

Podlahové krytiny s elektrickou vodivostí

Electric conductive floor coverings

Petra Kavanová

Diplomová práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání diplomové

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Petru Ponížilovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a návrhy při získávání a zpracování výsledků této diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně, 10. 12. 2004

.....

jméno diplomanta

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá elektrickou vodivostí podlahových krytin. Jedná se o lisovanou elektrostaticky vodivou podlahovou krytinu vyrobenou firmou Fatra Napajedla. Podlahovina je určena pro aplikace do prostor s požadavkem na elektrostaticky vodivé provedení podlahy, např. prostory s nebezpečím výbuchu, laboratoře, ve zdravotnictví (RTG – pracoviště, operační sály, přípravný).

Na vzorku podlahové krytiny s obchodním názvem ELEKTROSTATIK byl proměřován odpor podle normy ČSN EN 1081. Také byla sledována závislost odporu na teplotě, vlhkosti a přitlačné síle. Prověřovala se homogenita vzorku a reprodukovatelnost měření. Byla zjištěna nedostatečná reprodukovatelnost měření u zkoumané podlahoviny.

Abstract

Master thesis deals with electrical conductivity of floor coverings. It is concerning moulded electro – statically conductive floor coverings made by the company Fatra Napajedla. This floor covering is designed for applications in spaces requiring electro – statically conductive floor covering execution, such as, for instance, in rooms with explosion hazard, laboratories, in medical objects (x – ray workplaces, operation halls, preparatory rooms).

Resistance was gauged within floor coverings with trade name ELEKTROSTATIK according to ČSN EN 1081 regulation. Consequently dependence resistance on temperature, humidity and pressure force was tested. Homogeneity of sample and reproducibility was examined, too. Inefficient reproducibility of measurement within examined floor covering was found out.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	8
1.1 Charakteristika zkoušené podlahové krytiny	8
1.2 Měření vodivosti	12
1.3 Studie elektrických a mechanických vlastností polyvinylchloridu smíchaného s elektricky vodivými aditivami	15
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	20
2.1 Popis měřeného materiálu	20
2.1.1 Saze.....	21
2.1.2 PVC – polyvinylchlorid.....	23
2.2 Norma ČSN EN 1081.....	24
2.3 Přístroje	25
2.3.1 Sonda P.....	25
2.3.2 Trojnožková elektroda.....	26
2.3.3 Vodivá podložka.....	27
2.3.4 Elektrické měření.....	27
2.4 Postup měření	27
2.5 Nastavení přitlačné síly	29
2.6 Měření.....	30
2.6.1 Vliv přitlačné síly na odpor	30
2.6.2 Volt – ampérová charakteristika.....	31
2.6.3 Reprodukovatelnost měření.....	33
2.6.4 Nehomogenita.....	35
2.6.5 Vliv teploty.....	36
2.6.6 Vliv vlhkosti	38
ZÁVĚR.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	44
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	45
SEZNAM TABULEK	46

ÚVOD

V řadě průmyslových, zdravotních, výzkumných a jiných provozech, výpočetních střediscích, skladech výbušnin atd. jsou požadovány podlahy s vyšší elektrickou vodivostí, zabráňující vzniku elektrostatického náboje. Tento požadavek v minulosti byl zajišťován jen obtížně, nákladně a s malou spolehlivostí zejména v delším časovém horizontu. Vodivost syntetických bezespárých podlahovin byla dosahována použitím vodivých plniv (železných, hliníkových, měděných, grafitových, uhlíkových apod.) namísto minerálních.

Nevýhodou všech podlahovin s kovovými plnivy je často jednak nedostatečné snížení průchozího odporu, hlavně ale ztráta původně dosažené vodivosti během času vlivem oxidace kovů. Nevýhodou systémů s grafitovým plnivem je tak výrazné snížení pevnosti a dalších mechanických vlastností podlahoviny, že pro většinu provozů byly z těchto důvodů nepoužitelné.

Použití elektricky vodivých sazí se zdálo slibným řešením, nicméně k potřebnému snížení odporu při použití běžných technik míšení bylo nutno do směsi přimísit tak velké množství sazí (4- 40% podle různých patentů a know how a vždy nad 10% u obchodně nabízených podlahovin), že opět docházelo ke značnému zhoršení mechanických vlastností podlahoviny (pevnost, obrus, kluznost apod.). Příměs minerálních plniv pak nepříjemně zhoršila vodivost. Náhrada minerálních plniv plnivy vodivými nebo plnivy alespoň částečně vodivými (např. karbidem křemíku) zlepšila vodivost pouze nevýrazně. Důvodem bylo, že používané výrobní postupy neumožnily rovnoměrné rozptýlení sazí ve směsi a saze zůstávaly ve shlucích obalených polymerem.

Tyto popsané nevýhody odstraní postup, který zajistí uspořádání vodivých sazí v jakoby vláknových, řetězovitých strukturách. To umožní jednak k dosažení určitého stupně vodivosti systému použít až řádově nižšího obsahu sazí (0,2 až 3,9 hm. % pryskyřice), jednak k dosažení vyšší mechanické odolnosti systému použít výrazně větší obsah (10- 80 hm. % plniva) inertních nebo částečně vodivých plniv.

Žádané uspořádání sazí lze zajistit pouze speciálním postupem chráněným patenty společností, které vedou k zachování geometrické i fázové spojitosti pojivové infrastruktury.

K hromadění elektrických nábojů dochází na objektech, jestliže není zajištěna možnost trvalého svodu elektrických nábojů do země. Rozsah opatření před nežádoucími účinky elektrických nábojů závisí na pravděpodobnosti výskytu nebezpečného prostředí. Jedním z ochranných opatření je provedení elektrostatické vodivé podlahy. Vodivost by přitom neměla být příliš velká z bezpečnostních důvodů [4].

1 TEORETICKÁ ČÁST

Z hlediska možnosti uzemnění lze látku rozdělit podle hodnoty povrchového odporu R_o na - elektricky vodivé $R_o < 5 \times 10^4 \text{ Ohm}$; elektrostaticky vodivé $5 \times 10^4 \text{ Ohm} < R_o < 10^6 \text{ Ohm}$ a na neuzemnitelné $R_o > 10^6 \text{ Ohm}$.

K hromadění elektrických nábojů dochází na objektech, jestliže není zajištěna možnost trvalého svodu elektrických nábojů do země.

Rozsah opatření před nežádoucími účinky elektrických nábojů závisí na pravděpodobnosti jejich výskytu a na pravděpodobnosti výskytu nebezpečného prostředí. Typy jednotlivých prostředí jsou předepsány v ČSN 33 20 30 včetně jejich posuzování.

Jedním z ochranných opatření je provedení elektrostaticky vodivé podlahy [1]. Tento typ podlahy přebírá a odvádí vzniklý elektrický náboj ve velké vzdálenosti nezávisle od vodivého odkladu, čímž se zabrání akumulaci elektrostatického náboje. Proto při kontaktu lidí s kovovými předměty nevznikne elektrický výboj [6].

Elektrická vodivost podlahy se zlepší přidáním acetylenových sazí. V keramice, pryži a vinylových podlahách jsou saze jemně dispergovány v materiálu během výroby [12].

1.1 Charakteristika zkoušené podlahové krytiny

Pro účely této diplomové práce byla proměřována podlahová krytina dodaná firmou Fatra Napajedla, odštěpným závodem a.s. ALIACHEM s následující charakteristikou.

LINO FATRA je plastová podlahová krytina, která zahrnuje širokou škálu vzorů v provedení homogenním a heterogenním. Mezi její přednosti patří:

- atraktivní vzhled
- vysoká odolnost k opotřebení
- vysoká chemická odolnost povrchu
- vhodnost pro podlahové vytápění
- dobrý teplotní vjem

- snadná údržba
- odolnost proti vlivu kolečkové židle
- pokládání na pružný podklad
- vzájemná kombinovatelnost dezénů
- ekonomicky výhodná
- antialergické prostředí
- certifikovaná kvalita
- garance až 10 let

Zaměřili jsme se na homogenní podlahové krytiny, konkrétně na lisované elektrostaticky vodivé podlahové krytiny (vnitřní elektrický odpor v rozsahu $5 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6 \Omega$) – typ ELEKTROSTATIK. Podlahovina je určena pro aplikace do prostor s požadavkem na elektrostaticky vodivé provedení podlahy, např. prostory s nebezpečím výbuchu, laboratoře, ve zdravotnictví (RTG pracoviště, operační sály, přípravný), pro výrobu zdvojených podlah aj [7].



Obr. 1. Elektrostatik – podlahovina elektrostaticky vodivá

Typ	Rozměry				Hmotnost
	délka	šířka	tloušťka		
			celkem	nášlapná vrstva	
	mm	mm	mm		
krytina ELEKTROSTATI K A	608	608	1,7	homogenní	2,363
			2.0		2,780

Obr. 2. Rozměry podlahové krytiny Fatra [7]

Parametr	M. j.	Hodnota	DIN
Statická elektřina	Ω	antistatická	EN 1081
Vnitřní odpor	Ω	$5 \cdot 10^4 \div 1 \cdot 10^6$	EN 1081
Rozměrová stálost	%	< 0,40	EN 434
Flexibilita	mm	ϕ 10	EN 435
Barevná stálost	-	stupnice modré 6	EN 20105
Index šíření plamene	mm/min	max. 100	ČSN 730863

Obr. 3. Základní vlastnosti podlahové krytiny FATRA [7]

Odolnost	M. j.	Hodnota	DIN
... proti zanechání stop podrážkou	$v = 4,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $235 \text{ kW} \cdot \text{m}^2$	vynikající	
... vůči domácím chemikáliím		velmi dobrá	EN 423
... proti oděru		velmi dobrá	EN 660

Obr. 4. Odolnosti podlahové krytiny FATRA [7]

stupeň zatížení při provozu	bytová výstavba	komerční výstavba	lehký průmysl
			
mírný 	21	31	41 NOVOFLOR STANDARD DYNAMIK ELEKTROSTATIK (1,7;2,0)
střední 	22 DOMO	32 NOVOFLOR STANDARD DYNAMIK ELEKTROSTATIK (1,7;2,0)	42
vysoký 	23 DUAL NOVOFLOR EXTRA NOVOFLOR STANDARD MONA PRAKTIK DYNAMIK ELEKTROSTATIK (1,7;2,0)	33	43 DUAL NOVOFLOR EXTRA MONA ELEKTROSTATIK (2,0) PRAKTIK
velmi vysoký 		34 DUAL NOVOFLOR EXTRA MONA ELKTROSTATIK (2,0) PRAKTIK	

Obr. 5. Oblast použití podlahových krytin Fatry Napajedla [7]

V současné době existují dvě varianty pokládání elektrostatických vodivých podlahových krytin:

Varianta A

– vodivá mřížka je tvořena Cu-páskou

Varianta B

– vodivá mřížka z Cu-pásky je nahrazena kombinací vodivé penetrace a vodivého lepidla, u kterých jejich výrobce garantuje velikost vnitřního el. odporu v rozmezí $5 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^6 \Omega$.

