

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÁ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

**PRÍPRAVA PLOŠNÝCH ÚTVAROV  
S OBHAHOM SUPERJEMNÝCH VLÁKEN**

**Soňa LAKATOVÁ**

---

**1997**

TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC

FAKULTA TEXTILNÁ

Obor 3126 - 52

Textilná technológia

KATEDRA NETKANÝCH TEXTILÍ

## PRÍPRAVA PLOŠNÝCH ÚTVAROV S OBSAHOM SUPERJEMNÝCH VLÁKEN

Soňa LAKATOVÁ

Vedúci diplomovej práce : Ing. Lenka Martinová, CSc.  
TU Liberec

Rozsah diplomovej práce :

|               |      |
|---------------|------|
| Počet stran   | : 76 |
| Počet tabulek | : 29 |
| Počet obrázků | : 20 |
| Počet grafov  | : 11 |



Fakulta textilní

Katedra netkaných textilií

Školní rok: 1996-1997

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Soňu L a k a t o v o u

obor 3126 - 53 Textilní technologie, obor netkané textilie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Příprava plošných útvarů a obsahem superjemných vláken

### Zásady pro vypracování :

1. Prostudujte dostupné informace o technologii melt-blown a vlastnostech těchto výrobků.
2. Důkladně se seznámte s obsahem a proměnnými parametry polo-provozní jednotky melt-blown.
3. Připravte plošné útvary s různým obsahem pojivých vláken (např. POP/PE, PES/koPES, PE).
4. Zpracujte vláknenné vrstvy do objemné textilie a zhodnoťte jejich základní vlastnosti a výsledky diskutujte.

KNT/NT

70 s., 5 s. příl.

V 11/98 T

1994

Rozsah grafických prací: TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

1. Firemní literatura J&M Laboratories
2. Kolektiv: Melt-blown Technology Today, Miller Freeman, Inc., 1989,  
San Francisco

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lenka Martinová, CSc.

Konzultant:

Zadání diplomové práce: 16.10.1996

Termín odevzdání diplomové práce: 30.5.1997



Vedoucí katedry

Děkan

*Jirsák*  
Doc. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.

*Militký*  
Prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

V Liberci dne 16.10.1996



# OBSAH

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD</b>                                                    | <b>8</b>  |
| <b>2. TEORETICKÁ ČASŤ</b>                                         | <b>9</b>  |
| <b>2. 1. Technológia melt-blown</b>                               | <b>9</b>  |
| 2. 1. 1. <i>Efekt nízkeho indexu toku polymeru</i>                | <i>10</i> |
| 2. 1. 2. <i>Efekt zmeny rýchlosti vzduchu</i>                     | <i>11</i> |
| <b>2. 2. Štruktúra melt-blown</b>                                 | <b>12</b> |
| <b>2. 3. Zhodnotenie technológie melt-blown</b>                   | <b>15</b> |
| <b>2. 4. Účinnosť melt-blown procesu</b>                          | <b>18</b> |
| <b>2. 5. Aplikácia melt-blown</b>                                 | <b>21</b> |
| 2. 5. 1. <i>Charakteristika POP</i>                               | <i>21</i> |
| 2. 5. 2. <i>Viskozita taveniny POP</i>                            | <i>22</i> |
| 2. 5. 3. <i>Výber polymeru pre melt-blown</i>                     | <i>24</i> |
| 2. 5. 4. <i>Distribučná krivka molekulovej hmotnosti POP</i>      | <i>25</i> |
| <b>2. 6. Polymerné zmesi</b>                                      | <b>25</b> |
| 2. 6. 1. <i>Klasifikácia polymernej zmesi</i>                     | <i>25</i> |
| 2. 6. 2. <i>Termodynamické a fázové chovanie polymernej zmesi</i> | <i>26</i> |
| 2. 6. 3. <i>Charakteristika polymernej zmesi</i>                  | <i>29</i> |
| 2. 6. 4. <i>Vlastnosti polymernej zmesi</i>                       | <i>30</i> |
| 2. 6. 5. <i>Komerčné polymerné zmesi</i>                          | <i>31</i> |
| 2. 6. 5. 1. <i>Miesiteľné zmesi</i>                               | <i>31</i> |
| 2. 6. 5. 2. <i>Nemiesiteľné zmesi</i>                             | <i>31</i> |
| <b>2. 7. Vzmedzenie pojmu filtrácie</b>                           | <b>31</b> |
| 2. 7. 1. <i>Filtračné vlastnosti</i>                              | <i>32</i> |
| 2. 7. 2. <i>Filtračné vlastnosti filtrov</i>                      | <i>32</i> |
| 2. 7. 3. <i>Filtračné materiály</i>                               | <i>33</i> |
| 2. 7. 4. <i>Základné charakteristiky filtrov a filtrácie</i>      | <i>34</i> |

|                                                                      |               |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|
| 2. 7. 5. <i>Filtračné mechanizmy</i>                                 | 36            |
| <b>2. 8. Povrch filtra a hĺbka filtrácie</b>                         | <b>37</b>     |
| 2. 8. 1. <i>Zanášanie filtrov</i>                                    | 38            |
| <b>2. 9. Aplikácia filtrov</b>                                       | <b>39</b>     |
| <b>2. 10. Zhrnutie teoretickej časti</b>                             | <b>41</b>     |
| <b>2. 11. Cieľ diplomovej práce</b>                                  | <b>41</b>     |
| <br><b>3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ</b>                                    | <br><b>42</b> |
| 3. 1. <b>Príprava vzoriek pre experiment</b>                         | <b>42</b>     |
| 3. 1. 1. <i>Príprava vlákenného materiálu</i>                        | 42            |
| 3. 2. <b>Výroba plošného útvaru</b>                                  | <b>45</b>     |
| 3. 2. 1. <i>Príprava plošného útvaru pre objemnú textiliu</i>        | 46            |
| 3. 3. <b>Výroba objemnej textilie</b>                                | <b>46</b>     |
| 3. 4. <b>Meranie charakteristických parametrov</b>                   |               |
| <b>vyrobených NT</b>                                                 | <b>47</b>     |
| 3. 4. 1. <i>Filtrácia prachu</i>                                     | 47            |
| 3. 4. 2. <i>Relatívna četnosť zastúpenia vlákna j-tej komponenty</i> |               |
| <i>v zmesi</i>                                                       | 51            |
| 3. 4. 3. <i>Určenie priemeru mikrovláken</i>                         | 51            |
| 3. 4. 4. <i>Určenie hrúbky filtrov</i>                               | 52            |
| 3. 4. 5. <i>Rozbor filtra DGA 091 001</i>                            | 52            |
| 3. 4. 6. <i>Zisťovanie predýšnosti filtrov</i>                       | 54            |
| <br><b>4. ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV MERANÍ -</b>                         |               |
| <b>DISKÚSIA</b>                                                      | <b>55</b>     |
| <br><b>5. ZÁVER</b>                                                  | <br><b>67</b> |
| <b>POUŽITÁ LITERATÚRA</b>                                            | <b>70</b>     |
| <b>PRÍLOHA</b>                                                       | <b>71</b>     |



## LEGENDA

|                                             |                                          |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| IT                                          | <i>index toku</i>                        |
| MB                                          | <i>melt-blown</i>                        |
| MFR ( melt flow rate, ang. )                | <i>index toku</i>                        |
| POP                                         | <i>polypropylén</i>                      |
| VV POP                                      | <i>vysokoviskózna polypropylén</i>       |
| PES                                         | <i>polyester</i>                         |
| ko PES                                      | <i>kopolyester</i>                       |
| PVC                                         | <i>polyvinylchlorid</i>                  |
| $\eta_j$                                    | <i>j-tá časť komponenty</i>              |
| $M_w$                                       | <i>molekulová hmotnosť</i>               |
| $M_n$                                       | <i>polydisperzný index</i>               |
| $T_g$                                       | <i>teplota skelného prechodu</i>         |
| MWD ( molecular weight distribution, ang. ) | <i>distribúcia molekulovej hmotnosti</i> |
| GPC ( gel permeation chromatography, ang. ) | <i>gelová chromatografia</i>             |

# 1. ÚVOD

Technológia melt-blown je jedna z najnovších technológií vo vývoji výroby NT. Táto technológia je výjimočná tým, že je schopná vyrobiť rádovo mikrovlákná oproti veľkostiam vlákien bežne používaných textilnom priemysle.

Výroba spočíva v rozfukovaní taveniny do mikrovláknenných rún. Priemer vlákien melt-blown sa pohybuje od 2 - 4  $\mu\text{m}$ . Je možné vyrobiť aj jemnejšie vlákna s priemerom 0,1  $\mu\text{m}$ , ale aj hrubšie 10 - 15  $\mu\text{m}$ .

Základom technológie melt-blown výroby je skorigovanie nasledujúcich parametrov:

- typu polymeru
- jemnosti a dĺžky vlákien
- formovanie vlákennej vrstvy
- navíjania
- konečnej úpravy

Mikrovláknenná štruktúra melt-blown dodáva textíliam ich charakteristické vlastnosti. K podtrhnutiu nových charakteristických vlastností sa v súčasnej dobe začínajú používať rôzne zmesové materiály ( napr. PES / koPES, POP / VV POP atď ).

V roku 1989 bola zaznamenaná spotreba výroby melt-blown 45,5 ton. Táto spotreba sa každoročne zvyšuje. Najväčší dopyt je po filtračných médiach vyrábaných technológiou melt-blown. Filtračné média sú rozlišované pre filtráciu kvapalin a plynov, z čoho 65 % -ná spotreba je pre filtráciu kvapalín a 35 % -ná pre filtráciu plynov. Niektoré druhy filtrov sa vyznačujú objemnosťou, čo je možné využiť pri filtrácii prachov či aerosolov, ale aj ako tepelno-izolačné alebo zvukovo-izolačné materiály.

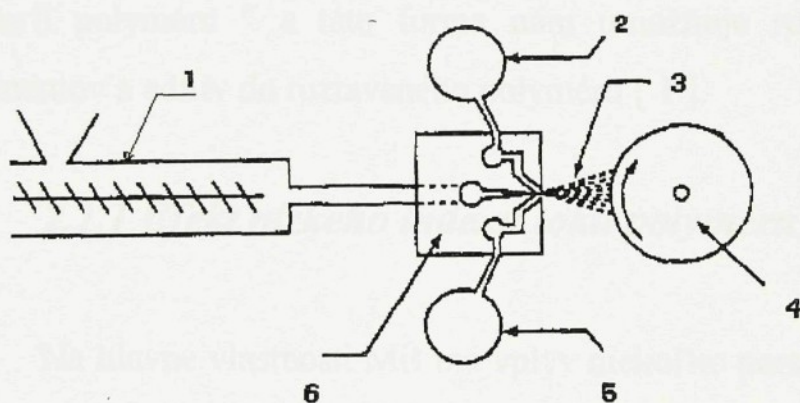


## 2 . TEORETICKÁ ČASŤ

### 2 . 1 Technológia melt - blown

Melt-blown proces je možné zaradiť do polymer -kladených netkaných textílií. Je to proces , v ktorom sa obyčajne polymer taví pomocou taviaceho extrudéru. Formovanie výsledného vlákna nastáva skrz rad trysiek s malými priermi. Pomocou prúdu teplého vzduchu sú formované extrémne jemné vlákna s priemerom  $1-5\mu\text{m}$  , ktoré sú rozfukované vysokou rýchlosťou vzduchu na povrch kolektoru, čím je formovaná pavučina melt-blownu [ 1 ].

Obr. 1 Výrobná linka melt-blown



1- taviaci extrudér , 2-5 - rozvod horúceho vzduchu , 3- formovanie vlákien ,  
4 - zberný bubon , 6 - zvlákňovacia hubica

Pevnosť melt-blown ( MB ) na jednotku hmoty v porovnaní s inými technológiami je omnoho menšia. Kombináciou MB a NT vyrobené inými



technologiami získame lepšie vlastnosti výslednej NT. Napr.: príkladom použitia MB alebo kombináciou MB a inej NT sú olejové sorbenty, plienky, chirurgické respirátory, ochranné masky, filtračné materiály pre filtráciu vzduchu a kvapalín, separátory pre lítium batérie, ochranný odev, dámske hygienické prostriedky.

Prvé roky po zavedení technológie MB bol používaný POP s IT 35 a s úzkou distribučnou krivkou molekulovej hmotnosti. Od roku 1981 sa používal pop s IT 300.

V dnešnej dobe je používaný polymer s IT 400-800 v granulovanej forme. Hlavnou výhodou vysokého IT je vysoký stupeň pretlačenia a nízka pracovná teplota. Nízka pracovná teplota znižuje energetické náklady, zvyšuje životnosť tavného extrudéra a dovoľuje použiť veľké množstvo rôznych pigmentov a aditív.

Granulovaná forma polyméru nám zaručí to, že sa vyhneme tzv. "tepelnej histórii polyméru" a táto forma nám umožňuje rovnomerné dispergovanie pigmentov a aditív do roztaveného polyméru [ 1 ].

### ***2.1.1 Efekt nízkeho indexu toku polyméru***

Na hlavné vlastnosti MB má vplyv niekoľko parametrov medzi ktoré patrí aj IT. Fyzikálne a morfológické zmeny MB sú charakterizované použitím rôzneho IT, stupňom pretlačenia a rýchlosťou vzduchu, ktorý formuje MB vlákno. Zmeny týchto parametrov sa odrážajú v pevnostných vlastnostiach NT, odolnosti voči ohybu, prerazu, pri RTG difrakcii GPC a pevnosti jednotlivého vlákna.

Boli porovnané taveniny polyméru s rôznym IT a pre každú taveninu bola použitá iná teplota v taviacom extrudéri. Tieto zmeny boli prevedené v dôsledku zlepšenia omaku a minimalizácie výrobných chýb ( dĺžka a priemer vlákna ) [ 1 ].

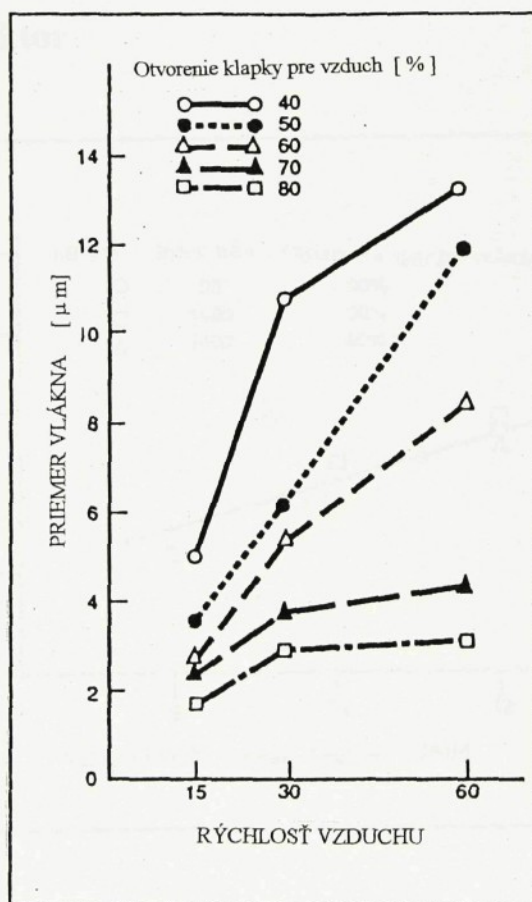


## 2. 1. 2 Efekt zmeny rýchlosti vzduchu

### Priemer vlákna

Na obr.2 sú znázornené priemerne hodnoty priemeru vlákien ku rýchlosti vzduchu vháňaného do extrudéra pre tri rôzne stupne pretlačenia a päť veľkostí rýchlosti vháňaného vzduchu. Bol použitý POP s IT 300. Pri každej rýchlosti vzduchu sa priemer vlákna znižoval so zvyšujúcim sa pomerom vzduchu voči objemu granulátu. Priemer vlákna sa tiež znižoval so znižujúcim sa stupňom pretlačenia, avšak boli zistené menšie rozdiely vlákien pri vyššej rýchlosti vzduchu [ 1 ].

**Obr . 2 Priemer vlákien v závislosti na rýchlosťou vzduchu**

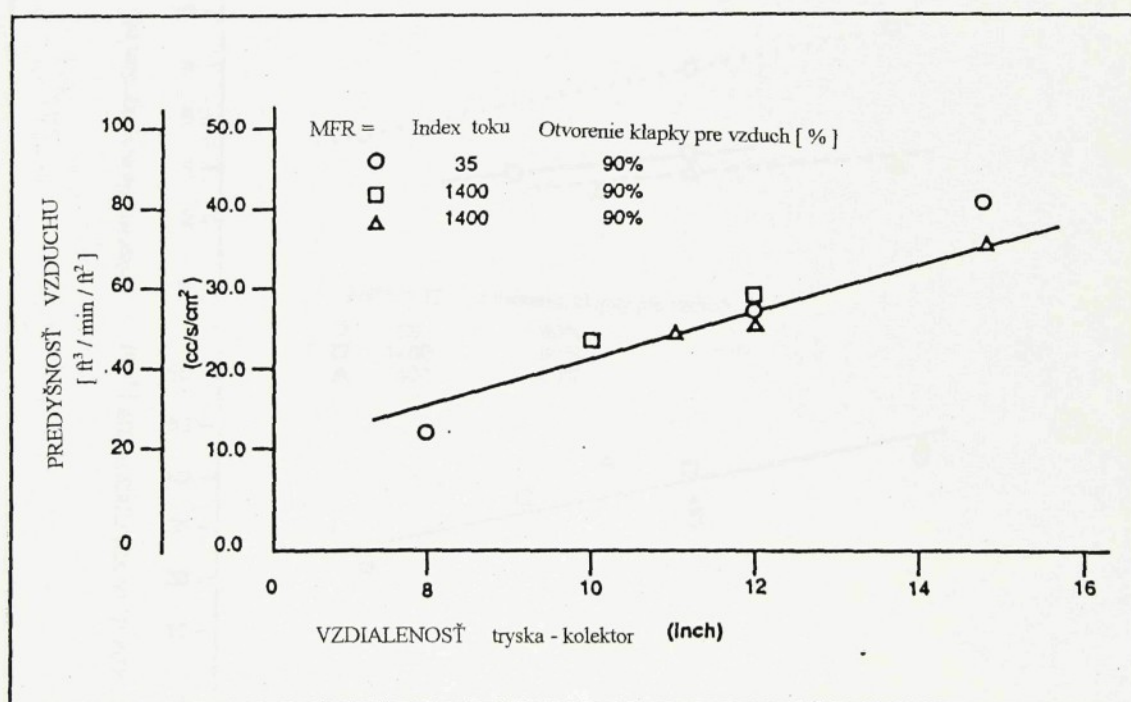


## 2.2 Štruktúra melt-blown

MB sú používané ako filtračné média z dôvodu ich jemnej štruktúry mikrodienier. Priemerná hodnota priemeru vlákna je iba niekoľko mikrometrov v porovnaní s priemerom vlákien ostatných textílií, kde sa priemer vlákien pohybuje od 15-50  $\mu\text{m}$ . Uplatnenie MB ako filter rapidne rastie a zaujíma 1/8 celkovej produkcie materiálov pre výrobu filtrov.

