id=18587>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Helena Polsterová, CSc.
- [7] *Všeobecný popis materiálů používaných při výrobě kompozitů* [online]. 2007 [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: <<http://www.modding.cz/?p=73>>
- [8] BARIŠ, Marián. *Studium elektrických vlastností kompozitů*. Brno, 2009. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=35899>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Helena Polsterová, CSc.
- [9] OVSÍK, Jiří. *Studium elektrických vlastností nanokompozitů*. Brno, 2010. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30579>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Helena Polsterová, Csc.
- [10] *Elektrické vlastnosti* [online]. [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: <<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska6.pdf>>

- [11] HOLCMAN, V. a M. RAŠKA. *Dielektrické vlastnosti částicových kompozitů* [online]. [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: <<http://ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce3/41.pdf>>
- [12] *Kompozity* [online]. [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: <<http://www.gdpkoral.cz/UserFiles/File/PDF-design-manual/kompozity.pdf>>
- [13] LIPTÁK, Jan, Josef SEDLÁČEK, Ivana PILARČÍKOVÁ a Václav BOUDA. *Elektrické vlastnosti kompozitů polymer – saze připravených z roztoku – POSTER*. [online]. [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: <http://konference.tanger.cz/index.php?load=conference&confer=2&type=readsymp&idrep=520>>
- [14] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988. s. 328.
- [15] LIBRA, Miroslav. *Sledování vlastností nanokompozitů na bázi epoxidových pryskyřic*. Brno, 2011. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42309>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Helena Polsterová, Csc.
- [16] DAĐOUREK, Karel. *Uhlík a jeho modifikace* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NEkM%20Dad/6uhlik.pdf>.
- [17] Terminologie ESD. In: [online]. 2010 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <<http://www.antistatika.cz/slovník-antistatiky/terminologie-esd/>>.
- [18] VOJTĚCH, L. a J. HÁJEK. Měření elektromagnetické stínící účinnosti planárních materiálů v pásmu 100 kHz až 1,5 GHz. In: *Měření elektromagnetické stínící účinnosti planárních materiálů v pásmu 100 kHz až 1,5 GHz* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 26.03.2010 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010030006>>
- [19] ČSN EN ISO 527. *Plasty – Stanovení tahových vlastností*. Praha: Český normalizační institut, 1997, 34 s.
- [20] ČSN EN ISO 178. *Plasty – Stanovení ohybových vlastností*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 12 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°C	stupeň Celsia
A	Ampér (jednotka el. proudu)
A	Ztráty absorpce vysokofrekvenční energie v dané bariéře
A.s	Ampérsekunda
A.V ⁻¹	Ampér na Volt
A.V ⁻¹ m ⁻¹	Ampér na Volt a metr
A _o	Označení plochy průřezu
B	Vícenásobné odrazy uvnitř bariéry
C	Coulomb (jednotka el. náboje)
C	Kapacitance
D	Vzdálenost elektrod – tloušťka vzorku
D	Průměr částic
E	Intenzita el. pole
E	Modul pružnosti
E ₀	Aktivační energie vodivosti
E _i	Dopadající intenzita elektrického pole (bez stínění)
E _i	Prošlá intenzita elektrického pole (stíněná)
F	Plocha styku elektrod se vzorkem
F	Faktor maximálního uspořádání částic
G	Vodivost
H _i	Intenzita magnetického pole bez stínění
H ₁	Intenzita magnetického pole se stíněním
GHz	Gigahertz
I	El. proud

I/S _v	Plošná hustota proudu
J	Joule
J	Proudová hustota
K	Konstanta související s povrchovým napětím mezi částicemi a polymerem.
L _C	Vzdálenost mezi částicemi
L _o	Označení délky
L _{mi}	Výkonová úroveň se stíněním
L _{m1}	Výkonová úroveň bez stínění
M	Modul matrice v tlaku
MHz	Megahertz
N	Newton
N.C ⁻¹	Newton na Coulomb
Nm	Newton metr
P	Elektrická polarizace
PA	Polyamid
PVAC	Polyvinylacetate
PVC	Polyvinylchlorid
Pz	Měrné dielektrické ztráty
Q	El. náboj
R	El. odpor
R	Ztráty jednoduchým odrazem bariéry
R	Celkový odpor soustavy: elektrody – vzorek
R _C	Relativní odpor vodivých částic
R _M	Relativní odpor směsi (vlákna částicemi)
R _V	Relativní odpor původního vlákna

S	Siemens (jednotka vodivosti)
S	Tlakové napětí v systému
$S.m^{-1}$	Siemens na metr
S_0	Objemová vodivost
SE	Bariérová efektivita
S_v	Plocha příčného průřezu
Tg	Teplota skelného přechodu
U	El. napětí
U/l_v	Intenzita elektrického pole
UP-R	Nenasycená polyesterová pryskyřice
V	Volt (jednotka el. napětí)
v	Rychlost náboje
$V.m^{-1}$	Volt na metr
V_0	Perlokační práh
VC	Volt Coulomb
V_k^+	Kritický objem vakance
X, γ	Paprsek ultrafialového světla
ΔU	Aktivní energie přechodu iontů přes různé stavy
Z_0	Impedance vákua
Z_M	Impedance uvažovaného elektromagnetického stínění
d	Tloušťka bariéry
dB	Decibel
dQ	Rozdíl náboje
dt	Časová změna
$\frac{dQ}{dt}$	Celková rychlost transportu náboje

