

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



KANDIDÁTSKÁ DIZERTAČNÍ PRÁCE

2004

ING. MARCELA KOLÍNOVÁ

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala všem, kteří mi pomohli a umožnili v průběhu postgraduálního studia podílet se na vědecké práci katedry netkaných textilií.

Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří přispěli k tomu, aby vznikla tato dizertační práce.

Děkuji za odborné vedení a dohled Prof. RNDr. Oldřichu Jirsákovi, CSc., dále děkuji všem spolupracovníkům a kolegům katedry netkaných textilií.

Zejména bych chtěla poděkovat Doc. Ing. Alešovi Richterovi, CSc., za jeho cenné rady, připomínky a konzultace v oblasti fyziky.

ANOTACE

Téma dizertační práce je: „Permanentní elektrizace filtračních vláknenných materiálů“. Jedná se o zvyšování filtrační odlučivosti vláknenných materiálů pomocí polarizace neboli vytváření elektretních filtrů, aniž by se zvýšil tlakový spád.

Náplní dizertační práce je hledání koncepcí, které umožní poodhalit složitou problematiku polarizace vláknenných materiálů v souvislosti s filtračními mechanismy a suchou filtrací obecně.

Práce je rozdělena na dvě části – teoretickou a experimentální. V teoretické části jsou na základě daných fyzikálních zákonů shrnuty poznatky o polarizaci pevných látek v aplikaci na vláknenné materiály a je zde stručně vysvětlena teorie filtrace. Experimentální část je zaměřena na vlastní vědecké poznatky - chování různých vláknenných materiálů při jejich polarizaci, vliv okolí na polarizaci, vliv samotného elektrizačního zařízení. To vše v časové souvislosti a v souvislosti s filtračními vlastnostmi.

Těžiště leží v možnosti uplatnění teoretických poznatků a ve správné aplikaci na praktické využití.

Výsledkem této práce by měl být hrubý nástin a uvedení do problematiky polarizace filtračních vláknenných materiálů.

ABSTRACT

The topic of this PhD thesis is the „permanent charging of fibre filtration materials“. This involves increasing the filter efficiency of the fibre materials using polarization or filters of electrets without increasing the pressure drop.

The thesis aims to find a concept, which will enable us to shed some light on the complex problem of the polarization of fibre materials in the context of filter mechanisms and dry filtration in general.

The work is divided into two sections, the theoretical and the experimental ones. The theoretical section includes information about the polarization of solid particles in fibre materials based on the laws of physics and a brief description of the theory of filtration. The experimental section is aimed at the author's own scientific discoveries involving the behaviour of various fibre materials during polarization, the influence of the environment on polarization and the influence of the charging equipment itself. This all occurs within a time sequence and in connection with the filtration properties.

The focus lies in the option of applying the theoretical knowledge and in its correct application for practical use.

The results of this work should be a rough outline and an introduction into the problem areas concerning the polarization of fibre filtration materials.

OBSAH:

I.	ÚVOD	6
II.	VLASTNOSTI VLÁKEN	8
II.1.	Elektrické vlastnosti vláken	8
II.1.1.	Elektrická vodivost	10
II.1.2.	Dielektrické vlastnosti	12
II.1.2.1.	Elektronová polarizace	15
II.1.2.1.1.	Disperze elektronové polarizace	17
II.1.2.1.2.	Lorentzovo vnitřní pole	19
II.1.2.2.	Iontová polarizace	21
II.1.2.3.	Dipólová polarizace	23
II.1.3.	Elektrická pevnost	24
III.	ELEKTROSTATICKÁ SOUSTAVA	25
III.1.	Elektrické pole vlákna	26
III.2.	Působení pole vlákna na částice	27
IV.	ELEKTRETY	29
IV.1.	Druhy nábojů u elektretů	29
IV.2.	Stabilita a životnost náboje elektretů	30
V.	VLIV ELEKTRIZACE VLÁKENNÝCH MATERIÁLŮ NA FILTRAČNÍ PARAMETRY	32
V.1.	Obecně o filtraci	32
V.1.1.	Filtrační materiály a jejich struktura	32
V.1.2.	Struktura filtrů	33
V.1.3.	Základní charakteristiky filtrace	33
V.1.4.	Makroskopické chování filtrů	36
V.1.4.1.	Účinnost filtrace hloubkového filtru	36
V.1.4.2.	Efektivita zachytu částice jediným vláknem	38
V.1.4.3.	Filtrační mechanismy	39
V.1.5.	Mechanismus uchycení částic nabitými filtračními vlákny	42
V.1.6.	Uložení submikronových částic na elektricky nabitých vláknech	44
VI.	KINETIKA FILTRACE	45
VI.1.	Sekundární procesy ve filtraci	45
VI.2.	Zanášení filtrů	47

VII.	PŘÍKLADY ELEKTRICKY NABITÝCH FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ	48
VIII.	TESTOVACÍ METODY	50
VIII.1.	Měření intenzity elektrického pole	50
VIII.1.1.	Měření elektrických polí rovinných povrchů elektrostatickými měřiči pole	50
VIII.2.	Testování filtračních vlastností	52
IX.	SHRNUTÍ TEORETICKÝCH POZNATKŮ A CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	57
X.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	59
X.1.	Úvod	59
X.2.	Příprava testovaných vlákenných materiálů	60
X.2.1.	Použité vlákenné materiály, jejich vlastnosti a použití	60
X.3.	Technologické zpracování vlákenných materiálů	63
X.4.	Úpravy vlákenných materiálů	64
X.5.	Měření intenzity el. pole a filtračních parametrů	65
X.5.1.	Elektrizace vlákenných materiálů	65
X.6.	Vlastní experimenty	67
X.6.1.	Druhy materiálů a jejich schopnost elektrizace	67
X.6.2.	Vliv okolního prostředí na elektrizaci vlákenných materiálů	70
X.6.3.	Vliv geometrie elektrizačního zařízení na elektrizaci vlákenných materiálů	73
X.6.4.	Další aspekty elektrizace vlákenných materiálů	78
X.7.	Shrnutí experimentálních poznatků	80
XI.	ZÁVĚR	82
XII.	LITERATURA	83
XIII.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	85
XIV.	PŘÍLOHY	88

I. ÚVOD

Vývojové tendence v oblasti filtračních textilií se vyznačují studiem nových vláknenných materiálů, jejich struktur, vlastností, nových technologií a snahou širšího uplatnění v běžném životě. Současně s novými vědeckými objevy v oblasti filtračních materiálů je kladem důraz také na praktickou stránku, zejména dostupnost, jednoduchost, ekonomickou stránku a v neposlední řadě dnes i kladný postoj k životnímu prostředí.

Řešení této problematiky spočívá v dokonalejším uplatnění a využití elektrických polí. Proto se zájem výrobců nových materiálů soustředil také na elektrety – dielektrika dlouhodobě udržující polarizovaný stav, vytvářející elektrické pole v okolním prostředí a následně ovlivňující filtrační odlučivost.

Počátky objevu elektretů sahají do roku 1839, kdy Michael Faraday publikoval první studii o elektretech a uvedl termín „dielektrikum“ [11]. Ve skutečnosti dokázal, že v dielektrikách se elektrické náboje nemohou pohybovat volně pod vlivem elektrického pole, jsou to tedy lokalizované náboje držené pomocí elektrostatických sil. Kondenzátor s pevným dielektrikem byl nabit vysokým napětím a potom vybit pomocí zkratování jejich desek. Kondenzátor je po dlouhé době ještě nabitý, i když náboj není tak velký jako původní. Hodně vědců, včetně Maxwella a Faradaye, se pokusilo vysvětlit tento neobvyklý jev. Faradayova myšlenka migrace nábojů a elektrod do dielektrika během vytváření elektretů byla dále rozvinuta a upřesněna Bernhardem Grosseem teprve v polovině tohoto století [8].

Anglický vědec Oliver Heaviside uvedl hypotézu o existenci permanentně polarizovaných dielektrik. Věřil, že nehledě na známé stálé magnety, izolátory s permanentní polarizací budou také přirozeně existovat. Heaviside nazval takové materiály „elektrety“, které analogicky odpovídají magnetům [11].

Základ pro porozumění chování dielektrik dal Peter Debye, když v roce 1912 rozvinul teorii polarizace. Debye také popsal základy dipolární relaxace [8], tj. procesy odpovědné za přírůstek dielektrické polarizace v elektrickém poli a jejich rozpad po odstranění elektrického pole. Debyeho teorie dielektrické polarizační relaxace hrála důležitou roli v dalším výzkumu elektretů.

Ve 20. letech našeho století japonský fyzik Mototaro Eguchi zhotovil první elektret ze směsi stejných částí karnaubského vosku, kalafuny a malého množství včelího vosku. Karnaubský vosk je smola sbíraná z palmy Karnauba, která roste v Jižní Americe. Proč pro zhotovení tohoto elektretu byla vybrána právě taková směs, která obsahuje karnaubský vosk zůstává záhadou. Bylo to asi dílem náhody. Silné elektrické pole se přikládalo k roztavené směsi ohřáté na teplotu 130°C, přičemž se pole neodstraňovalo tak dlouho, dokud vosk zcela nezatvrdl a neochladil se na pokojovou teplotu. Eguchi pomocí tohoto

elektretu prezentoval výsledky měření hustoty povrchového náboje, určil základní vlastnosti termoelektretů. Nejdůležitějším Eguchiho objevem bylo, že náboje elektretů nejsou lokalizovány na povrchu, ale rozloženy v celém objemu dielektrika [11].

Důležité datum v historii výzkumu elektretů byl rok 1937, kdy G. Nadjakov získal první sirný elektret. Ohřev a tavení materiálu bylo nahrazeno osvětlováním zatímco bylo aplikováno elektrické pole. Po odstranění nejdříve světla a poté elektrického pole, získal polarizovaný materiál, jehož náboje se udržely ve tmě několik měsíců. Nazval je „fotoelektrety“ [10]. Jestliže je světlo nahrazeno ionizační radiací, nazýváme tyto elektrety „radioelektrety“ [10].

Nadjakovovy objevy a intenzivní studium vlastností fotoelektretů byly dále rozšířeny i pro další vhodné materiály. Důležité byly i studie Fridkina, který popsal pravidla, kterými se řídí fotoelektretní náboje [11].

Další vývoj elektretních materiálů byl řešen Dickenssonem a později Sharbaughem [3] a Hamem a ukázal, že elektrety mohou být vytvořeny z mnoha termoplastických materiálů. Současně tedy byly objeveny nové metody generování permanentního elektrického náboje v dielektrikách a to tak, že nejprve byly materiály vystaveny působení silného elektrického pole a poté takovým faktorům, jako je teplota nebo světlo, později to byly radioaktivní účinky.

Od roku 1960 byly materiály obsahující „implantované“ elektrické náboje označeny jako „elektrety“ [8]. Nový rozměr pro moderní definici elektretů přinesl Bernhard Gross [11], který předložil čtvrtou hypotézu koncentrace formování permanentní polarizace jako výsledek dvou procesů – orientace molekulárních dipólů a aplikace elektrického náboje z elektrod.

Dnes je pojem „elektret“ spojován s polymery typu polyethylen nebo teflon, které obsahují prostorově rozložený náboj a jejich využití je v běžném životě velmi široké, zejména v elektroakustice.

V současné době je studium vlivu elektrostatického pole a jeho životnost rozšířeno na vlákenné filtrační materiály. Řada našich i zahraničních firem, zabývajících se výrobou těchto materiálů, zaměřuje svoje úsilí právě na využití elektretních materiálů. Například spolupráce naší katedry s universitou v Tennessee, v jejímž čele stojí L.C. Wadsworth, přinesla řadu dalších pozitivních poznatků v této oblasti.[1,5,13,22]

Předkládaná dizertační práce sleduje teorii chování náboje (povahu elektrostatického náboje, mechanismus zachycení náboje, jeho pohyblivost, projevy ve formě pole, možnost detekce a jeho interakci), vztah mezi měřitelným nábojem a odlučivostí, nehomogenitu rozložení náboje, působení okolního prostředí a podobně. Toto široké spektrum poznatků dává předpoklady pro detailnější a cílený výzkum jednotlivých aspektů.

II. VLASTNOSTI VLÁKEN

Tato část disertační práce se soustřeďuje pouze na elektrické vlastnosti vláken vztahující se k výše zmíněnému tématu.

II.1. Elektrické vlastnosti vláken

O tom, že třením vzniká, zejména na suchých vláknech, elektrický náboj, se vědělo už dříve. Tento jev zviditelnila výroba syntetik, neboť u přírodních vláken, která jsou hydrofilní, nebyl vliv elektrostatického náboje příliš patrný.

Vliv elektrostatického náboje během výroby syntetických vláken způsobuje řadu potíží. Vlákná se vzájemně odpuzují, prameny a přásky nejsou urovnané, což se výrazně odrazí na snížené kvalitě produktů. Podle polaritý náboje může dojít i k adhezi vláken na strojní součásti. S tímto jevem souvisí zvýšená přetřhovost, klesá produkce a zvyšuje se amortizace strojních zařízení. Přitahováním částecek prachu z ovzduší se vlákna více znečišťují a nopkovatí.

U spotřebitele působí elektrostatický náboj negativně na splývavost a vzhledem ke zvýšené špinivosti rostou nároky takového výrobku na údržbu.

Tato dizertační práce je naopak zaměřena na využití těchto „záporných“ vlastností vláken v oblasti filtrace. Podrobnější výklad bude uveden později a pozornost bude nyní zaměřena na rozbor elektrických vlastností vláken.

Převážná část polymerů jsou izolanty a mnohé z nich i tak používáme. Jde o nejrozšířenější aplikaci, zejména v gumárenském, plastikářském, vláknařském, textilním průmyslu apod.

Polymerní materiály jsou izolanty proto, že v těchto sloučeninách, které se skládají z uhlíku, vodíku, dusíku a kyslíku, jsou elektrony pevně vázané na atomové jádro a jsou nepohyblivé. Pro elektrickou vodivost musíme mít také pohyblivé elektrony, které vlivem elektrického potenciálu jsou schopné překonat určitou překážku. Čím více volných elektronů je v materiálu, tím více je možné vykonat takových pohybů, tím je tedy materiál elektricky vodivější. [25]

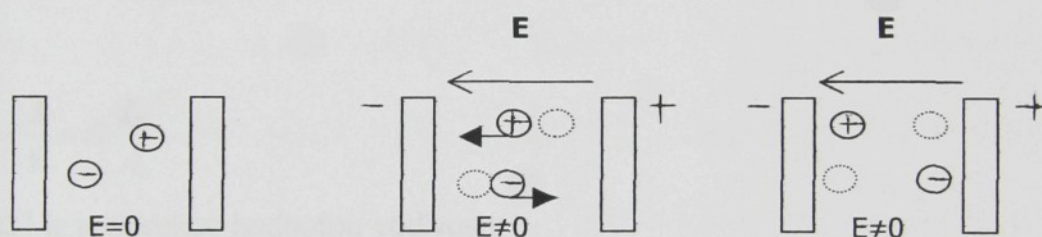
Na základě hodnocení specifických vlastností můžeme polymery jako dielektrické materiály z hlediska aplikace [8] rozdělit takto:

- | | | | |
|---|--------------------|---|-------------------------------|
| - | izolační materiály | - | elektrofotografické materiály |
| - | polovodiče | - | vysokovodivé materiály |

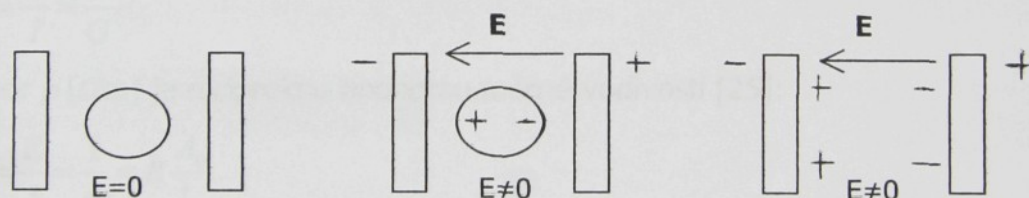
Při hodnocení měrné vodivosti jednotlivých materiálů, kterou vyjadřujeme v $[S.m^{-1}]$, můžeme všechny známé látky v přírodě v souvislosti s jejich schopnostmi vést elektrický proud, rozdělit do tří základních tříd: dielektrika, polovodiče a vodiče [16]. Reciprokou hodnotou měrné vodivosti je měrný elektrický odpor $R = \frac{1}{\sigma} [S^{-1}m] = [\Omega m]$, kde σ je měrná vodivost. Jestliže elektrický měrný odpor u vodičů je $10^8 - 10^{-2} \Omega.m$, tak u dielektrik dosahuje $10^0 - 10^{16} \Omega.m$. Polovodiče zaujímají oblast vloženou, jejich elektrický měrný odpor leží v intervalu $10^{-2} - 10^0 \Omega.m$ [4]. Klasická syntetická vlákna (PES, POP, PAD, apod.), jsou dielektrika a mají měrný elektrický odpor $10^6 - 10^{10} \Omega.m$. [45]

Pokud jsou látky umístěné v elektrickém poli může dojít k těmto mezním jevům:

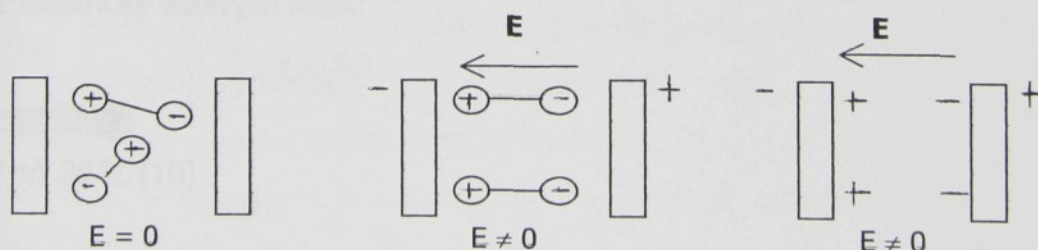
1. Nevratný, časově závislý transport elektricky nabitých částic, které jsou v látce přítomné, tj. vznik proudu, doprovázený rozptylem energie. [45] Látka s takovým chováním se označuje jako vodič (viz obr. II.1).
2. Elektrické posunutí, způsobené vznikem indukovaných dipólů či orientací dipólů v látce přítomných (obr. II.2 a,b), které je doprovázeno akumulací energie a je vratné – po odstranění pole mizí. Látka s tímto chováním se nazývá dielektrikum či izolátor. [45]



Obr. II.1 - Transport nábojů, časově závislý, nevratný



Obr. II.2.a - Vznik indukovaných dipólů, polarizace okamžitá, vratná



Obr. II.2.b - Orientační polarizace, časově závislá, vratná

II.1.1. Elektrická vodivost

Předpokládejme, že vnější elektrické pole udržuje na koncích těles o délce l_0 a ploše průřezu A_0 konstantní potenciálový rozdíl (napětí) U . Způsobuje přitom tok náboje, proud I . Intenzita elektrického pole $\mathbf{E}$ v daném místě je rovna zápornému gradientu potenciálu.

Pokud je pole homogenní, pak $\mathbf{E} = \frac{U}{l_0} [\text{Vm}^{-1}]$ [4]. Proud procházející jednotkou plochy

průřezu je proudová hustota $\mathbf{J} = \frac{I}{A_0} [\text{Am}^{-2}]$.

Obvykle se chování látky řídí Ohmovým zákonem [10]:

při zvýšení napětí U (intenzity $\mathbf{E}$) se úměrně zvýší i proud I (hustota proudu $\mathbf{J}$):

$$I \equiv \frac{dQ}{dt} = G \cdot U \Rightarrow \mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E} \quad (2.1)$$

Poměr proudu a napětí $G = \frac{I}{U} [\text{S}]$ se nazývá vodivost tělesa [16].

Poměr plošné hustoty proudu a intenzity elektrického pole se nazývá měrná vodivost $\sigma [\text{Sm}^{-1}]$:

$$\sigma = \frac{\mathbf{J}}{\mathbf{E}} = G \frac{l_0}{A_0} \quad (2.2).$$

Odpor $R [\Omega]$ je reciprokou hodnotou vodivosti:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1}{G} \quad (2.3).$$

Měrný odpor $\rho [\Omega\text{m}]$ je reciprokou hodnotou měrné vodivosti [25]:

$$\rho = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{J}} = \frac{1}{\sigma} = R \frac{A_0}{l_0} \quad (2.4).$$

Klasifikace elektricky vodivých látek:

Základní rozřídění

$\sigma [\text{S.m}^{-1}]$ při 20°C [10]

10^2	až 10^8	kovy, vodivost s teplotou klesá
10^{-8}	až 10^2	polovodiče, vodivost se prudce mění na základě jiné veličiny
10^{-20}	až 10^{-8}	izolátory, vodivost s teplotou roste

Vodivost polovodičů a izolantů s rostoucí teplotou vzrůstá. K popisu teplotní závislosti se často používá rovnice Arrheniova typu [4]:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{\frac{-E_\sigma}{R \cdot T}} \quad (2.5),$$

kde σ_0 je předexponenciální faktor mající význam vodivosti při velmi vysoké teplotě, E_σ - tzv. aktivační energie vodivosti. U polymerů však rovnice (2.5) vyhovuje zpravidla jen v úzkém teplotním intervalu. Společným rysem těchto závislostí je zlom v okolí teploty skelného přechodu. Uspokojivý popis závislosti stanovených v oblasti nad teplotou T_0 poskytuje rovnice volnoobjemového typu [4]:

$$\sigma = \sigma_\infty \cdot e^{\frac{1}{f}} \quad (2.6)$$

$$f = f_0 + \alpha_f \cdot (T - T_0) \quad (2.7),$$

kde σ_∞ je mezní hodnota vodivosti při vysokých teplotách, f - poměrný volný objem, f_0 - jeho hodnota při teplotě zlomu T_0 , α_f - jeho teplotní koeficient.

Použitelnost rovnice (2.7) pro polymery naznačuje, že volný objem tu má důležitou úlohu i při transportu náboje.

Celková rychlost transportu náboje $\frac{dQ}{dt}$ průřezem A_0 je dána součinem koncentrace $n [mol \cdot m^{-3}]$ nositelů náboje, jejich náboje $q [C \cdot mol^{-1}]$, jejich průměrné rychlosti $v [m \cdot s^{-1}]$ a plochy průřezu $A_0 [m^2]$: $\frac{dQ}{dt} = I = n \cdot q \cdot v \cdot A_0$. Rychlost nositelů náboje v je úměrná intenzitě pole E : $v = \mu_p \cdot E$. Konstanta úměrnosti $\mu_p [m^2 V^{-1} s^{-1}]$ tohoto vztahu se nazývá pohyblivost nositele náboje [10].

$$\sigma = nq\mu_p \quad (2.8).$$

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 [26].

U anorganických polovodičů vznikají vodivostní elektrony teprve chemickou excitací. Jejich koncentrace je úměrná Boltzmanovu faktoru, 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 silikátů jsou rozhodujícím nositelem náboje ionty [26,10].

Mechanismus elektrické vodivosti polymerů není zcela objasněn a jednotný mechanismus pravděpodobně neexistuje. 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 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 dává podnět k tomu, že vodivost polymerů má *přeskokový charakter*. Elektron je při svém pohybu zachycován do pastí, ve kterých přetrvává poměrně dlouhou dobu, než se mu podaří přeskočit do dalšího místa či do něj přejít tzv. tunelovým mechanismem [36].

Některé polymery se mohou stát vodivými absorpcí světla, jde o fotovodivost – změna vodivosti vlivem záření. 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. Ke zvýšení vodivosti izolátorů dochází i účinkem ultrafialového světla, paprsků X, γ , urychlených elektronů. Efekt může být částečně nevratný [27].

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 kontakt* [4], 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.

II.1.2. Dielektrické vlastnosti

Pro silové působení bodových elektrických nábojů platí Coulombův zákon [46]

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1Q_2}{r^2}, \text{ kde } F \text{ je síla vzájemného působení bodových elektrických nábojů } Q_1, Q_2,$$

které jsou ve vzdálenosti r , konstantu ϵ_0 nazýváme permitivitou vakua, ϵ_r je relativní permitivita prostředí, ve kterém na sebe elektrické náboje působí (toto nevodivé prostředí,

kteřé vyplňuje elektrické pole nazýváme dielektrikum). Zavádíme permitivitu prostředí ε vztahem

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (2.9).$$

Je to bezrozměrná veličina a je větší než jedna. Permitivita přitom závisí na použité frekvenci během měření, na vlhkosti, teplotě, vodivosti, struktuře a čistotě vláken atd. Některé faktory ovlivňující permitivitu jsou důležité pro textilní průmysl. Známé je využití kapacitních měření při zjišťování nestejnoměrnosti přízí [25].

Přítomnost vody s poměrně vysokou permitivitou značně ovlivňuje permitivitu vláken. Tento vliv je patrný nejvíce u vláken hydrofilních. Permitivitu vláken však neovlivňuje jenom voda. Velkou roli hraje přítomnost monomerů, modifikátorů struktury, apretů, charakteristických skupin atd. Protože pro vlákna přibližně platí $\varepsilon = i$, kde i je index lomu, je zřejmé, že permitivita vláken bude závislá i na směru orientace osy vlákna.

Vyplníme-li prostor mezi deskami kondenzátoru dielektrikem, dojde účinkem elektrického pole k jeho polarizaci (viz obr. II.1.-II.2.a, II.2.b). Na povrchu dielektrika se vytvoří tzv. *posuvný náboj* [4] opačného smyslu než mají desky. Tento náboj se vykompenzuje tím, že na desky přiteče ze zdroje další náboj. Celkový náboj se tak zvýší na

$Q > Q_0$, plošná hustota náboje vzroste na $\mathbf{D} = \frac{Q}{A_0} [\text{C} \cdot \text{m}^{-2}]$. Elektrická indukce $\mathbf{D}$ je vektor,

který má při povrchu vodivého tělesa velikost plošné hustoty náboje a směr vnější normály k jeho povrchu.

Mírou schopnosti dielektrika polarizovat se je veličina $\mathbf{P}$ zvaná elektrická polarizace $[\text{C} \cdot \text{m}^{-2}]$,

která je dána hustotou posuvného náboje $\frac{(Q - Q_0)}{A_0}$, a lze ji vyjádřit vztahem [27]

$$\mathbf{P} = \mathbf{D} - \varepsilon_0 \cdot \mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{P} = \mathbf{D} - \mathbf{D}_0 \quad (2.10)$$

$\mathbf{P}$ je vlastně hustota náboje indukovaná na povrchu dielektrika.

Obsahuje-li objemová jednotka dielektrika $x [\text{m}^{-3}]$ molekulárních dipólů, v každé molekule se indikuje elektrický dipól. Jeho dipólový moment se rovná součinu vzdálenosti mezi těžišti obou opačných nábojů a velikosti jednoho náboje Q (kladný a záporný náboj se v důsledku elektroneutality celé molekuly sobě rovnají). Dipólový moment $\mathbf{p}$ [47] je tedy

$$\mathbf{p} = \mathbf{r} \cdot Q \quad (2.11).$$

Je to vektorová veličina, které připisujeme směr spojnice obou nábojů (od záporného pólu ke kladnému).

V polárních dielektrikách existují elementární elektrické dipóly i bez působení vnějšího elektrického pole. Polární dielektrikum je ve většině případů tvořeno polárními molekulami.

Vzhledem k tomu, že všechny molekuly, tvořící dielektrikum, se řídí klasickou statikou, jsou elementární elektrické dipóly jednotlivých molekul orientovány zcela obecně tak, jak to odpovídá chaotickému charakteru tepelného pohybu jednotlivých molekul. Výsledné vnitřní elektrické pole je tedy rovno nule. Teprve účinkem vnějšího elektrického pole se elementární dipóly natácejí do směru tohoto pole tak, že se jejich účinky sčítají a hovoříme potom o *dipólové polarizaci* [27]. Doba ustavení dipólové polarizace se mění v širokém rozmezí od několika vteřin do několika dnů, což záleží na druhu dielektrika. Permittivita polárních dielektrik je silně závislá na teplotě.

Vložíme-li nepolární dielektrikum do vnějšího elektrického pole, potom se pohyb elektricky nabitých částic v atomech či iontech pozmění tak, že se vytvoří elementární elektrické dipóly. Říkáme, že se dielektrikum polarizovalo a popsany druh polarizace nazýváme polarizací *translační* [27]. Pozmění-li se při ní dráhy elektronů vůči jádrům atomů, hovoříme o *polarizaci elektronové*. Doba, za kterou se elektronová polarizace od okamžiku působení vnějšího elektrického pole ustaví, je velmi krátká a srovnatelná s periodou světelného záření. Vlivem vnějšího elektrického pole se ovšem posunou také rovnovážné polohy iontů v krystalové mřížce a hovoříme o *polarizaci iontové*. Iontová polarizace se ustaví také za velmi krátkou dobu, jejíž perioda odpovídá infračervené oblasti světelného záření. Permittivita u nepolárních dielektrik jen velmi slabě závisí na teplotě.

Polarizace dielektrika neprobíhá okamžitě, obecně je funkcí času $P(t)$. Skládá se, jak již bylo uvedeno, z několika složek:

Elektronová polarizace P_e – způsobena posunem vnějších elektronů a dipóly takto indukované vznikají v časech řádu 10^{-15} s [27,26,4].

Atomová polarizace P_a – posun atomových jader, probíhá pomaleji, 10^{-13} s. Souhrnně tyto dvě složky nazýváme deformační polarizace P_d [27,4,26].

Orientační polarizace P_o – způsobena orientací v látce již existujících a původně nahodile orientovaných dipólů do směru elektrického pole [26,27,4].

Celkový časový průběh polarizace $P(t)$ je možno u plyných, kapalných i některých polymerních soustav popsat tříparametrovou funkcí s jednou relaxační dobou τ :

$$P(t) = P_d + P_o \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (2.12),$$

kde P_o je limitní hodnota orientační polarizace pro $t \rightarrow \infty$.

Látku, u které je časově závislá permittivita, nezávislá na intenzitě E_o , můžeme označit jako lineární dielektrikum [25].

II.1.2.1 ELEKTRONOVÁ POLARIZACE

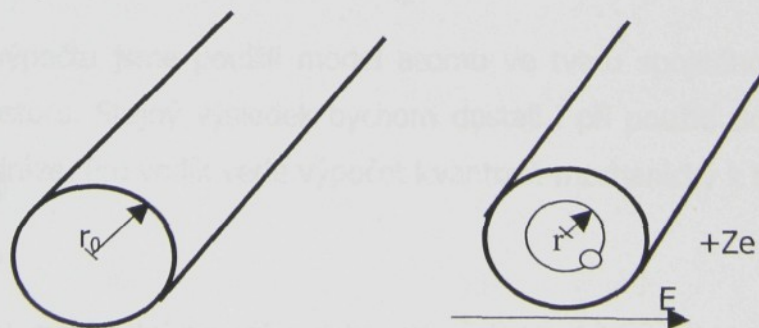
Pro tuto oblast fyziky je důležité určit fyzikální povahu polarizace, tzn. určit vztah mezi $\mathbf{P}$ a stavbou hmoty, a fyzikálně objasnit schopnost dielektrika polarizovat se v elektrickém poli, tzn. objasnit příčinu hodnoty ε u dané látky.

Je nutné nalézt mechanismy, kterými jsou vytvářeny elementární dipóly e . Tyto dipóly vznikají z nabitých k sobě vázaných částic působením elektrického pole. Látka složená z takových dvojic kladných a záporných nábojů, jejichž „těžiště“ bylo původně společné, se působením pole oddálí a tak vznikne dipól. Například atomy, které lze považovat za soustavu kladného (jádro) a záporného (elektronový oblak) náboje se společným těžištěm. Vznik dipólu je spojen s posunem elektronů, mluvíme o elektronové polarizaci [27].

Zatím jsme pracovali s tzv. vnějším polem $E = \frac{U}{r}$ které vzniklo přiložením napětí U na kondenzátor. Na dvojici nábojů ve hmotě působí nejen vnější pole $\mathbf{E}$, ale i pole buzené okolními dipóly. Jejich součet je tzv. vnitřní pole $\mathbf{E}_v$. Určení vnitřního pole je jedním z hlavních problémů teorie polarizace.

Za jakých podmínek lze psát rovnost $\mathbf{E}_v = \mathbf{E}$ [27] ? Pouze tehdy, jestliže pole v místě uvažovaného dipólu způsobené ostatními dipóly v látce bude zanedbatelné. To bude splněno tím spíše, čím menší budou okolní dipóly e a čím jejich počet x bude menší. Nyní určíme na základě klasického modelu atomu polarizaci pro vláknenný válcový útvar.

Ve středu záporného oblaku prostorového náboje o poloměru r_0 leží jádro s nábojem $+Ze$ (obr. II.3). Přiložíme pole E , jádro se posune o r . Jaké pole E způsobené oblakem působí nyní v místě jádra? Předpokládejme, že se jedná o polarizaci vláken.



Obr. II.3 – elektrické pole vláknenného útvaru

Podle Gaussovy věty [4,27]

$$E \cdot 4\pi r^2 = 4\pi(\pi \cdot r_0^2 \cdot h) \cdot \rho_1 \quad (2.13),$$

kde

$$\rho_1 = -\frac{Ze}{\frac{4\pi}{3} \cdot r_0^3} \quad (2.14)$$

je prostorová hustota náboje v záporném elektronovém oblaku. Tedy

$$E = \frac{-Ze}{r_0^2} \cdot r \quad (2.15).$$

Oblak působí na jádro posunutě o r silou

$$G_1 = \frac{-(Ze)^2}{r_0^2} \cdot r \quad (2.16).$$

Přiložíme-li vnější pole E , působí na jádro silou

$$G_2 = Ze \cdot E \quad (2.17).$$

V rovnováze musí platit

$$G_1 + G_2 = 0 \quad (2.18).$$

Z toho

$$Ze \cdot r = E \cdot r_0^2 \quad (2.19),$$

ale $Ze \cdot r$ je dipólmoment p , tedy

$$p = r_0^2 \cdot E \quad (2.20).$$

Pro elektronovou polarizovatelnost α_{el} platí

$$\alpha_{el} = r_0^2 \quad (2.21).$$

Atomové poloměry r_0 jsou řádově 10^{-8} cm, elektronová polarizovatelnost leží v oblasti 10^{-24} cm³ [4].

Při tomto výpočtu jsme použili model atomu ve tvaru spojitého záporného náboje v ohraničeném prostoru. Stejný výsledek bychom dostali i při použití Bohrova modelu, tzn. elektronu na jisté dráze. Pro vodík vede výpočet kvantově-mechanický k hodnotě

$$\alpha_{el} = \frac{9}{2} \cdot r_0^3, \quad (2.22)$$

kde r_0 je vzdálenost maximální pravděpodobnosti výskytu elektronu od jádra. Větší hodnota než r_0^3 souvisí s tím, že hustota náboje není nulová ani pro velké vzdálenosti od jádra; čím se elektron nachází dále od jádra, tím slaběji je vázán a tím více přispívá k polarizovatelnosti. Pro složitější atomy je výraz (2.22) nevhodný. Přesto lze z této jednoduché teorie předpovědět chování α_{el} v Mendělejevově tabulce: jdeme-li podél sloupce tabulky shora dolů,

počet elektronů roste a zvětšuje se poloměr vnější dráhy. Jdeme-li podél řádky, může α_{el} růst i klesat, podle toho, zda převládne efekt zvětšení počtu elektronů či zmenšení poloměrů drah. Podobné úvahy platí i pro ionty [27].

II.1.2.1.1. Disperze elektronové polarizace

Je důležité upozornit na to, jak se projeví elektronová polarizace v závislosti na frekvenci [27].

Uvažujme elektron o hmotnosti m a náboji q , na nějž působí časově proměnné pole $F = F_0 \cdot q^{j\omega t}$ a který je vázán k pevnému jádru silou o kvazielastické konstantě f_1 . Pohybová rovnice pak zní

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\alpha \cdot \frac{dx}{dt} + f_1 \cdot x = q \cdot E_0 \cdot q^{j\omega t}, \quad (2.23)$$

což lze psát jako

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\alpha \cdot \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 \cdot x = \frac{q}{m} \cdot E_0 \cdot q^{j\omega t}, \quad (2.24)$$

když $\omega_0 = \sqrt{\frac{f_1}{m}}$. Jedná se o vynucené kmity tlumeného harmonického oscilátoru.

Koeficient tlumení α hraje velmi důležitou roli. Nenulovost α je způsobena třemi příčinami [27]:

- protože se jedná o kmitající dipól, musí vyzařovat energii ve formě elektromagnetického pole;
- Dopplerovým efektem
- interakcí s okolními kmitajícími dipóly, projevující se ve formě srážek.

Dříve jsme zavedli $\varepsilon = 1 + \frac{4\pi P}{E}$, nyní budeme definovat komplexní permitivitu ε^* jako

$$\varepsilon^* = 1 + \frac{4\pi P}{E}; \quad P \text{ a } E \text{ je nutno nyní brát jako komplexní čísla, neboť } P \text{ není ve fázi s } E.$$

Komplexní permitivitu ε^* rozdělujeme na reálnou a imaginární složku.

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon''. \quad (2.25)$$

Oblast frekvencí, v níž ε' s rostoucí frekvencí roste, nazýváme oblastí normální disperze. Tam, kde ε' klesá, mluvíme o disperzi anomální. Podobně lze zavést fázový rozdíl δ mezi D a E .

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}. \quad (2.26)$$

Toto δ je tzv. ztrátový úhel dielektrika. Ideální dielektrikum je, když ztrátový úhel je roven nule, tzn. že permitivita neobsahuje imaginární složku. Protože se jedná o pohyb elektronů, které mají malou hmotu a jsou k jádrům silně vázány, je zřejmé, že oblast disperze bude ležet při velmi vysokých frekvencích. Fázová rychlost elektromagnetické vlny v neabsorbujícím dielektriku je dána vztahem [27]

$$v = \frac{cv}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}}, \quad (2.27)$$

kde μ je permeabilita; pro dielektrika je $\mu = 1$. Ale optický index lomu je definován jako

$$i = \frac{cv}{v}, \text{ takže} \quad i^2 = \varepsilon. \quad (2.28)$$

Formálně lze definovat

$$\varepsilon^* = (i^*)^2, \quad (2.29)$$

kde

$$i^* = i' - j \cdot i'', \quad (2.30)$$

Lze snadno ukázat, jaký význam mají složky i^* . Platí

$$i' = i, \quad (2.31)$$

tj. fázová rychlost vlny je $\frac{cv}{i'}$,

$$i'' = i \cdot k \cdot i'', \quad (2.32)$$

kde k je koeficient absorpce (je-li x_0 vzdálenost v dielektriku, za níž klesnou amplitudy E_y a

H_z elektromagnetického pole šířícího se ve směru osy x na $1/q$, pak $k = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot x_0}$. Pak tedy

platí

$$\varepsilon' = i'^2 \cdot (1 - k^2), \quad (2.33)$$

$$\varepsilon'' = 2 \cdot \pi^2 \cdot k. \quad (2.34)$$

Vidíme, že měřením indexu lomu a absorpce měříme zároveň ε' , ε'' .

Měření frekvenční závislosti indexu lomu ukázala, že skutečně existuje oblast normální a anomální disperze. Dokonce i tvar závislosti absorpce a indexu lomu na frekvenci odpovídá tvaru, který byl vypočten tímto modelem. Lze pozorovat, že absolutní hodnotu elektronové polarizovatelnosti může klasický model dobře určit, pokud se jedná o hodnotu daleko od rezonanční frekvence. Podstata této možnosti spočívá v tom, že při tak vysokých frekvencích

se neuplatňuje již žádný jiný mechanismus vzniku dipólů, takže měříme skutečně jen elektronovou polarizaci. Toho se skutečně využívá (tzv. extrapolace j k nekonečným vlnovým délkám). Měří se v oblasti 5 000 – 8 000 Å, neboť absorpce leží většinou ve fialovém a ultrafialovém oboru. Budeme-li měřit index lomu dostatečně daleko nad rezonanční oblastí, bude se $j \rightarrow 1$. Souvisí to pochopitelně s tím, že již nedochází vůbec k polarizaci dielektrika; elektrony se svou hmotou nestačí již sledovat elektromagnetické pole.

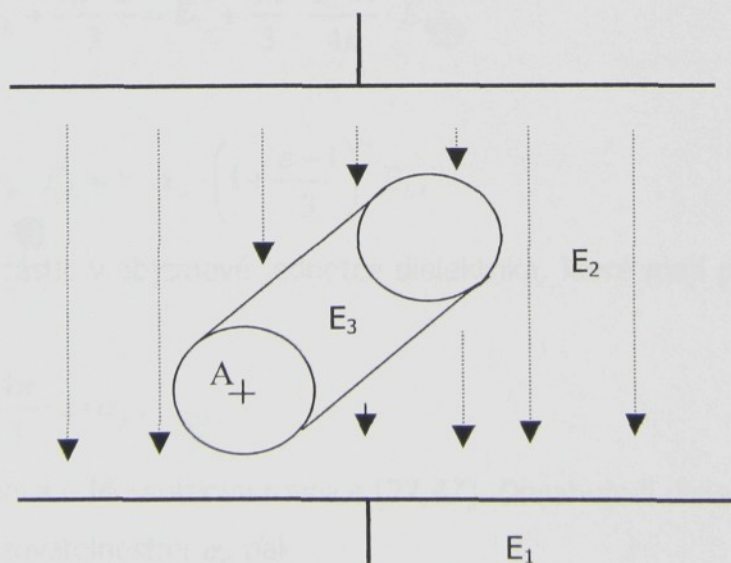
II.1.2.1.2. Lorentzovo vnitřní pole

Všechny ostatní částice v látce mají větší hmotnost než elektrony. Lze tedy očekávat, že při měření v okolí optické absorpce se uplatní již jen elektronová polarizace, protože ostatní typy (pokud existují) polarizace, souvisí s pohybem značně těžších částic. Objevuje se otázka, zda bychom nemohli měřit elektronové polarizovatelnosti atomů či iontů měřením indexu lomu krystalů (kombinací několika sloučenin, v nichž se vyskytují tytéž prvky, bychom mohli vypočítat příslušné elektronové polarizovatelnosti). Tato metoda by selhala a vedla k různým hodnotám α_{el} jistého prvku určeného z různých kombinací sloučenin [27,4].

Tato skutečnost je dána tím, že v krystalech je $\varepsilon \gg 1$ a nelze již užít předpokladu, že pole působící na atom (iont), vnitřní pole f_i je rovno makroskopickému poli E . V různých látkách je stejný atom při stejném E_L podroben působení různého vnitřního pole.

Metoda výpočtu vnitřního pole je tato:

Uvnitř zkoumaného dielektrika (v kondenzátoru s připojeným napětím $U = E \cdot d$) zvolíme kolem bodu A, v němž chceme zjistit vnitřní pole, válec (idealizovaný tvar vlákna). Jeho poloměr je dost velký oproti meziatomovým vzdálenostem v látce (obr. II.4.)



Obr. II.4 – vnitřní pole zidealizovaného tvaru vlákna - E_1 , E_2 , E_3 – odpovídá osám x , y , z

Pole v bodě A bude sestávat ze tří složek:

- E_1 vnější (přiložené) pole,
- E_2 pole způsobené oblastí za válcem, lze jej, vzhledem k velikosti válce, pokládat za pole homogenního dielektrika s permitivitou ε , bez ohledu na jeho atomovou strukturu,
- E_3 pole způsobené částicemi ve válci:

$$E_L = E_1 + E_2 + E_3. \quad (2.35)$$

E_2 lze snadno vypočítat (poprvé určil Lorentz) [27]. Při použití faktu, že E_2 je určeno vázanými polarizačními náboji dipólů končících na povrchu válce a s použitím Coulombova zákona vyjde

$$E_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot P}{3}. \quad (2.36)$$

Pole E_3 je obtížné určit, protože je nutné znát a matematicky zpracovat skutečnou strukturu částic a dipólů v blízkém okolí bodu A. Jednoduchý výpočet by ukázal, že

$$E_3 = 0 \quad (2.37)$$

platí tehdy, je-li bod A v uzlu kubické mříže (jednoduché, plošně i objemově centrované) nebo je-li dielektrikum nepolární (částice nemají stálý dipólový moment) a izotropní (např. plyn, i při velkém tlaku, tj. velké hustotě).

Za předpokladu (2.37)

$$E_{LO} = E_L + \frac{4\pi \cdot P}{3}. \quad (2.38)$$

To je tzv. Lorentzovo vnitřní pole [27]. Protože

$$E_{LO} = E_L + \frac{4\pi \cdot P}{3} = E_L + \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{4\pi} \cdot E_L \quad (2.39)$$

a protože

$$P = x \cdot \alpha_p \cdot E_L = x \cdot \alpha_p \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon - 1}{3}\right) \cdot E_L, \quad (2.40)$$

kde x je počet částic v objemové jednotce dielektrika, které mají polarizovatelnost α_p [47], platí

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{4\pi}{3} \cdot x \cdot \alpha_p. \quad (2.41)$$

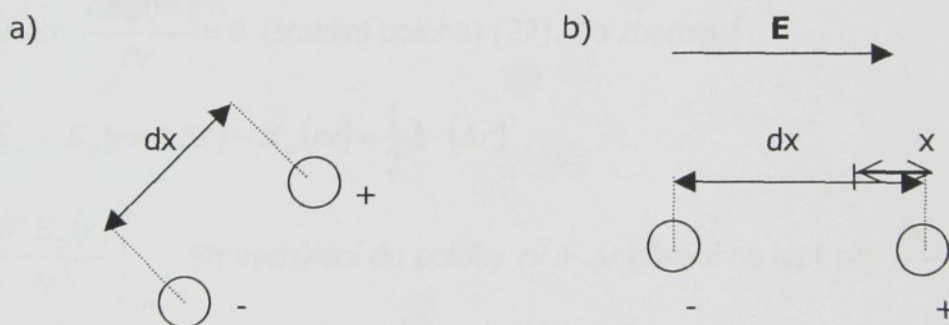
To je tzv. Clausiova – Mossottiova rovnice [27,47]. Obsahuje-li dielektrikum více druhů částic s různými polarizovatelnostmi α_i , pak

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{4\pi}{3} \cdot \sum_i x_i \cdot \alpha_i. \quad (2.42)$$

Clausiova – Mossottiova rovnice je jedním z podstatných výsledků fyziky dielektrik, protože určuje vztah mezi makroskopicky měřenou veličinou (ε) a mikroskopickými vlastnostmi látky (α_p , např. $\alpha_{el} = r_o^3$). Takto dosáhneme souhlasu mezi ε vypočteným z (2.42) a i^2 měřeným experimentálně. Např.: pro NaCl $\varepsilon_{opt} = \bar{n}^2 = 2,37$. Použitím Clausiovy – Mossottiovy rovnice pro řadu látek se známými indexy lomu umožňuje výpočet elektronových polarizovatelností různých atomů či iontů [27].

II.1.2.2. Iontová polarizace

S iontovou polarizací je třeba počítat u takových materiálů, jejichž molekuly jsou tvořeny kladnými a zápornými ionty. Pokud je intenzita vnějšího elektrického pole $E = 0$, pak vzdálenost mezi kladným a záporným iontem dx je konstantní (obr. II.5a). Ve vnějším elektrickém poli se „iontový“ dipól natáčí do směru uvažovaného pole a v důsledku silového působení se změní vzdálenost kladného a záporného iontu (obr. II.5b), [10].



Obr. II.5 – Iontový dipól ve vnějším elektrickém poli

Přídavný dipólový moment v důsledku zvětšené vzdálenosti iontů je $p_i = q \cdot r$. Vzdálenost r se dá určit z rovnováhy síly elektrického pole $F_E = q \cdot E$ a vazební síly uvažovaných dvou iontů F_v . Ze spektrografických měření lze určit vazební sílu F_v , vztahenou na jednotkovou vzdálenost, tedy napětí σ_v [N.m⁻¹]. Potom platí [8]

$$F_v = \sigma_v \cdot r = q \cdot E \quad (2.43)$$

Z rovnice (2.43) užitím vztahu
$$p_i = \frac{q^2}{\sigma_v} \cdot E \quad (2.44)$$

A pomocí $p_i = \varepsilon_0 \cdot \alpha_p \cdot E_d$ pak pro iontovou polarizovatelnost α_i získáme vztah

$$\alpha_i = \frac{q^2}{\varepsilon_0} \cdot \sigma_v. \quad (2.45)$$

Dipólový moment nevzniká jen u atomů resp. iontů deformací elektronového oblaku, ale u každého systému nabitých částic, umístěných v elektrickém poli.

Coulombovská energie dvou iontů o nábojích $\pm q \pm q$ ve vzdálenosti r má tvar $\frac{-q^2}{r}$, repulsivní energie elektronových obalů je dána exponenciálním výrazem. Přibližně pro ni můžeme psát $\frac{s}{r^n}$, kde s je konstanta. Je-li součet obou sil plynoucích z těchto energií nulový, ustaví se oba ionty do jisté rovnovážné vzdálenosti rv , určené rovnicí [8,23]

$$\frac{q^2}{rv^2} + \frac{n \cdot s}{rv^{n+1}} = 0, \quad (2.46)$$

odkud $s = \frac{q^2 \cdot rv^{n-1}}{n}$. Představme si jeden z iontů pevný, druhý – vlivem pole – pohyblivý.

Vlivem pole se posune o Δr . Potenciální energie iontů se změní z hodnoty $E_p(a)$ na

$$E_p \cdot (rv + \Delta r) = E_p(rv) + \frac{\partial E_p(rv)}{\partial r} \cdot \Delta r + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 E_p(rv)}{\partial r^2} \cdot \Delta r^2 + \dots, \quad (2.47)$$

přičemž ovšem $\frac{\partial E_p(rv)}{\partial r} = 0$ (stabilní poloha) [27]. To znamená

$$\Delta E_p = E_p(rv + \Delta r) - E_p(rv) = \frac{1}{2} k \cdot (\Delta r)^2, \quad (2.48)$$

kde $k = \left(\frac{\partial^2 E_p(r)}{\partial r^2} \right)_{r=a}$. Při vychýlení do polohy $rv + \Delta r$ působí na iont síla $\frac{\partial E_p(rv + \Delta r)}{\partial(\Delta r)}$,

$$\frac{\partial E_p(rv + \Delta r)}{\partial(\Delta r)} = \left(\frac{\partial^2 E_p(r)}{\partial r^2} \right)_{r=a} \cdot \Delta r = k \cdot \Delta r. \quad (2.49)$$

Elektrické pole F působí silou $-q \cdot F$.