Filtračná prepustnosť vzduchu MB NT vyrobenej z POP pri rôznych podmienkach bola nameraná v závislosti na zmene vzdialenosti zvlákňovania tryska - kolektor, ( obr.č.3 ).

**Obr . 3 Závislosť priepustnosti vzduchu na vzdialenosti zvlákňovania tryska-kolektor**

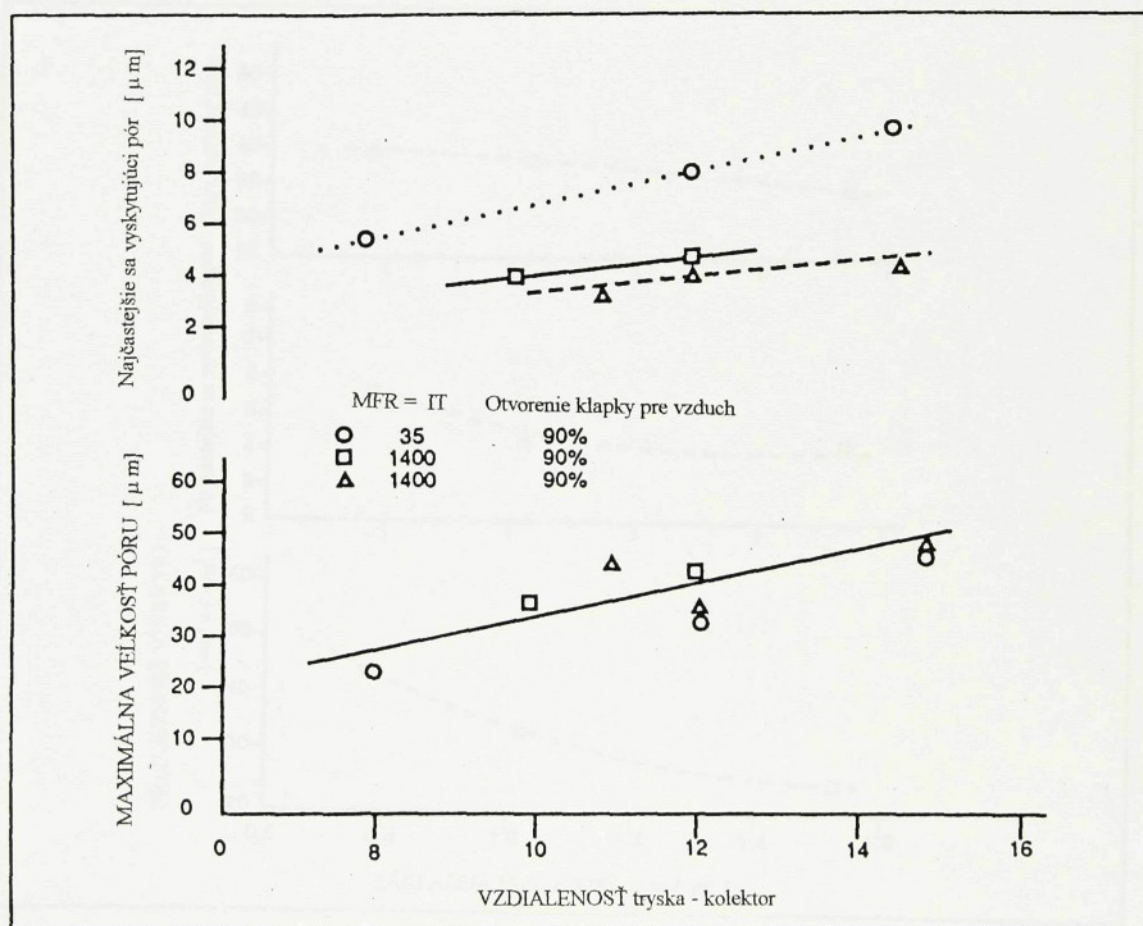




Filtračná priepustnosť vzduchu MB NT lineárne rastie s vysokou vzdialenosťou tryska - kolektor . MB vyrobený pri väčších vzdialenostiach tryska - kolektor vykazuje menšiu odolnosť voči prechodu vzduchu , čo je dané viacej poréznu štruktúrou. Prepustnosť vzduchu je daná distribučnou krivkou veľkosti pórov danej MB NT .

Na obr. č.4 je znázornená max. veľkosť póru a najviac sa vyskytujúca veľkosť póru distribučnej krivky v závislosti na vzdialenosti tryska - kolektor. Podobne tiež najväčší priemer póru sa zväčšuje so vzdialenosťou tryska - kolektor [ 1 ].

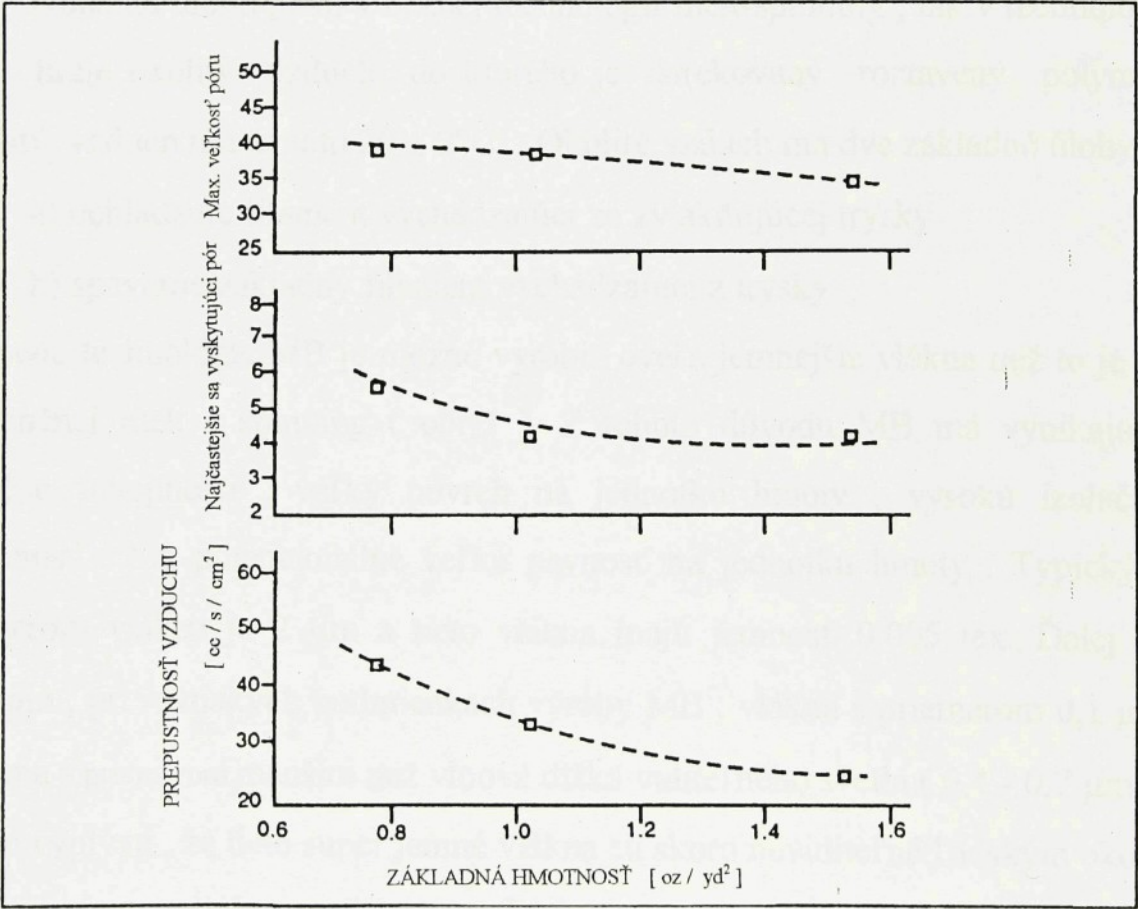
**Obr. 4 Distribučná krivka veľkosti pórov na vzdialenosti tryska-kolektor**



Na obr. č 5 je zobrazený efekt najčastejšie sa vyskytujúceho priemeru póru a najväčšieho priemeru póru na hmotnosti MB NT . Všetky tri parametre( priemer najčastejšie sa vyskytujúceho póru , priemer najväčšieho póru a prechod vzduchu ) sa zväčšuje so zvyšujúcou sa hmotnosťou .

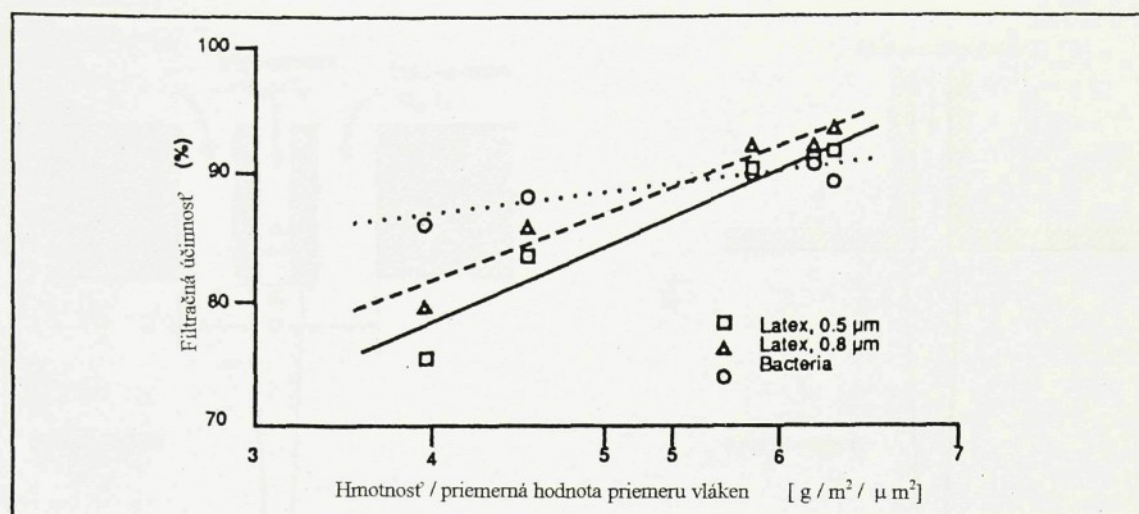
Na obr.č.6 je naznačená filtračná účinnosť pre častice 0,5 a 0,8  $\mu\text{m}$  v závislosti na parametre plošnej hmotnosti  $\text{g/m}^2$  a priemerneho priemeru vlákna v  $\mu\text{m}$  . Filtračná odľučivosť sa zvýši so zvyšujúcim sa pomerom  $W/dp$  . Táto lineárna závislosť bola už dávno zistená pre filtračné materiály vyrobené "mokrým " a " suchým " spôsobom kde filtračná účinnosť sa zvyšuje so zvyšujúcou sa hmotnosťou NT a znižuje sa priemer vlákien .

Obr. 5 Výskyt priemeru póru v závislosti na hmotnosti





Obr. 6 Závislosť účinnosti na plošnej hmotnosti



### 2.3 Zhodnotenie technológie melt - blown

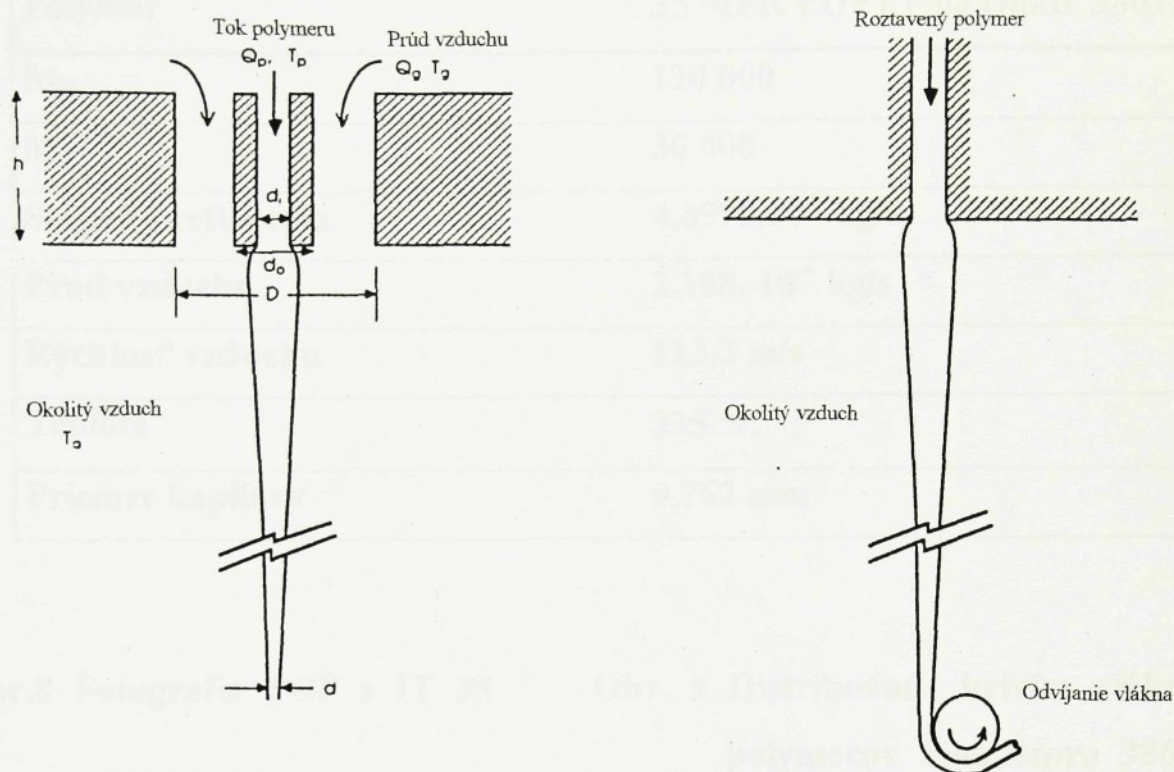
Dôležitú úlohu, ako v bežnej technológii melt-spinning, tak v technológii MB, hraje okolitý vzduch do ktorého je vstrekaný roztavený polymer. Okolitý vzduch má teplotu  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Okolitý vzduch má dve základné úlohy:

- a) ochladzuje filament vychádzajúci zo zvlákňujúcej trysky
- b) spevňuje základný filament vychádzajúci z trysky

Pomocou technológie MB je možné vyrobiť oveľa jemnejšie vlákna než to je u konvenčnej melt-spinning (obr.7). Z tohoto dôvodu MB má vynikajúce filtračné schopnosti, veľký povrch na jednotku hmoty, vysokú izolačnú schopnosť. Má potencionálne veľkú pevnosť na jednotku hmoty. Typickým priemerom vlákien je  $2 \mu\text{m}$  a tieto vlákna majú jemnosť 0,005 tex. Ďalej sa vyrábajú, pri rovnakých podmienkach výroby MB, vlákna s priemerom  $0,1 \mu\text{m}$  a vlákna s priemerom menším než vlnová dĺžka viditeľného svetla ( $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$ ). Z toho vyplýva, že tieto super jemné vlákna sú skoro neviditeľné ľudským okom a ani pomocou optického mikroskopu [1].



**Obr. 7 Ústie trysiek melt-blown a melt-spinning**



Síla vzduchu , ktorá stenčuje vlákno pri výrobe MB , je oveľa menšia ako pri bežnom melt - spinning zvlákňovaní. Napr. pre získanie najmenších vlákien čo do priemeru (  $0,1 \mu\text{m}$  ) vzduch stenčuje vlákno s priemeru  $750 \mu\text{m}$  až do priemeru  $0,1 \mu\text{m}$  za dobu  $200 \mu\text{s}$  vo vzdialenosti  $3 \text{ cm}$ .

POP je najviac používaný polymer pre výrobu MB . Na obr.č 8 je fotografia získaná pomocou elektronového mikroskopu , kde je vidieť jemné POP vlákna , ktoré boli získané z polymeru s IT 35 vyrobené Fina Co.

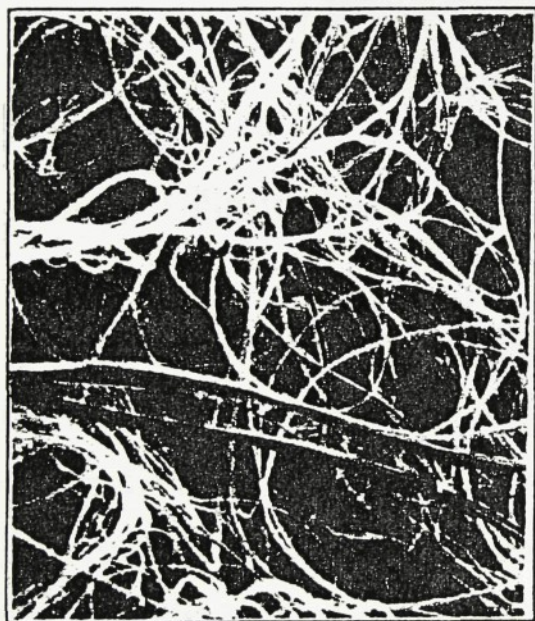
Obr. č.9 ukazuje aktuálnu distribúciu aktívnych vlákien získaných z polymerov Fina Dipro 3861 s  $M_W = 120\,000$  ,  $M_N = 30\,000$  , teplota polymeru  $290^\circ\text{C}$  , teplota vzduchu  $400^\circ\text{C}$  , pomer polymeru  $4,1 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}$  a pomer vzduchu  $4,19 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$ . Bližšia špecifikácia polymeru a geometrie plochy polymeru je znázornená v tab. 1.