ϵ_d	Dielektrická konstanta
f	Poměrný volný objem
f_0	Poměrný objem při teplotě zlomu T_0
g	Konstanta
kV/mm	Kilo Volt na milimetr
l_v	Délka vlákna
m_C	Celková hmotnost
m_K	Hmotnost koncentrátu
m_P	Hmotnost pryskyřice
m_{PD}	Hmotnost pryskyřice dodané
m_{PK}	Hmotnost pryskyřice v koncentrátu
m_{P+T}	Hmotnost pryskyřice a tužidla
m_T	Hmotnost tužidla
m_U	Hmotnost uhlíkových sazí
$m \cdot s^{-1}$	Jednotka rychlosti
mm	milimetr
$mol \cdot m^{-3}$	Jednotka koncentrace
n	Koncentrace
nm	nanometr
q	Náboj
s	sekunda
$tg \delta$	Ztrátový činitel
u_p	Pohyblivost nositelů náboje
v_f	Objemový podíl částic
α_f	Teplotní koeficient poměrného volného objemu

$\alpha_{f,G}$	Teplotní roztažnost volného objemu
δ	Ztrátový úhel
$\varepsilon'' = \varepsilon' \cdot \text{tg } \delta$	Ztrátové číslo
ε_0	Permitivita vakua
ε_{at}	Poměrná deformace při mezi pevnosti
κ	Měrná (specifická) vodivost látky
μm	mikrometr
ρ	Jednotka rezistivity
σ	Sigma (jednotka měrné el. vodivosti látky)
σ_0	Předexponenciální faktor mající význam konduktivity
σ_0	Vodivost na perlokačním prahu
σ_C	Vodivost částic
σ_E	Vodivost vlákna
σ_F	Vodivost při maximální uspořádanosti vodivých částic
κ_0	Frekvenční faktor
$\bar{\sigma}_m$	Mez pevnosti
Ω	Ohm (jednotka el. odporu)
$\Omega \cdot \text{cm}$	Ohm centimetr
$\mu_p (m^2 V^{-1} s^{-1})$	Konstanta úměrnosti (jednotka konstanty úměrnosti)
ω	Hmotnostní podíl fáze v nekonečném shluku.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Klasifikace kompozitních materiálů [1]	14
Obr. 2 Vlastnosti složek kompozitů [7]	15
Obr. 3 Fázové rozhraní vlákno – matrice [7].....	16
Obr. 4 Pevnost v tahu v polárním diagramu [7]	16
Obr. 5 Epoxidové pryskyřice [6]	18
Obr. 6 Odezva látek na působení elektrostatického pole E. [5].....	22
Obr. 7 Závislost měrné elektrické vodivosti některých polymerů na teplotě (arrheniovské souřadnice) [5].....	25
Obr. 8 Průřez vodičem [10]	30
Obr. 9 Odporový dělič [2].....	31
Obr. 10 Zapojení do můstku [2].....	31
Obr. 11 Triboelektrická řada [10]	38
Obr. 12 Směs epoxidové pryskyřice a tužidla	43
Obr. 13 Uhlíková tkanina.....	45
Obr. 14 Přichystané uhlíkové tkaniny pro nanášení pryskyřice	46
Obr. 15 Vytlačovací váleček.....	50
Obr. 16 Univerzální trhací stroj Zwick 1456.....	53
Obr. 17 Měřicí přístroj ELECTRON IZO 2500PC.....	55
Obr. 18 Přípravek pro měření vodivosti	55
Obr. 19 Signální generátor SMF 100A	56
Obr. 20 Detektor výkonu Rohde – Schwarz NRP-Z21	56
Obr. 21 Trychtýřová hřebenová anténa DRH20-N.....	57
Obr. 22 LCR HiTESTER 3522-50	57
Obr. 23 Zapojení pro měření objemové vodivosti.....	58
Obr. 24 Vnitřní izolační odpor [2]	58
Obr. 25 Povrchový izolační odpor [2]	59
Obr. 26 Fyzikální podstata vzniku stínící účinnosti [18].....	60
Obr. 27 Grafické vyhodnocení měření stínící účinnosti u epoxidové pryskyřice	63
Obr. 28 Grafické vyhodnocení měření stínící účinnosti u polyesterové pryskyřice.....	64
Obr. 29 Frekvenční závislost střídavé konduktivity vzorků s epoxidovou pryskyřicí s měnící se koncentrací a typem sazí stanovená při teplotě 100°C.	66

Obr. 30 Frekvenční závislost ztrátového činitele vzorků s epoxidovou pryskyřicí s měnící se koncentrací a typem sazí stanovená při teplotě 100°C	67
Obr. 31 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 1	68
Obr. 32 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 2	68
Obr. 33 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 3	69
Obr. 34 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 4	69
Obr. 35 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek epoxid 5	70
Obr. 36 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorku epoxid 1 až epoxid 5, měřící frekvence 1 kHz	71
Obr. 37 Teplotní závislost stejnosměrné konduktivity, vzorku 1 epoxid 1 až epoxid 5	71
Obr. 38 Teplotní závislost stejnosměrné konduktivity, vzorku epoxid 1 až epoxid 5, zobrazení $\log \sigma$ vs. $1000/T$	72
Obr. 39 Frekvenční závislost střídavé konduktivity vzorků na bázi polyesteru s měnící se koncentrací a typem sazí stanovená při teplotě 100°C	73
Obr. 40 Frekvenční závislost ztrátového činitele vzorků na bázi polyesteru s měnící se koncentrací a typem sazí stanovená při teplotě 100°C	73
Obr. 41 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 0,6	74
Obr. 42 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 1,25	74
Obr. 43 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 2,5	75
Obr. 44 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 5	75
Obr. 45 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorek polyester 0,6, polyester 1,25, polyester 2,50 a polyester 5, měřící frekvence 1 kHz	76
Obr. 46 Teplotní závislost stejnosměrné konduktivity, vzorek polyester 0,6, polyester 1,25, polyester 2,5 a polyester 5	76
Obr. 47 Teplotní závislost stejnosměrné konduktivity, vzorků polyester 0,6, polyester 1,25, polyester 2,5 a polyester 5, zobrazení $\log \sigma$ vs. $1000/T$	77
Obr. 48 Teplotní závislost střídavé konduktivity, vzorku polyester 2,5 měřící frekvence 1 kHz	77
Obr. 49 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 0 % obsahem uhlíku	81
Obr. 50 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 6 % obsahem uhlíku	82