Rovnováha bude při

$$-q \cdot F + k \cdot \Delta r = 0, \quad (2.50)$$

takže iontová polarizovatelnost $\alpha^{(i)}$ (poměr dipólmomentu p způsobeného posunutím iontu k působícímu poli)

$$\alpha^{(i)} = \frac{p}{F} = \frac{q \cdot \Delta r}{F} = \frac{q^2 \cdot F}{k \cdot F} = \frac{q^2}{k}. \quad (2.51)$$

Dosazením za k , za s a protože $E_p(r) = \frac{-q^2}{r} + \frac{s}{r^n}$ dostaneme

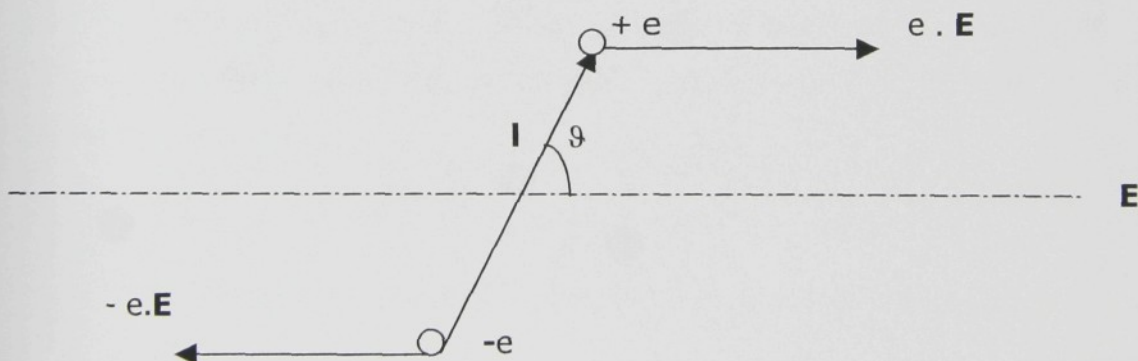
$$\alpha^{(i)} = \frac{rv^3}{n-1}. \quad (2.52)$$

Vzdálenost rv je řádově rovna součtu poloměrů obou iontů $r_1 + r_2$. Polarizovatelnost iontového posunu je řádově srovnatelná s polarizovatelností elektronovou. Stejně jako u elektronové polarizace můžeme vyšetřovat vynucené kmity soustavy iontů v závislosti na frekvenci. Dojdeme k podobným závěrům a není nutné toto znovu podrobně objasňovat.

II.1.2.3. Dipólová polarizace

Účinkem vnějšího elektrického pole se elementární dipóly natáčí do směru pole tak, že se jejich účinky sčítají. Jak závisí dipólová polarizace α_d na teplotě? Nachází-li se elementární elektrický dipól s konstantním momentem $\mathbf{p}_i = \mathbf{p}$ ve vnějším konstantním elektrickém poli intenzity $\mathbf{E}$ (obr. II.6), [4] je jeho potenciální energie dána skalárním součinem

$$\begin{aligned} (W_p = \mathbf{p} \cdot \text{grad}V(r) = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}(r)) \\ W_p = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E} = -p \cdot E \cdot \cos \vartheta \end{aligned} \quad (2.53)$$



Obr. II.6 – elementární dipól ve vnějším elektrickém poli a potenciální energie

Tomuto natočení dipólu však brání tepelný pohyb molekul, takže ne všechny momenty $\mathbf{p}$ svírají stejný úhel ϑ se směrem $\mathbf{E}$. Celkovou polarizaci jednotky objemu polárního dielektrika, obsahujícího x elementárních dipólů, lze vyjádřit vztahem

$$P = x \cdot p \cdot \overline{\cos \vartheta} \quad (2.54)$$

kde $\overline{\cos \vartheta}$ je střední hodnota kosinu úhlu ϑ vzhledem k tepelnému neuspořádanému pohybu.

II.1.3. Elektrická pevnost

Elektrickou pevností [46,25] se rozumí schopnost izolantů odolávat namáhání elektrickým polem. Její mírou je intenzita elektrického pole E_{pev} při které dojde v izolantu k průrazu nebo přeskoku;

$$E_{pev} = \frac{U_p}{L}, \quad (2.55)$$

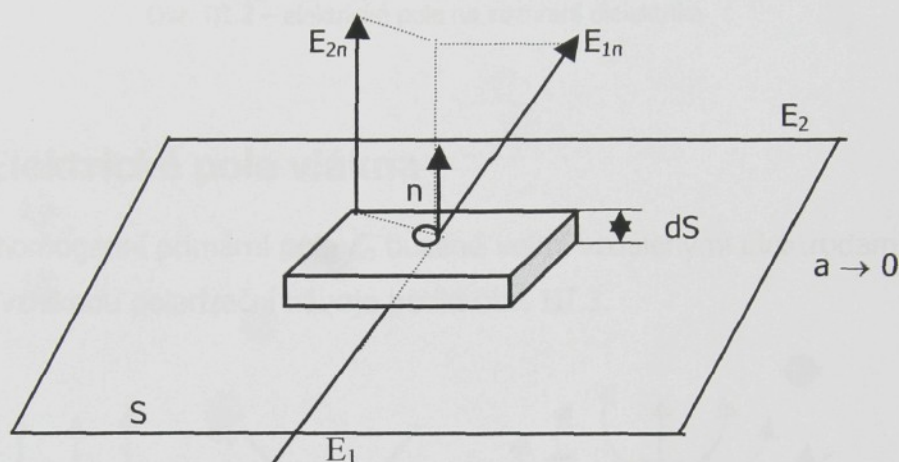
kde U_p je příslušné průrazové napětí, L je tloušťka tělesa mezi elektrodami. Průraz je výboj, kterým se v izolantu vytvoří vodivá dráha. Místem výboje projde náhlý proud a vyvinutým teplem izolant zuhelnatí, roztaví se nebo i zplynuje; tedy se mechanicky poškodí. Přeskok je druh elektrického výboje, který vzniká vždy v plynném prostředí, v daném případě tedy na povrchu izolantů. Projevuje se jednotlivými jiskrami, které mohou přejít v oblouk.

El. pevnost se udává v $[kV \cdot cm^{-1}]$. Závisí na tvaru připojených elektrod, na tlaku, teplotě, na tloušťce izolantu a na časovém průběhu napětí [27].

III. ELEKTROSTATICKÁ SOUSTAVA

Situaci, kdy se uvnitř tělesa nacházejí dutiny vyplněné vzduchem (popřípadě jiným dielektrikem) nazýváme obecnou (nehomogenní) elektrostatickou soustavou. Doposud byli zkoumány jen jevy v homogenním prostředí.

Vyšetřujeme jak se chová elektrostatické pole na plochách, které tvoří ostré rozhraní mezi různými prostředími, nebo na tenkých plochách nesoucích náboj. Rozhraní je tak ostrý přechod mezi dvěma prostředími, že jeho tloušťku můžeme v porovnání s makroskopickými délkovými prvky považovat za nulovou.



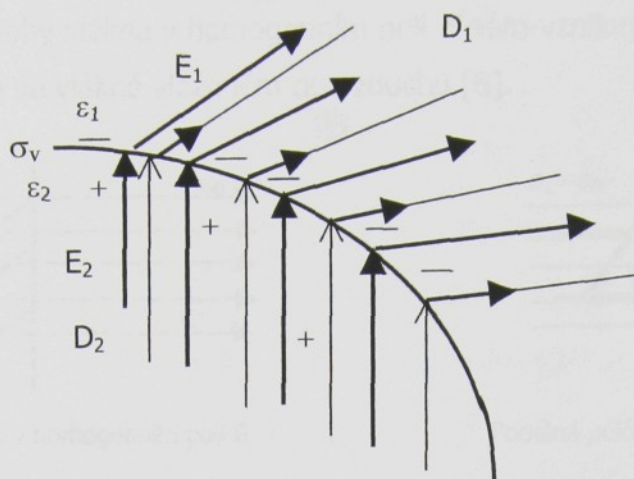
Obr. III. 1- ploché tělísko na ostrém rozhraní

Ploché tělísko je omezené ploškami dS ležícími těsně po obou stranách plochy S . Tloušťka vrstvy volných nábojů σ_0 je nulová [23]. Tok vektoru E z bočního pláště můžeme považovat za nulový a tedy:

$$(E_{2n} - E_{1n}) \cdot dS = \sigma_0 \cdot \frac{dS}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

Elektrické pole na povrchu dielektrika (resp. na rozhraní dvou dielektrik) by se vytvářelo podle obr. III.2.

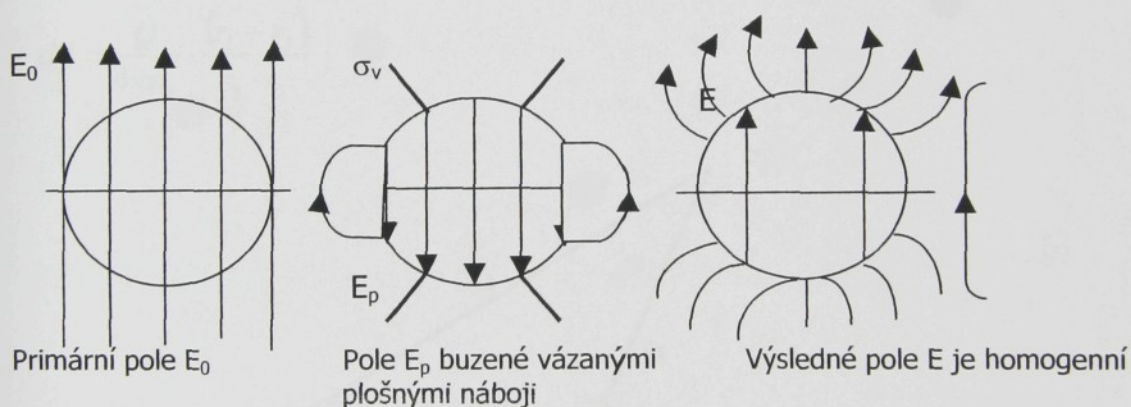
Elektrostatické pole na povrchu dielektrika. Intenzita pole E vychází i z plošných vázaných nábojů, kdežto indukce D je kontinuální, protože plošná hustota volných nábojů $\sigma_0 = 0$ [23].



Obr. III.2 – elektrické pole na rozhraní dielektrika

III. 1. Elektrické pole vlákna

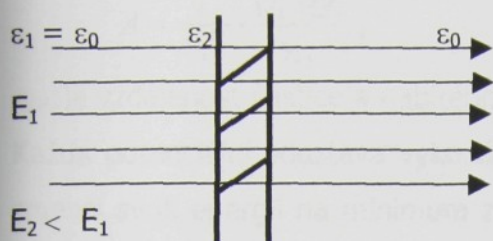
Když je homogenní primární pole E_0 buzené velmi vzdálenými elektrodami, tak na povrchu vlákna vzniknou polarizační náboje podle obr. III.3.



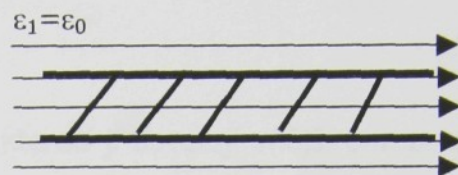
Obr. III.3 – vlákno (řez vlákna), dielektrikum v elektrickém poli

Pokud by se ve vláknu (dielektriku) homogenně polarizovaném vyskytovala dutina, tak polarita vázaných plošných nábojů σ_v na vnitřním povrchu dutiny bude opačná než na obr. III. 3 a tím dojde uvnitř dutého vlákna k zesílení pole E . Přitom se však zeslabí indukce pole D .

Podle polohy vlákna v homogenním poli E nám vznikají dva krajní případy (obr. III.4) znázorňující pole ve vlákne vloženém do vzduchu [8].



Příčná poloha vlákna v homogenním poli E



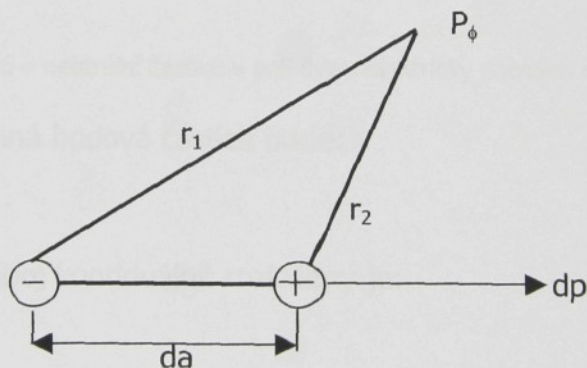
Podélná poloha vlákna v homogenním poli E

Obr. III.4 – dvě krajní polohy vlákna vloženého do vzduchu

III.2. PŮSOBENÍ POLE VLÁKNA NA ČÁSTICE

Dvojice velmi tenkých vláken (nábojů) různé polarity $\pm Q$, jejichž vzdálenost da je zanedbatelně malá v porovnání s rozměry fyzikálních prostorových prvků nazýváme dipól. Potenciál $d\phi$ buzený dipólem v referenčním bodě P_ϕ [4], (obr. III.5) bude:

$$d\phi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{(r_1 - r_2)}{r_1 \cdot r_2} \quad (3.2)$$



Obr. III.5 – potenciál buzený velmi tenkými vlákny (dipólem)

Na dipól nepůsobí v homogenním poli žádná výsledná síla, jen točivý moment.

$$dM = dp \times E \quad (3.3)$$

dp je dipólový moment velmi tenkého vlákna (dipólu).

Při soustavě většího počtu velmi tenkých vláken rozmístěných v daném objemu nerovnoměrně by pro dipólový moment n -nabitých vláken platilo:

$$p = \sum_{j=1}^n Q_j \cdot r_j \quad (3.4)$$

Práce A potřebná k převedení částice s nábojem Q_2 z nekonečna do dané polohy při nabitém vlákně je:

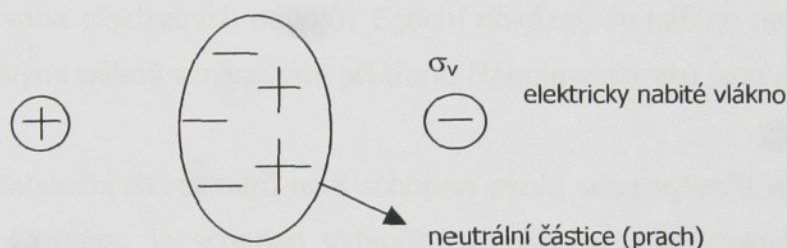
$$A = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r_{12}}, \quad (3.5)$$

r_{12} je vzdálenost částice a nabitého vlákna.

Každá potenciální soustava vykoná maximální práci, kterou jí dovolují vnější omezení a tím zmenší svoji energii na minimum za daných dosažitelných podmínek. Proto se např. náboje na vodiči rozmístí vždy na povrchu a proto se prostředí polarizuje a tím zmenšuje intenzitu pole [16].

Když vložíme částici do pole mezi dvě nabitá vlákna (obr. III.6), tak můžeme odvodit energii volných částic přivedených k vláknu na základě $Q_2 = -Q_1$ a z toho:

$$\int_{S_1} \sigma_1 \cdot dS = \int_{S_2} \sigma_2 \cdot dS = Q \quad (3.6)$$



Obr. III.6 – neutrální částice v poli dvou elektricky nabitých vláken

Síla, kterou bude přitahovaná bodová částice bude:

$$F = Q \cdot E \quad (3.7)$$

a celková síla vlákna na náboj kontinuálně rozložený je:

$$F = \int_V \rho_1 \cdot E \cdot dV, \quad (3.8)$$

ρ_1 je hustota náboje. Pro praxi využívající elektrostatické síly působící na drobné částice je důležitý fakt, že částice jsou vtahované do míst s větší intenzitou pole E [10].

IV. Elektrety

Látky, vyznačující se přítomností permanentních nábojů opačného znaménka na protilehlých stranách, označujeme jako elektrety. Je to v podstatě elektrická obdoba trvalých magnetů neboli ferroelektrika, ferroelektrety.

Lze je připravit např. tak, že se polymer v teplotní oblasti nad T_g účinkem silného elektrického pole zpolarizuje a za stálého účinku el. pole se ochladí pod T_g . Dipóly za tepla orientované ztratí při nízké teplotě pohyblivost a jejich relaxační doba vzroste až na několik let.

Hustota povrchového náboje elektretů je vyjádřena podílem velikosti náboje na plochu elektrody [11].

$$\sigma_H = \frac{q}{S} \quad (4.1)$$

Jaká je povaha elektretních nábojů? Eguchi dokázal, že náboje nejsou svojí povahou totožné s povrchovými náboji vznikajícími při tření. Náboje elektretu jsou rozděleny v objemu dielektrika.

Elektret nekonečných rozměrů není schopen okolo sebe vytvořit el. pole. Jestliže má elektret konečné rozměry, je schopen vytvořit okolo sebe stálé elektrické pole. Velikost tohoto pole je různá. U krajů elektretu je intenzita pole značně velká než v oblasti centra.

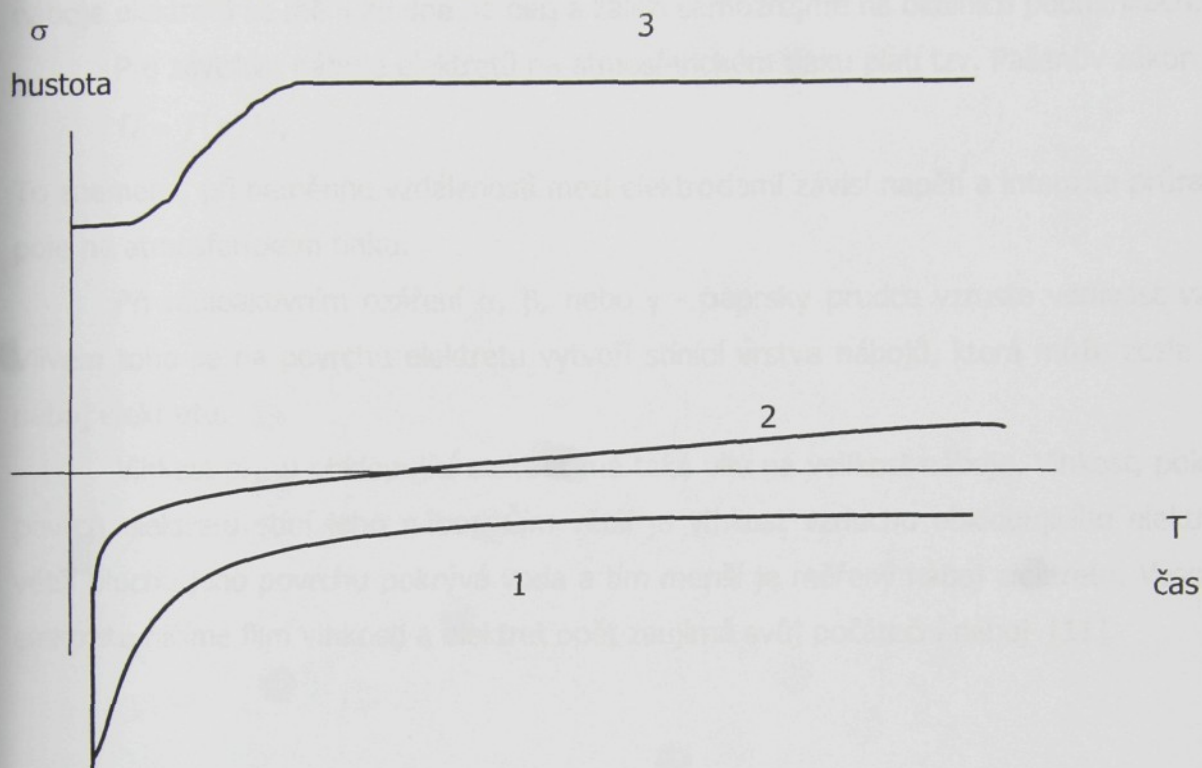
IV.1. Druhy nábojů u elektretů

Kromě nábojů polarizace, jsou v elektretu náboje jiného charakteru, jejichž znaménko je opačné k polarizovaným nábojům [11]. Uvnitř i vně elektretu je silné elektrické pole. To způsobí vlivem vodivosti materiálu elektretu a okolního plynu vznik proudu, který se bude snažit zmenšit vyzývané pole. Výsledkem budou polarizované náboje částečně zcloněné volnými náboji dielektrika a iony vzduchu. Polarizované náboje jsou získané dodatkou polarizací a volné náboje jsou schopné volně se pohybovat vlivem el. pole. Heteronáboj u elektretů vzniká v případě, když je polarizovaný náboj větší než clonící volný náboj a homonáboj v opačném případě. Přechod náboje elektretu přes nulu a otočení znaménka náboje je spojeno s faktem, že jeho polarizované a volné náboje nejsou stálé a nachází se celou dobu v proměnlivých polohách [8].

IV.2. Stabilita a životnost náboje elektretů

Elektret se odlišuje od jiných dielektrik tím, že je schopen nést na svých protilehlých stranách náboje různého znaménka, které se mohou uchovat během dlouhé doby.

Jak závisí povrchový náboj elektretů v čase?



Obr. IV.1 – závislost povrchového náboje v čase

Můžeme získat tři různé případy [11]:

Křivka 1 – *heteronáboj* (σ má záporné znaménko) během několika týdnů se zmenšuje k nule.

Křivka 2 – *heteronáboj* rychle klesá k nule a potom se mění v *homonáboj*; jeho velikost zpočátku roste, jde do maxima a potom se prakticky nemění.

Křivka 3 – hned po elektrizaci se objevuje *homonáboj*, který jde přes maximum a potom se málo mění s časem.

Tyto případy se budou objevovat v závislosti na velikosti polarizujícího pole a dielektrických vlastností materiálu elektretu. Rozhodující roli hraje intenzita pole polarizace.

Závěrem lze říci, že heteronáboj elektretů je nestabilní, buď rychle celý zmizí nebo se přetočí na homonáboj [8,11].

Životnost elektretů, tj. doba během níž si udržují svůj náboj, je relativně dlouhá. Pro některé druhy elektretů (vosky, keramické elektrety,...) trvá životnost roky. Elektrety z polymerů (POP) mají menší stabilitu náboje, řádově desítky měsíců. Velikost povrchového náboje elektretů se mění ze dne na den a záleží samozřejmě na okolních podmínkách.

Pro závislost náboje elektretů na atmosferickém tlaku platí tzv. Pašenův zákon

$$U = f(p \cdot 1), \quad (4.2)$$

To znamená, při neměnné vzdálenosti mezi elektrodami závisí napětí a intenzita průrazového pole na atmosferickém tlaku.

Při radioaktivním ozáření α , β , nebo γ - paprsky prudce vzroste vodivost vzduchu. Vlivem toho se na povrchu elektretu vytvoří stínící vrstva nábojů, která může zcela zastínit náboj elektretu.

Vlhkost plynu obklopující elektret má také vliv na velikost náboje. Vlhkost, pokrývající povrch elektretu stíní jeho náboj. Čím větší je vlhkost vzduchu obklopujícího elektret, tím větší plochu jeho povrchu pokrývá voda a tím menší je měřený náboj elektretu. Vysoušením elektretu ničíme film vlhkosti a elektret opět zaujímá svůj počáteční náboj [11].

V. VLIV ELEKTRIZACE VLÁKENNÝCH MATERIÁLŮ NA FILTRAČNÍ PARAMETRY

Ve všech průmyslově vyvinutých státech je filtraci vzhledem k velkému praktickému významu věnována velká pozornost. Jsou zaváděny stále nové a dokonalejší druhy filtračních materiálů pro nejrůznější účely. Filtrace nalézá široké uplatnění v průmyslu, v armádě, ve zdravotnictví, v laboratorní praxi apod.

Existuje celá řada metod, které vedou ke snaze vyrobit takový filtrační materiál, jehož účinnost bude velmi vysoká a tlakové ztráty budou minimální.

V.1. OBECNĚ O FILTRACI

V.1.1. Filtrační materiály a jejich struktura

Filtrační materiály slouží k tomu, aby oddělily z disperze dispergovanou fázi. Pro filtraci je nejvýznamnější [15]:

- Charakteristika fází, tj.:

dispergované	x	disperzní
tuhá		kapalná
tuhá		plynná
kapalná		plynná
kapalná		kapalná

- Jemnost dispergované fáze
- Podíl dispergované fáze ve fázi disperzní
při koncentraci $< 5 \text{ mg} / \text{m}^3$, jedná se o průmyslovou filtraci
při koncentraci $> 5 \text{ mg} / \text{m}^3$, jedná se o materiály pro klimatizaci, filtraci vzduchu.

Hlediska určující požadavky na filtrační materiály:

- a) zajištění zachytu co nejmenších částic na filtrech s vysokou filtrační účinností.
- b) zajištění zachytu částic na filtrech s maximální účinností, kde nesmí projít žádná částice o kritické velikosti pro danou technologii [3,4].

V.1.2. Struktura filtrů

Struktura filtrů je klasifikována podle toho, jakým způsobem jsou vyrobeny. Jedním z nejrozšířenějších způsobů je použití porézních látek. Tyto látky mají různou strukturu – vláknitou, zrnitou, pórovitou apod. Na základě toho jde o filtraci vláknitými filtry (porézní látka má vláknitou strukturu), membránovými filtry (pórovitou strukturu).

V.1.3. Základní charakteristiky filtrace

Pro praktické použití teorie filtrace je nutná analýza rovnic pro účinnosti filtru a zjištění závislosti účinnosti na jednotlivých veličinách, které popisují vlastnosti částic, proud plynu a filtru. Vzhledem k tomu, že ve filtraci vystupují tři objekty, je možno všechny tyto závislosti rozdělit do tří skupin. Do první skupiny zařadíme závislosti účinnosti na veličinách, které popisují vlastnosti částic (velikost, tvar, hustota, náboj částic). Do druhé skupiny zařadíme závislosti účinnosti na veličinách popisujících vlastnosti filtru (průměr vláken, tloušťka filtru, poréznost) a konečně do třetí skupiny závislosti účinnosti na vlastnostech plynu (rychlost, proudění, tlak, teplota) [24].

Nejdůležitější závislostí z první skupiny je závislost účinnosti na velikosti filtrovaných částic, závislost, kterou označíme jako selektivní charakteristika.

Selektivní charakteristika filtrů

Selektivita filtrů je definována jako závislost efektivnosti filtrů na velikosti filtrovaných částic. Ve filtračním procesu probíhají různé mechanismy opačně závislé na velikosti částic. Intenzita difúzního a elektrostatického klesá s rostoucí velikostí částic.

Pro monodisperzní systém částic [15] je efektivnost filtru E_f určena vztahem:

$$E_f = \frac{g_3}{g_1} = \frac{g_1 - g_2}{g_1} = \frac{g_3}{g_3 + g_2}, \quad (5.1)$$

kde g_1 je proud před filtrem,

g_2 je proud částic, které prošly filtrem

g_3 je množství částic zachycených filtrem za určitý čas.

Proces filtrace lze popsat několika důležitými charakteristikami.

Strukturní charakteristiky

Závislost účinnosti na veličinách, které popisují vlastnosti, hlavně strukturu filtru, označíme jako strukturní charakteristiky filtrace. Nejdůležitější z nich jsou:

1) závislost účinnosti na geometrických rozměrech filtru

Je zřejmé, že účinnost nezávisí na velikosti filtrační plochy A_f (předpokládáme, že ve filtru nejsou žádné nehomogenity, tj. místa s různou porézností). Naproti tomu účinnost podstatně závisí na tloušťce filtru. Již Witzman [15] zjistil, že průnik P_F (definovaný vztahem $E_f + P_F = 1$, kde E_f je účinnost filtru) s tloušťkou filtru exponenciálně klesá, tj.

$$P_F = e^{-a_1 \cdot L}, \quad (5.2)$$

kde a_1 je pro dané filtrace konstanta. Závislost účinnosti na tloušťce filtru je tudíž dána vztahem

$$E_f = 1 - e^{-a_1 \cdot L}. \quad (5.3)$$

2) závislost účinnosti na průměru vláken

Z definice parametru difúzního usazování N_D , parametru intercepce N_R a parametru setrvačného usazování Stk plyne, že velikost těchto parametrů a tudíž také s rostoucím průměrem vláken klesá.

Z toho plyne tendence technologie přípravy filtračních materiálů připravit vlákna pokud možno malých průměrů. Přitom stále předpokládáme, že průměr vláken je značně větší než střední volná dráha molekul λ .

3) závislost účinnosti na poréznosti

Můžeme říci, že účinnost filtrů roste s klesající porézností. Na druhé straně druhá základní veličina – tlakový spád Δp s klesající porézností rychle roste a proto se při filtraci uplatňují hlavně vysokoporézní látky.

Tato práce tedy sleduje zejména tři základní filtrační parametry:

Efektivnost (účinnost) filtru E_f [15], která je definována vztahem:

$$E_f = \frac{M_1 - M_2}{M_1}, \quad (5.4)$$

kde M_1 a M_2 jsou hmotnostní proudy v $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$

Průnik filtru P_F [15], který je definován jako:

$$P_F = \frac{M_2}{M_1} . \quad (5.5)$$

Z těchto dvou základních vztahů plyne

$$E_f + P_F = 1 \quad (5.6)$$

Třetí parametr bude zmíněn v následujícím odstavci /rychlostní charakteristika/.

Rychlostní charakteristika

Závislost účinnosti na veličinách, které popisují vlastnosti nosného plynu. Nejprve pojednáme o závislosti účinnosti na rychlosti proudění plynu, kterou označíme jako

„rychlostní charakteristiku“ filtru. Z definice parametru difúzního usazování $N_D = \frac{D}{d_v \cdot V}$

vyplývá, že hodnota tohoto parametru a v důsledku toho i účinnost difúzního usazování s rostoucí rychlostí plynu klesá. Fyzikálně to znamená, že při zvýšení rychlosti proudění se „doba pohybu“ částice v okolí vlákna zkracuje a pravděpodobnost, že tato částice se v důsledku Brownova pohybu usadí na vlákne, klesá. Parametr intercepce a tudíž i účinnost tohoto mechanismu je na rychlosti nezávislá. Parametr setrvačného usazování – Stokesovo číslo s rostoucí rychlostí roste a proto i účinnost setrvačného usazování se s rostoucí rychlostí zvyšuje [24]. Mechanismy difúzního a setrvačného usazování jsou tedy analogicky jako u selektivity závislé na rychlosti opačným způsobem. První mechanismus s rychlostí klesá, druhý roste.

Tlakový spád dp je definován:

$$dp = P_1 - P_2 \quad (5.7)$$

kde P_1 a P_2 jsou tlaky před filtrem a za filtrem.

Při malých objemových rychlostech průtoku V_0 [m^3 / s] je dp a V lineární, takže potom můžeme definovat vztah [15]

$$dp = V_0 \cdot R_f , \quad (5.8)$$

kde R_f je odpor filtru [Pa.s.m^{-3}]

V.1.4. Makroskopické chování filtrů

Z hlediska této práce se zaměříme na dva podstatné parametry charakterizující proces filtrace – účinnost (odlučivost) a tlakový spád (tlaková ztráta) [19].

V.1.4.1. Účinnost filtrace hloubkového filtru

Budeme sledovat dva případy:

filtraci monodisperzního aerosolu

filtraci polydisperzního aerosolu.

Účinnost filtrace hloubkového filtru pro monodisperzní aerosol, tzn. že aerosol obsahuje částice téže velikosti. Průnik částic do homogenního hloubkového filtru je závislý na jeho tloušťce. Počet částic δN zachycených tenkou vrstvou filtru o tloušťce filtru δx . Efektivita záchytu částice touto vrstvou je popsána parametrem α_F [19].

$$\delta N = -\alpha_F \cdot N \cdot \delta x \quad (5.9)$$

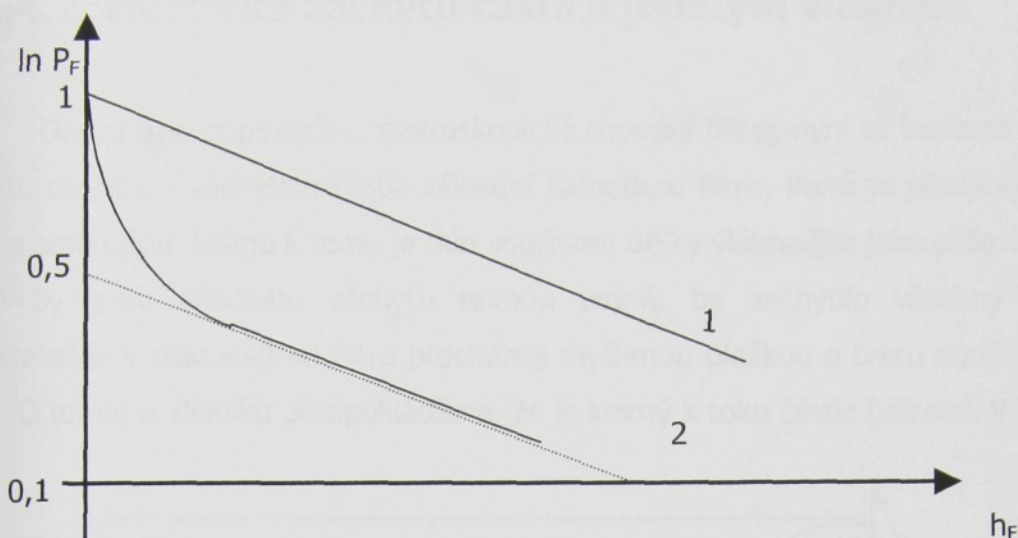
Řešením diferenciální rovnice (5.9) je funkce $N(x)$ popisující průnik hloubkovým filtrem do hloubky h_F .

$$N(x) = N(0) \cdot e^{-\alpha_F \cdot h_F} \quad (5.10)$$

kde integrační konstanta $N(0)$ má význam počtu částic vstupujících do filtru. Po úpravě dostaneme [19]

$$\ln(P) = \ln\left(\frac{N(x)}{N(0)}\right) = -\alpha_F \cdot h_F \quad (5.11)$$

který znamená, že logaritmus průniku P_F monodisperzního aerosolu hloubkovým filtrem lineárně klesá se vzrůstající tloušťkou filtru. Směrnice tohoto grafu je pak dána efektivitou vrstvy filtru α_F .



Obr. V.1 - K efektivě vrstvy filtru (1) monodisperzní aerosol je zachycován vrstvami filtru o efektivě α , aerosol se dvěma komponentami a efektivitami α_1 , α_2 a β .

Monodisperzní aerosoly se vyskytují v přírodě i technologii méně často než aerosoly polydisperzní obsahující částice různých druhů a velikostí. Pro polydisperzní aerosol obsahující částice s rozdílnou efektivitou záchytu lze zevšeobecnit rovnici 5.11. Závislost průniku P_F na hloubce filtru h_F je graficky znázorněna na obr. V.1 jako křivka 2. Pro malé hodnoty h_F tato křivka rychle klesá díky účinnějšímu záchytu částic druhého typu, pro velké hodnoty h_F se křivka asymptoticky blíží k přímce o směrnici $-\alpha_1$, protože v pronikajícím aerosolu jsou stále více zastoupeny částice prvního typu. [12]. Průsečík této asymptoty s vertikální osou P_0 dává hodnotu poměrného zastoupení částic prvního typu.

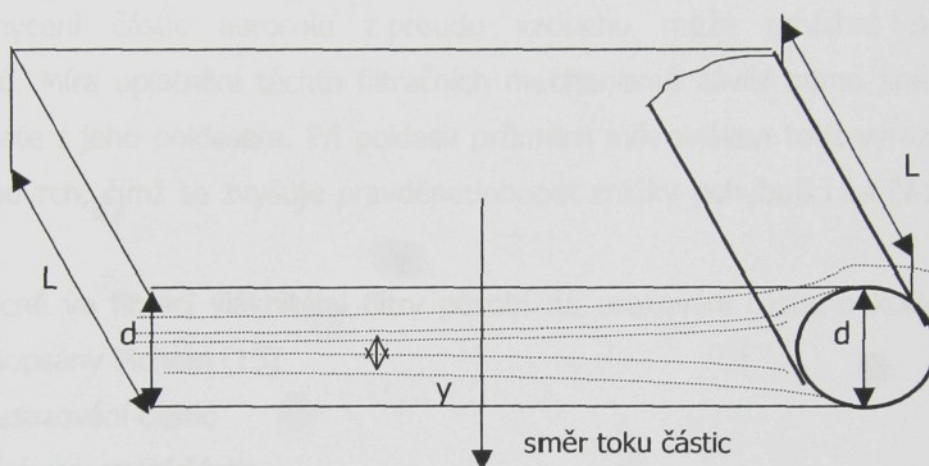
Zobecněním úvahy na aerosol polydisperzní s kontinuálním rozložením efektivy záchytu částice tenkou vrstvou filtru α a předpokladem, že podíl částic $A(\alpha)$ má účinnost záchytu α , dostaneme pro průnik P_F relaci

$$P_F(h_F) = \int_0^{\infty} A(\alpha_F) \exp(-\alpha_F \cdot h_F) d\alpha_F \quad (5.12)$$

V rovnici 5.12 je $P(h_F)$ Laplaceovou transformací funkce $A(\alpha)$. Metodou momentů lze ukázat, že nezávisle na tvaru funkce $A(\alpha)$ je gradient průniku P_F v bodě $h_F = 0$ je roven střední účinnosti záchytu částice vrstvou filtru monodisperzního aerosolu, jehož účinnost α_F je rovna střední hodnotě [7].

V.1.4.2. Efektivita záchytu částice jediným vláknem

Dosud bylo popisováno makroskopické chování filtru, nyní se budeme zabývat vnitřní strukturou filtru - záchytem částic základní jednotkou filtru, která je představována úsekem vlákna směřujícím kolmo k tomu je dán součinem délky vlákna l_0 a jeho průměrem d . Vláknem, které by mělo efektivitu záchytu rovnou jedné, by zachytilo všechny částice, které v dostatečné vzdálenosti od filtru procházejí myšlenou ploškou o tvaru obdélníka o stranách d, L . O tomto obdélníku předpokládáme, že je kolmý k toku částic (viz obr. V.2.) [21].



Obr. V.2 - trajektorie částic a směr toku částic k výkladu efektivy záchytu částic vláknem

Ve skutečnosti vlákno nemá schopnost zachytit všechny takové částice díky trajektoriím částic, které se v okolí vlákna od něj odklánějí. Efektivita vlákna E_v je pak dána poměrem počtu skutečně zachycených částic k počtu zachycených částic vláknem se 100% efektivitou. Hodnota efektivy je pak dána poměrem $E_v = y/d$, kde y popisuje stranu obdélníka, ze kterého jsou částice vláknem zachycovány (viz obr. V.2.), [21].

Efektivita záchytu jedním vláknem E_s může být přepočítána pomocí následujícího vztahu:

$$E_v = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot d}{4c} \quad (5.13)$$

Předpokládá se, že všechna vlákna o průměru d jsou rovná a rovnoběžná a jejich osy jsou kolmé k toku částic. Efektivita E_v závisí na objemovém podílu c vláken ve vrstvě. Koeficient objemového zaplnění filtru c je dán poměrem objemu vláken ve vrstvě filtru o tloušťce d k celkovému objemu této vrstvy [9]. Díky periodickému uspořádání vláken ve vrstvě lze psát

$$c = \frac{\pi \cdot d^2}{4x} \quad (5.14)$$

Efektivita vrstvy filtru α_F je při daném uspořádání filtru dána vztahem $\alpha_F = \frac{y}{x}$. Z výše uvedené definice efektivy jednoho vlákna E_V plyne

$$d = E_V \cdot \frac{d}{x} = E_V \cdot \frac{4c}{\pi d} \quad (5.15)$$

V.1.4.3. Filtrační mechanismy

Zachycení částic aerosolu z proudu vzduchu může probíhat několika druhy mechanismů. Míra uplatnění těchto filtračních mechanismů závisí mimo jiné i na průměru vláken a roste s jeho poklesem. Při poklesu průměru mikrovláken totiž výrazně roste jejich specifický povrch, čímž se zvyšuje pravděpodobnost srážky pohybující se částice s vláknem [30].

Obecně ve filtraci vláknitými filtry působí na usazování částic několik mechanismů, které byly popsány Pichem [15]

- difúzní usazování částic
- gravitační usazování částic
- přímé usazování částic
- usazování pod vlivem molekulárních sil
- setrvačné usazování částic
- elektrostatické usazování částic.

Difúzní usazování částic

V důsledku Brownova pohybu se částice při svém pohybu dostávají do kolize s molekulami vzduchu a tím vzrůstá pravděpodobnost jejich srážky s vláknem. Trajektorie částic nesplývají s proudnicemi vzduchu, částice difundují z proudu plynu k jednotlivým vláknům a usazují se na nich. Největší účinek Brownova pohybu [15] se projevuje při malých rychlostech, když se částice nachází vedle vlákna, na kterém se pak usazují. Účinnost difúzního usazování je definována vztahem:

$$E_D = \frac{\Phi}{n_0 \cdot d_v \cdot v}, \quad (5.16)$$

Kde Φ je počet částic usazených na délkové jednotce vlákna, n_0 je koncentrace částic, d_v je průměr vlákna postaveného kolmo ke směru proudění, v je rychlost plynu.

Gravitační usazování částic

Na jednotlivé částice pohybující se určitou sedimentační rychlostí působí účinky gravitačního pole. V důsledku toho se trajektorie částic odchyľují od proudnic plynu a částice se mohou díky tomuto odchyľení usadit na vlákne. I tento mechanismus usazování částic se projevuje zejména při malých rychlostech (0,02 m/s) i při kolmém průchodu vzduchu přes filtr. Účinnost gravitačního usazování je dána vztahem:

$$E_G = \frac{v_s}{v_0} = N_G, \quad (5.17)$$

kde N_G je parametr gravitačního usazování popisující intenzitu tohoto mechanismu, v_0 je rychlost proudění, v_s je stacionární rychlost částic pod vlivem gravitačního pole [19].



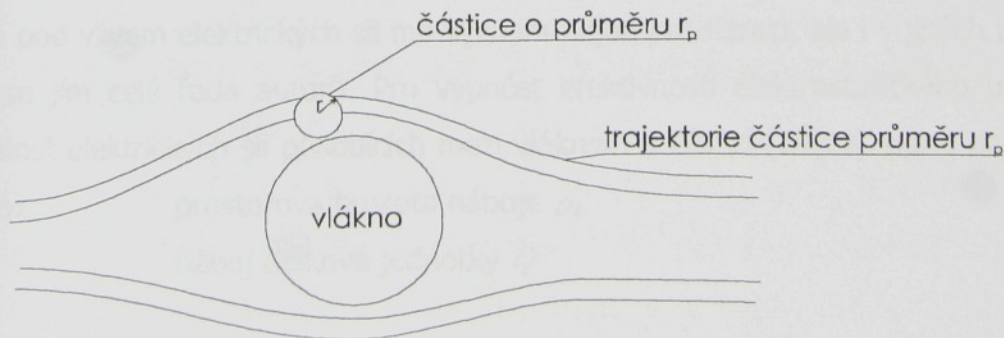
Obr. V.3 – gravitační usazování částic

Přímé usazování částic

Pro tento mechanismus je důležitý poměr velikosti částic r_p a průměru vlákna d :

$$a = r \cdot \frac{p}{d} \quad (5.18)$$

Jakmile se částice přiblíží k povrchu na vzdálenost rovnou jejímu poloměru dochází k jejímu zachycení [19].



Obr. V.4 – přímé usazování částic

Usazování pod vlivem molekulárních sil

Při velmi malých vzdálenostech mezi částicemi a vláknem mohou mít určitý vliv na usazování Van der Waalsovy molekulární síly. Význam těchto sil však spočívá hlavně „v udržení částic na vlákně“.

Setrvačné usazování částic

Jednotlivé částice v důsledku své setrvačnosti nesledují zakřivení proudnic, pohybují se proti vláknu a usazují se na něm. Intenzita tohoto typu mechanismu roste s rostoucí velikostí částic a rychlostí plynu [19].



Obr. V.5 – setrvačné usazování částic

Elektrostatické usazování částic

V mnoha případech nesou částice i vlákna filtru náboj elektrostatický a mezi jednotlivými vlákny existuje vzájemné působení, které může značně ovlivnit usazování částic. Elektrické náboje nejsou ve většině případů stálé a během času ubývají hlavně v důsledku několika faktorů (vodivosti vláken, průchodem ionizovaných plynů, ozářením paprsky X, usazováním nabitých částic, vlhkostí, apod.) [19].

Obecně je problém usazování částic na elektricky nabitých překážkách velmi složitý. Usazování pod vlivem elektrických sil má význam nejen pro filtraci, ale i v jiných procesech a zabývala se jím celá řada autorů. Pro výpočet efektivnosti elektrostatického usazování je nutná znalost elektrických sil působících mezi vláknem a částicí [24]. K opisu náboje vlákna se používá:

prostorová hustota náboje ρ_l

náboj délkové jednotky Q

Pro vlákno o poloměru a je zřejmě $Q = \Pi \cdot a^2 \cdot \rho_l$. V interakci částice – vlákno mohou nastat tyto případy:

Nabité částice – nabité vlákno (Coulombovy síly). Síla působící mezi částicemi a vláknem má podle Natansona a Gillespiea [24] tvar

$$F(r^*) = \frac{2 \cdot Q \cdot q}{r^*} = \frac{2 \cdot \Pi \cdot \rho \cdot a^2 \cdot q}{r^*}, \quad (5.19)$$

kde q je náboj částice, r^* náboj částice a vlákna.

Nabité vlákno – neutrální částice. Podle Natansona je možno v tomto případě interakci vyjádřit vztahem

$$F(r^*) = \frac{4 \cdot Q^2 \cdot \frac{D1-1}{D1+2} \cdot r^3}{r^{*3}} \quad (5.20)$$

kde r je poloměr částic, $D1$ je dielektrická konstanta částice.

Neutrální vlákno – nabité částice. Podle Natansona a Gillespiea je síla v tomto případě vyjádřena rovnicí

$$F(r^*) = \frac{q^2}{4 \cdot (r^* - a)^2 \cdot \left(\frac{D2-1}{D2+1} \right)} \quad (5.21)$$

kde $D2$ je dielektrická konstanta vlákna.



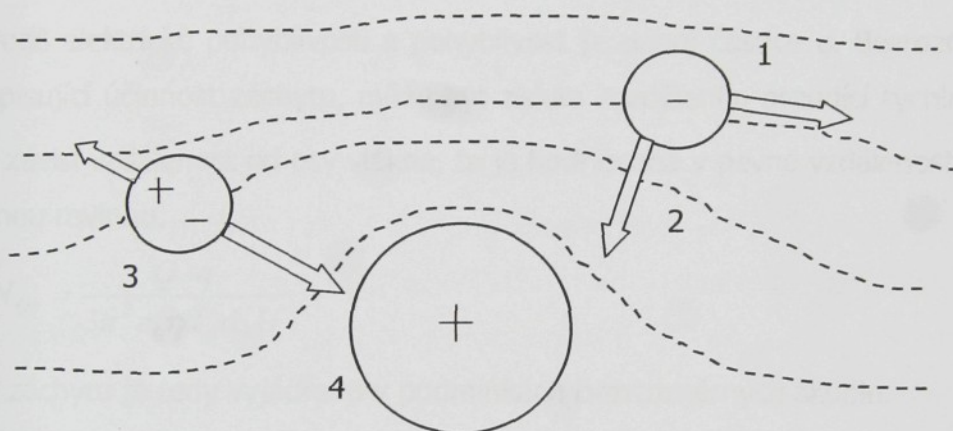
Obr. V.6 – elektrostatické usazování částic

V.1.5. Mechanismus uchycení částic nabitými filtračními vlákny

Elektrostaticky nabitý filtr poskytuje nízký průnik submikronových částic, zatímco také udržuje nízký tlakový spád. Nízký průnik vyplývá ze zvětšení mechanického uložení účinků (difúze, uchycení, setrvačnost) elektrostatickými přitažlivými silami [13].

Jestliže vlákno ve filtru nese elektrický náboj, přidružené elektrické pole může působit na letící částici dvěma způsoby [19]. Uchycení opačně nabitých částic Coulombovskými silami

je samozřejmé. Uchycení neutrálních částic nastává s působením polarizačních sil. Elektrické pole vlákna indukuje dipól v neutrální částici nebo skutečně nabitou a pak je přitahuje. Pevnost indukovaného dipólu závisí na objemu částice a dielektrické konstantě jejich základního materiálu. Složka, která je bližší vláknu, vykazuje přitažlivé síly větší než odpudivá síla působící na protilehlé straně, protože se elektrické pole zmenšuje se vzdáleností od vláken a tato slabá nerovnováha je důvodem, že částice je přitahována ať už je jakýkoliv znak náboje ve vláknu. Odlučivost tohoto mechanismu a Coulombovského vlivu závisí na podílu unášecí rychlosti částice, pod vlivem elektrické síly má tendenci přitahovat je na vlákno, a rychlosti proudícího pole, která je odnáší pryč. Všechny elektrostatické filtry tedy mají větší odlučivost při nízkých filtračních rychlostech, protože při nízké rychlosti mají síly více času působit.



1 - rychlost proudícího vzduchu, 2 - unášecí rychlost elektrostatických sil, 3 - přitažlivá síla v záporné části indukovaného dipólu převyšuje odpor. sílu v kladné části, 4 - nabité vlákno

Obr. V.7 - Působení elektrostatických sil

Obr. V.7 ukazuje přitahování částic homogenně nabitým vlákem ilustrující unášecí rychlost pod vlivem přitažlivého elektrického pole, přitahování částic k vláknu, a proudící rychlost vzduchu, která má tendenci je odnášet pryč [14].

Základní elektrostatická teorie ukázala, že elektrické pole ve vzdálenosti r od filtračního vlákna nesoucího stejný náboj Q na jednotku délky působí pouze v radiálním směru a má velikost E .

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 r}, \quad (5.22)$$

kde ϵ_0 je permitivita volného prostoru, má hodnotu $10^{-9}/36\pi$ F/m. Jestliže částice má průměr d_p a elektrický náboj q , pak jejich unášecí rychlost k vláknu bude výsledek síly ji

zastupující a jejich mechanická pohyblivost μ_m . $[\mu_m = \frac{C_n}{3\pi\epsilon_0 d_p}]$, tzn.

$$V_d = \frac{Q \cdot q \cdot C_n}{6\pi^2 \epsilon_0 \eta d_p r}, \quad (5.23)$$

kde C_n je Cunninghamův korekční koeficient [19,24], který musí být obsažen, jestliže jsou uvažovány částice s průměry blízkými střední volné dráze molekul vzduchu.

Elektrická pohyblivost částic μ_e je podíl unášecí rychlosti (5.23) a elektrického pole, jak ukazuje rovnice (5.22) a není zaměnitelná s mobilitou, která je podílem unášecí rychlosti a síly.

$$\mu_e = \frac{q}{3\pi\eta d_p} \quad (5.24)$$

Podíl elektrické pohyblivosti a pohyblivost je náboj částice q . Bezrozměrný parametr N_{Qq} popisující účinnost zachytu, může být získán rozdělením proudící rychlosti. Na unášecí rychlosti závisí vzdálenost od osy vlákna, ta je hodnocena v pevné vzdálenosti korespondující s vláknennou rovinou.

$$N_{Qq} = \frac{Q \cdot q}{3\pi^2 \epsilon_0 \eta d_p d_f U} \quad (5.25)$$

Účinnost zachytu je tedy vyjádřena v podmínkách bezrozměrných skupin.

Vlivem elektrostatického pole ve vláknenné vrstvě tedy dochází ke zvýšení filtrační odlučivosti, aniž by se přitom zvýšil tlakový spád [1,2].

Velikost náboje je závislá na čase. Během elektrizačního procesu se zjistilo, že velikost náboje klesá v čase přibližně exponenciálně. Po určitém čase se náboj ustálí. Životnost náboje, způsob ukotvení náboje, vliv okolního prostředí a jeho podrobné studium je předmětem dalšího výzkumu [42,43,44].

V.1.6. Uložení submikronových částic na elektricky nabitých vláknech

Elektrostaticky nabitý filtr poskytuje nízký průnik částic, přičemž také udržuje nízký tlakový spád. Nízký průnik vyplývá ze zvětšení filtračních mechanismů (difúze, zachycení, setrvačnost, apod.) elektrostatickými přitažlivými silami. To už bylo řečeno. Filtry nemají jenom odlišné strukturní vlastnosti, ale také odlišné úrovně a rozdělení náboje na vláknech.

Spektrum vlastností mezi filtry je přičítán výrobnímu procesu. Informace o chování zachytu částic těchto filtrů jsou nezbytné pro jejich optimální účel a aplikaci. Zhodnotíme chování elektrostaticky nabitých vláknenných filtrů pro různé stavy nabitých částic. Bereme v úvahu superpozici mechanických a elektrostatických účinků zachycení částic [6].