Typ Elektrostatik spadá pod variantu A. Vodivá páska – vyrábí se z tvrdé mědi průřezu $10 \times 0,1 \text{ mm}$. Je určena k vytvoření vodivé sítě pro odvod elektrostatického náboje. Pro uložení vodivé pásky se používají lepidla disperzní vodouředitelná na bázi acetátů nebo akrylátů s vodivou složkou. Lze použít také rozpouštědlové lepidlo.

Podlahové krytiny jsou odolné proti působení běžných kyselin, louhů, solí, tuků a podmíněně odolné organickým rozpouštědlům (např. benzin). Organická rozpouštědla (aceton, toluen) způsobují bobtnání.

Podlahové krytiny je nutné chránit před potřísněním asfaltem, inkousty, anilínovými barvami, barevnými oleji, jódovou a Castelaniho tinkturou a všemi přípravky obsahujícími barviva a organická rozpouštědla. Pryžové výrobky (většinou tmavá a barevná pryž – pryžová kolečka, chrániče přístrojů, podešve obuvi atd.) při styku s podlahovou krytinou vyvolávají neodstranitelnou barevnou změnu nášlapné vrstvy, která se projeví zežloutnutím, zhnědnutím až zčernáním povrchu podlahové krytiny v místě styku s pryžovým výrobkem.

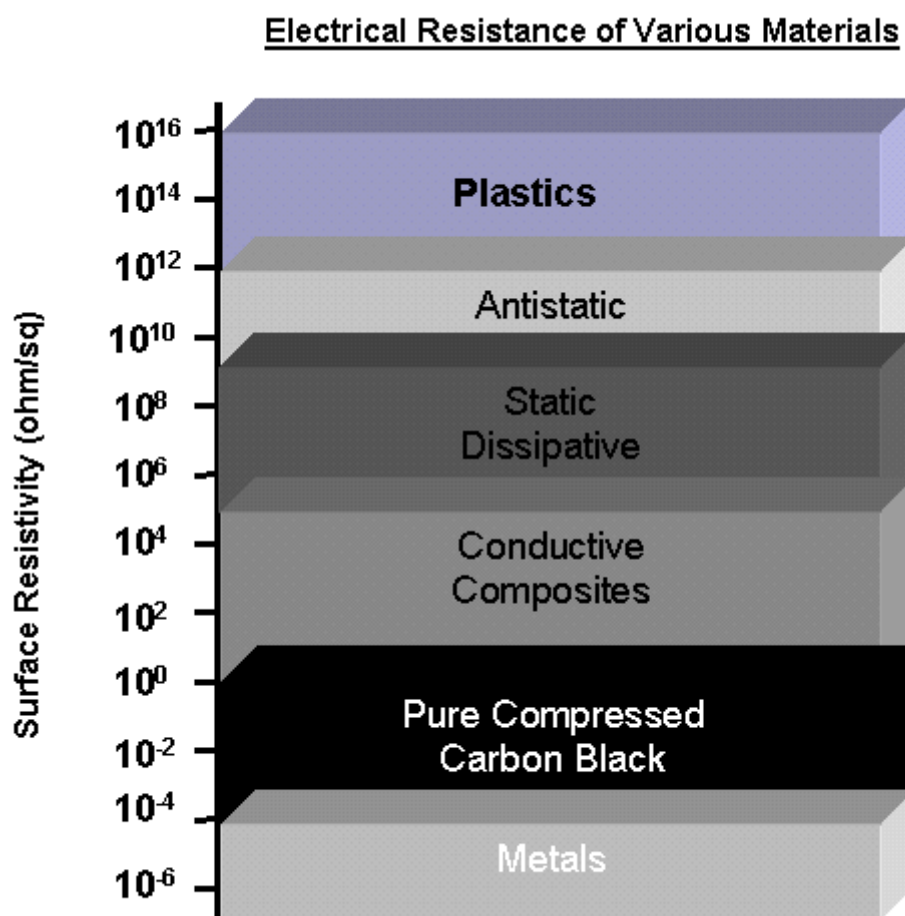
Pozn.: Hořící a doutnající předměty zanechávají na povrchu neodstranitelné skvrny [8].

1.2 Měření vodivosti

Vodivost se měří jako povrchový odpor vodivého filmu. Závisí na:

- polymerní matici
- typu vodivých sazí
- koncentraci vodivých sazí
- distribuci sazí během extruze

Zvýšená hodnota vodivosti obecně znamená snížení povrchového odporu. Obr. 6 ukazuje vnitřní odpor různých látek. Snížení vnitřního odporu polymeru se provádí přidáním vodivých látek jako např. sazí. Potřebné množství závisí na požadovaných konečných vlastnostech polymerního filmu [2].

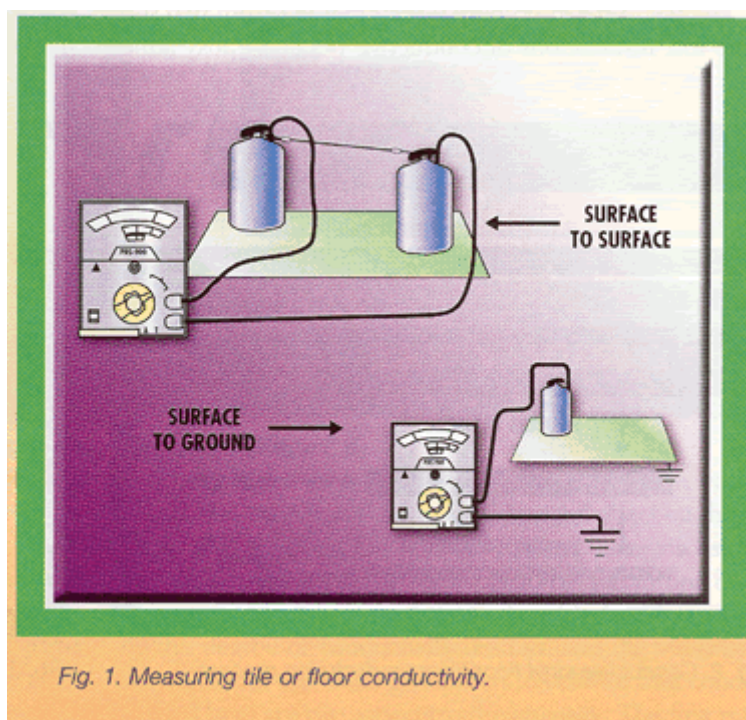


Obr. 6. Povrchová rezistivita různých materiálů [2]

Vinylové plasty jsou v současnosti dominantní plasty používané v elektrostatických podlahách. Jeho úspěch je založen na jednoduché montáži, trvanlivosti, chemické odolnosti a estetice – všechny vlastnosti jsou ve výhodném poměru mezi cenou a užitnou hodnotou.

Podle Pazura [14] byla prováděna statická kontrola vinylových dlaždic ve dvou vodivostních rozsazích. Tyto rozsahy jsou uvedeny v normách ESD STM 7.1 a ASTM F 250.1. Vodivá dlaždice je specifikovaná hodnotou povrchového odporu méně než $10^6 \Omega$, přičemž spodní limit je 25 000 ohmů. Staticky disipativní (rozptýlené) dlaždice mají odpor v rozmezí 10^6 až 10^9 ohmů, horní limit je obvykle 10^8 ohmů v komerčních výrobcích. Výběr vodivé nebo staticky disipativní dlaždice pro stanovené aplikace závisí na několika faktorech, jak již bylo zmíněno.

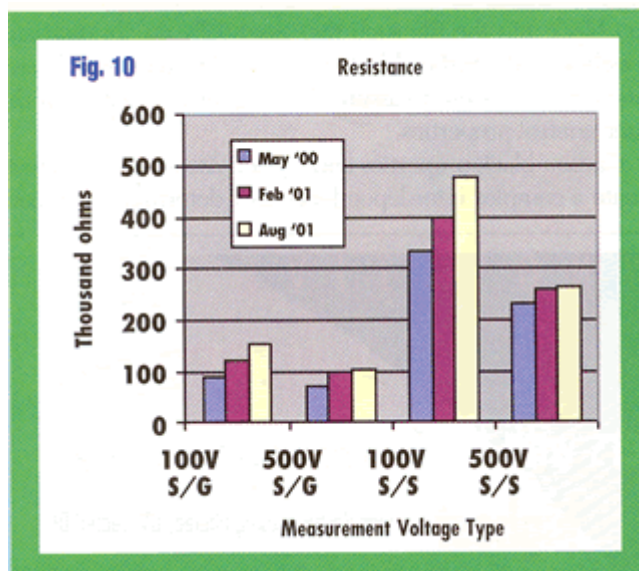
Další složkou elektrostaticky vodivé podlahy jsou vodivá lepidla. Obvykle obsahují okolo 12 – 15% sazí, tyto saze jsou zapouzdřeny do matrice a jsou úplně zataveny v povrchu podlahoviny.



Obr. 7. Schéma měření [14]

Dlaždice a povrchový odpor se měří podle ASTM F 150 nebo ESD STM 7.1. – viz Obr. 7.

Vodivost povrchu podlahy je funkcí odporu dlaždice a lepidla. Pokud má lepidlo velmi vysokou vodivost, odpor dlaždice bude určovat vodivost podlahy.



Obr. 8. Vliv napětí na vodivost podlahy [14]

Na Obr. 8 je znázorněn vliv napětí na vodivost podlahy. Měření při napětí 100 V má za následek vyšší hodnoty odporu než při napětí 500 V. Lze na tom demonstrovat, že povrch – povrch odpor je vždy větší než povrch – země odpor.

Výsledkem studie je tvrzení, že vodivost podlahy je funkcí napětí, při kterém provádíme měření a typu měření [14].

1.3 Studie elektrických a mechanických vlastností polyvinylchloridu smíchaného s elektricky vodivými aditivy

Cílem této studie bylo systematicky prozkoumat vliv přidávání zvyšujícího se množství retortových sazí s dobrou zpracovatelností - (FEF) CB – na elektrické a mechanické vlastnosti polyvinylchloridu – PVC. Bylo zkoušeno zlepšení těchto vlastností a získání dobré elektrické vodivosti vzorku.