Obr. 51 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 12 % obsahem uhlíku.....	82
Obr. 52 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 18 % obsahem uhlíku.....	83
Obr. 53 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 0 % obsahem uhlíku.....	83
Obr. 54 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 6 % obsahem uhlíku.....	84
Obr. 55 Závislost průběhu napětí na poměrné deformaci pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 12 % obsahem uhlíku.....	85
Obr. 56 Závislost modulu pružnosti na obsahu uhlíku v měřících vzorcích z epoxidové pryskyřice.....	86
Obr. 57 Závislost modulu pružnosti na obsahu uhlíku v měřících vzorcích z polyesterové pryskyřice	86
Obr. 58 Závislost meze pevnosti na obsahu uhlíku v měřících vzorcích z epoxidové pryskyřice	87
Obr. 59 Závislost meze pevnosti na obsahu uhlíku v měřících vzorcích z epoxidové pryskyřice	87

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Klasifikace elektricky vodivých látek [5].....	24
Tab. 2 Podrobnější klasifikace elektricky vodivých látek [5]	25
Tab. 3 Koncentrace a pohyblivost nositelů náboje [5]	27
Tab. 4 Konduktivita některých polymerů [5]	28
Tab. 5 Laminační pryskyřice L 285	42
Tab. 6 Mechanická data nezesílené pryskyřice	42
Tab. 7 Vlastnosti nevytvrzené pryskyřice AROPOL G 105 E [Příloha P II]	43
Tab. 8 Vlastnosti vytvrzené pryskyřice AROPOL G 105 E [Příloha P II].....	44
Tab. 9 Hmotnostní podíl jednotlivých složek u epoxidové pryskyřice	49
Tab. 10 Hmotnostní podíl jednotlivých složek u polyesterové pryskyřice.....	50
Tab. 11 Technické parametry Univerzální trhacího stroje Zwick 1456	54
Tab. 12 Tabulka naměřených hodnot stínící účinnosti u epoxidové pryskyřice	62
Tab. 13 Tabulka naměřených hodnot stínící účinnosti u epoxidové pryskyřice	62
Tab. 14 Tabulka naměřených hodnot stínící účinnosti u polyesterové pryskyřice	63
Tab. 15 Tabulka naměřených hodnot stínící účinnosti u polyesterové pryskyřice	64
Tab. 16 Popis složení měřících vzorků s epoxidovou pryskyřicí	65
Tab. 17 Popis složení měřících vzorků s polyesterovou pryskyřicí	66
Tab. 18 Tabulka naměřených hodnot	78
Tab. 19 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 0 % obsahem uhlíku.....	79
Tab. 20 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 6 % obsahem uhlíku.....	79
Tab. 21 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 12 % obsahem uhlíku.....	79
Tab. 22 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z epoxidové pryskyřice s 18 % obsahem uhlíku.....	80
Tab. 23 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 0 % obsahem uhlíku.....	80
Tab. 24 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 6 % obsahem uhlíku.....	80
Tab. 25 Tabulka naměřených hodnot zkoušky ohybem pro vzorek z polyesterové pryskyřice s 12 % obsahem uhlíku.....	80

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I: Technický list pryskyřice L 285
- Příloha P II: Technický listy pryskyřice AROPOL G 105 E
- Příloha P III: Technický list Milled carbon fibre
- Příloha P IV: Technický list Norpol 420-100
- Příloha P V: Technický list Carbon Black VXC72
- Příloha P VI: Technický list Carbon Black VXC605
- Příloha P VII: Technický list Carbon Black

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ LIST PRYSKYŘICE L 285

L A M I N A Č N Í P R Y S K Y Ř I C E L 285

T U Ž I D L A 285, 286, 287

Návod k použití, technické listy

Charakteristika

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

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ LIST PRYSKYŘICE L 285**Specifikace**

		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

		Tužidlo 285	Tužidlo 286	Tužidlo 287
Hustota	g/cm³ / 25 °C	0,94 - 0,97	0,94 - 0,97	0,93 - 0,96
Viskozita	mPas / 25 °C	50 - 100	60 - 100	80 - 100
Aminové číslo	mg KOH / G	480 - 550	450 - 500	450 - 500
Barva	Gardner	max 3 (*)	max 3 (*)	max 3 (*)

(*) Vztahuje se pouze k průsvitnému tužidlu - tužidla mají průsvitně modrou barvu