Dva typické elektrostaticky nabitě vláknenné filtry jsou složeny ze spředených a štěpených vláken. Tyto filtry jsou vyráběny odlišnými procesy vedoucími k různým strukturním vlastnostem. Střední průměr vláken byl stanoven mikroskopickou zkouškou. Elektrostaticky spředená vlákna mají menší střední průměr vlákna a užší velikostní rozdělení než vlákna štěpená. Žádný vláknenný typ není válcovitý, štěpená vlákna mají téměř pravouhlý průřez, zatímco vlákna spředená mají téměř kruhový průřez. Oba filtry mají nehomogenní strukturní vlastnosti [9].

Uložení na filtru nastává, když se částice pohybují v proudícím poli kolem jednotlivých vláken. K popisu proudícího pole blízko povrchu vlákna použijeme funkci proudění podle Kuwabary pro pravidelné kolísavé válcovité uspořádání. Pro Knudsenova čísla přepočítáme funkci proudění pro odchylku ve válcovité ploše.

Experimentální data byla vzata z Baumgartnera a Löfflera. Testovali dva filtry – spředený vláknenný filtr vyrobený z polykarbonátových vláken o středním průměru $4,25\ \mu\text{m}$ a štěpený vláknenný filtr vyrobený z polypropylenových vláken o středním průměru $30\ \mu\text{m}$. Z provedených experimentů vyplynulo, že pro velmi malé částice je uložení určeno difúzí, zatímco pro velké částice převládá intercepce a setrvačnost. Ve středním intervalu oba efekty – mechanický a elektrostatický – přispívají k ukládacímu procesu. Výsledkem je bimodální závislost průniku na průměru částice [5]. Velikost průměru většiny pronikajících částic závisí hlavně na náboji vlákna, průměru vlákna, povrchové rychlosti a celkové hustotě vláken.

VI. KINETIKA FILTRACE

VI.1. Sekundární procesy ve filtraci

Statika filtrace předpokládá, že částice, která se dotkla vlákna je a zůstane zachycena, i když proces filtrace pokračuje, to znamená, že efektivnost srážek částic s vlákny je stoprocentní. Ve skutečnosti může být částice, která se usadila v dalším procesu filtrace odtržena od vlákna a filtrem projít. Je zřejmé, že další „osud“ usazené částice závisí na velikosti adhezních sil, které mezi částicemi – částicí a vláknem – působí. Velikost těchto sil

závisí na řadě faktorů: tvar částice a vlákna, kontaktní plocha mezi částicí a vláknem, chemické složení, elektrické náboje apod. [15].

Dále statika filtrace předpokládá, že nastává usazování na čistém filtru idealizované struktury a nebere v úvahu vliv usazených částic na další průběh procesu. Ve skutečnosti v důsledku usazených částic dochází ke změnám ve struktuře filtru a v důsledku toho se oba základní parametry filtrace – filtrační účinnost a tlakový spád – během filtrace mění. Změny parametrů jsou pro praktické použití filtrů velmi důležité a studiu těchto změn byla věnována řada prací převážně experimentálního charakteru. Pro jejich studium z teoretického hlediska byl zaveden pojem „sekundární procesy“ ve filtraci [15,19]. Na rozdíl od „primárních procesů“ (difúzního, setrvačného, elektrostatického, apod.) je možno do sekundárních procesů zahrnout následující:

Usazování částic jedné na druhou

Kapilární jevy

Ztráta elektrického náboje

Destrukce a zanášení filtrů

Všechny tyto jevy mají za následek změnu jak filtrační účinnosti, tak tlakového spádu.

Stručně popíšeme jednotlivé sekundární procesy.

Usazování částic jedné na druhou

Již Leersem bylo zjištěno, že usazené částice nejsou na povrchu vlákna rozděleny rovnoměrně, nýbrž se usazují jedna na druhou, čímž vznikají tzv. „stromečky“, které tvoří postupně celou strukturu a tento jev má za následek zvýšení účinnosti filtru, přičemž tlakový spád se mění poměrně málo [28]. O matematický popis tohoto procesu (vyjádření závislosti účinnosti filtru na čase) se jako první pokusil Raduškevič. Z jeho rovnice vyplývají jako speciální případy vztahy:

$$P_F = e^{-s \cdot L} \quad (6.1)$$

kde P_F je průnik, s konstanta, L tloušťka filtru

$$P_F = P_F \cdot e^{-s \cdot L}, \quad (6.2)$$

Kapilární jevy

Tyto jevy hrají důležitou roli při filtraci kapalných částic. Protože tento typ filtrace není předmětem této práce, nebudeme se jí blíže zabývat [41].

Ztráta elektrického náboje

Elektrické náboje na částicích nebo vláknách mají pozitivní vliv na filtraci – zvyšují účinnost filtru, aniž by přitom vzrostl tlakový spád. Ke ztrátě náboje dochází např. při průtoku ionizovaných plynů, ozářením radioaktivním preparátem nebo paprsky X.

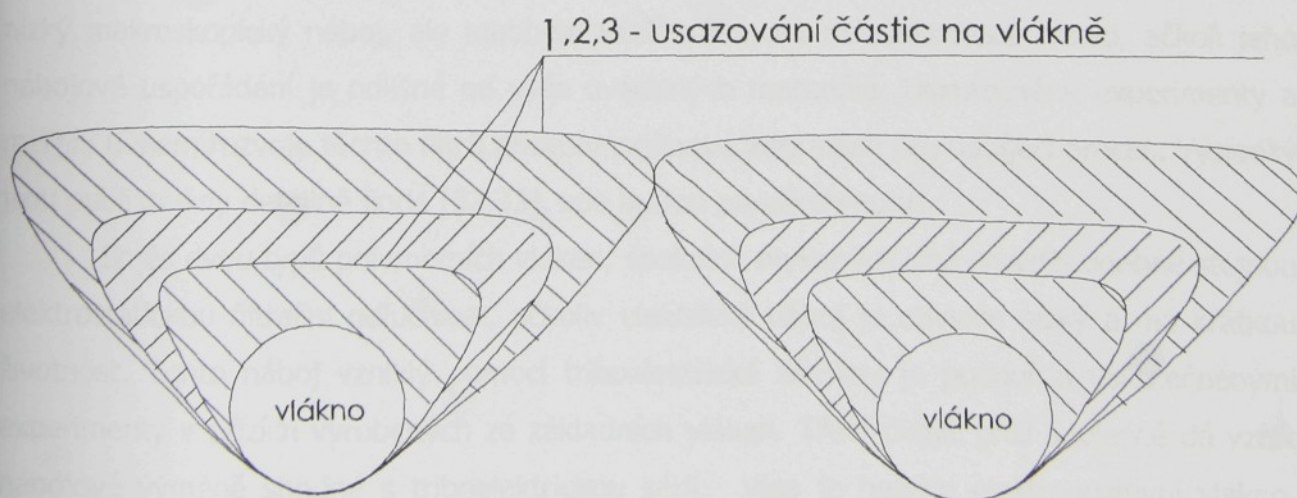
Destrukce filtru

K destrukci filtru dochází při prudké a silné změně filtru v důsledku čehož se filtr stává nepoužitelným [15].

VI.2. Zanášení filtrů

Velmi důležitým procesem je zanášení filtrů [19] částicemi různých velikostí, tvarů, fáze. V důsledku zanášení se mění struktura filtru popřípadě se na původním filtru vytváří nová filtrační vrstva tak, že účinnost i tlakový spád se mění. Zvláště změny tlakového spádu v důsledku zanášení jsou důležité pro použití filtrů v průmyslu, armádě a jinde a úzce souvisí s životností filtrů. Změna tlakového spádu v důsledku zanášení závisí na těchto faktorech:

- fáze částic
- velikost částic
- struktura filtru
- množství zachycených prachových částic – množství aerosolu se obvykle vztahuje na plošnou jednotku filtru a jsou měřeny závislosti $\Delta p = f(z)$, $z = m/A$, kde m je hmota resp. hmotnost nečistot usazených na filtru, A je plocha filtru.



Obr. VI.1. – usazování částic na vlákne

VII. PŘÍKLADY ELEKTRICKY NABÍTÝCH FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ

V současné době jsou dostupná čísla typů filtračních materiálů, které jsou záměrně elektrizována během výroby.

a) Materiál kaučuk - vlna. Nejstarší typ elektricky nabitého filtračního materiálu je vyroben ze směsi vlněných výčesků (krátká vlákna) a částic přírodního nebo syntetického kaučuku. Směs je smíchána a mykána a během těchto procesů se objeví u kaučukových částic záporný náboj a u vlněných vláken kladný. Tento materiál byl originálně patentován v roce 1931, jeho povaha byla popsána a jeho elektrický náboj byl poprvé změřen v roce 1942 a teprve nedávno byl tomuto materiálu věnován podrobnější popis [11].

b) Elektretní materiál 1. Elektricky nabitý materiál může být vyroben z elektretní fólie. V přesném slova smyslu, elektret je „zmrazen“ v polarizačním náboji. Tento termín je obecně používán pro polymery s reálnými náboji opačného znaménka na jejich dvou plochách, jako polymery známé v elektretních mikrofonech. Ve skutečnosti je tento termín často používán pro určité nabité polymery, je vyroben z polypropylenové fólie nabité korunou, rozřezán na vlákna, které obsahují lineárně dipólové nábojové uspořádání [34].

c) Elektretní materiál 2. Existuje druhý typ elektretního materiálu vyrobený z polypropylenových vláken. Vlákna jsou nerovnoměrně kruhová v průřezu a tak metoda nabíjení nemůže být stejná jako u materiálu 1. Materiál je nabit v jeho zplstěném tvaru korunou [11,34].

d) Směs polymerního vlákenného materiálu. Vyrábíme materiál tvořený mísením dvou vláken, která jsou nabita triboelektricky během mykání. Jako materiály (a) - (c) má velmi nízký makroskopický náboj, ale mnohem větší náboj na mikroskopické úrovni, ačkoli jeho nábojové uspořádání je odlišné od výše uvedených materiálů. Uskutečněné experimenty a měření během rozvoje těchto filtrů přinesly zajímavé informace pro nabíjecí proces. Výsledky jsou publikovány detailně jinde [32,33], zde budou pouze shrnuty.

Směs dvou typů polymerních vláken, společně mykaných, má pravděpodobně stejnou elektrostatickou filtrační odlučivost, ačkoli elektrický náboj je obvykle nízký a má krátkou životnost. Tento náboj vzniklý pomocí triboelektrické záměny je podpořen uskutečněnými experimenty v přízích vyrobených ze základních vláken. Tření dvojic přízí společně dá vznik nábojové výměně shodné s triboelektrickou sérií. Vlna je nejvíce elektropozitivní vlákno, následuje nylon, celuloza na bázi vláken a polyolefinů, aromatické a halogenové polymery.

Nejlepší filtry mohou vzniknout ze smísení dvou vláken, která jsou si navzájem vzdálena ve výše uvedené sérii. Komplikuje to hledání optimální směsi, protože množství možných směsí je opravdu velké, ale tuto volbu omezuje otázka stability náboje. Mezi základními vlákny jsou optimální polyolefiny a PTFE. Směsi obsahující jedno z těchto vláken jako komponent, mají stálý náboj, přestože nábojová úroveň je nízká. Extrémním příkladem je směs polypropylenových a antikorozních ocelových vláken, která jsou stálá, přesto vznikne „špatný“ elektrostatický filtr [34].

Jestliže jsou ve filtru přítomny „dobré“ vodiče, není možné udržet elektrické náboje. Proto by směs vodících a izolujících vláken měla být v optimálním poměru. Elektrický náboj ve vodičích by byl pohyblivý a to by vyvolalo jakékoliv nábojové uspořádání zcela nezbytné pro udržení vlastní potenciálové konstanty. Celková elektrostatická energie filtru bude minimální.

e) Směs polymer - skleněná vlákna. Materiál, který je směsí halogenátových polymerů, teflonu a skleněných vláken působí zčásti elektrickými silami. Je to specificky určeno pro aplikace vysokých teplot a při těchto teplotách stabilita elektrického náboje klesá [40].

f) Jemný vlákenný materiál vyrobený z roztoku. Výroba každých takových materiálů zahrnuje mykání v určitém stavu, které je normálním procesem v textilním průmyslu a v materiálech (a) a (d) je to podstata generace elektrického náboje. Chlorovaný polyvinylchloridový materiál byl vyroben touto cestou. Spředená vlákna se začala ztenčovat foukáním s pomocnými vzduchovými proudy během výroby. Tento materiál se stává nabitým, ale nabíjecí mechanismus je nevysvětlitelný [34].

Vlákna kapalin mohou být extrudována z kapalně fáze elektrickým polem. Účinné extrudování vyžaduje vodivost kapalin a stálá filtrační odlučivost potřebuje tak nízkou vodivost pevné látky, jak je to možné. Tato pevná (hutná) vlákna vyrobená tímto způsobem jsou elektricky nabitá, což není překvapující, ale výsledný filtrační materiál obsahuje skoro stejné množství náboje jako u materiálu d), c).

g) Jemný vlákenný materiál vyrobený tavením. Alternativní extrudování materiálů z roztoku je jejich extrudování z taveniny. Polypropylenová vlákna mohou být vyráběna touto cestou [40].

VIII. Testovací metody

Velikost náboje, jeho životnost a odolnost vůči teplotě, vlhkosti a dalším vlivům lze principiálně sledovat :

- a) pomocí přístrojů k měření elektrických polí na tělesech
- b) pomocí filtrační odlučivosti

VIII.1. Měření intenzity elektrického pole

Jedná se o měření povrchového náboje na tělesech. Byl použit přístroj pro měření intenzity elektrostatického pole STATEMET ST-02. Při své činnosti využívá přístroj influenční účinky elektrostatického náboje. Skládá se z vyhodnocovací části a sondy, která slouží jako snímač elektrostatického náboje z povrchu měřeného materiálu [14].

Gubkin [11] uvádí několik metod měření náboje elektretů. Je to metoda elektrostatické indukce a její různé varianty, metoda depolarizace, metoda založená na posunu pohyblivé elektrody v el. poli a metoda založená na odchylce elektronového svazku v poli elektretu.[22] Toto jsou již velmi zastaralé metody měření, ale jejich princip je dodnes využíván. Výše zmíněný měřicí přístroj byl nahrazen jiným – HAND – E – STAT přístrojem firmy SIMCO, Holandsko. Přístroj velikosti 61 x 107 x 33 mm, hmotnosti cca 150 g. Zpracování výsledků měření na digitálním display, rozsah 0 – 19,99 kV pro každou polaritu ve vzdálenosti 1 palce, pro vyšší napětí se měří ve vzdálenosti vyšší než 1 palec, přesnost měření $\pm 5\%$. Princip měření vysvětluje kapitola VIII.1.1.

VIII.1.1. Měření elektrických polí rovinných povrchů elektrostatickými měřicími pole

Zjednodušené blokové schéma elektrostatického měřiče polí je znázorněno na VIII.1. C_1 je kapacita mezi nabitým povrchem a snímací elektrodou. U přístrojů typu elektroměr je C_1 udržováno konstantní. C_2 je kapacita snímací elektrody vůči zemi a je konstantní.

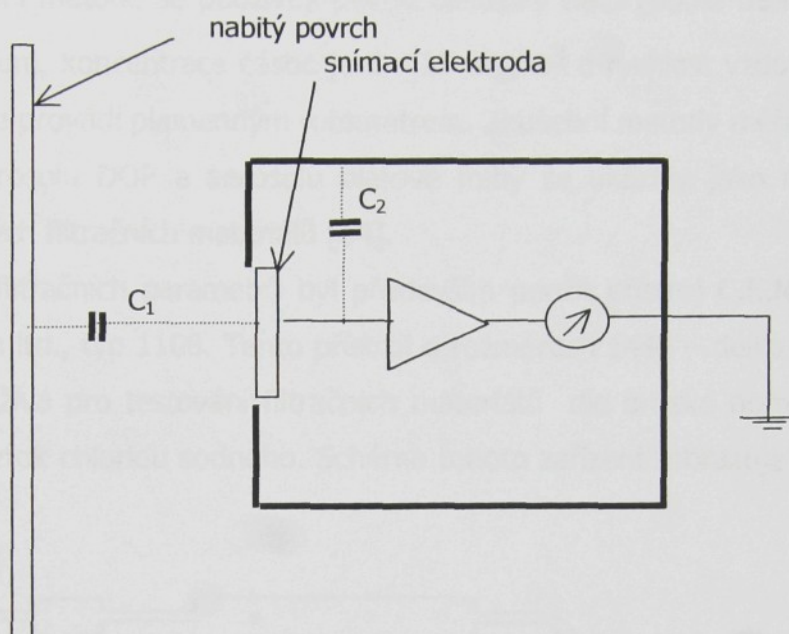
Hustota náboje σ_H vzniklého na snímací elektrodě je úměrná intenzitě elektrického pole na povrchu elektrody

$$\sigma_H = \varepsilon_0 \cdot E \quad (8.1).$$

Stejnoseměrné napětí U_2 vzniklé na snímací elektrodě bude

$$U_2 = \frac{\varepsilon_0 \cdot E \cdot A_e}{C_2} \quad (8.2)$$

kde A_e je plocha snímací elektrody, ε_0 je permitivita volného prostoru (8.855×10^{-12} farad/metr).



Obr. VIII.1 – Zjednodušené blokové schéma měřícího přístroje

Hodnota plochy elektrody A_e a kapacita C_2 jsou konstantní u daného měřiče pole. Jediná proměnná ve vzorci (8.2) je intenzita elektrického pole E . Toto je důvod, proč jsou tyto přístroje nazývány měřiče pole, i když některé z nich jsou kalibrovány ve voltech.

K získání bezchybných hodnot, hlavně při měření nabitých dielektrických povrchů, by měl být měřící přístroj umístěn na uzemněné ocelové desce a kalibrován v určité vzdálenosti. To zajistí téměř stejnoměrné elektrické pole, aby sledovaný potenciál byl úměrný hustotě náboje.

$$E = \frac{U_m}{d_m} \quad (8.3)$$

kde U_m - naměřená hodnota, d_m - vzdálenost k předmětu, a proto hustota náboje

$$\sigma_H = \frac{U_m \cdot \varepsilon_0}{d_m} \quad (8.4)$$

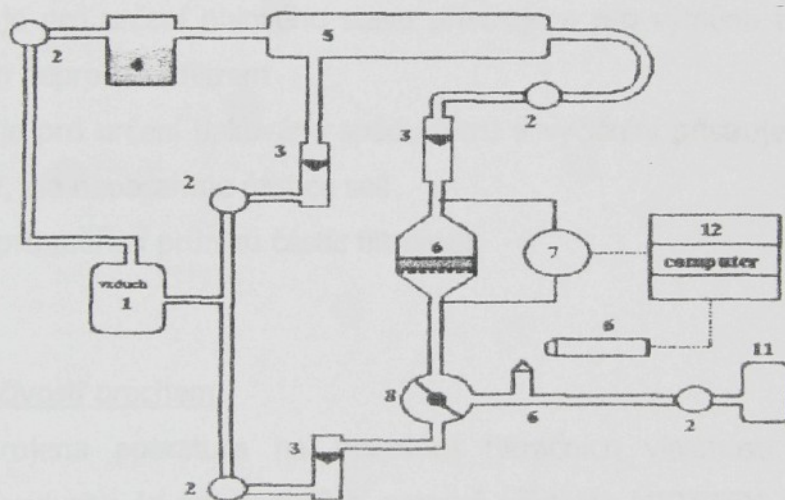
Získaná hodnota hustoty náboje je použita k výpočtu náboje na předmětu a jeho potenciálu vůči zemi.

VIII.2. Testování filtračních vlastností

1. Měření odlučivosti aerosolem NaCl

Při této zkušební metodě se používají pevné částčky NaCl (podle BS4400). Velikost částic je $0,02\ \mu\text{m}$ - $2\ \mu\text{m}$, koncentrace částic je $5 - 10\ \text{mg/m}^3$ a rychlost vzduchu je $3,2\ \text{m/min}$. Vyhodnocování se provádí plamenným fotometrem. Zkušební metody měření odlučivosti pomocí kapalného aerosolu DOP a aerosolu olejové mlhy se ukázaly jako nevhodné pro testování elektrizovaných filtračních materiálů [34].

Pro testování filtračních parametrů byl především použit přístroj C.E.N. BENCH RIG společnosti Wallisdown Ltd., typ 1100. Tento přístroj o rozměrech 1448 – délka, 535 – šířka, 560 – výška – se využívá pro testování filtračních materiálů dle britské normy BS 4400 a k testování využívá roztok chloridu sodného. Schéma tohoto zařízení zobrazuje obr. č. VIII.2 [38].



- 1 přívod stlačeného vzduchu
- 2 regulační ventil
- 3 průtokoměr
- 4 rozprašovač
- 5 vypařovací trubice
- 6 měřicí cela se vzorkem filtru
- 7 měření tlakového spádu
- 8 přepínací ventil
- 9 hořák
- 10 spektrofotometr snímající intenzitu žlutého světla
- 11 láhev se stlačeným vodíkem
- 12 počítač

Obr. VIII.2 – Schéma zařízení na testování filtračních vlastností aerosolem NaCl

Roztok NaCl [28] je rozprášen a zbaven vody ve vypařovací trubici. Výsledkem jsou částice soli definované velikosti. Tyto částice nalétávají definovanou rychlostí na testovaný vzorek (zároveň je snímán tlakový spád vzorku).

V hořáku 9 hoří modrý plamen směsi vodíku a vzduchu. Projdou-li testovaným filtrem částice NaCl, obarví plamen do žluta. Čím více částic, tím větší je intenzita žluté barvy plamene. Intenzitu žluté barvy plamene snímá spektrofotometr. Výstupem je hodnota napětí v mV, hodnota průniku částic testovaným vzorkem je určena vzorcem [38]:

$$P_F = \frac{U_{1M}}{U_{2M}} [\%],$$
 kde U_{1M} je napětí naměřené na testovaném vzorku, U_{2M} je maximální napětí naměřené na tzv. 100%-ním vzorku, tedy za situace, kdy v měřící cele není upnut žádný vzorek.

Pro přesné měření je nutné určit nulový stav přístroje, kdy v hořáku hoří pouze vodík a vzduch přicházející cestou I.

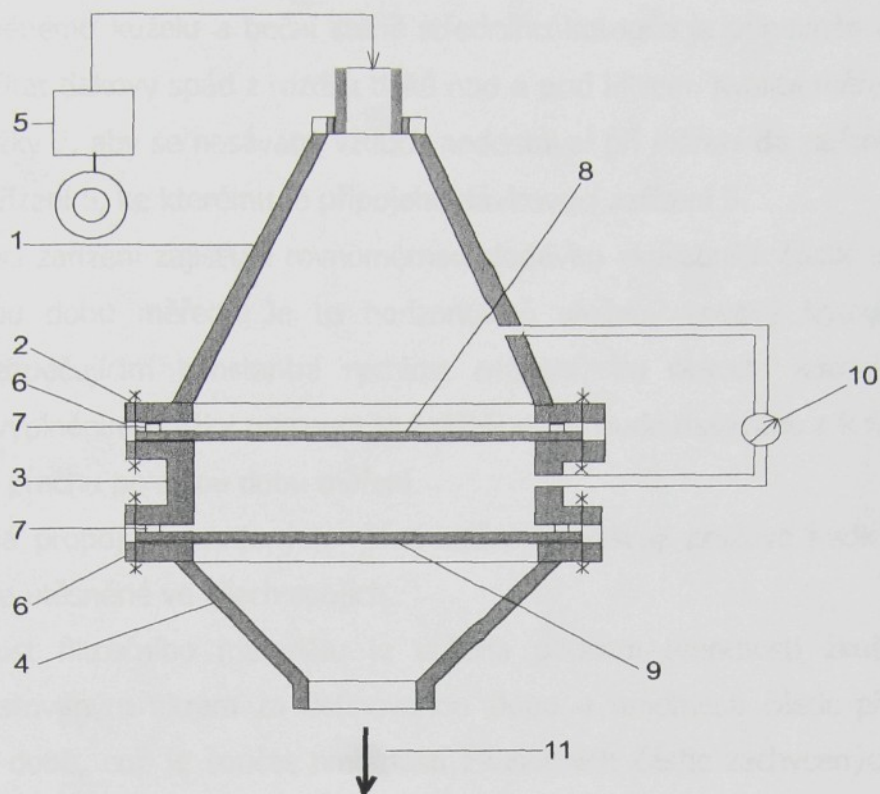
Vzduch může v přístroji procházet v zásadě 3 cestami:

- I. cesta je pro určení nulového stavu přístroje a pro výměnu testovaného filtru – vzduch neprochází filtrem
- II. cesta je pro určení tlakového spádu filtru a vyčištění přístroje – vzduch prochází filtrem, ale neobsahuje částice soli
- III. cesta pro měření průniku částic filtrem

2. Testování odlučivosti prachem

Byla sestavena aparatura na testování filtračních vlastností textilií zkušebním prachem. Proud vzduchu je zde vytvářen pomocí přístroje METEFEM typ FF - 12/A pro měření prodyšnosti. Vyjádřením efektivnosti pomocí rozdílů hmotností jednotlivých filtrů před a po provedeném měření dostaneme hodnotu odlučivosti pomocí zkušebního prachu [20, 38].

Dle normy ON 12 5013 bylo na KNT sestaveno zařízení pro měření filtračních parametrů průmyslovým prachem, jeho schéma je na obr. č. VIII.3 [20].



- 1 - skleněný kužel
- 2 - horní kotouč
- 3 - střední kotouč
- 4 - nejnižší kotouč
- 5 - nasávací zařízení
- 6 - přitlačná deska
- 7 - gumové kroužky
- 8 - filtr
- 9 - nepropustný filtr
- 10 - manometr
- 11 - výstup

Obr. VIII.3 – Schéma zařízení na testování filtračních vlastností průmyslovým prachem

Proud vzduchu je vytvářen pomocí přístroje METEFEM typ FF-12A pro měření prodyšnosti. Ten zajišťuje odsávání požadovaného množství vzduchu. Vzduch je odsáván z komory, ve které je upevněn testovaný vzorek. Rychlost proudění vzduchu vzorkem je konstantní a je rovna 0,0541 m/s.

Testovací komora se skládá ze tří kotoučů. K hornímu kotouči 2, který se pokládá na testovaný vzorek, je pevně připojen skleněný kužel 1. Spodní kotouč 4 má spodní část vysoustruženou do kužele a je připojen k hadici vedoucí k nasávacímu zařízení 11. Na něm je umístěn nepropustný filtr 9, znemožňující průchod nezachyceným zkušebními částicemi do nasávacího zařízení. Střední kotouč 3 přiléhá k nepropustnému filtru a na něj se ukládá testovaný vzorek. Všechny tři kotouče mají po obvodu vyvrtané čtyři otvory v roztečích po 90°, aby je bylo možno pomocí šroubů pevně stáhnout [20].

Ke skleněnému kuželu a boční stěně středního kotouče je připevněn manometr 10, umožňující odečítat tlakový spád z rozdílu tlaků nad a pod filtrem. Kvalita měření je zajištěna gumovými kroužky 7, aby se nasávaný vzduch nedostával při měření do zařízení odjinud než z nasávacího zařízení 5, ke kterému je připojeno dávkovací zařízení 5.

Dávkovací zařízení zajišťuje rovnoměrnou dodávku zkušebních částic k testovanému vzorku po celou dobu měření. Je to horizontálně uložený kovový kotouč poháněný motorkem zabezpečujícím konstantní rychlost otáčení. Po obvodu kotouče je drážka. Stejným vyplněním drážky prachem je zajištěno, že bude nasáváno a k filtru dodáváno stejné množství prachu po celou dobu měření.

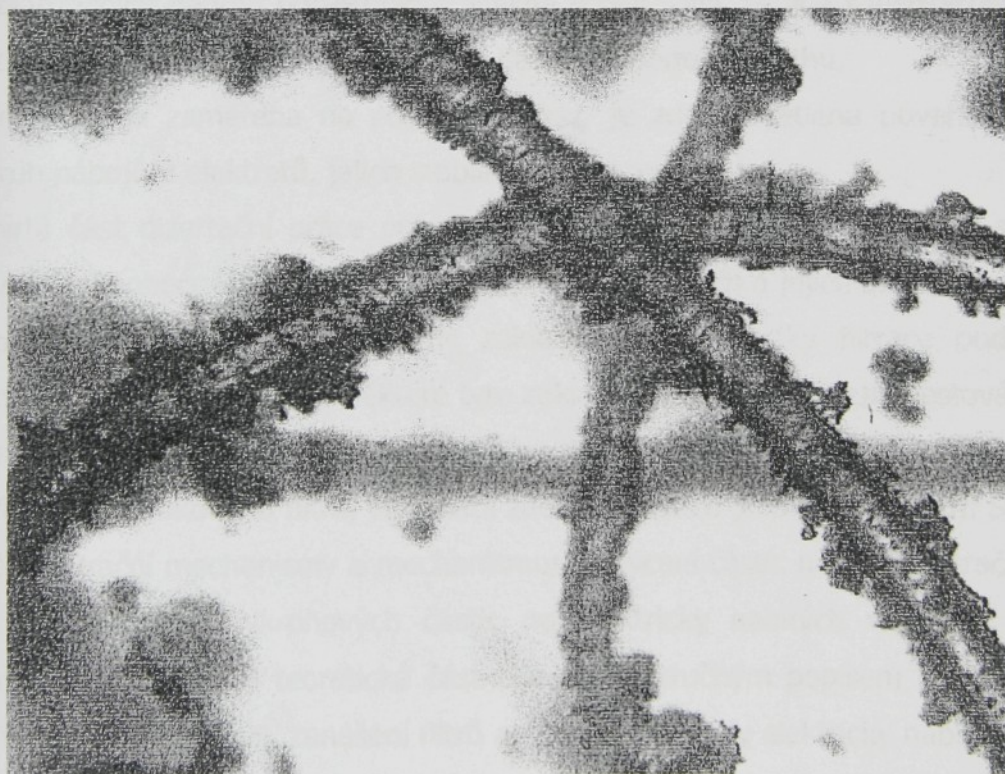
Vzájemné propojení uvedených částí zařízení zajišťují pryžové hadice a spojovací potrubí dokonale utěsněné ve všech spojkách.

Efektivnost filtračního materiálu je určena podílem hmotnosti zkušebních částic zachycených testovaným filtrem za definovanou dobu a hmotnosti částic přivedených do filtru ve stejné době, což je součet hmotností zkušebních částic zachycených testovaným filtrem a hmotností částic zachycených nepropustným filtrem. Hodnoty tlakového spádu se odečítají na připojeném manometru.

Obrázky č. VIII.4a,b ukazují polypropylenová vlákna zanesená prachem, přičemž na obrázku VIII.4a nejsou vlákna elektrostaticky upravena a na obrázku VIII.4b jsou POP vlákna před zanesením prachem elektrostaticky upravena. Rozdíl mezi těmito obrázky je zřejmý. Fotografie jsou pořízené elektronovým mikroskopem [43].



Obr. VIII.4.a – POP vlákna zanesená prachem – bez elektrostatické úpravy



Obr. VIII.4.b – POP vlákna zanesená prachem – elektrostaticky upravená

IX. SHRUTÍ TEORETICKÝCH POZNATKŮ A CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Teoretická část dizertační práce je rozdělena na několik částí a jsou zde sledovány elektrické vlastnosti vláken, elektrické pole okolo vlákna, chování vlákenného materiálu v elektrickém poli a vliv elektrizace na filtrační parametry.

První část teorie dává ucelený základní přehled o elektrických a dielektrických vlastnostech vláken. V úvodu je stručně popsán historický vývoj elektretních materiálů, látek vyznačujících se přítomností permanentních nábojů opačného znaménka na protilehlých stranách, elektrická obdoba trvalých magnetů. Jsou zde vysvětleny některé pojmy jako elektrická vodivost, permitivita, elektronová polarizace a její disperze, Lorentzovo vnitřní pole, iontová polarizace, dipólová polarizace, elektrická pevnost apod. Tyto základní poznatky z fyziky jsou zde uvedeny a aplikovány na vlákenný útvar – vlákno – aby bylo možné lépe pochopit mechanismus uchycení náboje na vláknech, jeho životnost a stabilitu.

Druhá část popisuje elektrostatické pole na povrchu dielektrika, elektrické pole vlákna a vznik polarizačních nábojů podle polohy vlákna v poli. Dále se zde soustřeďuje pozornost na působení elektrostatického pole vlákna na částice v podobě prachu.

Třetí část je zaměřena na pojem *elektret*, je zde vysvětlena povaha elektretních nábojů, druh nábojů u elektretů, jejich stabilita a životnost.

Čtvrtá část dizertační práce poukazuje na vliv elektrizace v souvislosti s filtračními parametry. Je zde obecně pohovořeno o filtračních materiálech a jejich struktuře, o struktuře filtrů a zejména jsou zde vyjmenovány základní charakteristiky filtrace podstatné pro experimentální část, ve které jsou některé tyto základní filtrační parametry testovány.

Pozornost je také zaměřena na makroskopické chování filtrů, zejména pak na účinnost filtrace hloubkového filtru, efektivita zachytu částice jediným vláknem. Stručně jsou zde zmíněny filtrační mechanismy a mechanismus uchycení částic nabitými filtračními vlákny společně s uložením submikronových částic na elektricky nabitých vláknech. Pro úplný přehled znalostí o filtraci je teoretická část ukončena stručným popisem kinetiky filtrace – sekundární procesy ve filtraci, zanášení filtrů a několika příklady elektricky nabitých filtračních materiálů.

V teoretické části jsou ještě zmíněny testovací metody, jednak pro měření intenzity elektrického pole, tak i pro měření filtračních vlastností průmyslovým prachem a hlavně aerosolem NaCl (viz experimentální část).

V současné době existují filtrační materiály vyrobené například elektrostatickým zvlákňováním taveniny polymeru nebo technologií MELT-BLOWN apod.(viz kapitola VII), která jsou klasifikována do filtračních tříd. Neexistuje ovšem filtrační materiál ze střížových vláken elektrostaticky upravený.

Cílem dizertační práce bylo jednak shrnout a ucelit teoretické poznatky o chování vláken v elektrickém poli a vliv elektrizace na filtrační parametry, experimentálně ověřit souvislosti mezi elektrizací a filtračními parametry, jejich vzájemný vliv na celkový mechanismus elektrizace, tak hlavně nalézt nový filtrační materiál ze střížových vláken a prozkoumat vliv preparace vlákenného materiálu a okolního prostředí, tedy teploty a vlhkosti, na polarizaci tohoto materiálu a následné testování filtračních vlastností.

Toto téma je nové a zatím neobjasněné a tato práce je průkopníkem v této oblasti u nás. Je zaměřena na širokou škálu faktorů ovlivňujících elektrizaci vlákenných materiálů a je zde podáno několik variant uchycení náboje na vlákne a jejich mechanismy. Není však zatím jasné, jak lze teoreticky specifikovat jednoznačnost každého případu a jak toto lze experimentálně ověřit. A tak experimentální část popisuje vliv okolního prostředí a elektrizačního zařízení na chování elektrického pole na vlákenných materiálech v souvislosti s filtračními parametry. Výsledkem pak je jednoznačná specifikace vlákenného materiálu vhodného k výrobě filtračních materiálů při daných podmínkách, tzn. materiál s optimální filtrační odlučivostí.

Permanentní elektrizací vlákenných materiálů, resp. jejich polarizací, lze docílit vysoké filtrační odlučivosti, aniž by se přitom zvýšil tlakový spád (viz obr. VIII.4 a, b). Ten je pro výrobu filtrů velmi důležitým parametrem.

Pro praktické využití je samozřejmě potřeba přihlédnout k dalším faktorům důležitým pro výrobu a dále je potřeba rozšířit a detailněji prostudovat jednotlivé faktory zmíněné v této práci, která slouží jako návod pro další výzkum v této oblasti.

X. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

X.1. ÚVOD

Jak již bylo zmíněno dříve, tato dizertační práce má kromě teoretického významu i význam praktický. Veškeré experimenty byly prováděny při běžných laboratorních podmínkách a v průběhu několika let směřovaly experimenty k praktickému využití.

Jsou zde ve zkrácené formě zahrnuty výsledky uvedené v mé diplomové práci, zejména proto, že se zde jedná o časově náročné experimenty – sledování intenzity elektrického pole na filtračním vlákenném materiálu v závislosti na filtračních parametrech. Jsou zde uvedeny výsledky dosažené v průběhu tří let.

Celkem byla provedena celá řada měření a na každém z testovaných vzorků o velikosti 10x10 cm bylo provedeno celkem 50 měření. Celá experimentální část je zaměřena na testování těchto faktorů – preparace vlákenného materiálu, vliv okolního prostředí – teplota, relativní vlhkost a vliv geometrie elektrizačního zařízení. Tyto zmíněné faktory ovlivňují chování permanentně elektrizovaného filtračního materiálu v běžných provozních podmínkách. Uvedené materiály jsou vybrány z hlediska jejich možnosti elektrizace, komerční dostupnosti a cenové relace, tak aby výsledný výrobek splňoval kritéria dostupnosti, mimo jiné důležitá pro výrobce filtrů.

V této části dizertační práce je do čtyř fází rozdělen průběh experimentů a to na přípravu vzorků, elektrizaci vlákenných materiálů, měření intenzity el. pole a testování filtračních materiálů. Následuje zpracování prováděných experimentů, jejich vyhodnocení a srovnání s dosud dostupnými teoretickými poznatky. Vlastní experimenty jsou rozděleny na čtyři oblasti vzhledem ke zkoumaným výše uvedeným faktorům.

Tato práce se zatím jako jediná zabývá méně známou problematikou. Nalézá a vymezuje nový elektretní materiál ze střížových vláken s podstatně zvýšenou filtrační odlučivostí, stanovuje postup přípravy takových elektretních materiálů a vymezuje podmínky okolního prostředí a preparace na vláknech v souvislosti se stabilitou a životností vloženého elektrostatického náboje. Práce slouží jako úvodní materiál pro detailnější a zásadnější řešení celé řady dalších otázek, které toto téma nabízí. Široké spektrum těchto faktorů nelze detailně pojmout v jedné práci.

X.2. Příprava testovaných vláknenných materiálů

X.2.1. Použité vláknenné materiály a jejich vlastnosti a použití

Polypropylen (POP)

Vzniká polymerací za působení speciálních katalyzátorů. Z něho vznikne granulovaný POP. Ten se pak spřádá z taveniny jako vlákno. Po dloužení se vlákno řeže a obloučkuje. Hotovým výrobkem je stříž, která má kruhový průřez, je obloučkovaná pýchováním, barvená ve hmotě na různé odstíny. Má příjemný omak a malou měrnou hmotnost ($0,9 \text{ g/cm}^3$) [29].

Vlastnosti vláken:

- vysoce pevná, tažná, nenavlhavá
- při 100°C se srážejí
- při 150°C měknou
- při $160 - 170^\circ\text{C}$ tají
- chemicky jsou inertní (porušují se kyselinou sírovou a dýmavou kyselinou dusičnou)
- přiměřená zotavovací schopnost
- nevyvolávají alergii, lipofilní, snadná zápalnost
- odolnost v oděru

Použití:

- příkrývky, pleteniny, dekorační tkaniny, koberce
- pneum. kordy, pásové dopravníky, filtrační tkaniny, provazy apod.

Polyester (PES)

Vzniká esterifikací zejména aromatických dikarbonových kyselin s glykoly. Jako PES vlákna se označují jen taková, která se skládají nejméně z 85% esterů obsahujících dvojmocný alkohol (glykol) a kyselinu tereftalovou [29].

Vlastnosti vláken:

- vysoká odolnost v oděru
- malá navlhavost
- nabíjení statickou elektřinou, velká tepelná stálost do 150°C
- při $230 - 240^\circ\text{C}$ měknou
- při $225 - 260^\circ\text{C}$ tají
- měrná hmotnost 1.38 g/cm^3
- odolávají většině minerálních kyselin, slabým louhům a většině organických rozpouštědel

- barví se ve hmotě
- odolnost vůči slunečnímu světlu
- zdravotně nezávadná, výrobky jsou pevné, pružné a nemačkové

Použití:

- všestranné: oděvní materiály, pleteniny, filtrační sukna, lana, pásové dopravníky, hadice, lodní plachty, ochranné oděvy, příkrývky, šicí nitě

Polyamid (PAD)

Vláknotvornou substancí je synteticky vysokomolekulární polymer obsahující nejméně 85% polyamidu. Vláknina se vyrábí zvláknováním polyamidů z taveniny, dloužením za studena a tepelnou stabilizací. Jednotlivé typy se označují čísly vyjadřujícími počet uhlíkových atomů v jednotkách řetězce [29].

Vlastnosti vláken:

- povrch je hladký, bez rýhování
- průřez je kruhový
- vynikající odolnost proti oděru, malá měrná hmotnost ($1,14 \text{ g/cm}^3$)
- mimořádná pevnost a tažnost
- malá navlhavost
- odolnost proti nízkým teplotám (do -8°C), odolná do 150°C
- těžko se zapalují, taví se než začnou hořet
- při $170 - 190^\circ\text{C}$ měkne
- při $210 - 230^\circ\text{C}$ taje
- při $300 - 350^\circ\text{C}$ se rozpadá
- vlivem dlouhodobého působení světla žloutnou a ztrácejí pevnost
- za normálních podmínek odolávají běžným chemikáliím
- vysoká odolnost proti alkáliím
- dobře se barví ve hmotě, žmolkuje se

Použití:

- svrchní ošacení, imitace kožešin, punčochy, bytové textilie, pásové dopravníky, hadice, plachty, padáky

Polyethylen (POE)

Vzniká polymerací ethyleny získávaného ze zemních a krakovacích plynů. Vyrábějí se zvláknováním z taveniny. Podle způsobu výroby (tlaku při polymeraci) se rozlišuje vysokotlaký a nízkotlaký POE [29].

Vlastnosti vláken:

- mají kruhový průřez a hladký povrch
- na omak připomínají vosk
- snadno hořlavá, neschopná barvitelná
- sluneční záření působí degeneračně
- vysoká srážlivost, dobré chemické vlastnosti – odolávají kyselinám a alkáliím
- barví se ve hmotě, výborné izolanty

Použití:

- pracovní oděvy, filtrační tkaniny, lana, elektrická izolace, chirurgický šicí materiál

Polyakrylonitril (PAN)

Akrylonitril se vyrábí adicí kyanovodíku na acetylen za katalýzy chloridu měďnatého nebo dehydratací ethylenkyanhydrinu. Pravá PAN jsou z polymerů obsahujících nejméně 85% akrylonitrilu, vlákna s menším obsahem než 85% se označují jako modakrylová. Zvláknují se jak za sucha z roztoku PAN nebo kopolymeru akrylonitrilu – dimethylformamidu (ORLON), tak za mokra (ACRILAN) [29].

Vlastnosti vláken:

- průřez vláken je okrouhlý, nepravidelně bramborovitý, ledvinovitý nebo piškotovitý
- navlhavost 1,5%, měrná hmotnost 1,14 – 1,17 g / cm³
- vlákna odolná do 120°C
- při 235 – 250°C měknou
- při 260°C se rozkládají
- na světle jsou stálá
- snadno zápalná, při hoření vznikají jedovaté páry kyanovodíku
- velmi odolná proti kyselinám a běžným organickým rozpouštědlům
- příjemný omak, vysoká hřejivost, objemnost, neplstivost, nízká žmolkovitost, vysoká stálost vybarvení
- vznik statického náboje

Použití:

- svrchní ošacení, umělé kožešiny, ruční pletací příze, koberce, záclony, filtrační tkaniny, tepelné izolace, potahy do aut

Bikomponentní vlákna s obchod. názvy DANAKLON a HERCULES

Tato vlákna se vyrábějí zvlákňováním dvou různých polymerů pomocí zvláštní zvlákňovací trubice, jedná se o vlákna typu jádro – plášť a obsahují 2 složky - níže tající polymerní složku POE a výše tající složku POP. Aplikují se ve směsi nebo samostatně, používají se zejména jako pojiva v průběhu pojení vznikají bodové adhezní spoje [42].

Tabulka použitých vláken a jejich parametrů

Použitá vlákna	Jemnost [dtex]	Délka [mm]
POP	6,7	60
PES	1,7	85
POE	3,5	40
PAN	5,0	50
PAD	6,0	60
DANAKLON	2,5	40
HERCULES	3,0	40

X.3. Technologické zpracování vláknenných materiálů

Pro testování elektrizace a filtrace vláknenných materiálů byly použity výše zmíněné materiály zpracované pouze níže zmíněnými technologiemi. Důvodem jsou opět praktické, časté a dostupné technologie. Jednotlivé technické parametry zpracovávaných vláken budou přesně uvedeny u jednotlivých experimentů.

Vpichované textilie

Jedná se o jednu ze základních mechanických technologií [42], které se používají při zpracování vláknenných materiálů. Vlákna jsou rozvolňována a vstupují do mykacího zařízení, kde dochází k rozvolnění a ujednociení jednotlivých vláken. Poté procházejí vlákna vpichovacím zařízením – ožehlená deska – kde jsou mechanicky pomocí těchto jehel vzájemně provázána a dochází tak ke zpevnění vláknenné vrstvy a vytvoření vpichované textilie. Vlastnosti vpichovaných textilií jsou určeny řadou technologických faktorů (odváděcí rychlost, hloubka vpichu, počet jehel na jednotkovou délku, apod.). Materiály zpracované

touto technologií – plošná hmotnost 300 g / m^2 , hloubka vpichu 5 mm, velikost vzorků 500 x 500 mm.

Technologie STRUTO

Tato technologie je založena na principu kolmého kladení vláken. Byla vyvinuta na katedře netkaných textilií a poté, co jsou vlákna rozvolněna a vytvoří vláknennou vrstvu, vstupují do rotačního nebo vibračního kladeče, který tato vlákna uspořádá kolmo k pásovému dopravníku a následně tato vrstva prochází tepelnou komorou, kde dochází ke zpevnění vrstvy vlivem tepelné úpravy. Vlastnosti těchto textilií jsou opět určeny řadou technologických parametrů (příváděcí a odváděcí rychlost, výška roštu, rychlost kladeče, apod.). Materiály zpracované touto technologií – plošná hmotnost 300 g / m^2 , velikost vzorků 500 x 500 mm, výška vzorků 15 mm [42].

Technologie MELT – BLOWN

Tato technologie využívá vláknenného materiálu v podobě granulí, které díky tavícímu a dlouhícímu zařízení přetváří na vláknenný materiál a pokládá na otáčející se buben a tímto způsobem vzniká vláknenná vrstva. Výrobek je vysoce jemný, díky velké jemnosti vytvořených vláken. Byly použity vzorky o velikosti 500 x 500 mm, plošná hmotnost 30 g / m^2 , vyrobené z POP granulátů [43].

X.4. Úpravy vláknenných materiálů

V průběhu testování elektrizovaných vláknenných materiálů se ukázalo, že je potřeba upravit povrch materiálů tak, aby bylo možno aplikovat maximální intenzitu elektrického pole na povrch vláknenného materiálu a tím také docílit co největší filtrační účinnosti. Tyto úpravy a jejich vliv na elektrizaci a filtraci vláknenných materiálů budou později u jednotlivých experimentů konkrétně zhodnoceny. Byly to zejména tyto úpravy:

- a) tepelná úprava povrchu vláknenného materiálu před elektrizací
- b) použití vláken bez preparace na jejich povrchu (extrakce vodnými systémy, extrakce organickými rozpouštědly)

X.5. Měření intenzity elektrického pole a filtračních parametrů

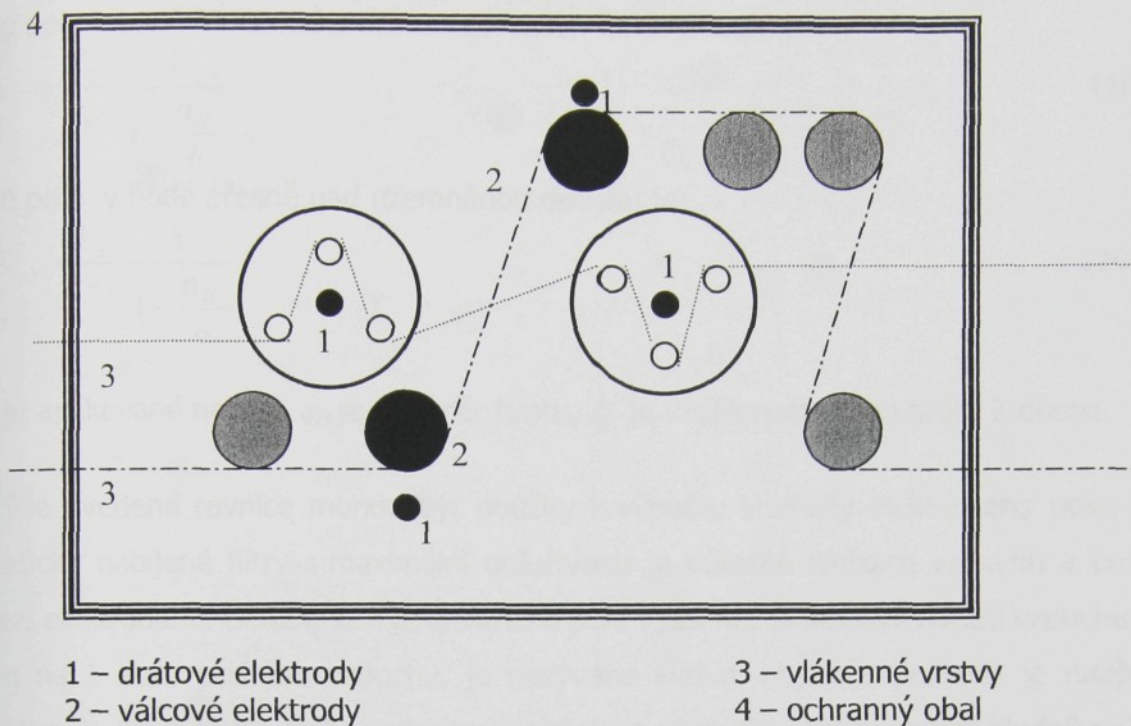
V teoretické části je detailně popsáno zařízení na měření elektrických polí (kap.VIII.1.) Stejně tak je v kapitole VIII.2. pojednáno o zařízení na měření filtračních parametrů aerosolem NaCl.

X.5.1. Elektrizace vláknenných materiálů

V mé diplomové práci bylo pro elektrizaci vláknenných materiálů použito zařízení sestavené na katedře netkaných textilií. Toto zařízení se skládalo z plošné kovové elektrody a soustavy kovových tyčí. Vláknenná vrstva byla posouvána po povrchu plošné elektrody ve volitelné vzdálenosti od elektrizačních tyčí. Plošná elektroda mohla být buď uzemněná nebo spojená s některým pólem zdroje elektrického stejnosměrného napětí 25 kV. Elektrizační tyče byly spojeny s druhým pólem zdroje.