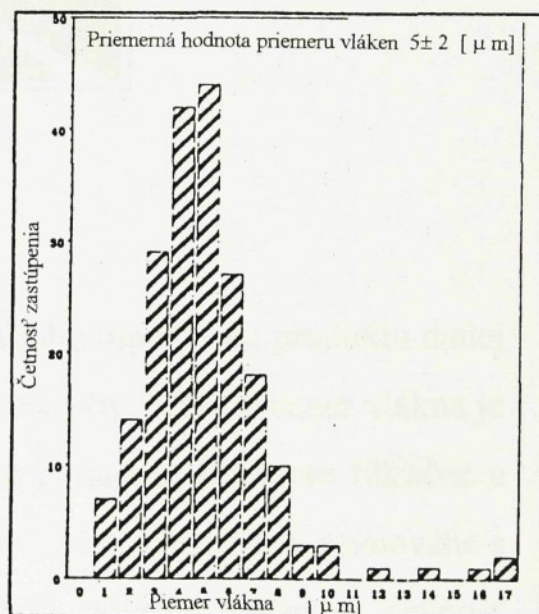
**Tabuľka č. 1 Špecifikácia polymeru a geometria plochy**

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| <b>Polymer</b>            | <b>35 MFR POP ( Fina Dipro 3861 )</b> |
| <b>M<sub>w</sub></b>      | <b>120 000</b>                        |
| <b>M<sub>n</sub></b>      | <b>30 000</b>                         |
| <b>Stupeň pretlačenia</b> | <b>4,0990.10<sup>-6</sup> kg/s</b>    |
| <b>Prúd vzduchu</b>       | <b>2,108. 10<sup>-4</sup> kg/s</b>    |
| <b>Rýchlosť vzduchu</b>   | <b>123,2 m/s</b>                      |
| <b>Teplota</b>            | <b>335 °C</b>                         |
| <b>Priemer kapiláry</b>   | <b>0,762 mm</b>                       |

**Obr.8 Fotografia POP s IT 35**



**Obr. 9 Distribučná krivka vlákien polymerov Fina Dipro 3861**



Existujú aj iné druhy polymerov Fina Dipro 3700 s  $M_w = 175\,000$  a  $M_N = 32\,000$ , kde priemer vlákna je od  $6 \pm 3\, \mu m$ , zatiaľ čo vyššie uvedený polymer sa pohybuje  $5 \pm 2\, \mu m$ .



Obr. č.10 ukazuje super jemné vlákno s priemerom  $0,1\ \mu\text{m}$  vyrobené z POP s IT 35. Tento obrázok bol získaný pomocou elektronového mikroskopu. Tento priemer 100 nm odpovedá danej dĺžke molekulového reťazca daného polymeru [ 1 ].

**Obr . 10 Superjemné POP vlákno s IT 35**



## **2. 4 Účinnosť MB procesu**

Najekonomickejší systém MB požaduje výrobu aspoň 1 kg produktu danej jemnosti produktu pri konštantných parametroch výroby. Malý priemer vlákna je dôvodom širokého uplatnenia MB produktov ako je napr.použitie pre filtračné a izolačné média. Samozrejme , že ekonomická náročnosť výroby je v rovnováhe s priemerom vlákna a s pomerom vzduchu. Ďalší dôležitý faktor je pevnosť vlákna, ktorá je funkciou " zvlákňovacieho stresu " a zvlákňovacích podmienok. Obr.č.11 znázorňuje závislosť energetickej náročnosti výroby MB na priemere vlákna. Sú označené dve krivky :

- krivka  $R_1$  je daná vzťahom :



$$R_1 = 1/2 m_p \cdot v_f^2 = 8m_p^3 / p_p^2 \cdot \pi^2 \cdot d^4 \quad (1)$$

$$m_p = p_p \cdot (\pi d_0^2 / 4) \cdot v_0 = p_p \cdot (\pi d^2 / 4) \cdot v_f \quad (2)$$

$$v_f = 4 m_p / p_p \pi d^2 \quad (3)$$

kde  $p_p$ .....hustota polymeru

$v_0$ .....rýchlosť zvlákňovania

$d_0$ .....priemer polymeru

$m_p$ .....hmotnosť polymeru

Krivka  $R_1$  sa pohybuje v priemere vlákien 35 - 1  $\mu m$ .

-krivka  $R_2$  zaznamenáva energiu povrchu novo vzniknutého vlákna. Táto krivka môže byť daná vzťahom

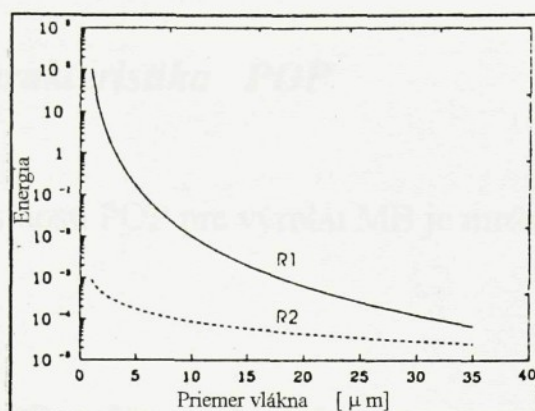
$$R_2 = (v_f) \cdot (\pi d) \cdot (\sigma) = 4 m_p \sigma / p_p d \quad (4)$$

kde  $\sigma$ ..... povrchová energia vlákna.

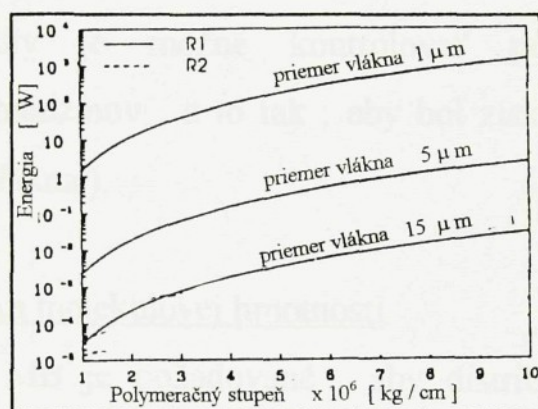
Krivka  $R_2$  je dôležitá iba pre extrémne jemné vlákna.

Rovnica č.3 udáva okamžitú rýchlosť ( $v_f$ ). Táto rovnica tiež predpovedá , že pre výrobu jemných vlákien s priemerom menším než 1  $\mu m$  musí byť použitý polymér s veľmi nízkym IT , alebo vlákno musí byť zvlákňované rýchlosťou 500 m/s pri teplote vzduchu 400 °C .

Obr . 11 Závislosť priemeru vlákna na energetickej náročnosti



Obr. 12 Efekt vplyvu energie na vlákna s priemerom 15, 5, 1 μm .



Obr.č.12 popisuje efekt , ktorý ma vplyv na energiu  $R_1$  ( energia hmoty ) a  $R_2$  (energia povrchu ). Graf je zostrojený iba pre priemery vlákien 15 , 5 , 1 μm .

Z grafov je možné vyčítať dva základné závery :

1) pre dané podmienky vstupného vzduchu , ktoré zapríčiňujú získanie vlákien s veľmi malými priermi a / alebo vyšší stupeň pretlačenia polymeru , je energeticky nemožné.

2) s existujúcou zvlákňovacou technológiou je zvlákňovacia účinnosť iba okolo 1 % .

S touto veľmi nízkou účinnosťou existuje mnoho zlepšujúcich návrhov pre zlepšenie danej technológie. Ďalšie podrobnosti sú rozpracované v literatúre [ 1 ] .



## 2.5 Aplikácia MB

### 2. 5. 1 Charakteristika POP

Dôležité vlastnosti POP pre výrobu MB je možné zhrnúť nasledovne :

#### 1 / Viskozita

-viskozita POP môže byť zisťovaná pomocou chemickej degradácie (použitím oxidu alebo peroxidu behom tvorby vlákna mechanickej degradácie a tepelnej degradácie ). Celkovo tavenina s vysokou viskozitou ( nízky IT ) a zisťovanie viskozity je možné kontrolovať pomocou všetkých troch degradačných mechanizmov , a to tak , aby bol získaný požadovaný výsledný produkt ( priemer vlákna ).

#### 2 / distribučná krivka molekulovej hmotnosti

-pre výrobe MB je požadované , aby distribučná krivka molekulovej hmotnosti bola čo najužšia , a to preto , aby bolo možné vyrobiť rovnako jemné vlákna . Nová katalitická technológia umožňuje vyrobiť POP s ultra vysokým IT a s veľmi úzkou distribučnou krivkou molekulovej hmotnosti

#### 3 / relatívne vysoký bod tania

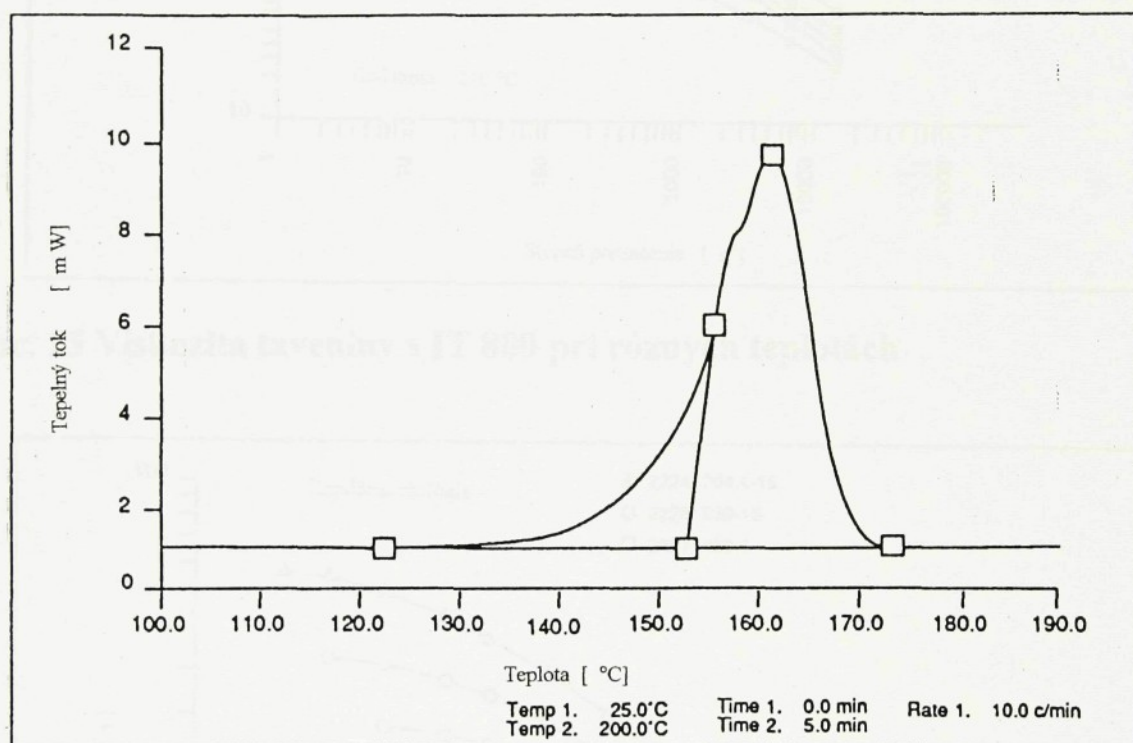
-typická krivka tania POP pre výrobu MB je zobrazená na obr.13 . Bod tania je dosť vysoký pre veľa aplikácií , a tak chovanie POP v roztavenom stave je také , že je možné ho použiť ako pojivový materiál.

#### 4 / schopnosť vytvorenia veľmi jemných vlákien

-POP môže byť zvlákňovaný ( vyťahovaný ) až do veľmi jemných vlákien , ak viskozita taveniny je dostatočne nízka a distribučná krivka molekulovej

hmotnosti je dostatočne úzka . Nízka viskozita je potrebná z dôvodu , že vlákno je vyťahované pomocou vzduchu s vysokou rýchlosťou a nie za pomoci mechanického vyťahovania . Úzka distribučná krivka molekulovej hmotnosti znižuje elasticitu taveniny a pevnosť taveniny , a preto je možné získať vlákno s veľmi malým priemerom bez toho aby bola použitá väčšia sila pri zvlákňovaní [ 1 ].

**Obr. 13 Krivka tania POP pre výrobu melt-blown**

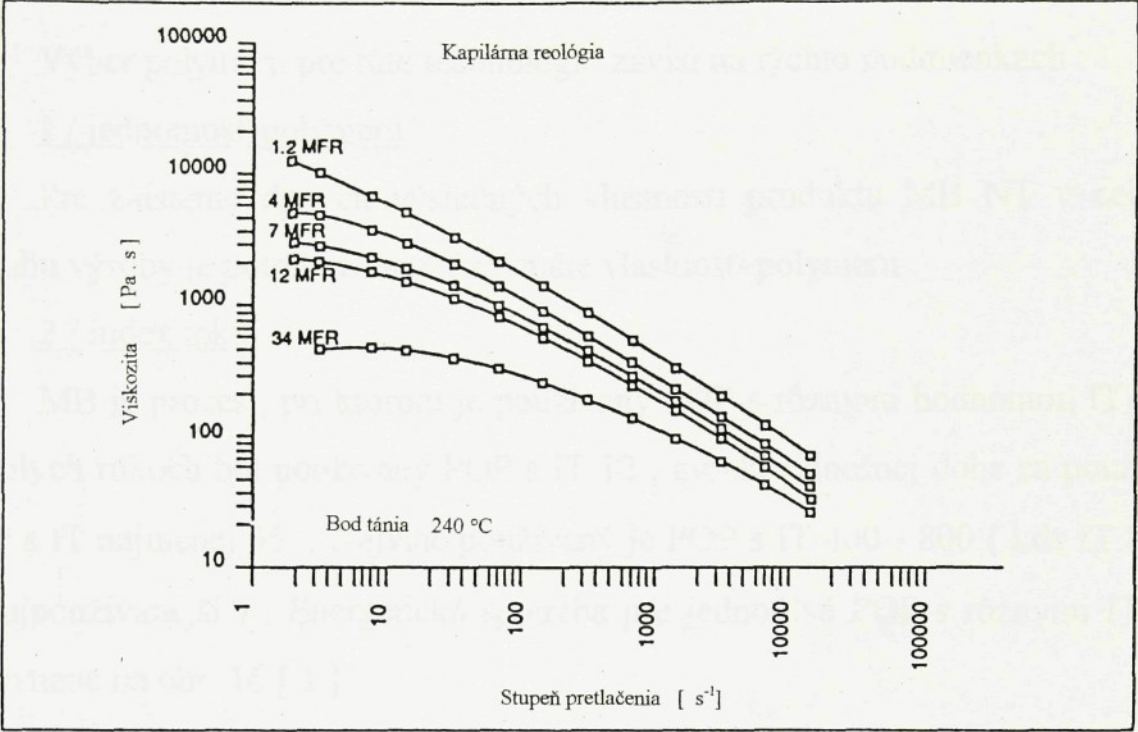


### 2. 5. 2 Viskozita taveniny POP

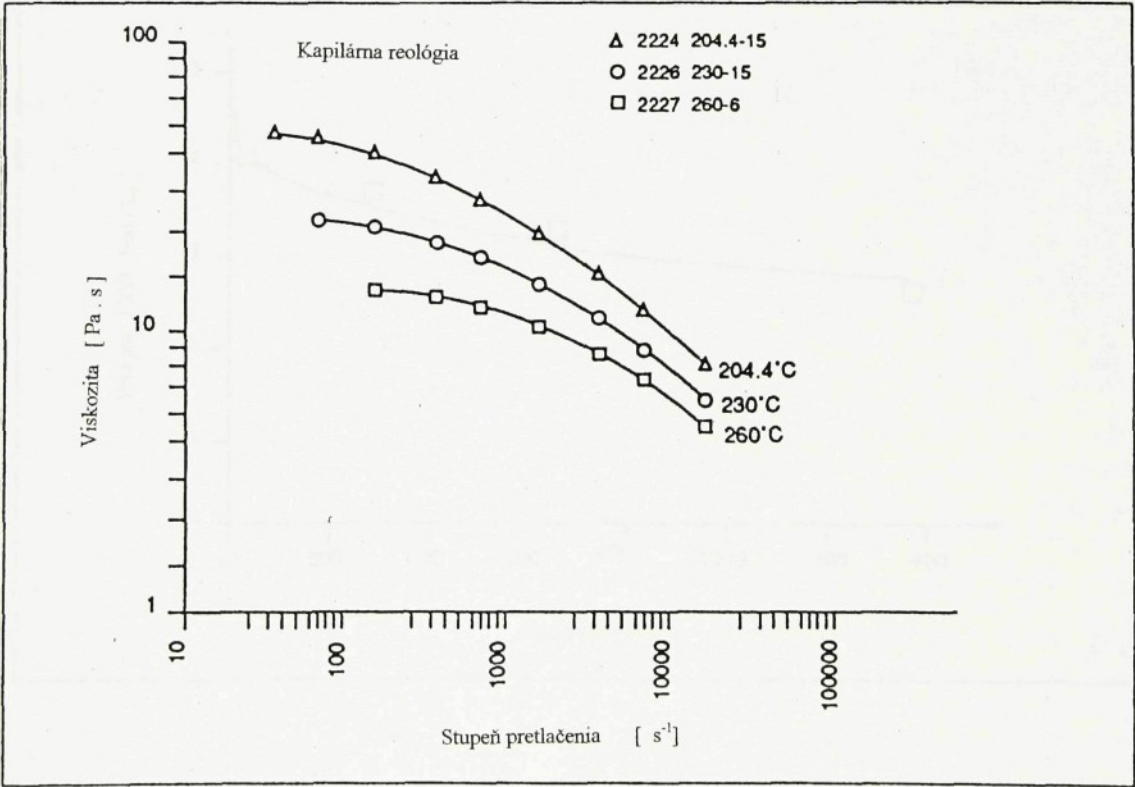
Pre výrobu MB je úspešne používaná tavenina POP s IT od 12 - 1400 . Viskozita taveniny je funkciou molekulovej hmotnosti a teploty tavenia . Obr.14 porovnáva viskozitu taveniny so širokým rozsahom IT , ktorý je meraný pomocou viskozimetra . Obr.15 popisuje viskozitu taveniny s IT 800 pri rôznych teplotách .