Podrobnosti pro zpracování

	Pryskyřice L 285	Tužidlo 285	Tužidlo 286	Tužidlo 287
Průměrná EP - hodnota	0,62	-	-	-
Průměrný ekvi- valent aminu	-	64	64	64

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ LIST PRYSKYŘICE L 285**Míchací poměry**

	Pryskyřice L 285: Tužidlo 285, 286, 287
Složky váhově	100 : 40 (+/-2)
Složky objemově	100 : 50 (+/-2)

Gel time

- nános do vrstvy 1 mm při různých teplotách

	Tužidlo 285	Tužidlo 286	Tužidlo 287
20 - 25 °C	přibl. 2 - 3 hod.	přibl. 3 - 4 hod.	přibl. 5 - 6 hod.
40 - 45 °C	přibl. 45 - 60 min.	přibl. 60 - 90 min.	přibl. 80 – 120 min

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST PRYSKYŘICE AROPOL G 105 E

Ashland Composite Polymers

AROPOL

Technický list
 CPD 22072002
 Bezpečnostní list skupina "R1001"

AROPOL™ G 105 E

POPIS VÝROBKU

AROPOL G 105 E je netixotropní, předurychlená, nízkoviskozní, nenasyčená polyesterová pryskyřice na bázi ortoftalové kyseliny.

APLIKACE

Pryskyřice AROPOL G 105 E je zejména doporučována pro vstřikování do formy a tvarování ve formě za studena.

Při výrobě laminátů silnějších než 7 mm se doporučuje použít 1,3% Trigonoxu 75. Doba želatinace je totožná jako při použití 1% MEK peroxidu avšak s nižší exothermou.

Pro dosažení velmi rychlého vytvrzení tenkých laminátů lze z poloviny nebo úplně nahradit MEK peroxid AAP - acetyl aceton peroxidem, např. Trigonox 44B.

VLASTNOSTI

Vlastnosti nevytvrzené pryskyřice AROPOL G 105 E	Nominální hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Číslo kyselosti	19	mg KOH/g	ISO 2114
Viskozita při teplotě 23°C Brookfield (RVT, sp2, 10 rpm)	180	mPas	ISO 2555
Viskozita při teplotě 23°C Cone & Plate	180	mPas	ISO 2884
Obsah styrenu	41	%	SFS 4864
Hustota	1,1	kg/dm ³	ISO 2811
Doba želatinace při 23°C (1% MEK-peroxid)	13	min.	INTERNÍ D006
Vrchol exothermy při 23°C (1% MEK-peroxid)	120	°C	INTERNÍ D006

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST PRYSKYŘICE AROPOL G 105 E

Ashland Composite Polymers		AROPOL™	
Vlastnosti vytvrzené pryskyřice AROPOL G 105 E	Nominální hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Tvrdość	45	Barcol	ASTM D2583
Tvarová stálost za tepla (HDT; 1,81 MPa)	66	°C	ISO 75 Metoda A
Pevnost v ohybu	90	MPa	ISO 178
Modul pružnosti v ohybu	4 100	MPa	ISO 178
Pevnost v tahu	55	MPa	ISO 527
Modul pružnosti v tahu	3 600	MPa	ISO 527
Prodloužení při přetržení	2,0	%	ISO 527
Absorpce vody			
24 hod (vzorek 50x50x4mm)	19	mg/vzorek	ISO 62-80
28 dní (vzorek 50x50x4mm)	90	mg/vzorek	ISO 62-80

OSVĚDČENÍ A SCHVÁLENÍ

Pryskyřice AROPOL G 105 E je schválena společností Lloyd's Register a Det Norske Veritas pro stavbu člunů.

MANIPULACE A POUŽITÍ

Materiál doporučujeme skladovat při stabilní teplotě do 20°C ve vnitřních prostorech, mimo dosah přímého slunečního záření. Delší skladování nebo skladování za jiných, než doporučených podmínek, může ovlivnit vlastnosti nevytvrzené pryskyřice, např. viskozitu, dobu želatinace. Před použitím doporučujeme pryskyřici řádně promíchat. Doba skladování pryskyřice AROPOL G 105 E je šest (6) měsíců.

K tomuto výrobku je přiřazen Bezpečnostní list třída "R1001". Uživatel je zodpovědný za seznámení se s bezpečnostními instrukcemi a instrukcemi pro manipulaci před použitím výrobku.

OSVĚDČENÍ O KVALITĚ

Výrobky jsou vyráběny a distribuovány firmou Ashland Finland Oy plně v souladu se systémem řízení jakosti a požadavky norem ISO 9001 (2000), ISO 14001 (1996) a normy pro ochranu zdraví a bezpečnost práce OHSAS (1999). Systém je certifikován firmou Det Norske Veritas.