Později se podařilo na katedře netkaných textilií získat nové patentované elektrizační zařízení díky americké univerzitě v Tennessee [1,5,13,44]. Je tvořeno ochranným obalem tvaru hranolu z desek z organického skla. Uvnitř obalu jsou nabíjecí elementy – tyče, dráty, apod. a otáčivé vodící válce bez vlastního pohonu. Zpracováváný materiál prochází vstupní a výstupní štěrbinou. Otáčivé vodící válce jsou poháněny procházejícím materiálem. Toto zařízení je napájeno ze dvou zdrojů vysokého napětí. Vodicí válce a válcové elektrody jsou kovové. Zdroje jsou uloženy v samostatném stojanu. Schéma je na obr. X.1. Jsou zde vyznačeny dvě možnosti jak vést vláknenný materiál. Čerchovanou čarou je vyznačen směr průchodu materiálu, který byl použit pro všechny materiály do plošné hmotnosti 300 g/m^2 a je to způsob elektrizace označovaný jako „technika I“. Druhou přerušovanou čarou je vyznačen druhý způsob jak vést vláknenný materiál, je to „technika II“ a je vhodná pro materiály s větší plošnou hmotností. Obě techniky ukazují, že materiál je elektrizován z obou stran. Lze zde měnit řadu parametrů:

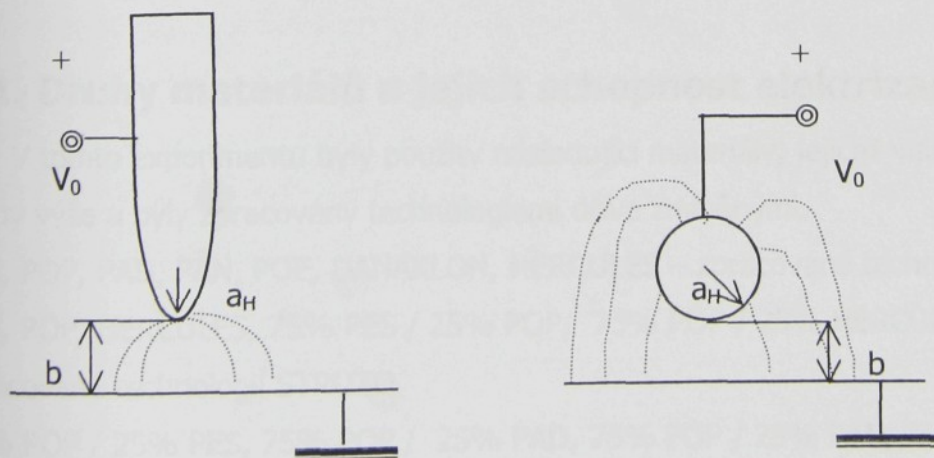
- 1) libovolně volitelný napěťový potenciál mezi elektrodami
- 2) možnost využití „techniky I a II“
- 3) rychlost vláknenného materiálu
- 4) změny vzdálenosti elektrod
- 5) změna počtu elektrod – speciální úprava



X.1 – Schéma elektrizačního zařízení

Vláknenný materiál vstupuje mezi elektrody a je elektrizován pomocí korony, která se mezi nimi vytváří. Korona je výboj, který vzniká při velmi ostrých hrotech a tenkých drátech ve velmi nehomogenním poli. Při koruně jsou dva prostory v sérii, tj. výbojový prostor u ostré elektrody, kde ionizace vzniká a spojovací prostor bez ionizace, kde elektrické částice vzniklé při koruně přetékají sem a tam. Díky tomuto „výboji“ dochází k elektrizaci vláknenných materiálů.

Na obr. X.2 je znázorněno rozložení elektrického pole hrotu nebo drátu nad uzemněnou deskou [13].



X.2 – Rozložení elektrického pole hrotu nebo drátu

Elektrické pole v bodě hrotu nebo drátu nad uzemněnou deskou je

$$E_s = \frac{V_0}{a_H} \cdot \frac{1}{1 - \frac{a_H}{b}} \quad (10.1)$$

Elektrické pole v bodě přesně nad uzemněnou deskou je

$$E_{(r)} = \frac{V_0}{r} \cdot \frac{1}{1 - \frac{a_H}{b}} \quad (10.2),$$

kde V_0 je aplikované napětí, a_H je poloměr hrotu, b je vzdálenost bodu hrotu k desce.

Výše uvedené rovnice mohou být použity k výpočtu intenzity elektrického pole. Pro elektrostaticky nabíjené filtry s maximální odlučivostí je důležitá ionizace vzduchu a pohyb částic mezi elektrodami. Oblast, kde je elektrické pole vyšší než průrazové napětí vzduchu, tj. 30 kV/cm na 1 atm. suchého vzduchu, je nazývána aktivní objem a poloměr je nazýván aktivní poloměr. Když se neutrální vzduchová molekula zhroutí v aktivní oblasti kladně nabitě elektrody, vytvoří se kladný ion a elektron. Kladný ion bude vypuzen k uzemněné elektrodě pomocí kladné elektrody [13]. Elektron bude připevněn k elektronegativním molekulám (dusík, kyslík), aby vytvořil záporný ion nebo bude vypuzen jiným elektronem z neutrální molekuly nebo ionu v závislosti na energii elektronu. Nakonec budou elektron a záporný ion přitahovány ke kladné elektrodě a izolovaný elektron nebo elektron z negativního ionu budou přitahovány kladnou elektrodou a uvolní se neutrální molekula. Elektrizace je dovršena, když se náboje pohybují od jedné elektrody ke druhé pomocí elektrických sil pole.

X.6. Vlastní experimenty

X.6.1. Druhy materiálů a jejich schopnost elektrizace

V tomto experimentu byly použity následující materiály, jejichž vlastnosti byly uvedeny výše a byly zpracovány technologiemi dříve zmíněnými.

- a) PES, POP, PAD, PAN, POE, DANAKLON, HERCULES – zpracované technologií vpichování
- b) PES, POP, HERCULES, 75% PES / 25% POP, 75% POP / 25% HERCULES – materiály zpracované technologií STRUTO
- c) 75% POP / 25% PES, 75% POP / 25% PAD, 75% POP / 25% PAN, 75% POP / 25% POE, 75% POP / 25% DANAKLON, 75% POP / 25% HERCULES – směšové materiály zpracované technologií vpichování

d) kompozitní materiály:

- kompozit č. 1 – STRUTO - 75% POP / 25% HERCULES s podložkou PETEX + MELT-BLOWN 10 g/m²
- kompozit č. 2 - STRUTO - 75% POP / 25% HERCULES s podložkou PETEX + MELT-BLOWN 30g/m²
- kompozit č. 3 – STRUTO - HERCULES + MELT-BLOWN 10 g/m²
- kompozit č. 4 – STRUTO - HERCULES + MELT-BLOWN 30 g/m²
- kompozit č. 5 – STRUTO - 75% POP / 25% HERCULES + MELT-BLOWN + 75% POP / 25% HERCULES

Tabulky č. 1 a 2 a příslušné grafy č. 1 a 2 zobrazují vliv elektrizace na různé vlákenné materiály. Intenzita elektrického pole v čase klesá přibližně exponenciálně u každého materiálu a po čase se ustálí. Přeloženo do časové osy to znamená, že cca po 14 dnech se intenzita elektrického pole ustálí a životnost vloženého elektrostatického náboje sledovaného v této práci se pohybuje v délce tří let. Z křivek grafu č. 1 vyplývá, že materiály PES, PAD, PAN, nejsou pro elektrizaci vhodné, intenzita elektrického pole těsně po elektrizaci je nízká a po čase klesá na zanedbatelné hodnoty a současně s tím se filtrační odlučivost těchto materiálů upravených elektrizací pohybuje okolo hodnoty 20%. Ze zbývajících materiálů je nejvýhodnější POP, vykazuje vysokou intenzitu elektrického pole, která v čase jen málo klesá a po 14 dnech se ustálí na hodnotě 1,5 kV/cm, přičemž elektricky upravený vzorek dosahuje filtrační odlučivosti 58%.

Vyšší elektrická vodivost jednotlivých materiálů, ať už daná vodivostí samotného polymeru nebo vlákenné preparace, způsobuje rozpad vloženého statického náboje v čase několika hodin až dnů. Vliv vlastní vodivosti polymeru nelze v tomto ohledu žádným způsobem eliminovat a proto se k permanentní elektrizaci nedají použít textilie vyrobené z polyethylentereftalových či polykaprolaktamových vláken.

Tabulky a grafy č. 3 a 4 ukazují vliv elektrizace vlákenných materiálů (PES, POP, HERCULES a jejich směsi) zpracovaných technologií STRUTO. Na rozdíl od materiálů zpracovaných vpichováním, můžeme říci, že průběh intenzity el. pole v čase je obdobný, klesá přibližně exponenciálně, ale intenzita elektrického pole je vyšší než u materiálů vpichovaných. Lze tedy říci, že určitý vliv na elektrizaci vlákenných materiálů má jejich struktura a kombinace dvou vlákenných materiálů, přičemž je samozřejmě vyšší i filtrační odlučivost. Vliv struktury (technologie zpracování) dokazují i tabulky a grafy č. 5 a 6, které uvádějí závislost intenzity el. pole v čase pro směšové materiály zpracované opět vpichováním a obsahující kombinace výše uvedených vlákenných materiálů. Kombinace

s materiály PES, PAD, PAN zpracovaných vpichováním vykazují opět nejnižší intenzitu elektrického pole a v průběhu dalších experimentů nejsou používány.

Poslední část tohoto experimentu je věnována kompozitním materiálům (grafy a tabulky č. 7 a 8). Průběh křivek je obdobný, ovšem intenzita elektrického pole je podstatně vyšší. Nejvyšších hodnot je dosaženo u kompozitu č. 4, složeného ze dvou vrstev – jedna vrstva je ze směsi 75% POP/ 25% HERCULES (bikomponentní vlákno) a druhou vrstvu tvoří MELT – BLOWN s plošnou hmotností 23 g/m² vyrobený z POP. Intenzita elektrického pole se v čase nemění, to znamená, že vložené náboje vykazují optimální stabilitu i životnost. Jeho filtrační odlučivost je také nejvyšší, téměř 100%-ní. Vysokou filtrační odlučivost vykazují i kompozity č. 3 a 5, přičemž tlakový spád je pro elektrizované i neelektrizované vzorky stejný, z toho vyplývá, že tlakový spád se skutečně vlivem elektrizace nezvyšuje. Z tohoto experimentu vyplývá vhodnost kombinace POP vláken, bikomponentních vláken a MELT – BLOWN. Každý z těchto materiálů má svoji funkci (POP vlákno s bikomponentním vláknem tvoří základ pro filtrační materiál a společně s MELT-BLOWN je vhodný pro elektrizaci) a současně jsou to materiály vykazující vysokou filtrační odlučivost díky právě elektrostatické úpravě jejich povrchu. Zvolená technologie vytváří i vhodnou strukturu pro elektrizaci, jak již bylo uvedeno výše.

Vlákněné vrstvy z POP vláken lze pojit mechanicky nebo termoplasticky. Při mechanickém způsobu výroby (příčné kladení a vpichování nebo kolmé kladení a následné mechanické zpevnění systémem ROTIS) připadá v úvahu elektrostatické nabíjení po odstranění preparace. Při termickém způsobu zpevnění (kolmo kladené textilie) je nutno vybrat vhodný typ pojivých vláken. Vzhledem k teplotě tání POP připadají v úvahu polyethylenová vlákna, bikomponentní vlákna polyester – kopolyester a bikomponentní vlákna polypropylen – polyethylen. Ukázalo se, že monokomponentní vlákna nejsou vhodná jako pojiva pro filtrační materiály. V průběhu pojícího procesu jsou tato vlákna přeformována do částic spojujících základní vlákna a tyto částice se mohou v průběhu filtrace mechanickými vlivy uvolňovat a dostávat do přefiltrovaného vzduchu. To je pro uživatele filtrů nepřijatelné. Bikomponentní vlákna polyester - kopolyester nedávají velkou šanci na trvalé udržení intenzity el. pole resp. na udržení vloženého elektrostatického náboje ve výrobku vzhledem k jejich zmíněné elektrické vodivosti a efekt elektrostatické úpravy není patrný. Vzorky bikomponentních vláken polypropylen – polyethylen od firmy DANAKLON a HERCULES, jejichž rozdíl je pouze ve způsobu zpracování, jsou pro tyto účely nejvhodnější. Vlákná od firmy DANAKLON se lépe elektrizují samostatně jako vpichovaná textilie a vlákna firmy HERCULES se lépe nabíjejí ve směsi s POP. Vhodnější pro směšové materiály jsou tedy vlákna firmy HERCULES a jsou dále uváděna v dalších experimentech.

Elektrostatickou úpravu tedy lze použít pro libovolný materiál, ale životnost, velikost a stabilitu vloženého el. náboje ovlivňuje vodivost těchto materiálů. Vhodná jsou proto polyolefinová vlákna. Filtrační odlučivost vykazuje v průměru 20%-ní nárůst a velikost tlakového spádu se blíží 0.

X.6.2. Vliv okolního prostředí na elektrizaci vlákenných materiálů

Okolním prostředím, které obklopuje vlákenný filtrační materiál, se v této práci rozumí teplota a relativní vlhkost vzduchu. Oba parametry ovlivňují zejména elektrickou vodivost vláken, jak bylo uvedeno v předchozím experimentu. Zvýšením elektrické vodivosti vláken nebo vlákenné preparace na vláknech se snižuje možnost dosažení maximální intenzity vloženého elektrického pole a současně se snižuje možnost dosažení maximální filtrační odlučivosti.

Vliv relativní vlhkosti na elektrizaci vlákenných materiálů

Vybrané materiály (PES, POP, MELT-BLOWN, HERCULES, STRUTO 75POP/25HERCULES) byly upraveny elektrizačním zařízením, přičemž na drátovou elektrodu bylo přivedeno opět napětí 30 kV a na válcovou elektrodu – 5 kV. Poté byly vzorky umístěny na speciálním stojanu a vloženy do exsikátorů, které obsahovaly nasycené vodní roztoky solí pro dosažení různých relativních vlhkostí vzduchu. V exsikátorech tak byla udržována konstantní vlhkost po celou dobu měření testovaných parametrů, po dobu jednoho měsíce a vzorky byly opakovaně proměřovány v průběhu každého dne. Výsledky prvních 40 h (intenzita el. pole se dále neměnila) ukazují tabulky a grafy č. 11 – 24.

Při relativní vlhkosti 0% je intenzita elektrického pole, resp. velikost elektrostatického náboje, odpovídající běžné provozní vlhkosti a filtrační odlučivost se nemění. Dá se předpokládat, že se zvyšující se relativní vlhkostí bude intenzita elektrického pole klesat. Experimentálně se tento předpoklad potvrdil. Všechny vzorky byly v určitém pořadí uloženy ve stojanu, ale pořadí těchto vzorků bylo během měření měněno. Důvodem bylo zjištění vlivu zkondenzované vody na zvonu exsikátoru na intenzitu elektrického pole vzorku, který byl umístěn nahoře. Zkondenzovaná voda dopadala na vrchní vzorek, ten obsahoval větší

vlhkost, tím se stal vodivějším a vložený elektrostatický náboj byl z větší části odveden, přičemž klesla intenzita elektrického pole. Vlhkost plynu obklopující elektret a pokrývající povrch elektretu stíní vložené elektrické pole. Čím větší je vlhkost vzduchu obklopujícího elektret, tím větší plochu jeho povrchu pokrývá voda a tím menší je měřená intenzita elektrického pole elektretu. Vysoušením elektretu ničíme film vlhkosti a elektret opět zaujímá svůj počáteční stav. Tabulky a grafy č. 25 – 27 ukazují souhrnně tento vliv vlhkosti na elektrizaci a filtrační parametry zkoumaných materiálů. Nejvyšší intenzity elektrického pole dosahuje MELT-BLOWN při relativní vlhkosti 0 – 32% a filtrační odlučivosti 69 – 71%. Vysoká filtrační odlučivost (89%) je také dosažena u materiálu STRUTO 75POP/25Hercules při relativní vlhkosti 0 a 42 %, přičemž samozřejmě ani intenzita elektrického pole není malá (3,5 kV/cm). Z grafu č. 25 je zřejmé, že intenzita elektrického pole při relativní vlhkosti okolo 60%, resp. od 60%, se mění a prudce klesá. Ve srovnání s grafem č. 26 klesá filtrační odlučivost pozvolna a tlakový spád je velmi nízký, v některých případech dokonce neměřitelný a proto zde není uveden. Stručně tedy lze konstatovat, že relativní vlhkost ovlivňuje intenzitu elektrického pole a také vložený elektrostatický náboj a je potřeba k této skutečnosti při výrobě filtrů a jejich využití přihlídnout.

Vliv tepelné úpravy na elektrizaci vláknenných materiálů

Stejný typ vzorků použitých pro studium vlivu vlhkosti byl použit i pro studium vlivu teploty, resp. tepelné úpravy testovaných vzorků. Jedna polovina vzorků byla před úpravou elektrostatickým nábojem (Technika I – napěťový potenciál 25 kV, čas 10 s) tepelně opracována v tepelné komoře na teplotu měknutí každého materiálu po dobu 5 min. Druhá polovina zůstala bez tepelné úpravy při laboratorní teplotě 20°C.

Vlivem teploty blízké teplotě měknutí jednotlivých materiálů, kdy dochází ke změně mnoha fyzikálních vlastností, dojde v tomto případě k lepší fixaci vložených nábojů na vlákne. Přispívá k tomu vibrační pohyb částic makromolekul a přiložené elektrické pole tento efekt ještě zvýší.

Z tabulek a grafů č. 28 – 30 vyplývá zřejmý rozdíl mezi tepelně upravenými a neupravenými vzorky. Například POP materiál, který vykazuje poměrně vysokou intenzitu elektrického pole a je základní surovinou pro filtrační materiály, dosahuje při teplotě 20°C po elektrizaci hodnoty 2 kV/cm a ustálí se na hodnotě 1,5 kV/cm. Jestliže tento materiál tepelně upravíme (teplota měknutí POP vláken 150°C), dosáhne intenzita elektrického pole velikosti 2,6 kV/cm a ustálí se na hodnotě 2,2 kV/cm. Obdobné je to i u ostatních materiálů kromě

PES vláken, která, jak již bylo uvedeno, nejsou vhodná k elektrizaci a jsou zde uvedena pro možnost srovnání s ostatními vlákennými materiály. Jestliže budeme hodnotit vliv teploty na filtrační parametry, dostaneme obdobný výsledek. Filtrační odlučivost u materiálů tepelně upravených se v průměru zvýší o 37%, aniž by se měnil tlakový spád.

Domnívám se, že vlivem teploty blízké teplotě měknutí jednotlivých materiálů, kdy dochází ke změně řady vlastností vlákenných materiálů, dojde i v tomto případě vlivem tepelné úpravy k lepší fixaci nábojů na vlákne, zvýšení intenzity el. pole a zlepšení filtračních vlastností. Díky této úpravě se současně mění i struktura materiálu a dochází k jeho zpevnění, což má samozřejmě pozitivní vliv na filtrační odlučivost.

Vliv preparace na elektrizaci vlákenných materiálů

Jak již bylo uvedeno, je průmyslové využití elektrizace vlákenných materiálů s cílem zvýšení jejich filtrační odlučivosti známo u materiálů z nízkovodivých polymerů. Při technologii MELT-BLOWN nejsou na povrch vláken aplikovány žádné preparační prostředky, které mimo jiné obvykle zvyšují povrchovou vodivost materiálů. Střížová vlákna tuto preparaci obsahují. Z tohoto pohledu byl tento experiment zaměřený na studium možnosti elektrizace textilních vrstev vyrobených z dalších typů polymeru, navíc ve formě stříže obsahující vlákenné preparace, nový.

Tabulky a grafy č. 31 – 33 ukazují přehled výsledků měření intenzity elektrického pole a filtrační odlučivosti jednotlivých materiálů.

Z uvedených tabulek a grafů (č. 31 a 32) vyplývá pro intenzitu elektrického pole jednoznačně, že při odstranění preparace se zvýší a současně se zvýší i filtrační odlučivost. Tlakový spád zůstává stále stejný. To je na jedné straně velmi pozitivní zjištění, jak dosáhnout zvýšení filtrační odlučivosti pro vlákenné materiály. Na druhé straně je zcela vyloučeno před každým zpracovatelským procesem odstraňovat vlákennou preparaci, která je potřebná právě pro lepší zpracovatelnost vlákenných materiálů, která chrání jejich povrch, ale současně výrazně ovlivňuje elektrickou vodivost vlákenných materiálů, kterou nelze žádným způsobem eliminovat. Byly použity tři způsoby odstranění preparace – extrakce vodnými systémy, extrakce organickými rozpouštědly a tepelné opracování v průběhu teplovzdušného pojení. Nejvhodnějším a nejjednodušším způsobem jak eliminovat preparaci na vláknech, je tepelné opracování (souviselost s experimentem o vlivu teploty na elektrizaci vlákenných materiálů), kdy se větší část preparace odstraní vypařováním. Dojde ke snížení

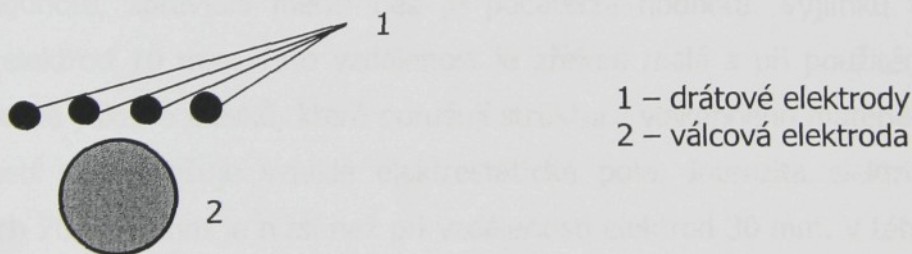
elektrické vodivosti, tím se zvýší intenzita elektrického pole a možnost lepší fixace nábojů na vláknech a samozřejmě současně dojde ke zvýšení filtrační odlučivosti.

X.6.3. Vliv geometrie elektrizačního zařízení na elektrizaci vlákných materiálů

Byl použit vlákný materiál POP zpracovaný technologií vpichování o plošné hmotnosti 300 g/m² a hloubce vpichu 10 mm. Byla sledována časová závislost intenzity elektrického pole při změně těchto parametrů:

1. změna počtu elektrod

Připojením dalších drátových elektrod proti válcové elektrodě by mohlo vést ke zvýšení intenzity daného elektrostatického pole a tím ke zvýšení možnosti ukotvení vložených nábojů na zkoumaném vzorku. Proto jsou zde uvedeny výsledky při instalaci od 1 do 4 elektrod.



X.6 – Změna počtu elektrod

Výzkum vlivu počtu elektrod ukazuje tabulka a graf č. 34.

Pokud je použito stejné elektrické napětí 25 kV, je intenzita elektrického pole v čase stejná. Dokazují to výše zmíněné křivky v grafu č. 34, které mají přibližně stejný průběh a ustálená hodnota je stejná. V případě, že budeme měnit při daném počtu elektrod i elektrické napětí, ukázalo se, že výsledek je stejný a není zde proto uváděn. Je zřejmé, že počet drátových elektrod umístěných proti válcové elektrodě zásadně neovlivňuje intenzitu elektrického pole a chování náboje na vlákném materiálu, nemá vliv na jeho velikost ani životnost. Nejrovnoměrnější intenzitu elektrického pole vykazoval materiál elektrizovaný

soustavou dvou a tří drátových elektrod po jednom měsíci od elektrizace, filtrační odlučivost tohoto materiálu elektrizovaném třemi drátovými elektrodami byla shodná jako u materiálů s jiným počtem elektrod. Proto zde nejsou uvedeny výsledky filtrační odlučivosti těchto materiálů.

2. změna vzdálenosti elektrod



X.7 – Změna vzdálenosti elektrod

Drátová elektroda byla posouvána ve vzdálenostech 10, 30, 70 a 90 mm od válcové elektrody (obr. X.7). Tabulka a graf č. 35.

Lze sledovat průběh intenzity elektrického pole od prvního dne po elektrizaci. Zpočátku intenzita elektrického pole roste a dosáhne maxima, poté začne klesat a ustálí se na určité hodnotě, zpravidla menší než je počáteční hodnota. Výjimku tvoří křivka při vzdálenosti elektrod 10 mm. Tato vzdálenost je zřejmě malá a při použitém napětí 25 kV dochází k tvorbě jisker a blesků, které porušují strukturu vlákenného materiálu. Se zvětšující se vzdáleností se zmenšuje vzniklé elektrostatické pole. Intenzita elektrického pole při vzdálenostech 70 a 90 mm je nižší než při vzdálenosti elektrod 30 mm. V této vzdálenosti je intenzita elektrického pole nejvyšší a materiál vykazuje nejrovnoměrnější rozložení náboje.

3. Technika I a II

Nabíjení vlákenných vrstev koronovým výbojem a příslušná zařízení jsou předmětem celé řady patentových spisů. Přestože je jasné, že detaily provedení jednotlivých zařízení ze spisů nevyplynou, bude zde uveden alespoň přehled technik, jejich vývoj a základní charakteristiky.

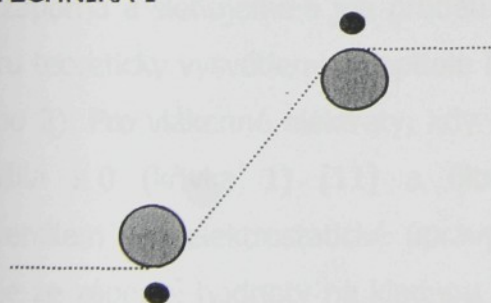
Podle U.S. 4308223 [18] dochází k elektrizaci vlákenné vrstvy ve statickém uspořádání při 120°C. Jedna elektroda je tvořena vysokým počtem hrotů, druhá uzemněná deskou pokrytou

izolující fólií, která zabraňuje úniku elektricky nabitých částic uzemněním. Trvalý náboj se indukuje dvěma efekty: orientací dipólů a inkorporací nábojů vznikajících výbojem do struktury POP vláken. Čas potřebný k orientaci dipólů je při uvedeném uspořádání cca 15 minut. Rozložení náboje v ploše vrstvy není rovnoměrné.

Ve spisech U.S.4372718 a U.S. 4588537 [18] je popsán kontinuální proces nabíjení bez ohřevu s využitím přenosové polovodivé vrstvy jako je viskózní tkanina a proces není limitován na polymery obsahující polarizovatelné skupiny. Nízká elektrická vodivost zajišťuje nabíjení takových materiálů jako jsou polyolefiny. Tím se zvyšuje životnost náboje. Postupem lze výhodně nabíjet tenké vrstvy, u vyšších vrstev dochází převážně k nabití povrchu. Čas nabíjení je u popsaného systému na úrovni 1s. Patent U.S. 4595815 [18] chrání způsob nabíjení materiálu probíhajícího po kovovém bubnu bezkontaktně sadou drátových elektrod o průměru 0,2 – 1,5 mm. Ve spisu se opakovaně zdůrazňuje, že vhodným vlákenným materiálem je polyolefin (POP) s nízkou molekulovou hmotností.

Elektrizačních zařízení, která vytvářejí koronový výboj, je několik typů. Jeden z nich je k dispozici na katedře NT (obr. X.1) a poskytuje možnost použití dvou nabíjecích technik. Technika I, která byla použita pro všechny zde uvedené experimenty a při které se využívá napěťového potenciálu 25 kV jako optimálního, kdy nedochází ke vzniku elektrického výboje. Při této technice prochází materiál nejdříve jednou stranou soustavou válcové a drátové elektrody a poté stejnou soustavou z druhé strany. Tato technika se využívá pro materiály do plošné hmotnosti 300 g/m^2 . Máme-li materiály objemnější ($> 300 \text{ g/m}^2$), použijeme techniku II, při které je materiál naveden do válcového plexisklového krytu, který obsahuje 2 soustavy (tři dřevěné vodící válce, v jejichž středu je umístěna drátová elektroda). Vlákenný materiál procházející touto soustavou je tak polarizován z obou stran.

TECHNIKA I



TECHNIKA II



- válcové elektrody
- drátové elektrody

X.8 – Přehled nabíjecích technik elektrizačního zařízení

Tabulky a grafy č. 36 a 37 ukazují výsledky tohoto experimentu. Zde je patrné, že pro materiály zpracované vpichováním o plošné hmotnosti 300 g/m² je vhodné použít techniku I, zatímco pro objemnější materiály (STRUTO 75POP/25Hercules) je vhodnější technika II. Pokud dojde k záměně těchto technik, tedy pokud se použijí opačné, nijak to neovlivňuje intenzitu elektrického pole. Filtrační odlučivost je pro techniku I srovnatelná jako při použití techniky II.

4. Vliv polarity prostředí

Další možnost jak využít vliv geometrie elektrizačního zařízení je vliv polarity prostředí na polaritu vlákněho POP materiálu.

Jestliže obě elektrody (válcová – drátová) nastavíme s napěťovým potenciálem + 30 kV (tabulka č. 38 – drátová elektroda 0 kV), vytvoříme kladné prostředí a vzorek se elektrizuje se záporným znaménkem. V opačném případě (válcová elektroda 0 kV) vytvoříme také kladné prostředí, ovšem vzorek se nabíjí s kladnou polaritou.

Pokud vytvoříme mezi elektrodami napěťový potenciál – 30 kV (drátová elektroda 0 kV) vytvoříme záporné prostředí, ale vzorek obsahuje kladná znaménka. V opačném případě (válcová elektroda 0 kV) vytvoříme záporné prostředí a polarita vzorku bude také záporná.

Tabulka a graf č. 39 ukazuje hodnoty intenzity elektrického pole, filtrační odlučivost a tlakový spád pro POP textilií (vpichovaná) při teplotách 20, 50, 100 a 150°C pro polarity uvedené v tabulce č. 38. Jako nejvhodnější polarita prostředí se jeví nastavení drátové elektrody na + 30 kV a válcové elektrody 0 kV. Pokud vychází hodnota intenzity elektrického pole záporná a sledujeme-li její průběh v čase, dojdeme k výsledkům, které jsou dle mého názoru teoreticky vysvětleny v kapitole IV.2. - Stabilita a životnost náboje elektretů - (křivka 1 nebo 2). Pro vlákně elektrety, kdy se intenzita elektrického pole během několika týdnů zmenšila k 0 (křivka 1) [11] a filtrační odlučivost dosahovala hodnoty srovnatelné s materiálem bez elektrostatické úpravy. Křivka 2 [11] (obr. IV.1) vypovídá o přetočení náboje ze záporné hodnoty na kladnou (kladné hodnoty intenzity elektrického pole), jde do maxima a ustálí se, přičemž intenzita elektrického pole je nižší než u materiálu, který je elektrizován kladným prostředím a po elektrizaci vytvoří kladné elektrické pole s vyšší hodnotou.

5. změna počtu průchodů elektrizovaného materiálu elektrizačním zařízením

Elektrizovaný vlákenný materiál prochází soustavou válcových a drátových elektrod (viz obr. X.1) elektrizačního zařízení při obvyklé elektrostatické úpravě pouze jedenkrát. Tento experiment zjišťuje závislost intenzity elektrického pole v čase při změně počtu průchodů elektrizovaného materiálu elektrizačním zařízením, to znamená, že elektrizovaný materiál je veden do elektrizačního zařízení 1x, 2x, 3x a 4x. Tabulka a graf č. 40 ukazuje tuto závislost při počtu průchodu materiálu zařízením 1x, 2x, 3x, 4x.

Tento parametr nijak neovlivňuje již jednou elektrizovaný materiál a není nutné jej opakovaně protahovat elektrizačním zařízením.

Domnívám se, že při opakovaném protahování vlákenného materiálu elektrizačním zařízením dochází k vykompenzování již jednou vloženého elektrického pole a výsledná intenzita elektrického pole je srovnatelná při jednom průchodu vlákenného materiálu elektrizačním zařízením.

6. změna rychlosti průchodu materiálu elektrizačním zařízením

Předcházející experiment hovořil o počtu průchodů vlákenného materiálu elektrizačním zařízením při konstantní rychlosti. Tento experiment naopak ukazuje změnu rychlosti odváděcích válců.

Instalací odváděcího zařízení k elektrizačními zařízení byly získány tři možnosti změn rychlosti průchodu materiálu tímto zařízením. Tabulka a graf č. 41 ukazují výsledky tohoto experimentu při rychlostech 2,3; 4,6; 7,2 m/min.

Rychlost odvádění daného materiálu je závislá na intenzitě elektrického pole v čase a mění se. Při nejnižší rychlosti vykazuje vlákenný materiál vysokou intenzitu elektrického pole a rovněž rozložení náboje na materiálu je rovnoměrnější než u rychlosti 7,2 m/min, která je příliš vysoká a výsledná intenzita elektrického pole je menší. To znamená, že rychlost průchodu vlákenného materiálu elektrizačním zařízením by se neměla zvyšovat, protože ovlivňuje elektrizaci materiálů. Toto lze vysvětlit tak, že při vysoké rychlosti není dostatek času na uchycení vzniklých elektrostatických nábojů na vlákenném materiálu a vložené elektrické pole je nízké.

x.6.4. Další aspekty elektrizace vlákenných materiálů

1. Eliminace vloženého elektrického pole vodou

Vztah výsledků hodnocení elektrizovaných materiálů získaných na jedné straně měření intenzity elektrického pole a na druhé straně měření filtrační odlučivosti není dosud vyjasněn. Z výzkumů vyplynulo, že odstraníme-li měřitelné elektrické pole z textilie (např. ponořením do vody apod.), neztrácí svou zvýšenou filtrační odlučivost. Toto tvrzení vycházelo z testování materiálů zpracovaných technologií MELT-BLOWN. Stejným způsobem, tzn. ponořením do vody ($t = 30$ min), bylo toto pole odstraněno u střížových vlákenných materiálů. Ukázalo se, že po odstranění elektrického pole je filtrační odlučivost nízká, kromě materiálu MELT-BLOWN (viz tabulka a graf č. 42). Odstraníme-li elektrické pole z vlákenné vrstvy vodou, přestože ji vysušíme, neobnovíme tak původní filtrační odlučivost na rozdíl od níže uvedeného způsobu eliminace mechanickou cestou.

2. Eliminace vloženého elektrického pole mechanickou cestou

Další experimenty byly zaměřeny na odstranění vloženého elektrického pole pomocí mechanického působení. Vláknový materiál byl elektrizován obvyklým způsobem, byla změřena filtrační odlučivost a poté byl použit v průmyslovém prашném prostředí. Po zanesení filtru prachovými částicemi vykazoval tento materiál stále vysokou intenzitu elektrického pole. Poté byly mechanicky (klepáním) odstraněny prachové částice (filtr mohl být znovu použit), zmizelo vložené elektrické pole, materiál vykazoval nulovou hodnotu intenzity elektrického pole, ovšem jeho filtrační odlučivost se nezměnila.

Chování vlákenného materiálu po eliminaci vloženého elektrického pole lze vysvětlit následovně. Z makroskopického hlediska není na povrchu vlákenného materiálu měřitelná intenzita elektrického pole, takže se materiál navenek jeví jako neelektrizovaný, ale svoji filtrační odlučivost si ponechává díky *vnitřnímu* elektrickému poli (viz. kap. II.1.2.1.2) tedy díky vloženým elektrostatickým nábojům ukotvených uvnitř vlákenného materiálu. Pokud odstraníme vložený náboj resp. vložené elektrické pole použitím vody, vzniká jiná situace. Voda proniká do materiálu a zvýší tak elektrickou vodivost jednotlivých vláken, čímž dojde k odstranění nebo oslabení i *vnitřního* elektrického pole tedy ke kompenzaci vložených

elektrostatických nábojů a ke snížení intenzity elektrického pole a současně s tím klesá filtrační odlučivost.

3. Povrchové rozložení elektrického pole

Na vzorku POP textilie zpracované vpichováním o plošné hmotnosti 300 g/m^2 a velikosti $10 \times 10 \text{ cm}$ byla měřena intenzita elektrického pole na ploše $2 \times 2 \text{ cm}$. Grafy č. 43 ukazují toto povrchové rozložení intenzity elektrického pole na lícové a rubové straně materiálu.

Stejně tak ukazuje graf č. 44 rozložení intenzity elektrického pole pro MELT-BLOWN a graf č. 45 rozložení intenzity elektrického pole pro STRUTO 75POP/25Hercules. Všechny grafy ukazují, že vyšší intenzita elektrického pole je spíše uprostřed vzorku než při jeho okrajích.

Ovšem tento experiment vyžaduje daleko větší propracování a je jedním z uvedených experimentů, kdy je potřeba detailněji zpracovat tuto problematiku samostatně a hlouběji než je zde uvedeno. Tento experiment opět vychází z desítek měření (přesně 50) jako výše zmíněné experimenty. Je to pouze ukázka rozložení elektrického pole na povrchu vlákenného materiálu.

X.7. SHRUTÍ EXPERIMENTÁLNÍCH POZNATKŮ

Experimentální část poskytuje informace týkající se vlivu polarizace vlákenných materiálů na filtrační vlastnosti a vlivu okolního prostředí - relativní vlhkosti a teploty, preparace vlákenného materiálu, geometrie elektrizačního zařízení na tuto polarizaci v souvislosti s filtrační odlučivostí a tlakovým spádem.

Z uvedených experimentů lze vyvodit následující závěry. Elektrostaticky lze upravit jakýkoliv vlákenný materiál, ale stabilitu, velikost a životnost získaných nábojů, resp. intenzitu elektrického pole ovlivňuje celá řada faktorů, které byly v této práci uvedeny a byl vymezen okruh vhodných vlákenných materiálů.

Na stabilitu a životnost náboje má vliv především elektrická vodivost vláken, kterou nelze eliminovat, ale vhodným výběrem typu vlákenného materiálu lze dosáhnout dlouhé životnosti vloženého náboje v čase několika měsíců až let. Vhodná jsou tedy polyolefinová vlákna. Samozřejmě, že záleží i na technologii zpracování vlákenného materiálu. Z této práce vyplývá, že optimální je technologie STRUTO a neoptimálnější intenzita elektrického pole a filtrační odlučivosti je dosažena u kompozitního materiálu tohoto složení – STRUTO 75% POP/25%HERCULES + MELT BLOWN.

Dále je stabilita a životnost vložených nábojů na vlákenném materiálu ovlivňována vnějšími vlivy – vlhkostí a teplotou. Se vzrůstající vlhkostí vzrůstá již zmíněná vodivost, která způsobuje rozpad vloženého elektrického pole. Vlhkost obklopující elektretní materiál a pokrývající jeho povrch stíní vložené elektrické pole. Z toho vyplývá, že vlákenné materiály lze elektrizovat a používat v prostředí s relativní vlhkostí do 60 %.

Při zkoumání vlivu teploty na elektrizaci a filtraci bylo zjištěno, že při teplotě blízké teplotě měknutí jednotlivých materiálů, dochází ke změně mnoha fyzikálních vlastností a dochází tedy v tomto případě k lepší fixaci nábojů na vlákne. Přispívá k tomu vibrační pohyb částic makromolekul a přiložené elektrické pole tento efekt ještě zvýší. Vliv teploty je také zřejmý u preparace vlákenných materiálů. Vlákenná preparace zvyšuje povrchovou vodivost materiálů a nelze ji jednoduše a zcela eliminovat způsoby uvedenými v experimentální části této práce. Lze ji ovšem alespoň částečně odstranit právě při teplovzdušném pojení. Vlivem tohoto procesu se část preparace odstraní – vypaří, čímž dojde ke snížení elektrické vodivosti vláken, intenzita elektrického pole vzrůstá a dochází ke zlepšení podmínek při elektrizaci a následně tak ke zlepšení filtrační odlučivosti, aniž by se při tom zvýšil tlakový spád.

V této práci je také část experimentů věnována vlivu geometrie elektrizačního zařízení na polarizaci a filtrační odlučivost vlákenných materiálů. Stručně lze tedy říci, že není nutné měnit například počet drátových elektrod a že optimální je struktura daného zařízení

skládající se ze 2 soustav (1 drátová a 1 válcová elektroda) při optimální vzdálenosti těchto elektrod 30 mm a s použitím techniky I pro materiály do plošné hmotnosti 300 g/m^2 a techniky II pro objemnější materiály. Vhodný napěťový potenciál je 25-30 kV, přičemž drátová elektroda je nastavena s kladnou polaritou a válcová elektroda má nulovou polaritu. Vláknový materiál prochází elektrizačním zařízením pouze jedenkrát s odváděcí rychlostí 2-3 m/min..

Poslední experimenty se týkají eliminace vloženého elektrického pole jednak mechanickou cestou a jednak vodou. Při mechanickém způsobu odstraňování náboje, tedy po odstranění vloženého elektrického pole, se filtrační odlučivost nemění. Po odstranění náboje tímto způsobem z hlediska makroskopického není intenzita elektrického pole na povrchu vláknových materiálů měřitelná a materiál se „navenek“ jeví jako nepolarizovaný, přičemž si ponechává svoji filtrační odlučivost díky nábojům ukotveným uvnitř vláknového materiálu. Pokud budeme eliminovat vložený náboj vodou, která proniká do vláknového materiálu a způsobí zvýšení elektrické vodivosti jednotlivých vláken, pak je intenzita elektrického pole z makroskopického hlediska opět neměřitelná na povrchu a uvnitř vláknového materiálu vlhkost snižuje elektrické pole a filtrační odlučivost je v tomto případě nízká.

Tato práce je doplněna statistickými charakteristikami naměřených veličin. Každý experiment zahrnuje celkem 50 měření intenzity elektrického pole a vzhledem k velkému počtu dat jsou pro lepší přehled základního statistického zhodnocení naměřených hodnot (průměrná hodnota, směrodatná odchylka, rozptyl, variační koeficient) uvedena v příslušných tabulkách v příloze této práce. Při testování filtračních parametrů bylo provedeno na každém materiálu u každého experimentu 20 měření a průměrné hodnoty (=naměřené hodnoty) filtrační odlučivosti a tlakového spádu ukazují příslušné tabulky v příloze této práce.

Tato práce vymezuje a nalézá nový elektretní materiál ze střížových vláken s podstatně zvýšenou účinností, aniž by se při tom zvýšil tlakový spád (viz. obr. VIII.4 a, b), stanovuje postup přípravy takových elektretních materiálů a vymezuje podmínky okolního prostředí a preparace na vláknech v souvislosti se stabilitou a životností vloženého elektrostatického náboje.

XI. ZÁVĚR

Přestože existuje již několik studií, zejména v USA, o elektrizaci filtračních materiálů, z teorie známe pouze chování a vlastnosti elektretů vyrobených z pevných látek. Existují filtrační materiály, které jsou během procesu výroby elektrizovány, ale neexistují filtrační materiály ze střížových vláken s elektrostatickou úpravou. Z tohoto pohledu je tato práce nová. Poznatky o vlákenných materiálech vzhledem k jejich elektrizaci a filtraci zůstávají stále neobjasněny, vývoj elektrostaticky upravených filtračních vlákenných materiálů a snaha získat maximální životnost elektrostatického náboje na filtračních materiálech je na začátku svého vývoje.

Vztah výsledků hodnocení elektrizovaných materiálů získaných na jedné straně měřením intenzity elektrického pole a na druhé straně měřením filtrační odlučivosti je zřejmý. Například z výsledků vyplývá, že odstraníme-li elektrické pole z textilie mechanickou cestou, neztrácí svou zvýšenou filtrační odlučivost. Tyto rozpory ukazují na rozmanitosti forem vázání náboje na povrchu textilie, na povrchu vláken a uvnitř vláken, přičemž každá z těchto forem vazby vykazuje jinou časovou stálost a jiný příspěvek k filtrační odlučivosti.

Z výsledků této práce vyplývají zajímavá a důležitá fakta, která dále ukazují na další možnosti výzkumu a vzhledem k obtížnosti řešení problému a dostupným možnostem zůstává neobjasněna celá řada otázek týkajících se této problematiky, fyzikální podstaty elektrizace a filtrace a současně se otevírá možnost dalšího výzkumu v této oblasti.

Podstatné při tom je sledovat další vývoje zejména v oblasti filtrace a přizpůsobovat a zdokonalovat elektrizaci vlákenných materiálů, hledat optimální řešení ze všech úhlů pohledu výrobce filtračních materiálů.

XII. LITERATURA

- [1] TSAI,P.P.- WADSWORTH,L.C.: Air filtration Improved by electrostatically charging Fibrous Materials, An International Journal 4, 12/ 1994, s. 237-245
- [2] BROWN,R.C.- WAKE,D.- THORPE,A.- HEMINGWAY,M.A.- ROFF,M.W.: Theory and measurement of the capture of charged dust particles by electrets, Journal Aerosol Sci. 1, 25/1994, s.149-163
- [3] LATHRACHE,R.- FISSAN,H.J.- NEUMANN,S.: Deposition ob submicron particles on electrically charged fibers, Journal Aerosol Sci. 3, 17/1986, s. 446-449
- [4] SESSLER, G.M.: Topics in Applied Physics – Electrets, New York, 1980.
- [5] WADSWORTH,L.C.- TSAI,P.P.: Improved Meltblown Electrets for Air Filters, Textiles & Nonwovens Development Centre-TANDEC, The University of Tennessee, Knoxville, 1994.
- [6] PICH,J.- EMI,H.- KANAOKA,Ch.: Coulombic deposition mechanism in electret filters, Journal Aerosol Sci. 1, 18/1987, s. 29-35
- [7] BROWN,R.C.: Capture of dust particles in filters by line – dipole charged fibres, Journal Aerosol Sci. 4, 12/1981, s. 348-357
- [8] HILCZER, B.- MALECKI,J.: Electrets, Polish Academy of Sciences, Poznań, 1986
- [9] STENHOUSE, J.I.T.: The Influence of Electrostatic Forces in Fibrous Filtration, Filtration & Separation 6, 13/1974, s. 225-234
- [10] CROWLEY,J.M.: Fundamentals of applied electrostatics, The University of Illinois, Urbana, 1986.
- [11] GUBKIN,A.N.: Elektrety, Akademie nauk SSSR, Moskva, 1961
- [12] JUNKER,J.: Flat pocket filter elements for dry filtration, 2nd International conference, Stuttgart, 1997
- [13] TSAI, P.P.- WADSWORTH,L.C.: Mechanism of corona electrostatic charging of Nonwoven webs, Textiles & Nonwovens Development Centre-TANDEC, The University of Tennessee, Knoxville, 1995
- [14] KOLÍNOVÁ,M.: Permanentní elektrizace filtračních netkaných textilií, diplomová práce, fakulta textilní, KNT, 1995, Liberec
- [15] PICH, J.: Teorie filtrace aerosolů vláknitými a membránovými filtry, Praha, 1964.
- [16] SAŽIN,B.I.- ROMANOVSKÁ,O.S.- LOBANOV,A.M.- EJDELNANT,M.P.- KOJKOV,C.N.: Električeskije svojstva polymerov, Leningrad, 1977
- [17] JIRSÁK,O.: Kandidátská dizertační práce, Humenné, 1972
- [18] U.S. 4308 223, U.S. 4375 718, U.S. 4588 637, U.S. 4592 815, patent
- [19] BROWN,R.C.: Air filtration, Sheffield UK, 1993
- [20] NOVÁČKOVÁ, Z.: Hodnocení filtračních vlastností textilií, diplomová práce, fakulta textilní, KNT, Liberec, 1992
- [21] BAUMGARTNER,H.P.- LÖFFLER,F.: The collection performance of electret filters in the particle size range 10 nm - 10µm, Journal Aerosol Sci. 3, 17/1996, s.438-445
- [22] WADSWORTH,L.C.- JIRSÁK,O.- KOLÍNOVÁ,M.: Electrostatic charging of fibre textile materials, Textiles & Nonwovens Development Centre-TANDEC, The university of Tennessee, Knoxville, 1996
- [23] SESSLER,G.M.: Electrets, New York, 1980
- [24] BROWN,R.C.: Effect of Electric Charge in Filter Materials, Filtration Society at a meeting on Electrostatics and Gas Filtration, London, May 24, 1988.
- [25] HAŇKA,L.: Teorie elektromagnetického pole, SNTL, Praha, 1975
- [26] KITEL,Ch.: Úvod do fyziky pevných látek, Academia, Praha, 1985
- [27] FOUSEK,J.: Základy fyziky dielektrik a ferroelektrik, Fyzikální ústav ČAV, Praha, 1961
- [28] SPURNÝ,K.- JECH,Č.- SEDLÁČEK,B.- ŠTORCH,O.: Aerosoly, SNTL, Praha, 1961
- [29] PILLER, B.- LEVINSKÝ,O.: Malá encyklopedie textilních materiálů, SNTL, Praha, 1982
- [30] JIRSÁK,O.- KOLÍNOVÁ,M.: Permanentní elektrizace vybraných filtračních materiálů, zpráva, STRUFIL 7004/4460, fakulta textilní, KNT, Liberec, 1997

- [31] KOLÍNOVÁ,M.: Úprava filtračních materiálů vyrobených z netkaných textilií elektrostatickým nábojem, celostátní konference, Brno, 1998
- [32] NAKAO, F.: U.S. Pat. 4592 815, patent,1986
- [33] KLAASE, P.T.A.: U.S. Pat. 4588 537, et al, patent, 1986.
- [34] PICH,J.: Pressure characteristics of fibrous aerosol filters, Journal Coll. Int. Sci. 8, 12/1971, s. 331-320
- [35] PENNEY,G.W.- UHER,J.: Movement of dust between electrodes in an electrostatically augmented fabric filter, in.: IEEE-IAS Meeting Conf. Rec., 1982
- [36] GUTMANN,F.: The Electret, Reviews of Modern Physics, 20/1948
- [37] REINHARDT,H.: Cabin air filters developed through experience, Freudenberg Faservliesstoffle KG, Weinheim, 1997
- [38] MOJŽÍŠ,M.: Měření filtrační vložky z čističky vzduchu, GEA-LVZ, Liberec, zpráva, 1998
- [39] BAKER,J.F.: Nonwovens in automotive intake filtration, in.: 2nd International conference, Stuttgart, march 18-19, 1997
- [40] SAUMS,H.L.- PENDLETON,W.W.: Materials for Electrical Insulating and Dielectric Funetions, Hayden, 1973
- [41] GIBSON,H.- VINCENT,J.H.: Penetration of dust through porous foam filter media, Ann. Occ. Hyg., 1981
- [42] JIRSÁK,O.- KOLÍNOVÁ,M.: Elektrostaticky nabité filtry na bázi vpichované textilie z POP štěpené fólie, fakulta textilní, KNT, Liberec, 1998
- [43] WADSWORTH,L.C.- JIRSÁK,O.- KOLÍNOVÁ,M.: Permanentne nabité filtračné vlákenné materiály, Textilní vlákna 4, Bratislava, 1997
- [44] RICHTER,A.- KOLÍNOVÁ,M.: Electrically charged filter materials, poster, in.:Strutex, Liberec, 1998
- [45] MILITKÝ,j.: Textilní vlákna, skriptum, TU Liberec, září 2002
- [46] WAGNER,J.: Fyzika (Přehled pro textilní fakultu), skriptum, VŠST Liberec, 1989
- [47] KELLÖ,V.- TKÁČ,A.: Fyzikálna chémia, ALFA vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1977