Obr.14 Viskozita taveniny s rozsahom IT



Obr. 15 Viskozita taveniny s IT 800 pri rôznych teplotách



### 2. 5. 3 Výber polymeru pre MB

Výber polymeru pre túto technológiu závisí na týchto podmienkach :

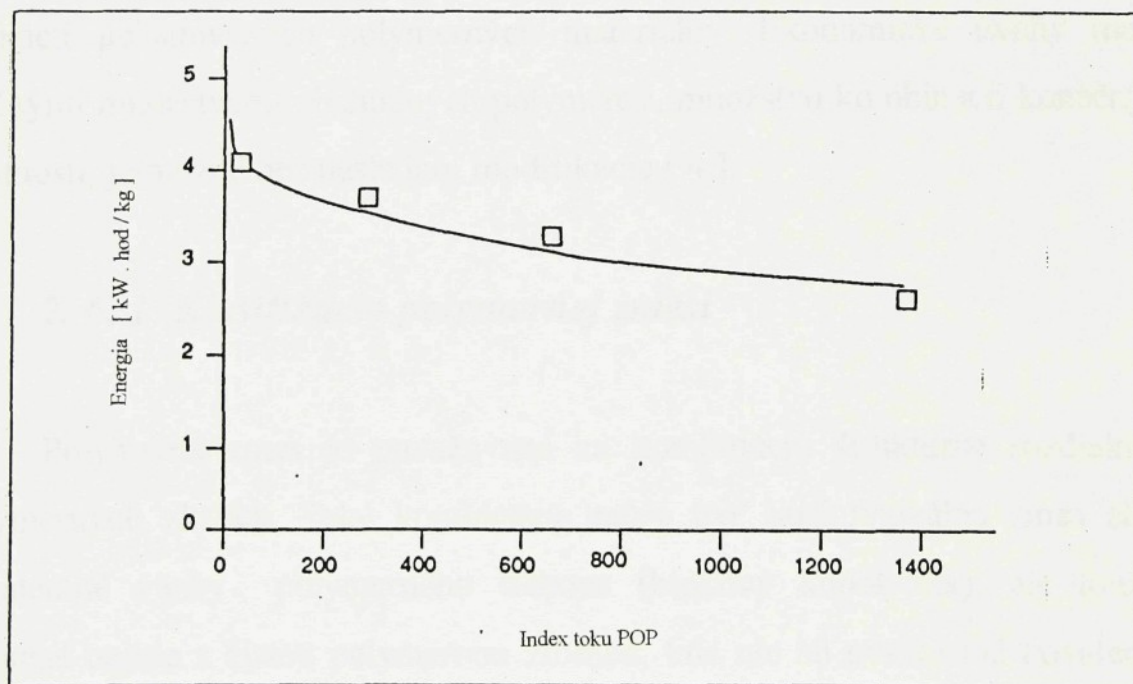
#### 1 / jednotnosť polymeru

Pre zaistenie daných výsledných vlastností produktu MB NT v celom rozsahu výroby je potrebné zaistiť rovnaké vlastnosti polymeru .

#### 2 / index toku

MB je proces , pri ktorom je používaný POP s rôznymi hodnotami IT . V minulých rokoch bol používaný POP s IT 12 , avšak v dnešnej dobe sa používa POP s IT najmenej 35 ., Najviac používaný je POP s IT 400 - 800 ( kde IT 800 je najpoužívanejší ) . Energetická spotreba pre jednotlivé POP s rôznymi IT je porovnané na obr. 16 [ 1 ].

Obr. 16 Energetická spotreba POP





## **2. 5. 4    *Distribučná krivka molekulovej hmotnosti POP***

### ***[MWD ]***

Čím je užšia MWD , tým je možné vyrobiť jemnejšie vlákno . Niektoré polymery s vysokým IT obsahuje tzv. degradačné aditiva , ktoré ďalej znižujú viskozitu a zužujú MWD v extrudéri pri MB procese . Výsledkom je extrémne úzka MWD s výbornou schopnosťou zvlákňovania [ 1 ].

## **2. 6    Polymerné zmesi**

V 70-tých rokoch, technológia týkajúca sa polymerných zmesí dosahovala nápadnú pozíciu ako dôležitá oblasť výzkumu a vývoja v polymernej vede. Najzaujímavejšie na polymerných zmesiach je smerovanie do oblasti, ktorá je potrebná pre nespočet špecifických profilových vlastností, pre rozmanitosť aplikácii požadovaných polymerných materiálov. Ekonomické úvahy medzi možnými množstvami obchodných polymerov, množstvo kombinácii konečných vlastností, je možné bez následnej modifikácie [ 4 ].

### **2. 6. 1    *Klasifikácia polymernej zmesi***

Polymerná zmes je považovaná za kombináciu štruktúrne rozdielnych polymerných zložiek. Také kombinácie môže byť buď fyzikálna zmes alebo kovalentné väzby polymerného reťazca (blokový kopolymer), ale toto je mienené najmä s čistou polymernou zmesou, kde nie sú uvažované kovalentné väzby [ 4 ].

## 2. 6. 2 Termodynamické a fázové chovanie polymernej zmesi

Veľký dôraz sa kladie na polymerné zmesové kombinácie existujúce ako fázovo oddelený (separovaný) systém s narastajúcim množstvom miesiteľnej polymernej zmesi. Jedným z prvých zistení o polymernej zmesi je zoznam 12-tich miesiteľných párov, z ktorých niektoré boli kopolyméry zmiešané v rozdielnych pomeroch. Nedávne podobné prieskumy o miesení polymerných systémov obsahovali približne 180 párov, kde čisté polyméry blokového a roubovaného kopolyméru prenikali do polymerných sietí.

Fáza chovania polymerných zmesí je odlišná od nízkomolekulárnych komponentov, v ktorých narastajúca teplota znižuje ich miesiteľnosť. Toto bolo zistené použitím termodynamickej stavovej rovnice pre polymerné zmesi, čo bolo preskúšané experimentálne. Termodynamické kritéria pre miesiteľnosť predpokladajú negatívnu voľnú energiu miesenia

$\Delta G$ , to je

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T \Delta S_m \quad (5)$$

kde  $\Delta H_m$  .....enthalpia miesenia

$\Delta S_m$  .....enthropia miesenia

Pre vysokomolekulárne polyméry je  $\Delta S_m$  zanedbateľná, takže negatívna enthalpia miesenia odpovedá zmiesiteľnosti. Podmienka existuje, ak fáza separácie nastane pri  $\Delta G$  je  $< 0$ , takže vzájomný vzťah je potrebný ale nie dôležitá podmienka pre miesiteľnosť.

Potrebnosť a dôležitosť termodynamického požiadavku pre miesiteľnosť je

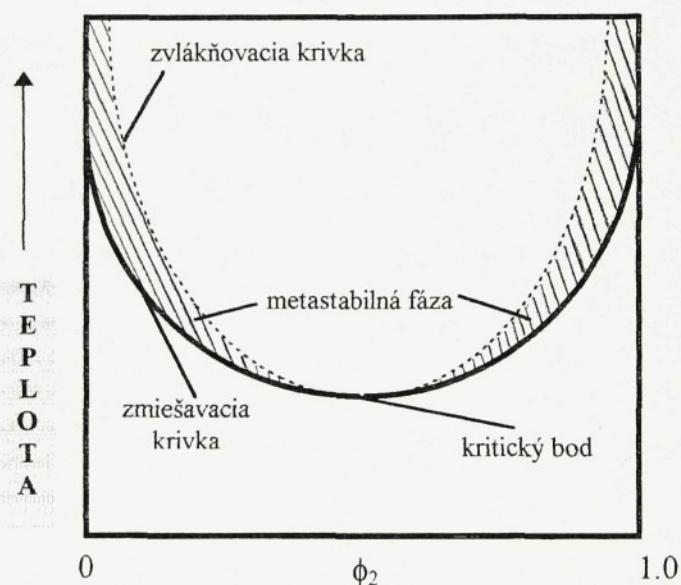


$$(\partial^2 \Delta G_m / \partial \phi_2^2)_{P,T} > 0 \quad (6)$$

kde  $\phi_2$  .....intenzita frakcie komponentu 2

Podstata fáze chovania polymernej zmesi je opísana na obr. 17 . V grafe sú dôležité oblasti, ktoré definujú kritické chovanie zmesi. Zvlákňovacia krivka definuje stav, kde nastáva samovoľná fáza separácie. Tento proces fáze separácie je nazývaný dekomponizácia. Zvlákňovacia krivka je definovaná rovnicou ( 6 ).

**Obr. č.17 Chovanie polymernej zmesi**



Zmiešovacia krivka definuje ďalšie oblasti separačnej fáze, opísanej ako nárast tvorby kryštalických zárodkov. Medzi týmito dvoma krivkami je veľký nárast kryštalizácie a táto oblasť predstavuje teplotu a obsah komponentu 2.

$$(\Delta\mu_1 = \Delta\mu_1') \quad (7)$$

$$(\Delta\mu_2 = \Delta\mu_2') \quad (8)$$

Chemické potenciály ( $\Delta\mu$ ) každého komponentu v každej fáze sú rovnaké.

Kritický bod v grafe je v pretnutí zmiešovacej a zvlákňovacej krivky a je definovaný takto [ 4 ]:

$$(\partial^2 \Delta G_m / \partial \phi_2^3)_{P.T.} = 0 \quad (9)$$



### 2. 6. 3 Charakteristika polymernej zmesi

Najpodstatnejšia charakteristika polymernej zmesi je fázové chovanie. Profil vlastností kompozitu kriticky závisí na tom, ktoré molekuly polymeru sú separované vo fáze, zmiešané s dostatočným teplotným stupňom, vystavené chovaniu samotnej fáze alebo zmiešaniu. V poradí určenia postupu zmiešavania, zmienenými termodynamickými kritériami, sa ťažko zhoduje experimentálne kritérium, pokiaľ partikulárny systém vykazuje nízku kritickú teplotu.

Prakticky je zmiešavanie definované ako úroveň molekulárneho miešania prenechaním makroskopických vlastností zmesi naznačujúc chovanie jednotlivé fáze. Prvotná vlastnosť je **teplota skelného prechodu** ( $T_g$ ). Zmes má jednotnú  $T_g$  všeobecne určenú zmiešaním jednotlivých zložiek  $T_g$ . V prípade silnej špecifickej interakcie, môže byť  $T_g$  zmesi vyššia než ostatných komponentov. Zmes, ktorá je nezmiesiteľná si zachová  $T_g$  rovnaké.  $T_g$  je vlastnosť polymeru, ktorá závisí na viskozite, chovaní teplotného modulu, pomeru kryštalizácie a tečenia materiálu, tuhosti a profilových vlastností zmišovaných komponentov, môže byť dosť rozdielny, lišiť sa od vlastností nezmiesiteľných komponentov.

Metoda merania teploty  $T_g$  je najbežnejšia na charakterizáciu chovania fáze polymernej zmesi. Medzi tieto metódy patria dynamicko-mechanické, kalorimetrické, dielektrické a dilatometrické metódy. Zrážacia technika je používaná na definovanie fyzikálnych vlastností, špecificky popisuje reťazové komformácie a morfológiu zmesi.

Mikroskopické techniky (elektronový mikroskop a transmisný mikroskop) sú používané pre vysvetlenie štruktúry fázovo oddelených polymerných zmesí [4].



## 2. 6. 4 Vlastnosti polymernej zmesi

Výhoda zmesovania polymernej zmesi spočíva v mechanickej zlúčiteľnosti časti konšituentov, teda dosiahnutie rovnováhy v konečných vlastnostiach. Vo väčšine prípadoch náhodná kombinácia polymérov povoľuje zmesovanie jednotlivých fáz s horšími vlastnosťami, ktoré zapričiňujú adheziu medzi fázami. Blokové a roubované kopolyméry poskytujú výhody a vlastnosti vďaka koncovým skupinám, kde kovalentné vazby spájajú oddelené fáze adheziou. Jednou z dôležitých výhodných vlastností odvodených z frakcie separácie v zmesi je účinok sily. Fáza separácie je tiež určená požadovanými vlastnosťami kombinácie materiálov a mikroštruktúrnych znakov fázovo separovaných zmesí. Optimálna schopnosť účinku je dosiahnutá kontrolou vlastností, veľkosťou častíc kaučukovej fázy, roubovaného obsahu a kaučukovej fázy hustoty priečných väzieb.

Pre zmesi obsahujúce kryštalické komponenty je fáza chovania určená efektom bodu tavenia a kryštalizačnej kinetiky.

Pre miesiteľné zmesi je kryštalizácia hodnotená buď zvýšením alebo poklesom závislosti na  $T_g$  kryštalického polyméru - zvyšuje či znižuje, podľa vlastností. Toto chovanie je predpovedané sférolýtickým rastom hodnotenia rovnice, ktorá obsahuje  $T_g$  ako premennú.

Zmesi nemiesiteľných polymérov a fáza separácie blokového a roubového kopolyméru sú väčšinou vystavované špecifickým aditívnym oblastiam [ 4 ].



## **2. 6. 5 Komerčné polymerné zmesi**

Najväčší záujem akademickej a priemyselnej oblasti sa upriamil na polymerné zmesi, na ktoré je kladený požiadavok súvisiaci so stretovými a ukončovacími možnosťami modifikácie. Profil vlastností nemodifikovaných komerčných polymérov nemôže obsiahnuť všetko z aplikácií našich požiadavkov, takže ďalšia modifikácia je potrebná.

### **2. 6. 5. 1 Miesiteľné zmesi**

Prvá komerčná miesiteľná zmes sa objavila v roku 1940 a obsahovala PVC a nitrilový kaučuk ( butadienakrylonitril kopolymér ). Tieto zmesi sa ešte stále využívajú v kabloch, obuvníckych materiáloch, struny, hadice atď. .

### **2. 6. 5. 2 Nemiesiteľné zmesi**

Základ komerčného využitia polymernej zmesi je pridanie elastomeru do tuhých polymérov z dôvodu získania nových vlastností polyméru. Elastomerné zmesi sú využívané na získanie špecifických vlastností polymérov. Tieto sú potom využívané napr. za účelom zníženia predyšnosti vzduchu, zlepšení tepelno-oxidačnej a ozónovej rezistencie ( odporu ) [ 4 ].

## **2. 7 Vymedzenie pojmu filtrácie**

Filtráciu je možné v širšom slova zmysle definovať ako proces čiastočného oddeľovania tuhých látok od kvapalnej alebo plynnej fázy pomocou filtračnej textílie . Cieľom plynnej filtrácie je najčastejšie čistenie vzduchu alebo



regenerácie vyrobeného produktu . Dost' často sa odidve požiadavky kombinujú . Cieľom kvapalnej filtrácie je regenerácia produkcie a vyčistenie filtrátu . Stupeň účinnosti filtrácie musí prebiehať čo najrýchlejšie a filtračné médium musí vydržať čo najdlhšie .

Pojem vysokoefektívnej filtrácie nie je doposiaľ jednoznačne definovaný . Obvykle je tento proces pokladaný za vysokoefektívny ak je efektívnosť charakterizovaná filtračnou účinnosťou  $E = 99 \%$  [ 5 ].

### **2. 7. 1 Filtračné vlastnosti**

Najviac študovaná je filtrácia vlákennymi filtrami ako po stránke teoretickej tak po stránka experimentálnej . Pre filtráciu sú podstatné tri objekty : dispergové častice , disperzné prostredie a porézna látka .

Jednotlivé častice a ich súbory sú charakterizované týmito veličinami : veľkosťou častíc , tvarom častíc , hustotou častíc a elektrickým nábojom .

Disperzné prostredie je charakterizované : rýchlosťou prúdenia , hustotou , teplotou a tlakom . Účinnosť filtra s klesajúcim tlakom rastie .

Predmetom skúmania diplomovej práce je porézna látka, filter [ 2 ].

### **2.7.2 Filtračné vlastnosti filtrov**

Porézna látka je charakterizovaná svojimi geometrickými rozmermi : filtračnou plochou, hrúbkou , priemerom vlákien , poréznosťou filtra , elektrickým nábojom a radou ďalších veličín .

Filtračné vlastnosti sú určené predovšetkým veľkosťou pórov a priepustnosťou :

-veľkosť póru je daná spôsobom spracovania a priemerom vlákien



-priepustnosť je vyjadrená prietokom média jednotkou plochy textílie za jednu sekundu

Ako ďalšie vlastnosti je možné vymenovať :

- pevnosť textílie
- ťažnosť textílie
- chemická odolnosť
- odolnosť voči baktériam a plesňam
- odolnosť voči teplote
- životnosť [ 2 ]

### **2. 7. 3 Filtračné materiály**

Filtračné materiály je možné klasifikovať podľa rôznych kritérií , charakteristík a parametrov , ktoré popisujú filtračný proces . Jedno z najdôležitejších je klasifikácia podľa makroštruktúrnych vlastností poréznej látky použitej ako filter . Podľa tohoto kritéria je možné filtračné materiály rozdeliť na:

#### **- vlákenné filtre**

Sú z textilných vlákien , ktoré sú vyrábané pomocou procesu tkania alebo pletenia . I keď niektoré hĺbkove filtrácie používajú vlákenné filtre , väčšina prachu nevnikne do materiálu , ale je zachytená na povrchu . Vlákenné filtre je možné obvykle čistiť , ak ich odpor voči prúdeniu vzduchu je relatívne vysoký . Jemné filtre nemôžu byť čistené , musia byť znehodnotené . Ich odpor voči vzduchu je nízky .

#### **- zrnité filtre**

Zrnité filtre obsahujú usadené hruboizomertické častice , ktoré hrajú veľkú úlohu pri filtrácii .

#### - membránové filtre

Sú vyrábané z perforovaného materiálu alebo vysoko kompaktného jemného materiálu .Obyčajne hrúbka tohoto materiálu je niekoľko málo mikrometrov a je na princípe povrchovej filtrácie [ 3 ].

Ďalšou dôležitou vlastnosťou a kritériom pre klasifikáciu filtračných materiálov je ich odolnosť voči možnému agresívnemu pôsobeniu separovaného disperzného systému . V súčasnej dobe sú vo všetkých vyspelých krajinách prevážne používané pre vysokoefektívnu filtráciu nie syntetické materiály ale materiály z ultratenkých sklenených vlákien ( priemer 0,1 - 1,5  $\mu\text{m}$  ) . Tieto typy filtračných materiálov sú obyčajne nielen vysokoefektívne z hľadiska filtračnej účinnosti ale tiež odolné voči účinkom vlhkosti , kyselín , zásad a rozpušťadiel . Rovnako aj z hľadiska tepelnej odolnosti sú tieto materiály stabilné až do teplôt 500 ° C a v niektorých prípadoch až do teplôt 800 ° C [ 5 ].

#### **2. 7. 4 Základné charakteristiky filtrov a filtrácie**

Ako základné charakteristiky filtrov sú pokladané efektívnosť ( účinnosť ) a tlakový spád .

**Efektívnosť** filtra **E** je definovaná rovnicou

$$E = 1 - G_2 / G_1 \quad (10)$$

kde  $G_1$  a  $G_2$  sú hmotnostné prúdy [  $\text{kg} / \text{m}^2 \text{ s}$  ] disperzného podielu alebo fázy pred filtrom a za filtrom [ 5 ].