PŘÍLOHA P III: TECHNICKÝ LIST MILLED CARBON FIBRE

HAVEL COMPOSITES CZ s.r.o.
Svéšedlice 67
783 54 Přáslavice
tel.: +420 585 129 011
fax: +420 585 129 040
info@havel-composites.cz
www.havel-composites.com
IČ: 25907379
DIČ: CZ25907379

TECHNICKÝ LIST**Technické údaje****MILLED CARBON FIBRE**

for most thermoplastics and thermosets

Carbon content	85 %
Fibre density	1,8 +0,2 g/cm ³
Average length	220 +20 μ (0-400 μ : 93 +- 5 %)
Filament diameter	7 +-2 μm

*Informace zde uvedené vycházejí ze současných poznatků a nezakládají žádný právní v
Změny způsobené technickým pokrokem jsou možné.*

Datum vydání: 11.1.2006

Datum poslední revize:

PŘÍLOHA P IV: TECHNICKÝ LIST NORPOL 420-100

**Technický informační list
NORPOL 420-100**

POPIS

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

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI V KAPALNÉM STAVU PŘI 23°C

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	

VLASTNOSTI VÝROBKU VE VYTVRZENÉM STAVU

Vlastnost	Čistá prys.	Skleněná rohož		Jednotka	Zkušební metoda
Obsah skla	-	25-35	35-40	% 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
Tvarová 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	-	-	mJ/mm ²	ISO 179-1982

Hodnoty uvedené v tabulce byly dosaženy na laminátu vystuženém standartní práškově pojenou rohoží, ruční laminací aby se dosáhlo hodnot, srovnatelných s ostatními typy polyesterových pryskyřic.

Bezpečnostní údaje

Vše je uvedeno v Bezpečnostním listě, se kterým je nutno 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 Jotun Polymer A/S. Všechny grafy jsou na bázi průměrných hodnot s rozptylem přibližně +10%.

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

ŘÍLOHA P V: TECHNICKÝ LIST CARBON BLACK



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 - CSL
 Grade VXC72
 Customer Grade
 Quantity

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES						
Property Description	Unit	Ref	Specification Min	Individual Values		Specification Max
				Individual		
IZNO	g/kg	D-1510		251.7		
OAN	ml/100g	D-2414		173.2		
MOISTURE	%	D-1509		0.6		
RES-325	Ppm	D-1514		1		
TINT	%	D-3265		90.6		

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, ELFTX, EMPEROR, MOGUL, MONARCH, REGAL, STERLING, VULCAN, CRX, CSX and IRX are registered trademarks for Carbon Blacks produced by Cabot Corporation. Rubber results reported as difference from IRB 7.

Pallet No / Container ID 1486103
 GP3953

PŘÍLOHA P VI: TECHNICKÝ LIST CARBON BLACK



CABOT

CARBON BLACK CERTIFICATE OF ANALYSIS

Sales Order Number: SAMPLE00010044 / 1
 Customer P.O. Number: SAMPLE
 Grade: VULCAN XC605
 ASTM Code: VXC605
 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 Zlíně
 Nad Strážemi 4511
 Zlín 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	
QAN	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	23.4	75.0	86.0	86.0	86.0	105.0

Previous Shipment Data

There are no previous shipments.

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 IRX are registered trademarks for Carbon Blacks produced by Cabot Corporation. Rubber results are reported as difference from IRB7.

Pallet No / Container ID

Signature: Dick Nieuwenkamp (Laboratory Manager)

Shipping Origin

Cabot B.V.
 Botlekstraat 2
 3197 KA Botlek RT
 P.O. Box 1009
 3180 AA Rozendag ZH
 The Netherlands

Telephone: +31 (0) 181 - 291888
 Telefax accounting: +31 (0) 181 - 291840
 Telefax Sales: +31 (0) 181 - 291679
 Harbours: +31 (0) 181 - 4402
 Chamber of commerce: +31 (0) 108495 (Rotterdam)
 VAT No.: NL00218683B01