XIII. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

δ	<i>ztrátový úhel dielektrika</i>
α	<i>koeficient tlumení</i>
σ	<i>měrná vodivost</i>
ρ	<i>měrný elektrický odpor</i>
μ	<i>permeabilita</i>
ε	<i>permitivita prostředí</i>
Φ	<i>počet částic usazených na délkové jednotce vlákna</i>
τ	<i>relaxační doba</i>
λ	<i>střední volná dráha molekul</i>
ν	<i>úhel natočení dipólu</i>
σ_{∞}	<i>mezí hodnota měrné vodivosti při vysokých teplotách</i>
ε^*	<i>komplexní permitivita</i>
$\varepsilon', \varepsilon''$	<i>reálná a imaginární složka permitivity</i>
σ_0	<i>měrná vodivost při velmi vysoké teplotě</i>
ε_0	<i>permitivita vakua</i>
σ_0	<i>tloušťka vrstvy volných nábojů</i>
ω_0	<i>vynucené kmity tlumeného harmonického oscilátoru</i>
ρ_1	<i>prostorová hustota náboje</i>
α_D	<i>dipólová polarizace</i>
μ_e	<i>elektrická pohyblivost</i>
α_{el}	<i>elektronová polarizovatelnost</i>
α_F	<i>efektivita vrstvy filtru</i>
α_f	<i>teplotní koeficient</i>
α_i	<i>různé polarizovatelnosti</i>
μ_p	<i>pohyblivost nositele náboje</i>
α_p	<i>polarizovatelnost</i>
ε_r	<i>relativní permitivita</i>
σ_v	<i>napětí vztažené k vazební síle</i>
$+Ze$	<i>jádro s kladným nábojem</i>
a	<i>poloměr vlákna</i>
A	<i>práce potřebná k převedení částice s nábojem Q_2 z nekonečna do dané polohy</i>
A_0	<i>plocha průřezu</i>
a_1	<i>konstanta pro dané filtrace</i>
A_1	<i>velikost filtrační plochy</i>
A_e	<i>plocha elektrody</i>
a_H	<i>poloměr hrotu</i>
b	<i>vzdálenost hrotu k desce</i>
c	<i>koeficient objemového zaplnění filtru</i>
C_1	<i>kapacita mezi nabitým povrchem a snímací elektrodou</i>
C_2	<i>kapacita snímací elektrody vůči zemi</i>
C_n	<i>Cunninghamův korekční koeficient</i>
cv	<i>fázová rychlost vlny</i>
d	<i>průměr</i>
$d\Phi$	<i>potenciál buzený dipólem v referenčním bodě P_Φ</i>
D, D_0	<i>elektrická indukce</i>
D_1, D_2	<i>dielektrická konstanta částice a vlákna</i>
d_m	<i>vzdálenost měřicího přístroje od předmětu</i>
$dp, \Delta p$	<i>tlakový spád</i>
d_v	<i>průměr vlákna postaveného kolmo ke směru proudění</i>

dx	vzdálenost mezi kladným a záporným iontem
E	intenzita elektrického pole
e	elementární dipóly
E_σ	aktivační energie vodivosti
E_0	primární elektrické pole
e_1	elektrický náboj
E_1	vnější přiložené elektrické pole
E_{1n}, E_{2n}	elektrické pole na povrchu dielektrika
E_2	elektrické pole homogenního dielektrika s ϵ
E_3	elektrické pole způsobené částicemi na tělese
E_D	efektivnost difúzního usazování částic
E_f	efektivita, účinnost filtru
E_G	efektivnost gravitačního usazování částic
E_L	vnitřní elektrické pole
E_{LO}	Lorentzovo vnitřní pole
E_{pr}, W_p	potenciální energie
E_{pev}	intenzita elektrického pole
E_s	elektrické pole v bodě hrotu
E_v	efektivita, účinnost vlákna
E_y, H_z	amplitudy elektromagnetického pole
f	poměrný volný objem
F	síla vzájemného působení bodových nábojů Q_1 a Q_2 , přitažlivá síla
f_0	poměrný volný objem při teplotě zlomu T_0
f_1	kvazielastická konstanta
F_E	elektrické pole
F_v	vazební síla dvou iontů
G	absolutní vodivost tělesa
g_1	množství částic před filtrem
G_1, G_2	síla působící na jádro
g_2	množství částic, které prošly filtrem
g_3	množství částic zachycených filtrem za určitý čas
h	výška
h_F	hloubka
I	elektrický proud
i	index lomu
J	proudová hustota
k	koeficient absorpce
L	tloušťka filtru
l_0	délka
m	hmotnost
M	točivý moment
M_1, M_2	hmotnostní proudy
n	koncentrace a počet nositelů náboje
n_0	koncentrace částic
N_D	parametr difúzního usazování
N_G	parametr gravitačního usazování
N_{Qq}	bezrozměrný parametr popisující účinnost záchytu
N_R	parametr intercepce
p	dipólový moment
P	elektrická polarizace
P_0	limitní hodnota orientační polarizace
P_1, P_2	tlaky před a za filtrem

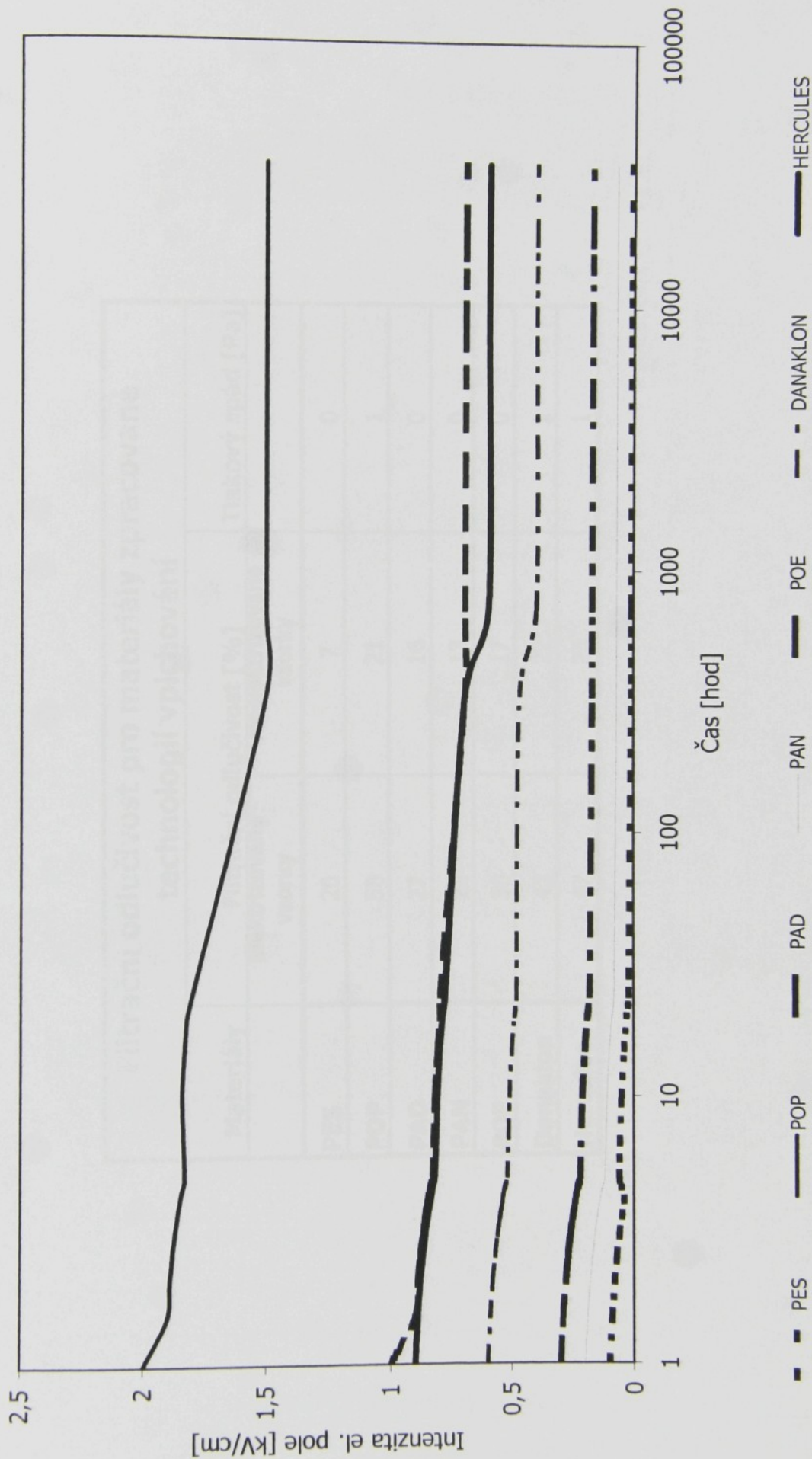
p_a	atomová polarizace
p_d	deformační polarizace
p_e	elektronová polarizace
p_F	průnik filtru
p_i	přídavný dipólový moment
p_o	orientační polarizace
p_ϕ	referenční bod
Q	celkový elektrický náboj
q	elementární elektrický náboj
Q_0, Q_1, Q_2	bodové náboje
R	elektrický odpor
r	vzdálenost
r^*	náboj částice a vlákna
r_0	atomový poloměr
r_1, r_2	poloměry iontů
r_{12}	vzdálenost částice a nabitého vlákna
R_f	odpor filtru
r_v	rovnovážná vzdálenost
r_v	rovnovážná vzdálenost iontů
S	plocha
s, k	konstanty
Stk	parametr setrvačného usazování
t	čas
T	teplota
T_0	mezní teplota, teplota zlomu
T_g	teplota tání
U	elektrické napětí
U_{1M}	napětí naměřené na testovaném vzorku
U_2	stejnoseměrné napětí
U_{2M}	maximální napětí naměřené na tzv. 100%-ním vzorku
U_m	naměřená hodnota napětí
U_p	průrazové napětí
v	rychlost
V	objem
V_0	objemová rychlost průtoku
v_0	rychlost proudění
V_d	unášecí rychlost
V_o	aplikované napětí
v_s	stacionární rychlost částic pod vlivem gravitačního pole
x	počet částic apod.
x_0	vzdálenost v dielektriku
y	délka strany
μ_m	mechanická pohyblivost
σ_H	hustota náboje

XIV. PŘÍLOHY

Intenzita el. pole v čase pro různé materiály zpracované technologií vpichování							
Intenzita el. pole [kV/cm]							
Čas [hod]	PES	POP	PAD	PAN	POE	Danaklon	Hercules
1	0,1	2	0,3	0,2	1	0,6	0,9
1,5	0,09	1,9	0,29	0,19	0,9	0,59	0,89
2	0,08	1,89	0,28	0,18	0,89	0,58	0,88
2,5	0,07	1,88	0,27	0,17	0,88	0,57	0,87
3	0,06	1,87	0,26	0,16	0,87	0,56	0,86
3,5	0,05	1,86	0,25	0,15	0,86	0,55	0,85
4	0,04	1,85	0,24	0,14	0,85	0,54	0,84
4,5	0,05	1,84	0,23	0,13	0,84	0,53	0,83
5	0,06	1,83	0,22	0,12	0,83	0,52	0,82
10	0,05	1,84	0,21	0,11	0,82	0,51	0,81
15	0,04	1,83	0,2	0,1	0,81	0,5	0,8
20	0,03	1,82	0,19	0,09	0,8	0,49	0,79
24	0,02	1,8	0,18	0,08	0,8	0,48	0,78
336	0,01	1,5	0,17	0,07	0,7	0,47	0,7
720	0,01	1,5	0,17	0,07	0,7	0,4	0,6
8760	0,01	1,5	0,17	0,07	0,7	0,4	0,6
17520	0,01	1,5	0,17	0,07	0,7	0,4	0,6
35040	0,01	1,5	0,17	0,07	0,7	0,4	0,6
průměr	0,0442	1,9172	0,2608	0,1796	0,9122	0,5	0,8866
rozptyl	0,0008	0,0029	0,0007	0,0002	0,006	0,0037	0,0001
sm.odch.	0,0283	0,0538	0,0265	0,0141	0,0774	0,0608	0,01
var.koef.	0,6403	0,0281	0,1016	0,0785	0,0848	0,1216	0,0113

Tabulka č. 1

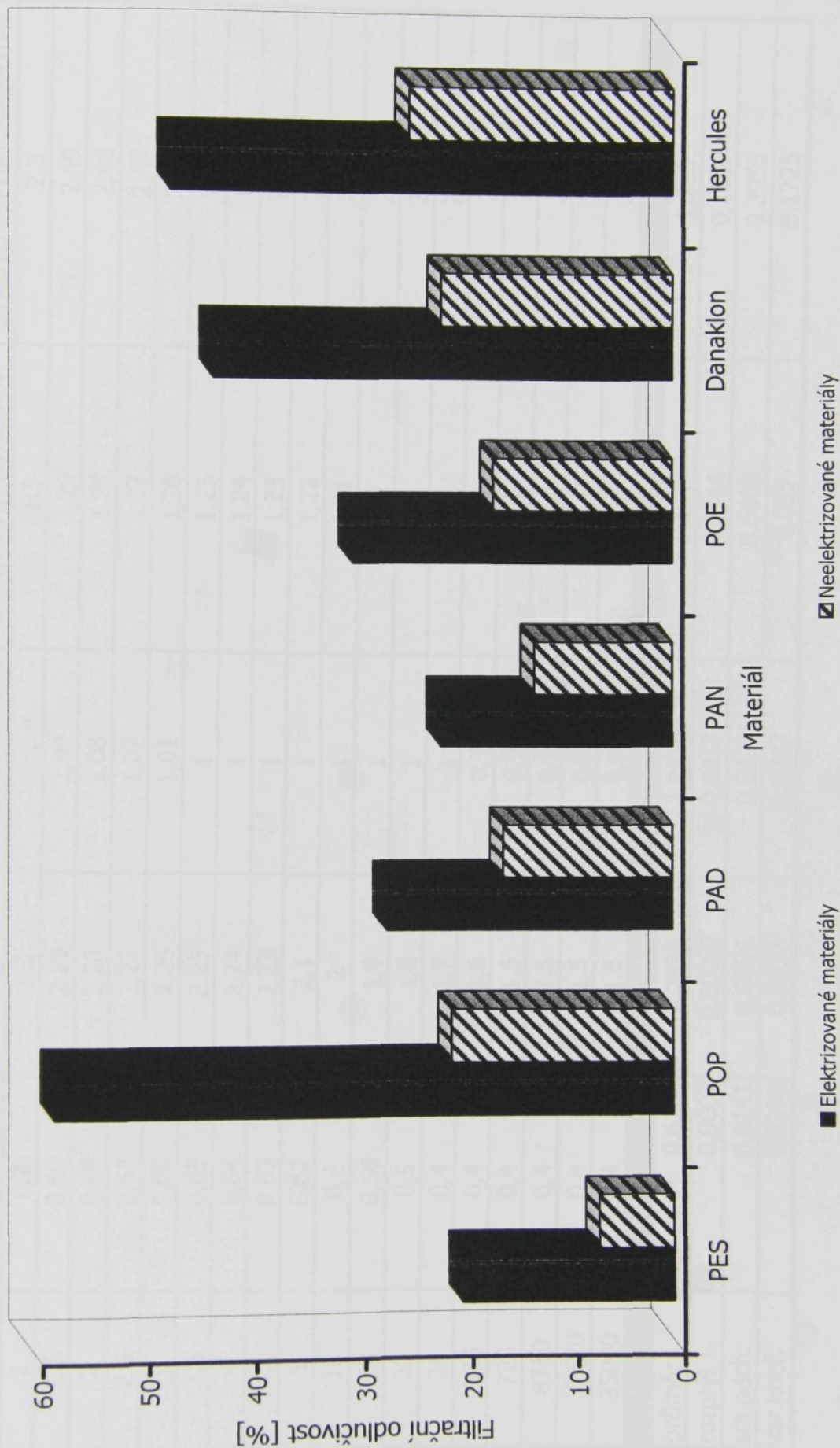
Závislost intenzity el. pole v čase pro různé materiály zpracované vpichování



Graf č. 1 - Závislost intenzity el. pole v čase pro různé materiály

Filtrační odlučivost pro materiály zpracované technologii vpichování			
Materiály	Filtrační odlučivost [%]		Tlakový spád [Pa]
	Elektrizované vzorky	Neelektrizované vzorky	
PES	20	7	0
POP	58	21	1
PAD	27	16	0
PAN	22	13	0
POE	30	17	0
Danaklon	43	22	1
Hercules	47	25	1

Vliv elektrizace na filtrační odlučivost pro jednotlivé materiály zpracované technologií vpichování

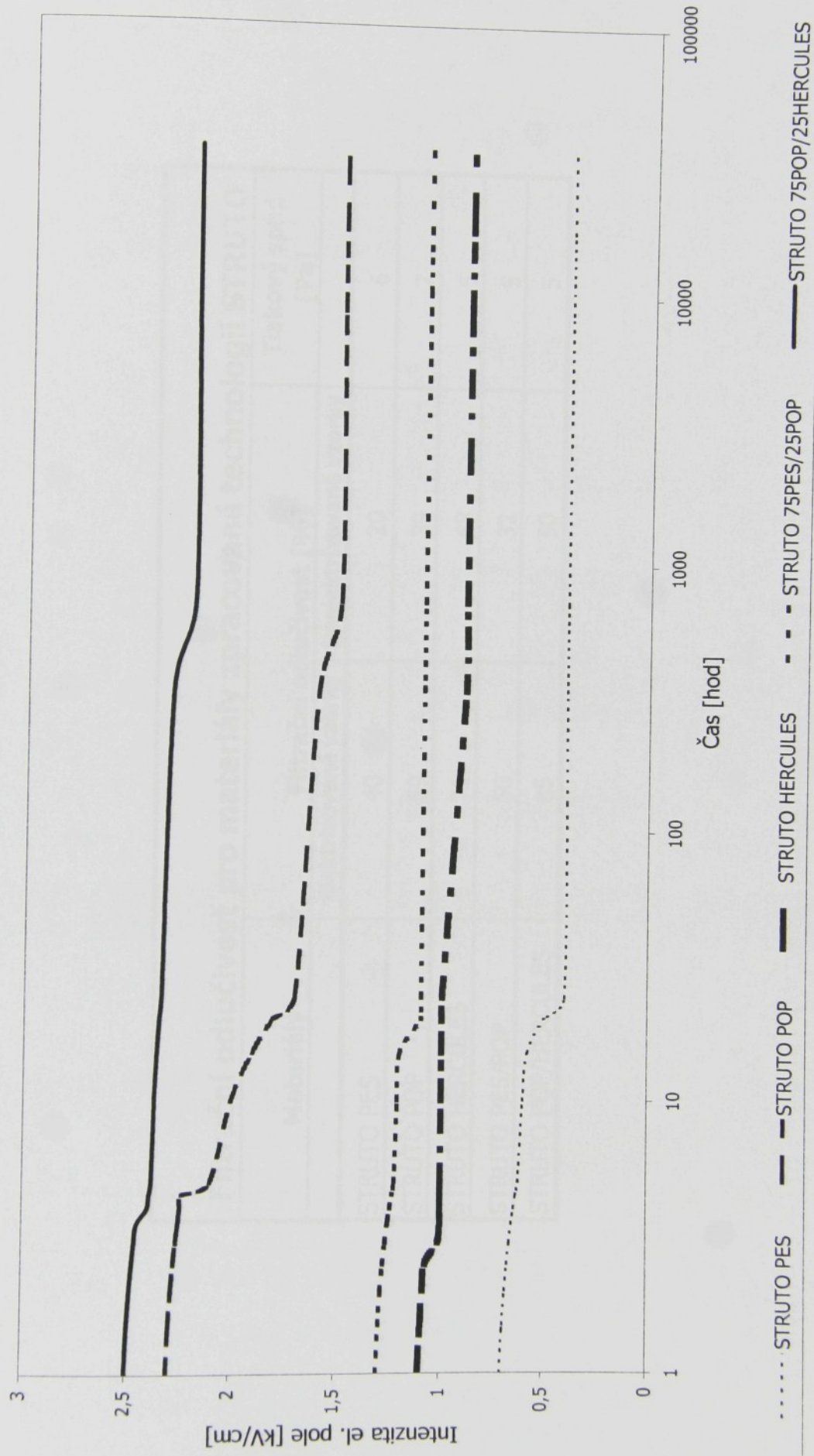


Graf č. 2 - Vliv elektrizace na filtrační odlučivost pro jednotlivé materiály zpracované technologií vpichování

Intenzita el.pole v čase pro materiály zpracované technologií STRUTO					
Čas [hod]	Intenzita el. pole [kV/cm]				
	STRUTO PES	STRUTO POP	STRUTO Hercules	STRUTO 75PES/25POP	STRUTO 75POP/25Hercules
1	0,7	2,3	1,1	1,3	2,5
1,5	0,69	2,29	1,09	1,29	2,49
2	0,68	2,28	1,08	1,28	2,48
2,5	0,67	2,27	1,07	1,27	2,47
3	0,66	2,26	1,01	1,26	2,46
3,5	0,65	2,25	1	1,25	2,45
4	0,64	2,24	1	1,24	2,4
4,5	0,63	2,23	1	1,23	2,39
5	0,62	2,1	1	1,22	2,38
10	0,6	2	1	1,21	2,37
15	0,58	1,9	1	1,2	2,36
20	0,5	1,8	1	1,1	2,35
24	0,4	1,7	1	1,1	2,34
336	0,4	1,6	0,9	1,1	2,3
720	0,4	1,5	0,9	1,1	2,2
8760	0,4	1,5	0,9	1,1	2,2
17520	0,4	1,5	0,9	1,1	2,2
35040	0,4	1,5	0,9	1,1	2,2
průměr	0,6788	2,2922	1,0638	1,2048	2,295
rozptyl	0,0002	0,00007	0,0017	0,0044	0,1567
sm.odch.	0,0141	0,0084	0,0412	0,0663	0,3958
var.koef.	0,0208	0,0037	0,0387	0,055	0,1725

Tabulka č. 3

Závislost intenzity el. pole v čase pro materiály zpracované technologií STRUTO

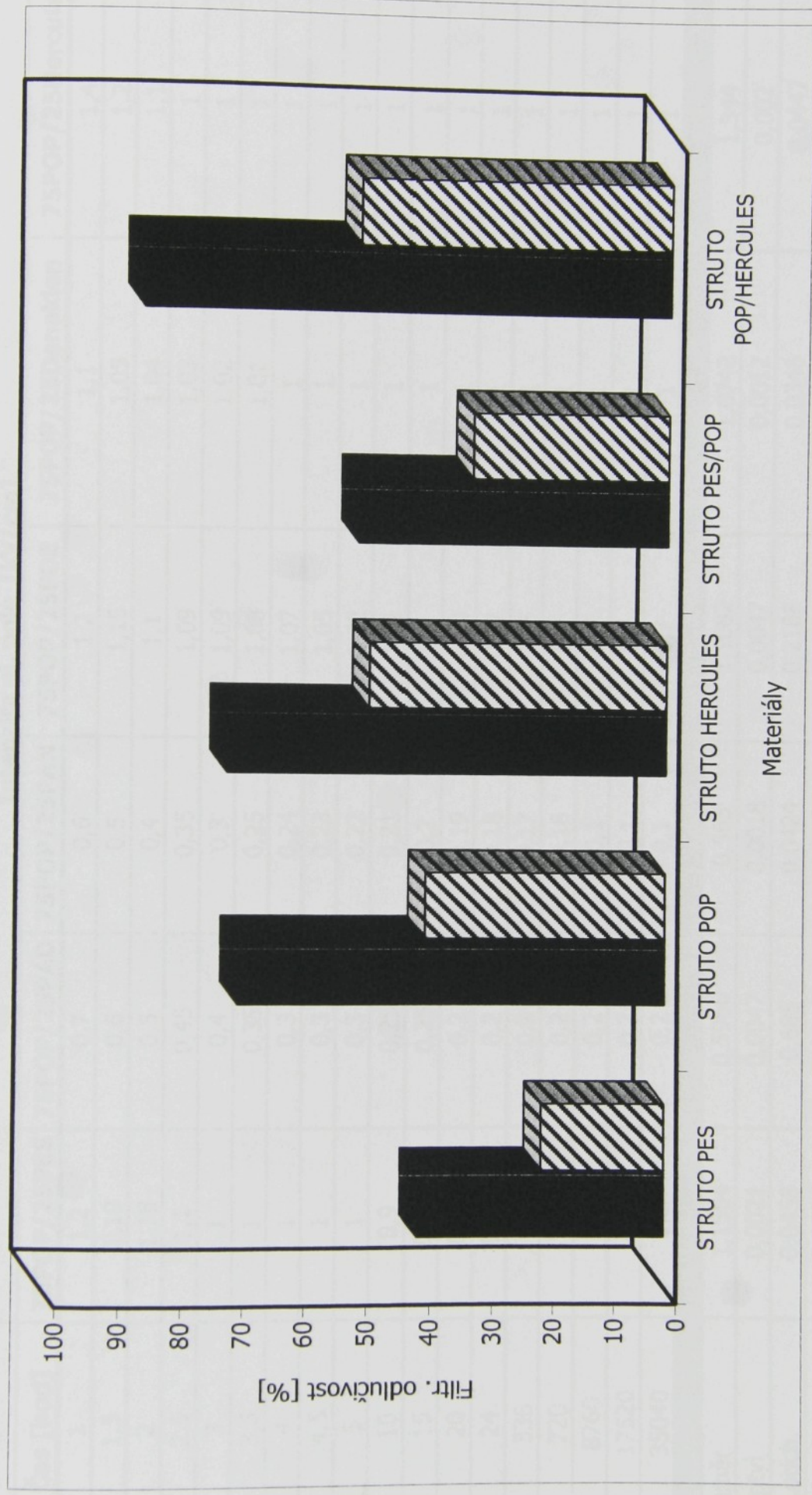


Graf č.3 - Závislost intenzity el. pole v čase pro materiály zpracované technologií STRUTO

Filtrační odlučivost pro materiály zpracované technologií STRUTO				
Materiály	Filtrační odlučivost [%]		Tlakový spád [Pa]	
	Elektrizované vzorky	Neelektrizované vzorky		
STRUTO PES	40	20	6	
STRUTO POP	69	39	7	
STRUTO HERCULES	71	48	5	
STRUTO PES/POP	50	32	5	
STRUTO POP/HERCULES	85	50	5	

Tabulka č.4

Filtrační odlučivost materiálů zpracovaných technologií STRUTO



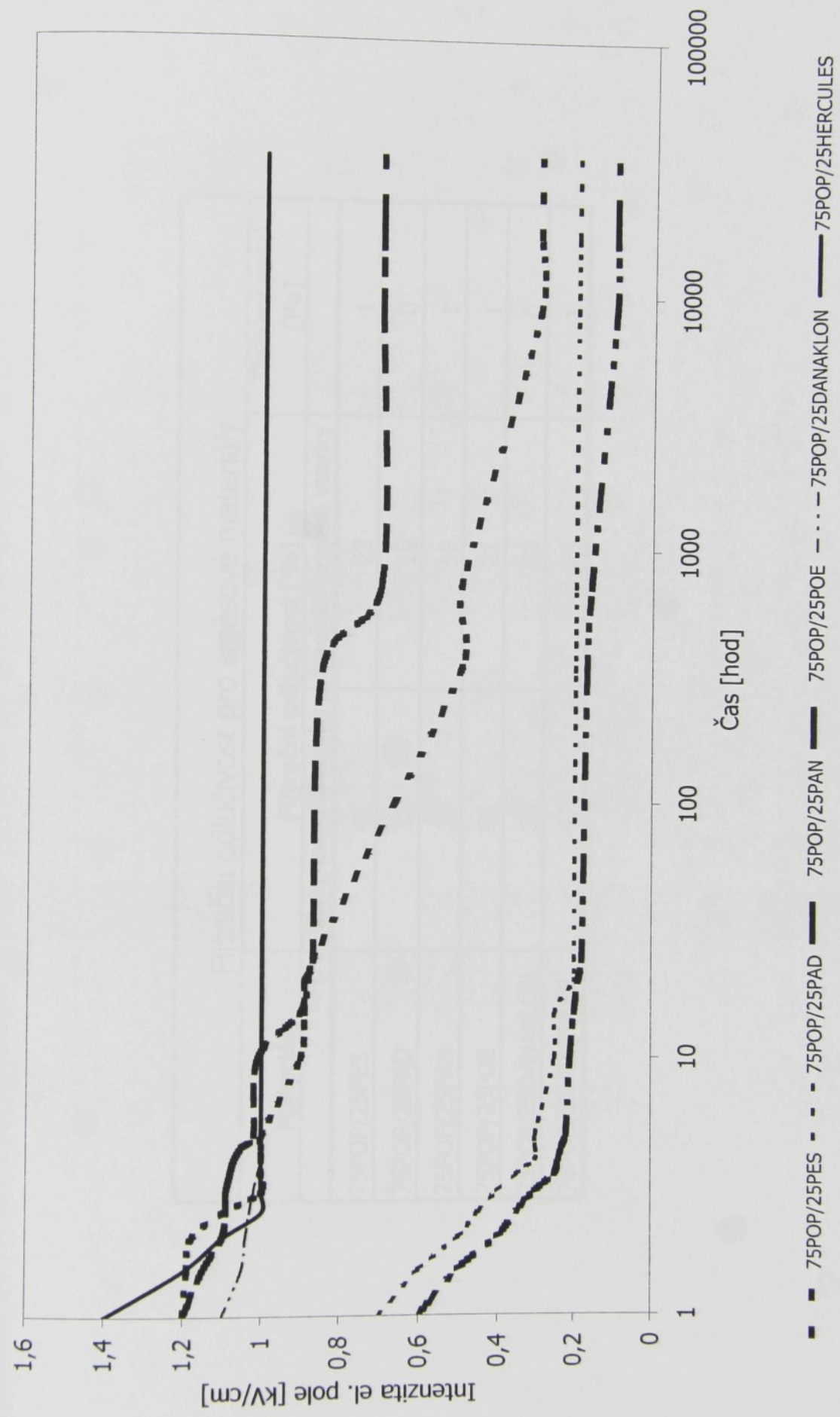
Elektrizované materiály
 Neelektrizované materiály

Graf č. 4 - Filtrační odlučivost materiálů zpracovaných technologií STRUTO

Intenzita el. pole v čase pro směšové materiály						
	Intenzita el. pole [kV/cm]					
Čas [hod]	75POP/25PES	75POP/25PAD	75POP/25PAN	75POP/25POE	75POP/25Danaklon	75POP/25Hercules
1	1,2	0,7	0,6	1,2	1,1	1,4
1,5	1,19	0,6	0,5	1,15	1,05	1,2
2	1,18	0,5	0,4	1,1	1,04	1,1
2,5	1,1	0,45	0,35	1,09	1,03	1
3	1	0,4	0,3	1,09	1,02	1
3,5	1	0,35	0,25	1,08	1,01	1
4	1	0,3	0,24	1,07	1	1
4,5	1	0,3	0,23	1,05	1	1
5	1	0,3	0,22	1,02	1	1
10	0,9	0,25	0,21	1,01	1	1
15	0,89	0,25	0,2	0,9	1	1
20	0,88	0,2	0,19	0,89	1	1
24	0,87	0,2	0,18	0,87	1	1
336	0,5	0,2	0,17	0,85	1	1
720	0,5	0,2	0,16	0,7	1	1
8760	0,3	0,2	0,1	0,7	1	1
17520	0,3	0,2	0,1	0,7	1	1
35040	0,3	0,2	0,1	0,7	1	1
průměr	1,1564	0,5966	0,565	1,1082	1,0742	1,344
rozptyl	0,0021	0,0047	0,0018	0,0047	0,0012	0,002
sm.odch.	0,0458	0,685	0,0424	0,2168	0,0346	0,0447
var.koef.	0,0396	0,1148	0,075	0,1956	0,0322	0,0332

Tabulka č. 5

Závislost intenzity el. pole v čase pro směšové materiály



Graf č. 5 - Závislost intenzity el. pole v čase pro směšové materiály

Filtrační odlučivost pro směšové materiály				
Materiály	Filtrační odlučivost [%]		Tlakový spád [Pa]	
	Elektrizované vzorky	Neelektrizované vzorky		
75POP/25PES	41	22	1	
75POP/25PAD	32	19	0	
75POP/25PAN	30	19	1	
75POP/25POE	33	21	1	
75POP/25DANAKLON	38	23	0	
75POP/25HERCULES	47	25	1	

Vliv elektrizace na filtrační odlučivost směsových materiálů

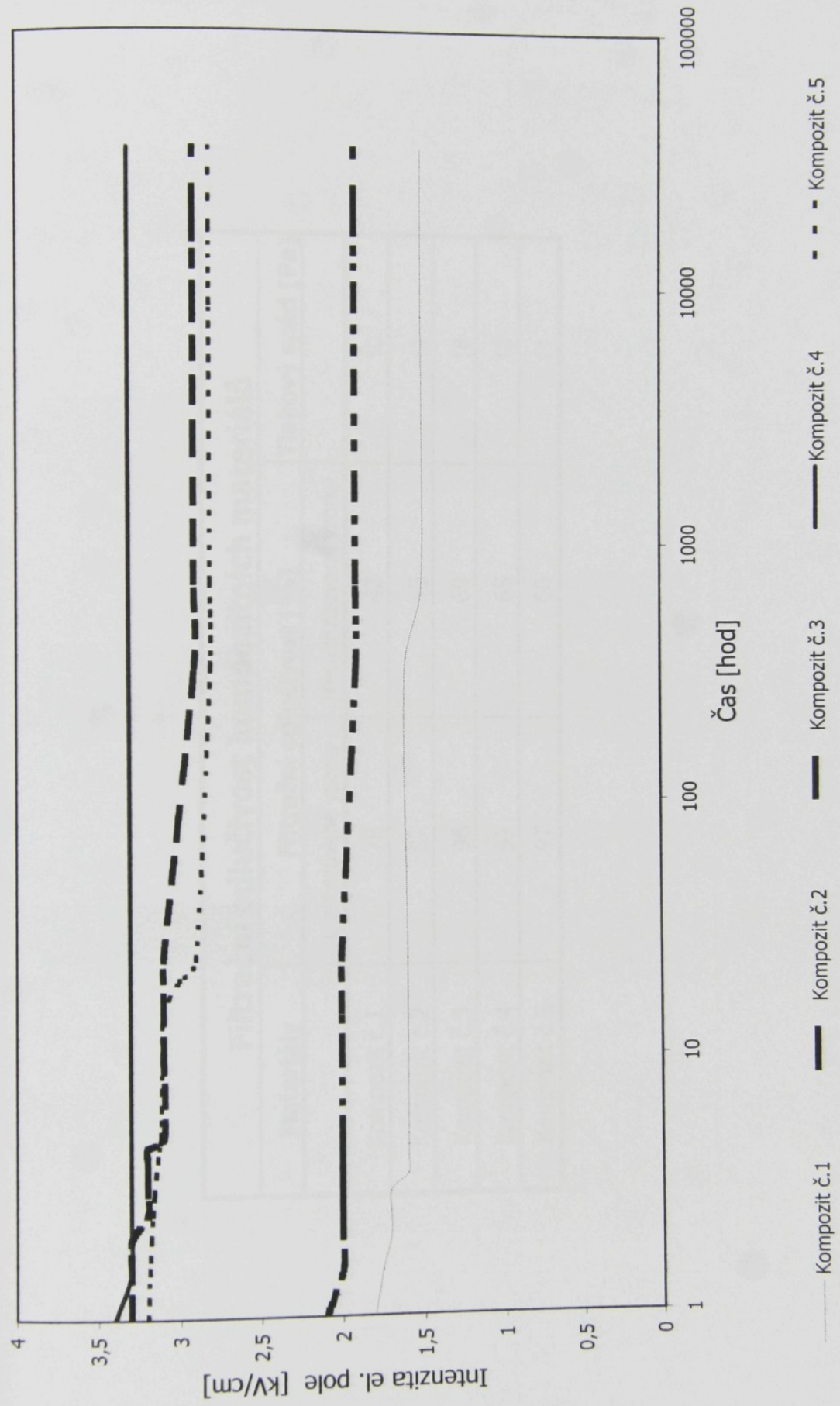


Graf č. 6 - Vliv elektrizace na filtrační odlučivost směsových materiálů

Intenzita el. pole v čase pro kompozitní materiály					
Čas [hod]	Intenzita el. pole [kV/cm]				
	Kompozit 1	Kompozit 2	Kompozit 3	Kompozit 4	Kompozit 5
1	1,8	2,1	3,3	3,4	3,2
1,5	1,75	2	3,3	3,3	3,19
2	1,7	2	3,3	3,3	3,18
2,5	1,7	2	3,2	3,3	3,17
3	1,7	2	3,2	3,3	3,16
3,5	1,6	2	3,2	3,3	3,15
4	1,6	2	3,2	3,3	3,14
4,5	1,6	2	3,2	3,3	3,13
5	1,6	2	3,1	3,3	3,12
10	1,6	2	3,1	3,3	3,11
15	1,6	2	3,1	3,3	3,1
20	1,6	2	3,1	3,3	3
24	1,6	2	3,1	3,3	2,9
336	1,6	1,9	2,9	3,3	2,8
720	1,5	1,9	2,9	3,3	2,8
8760	1,5	1,9	2,9	3,3	2,8
17520	1,5	1,9	2,9	3,3	2,8
35040	1,5	1,9	2,9	3,3	2,8
průměr	1,7354	1,9492	3,0902	3,3908	2,9726
rozptyl	0,0018	0,0067	0,0148	0,0002	0,0177
směr.odch.	0,0424	0,0818	0,1216	0,0141	0,133
var.koef.	0,0244	0,0419	0,0393	0,0042	0,0447

Tabulka č. 7

Závislost intenzity el. pole v čase pro kompozitní materiály

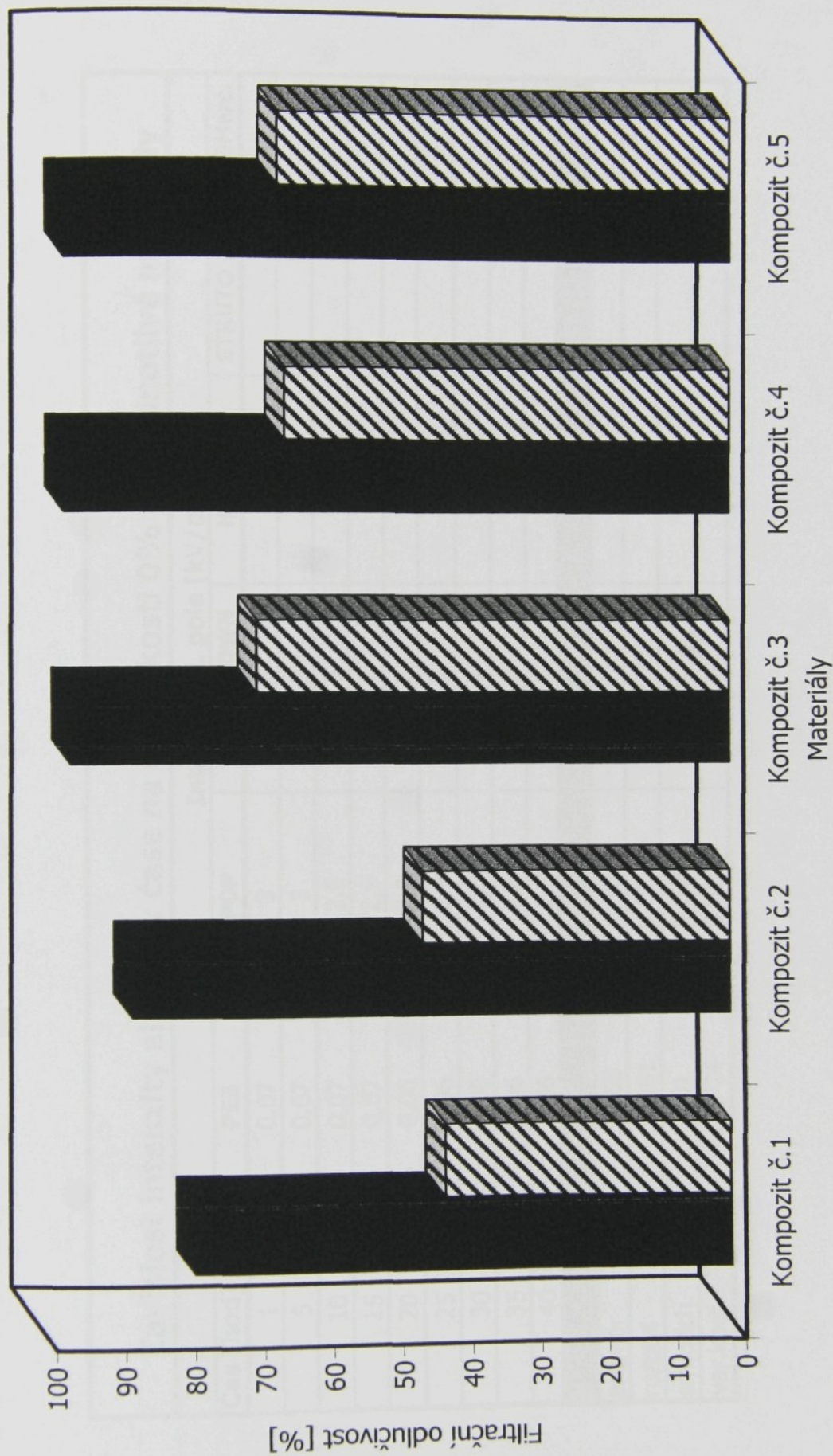


Graf č. 7 - Závislost intenzity el. pole v čase pro kompozitní materiály

Filtrační odlučivost kompozitních materiálů			
Materiály	Filtrační odlučivost [%]		Tlakový spád [Pa]
	Elektrizované vzorky	Neelektrizované vzorky	
Kompozit č.1	78	42	10
Kompozit č.2	87	45	12
Kompozit č.3	96	69	16
Kompozit č.4	97	65	13
Kompozit č.5	97	66	11

Tabulka č. 8

Filtrační odlučivost kompozitních materiálů

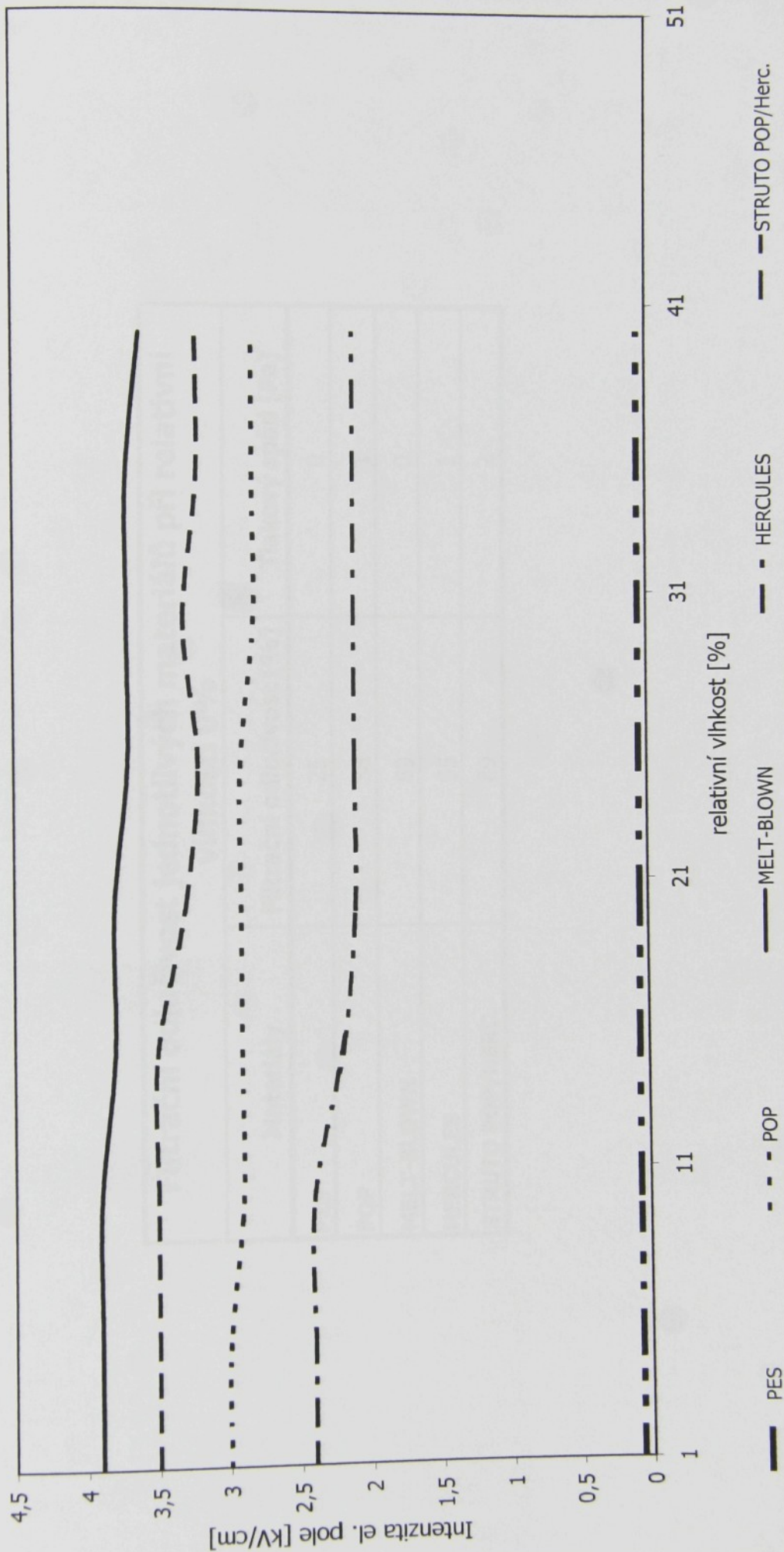


■ Elektrizované materiály ▨ Neelektrizované materiály

Graf č. 8 - Filtrační odlučivost kompozitních materiálů

Závislost intenzity el. pole v čase na rel.vlhkosti 0% pro jednotlivé materiály					
Čas [hod]	Intenzita el. pole [kV/cm]				
	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,07	3	3,9	2,4	3,5
5	0,07	3	3,9	2,4	3,5
10	0,07	2,9	3,9	2,4	3,5
15	0,07	2,9	3,8	2,2	3,5
20	0,06	2,9	3,8	2,1	3,3
25	0,06	2,9	3,7	2,1	3,2
30	0,06	2,8	3,7	2,1	3,3
35	0,06	2,8	3,7	2,1	3,2
40	0,06	2,8	3,6	2,1	3,2
průměr	0,058	2,935	3,7956	2,262	3,37
rozptyl	0,0001	0,0024	0,0073	0,004	0,0123
sm.odch.	0,01	0,0489	0,0854	0,0632	0,1109
var.koef.	0,1724	0,0166	0,0225	0,0279	0,0329

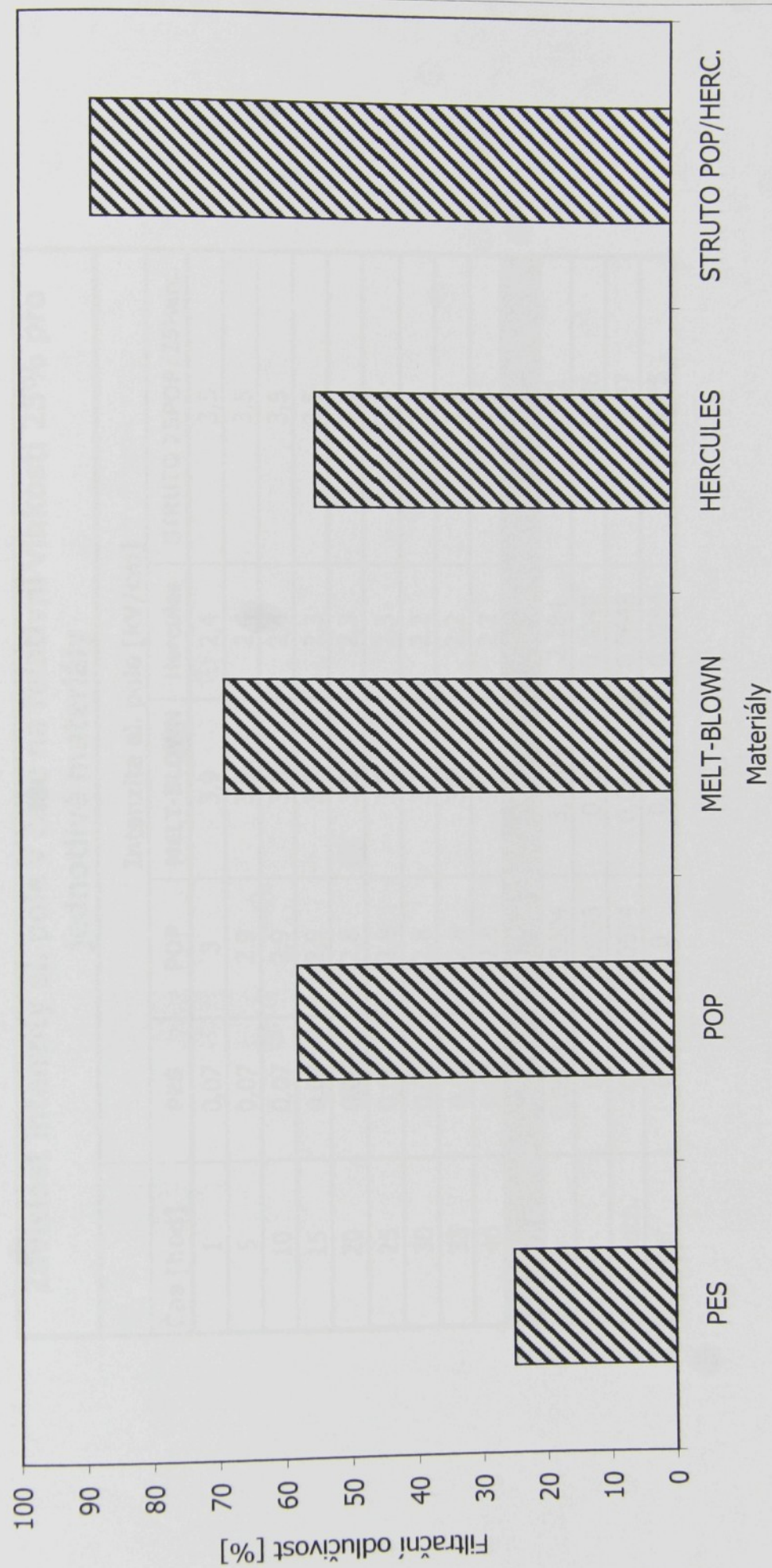
Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 0%
pro různé materiály



Graf č. 9 - Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 0% pro různé materiály

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 0%		
Materiály	Filtrační odlučivost [%]	Tlakový spád [Pa]
PES	25	0
POP	58	1
MELT-BLOWN	69	0
HERCULES	55	1
STRUTO POP/HERC.	89	2