Účinnosť nezávisí na veľkosti filtračnej plochy , ale na hrúbke filtra . Witzmann [ 2 ] zistil , že s hrúbkou filtra exponenciálne klesá prienik **P** definovaný vzťahom

$$\mathbf{P = G_2 / G_1} \quad ( 11 )$$

Z definícií [ 1 ] a [ 2 ] vyplýva vzťah

$$\mathbf{E + P = 1} \quad ( 12 )$$

Ďalšie vlastnosti filtra , ktoré má vplyv na účinnosť , je priemer vlákien . Tiež klesá účinnosť s rastúcou poréznosťou filtra .

Druhá z hlavných charakteristík popisujúcich vlastnosti filtrácie je **tlakový spád** filtra **dp** definovaný rovnicou

$$\mathbf{dp = p_1 - p_2} \quad ( 13 )$$

kde  $p_1$  a  $p_2$  sú tlaky pred filtrom a za filtrom . Veličina  $dp$  je hybnou silou . Pri malých objemových rýchlostiach prietoku  $Q$  [  $m^3 / s$  ] je vzťah medzi  $dp$  a  $Q$  lineárny , takže platí

$$\mathbf{dp = Q \cdot R} \quad ( 14 )$$

kde veličina  $R$  [  $Pa \cdot s / m^3$  ] je odpor filtra .

Poréznosť vlákenných filtrov býva obvyčajne vyššia než 90 % . Avšak so zvyšujúcou sa poréznosťou klesá účinnosť filtra [ 5 ] .

Tlakový spád je veličina rovnako dôležitá ako účinnosť filtra v niektorých prípadoch ešte dôležitejši, pretože z technického hľadiska nie je ťažké pripraviť filter, ktorého účinnosť je prakticky 100 %, ale tlakový spád je potom tak veľký, že pre praktické použitie je takýto filter skoro bezcenný. Naším cieľom je preto vždy určiť štruktúru resp. pripraviť filter, ktorého tlakový spád je minimálny a účinnosť vysoká [ 2 ].

### **2. 7. 5. Filtračné mechanizmy**

Bolo zistené, že vo filtrácii vlákennymi filtrami pôsobí mnoho mechanizmov. Doteraz sú známe tieto [ 5 ] :

#### **- difúzne usadzovanie častíc**

V dôsledku Brownovho pohybu nesplýva trajektória častíc s prúdnicami plynu, častice difundujú z prúdu plynu k jednotlivým vláknam a usadzujú sa na nich. S klesajúcou veľkosťou častíc intenzita pohybu účinnosti difúzneho usadzovania rastie.

#### **- priama intercepcia ( zachytávanie )**

Častica je už zachytená len čo sa priblíži k povrchu vlákna na vzdialenosť rovnakú s jej polomerom.

#### **- gravitačné usadzovanie častíc**

Jednotlivé častice majú určitú sedimentačnú rýchlosť podmienenú účinkami gravitačného poľa. V dôsledku toho sa trajektórie častíc odchyľujú od prúdnic plynu a častice sa môžu v dôsledku tohoto odchýlenia usadiť na vlákne.



#### - elektrostatické usadzovanie častíc

Jednotlivé častice a vlákna filtru majú určitý elektrický náboj . V dôsledku síl pôsobiacich medzi týmito nábojmi ( Coulombové , indukčné a iné sily ) môže tiež dôjsť k usadeniu častíc na vlákna .

#### - usadzovanie pod vplyvom molekulových síl

Pri veľmi malých vzdialenostiach častica - vlákno môže mať určitý vplyv na usadzovanie Van der Waalsové molekulové sily .

#### - zotrvačné usadzovanie častíc

V dôsledku svojej zotrvačnosti jednotlivé častice sú " vystrelené " proti vláknu a usadzujú sa na ňom . Intenzita tohoto mechanizmu rastie s rastúcou veľkosťou častíc a s rýchlosťou plynu [ 5 ] .

## **2. 8 Povrch filtra a hĺbka filtrácie**

Filtre sú svojím chovaním podobné sítam a sieťam. I keď filtre a síta majú podobný účel použitia , ich metódy práce sú rozdielne.

Jemné filtre sú tvorené vláknami v otvorenej trojdimenzionálnej sieti. Body, kde sa dotýka vlákno - vlákna , sú nazývané kontakty vlákna . Jemné filtre môžu mať značnú pevnosť. Otvorená štruktúra filtrov , vysoká priepustnosť jemných filtrov , tým je myslená priepustnosť vzduchu a nízky odpor prúdu vzduchu [ 3 ] .

Dnes sa filtračný proces delí na dve fázy . V prvej fáze sa častice usadzujú v čistom filtre určitej štruktúry. V tejto fáze predpokladáme v dôsledku usadenia zmenu štruktúry . Ide o stacionárny dej , efektívnosť a tlakový spád nezávisí na čase a sú určené iba štruktúrou poréznej látky , vlastnosťami častíc a



parametrami prúdiaceho média . Túto fázu filtračného procesu označujeme ako “ statika filtrácie “ [ 2 ] .

Proces filtrácie je zložitejší . V dôsledku usadzovania jednotlivých častíc dochádza vo filtre ku štruktúrnym zmenám , efektívnosť a tlakový spád sa behom filtračného procesu mení , filter sa “ zanáša “ . Vo filtre dochádza k tzv. “sekundárnym javom “, usadzovanie častíc jednej na druhú . Túto fázu filtračného procesu je možné označiť ako “ kinetika filtrácie “ . Kinetika filtrácie študuje efektívnosť zrážok častíc s vláknami a v súvislosti s tým adhéziu častíc k vláknam, pochody na povrchu vlaken, zmeny efektívnosti a tlakového spádu behom filtračného procesu a zanášanie filtrov [ 2 ] .

### **2. 8. 1 Zanášanie filtrov**

Zmena tlakového spádu v dôsledku zanášania je závislá na týchto faktoroch :

#### **1 / Fáza častíc**

Pri filtrácii kvapalných aerosolov sa tlakový spád mení menej než pri filtrácii pevných častíc , čo súvisí s odlišným chovaním častíc po ich kontakte s vláknami.

#### **2 / Veľkosť častíc**

Obvykle jemnejšie častice spôsobujú vyšší tlakový spád než častice väčšie. Dôležitú úlohu tu má “ hĺbka prieniku “ častíc do filtra.

#### **3 / Štruktúra filtra**

Štruktúra filtra v niektorých prípadoch rozhoduje, či sa častice usadujú vo vnútri filtra alebo na jeho povrchu , čo sa prejaví odlišným spôsobom pri zmene tlakového spádu.



#### 4 / Množstvo zachyteného aerosolu

Množstvo zachyteného aerosolu sa vzťahuje na plošnú jednotku filtra a je meraná závislosť  $dp = f(z)$ ,

$$z = m / A \quad (15)$$

kde  $m$  ..... hmota respektíve váha aerosolu usadeného na filtre ,

$A$  ..... plocha filtra .

V tejto závislosti  $dp = f(z)$  , ktorú nazývame ” zanášacia charakteristika” filtra je možné rozlíšiť dve oblasti filtra :

- v prvej oblasti je charakter zmeny tlakového spádu rôzny ( tlakový spád sa buď nemení alebo prudko rastie ).
- v druhej oblasti tlakový spád so zanášaním lineárne rastie .

Zanášacia charakteristika sa v niektorých prípadoch vyznačuje určitými ”prechodovými javmi”. ” Prechodové javy ” sa u niektorých druhov filtrov neobjavujú a zanášacia charakteristika je od nulovej hodnoty zanášania lineárna (u niektorých membránových filtrov) [ 2 ].

## 2. 9 Aplikácia filtrov

Nečistoty vo vzduchu sú veľmi často vyprodukované pri procese výroby. Zachytením nečistôt na filter je možné ich identifikovať a kvalifikovať . Filter môže byť použitý pre čistenie vzduchu a plynov , čiastočne môže byť materiál k filtrovaniu substancia , ktorá má škodlivý charakter avšak je dostatočne upravený ( vyčistený ) a to tak , aby tento filter poskytoval taký vzduch , ktorý nebude





## **2. 10 Zhrnutie teoretickej časti**

V teoretickej časti bola spracovaná odborná literatúra, ktorá tvorila podkladový materiál pre experimentálnu časť.

Spracované boli tri okruhy problematiky : technológia melt-blown a jej použitie, zmesovanie polymerov a ich použitie a filter a filtrácia s ich použitím.

Technológia melt-blown je špecializovaná na výrobu superjemných vlákien. Prevažne je používaný POP (98 %) a v malom množstve PES (1%).Svojou štruktúrou je veľmi atraktívnym materiálom pre jeho ďalšie použitie.

Zmesovaním sa dá dosiahnuť výroba materiálu s požadovanými vlastnosťami. V tejto oblasti je veľké množstvo možností spracovania a použitia.

Filter a filtrácia má, v dnešnej dobe, veľký význam. Znečisťovanie ovzdušia je celosvetovým problémom a filtrácia je jednou z možností ako tomu zabrániť.

V tomto okruhu je filter a filtrácia rozpracovaný od vlastností a druhov filtrov až po použitie.

## **2. 11 Cieľ diplomovej práce**

Ako cieľ tejto diplomovej práce je dôkladné preštudovanie premenných parametrov jednotky melt-blown, vyrobiť plošné útvary zo superjemných vlákien s rôznym obsahom pojivých vlákien, vytvorenie objemnej textilie a zhodnotenie jej základných vlastností.

### 3 . EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

#### 3 .1 Príprava vzoriek pre experiment

Experimentálna časť obsahuje 4 fázy postupu .

##### 1 / príprava vlákenného materiálu

A : vpichovaného 100 % PES

B : výroba melt - blownu zo superjemných vlákien zvlákňovaním 100 %

POP a VV POP / POP v pomere 10 % , 20 % , 30 % , 40 % zastúpení  
VV POP

##### 2 / výroba plošného útvaru s rôznym obsahom pojivých vlákien

A : teplovzdušná komora  $\Rightarrow$  MB NT + Petex + vpichovaný PES

B : teplovzdušná komora  $\Rightarrow$  MB NT [ Ecotextil ] + Petex + vpichvaný  
PES

- pre výrobu objemnej NT

##### 3 / výroba objemnej NT

- zariadenie ROTIS

##### 4 / meranie charakteristických parametrov vyrobených NT

#### 3. 1. 1 Príprava vlákenného materiálu

A : Vlákenna vrstva bola vyrobená mechanickým spôsobom výroby vlákenej vrstvy, mykaním . Výroba bola prevedená na linke pozostávajúcej z válcového mykacieho stroja , priečneho kladeča a vpichovacieho stroja , v v poloprevádzke na KNT .

Bol spracovávaný 100 % PES o jemnosti 3 , 1 dtex a dĺžkou vlákien 0,0058 m .



Vyrobené rúno bolo znova rozmykané . Bolo to robené pre zlepšenie rovnomernosti celej vlákennej vrstvy a aj kôli rovnosti rozvolnenia vlákien . Pre zníženie antistatického náboja bola na polymer rozprašovaná voda .

Experiment bol spracovávaný pri týchto parametroch stroja :

- privádzacia rýchlosť ku vpichovaciemu stroju  $v_{pr} = 0,3 \text{ m / min}$
- odvádzacia rýchlosť spevneného rúna  $v_{od} = 0,45 \text{ m / min}$
- hĺbka vpichu  $0,008 \text{ m}$
- frekvencia vpichovania  $200 / \text{min}$

Takto bola vyrobená vlákenna vrstva 100 % PES s plošnou hmotnosťou  $240 \text{ g/ m}^2$  .

**B :** Vlákenna vrstva bola vyrobená technológiou melt - blown na strojovom zariadení J& M Laboratories [ kapitola 2 . 1] .

Bol spracovávaný polymer POP a termoplastické pojivo VV POP .

VV POP bol pôvodne použitý ako pojivo v pomere : 1 : 9 , 2 : 8 , 3 : 7 a 4 : 6 VV POP / POP .

Polymer bol spracovávaný pri tomto teplotnom režime a základných parametroch výroby :

|                                         |                                  |
|-----------------------------------------|----------------------------------|
| • teplota na 1 zóne                     | 178 ° C ( 351 ° F )              |
| • teplota na 2 zóne                     | 204 ° C ( 400 ° F )              |
| • teplota na 3 zóne                     | 204 ° C ( 400 ° F )              |
| • teplota na spojovacom diele ( flange) | 233 ° C ( 451 ° F )              |
| • teplota trysky                        | 259 ° C ( 449 ° F )              |
| • teplota vzduchu                       | 268 ° C ( 515 ± 5 ° F )          |
| • rýchlosť šneku                        | 1,2 m / min                      |
| • výkon šneku                           | 1,7 m / min                      |
| • tlak vzduchu                          | 0,25 MPa                         |
| • vzdialenosť bubon / tryska            | 0,5 m                            |
| • rýchlosť bubna                        | 110 m / min                      |
| • priemer bubna                         | 0,56 m                           |
| • obvod bubna                           | 1,76 m                           |
| • šírka bubna                           | 0,50 m                           |
| • dĺžka trysky                          | 0,15 m                           |
| • priemer trysky                        | ( 0,3 - 0,5 ).10 <sup>-3</sup> m |
| • počet otvorov trysky                  | 60 otvorov / 0,1 m               |

Technológiou melt - blown boli zvlákňovaním vyrobené vláknenne vrstvy zo superjemných vlákien POP s plošnou hmotnosťou 46,6 g / m<sup>2</sup> a zmesi VV POP / POP s plošnými hmotnosťami viz. tabuľka.

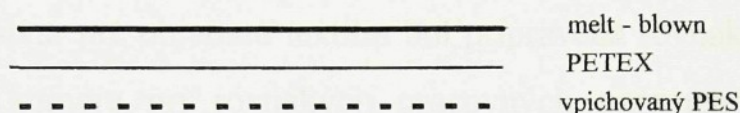
**Tabuľka č. 4 s plošnými hmotnosťami**



### 3 . 2 Výroba plošného útvaru

Pripravený materiál bol spracovávaný ako zmesová vlákenna vrstva zložená zo základných a pojivých vlákien . Termoplastický polymer PETEX ( PE) bol vložený medzi dve vrstvy NT ( MB NT POP - PETEX - vpichovaný PES ).

**Obr.č.18 Plošný útvar**



Vlákenne vrstvy s pojivom prechádza teplovzdušnou pojivovou komorou s cirkulujúcim vzduchom . Teplovzdušná komora je s horizontálne uloženým sítovým pásom . Zariadenie , na ktorom bolo spojenie prevedené , je v poloprevádzke na KNT .

Plošný útvar bol spracovaný pri týchto parametroch :

- |                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| • privádzacia rýchlosť | $v_{pr} = 1,12 \text{ m / min}$ |
| • odvádzacia rýchlosť  | $v_{od} = 1,26 \text{ m / min}$ |
| • teplota komory       | $130 \text{ }^{\circ} \text{C}$ |

Teplý vzduch bol udržiavaný ohrevom a regulačným systémom na hodnote postačujúcej k roztaveniu pojiva ( PETEX ) .

Pri výstupe z komory bolumiestnený kalandrovací válec , ktorý slúžil k zvýšeniu pojivového efektu vplyvom tlaku na taveninu pojiva . Voľba typu polymeru je riadená požiadavkom na tepelnú a chemickú odolnosť plošného útvaru a na mieru spevnenia , ktorá je daná adhéziou pojiva k základným vlákenným vrstvám . U tepelne spojených textílií je relatívne malá plocha styku s vláknami v porovnaní s vláknami pojinými chemicky . Z tohoto dôvodu bol za komorou kalandrovací válec ( celoplošné prepojenie ).

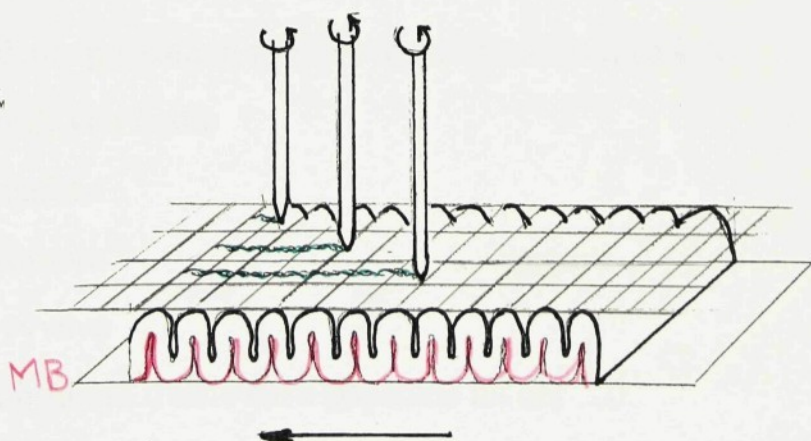
### **3 . 2 . 1 Príprava plošného útvaru pre objemnú textíliu**

Plošný útvar pre objemnú textíliu bol pripravený rovnakým spôsobom , v teplovzdušnej komore pri rovnakých pracovných parametroch , ale s tým rozdielom , že nebola použitá NT vyrobená v poloprevádzke KNT . Použitá bola MB NT spoločnosti Ecotextil z Hornátek.

### **3 . 3 Výroba objemnej textílie**

Vyrobené plošné útvary boli uložené do objemnej textílie vo firme Steels - Liberec na technickom zariadení ROTIS . Princíp zariadenia spočíva v preväzovaní ( zauzľovaní ) poskladaného plošného útvaru do objemnej textílie .

obrázok 19





Rovnomerné sklady zabezpečuje kolmý ukladač plošného útvaru . Preväzovanie bolo cez PE mriežku s veľkosťou ok  $0,5 \cdot 10^{-2} \times 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  , Ktorá udržuje obľemnú textíliu v požadovanom úložení .

Napriek tomu bola objemná textília ešte raz navedená do teplovzdušnej komory pre zafixovanie PE mriežky a tiež vodorovnej polohy objemnej textílie .

Fixovanie objemnej textílie prebiehlo s týmito parametrami :

- |                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| • teplota komory       | 130 ° C                         |
| • privádzacia rýchlosť | $v_{pr} = 1,15 \text{ m / min}$ |
| • odvádzacia rýchlosť  | $v_{od} = 1,20 \text{ m / min}$ |

Za teplovzdušnou komorou už nebol použitý kalandrovací válec .

### **3. 4 Meranie charakteristických parametrov vyrobených NT**

#### **3 . 4 . 1 Filtrácia prachu**

Ako bolo spomenuté v kapitole 2. 6. 4 ,efektivita ( účinnosť ) filtra je dôležitým parametrom , a preto bolo prevedené meranie na prachovom zariadení .