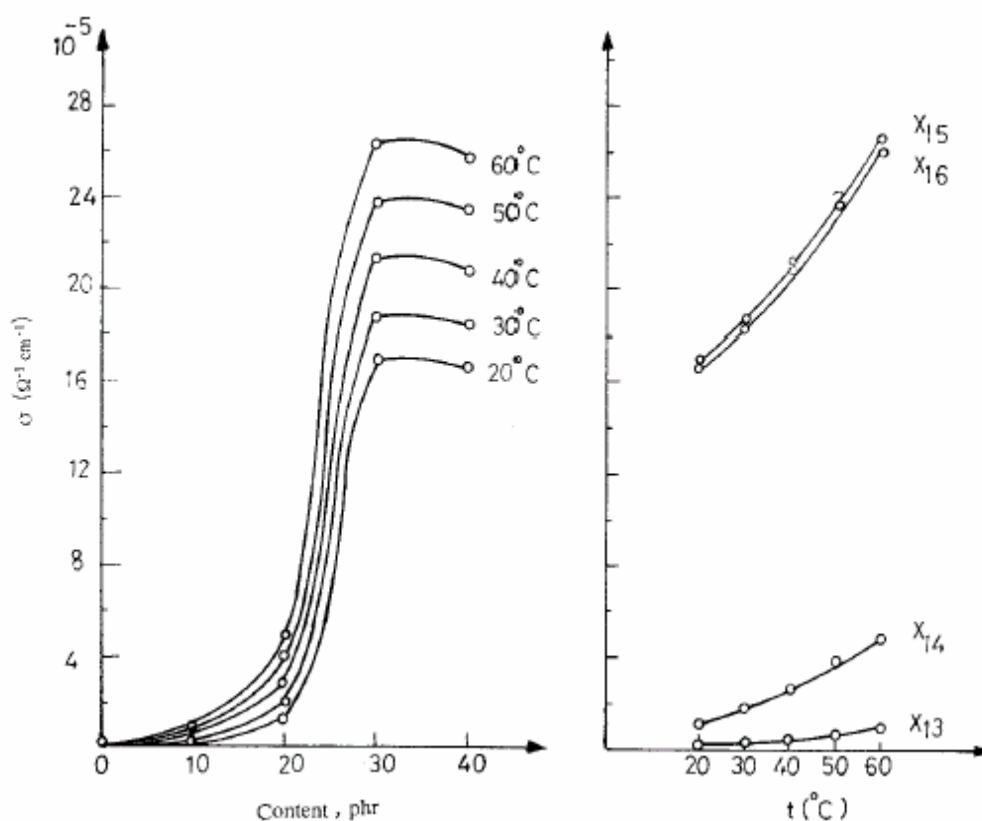
Vzorky PVC – CB (polyvinylchlorid – saze) systému byly připraveny dispergací proměnlivých poměrů CB (saze) v matrici PVC. Míchalo se při teplotě nad teplotou skelného přechodu. Připravené vzorky byly označeny jako X_0 , X_{13} , X_{14} , X_{15} a X_{16} Obr. 9.

Formulations and Mechanical Properties of PVC–CB System					
	Sample notation				
	X_0	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
Constituents parts by weight (g)					
PVC	100	100	100	100	100
FEF CB	—	10	20	30	40
Mechanical properties					
Tensile strength (N/mm ²)	20.67	45.37	26.25	4.95	—
Elongation (%)	10	15	10	5	—

Obr. 9. Mechanické vlastnosti PVC – CB systému [16]

Tahová síla a prodloužení bylo zjištěno na testovacím stroji Instron (model 1026) při 23 ± 2 °C s rychlostí posuvu 100 mm/min v souladu s ASTM D 638-77a. Výsledky jsou uvedeny v Obr. 9.

Pro vzorky z PVC – CB systému, vodivost ukazuje mnohem vyšší vzrůst s přírůstkem koncentrace CB. Nejvyšší hodnota vodivosti byla nalezena u vzorku X_{15} Obr. 10. Při stále se zvyšující se koncentraci CB jsou hodnoty vodivosti přibližně stejné.



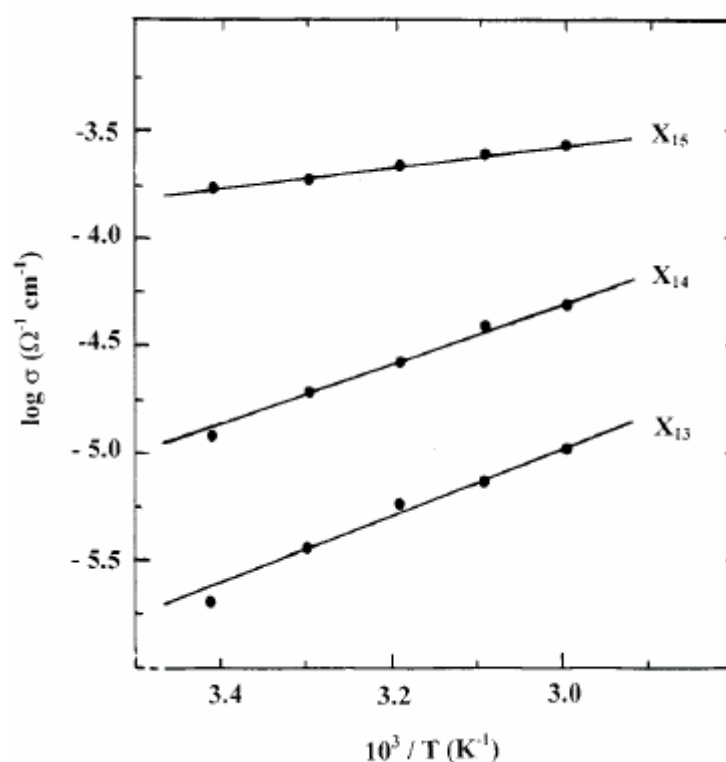
Obr. 10. Vztah mezi vodivostí (σ) a obsahem sazí nebo teplotou (T) pro matrici PVC smíchanou s FEF CB [16]

Aktivační energie (E) elektrické vodivosti byla spočítána jako vyhodnocení logaritmu vodivosti proti reciproční absolutní teplotě, kde přímka byla získána pro vzorky ze systému PVC – CB Obr. 11, přímka ukazuje sklon k chování polovodičů.

Vodivost polovodičů a izolátorů s rostoucí teplotou vzrůstá. Teplotní závislost lze popsat rovnicí Arrheniova typu

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-E/R \cdot T} \quad (1)$$

kde σ_0 je vodivost při velmi vysoké teplotě a E je aktivační energie vodivosti. U polymerů však rovnice (1) vyhovuje zpravidla jen v úzkém teplotním intervalu. Nad teplotou T_g (tj. v kaučukovité oblasti) vzrůstá vodivost amorfních a semikrystalických polymerů mnohem rychleji než pod teplotou T_g .



Obr. 11. Vztah mezi logaritmem vodivosti $\log \sigma$ a $10^3/T$ pro vzorky matrice PVC smíchané s FEF CB [16]

Pokud je aktivační energie nízká viz Obr. 12, PVC – CB systém, zvláště obsahující vyšší koncentraci CB, se stává polovodivý při pokojové teplotě.

Activation Energy of Samples of PVC–CB System	
PVC–CB System	Activation Energy
100 g PVC + 10 g CB	3.36 kcal/mol
100 g PVC + 20 g CB	2.86 kcal/mol
100 g PVC + 30 g CB	0.93 kcal/mol

Obr. 12. Aktivační energie vzorků z PVC – CB systému [16]

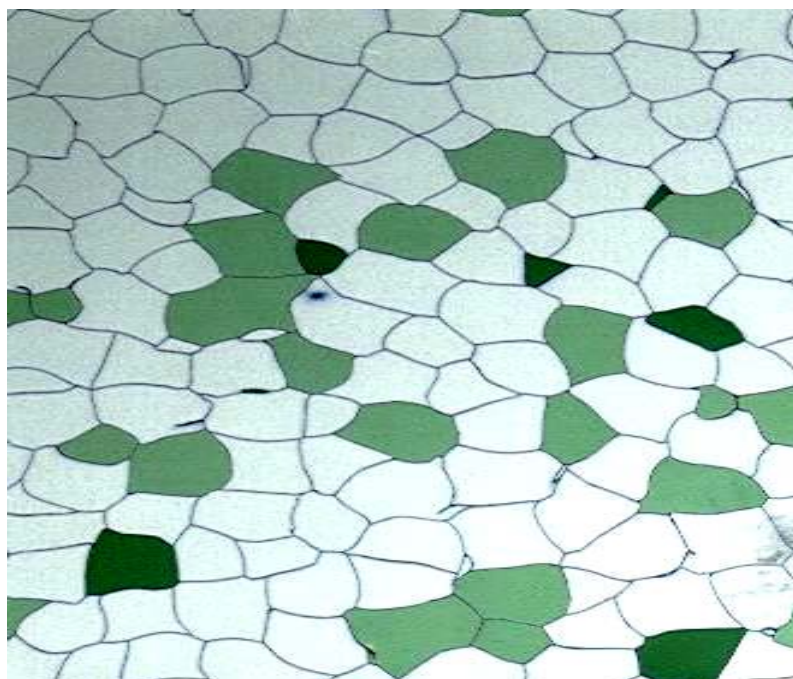
Lze konstatovat:

- vzorky PVC – CB systému obsahující vysoké množství CB mají mnohem vyšší elektrickou vodivost
- aktivací energie pro elektrickou vodivost je nízká u PVC – CB systému
- větší plnění CB přináší zhoršení mechanických vlastností (tahové síly a prodloužení); z tohoto důvodu musí být obsah CB co nejnižší [16].

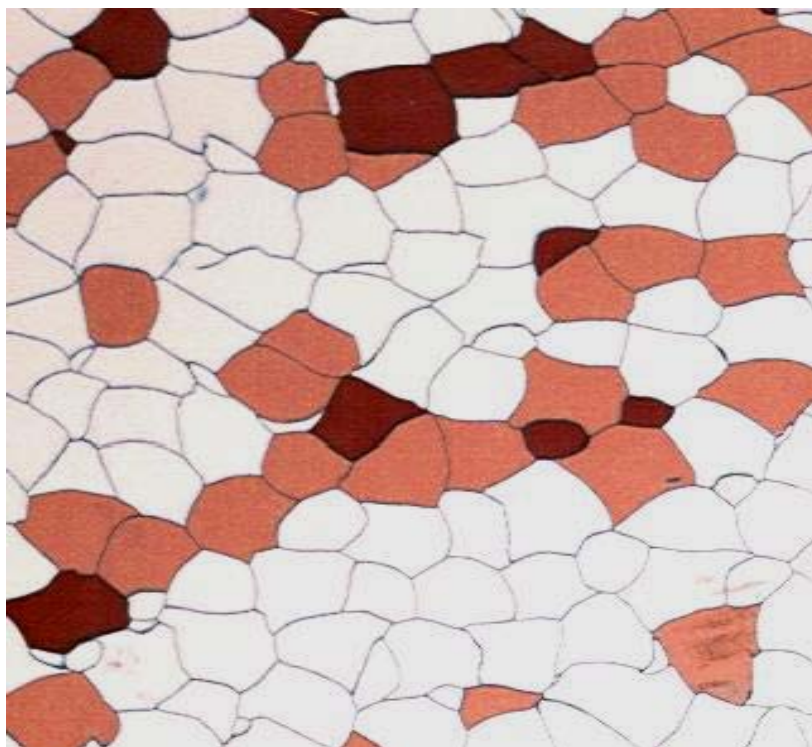
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Popis měřeného materiálu

Pro naše měření jsme použili elektrostaticky vodivou podlahovinu s obchodním názvem ELEKTROSTATIK. Jedná se o výrobek firmy Fatra Napajedla. Tato podlahovina je určena pro aplikace do prostor s požadavkem na elektrostaticky vodivé provedení podlahy, např. prostory s nebezpečím výbuchu, laboratoře, pro výrobu zdvojených podlah, ve zdravotnictví RTG pracoviště, operační sály, přípravný atd. Vyrábí se v tloušťce 1,7 – 2 mm a rozměry 608 x 608 mm. Odpor se pohybuje v intervalu: $5 \cdot 10^4 \Omega \leq R_v \leq 1 \cdot 10^6 \Omega$.