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů
při relativní vlhkosti 0%

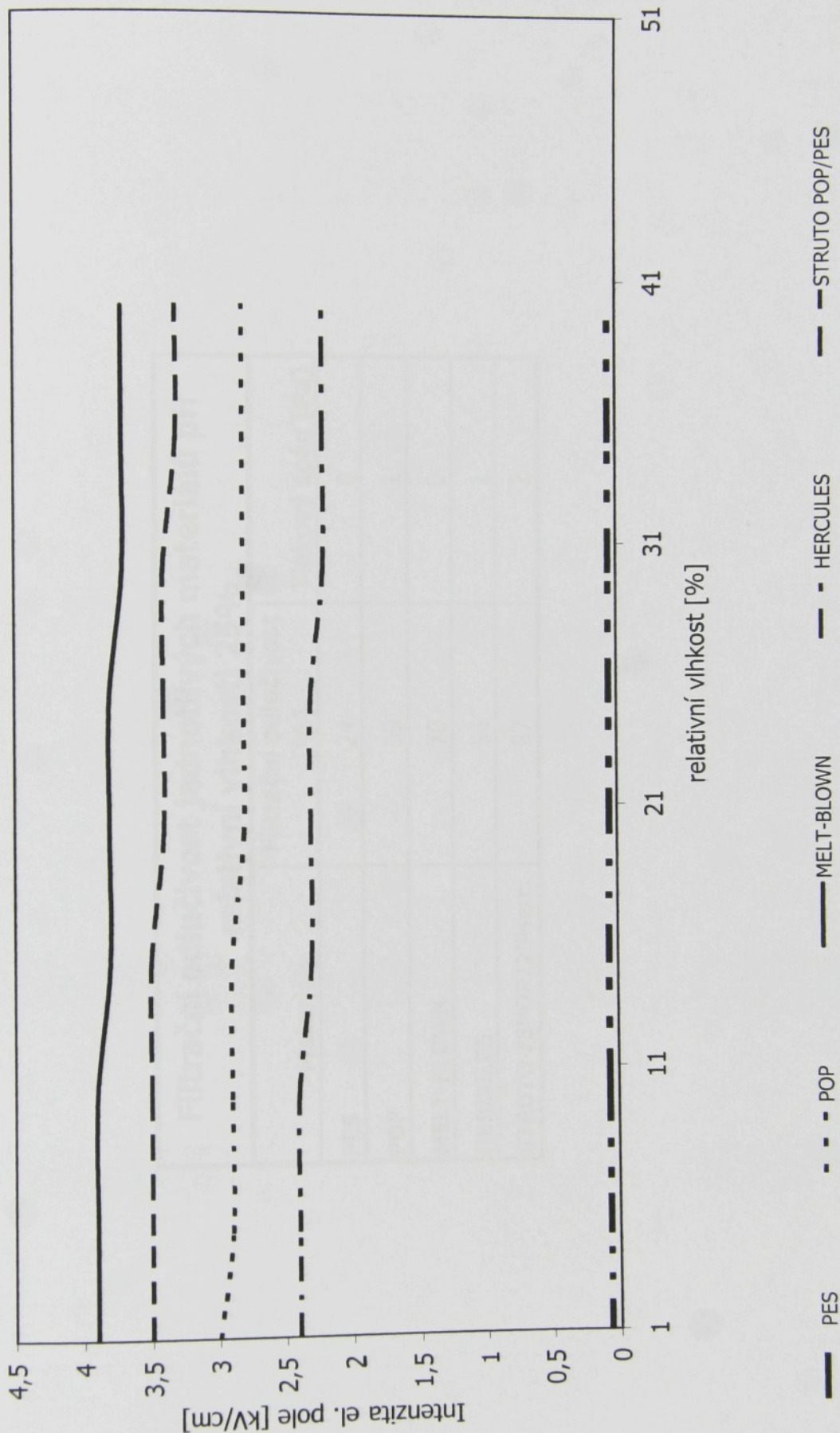


Relativní vlhkost 0%

Graf č. 10 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 0%

Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 25% pro jednotlivé materiály					
Čas [hod]	Intenzita el. pole [kV/cm]				
	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,07	3	3,9	2,4	3,5
5	0,07	2,9	3,9	2,4	3,5
10	0,07	2,9	3,9	2,4	3,5
15	0,07	2,9	3,8	2,3	3,5
20	0,06	2,8	3,8	2,3	3,4
25	0,06	2,8	3,8	2,3	3,4
30	0,06	2,8	3,7	2,2	3,4
35	0,06	2,8	3,7	2,2	3,3
40	0,06	2,8	3,7	2,2	3,3
průměr	0,0608	2,9304	3,7904	2,284	3,372
rozptyl	0	0,0033	0,007	0,0042	0,0086
směr.odch.	0	0,0574	0,0836	0,0648	0,0927
var.koef.	0	0	0,022	0,0284	0,0275

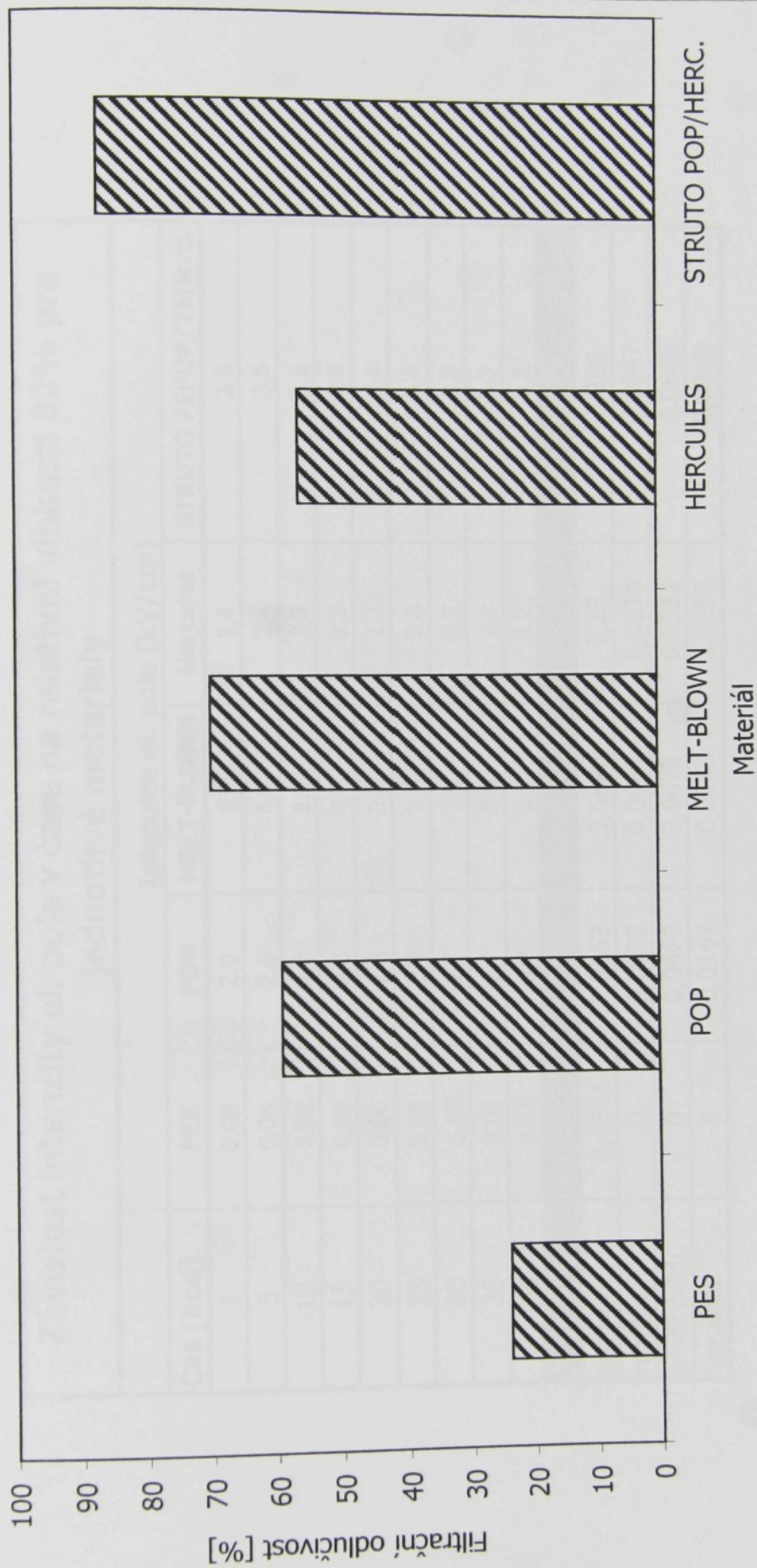
Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 25% pro různé materiály



Graf č. 11 - Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 25% pro různé materiály

Filtrální odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 25%		
Materiály	Filtrální odlučivost [%]	Tlakový spád [Pa]
PES	24	0
POP	59	1
MELT-BLOWN	70	0
HERCULES	56	1
STRUTO 75POP/25Herc.	87	2

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 25%

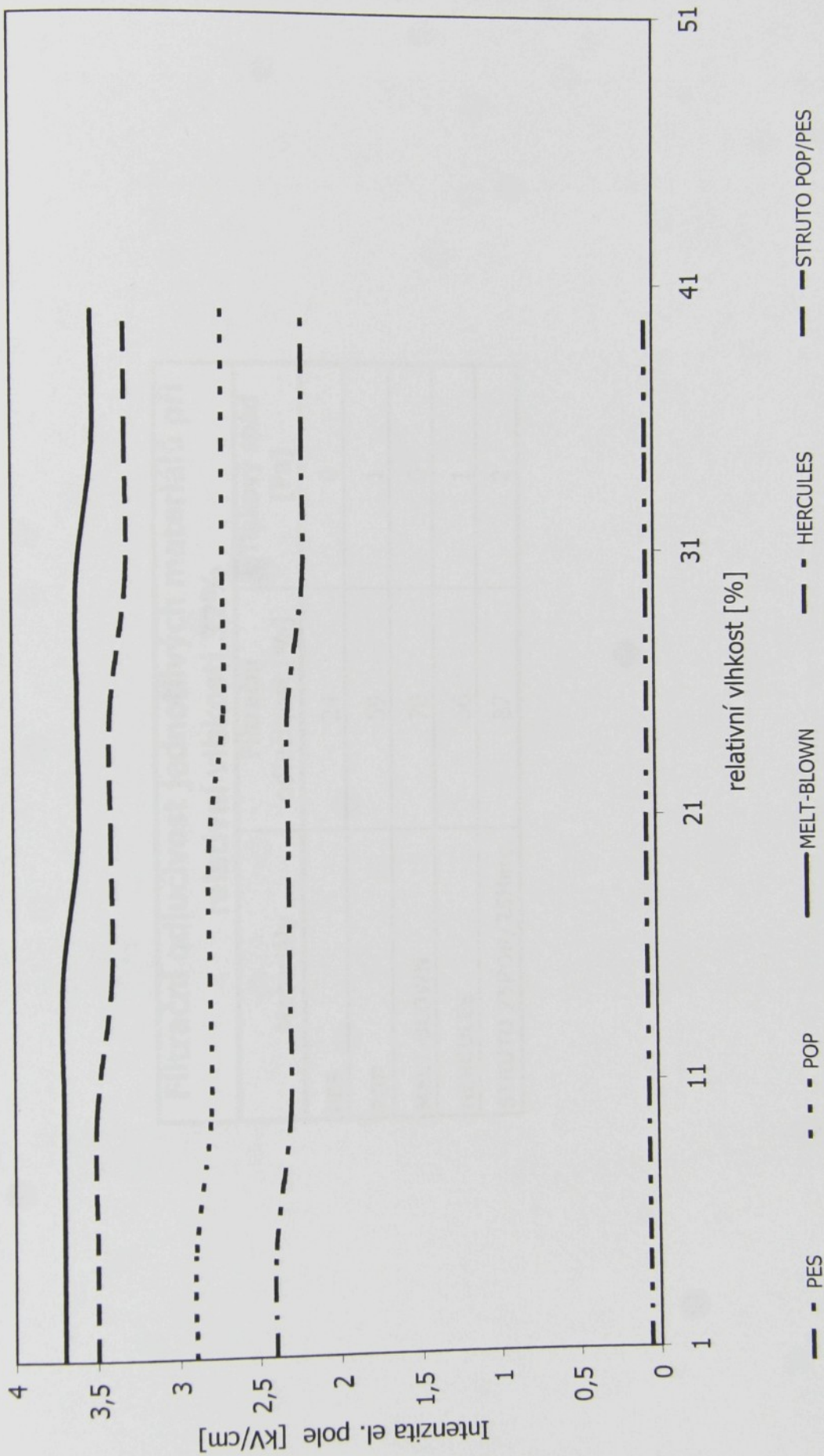


Relativní vlhkost 25%

Graf č. 12 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 25%

Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 32% pro jednotlivé materiály					
		Intenzita el. pole [kV/cm)			
Čas [hod]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,06	2,9	3,7	2,4	3,5
5	0,06	2,9	3,7	2,4	3,5
10	0,06	2,8	3,7	2,3	3,5
15	0,06	2,8	3,7	2,3	3,4
20	0,06	2,8	3,6	2,3	3,4
25	0,05	2,7	3,6	2,3	3,4
30	0,05	2,7	3,6	2,2	3,3
35	0,05	2,7	3,5	2,2	3,3
40	0,05	2,7	3,5	2,2	3,3
průměr	0,0546	2,8052	3,5898	2,25	3,288
rozptyl	0	0,0022	0,0046	0,0034	0,0047
směr.odch.	0	0,0469	0,0678	0,0583	0,0685
var.koef.	0	0,0167	0,0188	0,0259	0,0208

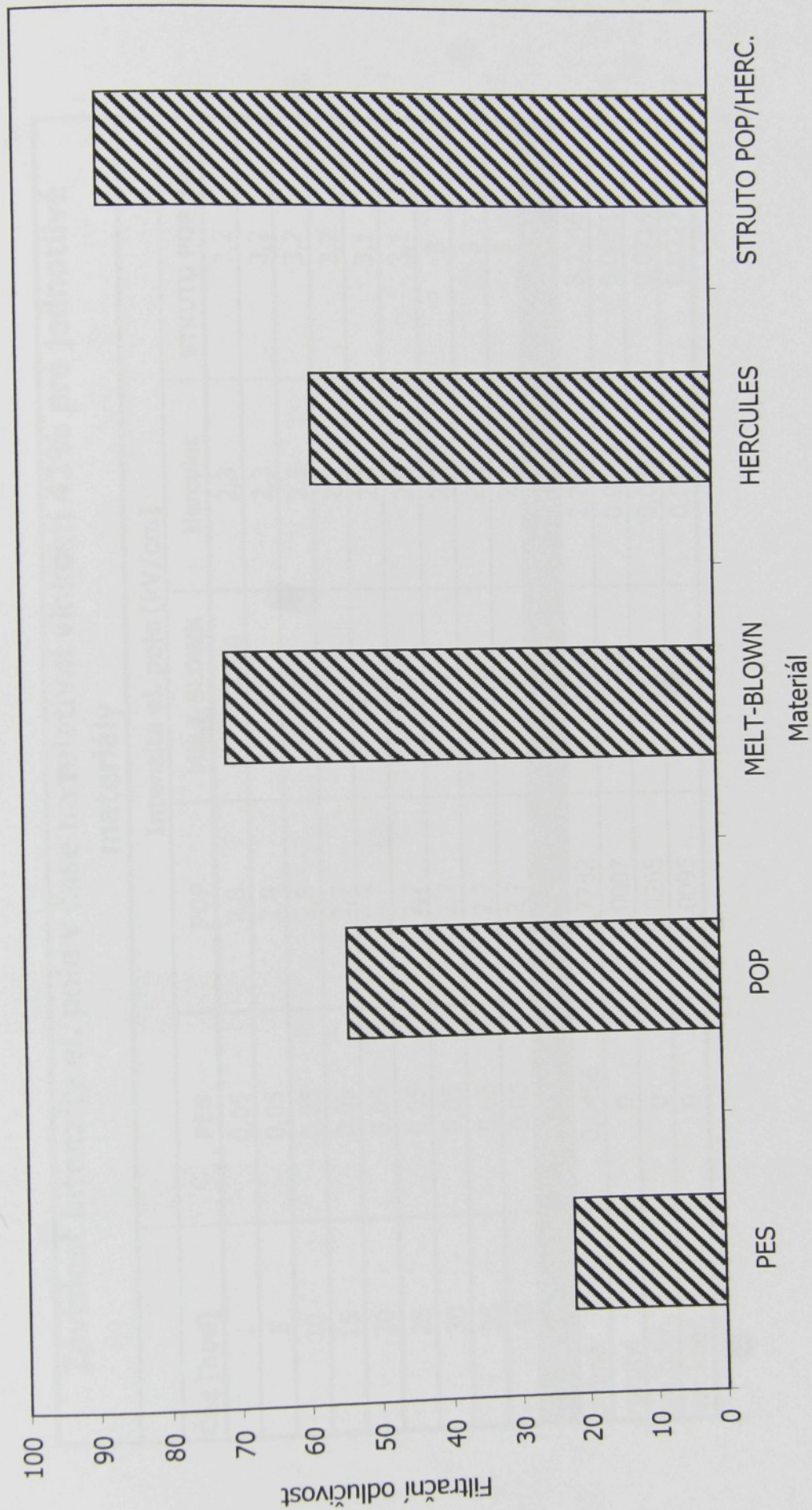
**Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 32%
pro různé materiály**



Graf č. 13 - Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 32% pro různé materiály

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 32%		
Materiály	Filtrační odlučivost [%]	Tlakový spád [Pa]
PES	24	0
POP	59	1
MELT-BLOWN	70	0
HERCULES	56	1
STRUTO 75POP/25Herc.	87	2

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 32%

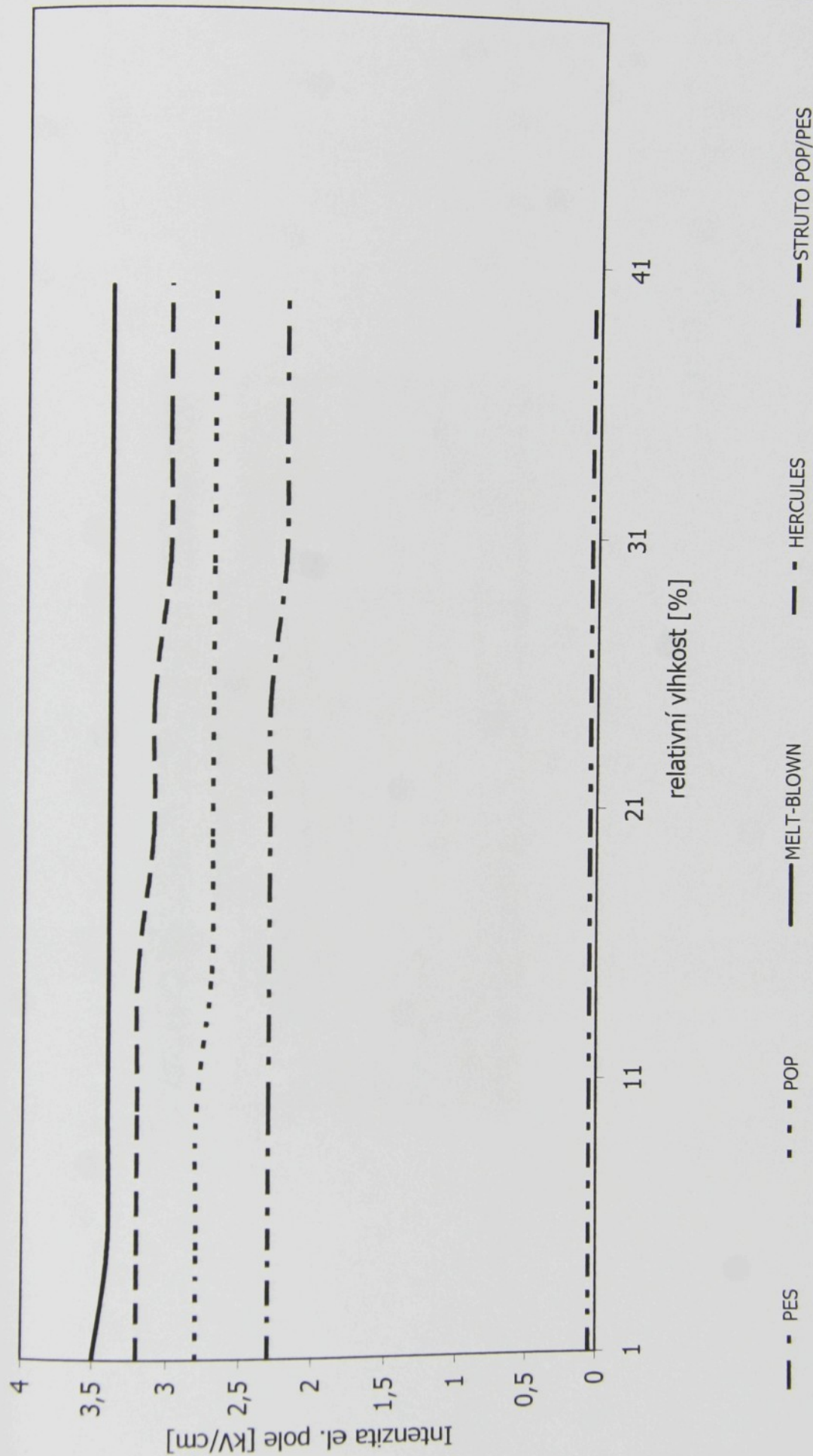


Relativní vlhkost 32%

Graf č. 14 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 32%

Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 42% pro jednotlivé materiály					
Intenzita el. pole [kV/cm]					
Čas [hod]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO POP/Herc.
1	0,05	2,8	3,5	2,3	3,2
5	0,05	2,8	3,4	2,3	3,2
10	0,05	2,8	3,4	2,3	3,2
15	0,05	2,7	3,4	2,3	3,2
20	0,05	2,7	3,4	2,3	3,1
25	0,05	2,7	3,4	2,3	3,1
30	0,05	2,7	3,4	2,2	3
35	0,05	2,7	3,4	2,2	3
40	0,05	2,7	3,4	2,2	3
průměr	0,0456	2,7782	3,4656	2,2602	3,1346
rozptyl	0	0,0007	0,0013	0,0014	0,0051
sm.odch.	0	0,0265	0,0361	0,0374	0,0714
var.koef.	0	0,0095	0,0104	0,0165	0,0227

**Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 42%
pro různé materiály**

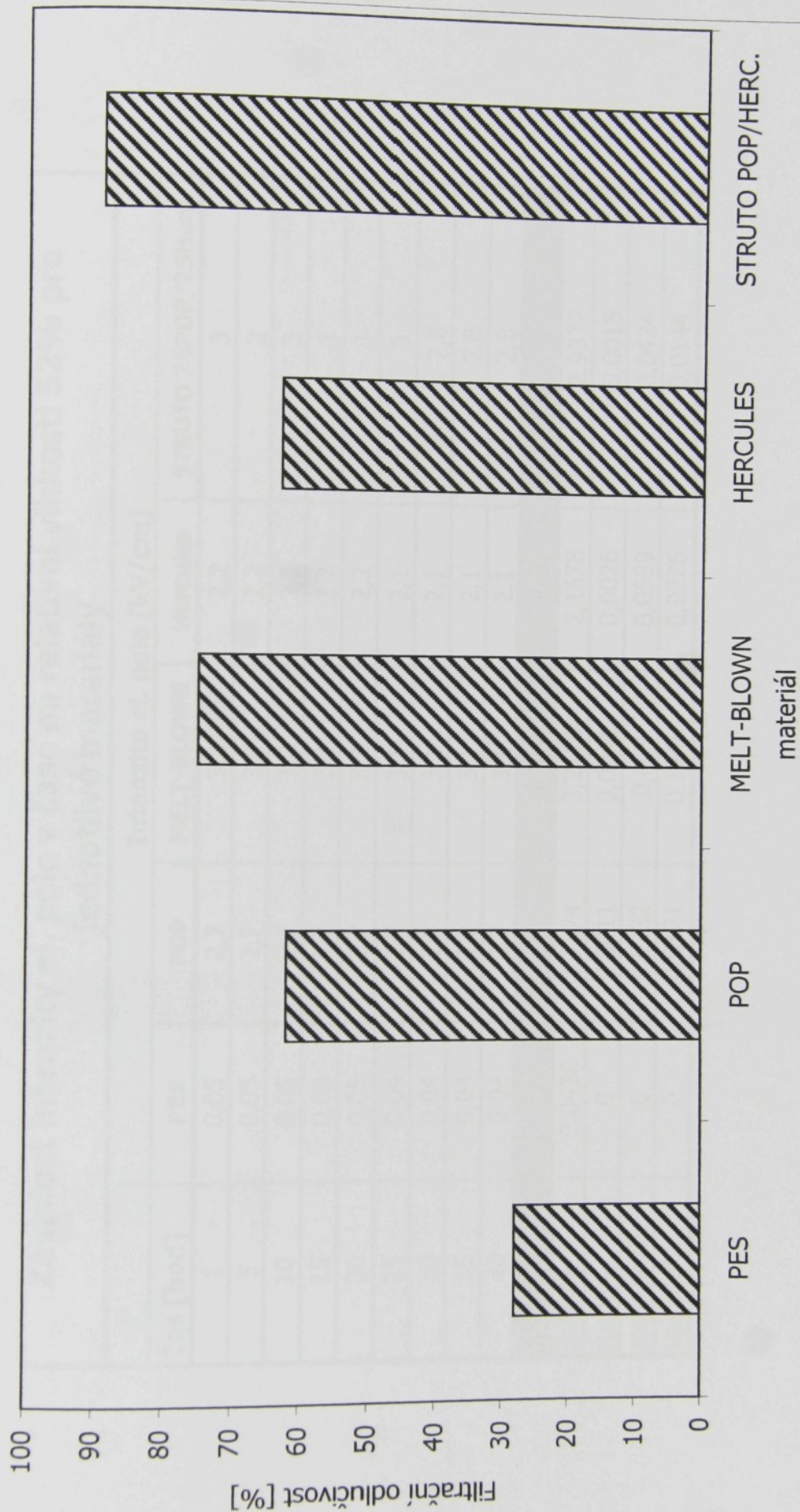


Graf č. 15 - Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 42% pro různé materiály

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 42%		
Materiály	Filtrační odlučivost [%]	Tlakový spád [Pa]
PES	28	0
POP	62	1
MELT-BLOWN	75	0
HERCULES	63	1
STRUTO 75POP/25Herc.	89	2

Tabulka č. 16

**Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů
pro relativní vlhkost 42%**

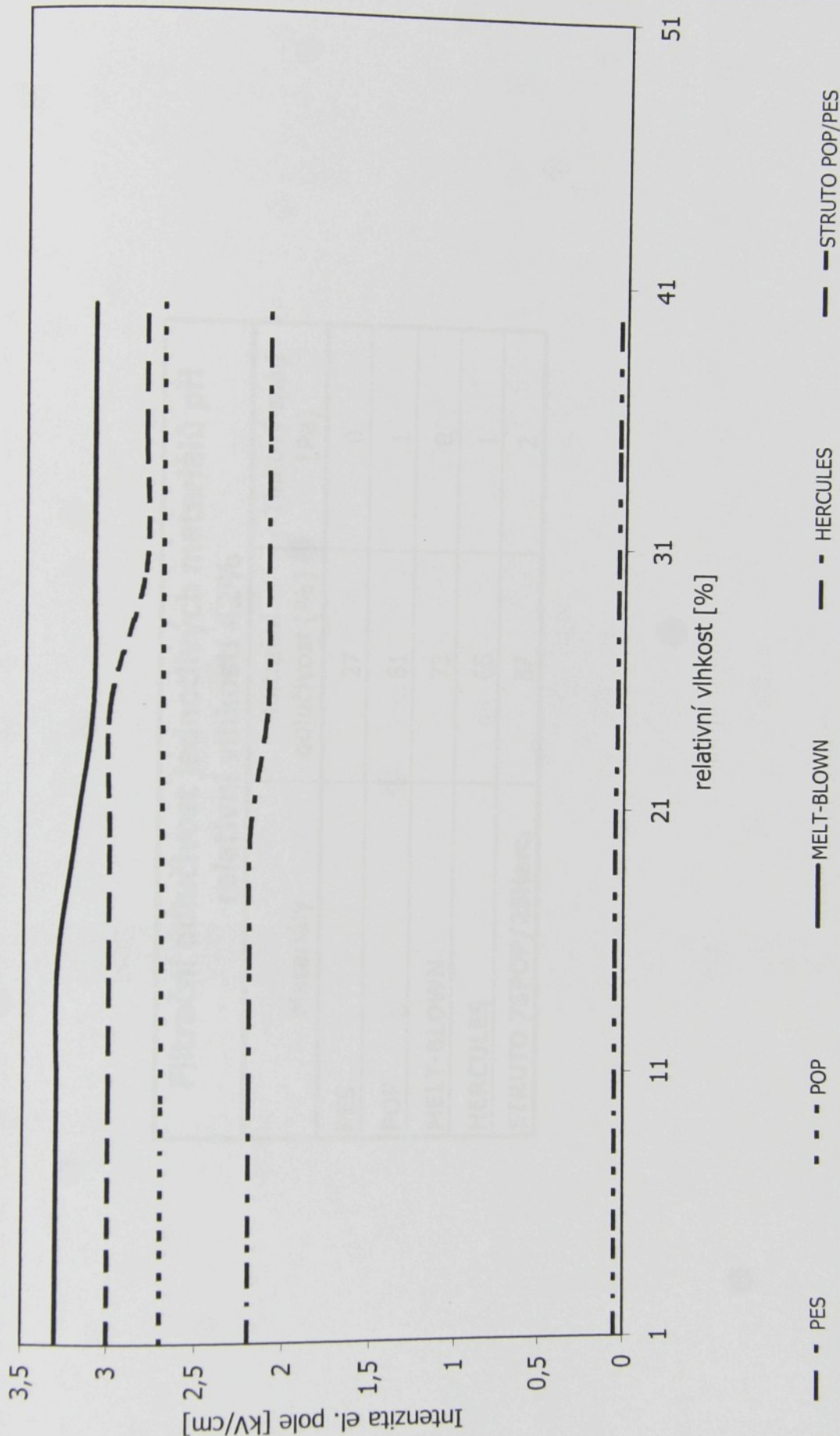


■ Relativní vlhkost 42%

Graf č. 16 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 42 %

Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 52% pro jednotlivé materiály					
Intenzita el. pole [kV/cm]					
Čas [hod]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,05	2,7	3,3	2,2	3
5	0,05	2,7	3,3	2,2	3
10	0,05	2,7	3,3	2,2	3
15	0,05	2,7	3,3	2,2	3
20	0,05	2,7	3,2	2,2	3
25	0,04	2,7	3,1	2,1	3
30	0,04	2,7	3,1	2,1	2,8
35	0,04	2,7	3,1	2,1	2,8
40	0,04	2,7	3,1	2,1	2,8
průměr	0,0436	2,7374	3,2114	2,1678	2,9372
rozptyl	0	0,0011	0,0041	0,0026	0,0018
směr.odch.	0	0,0332	0,064	0,0599	0,0424
var.koef.	0	0,0121	0,1848	0,0276	0,0144

**Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 52%
pro různé materiály**

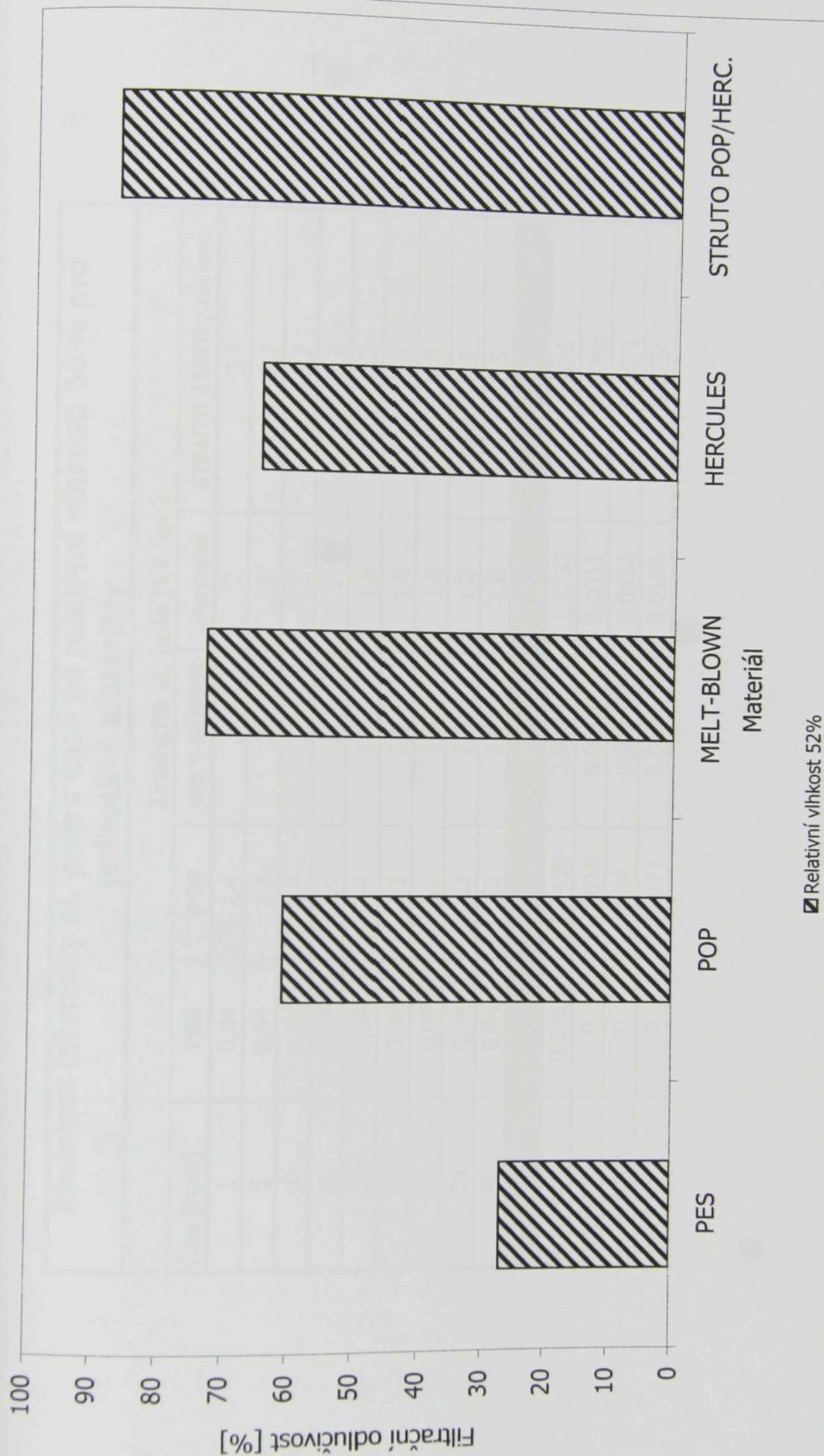


Graf č. 17 - Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 52% pro různé materiály

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 42%		
Materiály	Filtrační odlučivost [%]	Tlakový spád [Pa]
PES	27	0
POP	61	1
MELT-BLOWN	73	0
HERCULES	65	1
STRUTO 75POP/25Herc.	87	2

Tabulka č. 18

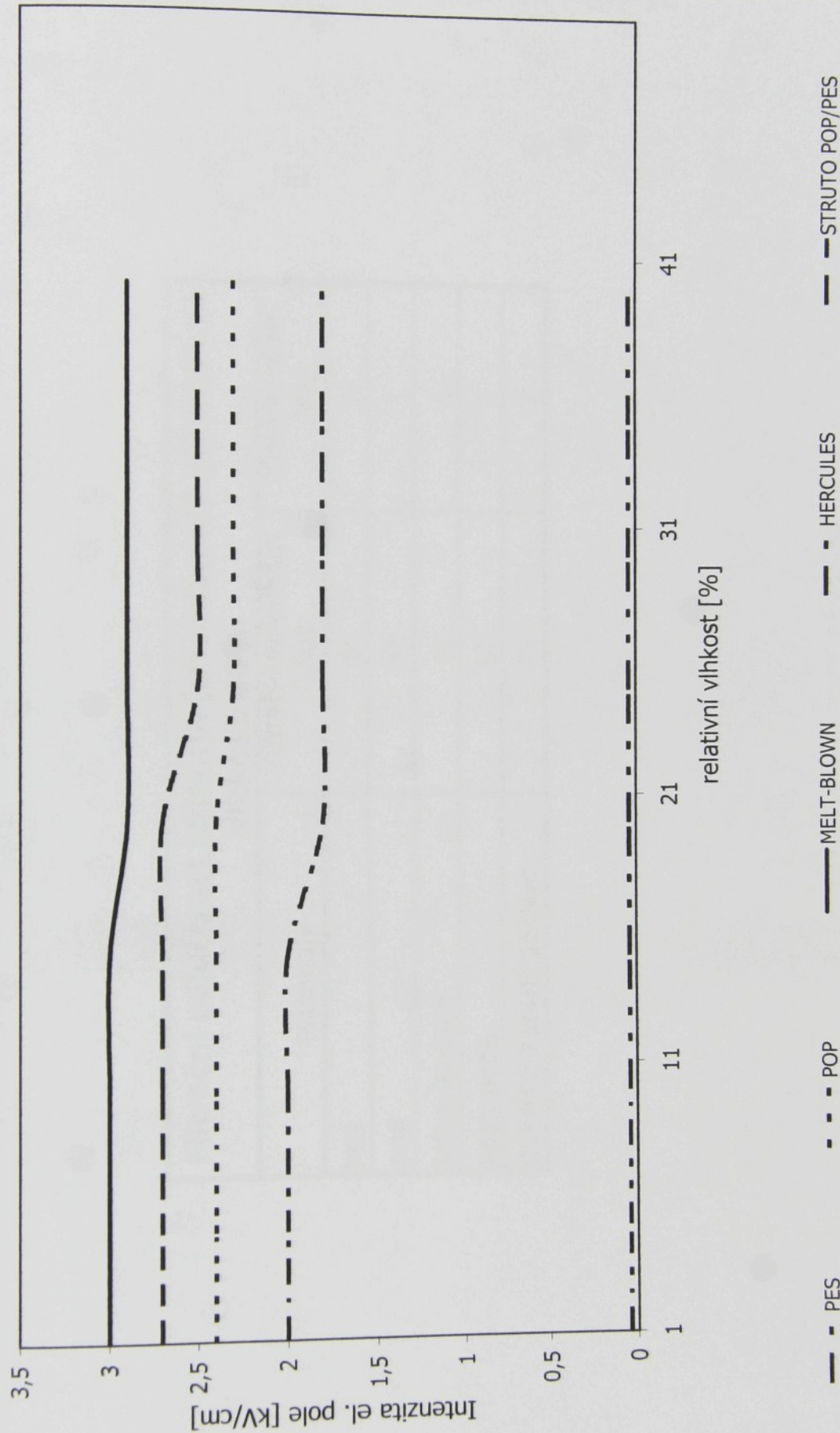
Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 52%



Graf č. 18 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 52 %

Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 66% pro jednotlivé materiály						
Čas [hod]	Intenzita el. pole [kV/cm]					
	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.	
1	0,04	2,4	3	2		2,7
5	0,04	2,4	3	2		2,7
10	0,04	2,4	3	2		2,7
15	0,04	2,4	3	2		2,7
20	0,04	2,4	2,9	1,8		2,7
25	0,04	2,3	2,9	1,8		2,5
30	0,04	2,3	2,9	1,8		2,5
35	0,04	2,3	2,9	1,8		2,5
40	0,04	2,3	2,9	1,8		2,5
průměr	0,0415	2,3436	2,9564	1,9732		2,626
rozptyl	0	0,0016	0,0018	0,0011		0,0045
směr.odch.	0	0,04	0,0424	0,0332		0,0671
var.koef.	0	0,0171	0,0143	0,0168		0,0255

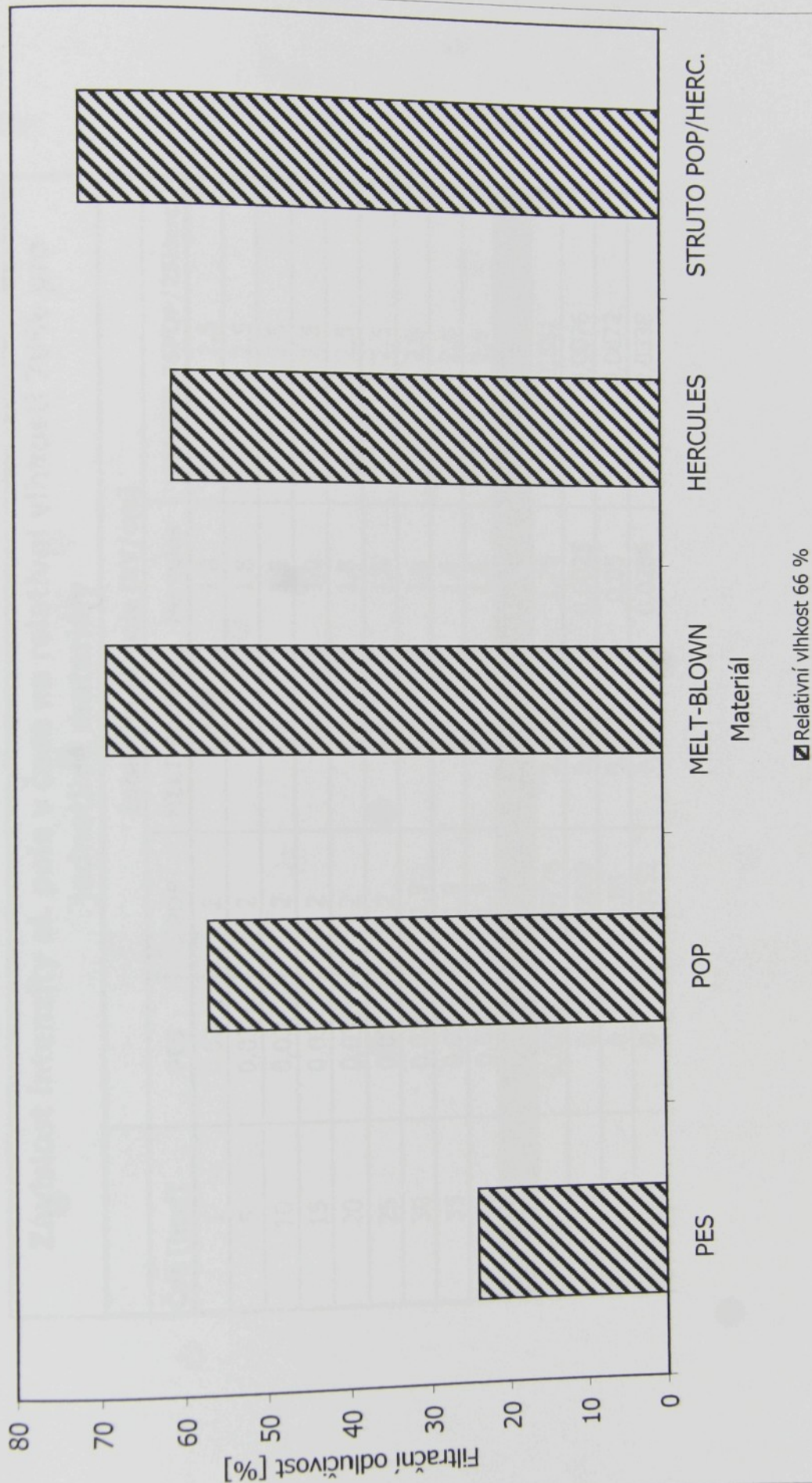
Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 66% pro různé materiály



Graf č. 19 - Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 66% pro různé materiály

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 66%		
Materiály	Filtrační odlučivost [%]	Tlakový spád [Pa]
PES	24	0
POP	57	1
MELT-BLOWN	69	0
HERCULES	61	1
STRUTO 75POP/25Herc.	72	2

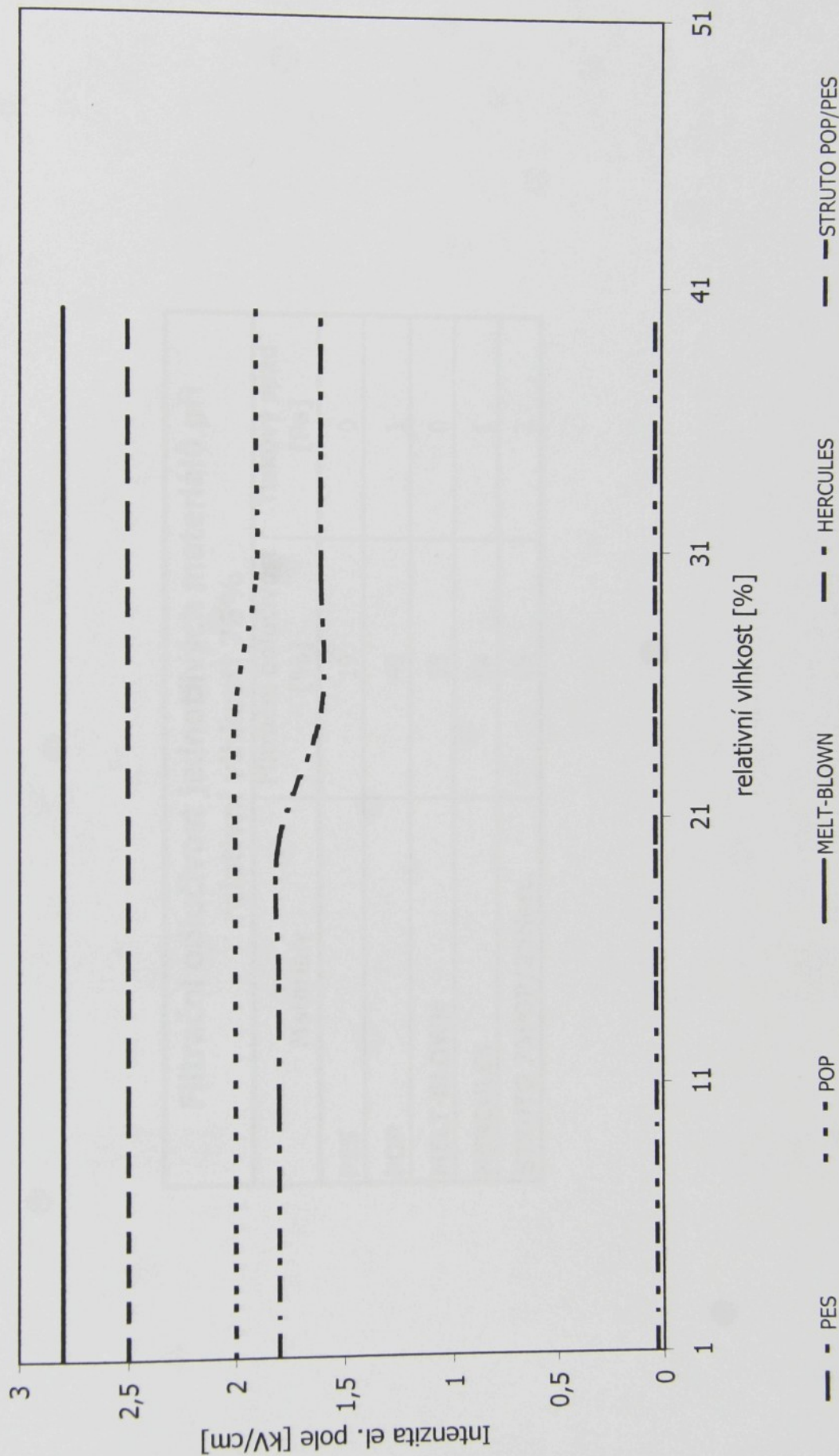
Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 66 %



Graf č. 20 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 66%

Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 76% pro jednotlivé materiály					
Čas [hod]	Intenzita el. pole [kV/cm]				
	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,03	2	2,8	1,8	2,5
5	0,03	2	2,8	1,8	2,5
10	0,03	2	2,8	1,8	2,5
15	0,03	2	2,8	1,8	2,5
20	0,03	2	2,8	1,8	2,5
25	0,03	2	2,8	1,6	2,5
30	0,03	1,9	2,8	1,6	2,5
35	0,03	1,9	2,8	1,6	2,5
40	0,03	1,9	2,8	1,6	2,5
průměr	0,0299	1,9776	2,7612	1,75	2,581
rozptyl	0	0,0009	0,0012	0,0025	0,0076
směr.odch.	0	0,03	0,0346	0,05	0,0872
var.koef.	0	0,0152	0,0125	0,0286	0,0338

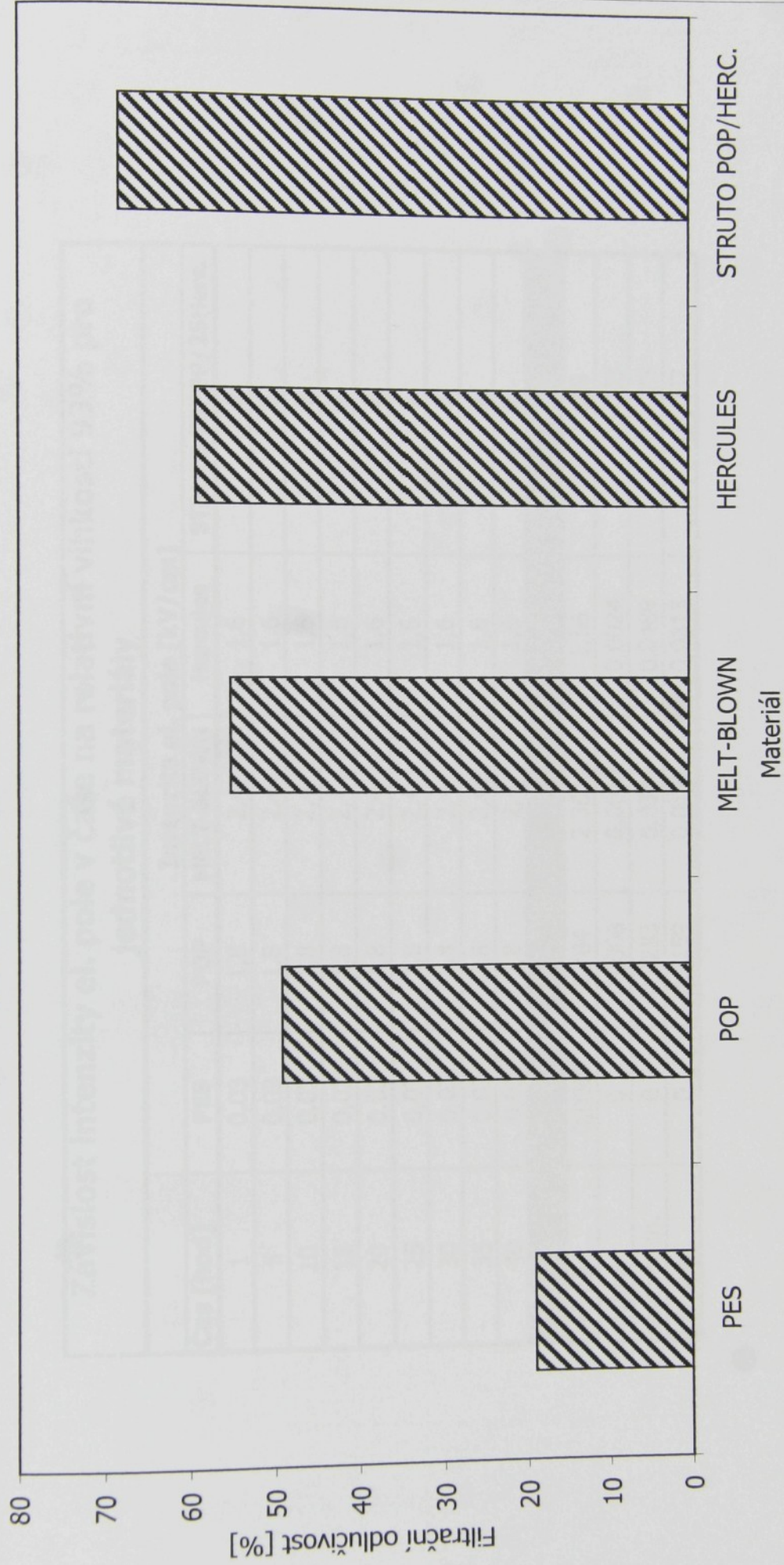
Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 76% pro různé materiály



Graf č. 21 - Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 76% pro různé materiály

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 76%		
Materiály	Filtrační odlučivost [%]	Tlakový spád [Pa]
PES	19	0
POP	49	1
MELT-BLOWN	55	0
HERCULES	59	1
STRUTO 75POP/25Herc.	68	2

**Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů
pro relativní vlhkost 76%**

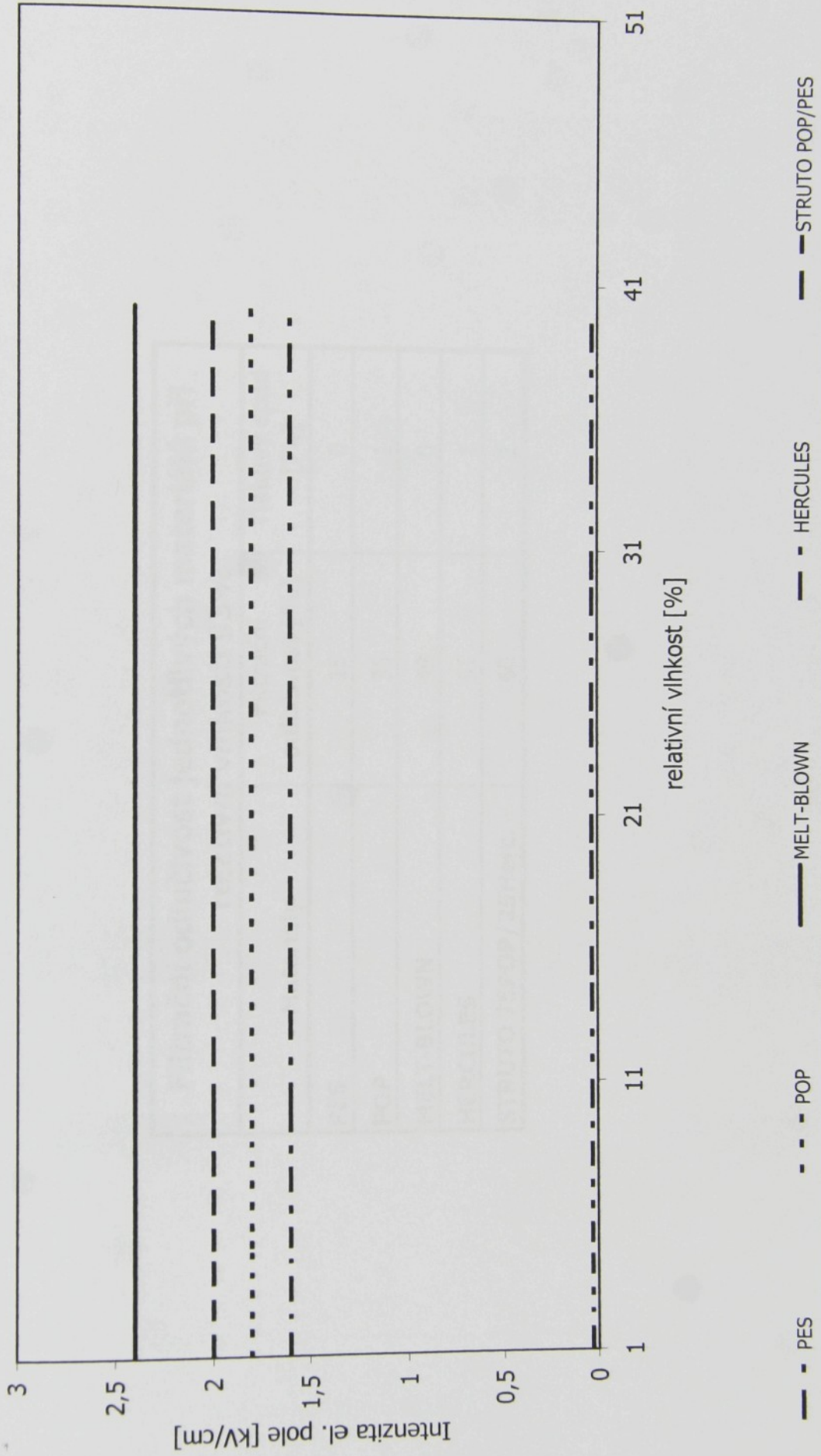


■ Relativní vlhkost 76%

Graf č. 22 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 76%

Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 93% pro jednotlivé materiály						
Čas [hod]	Intenzita el. pole [kV/cm]					
	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.	
1	0,03	1,8	2,4	1,6		2
5	0,03	1,8	2,4	1,6		2
10	0,03	1,8	2,4	1,6		2
15	0,03	1,8	2,4	1,6		2
20	0,03	1,8	2,4	1,6		2
25	0,03	1,8	2,4	1,6		2
30	0,03	1,8	2,4	1,6		2
35	0,03	1,8	2,4	1,6		2
40	0,03	1,8	2,4	1,6		2
průměr	0,0302	1,784	2,3612	1,56		1,989
rozptyl	0	0,0008	0,0012	0,0024		0,0003
směr.odch.	0	0,0283	0,0346	0,0489		0,0173
var.koef.	0	0,0159	0,0146	0,0313		0,0087

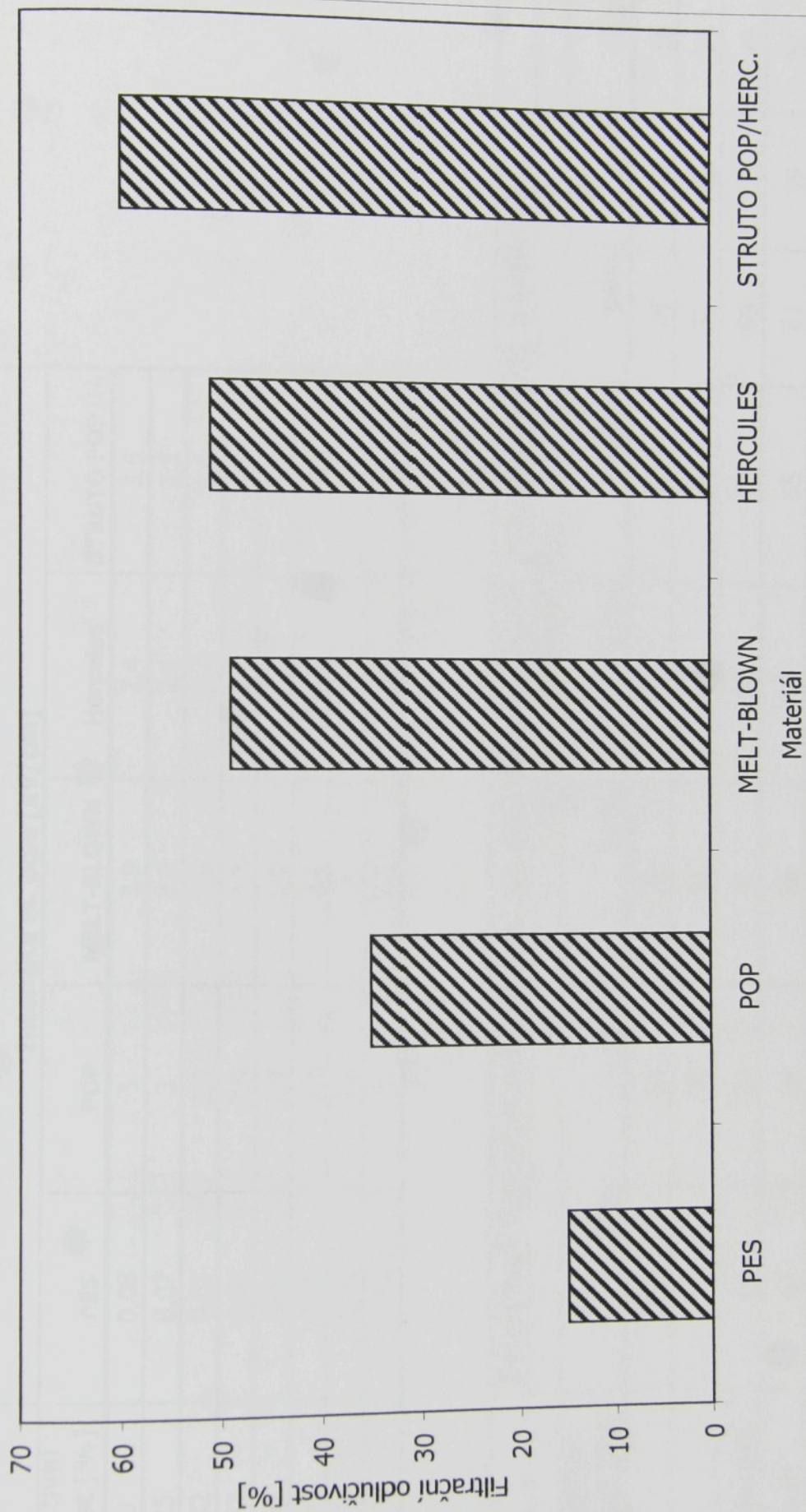
Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 93% pro různé materiály



Graf č. 23 - Závislost intenzity el. pole v čase na relativní vlhkosti 93% pro různé materiály

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při relativní vlhkosti 93%		
Materiály	Filtrační odlučivost [%]	Tlakový spád [Pa]
PES	15	0
POP	35	1
MELT-BLOWN	49	0
HERCULES	51	1
STRUTO 75POP/25Herc.	60	2

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 93%



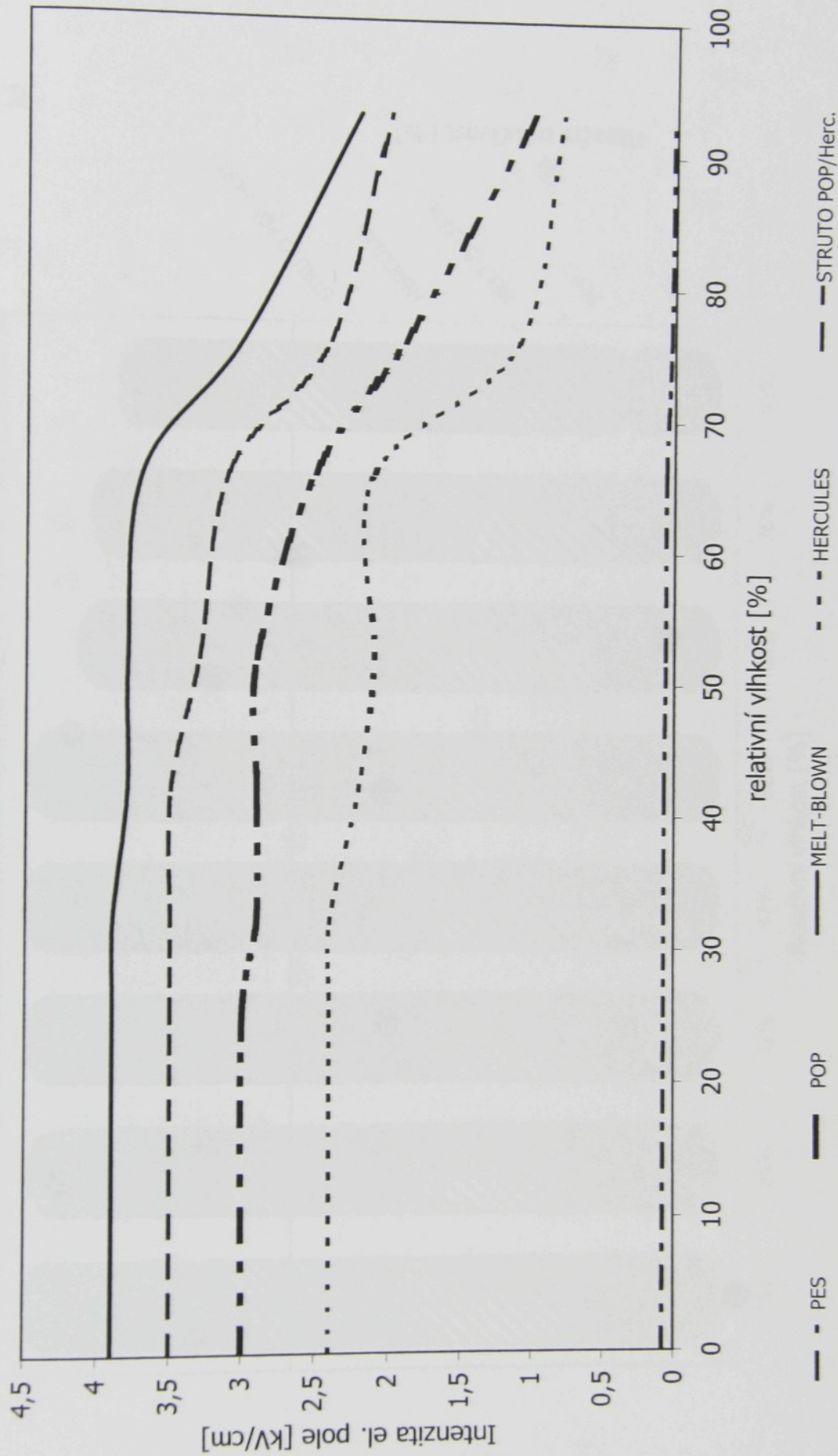
■ Relativní vlhkost 93%

Graf č. 24 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro relativní vlhkost 93%

Závislost intenzity el. pole na relativní vlhkosti pro jednotlivé materiály					
Intenzita el. pole [kV/cm]					
Relativní vlhkost [%]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO POP/H.
0	0,08	3	3,9	2,4	3,5
25	0,07	3	3,9	2,4	3,5
32	0,07	2,9	3,9	2,4	3,5
42	0,07	2,9	3,8	2,2	3,5
52	0,06	2,9	3,8	2,1	3,3
66	0,06	2,5	3,7	2,1	3,1
76	0,03	1,9	3	1,1	2,4
93	0,02	1	2,2	0,8	2

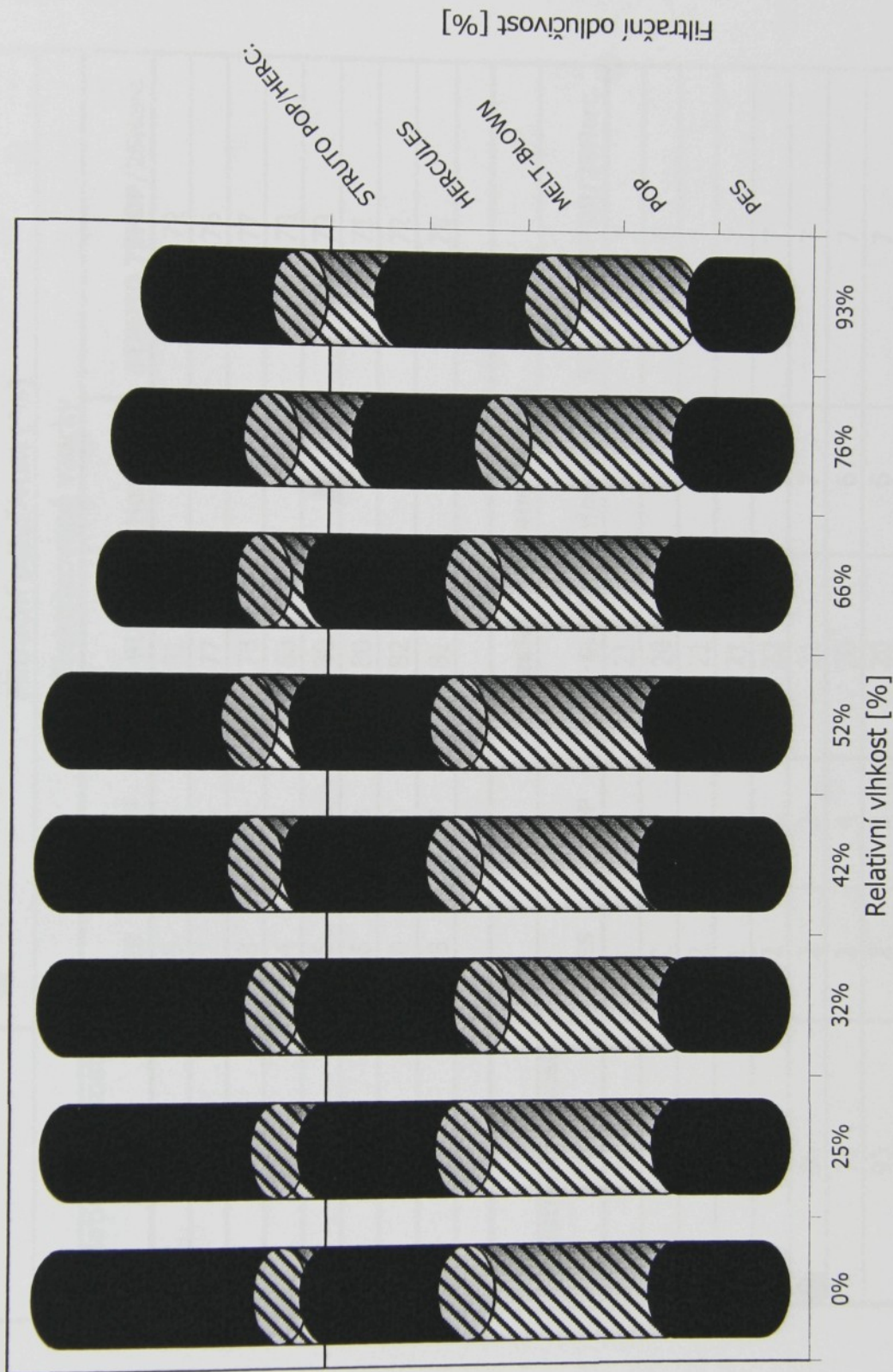
Závislost filtrační odlučivosti na relativní vlhkosti pro jednotlivé materiály								
	Filtrační odlučivost [%]							
Relativní vlhkost [%]	0%	25%	32%	42%	52%	66%	76%	93%
PES	25	24	22	28	27	24	19	15
POP	58	59	54	62	61	57	49	35
MELT-BLOWN	69	70	71	75	73	69	55	49
HERCULES	55	56	58	63	65	61	59	51
STRUTO POP/HE	89	87	88	89	87	72	68	60

Závislost intenzity el. pole na relativní vlhkosti pro různé materiály



Graf č. 25 - Závislost intenzity el. pole na relativní vlhkosti pro různé materiály

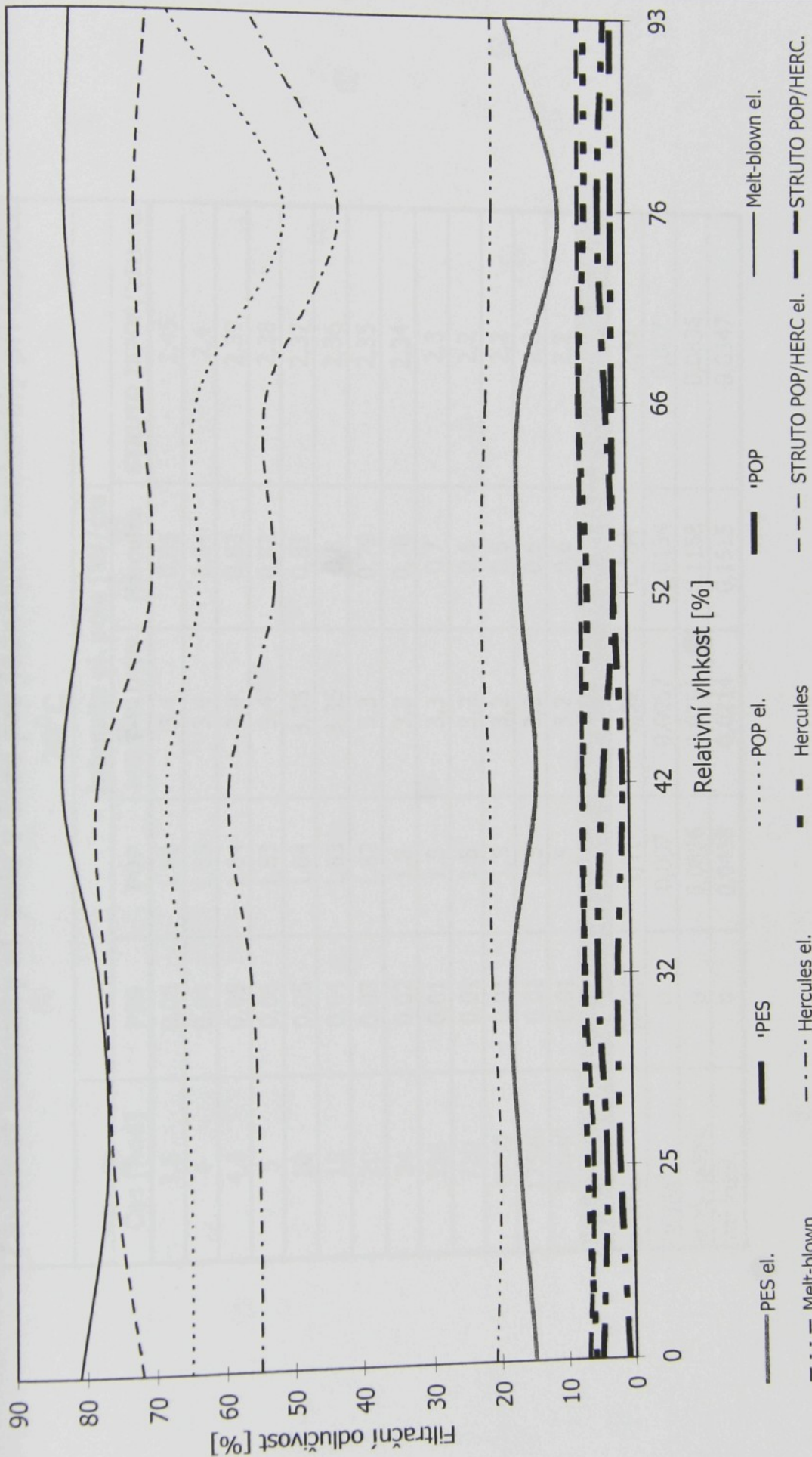
Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro jednotlivé relativní vlhkosti



Graf č. 26 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů pro jednotlivé relativní vlhkosti

Vliv relativní vlhkosti na filtrační odlučivost pro jednotlivé materiály						
	Filtrační odlučivost [%]					
1.	Elektrizované vzorky					
Relativní vlhkost [%]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP / 25Herc.	
0	15	65	81	55	72	
25	17	65	77	55	76	
32	18	66	78	56	77	
42	14	68	83	59	78	
52	16	63	80	52	70	
66	16	63	80	53	71	
76	10	50	82	42	72	
93	18	67	81	55	70	
2.	Neelektrizované vzorky					
Relativní vlhkost [%]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP / 25Herc.	
0	1	5	21	6	7	
25	2	4	20	7	6	
32	2	5	21	7	7	
42	1	4	21	7	7	
52	2	2	22	6	7	
66	2	3	21	7	7	
76	2	4	20	6	7	
93	2	3	20	6	7	

Vliv relativní vlhkosti na filtrační odlučivost pro jednotlivé materiály

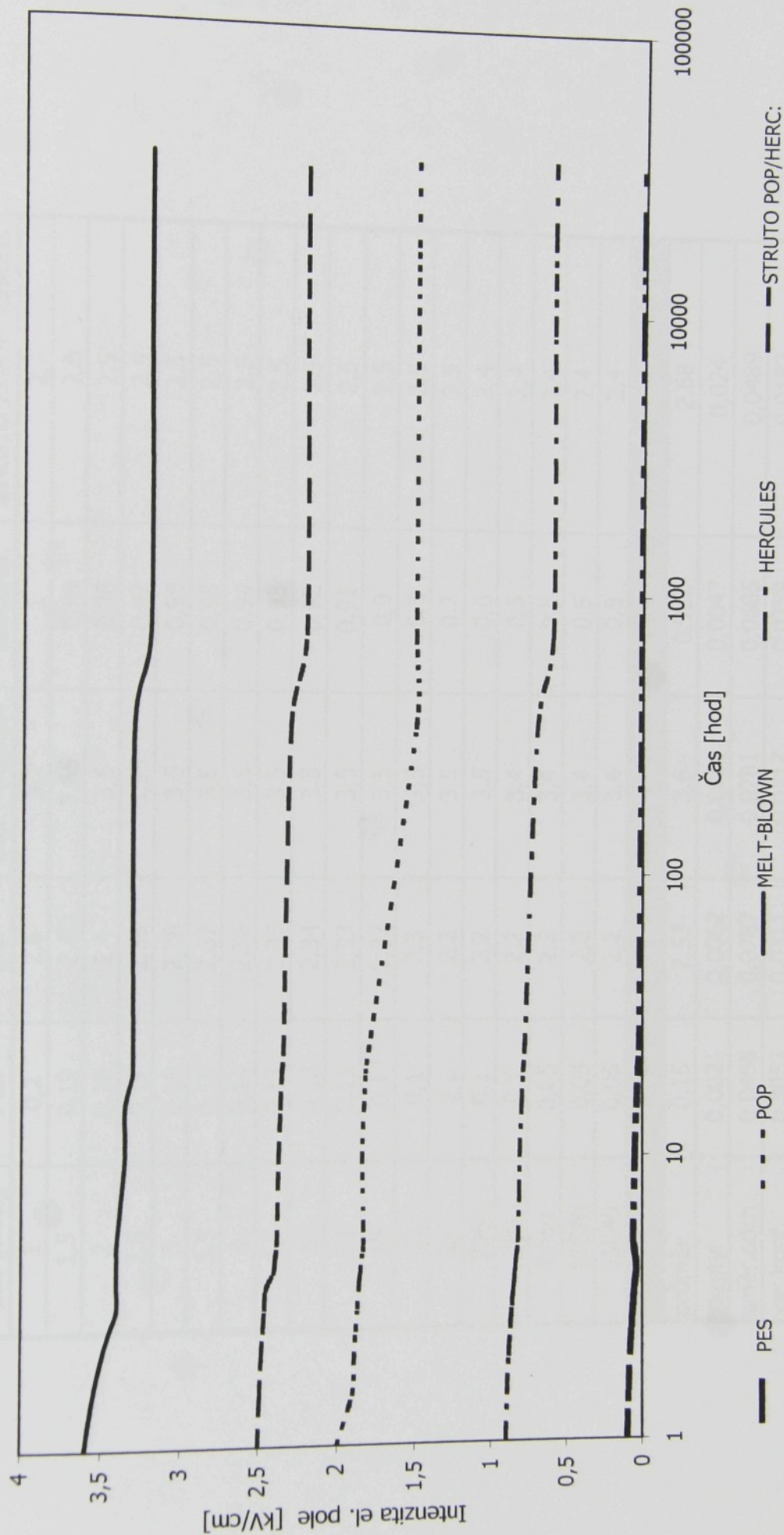


Graf č. 27 - Vliv relativní vlhkosti na filtrační odlučivost pro jednotlivé materiály

Závislost intenzity el. pole v čase pro jednotlivé materiály při teplotě 20°C

		Intenzita el. pole [kV/cm]			
Čas [hod]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
3,5	0,05	1,86	3,4	0,85	2,45
4	0,04	1,85	3,4	0,84	2,4
4,5	0,05	1,84	3,4	0,83	2,39
5	0,06	1,83	3,4	0,82	2,38
10	0,05	1,84	3,35	0,81	2,37
15	0,04	1,83	3,35	0,8	2,36
20	0,03	1,82	3,3	0,79	2,35
24	0,02	1,8	3,3	0,78	2,34
336	0,01	1,5	3,3	0,7	2,3
720	0,01	1,5	3,2	0,6	2,2
8760	0,01	1,5	3,2	0,6	2,2
17520	0,01	1,5	3,2	0,6	2,2
35040	0,01	1,5	3,2	0,6	2,2
průměr	0,0956	1,91	3,52	0,764	2,41
rozptyl	0	0,007	0,0057	0,0134	0,007
směr.odch.	0	0,0836	0,0755	0,1158	0,0836
var.koef.	0	0,0438	0,0214	0,1515	0,0347

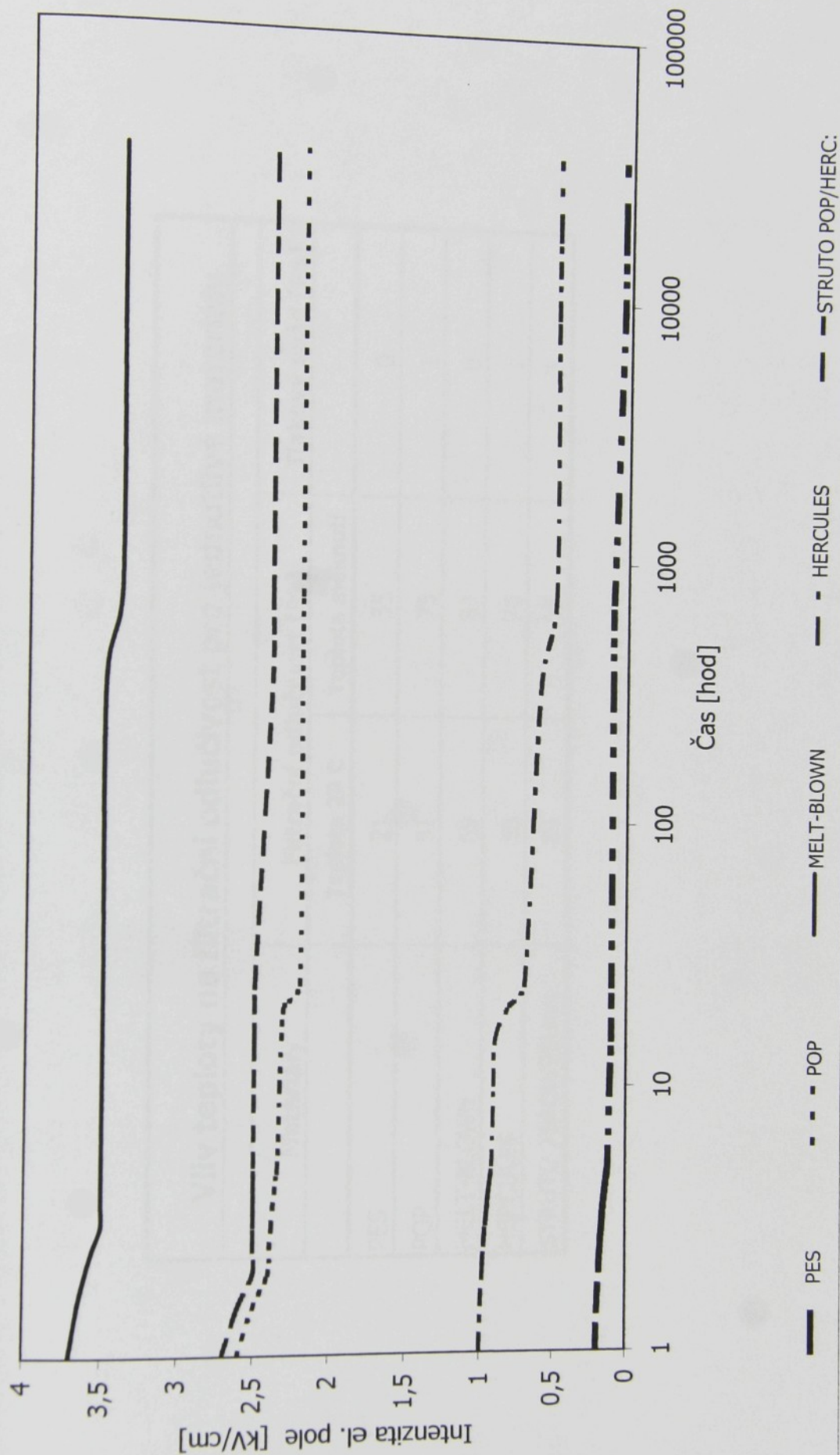
Závislost intenzity el. pole v čase při teplotě 20° C pro různé materiály



Graf č. 28 - Závislost intenzity el. pole v čase při teplotě 20° C pro různé materiály

Závislost intenzity el. pole v čase pro jednotlivé materiály při teplotě měknutí					
Čas [hod]	Intenzita el. pole [kV/cm]				
	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,2	2,6	3,7	1	2,7
1,5	0,19	2,5	3,65	0,99	2,6
2	0,18	2,4	3,6	0,98	2,5
2,5	0,17	2,39	3,55	0,97	2,5
3	0,16	2,38	3,5	0,96	2,5
3,5	0,15	2,37	3,5	0,95	2,5
4	0,14	2,36	3,5	0,94	2,5
4,5	0,13	2,35	3,5	0,93	2,5
5	0,12	2,34	3,5	0,92	2,5
10	0,11	2,33	3,5	0,91	2,5
15	0,1	2,32	3,5	0,9	2,5
20	0,1	2,3	3,5	0,8	2,5
24	0,1	2,2	3,5	0,7	2,5
336	0,1	2,2	3,5	0,6	2,4
720	0,1	2,2	3,4	0,5	2,4
8760	0,05	2,2	3,4	0,5	2,4
17520	0,05	2,2	3,4	0,5	2,4
35040	0,05	2,2	3,4	0,5	2,4
průměr	0,15	2,53	3,6	0,902	2,68
rozptyl	0,0021	0,0062	0,0061	0,0047	0,024
směr.odch.	0,0458	0,0787	0,0781	0,0685	0,0489
var.koef.	0,3053	0,0311	0,0217	0,0759	0,0182

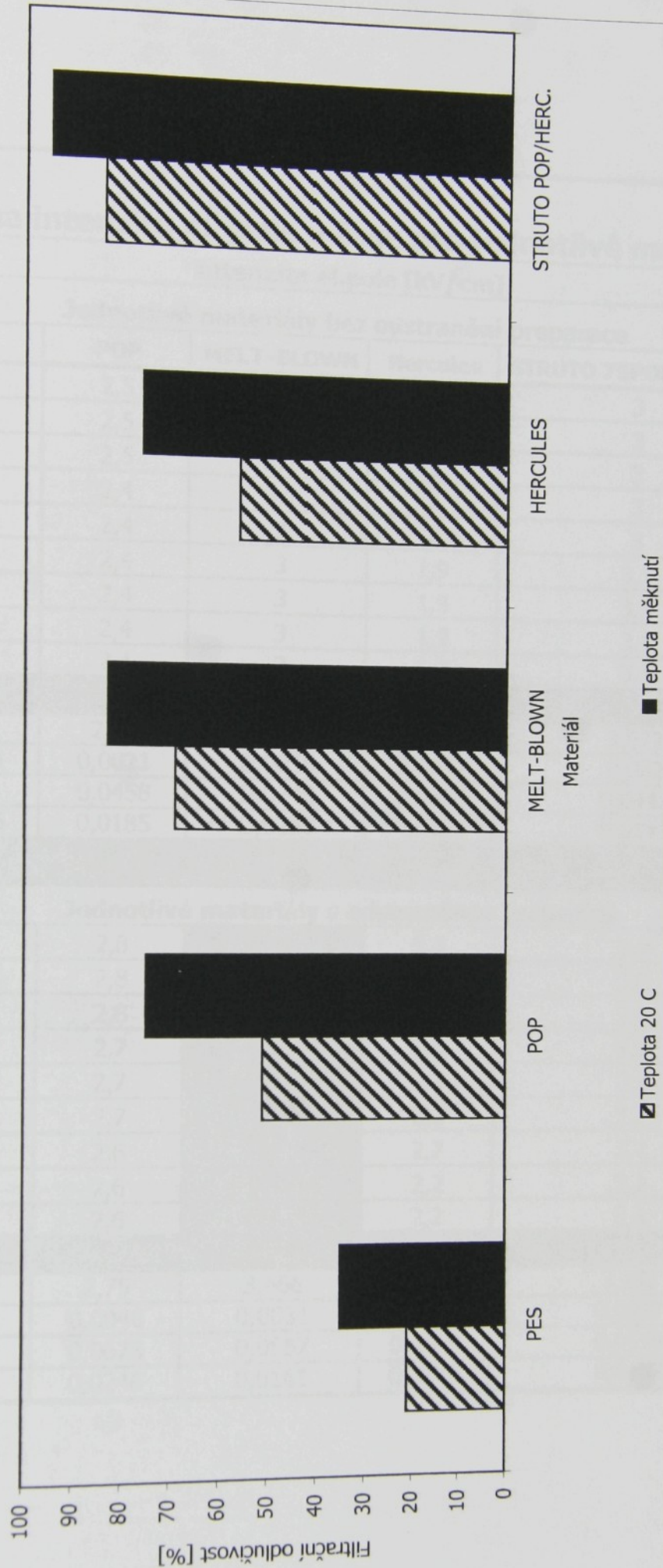
Závislost intenzity el. pole v čase na teplotě měknutí jednotlivých materiálů



Graf č. 29 - Závislost intenzity el. pole v čase na teplotě měknutí jednotlivých materiálů

Vliv teploty na filtrační odlučivost pro jednotlivé materiály				
Materiály	Filtrační odlučivost [%]		Tlakový spád [Pa]	
	Teplota 20 C	Teplota měknutí		
PES	21	35	0	
POP	51	75	1	
MELT-BLOWN	69	83	0	
HERCULES	56	76	1	
STRUTO 75POP/25Herc.	84	95	3	

**Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů
při teplotě 20 °C a teplotě měknutí**



Graf č. 30 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů při teplotě 20°C a teplotě měknutí

iv preparace na intenzitu el. pole v čase pro jednotlivé materiály

Intenzita el.pole [kV/cm]

1.	Jednotlivé materiály bez odstranění preparace				
čas [hod]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,04	2,5	3,2	2	3
5	0,04	2,5	3,1	2	3
10	0,04	2,5	3,1	2	3
15	0,04	2,4	3,1	2	3
20	0,03	2,4	3	2	3
25	0,03	2,4	3	1,9	3,1
30	0,03	2,4	3	1,9	3,1
35	0,03	2,4	3	1,9	3,1
40	0,03	2,4	3	1,9	3,1

průměr	0,031	2,47	3,136	1,93	3,072
rozptyl	0,0001	0,0021	0,0056	0,0042	0,002
sm.odch.	0,01	0,0458	0,0748	0,0648	0,0447
var.koef.	0,3225	0,0185	0,0238	0,0335	0,0145

2.	Jednotlivé materiály s odstraněnou preparací				
1	0,06	2,8	3,2	2,3	3,2
5	0,06	2,8	3,1	2,3	3,2
10	0,06	2,8	3,1	2,3	3,2
15	0,06	2,7	3,1	2,3	3,2
20	0,06	2,7	3	2,3	3,2
25	0,06	2,7	3	2,2	3,2
30	0,06	2,6	3	2,2	3,1
35	0,06	2,6	3	2,2	3,1
40	0,06	2,6	3	2,2	3,1

průměr	0,056	2,75	3,466	2,26	3,182
rozptyl	0	0,0046	0,0031	0,0024	0,0027
sm.odch.	0	0,0678	0,0557	0,0489	0,0519
var.koef.	0	0,0246	0,0161	0,0216	0,0163

iv preparace na intenzitu el. pole v čase pro jednotlivé materiály

Intenzita el.pole [kV/cm]

1.

Jednotlivé materiály bez odstranění preparace

čas [hod]	PES	POP	MELT-BLOWN	Hercules	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,04	2,5	3,2	2	3
5	0,04	2,5	3,1	2	3
10	0,04	2,5	3,1	2	3
15	0,04	2,4	3,1	2	3
20	0,03	2,4	3	2	3
25	0,03	2,4	3	1,9	3,1
30	0,03	2,4	3	1,9	3,1
35	0,03	2,4	3	1,9	3,1
40	0,03	2,4	3	1,9	3,1

průměr	0,031	2,47	3,136	1,93	3,072
rozptyl	0,0001	0,0021	0,0056	0,0042	0,002
sm.odch.	0,01	0,0458	0,0748	0,0648	0,0447
var.koef.	0,3225	0,0185	0,0238	0,0335	0,0145

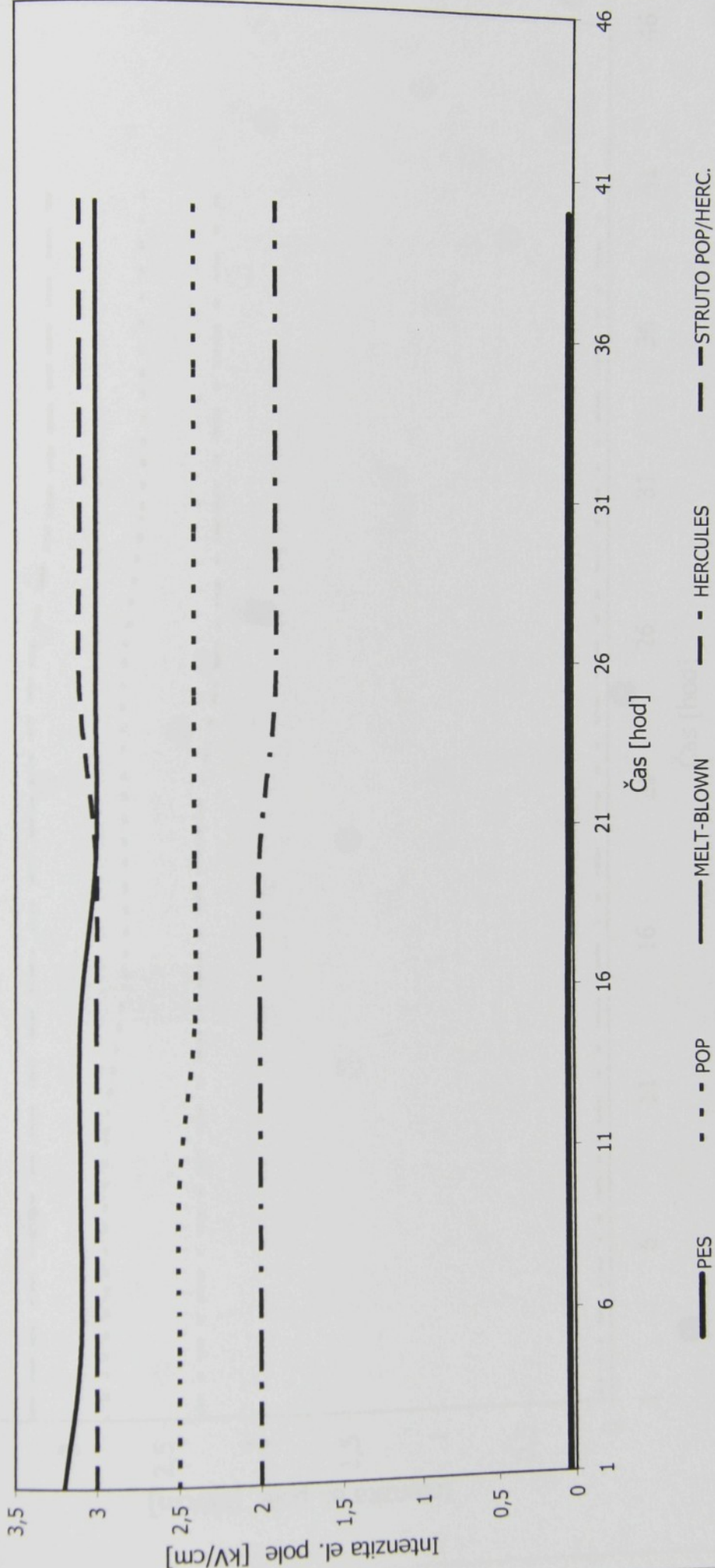
2.

Jednotlivé materiály s odstraněnou preparací

1	0,06	2,8	3,2	2,3	3,2
5	0,06	2,8	3,1	2,3	3,2
10	0,06	2,8	3,1	2,3	3,2
15	0,06	2,7	3,1	2,3	3,2
20	0,06	2,7	3	2,3	3,2
25	0,06	2,7	3	2,2	3,2
30	0,06	2,6	3	2,2	3,1
35	0,06	2,6	3	2,2	3,1
40	0,06	2,6	3	2,2	3,1

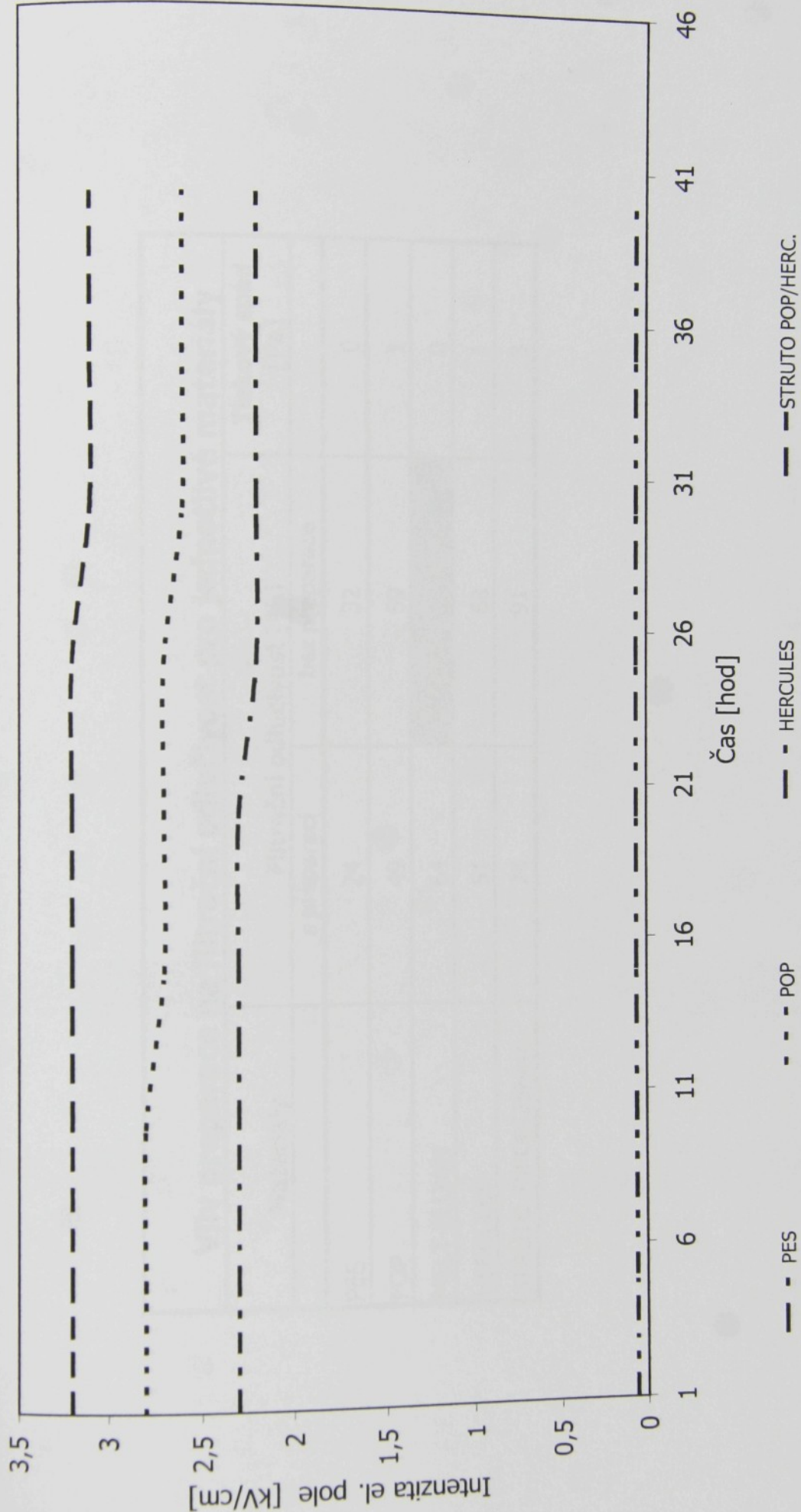
průměr	0,056	2,75	3,466	2,26	3,182
rozptyl	0	0,0046	0,0031	0,0024	0,0027
sm.odch.	0	0,0678	0,0557	0,0489	0,0519
var.koef.	0	0,0246	0,0161	0,0216	0,0163

Závislost intenzity el. pole v čase pro jednotlivé materiály
bez odstranění preparace



Graf č. 31 - Závislost intenzity el. pole v čase pro jednotlivé materiály bez odstranění preparace

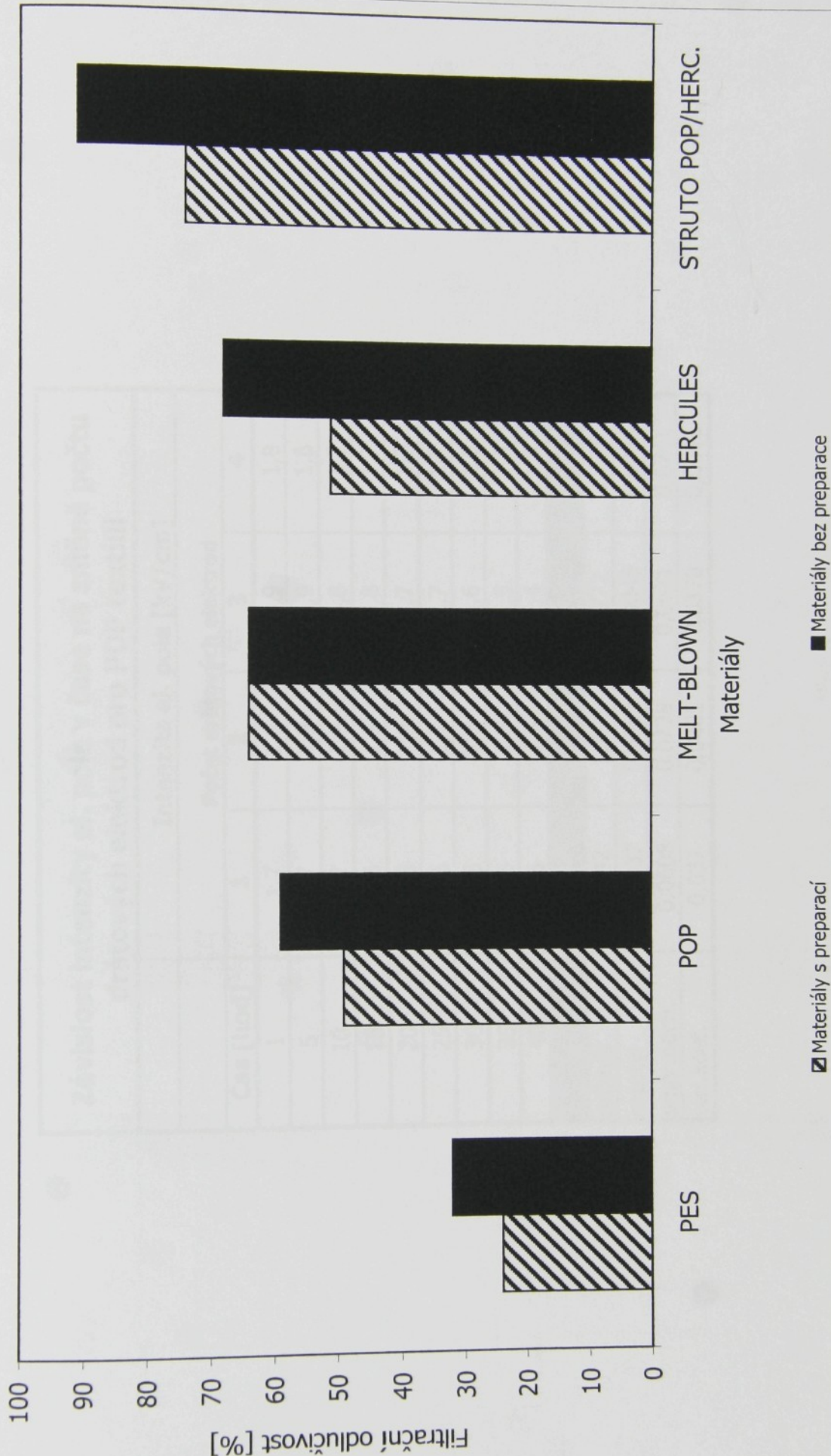
Závislost intenzity el. pole v čase pro jednotlivé materiály s odstraněnou preparací



Graf č. 32 - Závislost intenzity el. pole v čase pro jednotlivé materiály s odstraněnou preparací

Vliv preparace na filtrační odlučivost pro jednotlivé materiály				
Materiály	Filtrační odlučivost [%]		Tlakový spád [Pa]	
	s preparací	bez preparace		
PES	24	32	0	
POP	49	59	1	
MELT-BLOWN	64	64	0	
HERCULES	51	68	1	
STRUTO 75POP/25Herc.	74	91	3	