Zariadenie pozostáva zo štyroch samostatných celkov :

- dávkoč prašných častí
- spojovacia hadica
- testovacia komora
- .vzduchová výveva

Tieto celky obsahujú ďalšie časti popísané na obr .20.

## Vzduchová výveva

Prúd vzduchu je vytvorený pomocou prístroja METEFEM typ FF-12/A pre meranie predyšnosti a efektivity filtra. Tá zaisťuje odsávanie požadovaného množstva vzduchu. Vzduch je odsávaný z komory, v ktorej je upevnená testovacia vzorka. Rýchlosť prúdenia vzduchu cez túto vzorku je konštantná a rovná 2000 l/hod.

## Testovacia komora

Testovacia komora je zložená z troch kotúčov. V hornom kotúči ( 2 ), ktorý sa pokladá na testovaný materiál, je pripevnený sklenený kužeľ ( 1 ). Najnižší kotúč ( 4 ) je pripojený k hadici vedenej k nasavajúcemu zariadeniu ( 11 ). Na ňom leží nepriepustný filter ( 9 ), znemožňujúci priechod nezachyteným zkušobným časticami do nasavajúceho zariadenia. Prostredný kotúč ( 3 ) prilieha k nepriepustnému filtru a naňho sa ukladá testovacia vzorka. Po obvodoch kotúčov sú vyvrtané otvory, aby pomocou šrubov bolo možné vzorky utesniť.

Potrbné bolo zaistiť tesnosť, aby nikde neunikal vzduch. Niektoré vzorky sú pomerne vysoké a pri utiahnutí šrubov dochádza sice k stlačeniu vlákien, ale stále tam ostáva priestor, ktorým je vzduch nasávaný. Používajú sa gumové krúžky ( 7 ) s priemerom 110 mm, ktoré boli ukladané na obidva filtre. Na zlepšenie utesnenia boli obidva spoje prelepené tesniacou páskou.

## Dávkovacie zariadenie

Dávkovacie zariadenie zaisťuje rovnomernú dodávku častíc k testovanej vzorke počas celého merania. Je to horizontálne uložený kovový kotúč, poháňaný

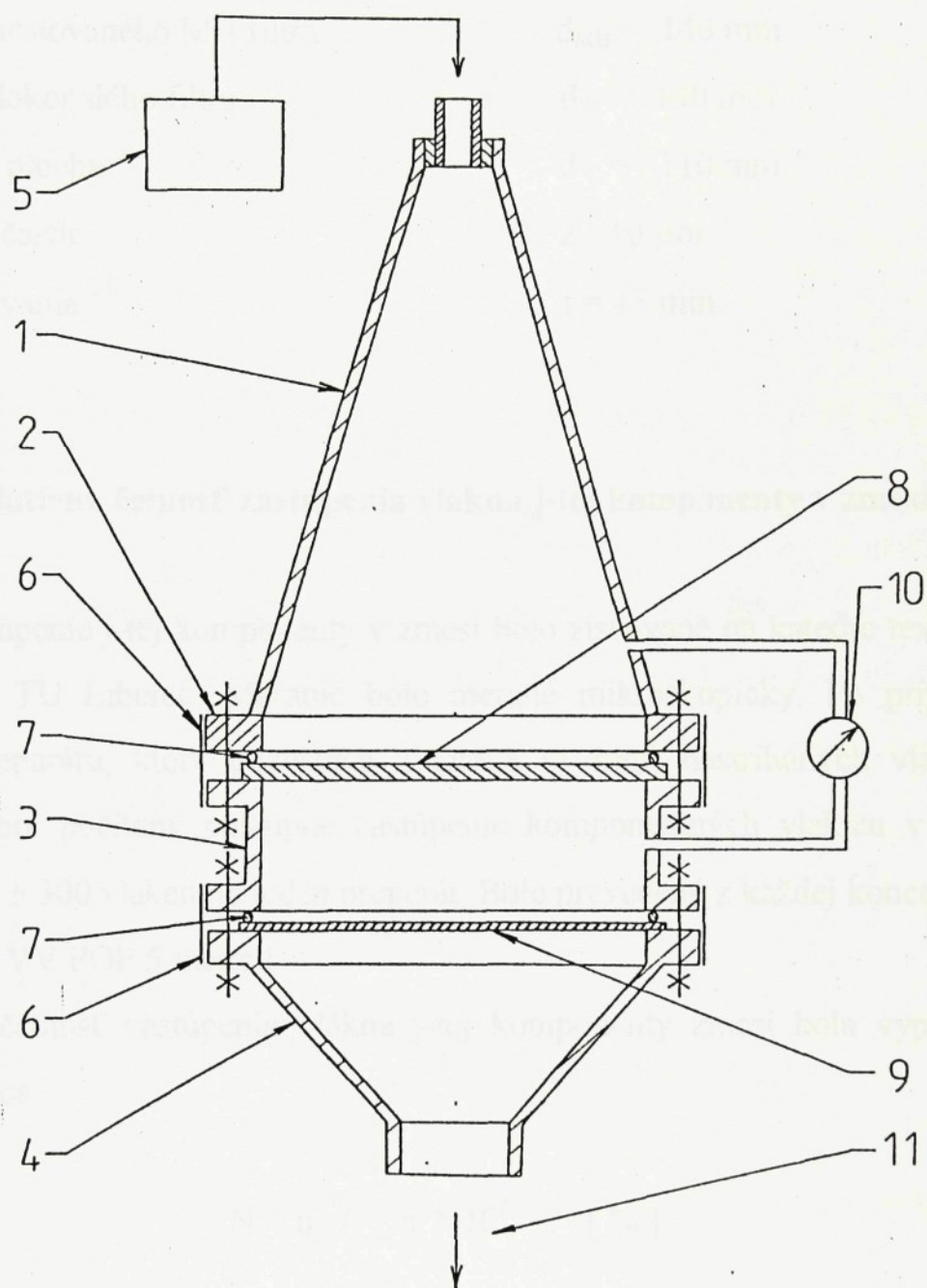


motorčekom zabezpečujúcim konštantnú rýchlosť otáčania. Rovnomerným vyplnením drážky prachom je zaistené, že bude nasávané a k filtru dodávané približne rovnaké množstvo prachu po celú dobu merania.

### Spojovacie potrubie

Vzájomné prepojenie uvedených zariadení a prístrojov je prevedené hadicami zo zmekčeného PVC a spojovacím potrubím, ktoré sú dokonale utesnené vo všetkých spojoch ( 11 ). Úsek meracieho zariadenia, kde prúdi zmes vzduchu so skúšobným médiom, musí mať hladké steny, aby nedochádzalo k zachytávaniu skúšobných častíc. Tomu sa nedá úplne zabrániť vďaka elektrostatickému náboju.

Obr.20 Meracie zariadenie pre testovania filtračných vlastností materiálov



1 ..... sklenený kužeľ

2 ..... horný kotúč

3 ..... stredný kotúč

4 ..... spodný kotúč

5 ..... dávkovač práškových častíc

6 ..... tesniaca páska

7 ..... tesniace gumové krúžky

8 ..... zkušobná vzorka

9 ..... dokonalý filter

10..... manometer

11..... spojovacia hadica



Meranie prebiehalo s týmito parametrami:

|                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| • objem vzduchu                | 2000 l / hod.             |
| • rozmer testovaného MB filtra | $d_{MB} = 140 \text{ mm}$ |
| • rozmer dokonalého filtra     | $d_D = 140 \text{ mm}$    |
| • filtračná plocha             | $d_F = 110 \text{ mm}$    |
| • veľkosť častíc               | 2 - 10 $\mu\text{m}$      |
| • čas testovania               | $t = 15 \text{ min.}$     |

### 3. 4. 2 Relatívna četnosť zastúpenia vlákna j-tej komponenty v zmesi

Zastúpenie j-tej komponenty v zmesi bolo zisťované na katedre textilných materiálov TU Liberec. Meranie bolo merané mikroskopicky. Po pripravení daného preparátu, ktorý pozostáva z jemne (1 mm) nastrihaných vlákien a glycerinu bol počítaný postupne zastúpenie komponentných vlákien v zmesi. Celkovo je  $\pm 300$  vlaken na jeden preparát. Bolo prevedené z každej koncentrácie zastúpenia VV POP 5 meraní.

Relatívna četnosť zastúpenia vlákna j-tej komponenty zmesi bola vypočítaná podľa vzorca

$$N = n_j / \sum_{i=1}^k n_i * 10^2 \quad [ \% ] \quad (16)$$

### 3. 4. 3 Určenie priemeru mikrovláken

Priemer vlákien bol tiež zisťovaný na katedre textilných materiálov. Meranie bolo prevedené na Lanametry.

Odčítaním z obrazovky boli zistené tieto priemery:

- POP  $d_{\text{POP}} = (3,7 \pm 1,16) \mu\text{m}$
- VV POP  $d_{\text{VV POP}} = (7,18 \pm 1,47) \mu\text{m}$

Vlákná POP sú lesklé, priesvitné. Vlákna VV POP boli matované.

#### **3. 4. 4 Určenie hrúbky filtrov**

Aj toto meranie bolo robené na KTM na zariadení UNI-THICKNESS-METER.

Skúška spočíva v zmeraní zmesi medzi dvoma rovnobežnými dosťičkami, dotýkajúcimi sa vzorky plošnej textilie behom stanovenej doby a pod daným tlakom. Vzdialenosť medzi dosťičkami charakterizuje hrúbku plošnej textilie.

Plocha meranej dosťičky bola  $1000 \text{ [mm}^2\text{]}$  a tlak  $2 \text{ [kPa]}$  po dobu 30 s; ČSN 80 0844.

#### **3. 4. 5 Rozbor filtra DGA 091 001**

Tento filter je používaný v automobilovom priemysle na zachytávanie prachu a peľu z ovzdušia. Je vyrobený ako objemný filter, a preto bude jeho účinnosť porovnaná s účinnosťou objemného filtru vyrobeného na zariadení Rotis.

Keďže výrobca neudáva žiadne výrobné parametre bol tento filter preskúmaný aj čo sa týka technológie výroby.

Predpokladaný proces výroby objemného filtra DGA 091 001:

- do rozmykaného vlákenného materiálu bol pridaný pojivový prášok (termoplast)



- celá vlákenná vrstva bola navedená do vpichovacieho stroja, kde nastalo zpevnenie vlákenej vrstvy
- takto pripravená vlákenná vrstva tvorila podkladovú textiliu, na ktorú boli ukladané kolmo kladené vlákna (struto) s pojivovým práškom
- celá objemná textília bola navedená do teplovzdušnej komory, kde došlo k zafixovaniu približne pri teplote 200°C.

Namerané parametre:

- |                                       |                                             |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| • použitý materiál                    | 100 % PES<br>termoplastický pojivový prášok |
| • priemer vláken                      | 16 $\mu\text{m}$                            |
| • plošná hmotnosť                     | 329,4 g / m <sup>2</sup>                    |
| • hrúbka                              | 10,1 mm                                     |
| • teplota T <sub>m</sub> PES          | 250 $\pm$ 5 °C                              |
| • teplota T <sub>m</sub> term. prášku | 200 $\pm$ 10 °C                             |
| • účinnosť filtra                     | 73,58 %                                     |

Vlákná sú matované, nelesklé.

### 3. 4. 6 Zisťovanie predyšnosti filtrov

Predýšnosť filtrov je schopnosť plošnej textilie prepúšťať vzduch za daných podmienok. Meranie bolo prevádzané na prístroji METEFEM typ FF-12/A. Podstata skúšky spočíva v nasávaní vzduchu skúšobnou plošnou textiliou pri stanovenej skúšobnej ploche vzorky a stanovenom podtlaku vzduchu. Stanovenie predyšnosti plošnej textilie je určené normou ČSN 80 0817.

Predýšnosť bola meraná pri týchto podmienkach:

- plocha merania  $20 \text{ cm}^2$
- podtlak v saciom potrubí  $200 \text{ Pa}$

**Predýšnosť  $W$**  filtra bola počítaná podľa vzťahu:

$$W = 100 \cdot v / 36 \cdot P \quad (17)$$

kde  $W$  ..... predyšnosť  $[\text{l} \cdot \text{m}^2 / \text{s}]$

$v$  ..... priemerný prietok vzduchu  $[\text{l} / \text{hod}]$

$P$  ..... plocha vzorky  $[\text{cm}^2]$



#### 4. Zhodnotenie výsledkov meraní - diskusia

Vyrobením plošných a objemných útvarov bol vytvorený materiál pre experimentálne merania. Zaznamenané výsledky sú zhrnuté nasledovne :

Vytvorením vlákenného rúna zo 100% PES, ktorý bol následne vpichovaný na vpichovacom stroji, bola vyrobená podkladová textília pre plošný útvar. Plošná hmotnosť bola  $240 \text{ g/m}^2$ . Plošný útvar pozostával z troch vrstiev: Vpichovaného PES, termoplastického pojiva Petex a vlákennej vrstvy vyrobenej technológiou melt-blown. Bol použitý 100 % POP s rôznym obsahom VV POP ( 10%, 20%, 30%, 40% ). Výroba prebiehala pri pracovných parametroch viz. kap. 3. 1. 1.

Štruktúra vlákennej vrstvy bola tvorená z dvoch druhov vlákien s priermi, ktoré sú uvedené v tabuľke č.3:

**Tabuľka č. 3 Priemery vlákien POP a VV POP**

|                                   | POP  | VV POP |
|-----------------------------------|------|--------|
| priemerná hod. [ $\mu\text{m}$ ]  | 3,7  | 7,18   |
| smerodat. odch. [ $\mu\text{m}$ ] | 1,16 | 1,47   |
| variálny koef. [%]                | 31,3 | 20,4   |

Vlána VV POP boli ukladané skôr na povrchu vlákennej vrstvy. Vlákna POP neboli VV POP obaľované ani zlepované do zhlukov. Každý druh vlákien bol samostatne. Plošná hmotnosť sa so zvyšujúcou koncentráciou pojivého komponentu znižovala ( tabuľka č. 4 ).



**Tabuľka č. 4 Plošné hmotnosti POP a VV POP**

| POMER VV POP / POP [%]                           | PLOŠNÁ HMOTNOSŤ [ g/m <sup>2</sup> ] |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 0                                                | 46,6                                 |
| 10                                               | 44,5                                 |
| 20                                               | 41,2                                 |
| 30                                               | 38,7                                 |
| 40                                               | 37,0                                 |
| <i>priemer [ g / m<sup>2</sup> ]</i>             | <b>41,6</b>                          |
| <i>smerodatná odchýlka [ g / m<sup>2</sup> ]</i> | <b>4,0</b>                           |
| <i>variálny koeficient [%]</i>                   | <b>9,55</b>                          |

Četnosť zastúpenia kompozitného materiálu bola meraná z dôvodu zistenia rovnomernosti štruktúry materiálu, pravidelnosti usporiadania jednotlivých druhov vlákien. Výsledky boli spracované podľa vzťahu ( 16 ). Je možné skonštatovať, že vlákenná vrstva bola vyrobená pomerne rovnomerne. Výsledky sú zaznamenané v tabuľke č. 5.

**Tabuľka č. 5 Četnosť zastúpenia kompozitu**

| Četnosť [%]                         | 10%   | 20%   | 30%   | 40%   |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>priemer [%]</b>                  | 7,6   | 18,3  | 31,53 | 42,16 |
| <b>smer.odch. [%]</b>               | 1,5   | 2,52  | 5,93  | 3,8   |
| <b>variáč.koef. [%]</b><br><b>1</b> | 19,92 | 13,72 | 18,8  | 9,21  |

Všetky plošné útvary boli navedené do teplovzdušnej komory pre zlepšenie prepojenia jednotlivých vrstiev. Teplota v komore bola 130 °C.

Rovnakým spôsobom bol vyrobený základný plošný útvar pre objemnú textíliu. Ako vlákenná vrstva bol použitý melt-blown od firmy Ecotextil z Hornátek. Takto pripravený plošný útvar bol poskladaný ( obr.č. 19 ) a spevnený mriežkou a zákrutom na zariadení Rotis.

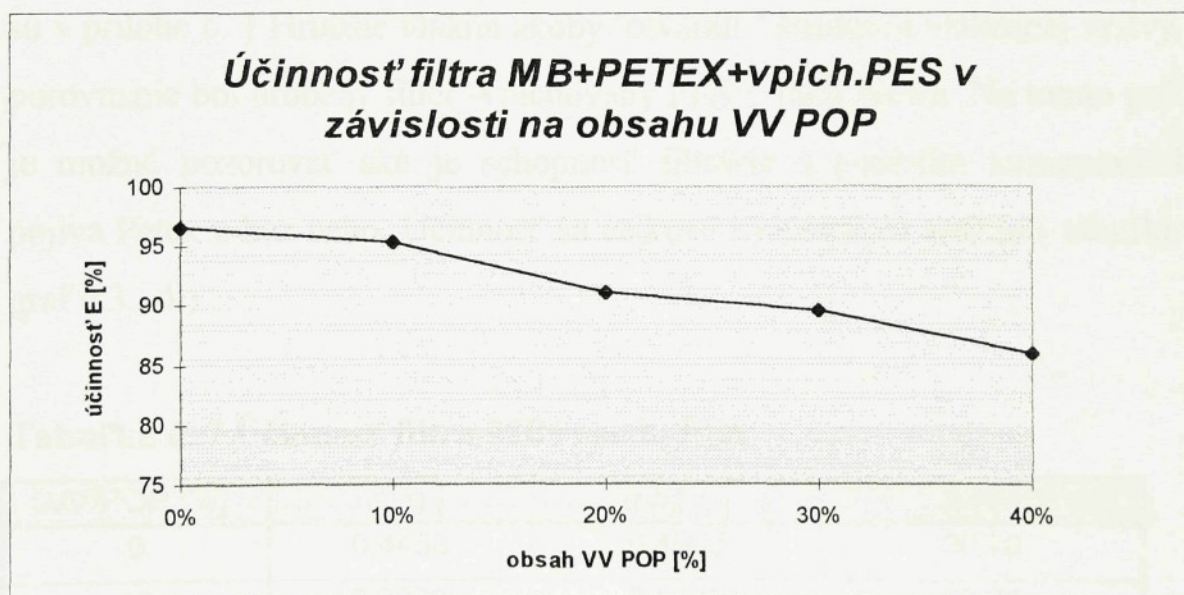


Filtrácia plošného útvaru ( MB = POP + x% VV POP ) bola meraná na prachovom zariadení s veľkosťou častíc prachu 2-10  $\mu\text{m}$ . Odsávanie vzduchu bolo 2000 l/hod po dobu 15 min.