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

* = A trade mark of Cabot Corporation

PŘÍLOHA P VI: TECHNICKÝ LIST CARBON BLACK

ENSO	Iodine Absorption	Indices d'Adsorption d'Iode	Absorption	Número de Iodo	Número de Iodo	Aspirador adsorpc
STSA	Statistical Thickness Surface Area	Surface Spécifique Etienne	STSA Oberfläche	Area superficial STSA	Area Superficial STSA	Dostupný povrch
OMN	Oil Absorption Number	Indices d'Adsorption d'huile	Oil Adsorption Zahl	Número de adsorción de óleo	Número de Adsorción de Aceite	olejová absorpc
COMN	Compressed Oil Absorption Number	Indices d'Adsorption d'huile sur Noir Composé	Kompresní Oil Adsorption Zahl	Número de adsorción de óleo sul negro composto	Número de Adsorción de Aceite sobre negro compactado	Thakovaná olejová absorpc nafti
TENT	Tearing Strength	Pouvoir Collant	Farbstärke (Tint)	Pravost Capotante	Próbat Colante	Bavřelí roztavení nafti
TOL-DISC	Discoloration of Toluene (Spec 20)	Discoloration au Toluène (Spec 20)	Toluolverfärbung (Spec 20)	Coloración Tolueno a través del Negro de Carbono (Spec 20)	Discoloración por Tolueno (Spec 20)	Toluénová ztmavění (Spec 20)
TOLUENE-EXT	Toluene Extract	Extrait au Toluène	Toluol Extrakt	Extrato Toluenico	Extracto de Tolueno	Toluénový extrakt
MOISTURE	Moisture at Packing - Heat Loss of Carbon Black at 125°C	Humidité à l'emballage du noir de carbone Noir à 125°C	Feuchte zum Zeitpunkt der Verpackung - gemessen als Gesamtfeuchte bei 125 °C	Unidad del Negro de carbono afritasico - Presión a 125 °C	Humedad a la Carga del Negro de Carbono Mojada a 125°C	Vlhkost při plnění - Ztráta vlhkosti substitu (př 125°C)
DENS	Pow Density	Densité Appareur	Densität	Densità Appareur	Densidad Appareur	Sypný hmotnost
TEMPERATURE	Temperature of Carbon Black at loading	Température du Noir de Carbone au chargement	Rafinertemperatur bei Beladung	Temperatura del Negro de Carbono	Temperatura del Negro de Carbono	Teplota naft při plnění
ASH	Ash Content	Taux de Cendres	Aschgehalt	Contenido de Cenizas	Contenido de Cenizas	Obsah popela
FINES-5	Fines 5 minutes Rotag	Fines après 5 minutes sous vitesse Rotag	Feinanteil (5 Rotag)	Contenido in Polvnt a 5 minutos (Rotag)	Contenido de Finos 5' (Rotag)	Obsah prácha
PH	PH value of Carbon Black	PH du Noir de Carbone	PH-Wert	PH del Negro de Carbono	PH del Negro de Carbono	PH naft
RES-XXX	Sieve Residue (XXXMesh/YY)	Residu au tamis (XXXMesh/YY)	Siebückstand (XXXMesh/YY)	Residuo a XXXMesh/YY	Residuo al tamis XXXMesh/YY	Nedostupný na síti XXXMesh/YY
MPS	Mass Pellet Strength	Résistance à l'écrasement des granules	Partikelstärke	Punto de Impaccamento	Consistencia resistencia de los pellets	Sčítací naft vnitřní naft
PCS-MAX	Pellet Crush Strength Maximum (1.41, 7mm)	Durée des granules (Max) (mm) (7/27, 7 mm)	Einzelpartikeln, Maximum (1.41, 7 mm)	Dureza Individual de Pellet Maxima (1.41, 7mm)	Dureza Individual de Pellet Maxima (1.41, 7mm)	Tvrlost pelet: Maximální
PCS-MEAN	Pellet Crush Strength Average of 5 Highest results (1.41, 7mm)	Moyenne des 5 résultats les plus élevés (1.41, 7 mm)	Einzelpartikeln, Durchschnitt der 5 höchsten Werte (1.4-1.7 mm)	Pellet: Media de 5 pts alt (1.41, 7mm)	Dureza Individual de Pellet: Media de los 5 mejores (1.41, 7mm)	Tvrlost pelet: Průměr z 5 nejvyšších
PCS-AV	Pellet Crush Strength Average (1.41, 7mm)	Durée des granules Moyenne (1.41, 7 mm)	Einzelpartikeln, Durchschnittswert (1.4-1.7 mm)	Dureza Individual de Pellet: Media (1.41, 7mm)	Dureza Individual de Pellet: Media (1.41, 7mm)	Tvrlost pelet: Průměr z 20 měření
TCS9	Rheometer Cure Rate: Time to 30%MH	Rheomètre: Temps nécessaire pour 30% de vulcanisation	Rheometer Vulkanisationsgeschwindigkeit (Zeit bei 30%)	Características de velocidad de vulcanización: Tiempo al 30%	Velocidad de Vaca-erización: Tiempo al 30%	Rheometer MDR 2000 TC50
TC90	Rheometer Cure Rate: Time to 90%MH	Rheomètre: Temps nécessaire pour 90% de vulcanisation	Rheometer Vulkanisationsgeschwindigkeit (Zeit bei 90%)	Características de velocidad de vulcanización: Tiempo al 90%	Velocidad de Vaca-erización: Tiempo al 90%	Rheometer MDR 2000 TC90
PSD-AV	Pellet Size Distribution Average	Distribution Granulométrique: moyenne	Partikelverteilung (Durchschnitt)	Distribución Dimensiones Pellet: Media	Distribución Tamaño de Pellet: Media	Průměrná velikost granul
PSD-STD	Pellet Size Distribution Standard Deviation	Distribution Granulométrique: écart type	Partikelverteilung Standardabweichung	Distribución Dimensiones Pellet: Desviación Standard	Distribución Tamaño de Pellet: Desviación Standard	Standardní odchylka z průměrné velikosti granul
SULFUR	Sulfur Content	Taux de Soufre	Schwefel-Gehalt	Contenido de Zolfo	Contenido de Azufre	Obsah síry

PŘÍLOHA P VII: TECHNICKÝ LIST CARBON BLACK



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Prepared in accordance with ISO 11014-1/ ANSI standard
Z400.1-1998

Revision Date: 18/July/2005

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Name:	CARBON BLACK
Synonyms:	Carbon Black, Furnace Black
This SDS is valid for the following grades:	Carbon Black grade series: BLACK PEARLS®, ELFTEX®, MOGUL®, MONARCH®, REGAL®, SPHERON®, STERLING®, VULCAN®, CSX™, CRX™, IRX™, UNITED®. Oxidized grades include: BLACK PEARLS® / MOGUL® L, BLACK PEARLS® / MOGUL® E, MOGUL® H, BLACK PEARLS® / MONARCH® 1000, 1300, 1400, 1500, REGAL® 400/400R. The foregoing are trademarks of the Cabot Corporation. *Excludes: Monarch® 4750, Black Pearls® 4350/4750 and all oil pellet grades.
Use of the Substance/Preparation:	Various, Industrial Products
Supplier:	Cabot Corporation 157 Concord Road Billerica, MA 01821 UNITED STATES Tel: 1-978-670-6861 Fax: 1-978-670-6855
Emergency Telephone Number:	US: CHEMTREC 1-800-424-9300 or 1-703-527-3887 US: Cabot 1-978-863-3455 Canada: CANUTEC 1-613-996-6666 Cabot (UK): (+44) 1446.736899