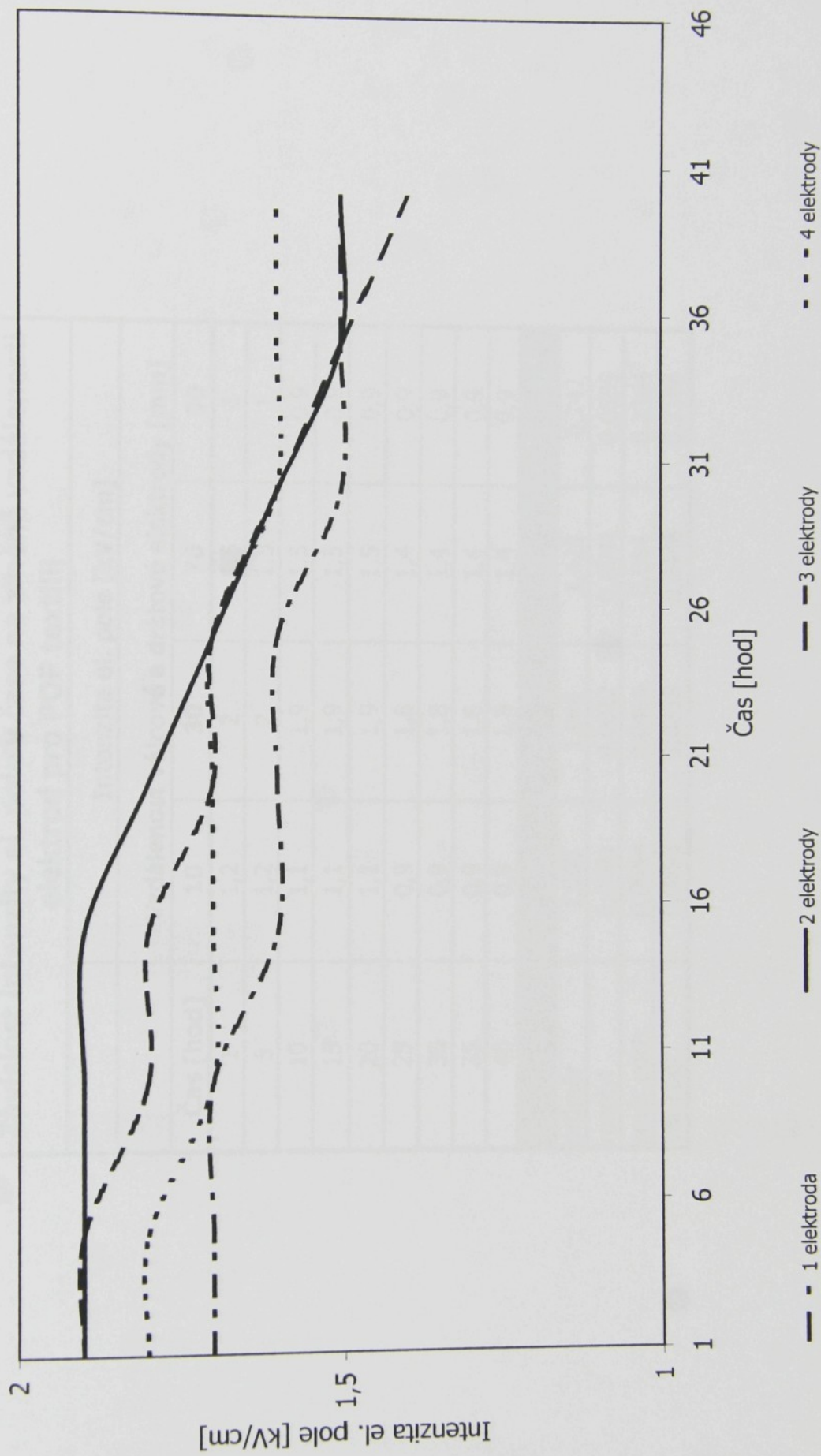
Závislost filtrační odlučivosti materiálů na preparaci



Graf č. 33 - Závislost filtrační odlučivosti materiálů na preparaci

Závislost intenzity el. pole v čase na změně počtu drátových elektrod pro POP textílii				
	Intenzita el. pole [kV/cm]			
	Počet drátových elektrod			
Čas [hod]	1	2	3	4
1	1,7	1,9	1,9	1,8
5	1,7	1,9	1,9	1,8
10	1,7	1,9	1,8	1,7
15	1,6	1,9	1,8	1,7
20	1,6	1,8	1,7	1,7
25	1,6	1,7	1,7	1,7
30	1,5	1,6	1,6	1,6
35	1,5	1,5	1,5	1,6
40	1,5	1,5	1,4	1,6
průměr	1,642	1,796	1,772	1,676
rozptyl	0,0037	0,0053	0,0045	0,0055
směr.odch.	0,0608	0,0728	0,0671	0,0741
var.koef.	0,037	0,0405	0,0378	0,0442

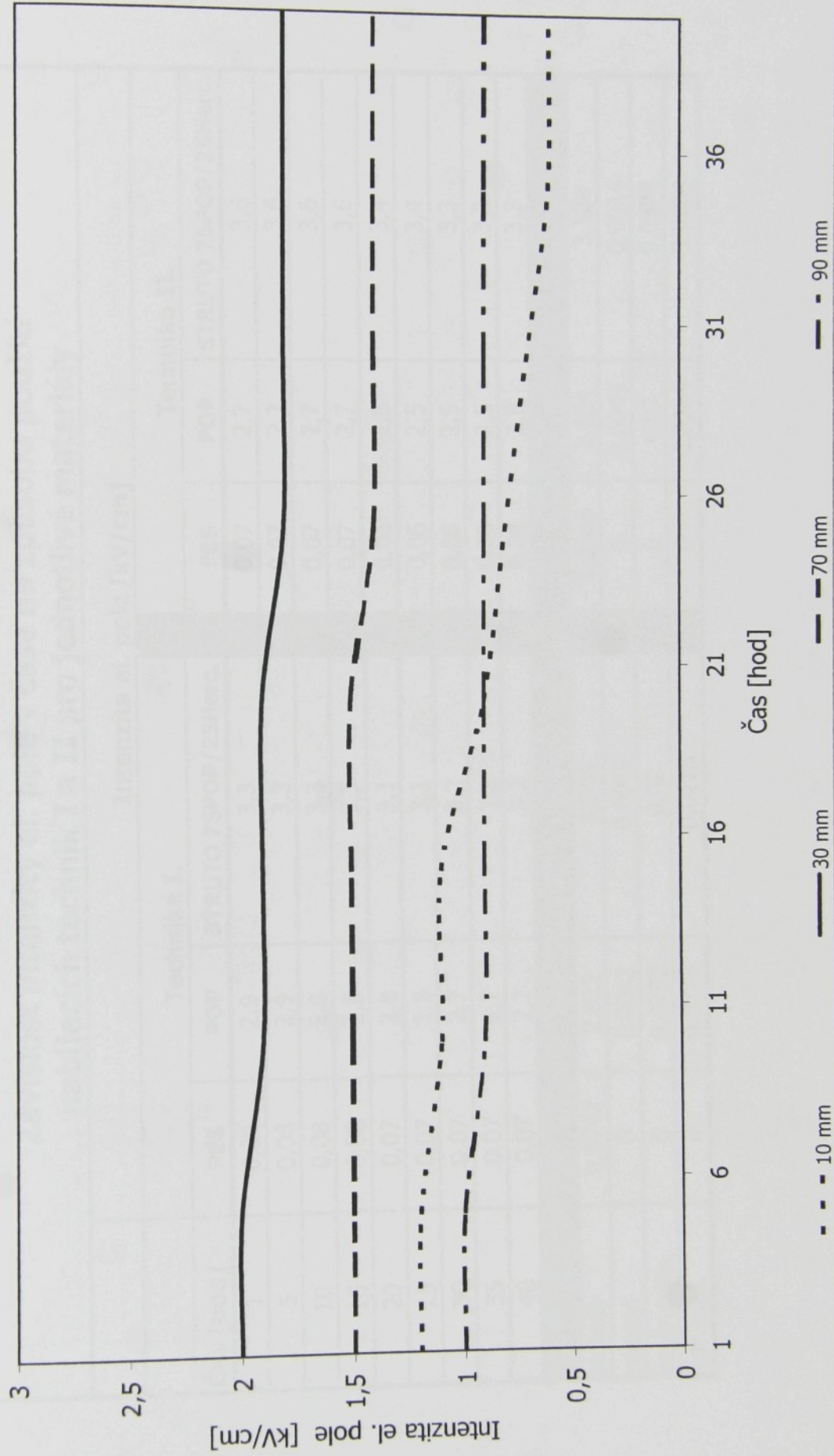
Závislost intenzity el. pole v čase na změně počtu drátových elektrod pro POP textílii



Graf č. 34 - Závislost intenzity el. pole v čase na změně počtu drátových elektrod pro POP textílii

Závislost intenzity el. pole v čase na změně vzdálenosti elektrod pro POP textílii				
	Intenzita el. pole [kV/cm]			
	Vzdálenost válcové a drátové elektrody [mm]			
Čas [hod]	10	30	70	90
1	1,2	2	1,5	1
5	1,2	2	1,5	1
10	1,1	1,9	1,5	0,9
15	1,1	1,9	1,5	0,9
20	1,1	1,9	1,5	0,9
25	0,9	1,8	1,4	0,9
30	0,9	1,8	1,4	0,9
35	0,9	1,8	1,4	0,9
40	0,9	1,8	1,4	0,9
průměr	1,068	1,968	1,428	0,742
rozptyl	0,0091	0,0022	0,0041	0,0559
směr.odch.	0,0954	0,0469	0,064	0,2364
var.koef.	0,0893	0,0238	0,0448	0,3186

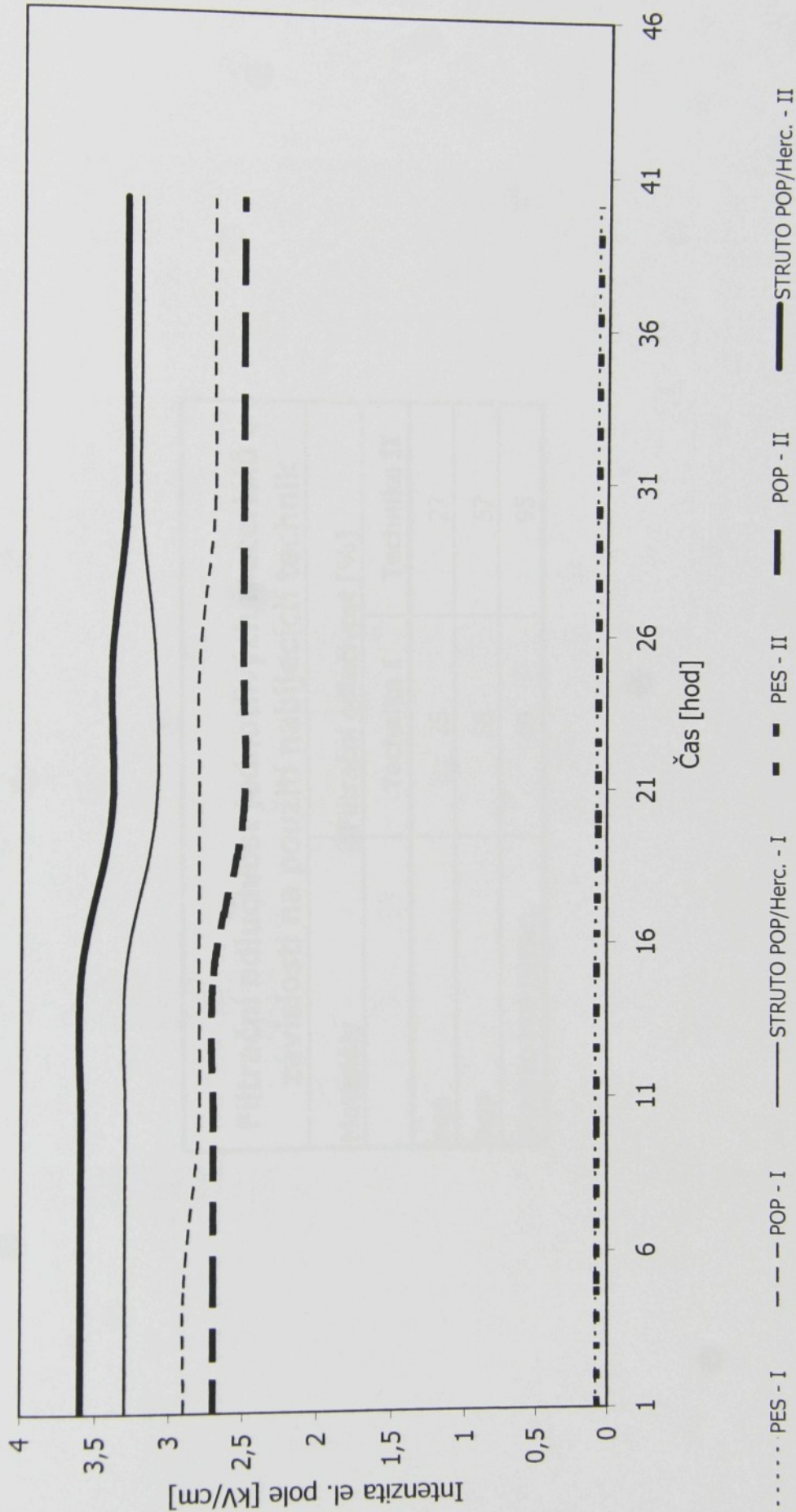
Závislost intenzity el. pole v čase na změně vzdálenosti elektrod pro POP textilií



Graf č. 35 - Závislost intenzity el. pole v čase na změně vzdálenosti elektrod pro POP textilií

Závislost intenzity el. pole v čase na způsobu použití nabíjecích technik I a II pro jednotlivé materiály						
Intenzita el. pole [kV/cm]						
Technika I.						
Čas [hod]	Technika I.			Technika II.		
	PES	POP	STRUTO 75POP/25Herc.	PES	POP	STRUTO 75POP/25Herc.
1	0,08	2,9	3,3	0,07	2,7	3,6
5	0,08	2,9	3,3	0,07	2,7	3,6
10	0,08	2,8	3,3	0,07	2,7	3,6
15	0,08	2,8	3,3	0,07	2,7	3,6
20	0,07	2,8	3,1	0,06	2,5	3,4
25	0,07	2,8	3,1	0,06	2,5	3,4
30	0,07	2,7	3,2	0,06	2,5	3,3
35	0,07	2,7	3,2	0,06	2,5	3,3
40	0,07	2,7	3,2	0,06	2,5	3,3
průměr	0,0742	2,822	3,244	0,0666	2,654	3,584
rozptyl	0	0,0062	0,0049	0	0,0049	0,0014
směr.odch.	0	0,0787	0,07	0	0,07	0,0374
var.koef.	0	0,0278	0,0216	0	0,0264	0,0104

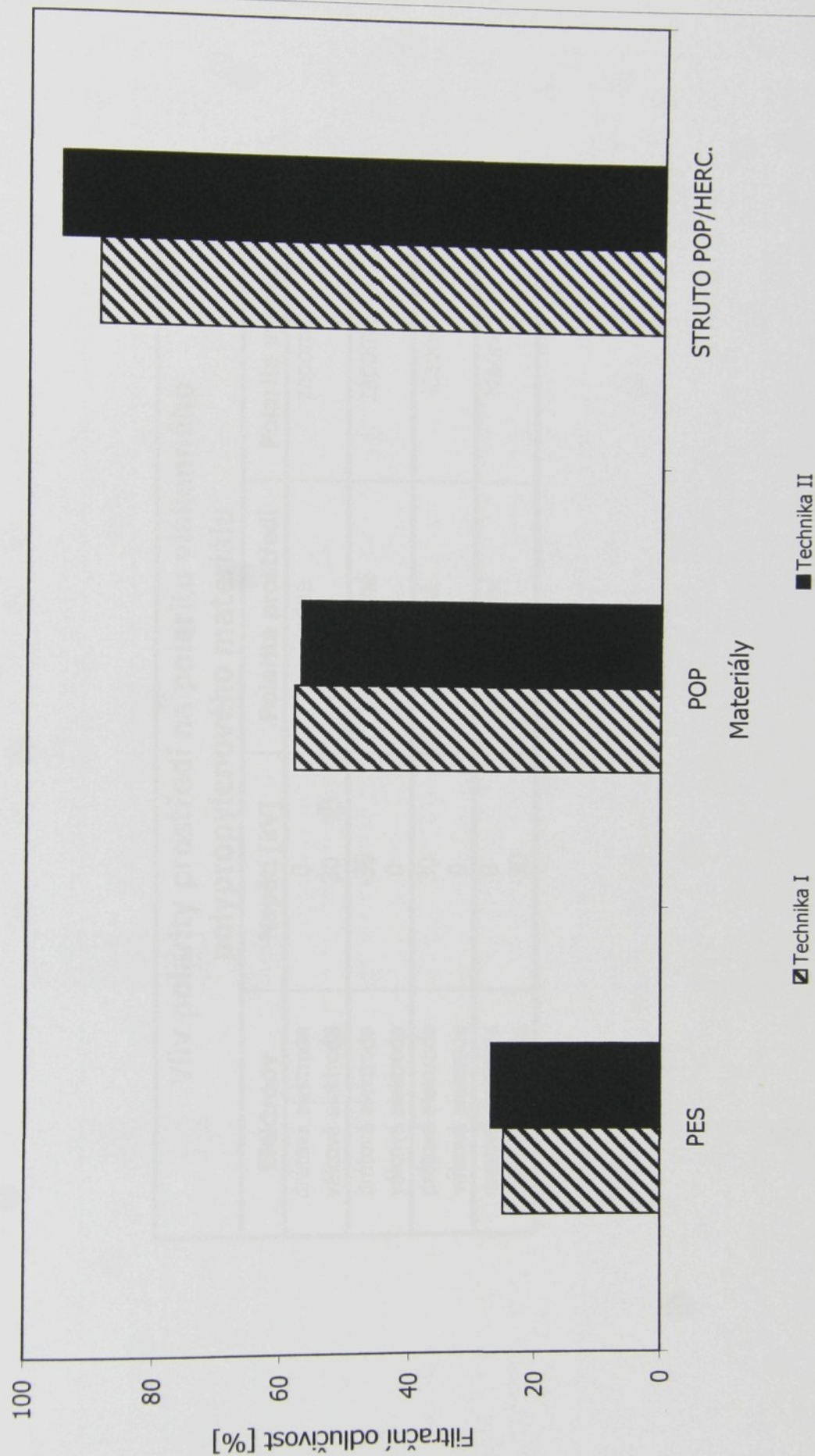
Závislost intenzity el. pole v čase na jednotlivé nabíjecí techniky



Graf č. 36 - Závislost intenzity el. pole v čase na jednotlivé nabíjecí techniky

Filtrální odlučivost jednotlivých materiálů v závislosti na použití nabíjecích technik		
Materiály	Filtrální odlučivost [%]	
	Technika I	Technika II
PES	25	27
POP	58	57
STRUTO POP/HERC.	89	95

Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů v závislosti na použití jednotlivých nabíjecích technik

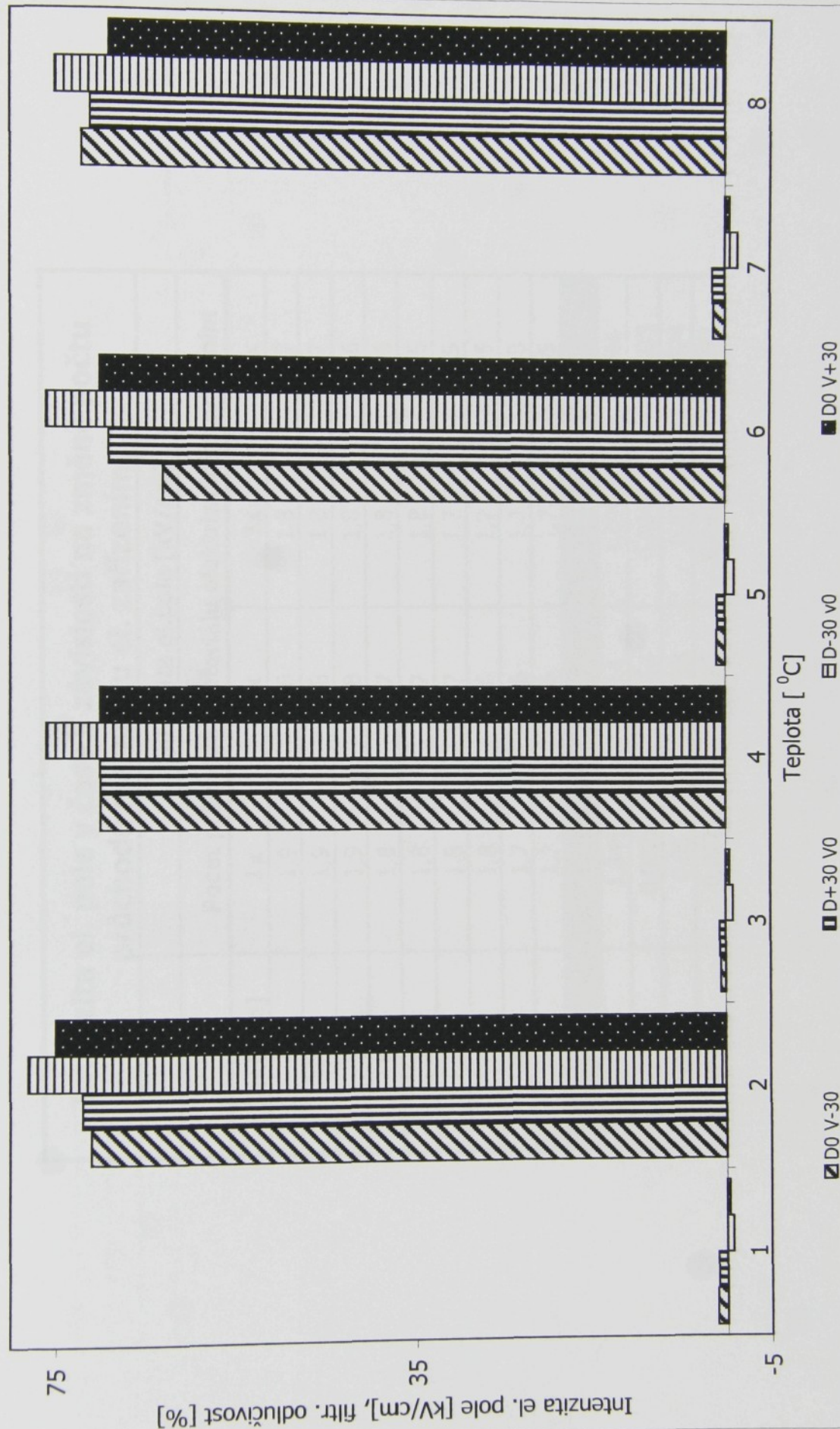


Graf č. 37 - Filtrační odlučivost jednotlivých materiálů v závislosti na použití jednotlivých nabíjecích technik

Vliv polarity prostředí na polaritu vláknenného polypropylenového materiálu			
Elektrody	Napětí [kV]	Polarita prostředí	Polarita vzorku
drátová elektroda válnková elektroda	0 30	kladné	záporné
drátová elektroda válnková elektroda	-30 0	záporné	záporné
drátová elektroda válnková elektroda	30 0	kladné	kladné
drátová elektroda válnková elektroda	0 -30	záporné	kladné

Závislost intenzity el. pole, filtrační odlučivosti a tlakového spádu na polaritě prostředí při různých teplotách pro POP textilii											
drátová elektroda 0 kV, válcová elektroda - 30 kV											
T = 20°C				T = 50°C				T = 100°C			
E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]	
1,1	71	0		0,6	70	0		1	63	0	
drátová elektroda + 30kV, válcová elektroda 0 kV											
T = 20°C				T = 50°C				T = 100°C			
E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]	
1	72	0		0,7	70	0		0,9	69	0	
drátová elektroda - 30 kV, válcová elektroda 0 kV											
T = 20°C				T = 50°C				T = 100°C			
E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]	
-0,7	78	0		-0,8	76	0		-1	76	0	
drátová elektroda 0 kV, válcová elektroda + 30 kV											
T = 20°C				T = 50°C				T = 100°C			
E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]	
-0,3	75	0		-0,4	70	0		-0,4	70	0	
T = 150°C				T = 150°C				T = 150°C			
E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]		E [kV/cm]	E _f [%]	p [Pa]	

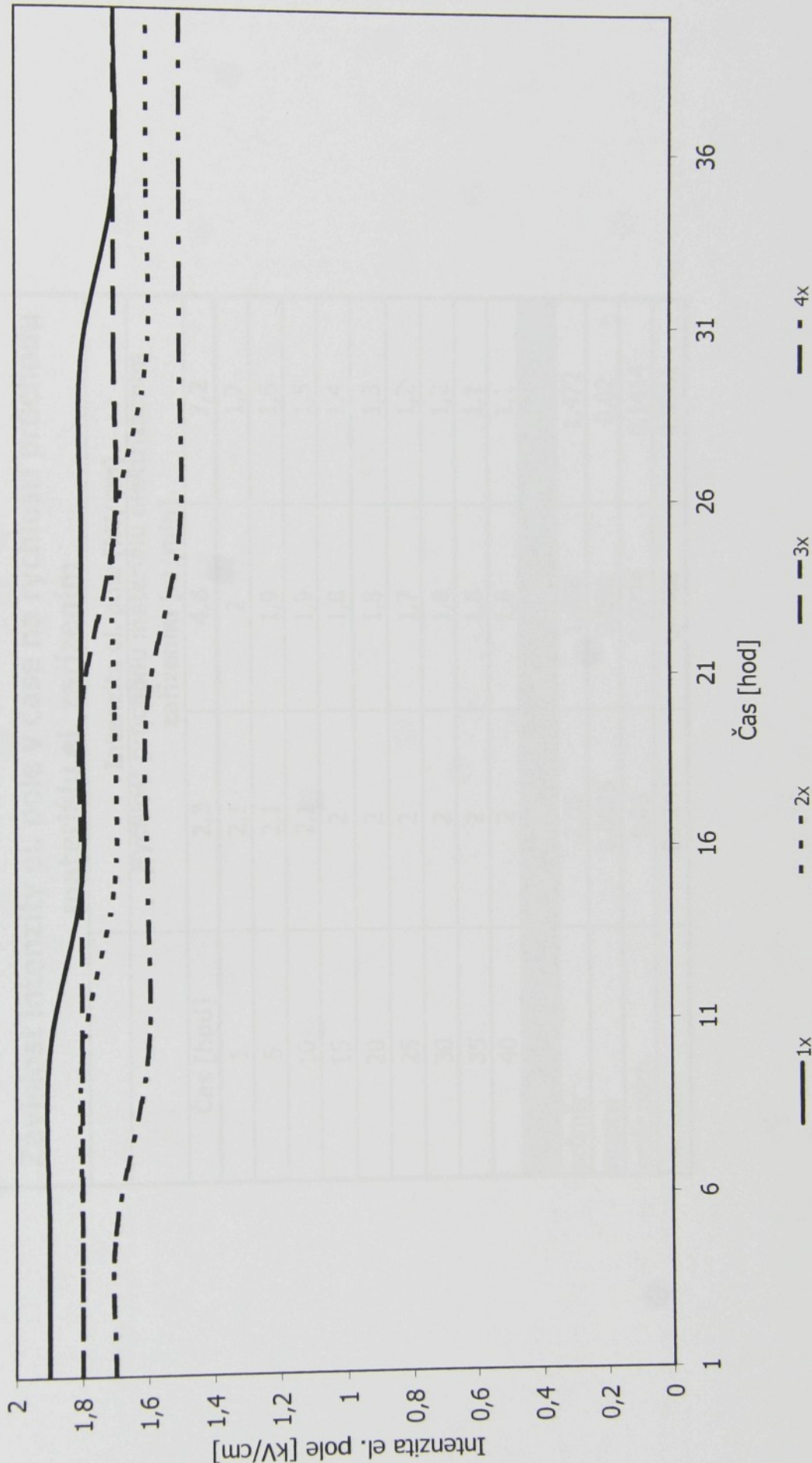
Závislost intenzity el. pole a filtrační odlučivosti na polaritě prostředí



Graf č. 39 - Závislost intenzity el. pole a filtrační odlučivosti na polaritě prostředí

Intenzita el. pole v čase v závislosti na změně počtu průchodů materiálu el. zařízením				
Intenzita el.pole [kV/cm]				
Počet průchodů materiálu elektrizačním zařízením				
Čas [hod]	1x	2x	3x	4x
1	1,9	1,8	1,8	1,7
5	1,9	1,8	1,8	1,7
10	1,9	1,8	1,8	1,6
15	1,8	1,7	1,8	1,6
20	1,8	1,7	1,8	1,6
25	1,8	1,7	1,7	1,5
30	1,8	1,6	1,7	1,5
35	1,7	1,6	1,7	1,5
40	1,7	1,6	1,7	1,5
průměr	1,846	1,714	1,696	1,546
rozptyl	0,0025	0,0053	0,0049	0,0033
směr.odch.	0,05	0,0728	0,07	0,0574
var.koef.	0,027	0,0425	0,0413	0,0371

Závislost intenzity el. pole v čase na změně počtu průchodů materiálu elektrizačním zařízením

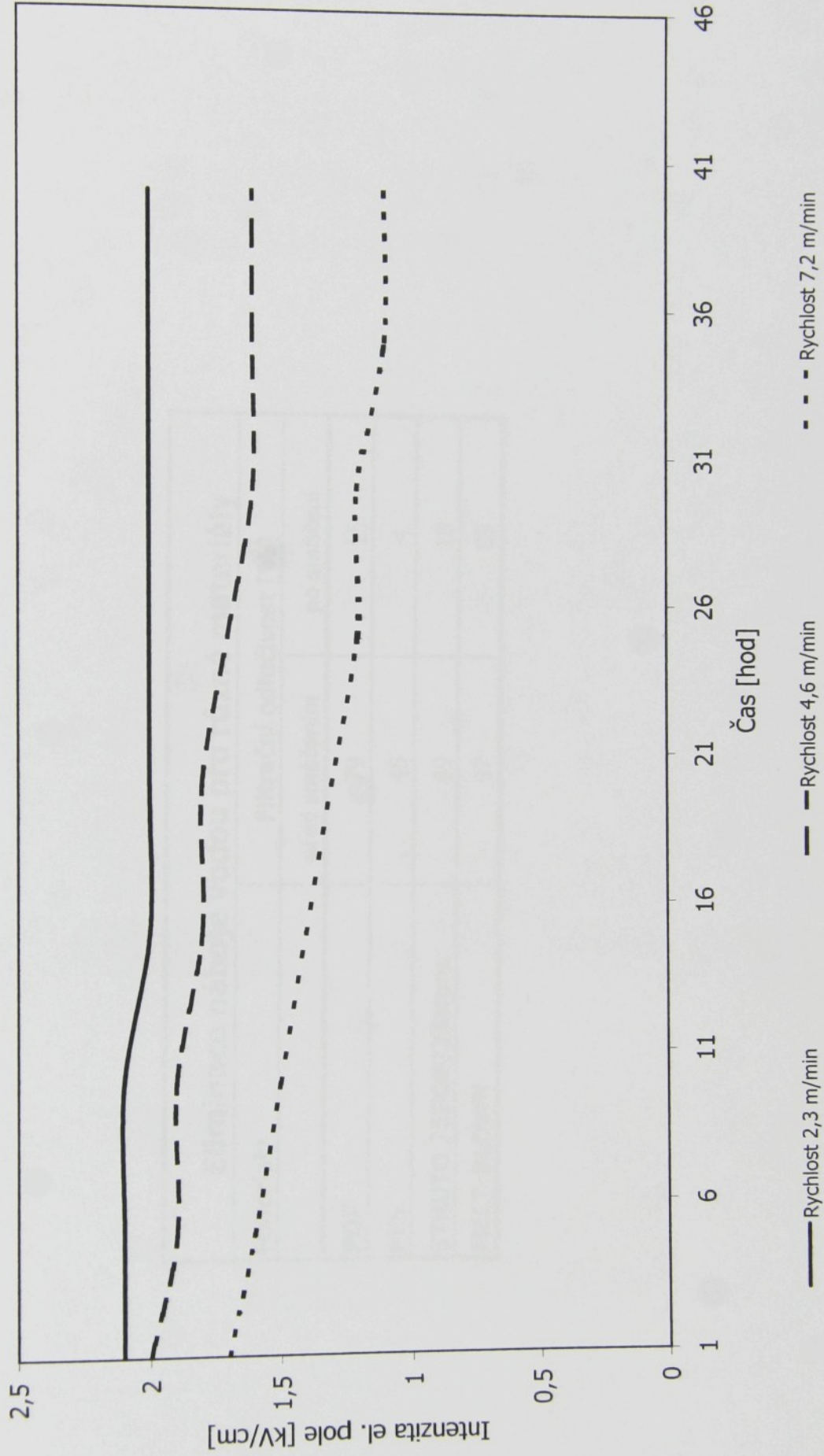


Graf č. 40 - Závislost intenzity el. pole v čase na změně počtu průchodů materiálu el. zařízením

Závislost intenzity el. pole v čase na rychlosti průchodu materiálu el. zařízením				
	Intenzita el. pole [kV/cm]			
	Rychlost průchodu materiálu elektrizačním zařízením [m/min]			
Čas [hod]	2,3	4,6	7,2	
1	2,1	2		1,7
5	2,1	1,9		1,6
10	2,1	1,9		1,5
15	2	1,8		1,4
20	2	1,8		1,3
25	2	1,7		1,2
30	2	1,6		1,2
35	2	1,6		1,1
40	2	1,6		1,1
průměr	2,05	1,908		1,472
rozptyl	0,0025	0,006		0,02
směr.odch.	0,05	0,0774		0,1414
var.koef.	0,0244	0,0406		0,0961

Tabulka č. 41

Závislost intenzity el. pole v čase na rychlosti průchodu materiálu elektrizačním zařízením

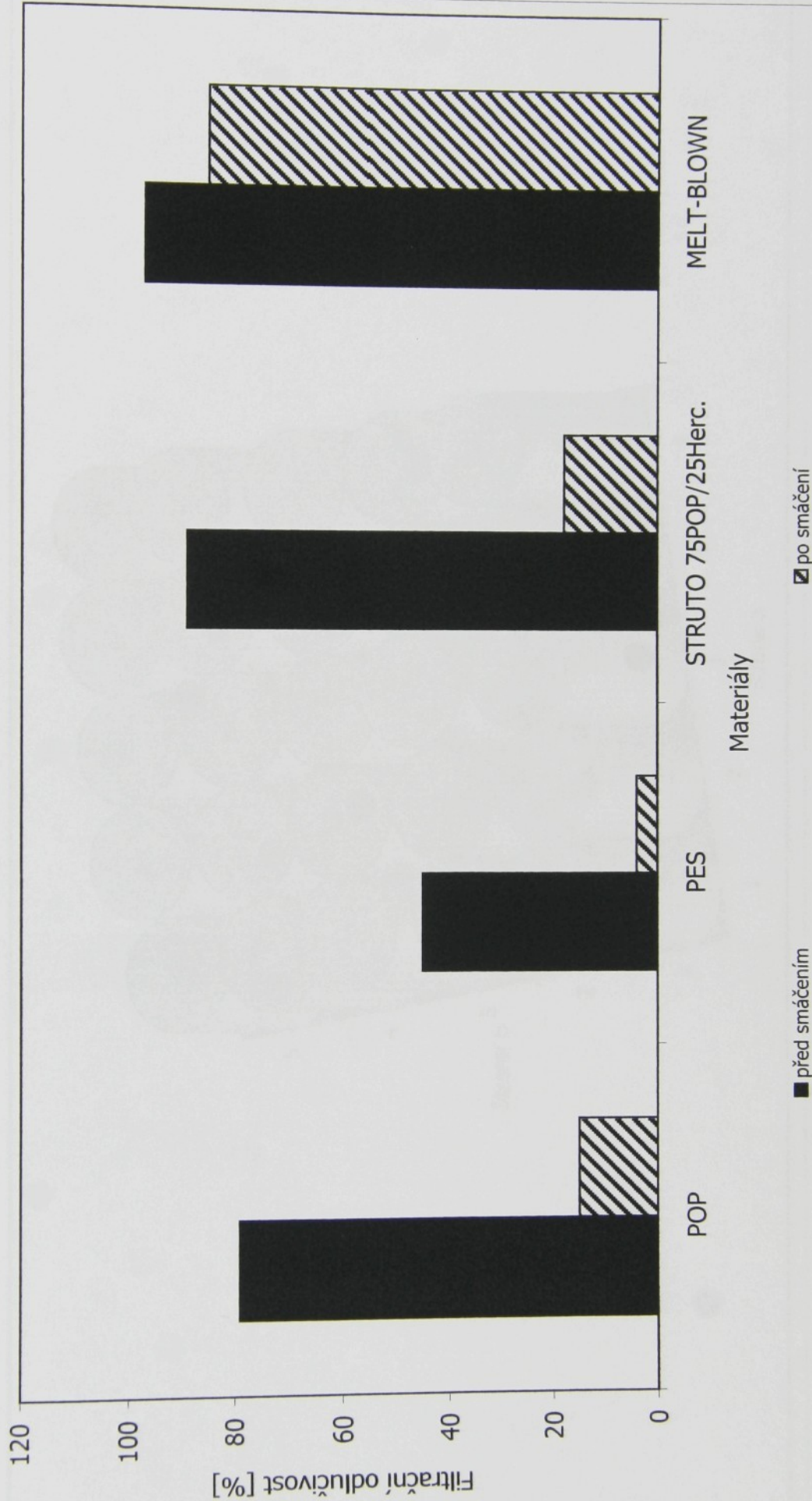


Graf č. 41 - Závislost intenzity el. pole v čase na rychlosti průchodu materiálu elektrizačním zařízením

Eliminace náboje vodou pro různé materiály		
Materiály	Filtrální odlučivost [%]	
	před smáčením	po smáčení
POP	79	15
PES	45	4
STRUTO 75POP/25Herc.	89	18
MELT-BLOWN	97	85

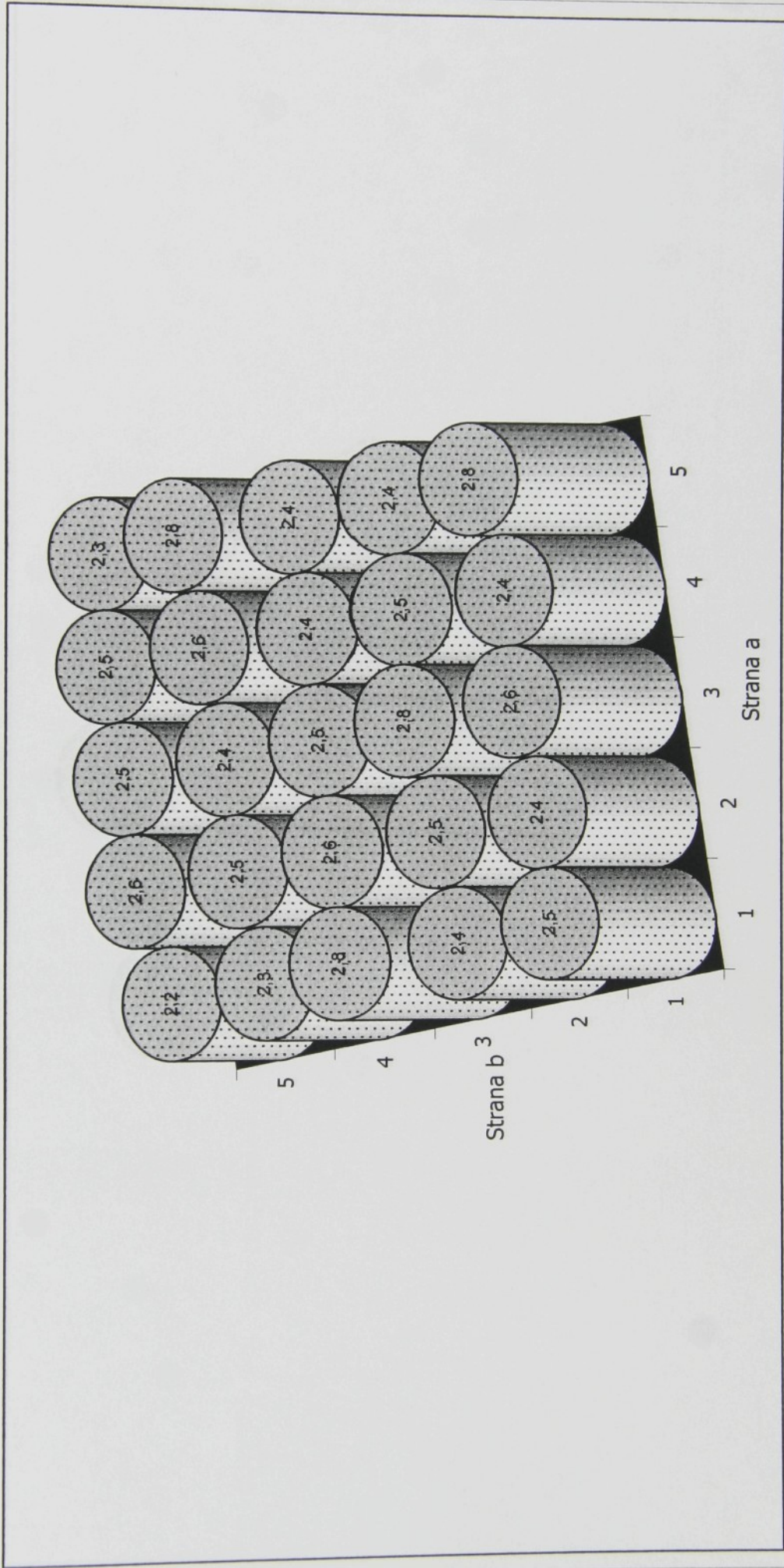
Tabulka č. 42

Závislost filtrační odlučivosti na eliminaci náboje vodou pro různé materiály



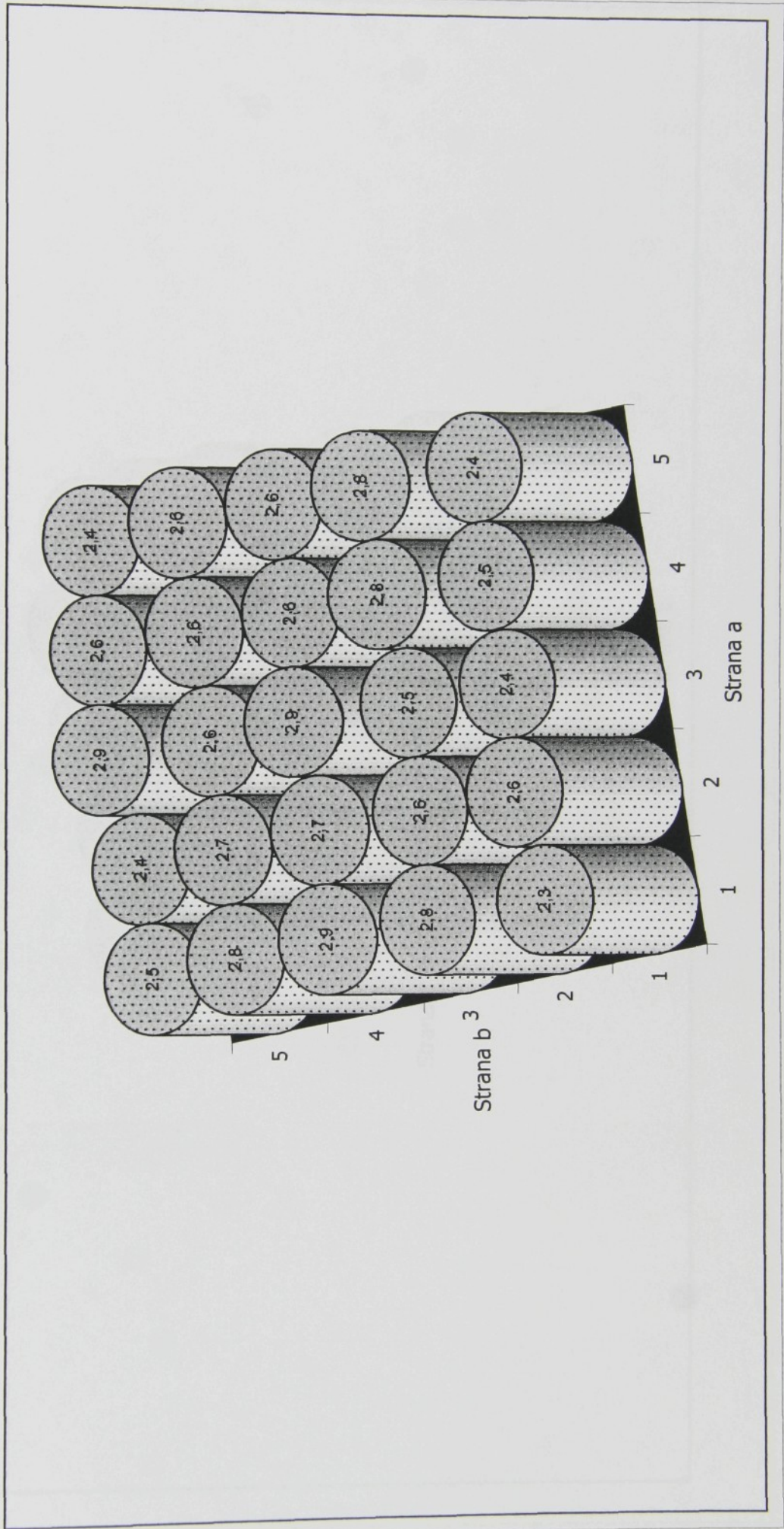
Graf č. 42 - Závislost filtrační odlučivosti na eliminaci náboje vodou pro různé materiály

Rozložení intenzity el. pole na vzorku MELT - BLOWN 10 x 10 cm
lícová strana



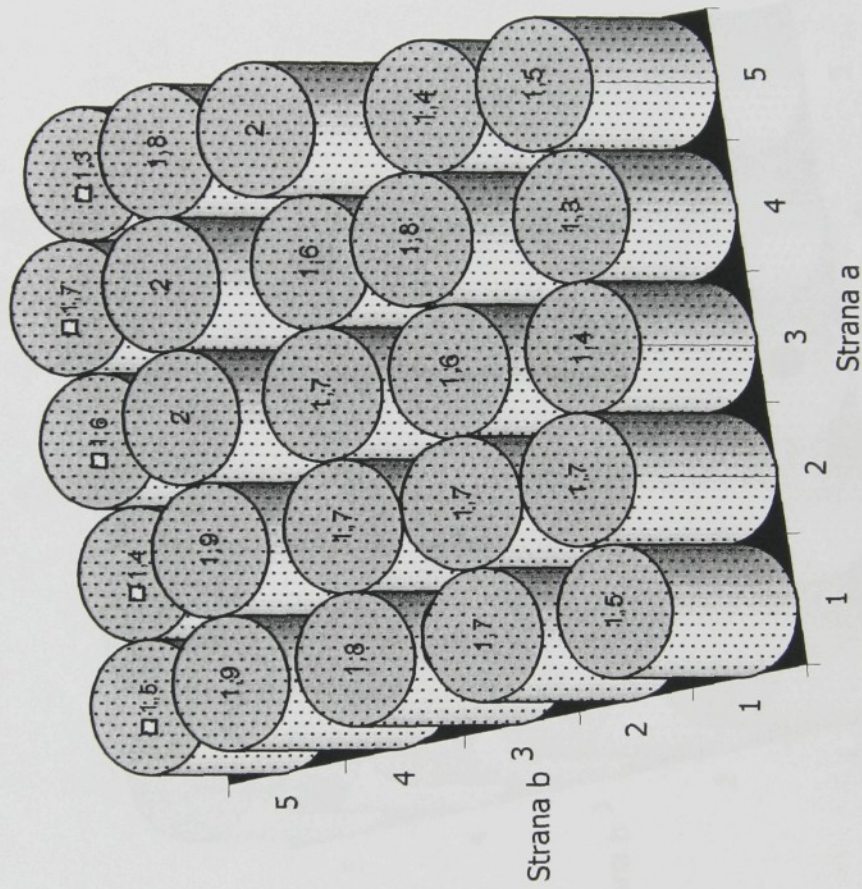
Graf č. 44a - Rozložení intenzity el. pole na vzorku MELT - BLOWN 10 x 10 cm - lícová strana

Rozložení intenzity el. pole na vzorku MELT - BLOWN 10 x 10 cm rubová strana



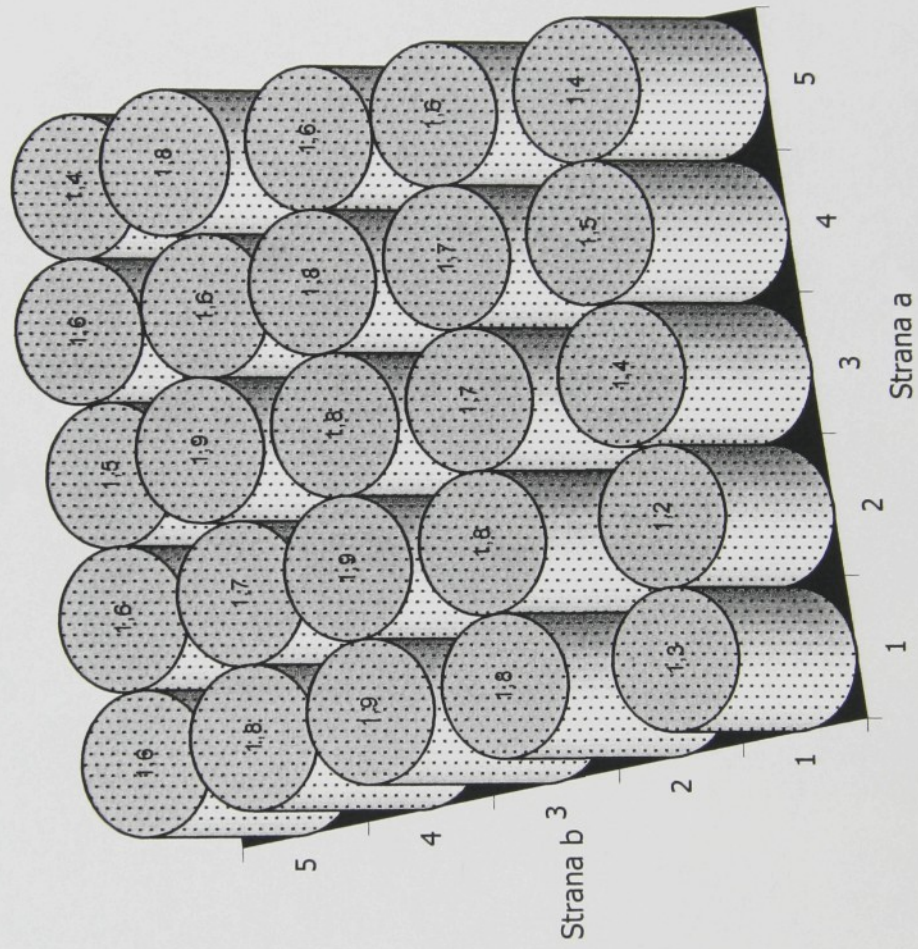
Graf č. 44b - Rozložení intenzity el. pole na vzorku MELT - BLOWN 10 x 10 cm - rubová strana

Rozložení intenzity el. pole na vzorku STRUTO 10 x 10 cm
lícová strana



Graf č. 45a - Rozložení intenzity el. pole na vzorku STRUTO 10 x 10 cm - lícová strana

**Rozložení intenzity el. pole na vzorku STRUTO 10 x 10 cm
rubová strana**



Graf č. 45b - Rozložení intenzity el. pole na vzorku STRUTO 10 x 10 cm - rubová strana

U 594 T