Obr. 13. Elektrostaticky vodivá podlahovina



Obr. 14. Elektrostaticky vodivá podlahovina

2.1.1 Saze

Saze se vyrábějí neúplným spalováním nebo tepelným rozkladem uhlovodíkových sloučenin. Největší technický význam mají procesy využívající neúplného spalování. Nejdůležitější suroviny jsou: oleje ropného původu, kapalné produkty odpadající při zpracování uhlí, zemní plyn a acetylen.

Při vzniku sazí probíhají tyto základní děje: rozklad uhlovodíku a jeho dehydrogenace, tvorba grafitických vrstev, jejich srůstání za vzniku částic složitého tvaru a aglomerace těchto částic. Celý proces trvá jen zlomek sekundy. Sazové částice se získávají usazováním (narážením na povrch nějaké překážky) nebo filtrací. Hlavní faktory, jimiž lze regulovat vlastnosti sazí, jsou velikost a tvar plamene, typ paliva a poměr vzduchu k uhlovodíku. Čím více vzduchu je při nedokonalém spalování přítomno, tím jsou zpravidla saze jemnější, výtěžek menší a cena vyšší. Vyrábí se cca 50 druhů sazí, jejichž vlastnosti se značně překrývají.

Z acetylenu se tepelným rozkladem připravují acetylenové saze. Vyznačují se velkým specifickým povrchem. Používají se na výrobky s vysokou elektrickou vodivostí [10].

Tabulka I. Charakteristické vlastnosti acetylenových sazí [17]

Charakteristický průměr částice [nm]	40
Hustota [g/cm ³]	1,7 - 1,9
pH	4,8
Barvivost [% SRF]	108
Nestálost materiálu [%]	0,3
Složení [%]	
C	99,7
H	0,1
S	0,02
O	0,2
Surovina	acetylen

Vodivé saze našly uplatnění při výrobě tzv. elektricky vodivých směsí. Pokud chceme zajistit vodivost plastu, musíme do plastové matrice přidat speciální plniva, která ji dodají vodivý charakter.

Saze se ukázaly jako jedny nejuniverzálnějších plniv do plastů. Kromě zajišťování elektrické vodivosti polymerních směsí dodávají trvalou ochranu proti UV degradaci.

Výběr vhodných sazí k použití pro výrobu vodivých směsí není založen pouze na konečných vlastnostech konkrétní požadované směsi, ale také na specifických vlastnostech sazí. Klíčové vlastnosti sazí jsou: struktura, čistota a velikost částic.

Obecně mají vodivé směsi následující zásadní vlastnosti:

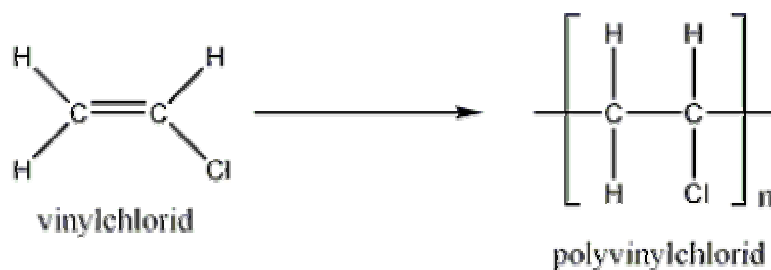
- vynikající disperze
- integrita struktury sazí
- měrný odpor
 - vysoký: < 10 ohm.cm
 - průměrný: 10 – 100 ohm.cm
 - antistatický: > 1 000 ohm.cm [2].

2.1.2 PVC – polyvinylchlorid

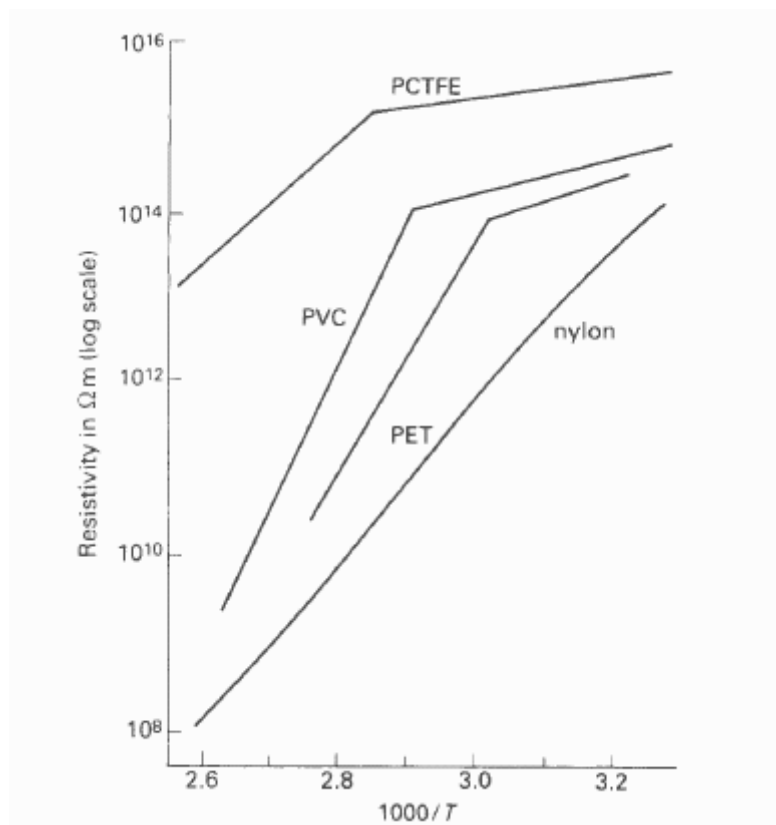
Polyvinylchlorid je jedním z nejdůležitějších termoplastů. Má řadu výhodných vlastností a relativně nízkou cenu. Žádný jiný polymer nemá tak široké možnosti použití – používá se k opláštění kabelů, pro výrobu potrubí, ubrusů, podlahovin atd [13].

PVC má kromě stálých fyzikálních vlastností i vynikající chemickou odolnost, dobrou odolnost proti účinkům klimatickým, vlastnosti toku a stabilní elektrické vlastnosti. Obecně lze podle různého stavu PVC výrobky dělit na výrobky z tvrdého PVC a poddajného PVC. Láhve a fóliové obaly jsou hlavními a nejběžnějšími typy výrobků z tuhého PVC, ale tento druh je také hodně používán ve stavebnictví. Poddajný PVC se používá jako izolace drátů a kabelů, na výrobu podlahové krytiny a mnoho jiných aplikací [15].

Monomerní vinylchlorid je plyn o bodu varu – 13,9 °C. Vinylchlorid polymeruje snadno za různých podmínek (radikálovým a aniontovým mechanismem). V průmyslu se využívá radikálového mechanismu a technik suspenzní, emulzní a blokové polymerace [13].



Obr. 15. Schéma radikálová polymerace vinylchloridu [3]



Obr. 16. Záznam závislosti odporu na reciproční absolutní teplotě pro polvinylchlorid, polyetylentereftalát, nylon 6,6 a polychlorotrifluoroetylen [11]

Odpor polymerů klesá se stoupající teplotou. Obr. 16 ukazuje závislost zlogaritmovaného odporu na reciproční hodnotě absolutní teploty [11].

2.2 Norma ČSN EN 1081

Norma ČSN EN 1081 je předpis pro Pružné podlahové krytiny – Zjišťování elektrického odporu.

Tato evropská norma specifikuje určování vertikálního odporu podlahoviny:

- pro povrchový odpor podlahoviny
- pro odpor země podlahoviny po instalaci.

Pro naše měření jsme použili Metodu A – pro vertikální odpor R_1 - z normy ČSN EN 1081. Vertikální odolnost R_1 je definována jako elektrický odpor měřený mezi trojnožkovou elektrodou (viz Obr. 17) na povrchu zkušební tělesa a elektrodou přiloženou ke spodní straně zkušební tělesa (viz Obr. 18). Vertikální odpor

mezi elektrodou na povrchu a elektrodou přiloženou ke spodní straně zkušební tělesa se měří za použití stanoveného (určeného) napětí a měřidla odporu.

V normě jsou předepsané podmínky kondicionování. Před vlastním zkoušením by měla být zkušební tělesa kondicionována při teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 % po dobu minimálně 48 hodin. Toto klima udržujeme i během laboratorního zkoušení. Změna klimatu je možná, pokud jsou odsouhlasena mezi zúčastněnými stranami.

Při měření postupujeme následovně. Očištěnou trojnožkovou elektrodu umístíme na povrch zkušební tělesa a připojíme ji k měřidlu odporu. Připojíme také základní elektrodu k měřidlu. Trojnožkovou elektrodu přitlačíme přiložením zátěže kvůli námaze minimální silou $F = 300$ N na zkušební těleso a spustíme (zapneme) napětí. Rovná aplikace této zátěže umožní zajištění vedení elektrického proudu. Hodnotu odporu nebo proudu zapisujeme 10 s až 15 s po zapnutí. Tento postup opakujeme pokaždé, když přemístíme trojnožkovou elektrodu [5].

2.3 Přístroje

2.3.1 Sonda P

Sonda P je určena pro měření izolačního odporu podlah a stěn podle ČSN 33 20 00 – 6 – 61 Elektrická zařízení část 6: Revize, kapitola 61: Postupy při výchozí revizi. Zcela odpovídá „Zkušební elektrodě 2“ Přílohy A (normativní) tohoto předpisu.

Sondu P lze používat jako elektrodu jak při metodě měření odporu pomocí napětí a následným výpočtem, tak pro přímé měření odporu měničem izolačního odporu v souladu s Přílohou A výše uvedeno předpisu.