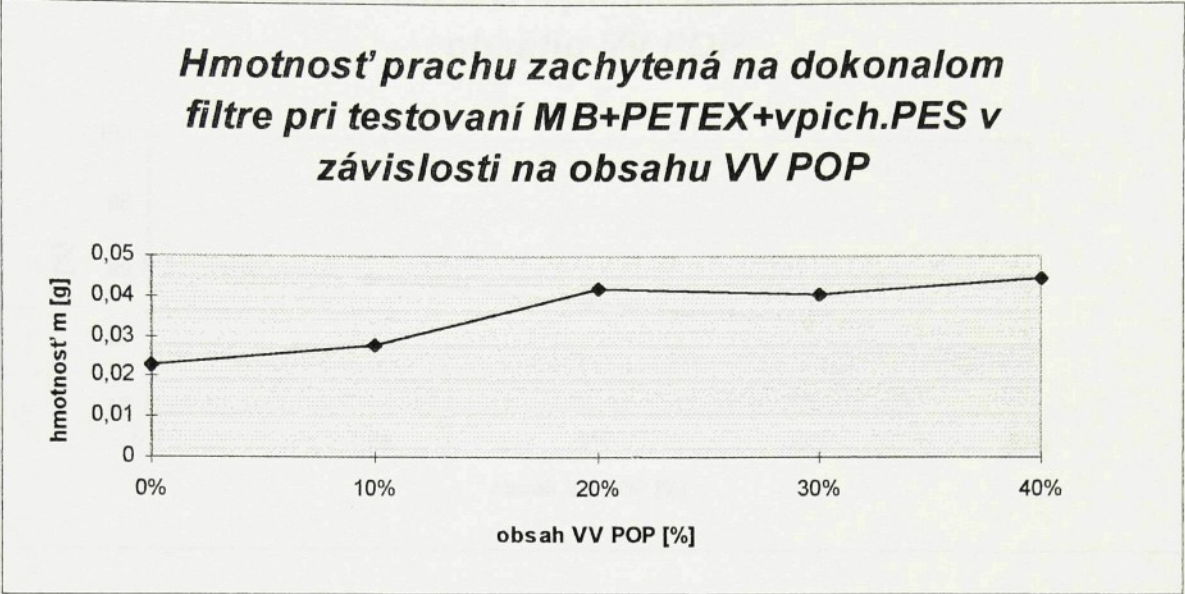
**Tabuľka č. 6 Účinnosť filtra MB+Petex+vpich. PES**

| VV POP[%] | m [ g ] | mp [ g ] | E [%] |
|-----------|---------|----------|-------|
| 0         | 0,6567  | 0,6794   | 96,65 |
| 10        | 0,5846  | 0,6125   | 95,45 |
| 20        | 0,4259  | 0,4678   | 91,04 |
| 30        | 0,3466  | 0,3871   | 89,53 |
| 40        | 0,2735  | 0,3180   | 86,01 |

**Graf č. 1 Závislosť účinnosti filtra na obsahu pojiva**



Graf č. 2 Hmotnosť prachu zachytená na dokonalom filtre



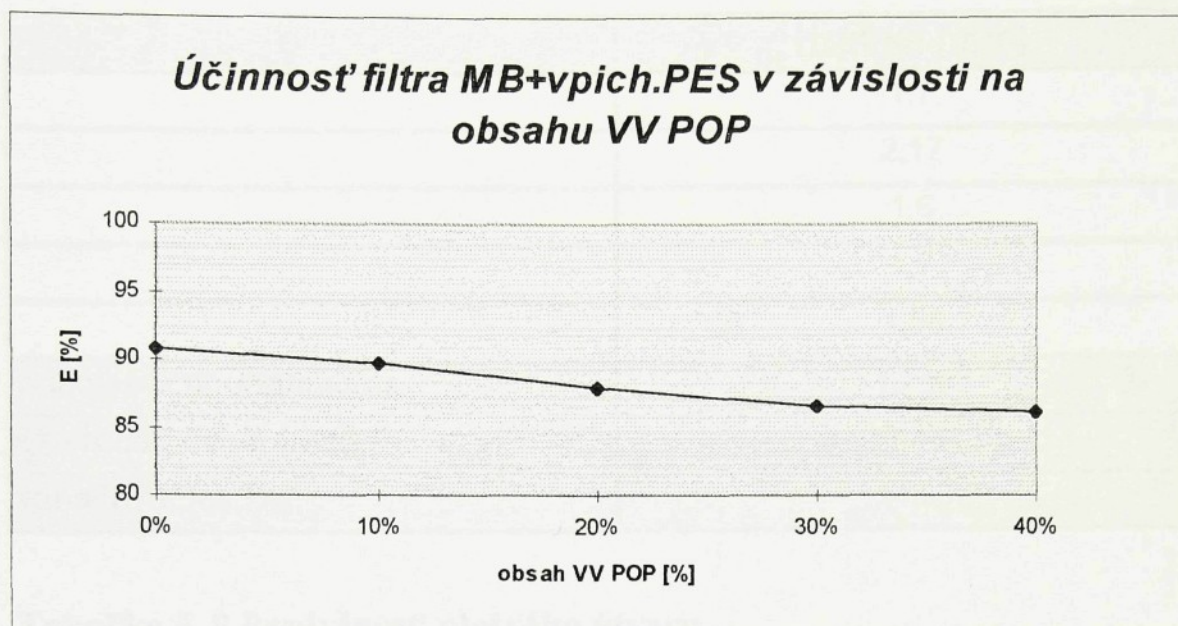
Účinnosť klesá so zvyšujúcim sa obsahom VV POP. Všetky namerané hodnory sú v prílohe č. 1. Hrubšie vlákna akoby "otvárali" štruktúru vlákenej vrstvy. Pre porovnanie bol urobený filter -vpichovaný PES + melt-blown. Na tomto príklade je možné pozorovať aká je schopnosť filtrácie s použitím termoplastického pojiva Petex a bez neho. Účinnosť sa celkovo rovnomerne znížila ( tabuľka č.7, graf č.3., 4.) .

Tabuľka č. 7 Účinnosť filtra MB+vpich. PES

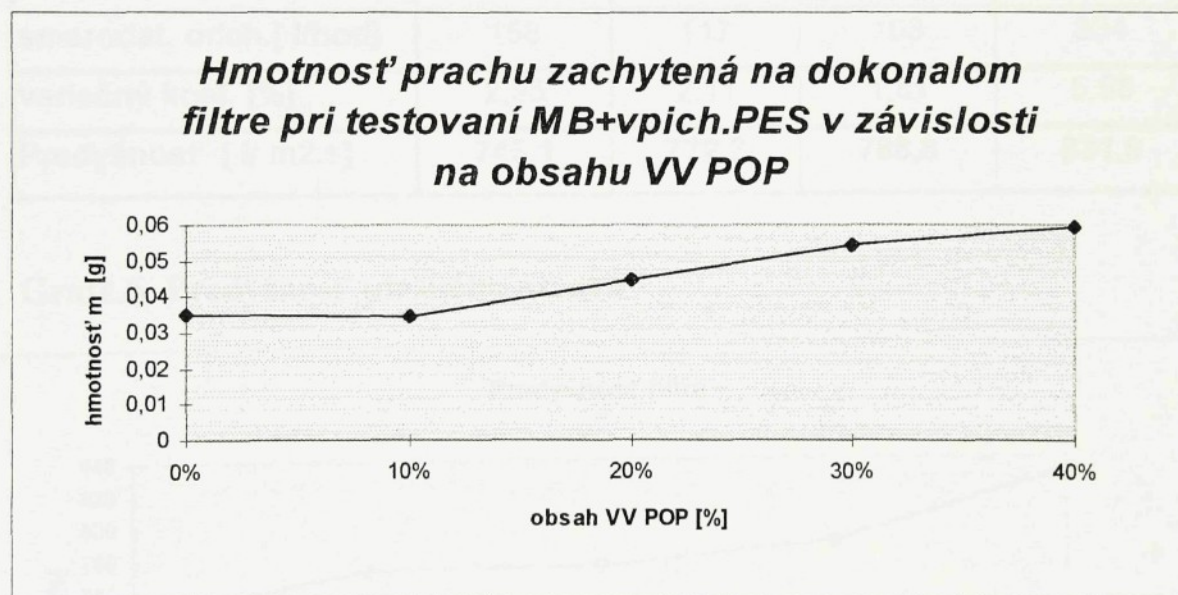
| VV POP [%] | m [ g ] | mp [ g ] | E [%] |
|------------|---------|----------|-------|
| 0          | 0,4453  | 0,4905   | 90,78 |
| 10         | 0,3033  | 0,3379   | 89,76 |
| 20         | 0,3248  | 0,3695   | 87,91 |
| 30         | 0,3507  | 0,4053   | 86,52 |
| 40         | 0,3702  | 0,4299   | 86,11 |



**Graf č. 3 Účinnosť filtra MB+vpich. PES**



**Graf č. 4 Hmotnosť prachu zachytená na dokonalom filtre**



Hrúbka plošného útvaru bola (  $1,75 \pm 0,2$  ) mm pod tlakom 2 kPa po dobu 30 sekúnd ( tabuľka č.8 ).

Predýšnosť plošného útvaru sa so zvyšujúcim obsahom VV POP zvyšuje (tabuľka č. 9, graf č. 5 ).

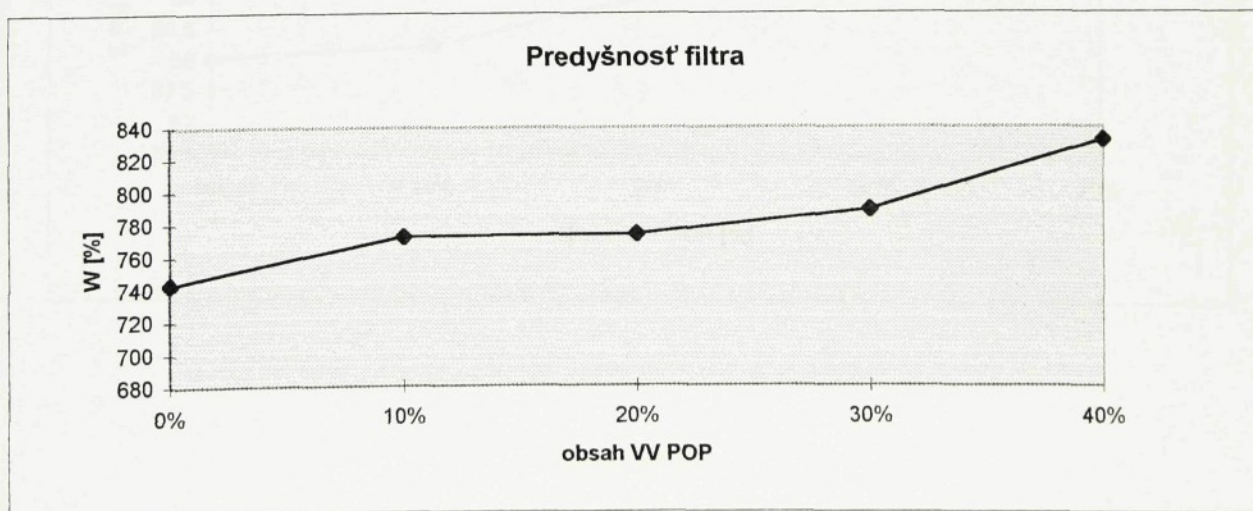
**Tabuľka č. 8 Hrúbka plošného útvaru**

|                              | <b>Hrúbka [mm]</b> |
|------------------------------|--------------------|
|                              | 1,7                |
|                              | 2,17               |
|                              | 1,6                |
|                              | 1,7                |
|                              | 1,56               |
| <b>priemerná hodnota[mm]</b> | <b>1,746</b>       |
| <b>smerodat. odch. [mm]</b>  | <b>0,24</b>        |
| <b>variačný koef. [%]</b>    | <b>14,03</b>       |

**Tabuľka č. 9 Predýšnosť plošného útvaru**

|                                | <b>0%</b>    | <b>10%</b>   | <b>30%</b>   | <b>40%</b>   |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>v [l / hod]</b>             | 5350         | 5560         | 5680         | 5990         |
| <b>smerodat. odch.[ l/hod]</b> | 158          | 117          | 103          | 334          |
| <b>variačný koef. [%]</b>      | 2,95         | 2,11         | 1,81         | 5,58         |
| <b>Predýšnosť [ l/ m2.s]</b>   | <b>743,1</b> | <b>772,2</b> | <b>788,8</b> | <b>831,9</b> |

**Grafč.5 Predýšnosť plošného útvaru**



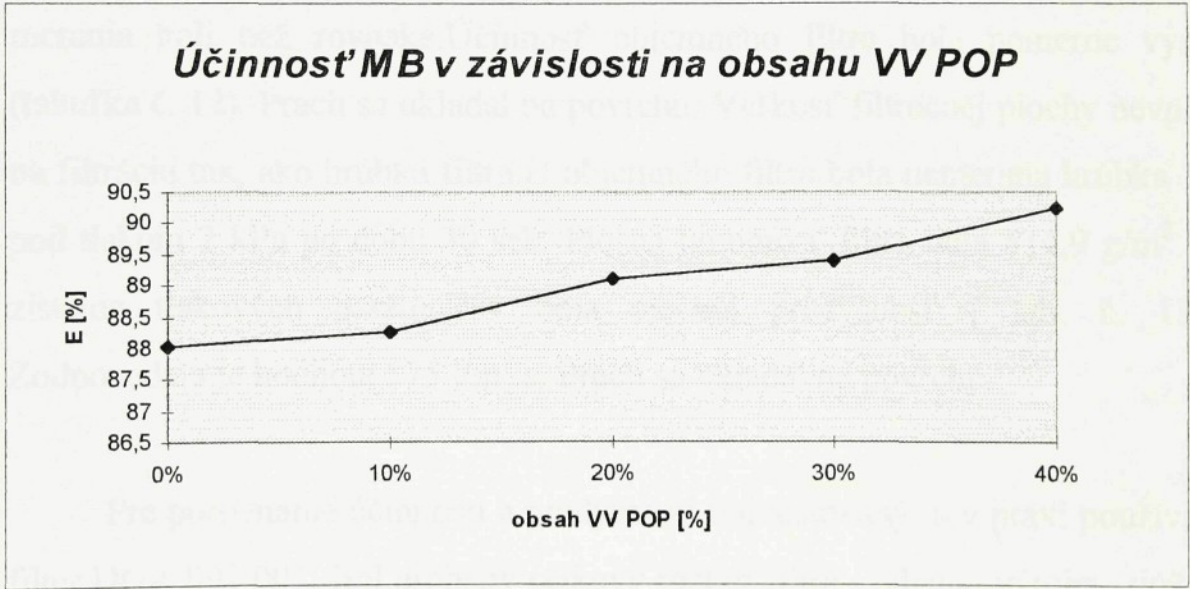


Účinnosť samotného melt-blownu a vpichovaného PES je zaznamenaná v tabuľke č. 10 a grafe č. 6, 7 .

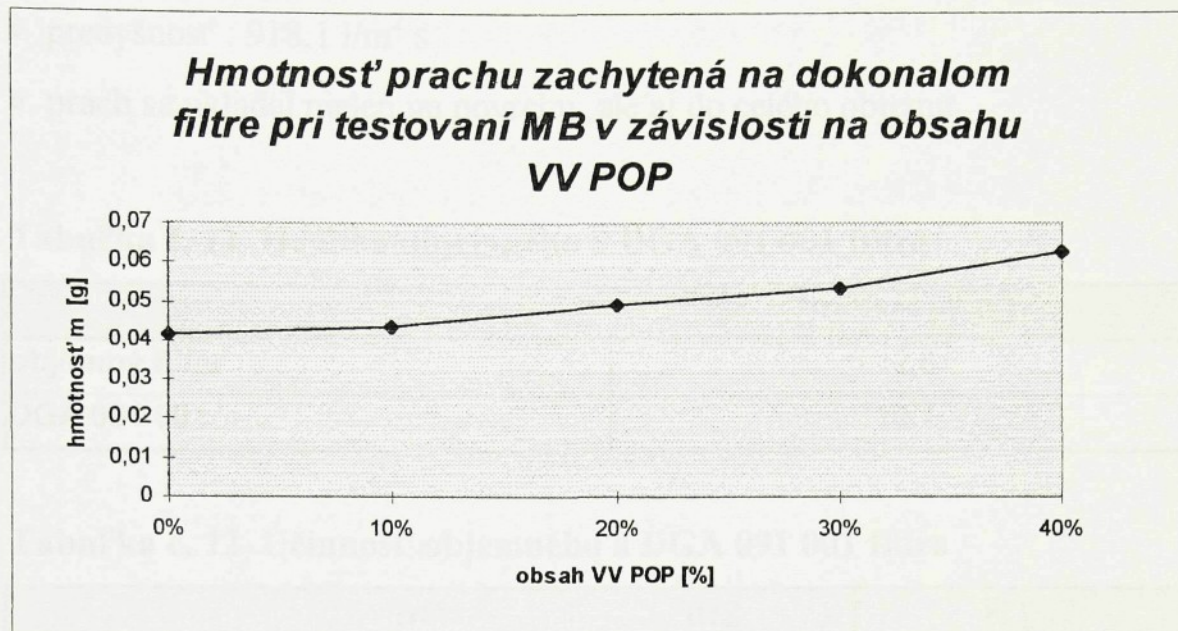
Tabuľka č. 10 Účinnosť MB a vpich. PES

|            |      | m [ g ] | mp [ g ] | E [%] |
|------------|------|---------|----------|-------|
| vpich. PES |      | 0,6355  | 0,8191   | 77,58 |
| MB         | 0 %  | 0,3048  | 0,3463   | 88,02 |
| MB         | 10 % | 0,3688  | 0,4179   | 88,25 |
| MB         | 20 % | 0,2516  | 0,2946   | 89,10 |
| MB         | 30 % | 0,4604  | 0,5136   | 89,41 |
| MB         | 40 % | 0,3846  | 0,4674   | 90,24 |

Graf č. 6 Účinnosť MB v závislosti na obsahu VV POP



**Graf č. 7 Hmotnosť prachu zachytená na dokonalom filtre**



Objemný útvar bol tiež premeraný na prachovom zariadení. Parametre merania boli tiež rovnaké. Účinnosť objemného filtra bola pomerne vysoká (tabuľka č. 12). Prach sa ukladal na povrchu. Veľkosť filtračnej plochy nevplyva na filtráciu tak, ako hrúbka filtra. U objemného filtra bola nameraná hrúbka 12,8 pod tlakom 2 kPa po dobu 30 sek. Plošná hmotnosť filtra bola 514,9 g/m<sup>2</sup>. Pre zistenie tlakových parametrov bola meraná predýšnosť ( tab. č. 13 ). Zodpovedala je hodnota 575 l/m<sup>2</sup>.s. Prach sa ukladal na povrchu.