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Chemical Name	CAS Number	EINECS Number	Weight %	EU Classification
Carbon Black	1333-86-4	215-629-9	100	None

3. HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW - CAUTION:	Black powder or pellets. Dust may be irritating to eyes and respiratory tract. Do not expose to temperatures above 300°C. Hazardous products of decomposition and/or combustion can include carbon monoxide, carbon dioxide, oxides of sulfur, and organic products of decomposition.
Principle Routes of Exposure:	Inhalation, Eye contact, Skin contact
POTENTIAL HEALTH EFFECTS	
Eye Contact:	May cause mechanical irritation. Irritating, but will not permanently injure eye tissue. Low hazard for usual industrial or commercial handling.
Skin Contact:	No adverse effects expected.
Inhalation:	Dust may be irritating to respiratory tract. Provide appropriate exhaust ventilation at machinery and at places where dust can be generated. See also Section 8.

PŘÍLOHA P VII: TECHNICKÝ LIST CARBON BLACK

Product Name: BLACK PEARLS® 120F Cabot Corporation Revision Date: 16/July/2005 Page 2 of 10
 Product Code: BP120F

Ingestion: Health injuries are not known or expected under normal use. Low hazard for usual industrial or commercial handling.

Carcinogenic Effects: Substance listed by IARC (International Agency for Research on Cancer). See also Section 11.

Target Organ Effects: Lungs

Medical Conditions Aggravated by Exposure: Asthma, Respiratory disorder

Potential Environmental Effects: No special environmental precautions required. Not soluble in water. See also Section 12.

4. FIRST AID MEASURES

Skin Contact: Wash thoroughly with soap and water. Seek medical attention if symptoms develop.

Eye Contact: Flush eyes immediately with large amounts of water for 15 minutes. Seek medical attention if symptoms develop.

Inhalation: If cough, shortness of breath or other breathing problems occur, move to fresh air. Seek medical attention if symptoms persist. If necessary, restore normal breathing through standard first aid measures.

Ingestion: Do not induce vomiting. If conscious, give several glasses of water. Never give anything by mouth to an unconscious person.

Notes to Physician: Treat symptomatically.

5. FIRE AND IGNITION INFORMATION

Flash Point: Not applicable

Explosion Limits in Air - Upper (%): Not determined

Explosion Limits in Air - Lower (%): 50 g/m³ (dust)

OSHA Flammability Classification: Not applicable

Autoignition Temperature: > 140°C (transport)

Method: IMDG-Code

Minimum Ignition Temperature: > 500°C (BAM Furnace) VDI 2263
> 315°C (Godberg-Greenwald Furnace) VDI 2263

Dust Explosion Classification: ST 1 (VDI 2263)

Minimum Ignition Energy: > 10,000 mJ

Method: VDI 2263

Maximum Absolute Explosion Pressure: 10 bar at an initial starting pressure of 1 bar. Higher starting initial pressures will yield higher explosion pressures.

Method: VDI 2263

Ignition Energy: > 1 kJ

Method: VDI 2263

Burn Velocity: > 45 seconds
(not classifiable as "Highly Flammable", or "Easily Ignitable")

Maximum Rate of Pressure Rise: 30 - 400 bar/sec

Method: VDI 2263 and ASTM E1226-88

PŘÍLOHA P VII: TECHNICKÝ LIST CARBON BLACK

Cabot Corporation
 Product Name: BLACK PEARLS® 120F Product Code: BP120F Revision Date: 18/July/2005 Page 3 of 10

Extinguishing Media:	Use foam, carbon dioxide (CO ₂), dry chemical or water spray. A fog is recommended if water is used. DO NOT USE a solid water stream as it may scatter and spread fire.
Special Protective Equipment for Firefighters:	Wear suitable protective equipment. In the event of fire, wear self-contained breathing apparatus.
Specific Hazards:	It may not be obvious that carbon black is burning unless the material is stirred and sparks are apparent. Carbon black that has been on fire should be observed closely for at least 48 hours to ensure no smoldering material is present. Burning produces irritant fumes. The product is insoluble and floats on water. If possible, try to contain floating material. This material creates a fire hazard because it floats on water.
Hazardous Decomposition and/or Combustion Products:	Carbon monoxide, Carbon dioxide, Oxides of sulphur, Organic products of decomposition.
Risk of Dust Explosion:	Do not create a dust cloud by using a brush or compressed air.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Personal Precautions:	CAUTION: Wet carbon black produces slippery walking surfaces. Avoid dust formation. Ensure adequate ventilation. Use personal protective equipment. See also Section 8.
Methods for Cleaning Up:	Clean up promptly by vacuum. Use of a vacuum with high efficiency particulate air (HEPA) filtration is recommended. Do not create a dust cloud by using a brush or compressed air. Pick up and transfer to properly labelled containers. See Section 13.
Environmental Precautions:	Do not allow material to contaminate ground water system. The product is insoluble and floats on water. If possible, try to contain floating material. Local authorities should be advised if significant spillages cannot be contained.

7. HANDLING AND STORAGE

Handling:	Avoid contact with skin and eyes. Do not breathe dust. Provide appropriate exhaust ventilation at machinery and at places where dust can be generated. Do not create a dust cloud by using a brush or compressed air. Take precautionary measures against static discharge. All metal parts of the mixing and processing equipment must be earthed/grounded. Ensure all equipment is electrically earthed/grounded before beginning transfer operations. Fine dust is capable of penetrating electrical equipment and may cause electrical shorts.
Storage:	Keep in a dry, cool and well-ventilated place. Keep away from heat and sources of ignition. Do not store together with strong oxidizing agents. Do not store together with volatile chemicals as they may be adsorbed onto product. Keep in properly labeled containers.