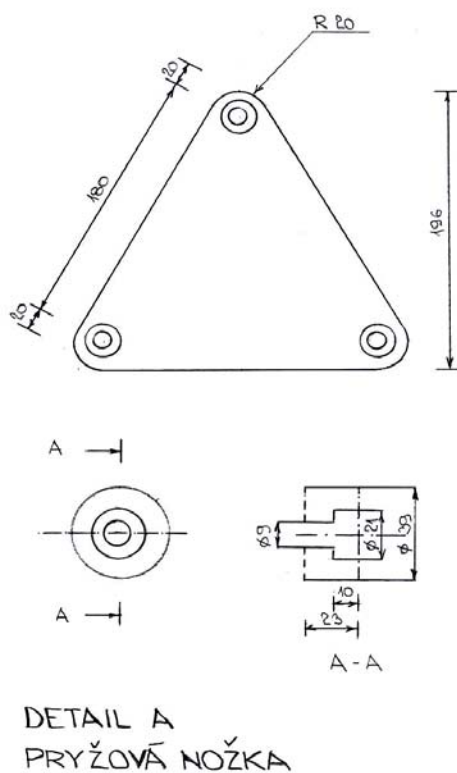
Sonda P se skládá z:

- a) elektrody P – je to hliníková deska tl. 5 mm ve tvaru rovnoramenného trojúhelníku s izolační vrstvou na horním povrchu. V jeho vrcholech jsou tři válcové nožky z vodivé pryže na spodní straně ve vzdálenosti 180 mm, které při předepsaném zatížení zajišťují těsný kontakt s měřeným povrchem. Ze spodní strany je elektroda opatřena přístrojovou svorkou pro banánek o průměru 4 mm
- b) kabel P- zvlášť ohebný vodič typu CYO průřezu $0,5 \text{ mm}^2$ o délce 10 m, zakončený na obou stranách banánky
- c) svorka a izolací – jedná se o měřicí krokosvorku, opatřenou ochrannou izolací. Spolu s kabelem P slouží k propojení měřiče izolačního odporu s ochranným vodičem instalace (ochranný kolík síťové zásuvky)
- d) obal [5].

2.3.2 Trojnožková elektroda

Je vhodná pro měření izolačního odporu podlah a stěn. Jedná se o hliníkovou desku tl. 5 mm ve tvaru rovnoramenného trojúhelníku s izolační vrstvou na horním povrchu. V jeho vrcholech jsou tři válcové nožky z vodivé pryže na spodní straně ve vzdálenosti 180 mm, které při předepsaném zatížení zajišťují těsný kontakt s měřeným povrchem. Pryžové (gumové) nožky mají mít tvrdost v souladu s ISO 48 – 50 IRHD až 70 IRHD a elektrický odpor každé pryžové nožky má být méně než $10^3 \Omega$, jestliže se bude testovat mezi dvěma kovovými povrchy. Ze spodní strany je elektroda opatřena přístrojovou svorkou pro banánek o průměru 4 mm.

Zátěž musí být schopná zatížení o minimální síle 300 N na trojnožkovou elektrodu [5].



Obr. 17. Trojnožková elektroda

2.3.3 Vodivá podložka

Vodivá podložka působí jako základní elektroda, např. kovová deska o rozměrech delších než zkušební těleso.

2.3.4 Elektrické měření

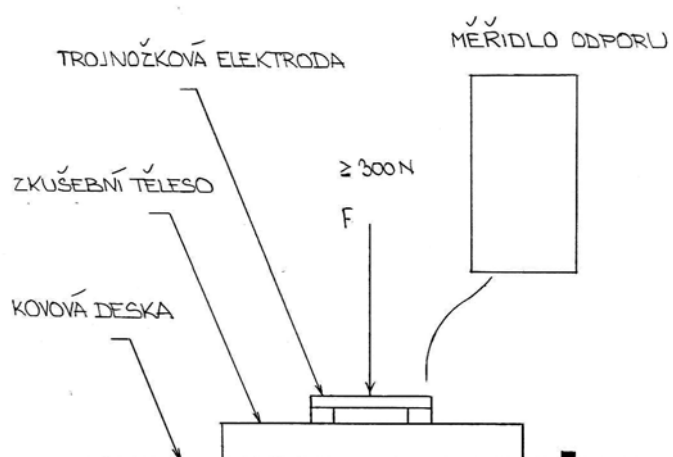
Pro odpor menší nebo rovno $10^6 \Omega$ bude činit napětí 100 V stejnosměrných [5].

2.4 Postup měření

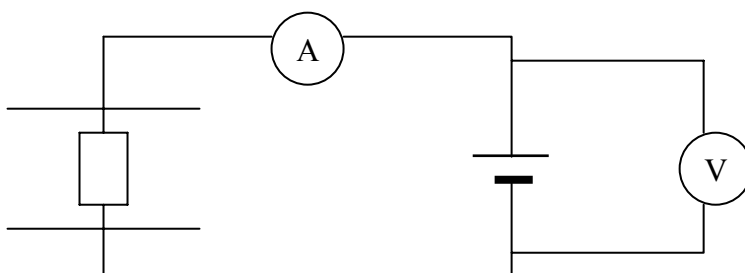
Očištěnou trojnožkovou elektrodu umístíme na povrch zkušebního tělesa. Navíc musíme připojit základní elektrodu k měřidlům proudu a napětí.

Nakonec přitlačíme trojnožkovou elektrodu přiložením zátěže minimální silou $F=300 \text{ N}$ na zkušební těleso a zapneme napětí. (Rovnoměrná aplikace zátěže nám zajistí

dobrý kontakt.). Zatěžování provádíme v lisu, zatěží pružinu položenou na trojnožkové elektrodě [5].



Obr. 18. Schéma aparatury

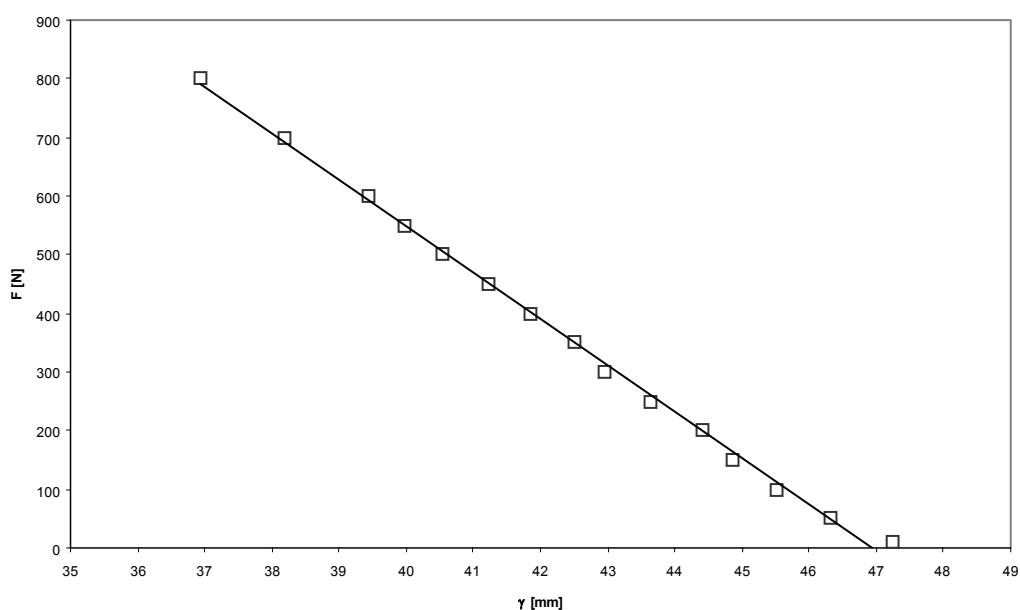


Obr. 19. Schéma zapojení

2.5 Nastavení přitlačné síly

Tabulka II. Hodnoty síly a deformace

F [N]	γ_1 [mm]	γ_2 [mm]	γ_3 [mm]	γ_4 [mm]	$\gamma_{\text{prům}}$ [mm]
10	47,5	47,1	47,3	47,1	47,25
50	46,2	46,5	46,2	46,4	46,33
100	45,3	45,4	45,6	45,8	45,53
150	44,7	44,9	44,7	45,1	44,85
200	44,5	44,2	44,4	44,6	44,43
250	43,5	43,6	43,6	43,8	43,63
300	42,7	43,2	42,8	43,1	42,95
350	42,3	42,6	42,5	42,6	42,50
400	41,6	41,9	42,0	41,9	41,85
450	41,2	41,3	41,1	41,3	41,23
500	40,2	40,7	40,6	40,7	40,55
550	39,9	40,0	39,9	40,1	39,98
600	39,4	39,3	39,5	39,5	39,43
700	38,2	38,0	38,2	38,4	38,20
800	36,8	36,9	37,1	37,0	36,95



Obr. 20. Vztah mezi přitlačnou silou a deformací pružiny

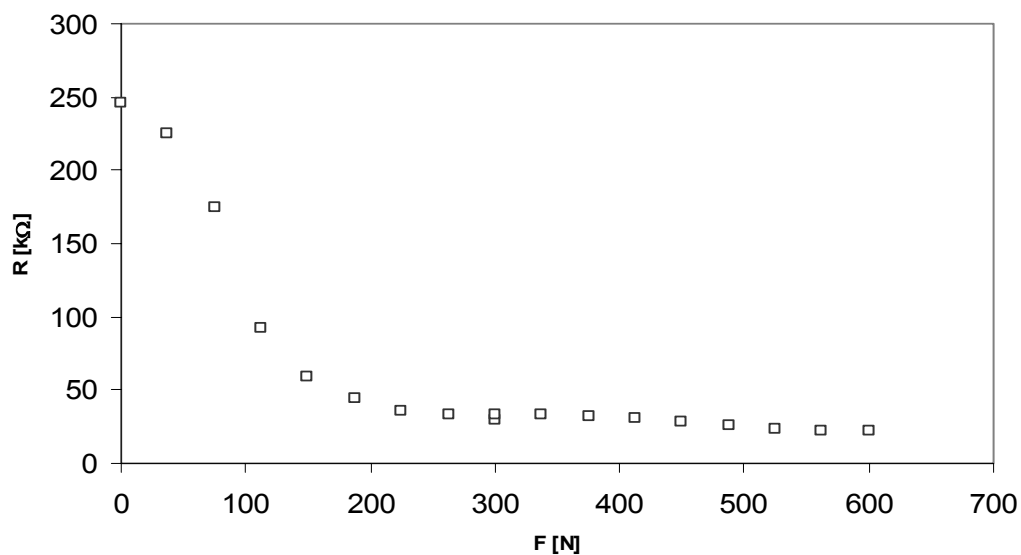
Zatěžování trojnožky definovanou přitlačnou silou jsme prováděli v lisu. Velikost síly jsme měřili pomocí deformace pružiny. Měření charakteristiky pružiny jsme provedli na přístroji INSTRON. Zvyšovali jsme hodnotu síly a pomocí posuvného měřítka jsme měřili deformaci pružiny, tj. její velikost po stlačení. Rostoucí přitlačná síla způsobovala zmenšování rozměrů pružiny, tj. zvětšovala její deformaci.

2.6 Měření

2.6.1 Vliv přitlačné síly na odpor

Tabulka III. Hodnoty síly, napětí, proudu a odporu

F [A]	U [V]	I [mA]	R [kΩ]
0	100,9	0,411	245,499
37,5	101,8	0,452	225,221
75,0	100,4	0,577	174,003
112,5	100,6	1,090	92,294
150,0	101,1	1,728	58,507
187,5	101,3	2,302	44,005
225,0	101,2	2,810	36,014
262,5	101,0	3,008	33,577
300,0	100,5	3,444	29,181
300,0	102,2	3,088	33,096
337,5	102,0	3,103	32,871
375,0	100,7	3,192	31,548
412,5	100,5	3,332	30,162
450,0	100,5	3,629	27,694
487,5	101,2	3,959	25,562
525,0	100,7	4,340	23,203
562,5	100,8	4,570	22,057
600,0	100,5	4,570	21,991



Obr. 21. Závislost odporu na síle

Pomocí tohoto měření jsme zjišťovali závislost odporu na přitlačné síle. Z Obr. 21 jsme určili, že se jedná o nelineární závislost. Při malých hodnotách síly nám hodnota odporu prudce klesala s rostoucí silou. Při silách od $F = 250 \text{ N}$ se odpor mění s rostoucí přitlačnou silou jen mírně. Pokles odporu s rostoucí silou je způsoben zlepšováním kontaktů mezi elektrodami a vzorkem. Protože norma vyžaduje přitlačnou sílu 300 N , není přesné nastavení síly kritické pro měření odporu.

2.6.2 Volt – ampérová charakteristika

Tabulka IV. Hodnoty proudu při změně napětí z 0 V na 200 V

U [V]	I [mA]
1,00	0,01
20,27	0,147
40,3	0,366
60,6	0,685
80,7	1,191
100,3	1,889
120,8	2,834
140,3	4,31
160,4	5,8
180,6	8,1
183,5	9,45

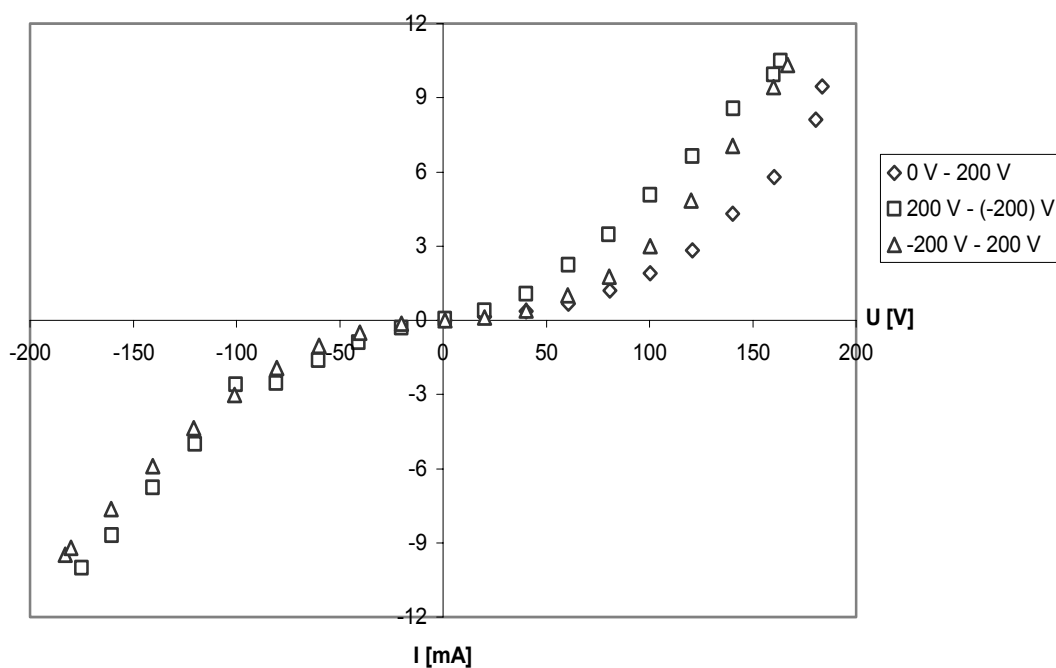
Tabulka V. Hodnoty proudu při změně napětí z 0 V na 200 V

U [V]	I [mA]
163,5	10,48
160	9,94
140,7	8,55
120,8	6,64
100,4	5,05
80,2	3,48
60,8	2,244
40,1	1,063
20,3	0,386
1,00	0,05

U [V]	I [mA]
-20,16	-0,298
-40,8	-0,882
-60,4	-1,622
-80,8	-2,548
-100,2	-2,606
-120,1	-5,01
-140,5	-6,78
-160,4	-8,70
-175,0	-10,01

Tabulka VI. Hodnoty proudu při změně napětí z 0 V na 200 V

U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
-183,1	-9,48	1,00	0,01
-180,1	-9,21	20,24	0,113
-160,6	-7,63	40,1	0,391
-140,6	-5,90	60,3	1,010
-120,7	-4,37	80,5	1,759
-100,8	-3,016	100,3	2,982
-80,5	-1,942	120,2	4,83
-60,1	-1,029	140,1	7,06
-40,2	-0,505	160,0	9,43
-20,11	-0,14	166,9	10,32



Obr. 22. Vliv napětí

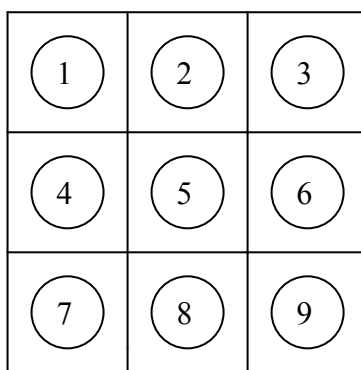
Volt - ampérová charakteristika je nelineární, tzn. že odpor klesá s rostoucím přiloženým napětím. Z Obr. 22 je patrné, že odpor vykazuje nějakou formu hysterze a závisí na předchozí historii měření. Změny odporu mohou být způsobeny zmenšováním odporu sazí vlivem zvýšené teploty.

2.6.3 Reprodukovatelnost měření

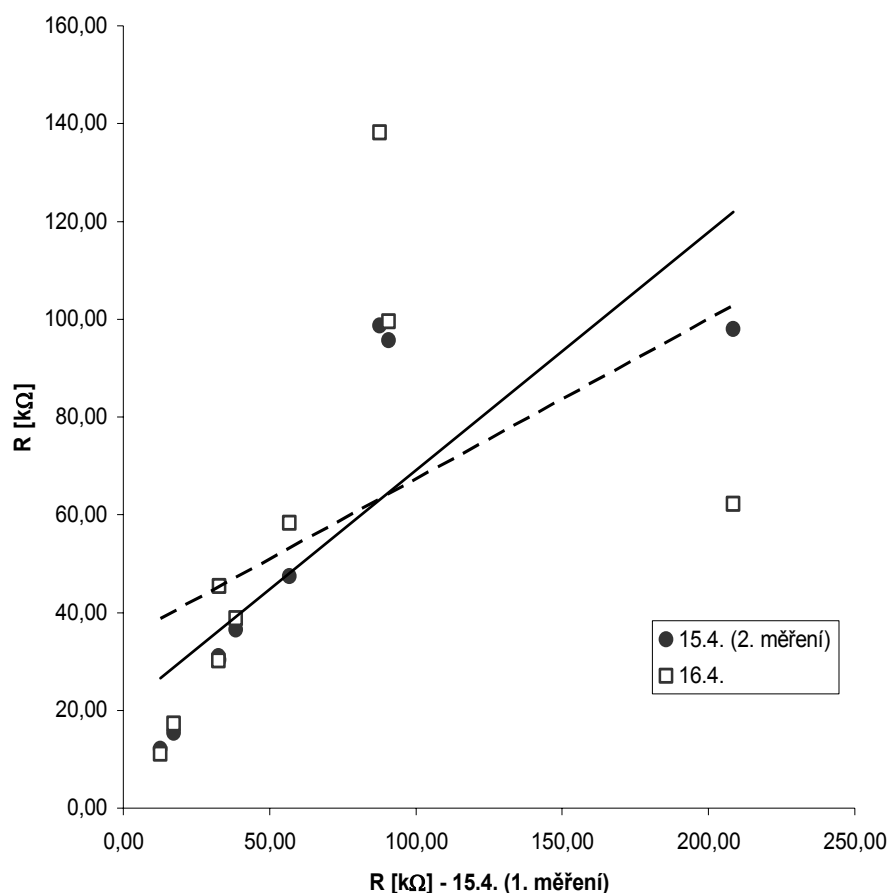
Třikrát po sobě byl proměřen vzorek v přesně stejných devíti polohách – viz Tabulka VII.

Tabulka VII. Reprodukovatelnost měření (měření z 15.4. a 16.4.2004)

poloha	15.4. (1. měření)	15.4. (2. měření)	16.4.
i	R[kΩ]	R[kΩ]	R[kΩ]
1.	17,22	15,37	17,26
2.	56,84	47,39	58,37
3.	208,54	97,96	62,17
4.	32,56	30,99	30,12
5.	38,36	36,45	38,77
6.	90,63	95,71	99,60
7.	12,59	12,11	11,10
8.	32,88	30,27	45,36
9.	87,74	98,63	138,22



Obr. 23. Polohy sondy



Obr. 24. Vzájemná závislost odporů

Pokud by měření odporu bylo dobře reprodukovatelné, měli bychom při třech po sobě jdoucích měření na jednom místě vzorku naměřit vždy stejný odpor. Z Tabulky VII je zřejmé, že toto se nám nepodařilo. Pokusme se tedy alespoň zjistit, jest-li výsledky po sobě jdoucích měření na jednom místě spolu nějak souvisí nebo jsou úplně náhodná.

Na Obr. 24 jsme do grafu vynesli na osu x hodnoty 1. měření z 15.4.2004 a na osu y pak hodnoty dvou zbývajících měření. Jednu rovnici lze aproximovat rovnicí $y = 0,49x + 20,41$ s korelačním koeficientem 0,83; druhou rovnici $y = 0,33x + 34,70$ s korelačním koeficientem 0,49. Pokud by měření byla dobře reprodukovatelná, měly by vynesené body ležet na přímce se směrnici 1 a procházejícího počátkem. My jsme zjistili hodnotu směrnice 0,49 a 0,33. Těsnost korelace mezi dvěma řadami měření určuje korelační koeficient. V našem případě jsme zjistili hodnoty korelačního koeficientu 0,83 a 0,49. Pomocí t – testu můžeme otestovat hypotézu, že mezi řadami není žádná závislost.