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

EXPOSURE LIMITS

The table below is a summary. Please see the specific legislation for complete information.

PŘÍLOHA P VII: TECHNICKÝ LIST CARBON BLACK

Cabot Corporation

Product Name: BLACK PEARLS® 120F Product Code: BP 120F Revision Date: 18/July/2005 Page 4 of 10

Carbon Black, CAS RN 1333-86-4:	Australia:	3.0 mg/m ³ , TWA
	Belgium - OEL:	3.6 mg/m ³ , TWA
	Canada:	3.5 mg/m ³ , TWA
	Finland:	3.5 mg/m ³ , TWA
		7.0 mg/m ³ , STEL
	France - INRS:	3.5 mg/m ³ , TWA/VME
	Germany - TRGS 900:	3.0 mg/m ³ , respirable TWA
		10.0 mg/m ³ , inhalable TWA
	Germany - MAKs:	1.5 mg/m ³ , respirable TWA
		4.0 mg/m ³ , inhalable TWA
	Ireland:	3.5 mg/m ³ , TWA
		7.0 mg/m ³ , STEL
	Italy - OEL:	3.5 mg/m ³ , TWA
	Korea:	3.5 mg/m ³ , TWA
	Netherlands - MAC:	3.5 mg/m ³ , TWA
	Norway:	3.5 mg/m ³ , TWA
	Spain:	3.5 mg/m ³ , TWA
	Sweden - TLV:	3.0 mg/m ³ , TWA
	United Kingdom - WEL:	3.5 mg/m ³ , inhalable TWA (a)
		7.0 mg/m ³ , inhalable STEL
	US ACGIH - TLV:	3.5 mg/m ³ , TWA
	US OSHA - PEL:	3.5 mg/m ³ , TWA

Note: Unless otherwise indicated as "respirable" or "inhalable", the exposure limit represents a "total" value. The inhalable exposure limit has been demonstrated to be more restrictive than the total exposure limit, by a factor of approximately 3.

(a) - In its facilities globally, Cabot Corporation manages to the United Kingdom WEL of 3.5 mg/m³ inhalable TWA.

INRS: Institut National de Recherche et de Sécurité (National Institute of Research and Security)
 MAC: Maximal Aanvaarde Concentratie (Maximum allowed concentration)
 MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration (Maximum Workplace Concentration)
 OEL: Occupational Exposure Limit
 PEL: Permissible Exposure Limit
 STEL: Short Term Exposure Limit
 TLV: Threshold Limit Value
 TRGS: Technische Regeln für Gefahrstoffe (Technical Rule for Hazardous Materials)
 TWA: Time Weighted Average
 US ACGIH: United States American Conference of Governmental Industrial Hygienists
 US OSHA: United States Occupational Health and Safety Administration
 VME: Valeur Moyenne d'Exposition (Average Level of Exposure)
 WEL: Workplace Exposure Limit

ENGINEERING CONTROLS | Ensure adequate ventilation to maintain exposures below occupational limits.
 Provide appropriate exhaust ventilation at machinery and at places where dust can be generated.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

PŘÍLOHA P VII: TECHNICKÝ LIST CARBON BLACK

Cabot Corporation

Product Name: BLACK PEARLS® 120F Product Code: BP120F Revision Date: 18/July/2005 Page 5 of 10

Respiratory Protection:	An approved air-purifying respirator (APR) for particulates may be permissible where airborne concentrations are expected to exceed occupational exposure limits. Protection provided by air-purifying respirators is limited. Use a positive-pressure, air supplied respirator if there is any potential for uncontrolled release, exposure levels are not known, or any circumstances where air-purifying respirators may not provide adequate protection. Use of respirators must include a complete respiratory protection program in accordance with national standards and current best practices. The following agencies/organizations approve respirators and/or criteria for respirator programs: US: NIOSH approval under 42 CFR 84 required. OSHA (29 CFR 1910.134). ANSI Z88.2-1992 (Respiratory Protection). EU: CR592 Guidelines for the Selection and Use of Respiratory Protection. Germany: DIN/EN 143 Respiratory Protective Devices for Dusty Materials. UK: BS 4275 Recommendations for the Selection, Use and Maintenance of Respiratory Protective Equipment. HSE Guidance Note HS (G)53 Respiratory Protective Equipment.
Hand Protection:	Wear protective gloves to prevent soiling of hands.
Eye Protection:	Wear eye/face protection. Safety glasses with side-shields. Goggles.
Skin and Body Protection:	Wear suitable protective clothing. Wash clothing daily. Work clothing should not be allowed out of the workplace.
Other:	Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Emergency eyewash and safety shower should be located nearby.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance:	Black Powder or Pellets
Odor:	None
pH:	4 - 11 [50 g/l water, 68°F (20°C)] (non-oxidized carbon black) 2 - 4 (oxidized carbon black)
Vapor Pressure:	Not determined
Boiling Point/Range:	Not applicable
Melting Point/Range:	Not applicable
Water Solubility:	Insoluble
Density:	1.7 - 1.9 g/cm ³ @ 20°C
Bulk Density:	20 - 550 kg/m ³
Specific Gravity:	Not determined
% Volatile (by Weight):	< 2.5% @ 950°C (non-oxidized carbon black) 2 - 11% (oxidized carbon black)