Byly vypočteny hodnoty testovacího kritéria, podle

$$T = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2} \quad (2)$$

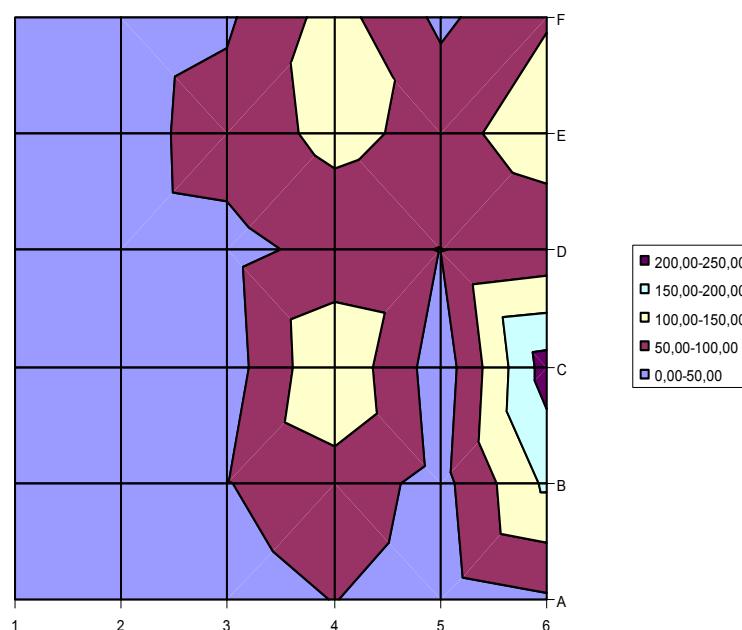
v jednom případě $T = 3,88$ a v druhém případě $T = 1,48$. Kritická hodnota Studentova rozdělení pro 7 stupňů volnosti na hladině významnosti 0,99 je 2,998. Můžeme tedy tvrdit, že v případě většího r , tj. 0,83, se nulovou hypotézu nepodařilo vyvrátit a můžeme tedy očekávat korelaci mezi měřeními uskutečněnými 15.4.2004 (1. a 2. měření). Pro menší r , tj. $r = 0,49$, se nám nepodařilo vyvrátit nulovou hypotézu, že mezi daty jsme nenašli souvislost. Můžeme tedy tvrdit, že měření uskutečněná na stejném místě s určitým časovým odstupem spolu souvisí jen velmi volně (nebo vůbec) a jsou tedy extrémně špatně reprodukovatelná.

2.6.4 Nehomogenita

Na vzorku byla definována pravidelná síť 36 bodů. V každém z těchto bodů byl změřen odpor. Při měření odporu byla použita jen jedna nožička trojnožky a zbylé dvě byly izolovány. Tím jsme dosáhli měření odporu pouze na malé ploše vzorku.

Tabulka VIII. Hodnoty odporů u vzorku

	1	2	3	4	5	6
A	26,09 kΩ	36,37 kΩ	28,84 kΩ	51,33 kΩ	23,31 kΩ	42,93 kΩ
B	22,18 kΩ	26,58 kΩ	48,53 kΩ	78,04 kΩ	32,56 kΩ	159,52 kΩ
C	19,67 kΩ	25,54 kΩ	26,46 kΩ	144,97 kΩ	21,28 kΩ	222,89 kΩ
D	18,07 kΩ	29,53 kΩ	34,57 kΩ	65,05 kΩ	48,88 kΩ	66,47 kΩ
E	18,37 kΩ	31,64 kΩ	70,82 kΩ	114,61 kΩ	83,92 kΩ	125,34 kΩ
F	17,90 kΩ	28,48 kΩ	42,50 kΩ	120,43 kΩ	39,67 kΩ	95,63 kΩ



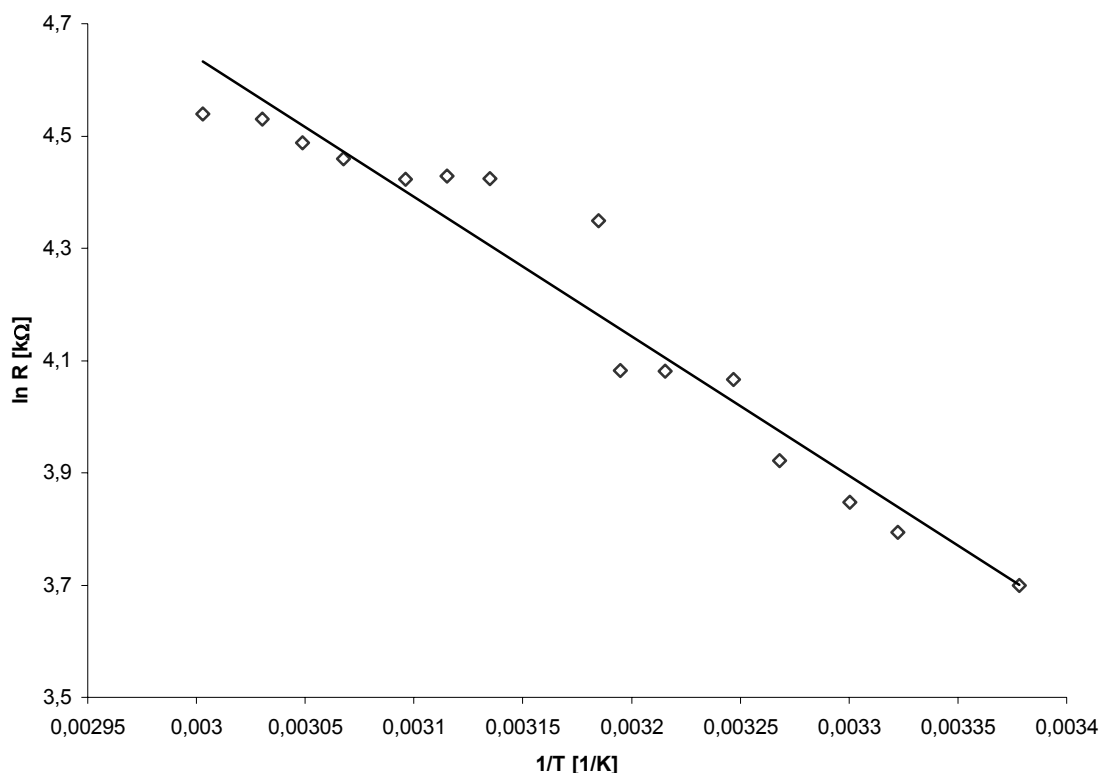
Obr. 25. Rozložení odporu u vzorku

Byla zjištěna silná nehomogenita po ploše vzorku, změřený odpor v různých místech vzorku se lišil až 10x. Je ovšem potřeba si uvědomit, že podle zjištění z předchozí kapitoly jsou měření špatně reprodukovatelná.

2.6.5 Vliv teploty

Tabulka IX. Teplotní závislost odporu

t [°C]	U [V]	I [mA]	R [kΩ]	1/T [1/K]	ln R [kΩ]
23	100,6	2,49	40,40161	0,003378	3,698870
28	105,3	2,37	44,43038	0,003322	3,793923
30	107,4	2,29	46,89956	0,003300	3,848008
33	110,0	2,18	50,45872	0,003268	3,921155
35	110,8	1,90	58,31579	0,003247	4,065873
38	109,0	1,84	59,23913	0,003215	4,081582
40	109,1	1,84	59,29348	0,003195	4,082499
41	112,2	1,45	77,37931	0,003185	4,348719
46	110,2	1,32	83,48485	0,003135	4,424665
48	110,7	1,32	83,86364	0,003115	4,429192
50	110,8	1,33	83,30827	0,003096	4,422548
53	111,5	1,29	86,43411	0,003067	4,459382
55	108,5	1,22	88,93443	0,003049	4,487899
57	109,5	1,18	92,79661	0,00303	4,530410
60	109,5	1,17	93,58974	0,003003	4,538921



Obr. 26. Závislost logaritmu odporu $\ln R$ na teplotě $1/T$

Tabulka IX ukazuje závislost odporu měřeného na jednom místě vzorku na teplotě. Z teorie plyne, že závislost by měla být lineární podle vztahu (1) na str. 17.

Z Obr. 26, na kterém je vynesena závislost $\ln R$ na převrácené absolutní teplotě (rovnici lze aproximovat rovnicí $y = -2485,4x + 12,1$ s korelačním koeficientem 0,97) a která by podle vztahu (1) měla být lineární, je vidět, že vztah (1) dobře vyhovuje naměřeným hodnotám R .

Ze směrnice grafu je možné vypočítat aktivační energii $E = 20\,664 \text{ J/mol}$ (0,21 eV). Tato hodnota dobře odpovídá [16], kteří uvádí pro aktivační energii hodnoty od 0,93 kcal/mol do 3,36 kcal/mol (3 900 J/mol – 14 000 J/mol). Přičemž vyšší hodnota odpovídá 10 g sazí na 100 g PVC a nižší hodnota 30 g sazí na 100 g PVC (podlahová krytina obsahuje pouze asi 1% sazí).

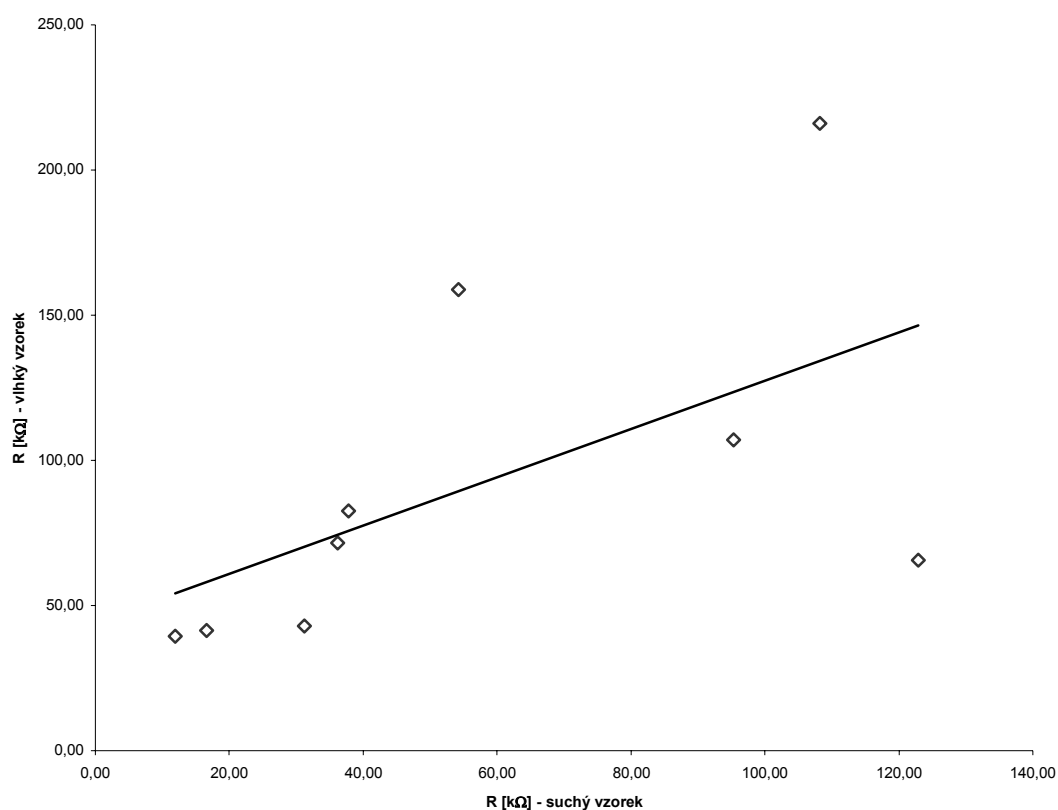
2.6.6 Vliv vlhkosti

Vzorek byl namočen na 18 hodin do vodní lázně. Poté byl osušen a znovu bylo provedeno měření v definovaných bodech na devítin pozicích. V Tabulce X. Časová závislost odporu jsou uvedeny hodnoty odporů, které byly naměřeny v různých časových intervalech. Hodnoty z 15.4. (obě měření) a z 16.4. byly měřeny u předem nenamočeného vzorku.

Tabulka X. Časová závislost odporu

poloha	suchý vzorek *	vlhký vzorek
i	R[kΩ]	R[kΩ]
1.	16,62	41,47
2.	54,20	158,75
3.	122,89	65,55
4.	31,22	43,05
5.	37,86	82,60
6.	95,32	106,95
7.	11,93	39,38
8.	36,17	71,55
9.	108,20	216,17

* - průměr hodnot z Tabulky VII [15.4. (1. měření), 15.4. (2. měření), 16.4.]



Obr. 27. Vzájemná závislost odporů při sledování vlivu vlhkosti

Z Tabulky X a grafu na Obr. 27 je patrné, že po namočení vzorku jsme naměřili vyšší hodnoty odporu než u vzorku suchého. Korelační koeficient regresní přímky ovšem nabývá hodnoty 0,57, čemuž odpovídá hodnota t – testu 1,83 a tedy závislost mezi hodnotami suché a vlhké vodivosti není průkazná. Lze tedy říct, že špatná reprodukovatelnost měření nedovoluje zjistit vliv vlhkosti na vodivost.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo měření odporu dané podlahoviny a jeho závislosti na podmínkách okolí.

Zjistili jsme, že naměřený odpor výrazně závisí na přítlačné síle, zvláště pro hodnoty $F_{\text{přítlačná}} < 200 \text{ N}$. Pro $F \approx 300 \text{ N}$ není závislost příliš výrazná, tzn. nastavení přítlačné síly není kritické.

Lze konstatovat klesání odporu vzorku s rostoucím napětím, při změně napětí o 20 V, klesne odpor pouze o 2%.

Měřený vzorek podlahoviny vykazoval značnou nehomogenitu měřeného odporu v rámci plochy vzorku (odpor se lišil až 10x).

Podle metodiky je nutné zkušební vzorek očistit čisticí kapalinou (např. etanol, isopropanol). Po očištění pokryjeme spodní stranu zkušebního tělesa stabilizovanou zředěnou grafitovou suspenzí a vysušíme v sušárně při teplotě $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ po dobu minimálně 96 hodin. Grafitová suspenze je koloidní grafit typu, který vysychá na vzduchu při pokojové teplotě. V námi prováděných měřeních jsme vzorek ze spodní strany potírali vodivou pastou, poté sušili v sušárně a proměřovali odpor. Tato procedura ovšem nepomohla reprodukovatelnosti měření.

Bylo ověřeno, že s rostoucí teplotou vzrůstá hodnota vodivosti a klesá hodnota odporu. Výsledek měření je v souladu s teorií.

Studován byl také vliv vlhkosti. Výsledky této zkoušky ukazují zvýšení odporu vlivem namočení vzorku.

Hlavním problémem při měření odporu je reprodukovatelnost. Pokud přiložíme elektrodu dvakrát na stejné místo, pokaždé naměříme jinou hodnotu odporu

Na základě výsledků měření, která jsme provedli na vzorcích podlahových krytin, doporučujeme změnu metodiky pro měření odporu těchto podlahovin. Domníváme se, že trojnožková elektroda používaná v současnosti není vhodná pro tato měření. Elektroda

se dotýká zkušebního tělesa třemi válcovými nožkami z vodivé pryže, které nedokáží vymezit vhodnou plochu k měření odporu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ACIDOTECHNA [online]. [cit. 2004-11-07].
URL: <<http://www.acidotechna.cz/podlahy3.htm>>.
- [2] AMPACET [online]. [cit. 2004-11-06].
URL: <http://www.ampacet.com/newsletter/E_blaster/EB_CarbonBlack.htm>.
- [3] BURKE, J. *Connections*. Little, Brown and Co., Boston, 1978 [online].
[cit. 2004-11-06]. URL: <<http://www.psrc.usm.edu/macrog/pvc.htm>>.
- [4] COMING[®] Plus a.s. Praha [online]. [cit. 2004-11-06].
URL: <<http://www.coming.cz>>.
- [5] ČSN EN 1081. *Pružné podlahové krytiny – Zjišťování elektrického odporu*.
- [6] ENVIRONCENTRUM s.r.o. [online]. 2004. [cit. 2004-11-07].
URL: <<http://www.environcentrum.sk/>>.
- [7] FATRA NAPAJEDLA [online]. 2004. [cit. 2004-11-07].
URL: <http://www.fatra.cz/cz/vyroby/voj/voj1000_linofatra_1.htm>.
- [8] FATRA NAPAJEDLA [online]. 2004. [cit. 2004-11-07].
URL: <<http://www.fatra.cz/old/apodlahovehtm>>.
- [9] FENICHELL, S. *Plastic: The making of a Synthetic Century*. HarperCollins, New York, 1996 [online]. [cit. 2004-11-06].
URL: <<http://www.psrc.usm.edu/macrog/pvc.htm>>.
- [10] FRANTA, I., et al. *Gumárenské suroviny*. III. vydání. Praha: STNL, 2003.
- [11] MARGOLIS, J. M. *Conducting Polymers and Plastics*. Chapman and Hall, 1989.
[online]. [cit. 2004-11-14]. URL: <<http://www.knovel.com>>.
- [12] MERRITT, F. S. *Wall, floor, and ceiling systems* [online]. [cit. 2004-11-07].
URL: <<http://www.knovel.com>>.
- [13] MLEZIVA, J. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. I. vydání. Brno: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901570-4-1.
- [14] PAZUR, A. S. Electrical Properties of Static Control Vinyl Floor Tile. *A2C2 Magazine* [online]. 2002. [cit. 2004-11-07]. URL:
<<http://www.a2c2.com/articles/microja02.asp?pid=300&articleText=microja02>>.

- [15] PETRECYCLING CZ [online]. 2004. [cit. 2004-11-06].
URL: <<http://www.petrecycling.cz/pet-pryskyrice.htm>>.
- [16] SAAD, A. L. G., AZIZ, H. A., DIMITRY, O. I. H. *Studies of Electrical and Mechanical Properties of Poly(vinyl chloride) Mixed with Electrically Conductive Additives* [online]. 2003. [cit. 2004-11-14]. URL: <<http://www.knovel.com>>.
- [17] WYPYCH, G. *Handbook of Fillers*. ChemTec Publishing, 2000. ISBN 1-884207-69-3. [online]. 2001. [cit. 2004-11-14].
URL: <http://www.knovel.com/knovel2/Book_Details.jsp?BookID=257>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PVC	polyvinylchlorid
CB	saze
FEF CB	retortové saze s dobrou zpracovatelností
PVC – CB	system polyvinylchlorid – saze
σ	vodivost
T	teplota
E	aktivační energie
R_0	povrchový odpor
R_v	vnitřní odpor
F	síla
U	napětí
I	proud

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Elektrostatik – podlahovina elektrostaticky vodivá	9
Obr. 2. Rozměry podlahové krytiny Fatra [7]	10
Obr. 3. Základní vlastnosti podlahové krytiny FATRA [7].....	10
Obr. 4. Odolnosti podlahové krytiny FATRA [7]	10
Obr. 5. Oblast použití podlahových krytin Fatry Napajedla [7]	11
Obr. 6. Povrchová rezistivita různých materiálů [2].....	13
Obr. 7. Schéma měření [14].....	14
Obr. 8. Vliv napětí na vodivost podlahy [14]	15
Obr. 9. Mechanické vlastnosti PVC – CB systému [16]	16
Obr. 10. Vztah mezi vodivostí (σ) a obsahem sazí nebo teplotou (T) pro matrici PVC smíchanou s FEF CB [16].....	17
Obr. 11. Vztah mezi logaritmem vodivosti $\log \sigma$ a $10^3/T$ pro vzorky matrice PVC smíchané s FEF CB [16].....	18
Obr. 12. Aktivační energie vzorků z PVC – CB systému [16].....	18
Obr. 13. Elektrostaticky vodivá podlahovina	20
Obr. 14. Elektrostaticky vodivá podlahovina	21
Obr. 15. Schéma radikálová polymerace vinylchloridu [3].....	23
Obr. 16. Záznam závislosti odporu na reciproční absolutní teplotě pro polvinylchlorid, polyetylentereftalát, nylon 6,6 a polychlorotrifluoroetylen [11]	24
Obr. 17. Trojnožková elektroda.....	27
Obr. 18. Schéma aparatury	28
Obr. 19. Schéma zapojení	28
Obr. 20. Vztah mezi přítlačnou silou a deformací pružiny.....	29
Obr. 21. Závislost odporu na síle.....	30
Obr. 22. Vliv napětí	32
Obr. 23. Polohy sondy	33
Obr. 24. Vzájemná závislost odporů.....	34
Obr. 25. Rozložení odporu u vzorku.....	36
Obr. 26. Závislost logaritmu odporu $\ln R$ na teplotě $1/T$	37
Obr. 27. Vzájemná závislost odporů při sledování vlivu vlhkosti.....	39

SEZNAM TABULEK

Tabulka I. Charakteristické vlastnosti acetylenových sazí [17]	22
Tabulka II. Hodnoty síly a deformace	29
Tabulka III. Hodnoty síly, napětí, proudu a odporu	30
Tabulka IV. Hodnoty proudu při změně napětí z 0 V na 200 V	31
Tabulka V. Hodnoty proudu při změně napětí z 0 V na 200 V	31
Tabulka VI. Hodnoty proudu při změně napětí z 0 V na 200 V	32
Tabulka VII. Reprodukovatelnost měření (měření z 15.4. a 16.4.2004)	33
Tabulka VIII. Hodnoty odporů u vzorku	35
Tabulka IX. Teplotní závislost odporu	36
Tabulka X. Časová závislost odporu	38