Pre porovnanie účinnosti a predýšnosti bol testovaný, a v praxi používaný, filter DGA 091 001. Bol urobený celkový rozbor filtra - odhahu výroby, zloženia materiálu, priemeru vlákien, hrúbky, účinnosti a predýšnosti.

Vysledky merania:

- zloženie materiálu : PES s priemerom vlákien 16 µm a termoplastické práškové pojivo ( 200 ± 10 )°C
- hrúbka filtra : 10,1 mm



- účinnosť filtra: v porovnaní s objemným filtrom (Rotis ) je nižšia 73,58 %
- predyšnosť : 918,1 l/m<sup>2</sup>.s
- prach sa ukladal nielen na povrchu ,ale aj do celého objemu

**Tabuľka č. 11 Hrúbka objemného a DGA 091 001 filtra**

|                | Hrúbka [mm ] |
|----------------|--------------|
| objemný filter | 12,8         |
| DGA 091 001    | 10,1         |

**Tabuľka č. 12 Účinnosť objemného a DGA 091 001 filtra**

|                | m1     | m2     | E [%] |
|----------------|--------|--------|-------|
| objemný filter | 0,4232 | 0,4241 | 99,78 |
| DGA 091 001    | 0,1986 | 0,2699 | 73,58 |

**Tabuľka č. 13 Predyšnosť objemného a DGA 091 001 filtra**

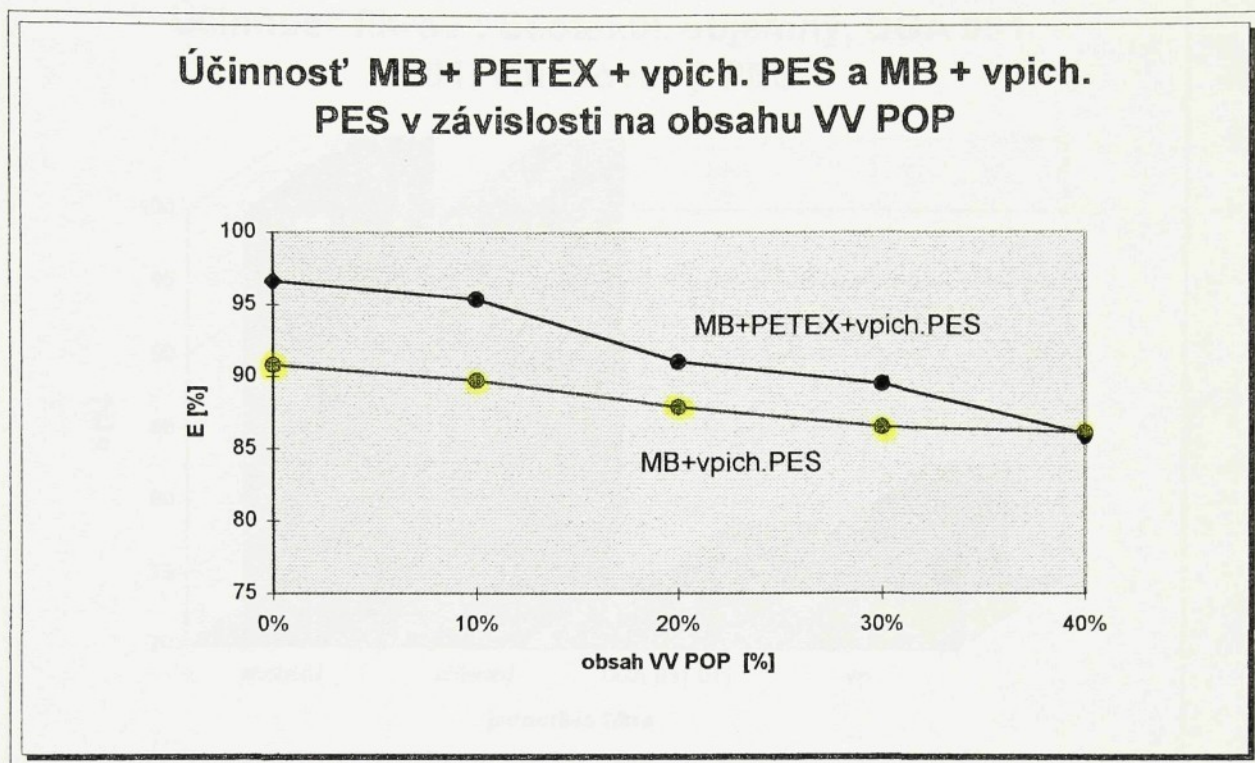
|                           | objemný | DGA 091 011 |
|---------------------------|---------|-------------|
| $\bar{v}$ [ l/ hod]       | 4140    | 6610        |
| smerodat. odch. [ l/hod ] | 195     | 994         |
| variačný koef. [%]        | 1,95    | 1,5         |
| Predyšnosť [ l/ m2.s ]    | 575     | 918,1       |

Celkovo je možné povedať,že i keď sú značné rozdiely výsledkov u obidvoch filtrov, plošný filte s obsahom 40 % VV POP sa priblížil účinnosťou a predyšnosťou k hodnotám filtra DGA 091 001. Rozdiely sú dané hlavne technológiou výroby a následnej štruktúry oboch filtrov .

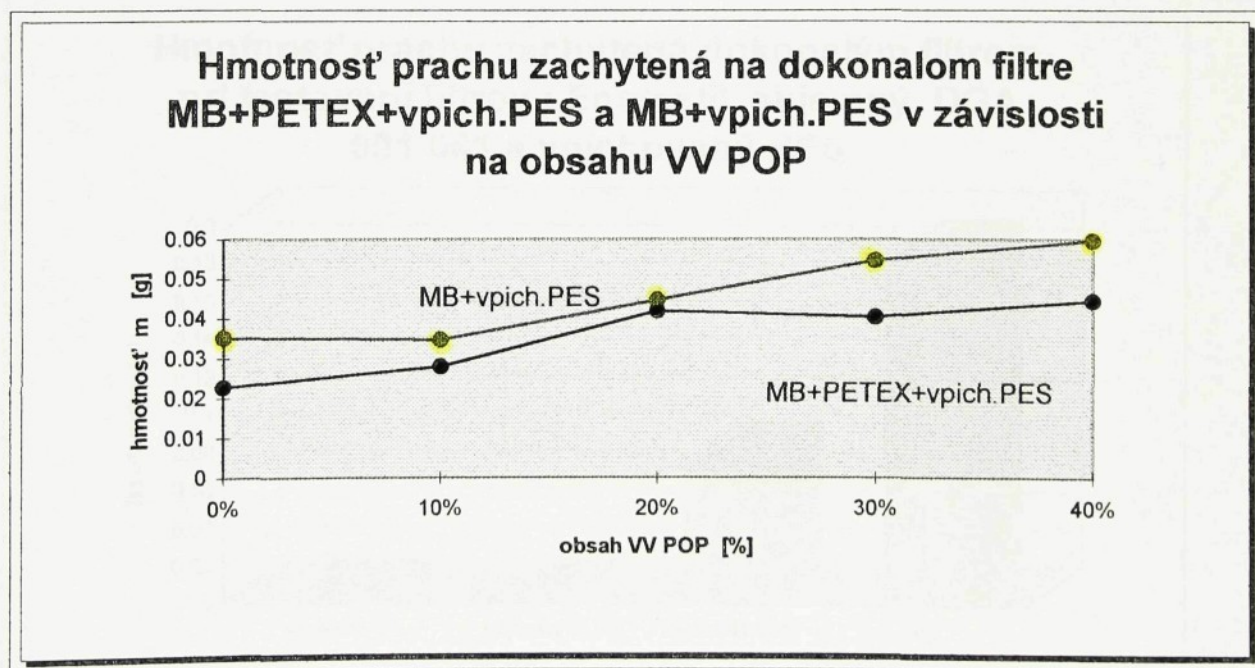


V grafe č. 8, 9 sú viditeľné posuny účinnosti plošných útvarov.

**Graf č. 8 Závislosti účinnosti plošných útvarov na obsahu pojivých vlákien VV POP**

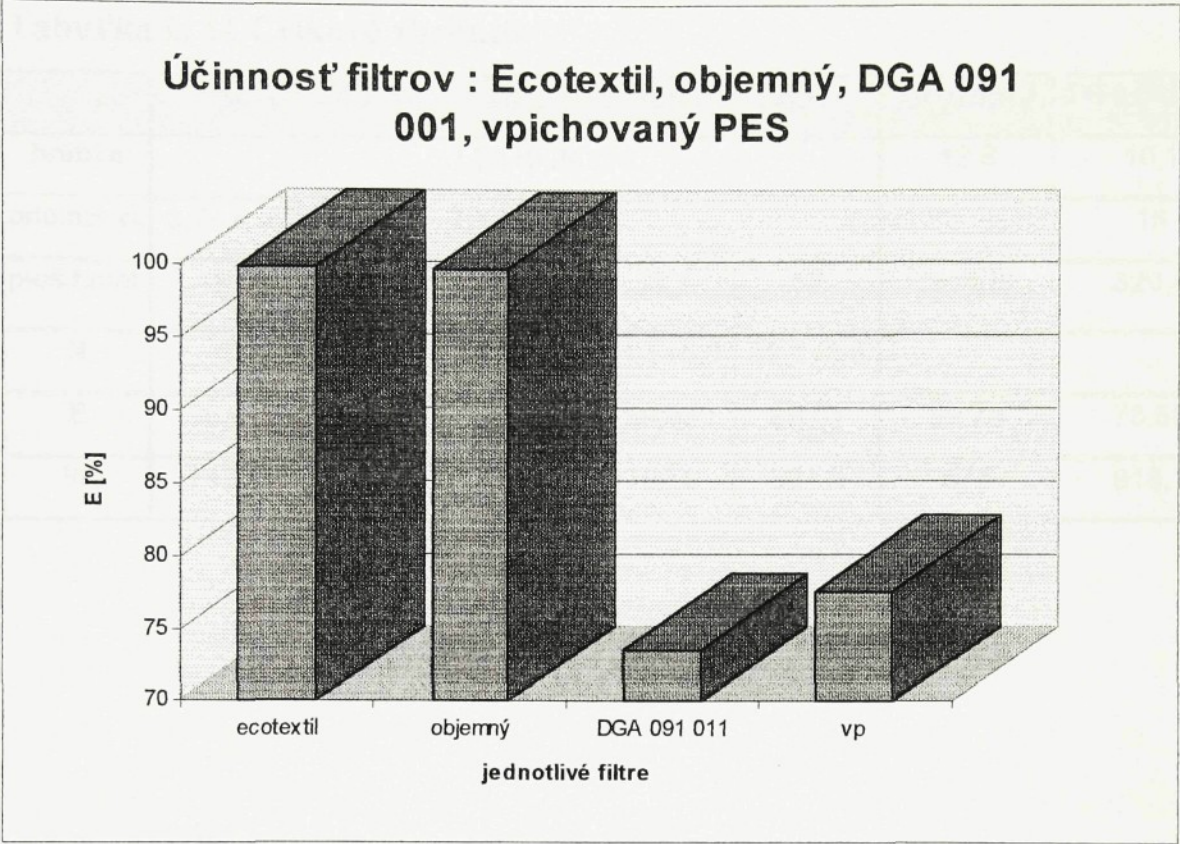


**Graf č. 9 Hmotnosť prachu zachytená dokonalým filtrom**

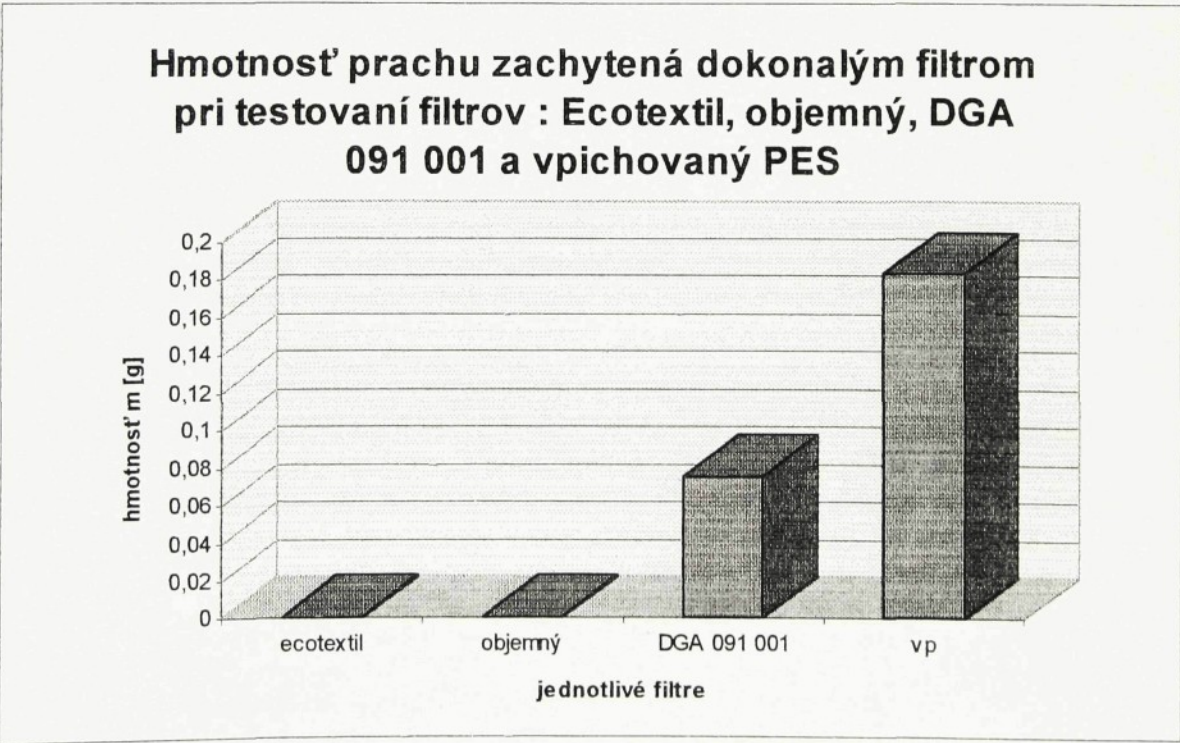




Graf č. 10 Účinnosť filtrácie jednotlivých filtro



Graf č. 11 Hmotnosť prachu zachytená na dokonalom filtre



V tabuľke č. 14 je celkové zhrnutie nameraných hodnôt.

Tabuľka č. 14 Celkové zhrnutie

|             | 0%        | 10%       | 20%      | 30%      | 40%      | objemný | DGA 091 001 |
|-------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|---------|-------------|
| hrúbka      | 1,75+0,24 |           |          |          |          | 12,8    | 10,1        |
| priemer vl. | 3,7+1,16  | 7,18+1,47 |          |          |          |         | 16          |
| ploš.hmot   | 46,6      | 44,5      | 41,2     | 38,7     | 37       | 514,9   | 329,4       |
| N           | 0         | 7,6+1,5   | 18,3+2,5 | 31,5+5,9 | 42,2+3,8 |         |             |
| E           | 96,65     | 95,45     | 91,04    | 89,53    | 86,01    | 99,78   | 73,58       |
| W           | 742,1     | 772,2     | 773,6    | 788,8    | 831,9    | 575     | 918,1       |



## 5. ZÁVER

Vďaka mikrovlákennej štruktúre technológie melt-blown sú vyrábané filtre, ktoré zachytávajú nečistoty ( prach, peľ, smog atď. ) zo vzduchu.

Pri sledovaní schopnosti znovuobnovenia filtrácie a schopnosti zachytávať prach bola meraná účinnosť ako plošných, tak aj objemných filtrov. Plošné filtre boli vyrobené z POP s rôznym obsahom pojivých vlákien VV POP ( 10 %, 20 %, 30 %, 40 % ). Výsledná plošná textília bola zložená z vpichovaného PES, termoplastického pojiva PETEX ( PE ) a vyrobenej vlákennnej komponentnej vrstvy. Priemery jednotlivých vlákien sa pohybovali:

- **POP**  $d_{POP} = ( 3,7 \pm 1,16 ) \mu m$
- **VV POP**  $d_{VV POP} = ( 7,18 \pm 1,47 ) \mu m$

Dá sa povedať, že so zvyšujúcou sa koncentráciou pojivých vlákien a so znižujúcou sa plošnou hmotnosťou, účinnosť filtra klesá. Predýšnosť sa so zvyšujúcou koncentráciou takisto zvyšuje.

Objemný filter bol vyrobený z vpichovaného PES, termoplastického pojiva PETEX a melt-blownu od firmy ECOTEXTIL z Hornátek. Kolmým ukladáním bol zpevnený zákrutom a mriežkou ( Rotis ). Týmto ukladáním sa zväčšila nielen hrúbka filtra, ale aj filtračná plocha. Účinnosť tohoto objemného filtra bola pomerne vysoká, a to 99, 78 %. Prach sa ukladal prevážne na povrchu. Predýšnosť bola nameraná pomerne nízka  $575 [ l/m^2 \cdot s ]$ .

Pre lepšie porovnávanie a zhodnotenie bol hodnotený a testovaný filter, ktorý je používaný v automobilovom priemysle DGA 091 001. Tento filter sa používa na zachytávanie prachu a peľu zo vzduchu, ktorý je vháňaný do kabíny auta. Účinnosť testovaného filtra DGA 091 001 bola 73,58 %. Zanášanie prachu bolo v celom objeme filtra. Predýšnosť bola vysoká  $918 [ l/m^2 \cdot s ]$ .

Dá sa teoreticky povedať, že tlakové ztráty u vyrobenej objemnej textilie boli vyššie, než pri testovanom filtri DGA 091 001. Hodnota tlakového spádu nebola v tejto práci určovaná, k približnému určeniu tlakových rozdielov bola meraná predyšnosť filtra.



## **POUŽITÁ LITERATÚRA :**

- [ 1 ] Melt- blown technology today, San Francisco, 1989
- [ 2 ] Pich : Dizertačná práca , 1964
- [ 3 ] R. C. Brown : Air filtration
- [ 4 ] Bever : Encyklopedie of materials science enginniring, vol. 2
- [ 5 ] J. Pich : Úvod do základov vysokoefektívnej filtrácie

## **PRÍLOHA 1**

### **Tabuľky navrhnutých hodnôt**

## **PRÍLOHA č. 1**

**Tabul'ky nameraných hodnôt**



Tab. č.15 0% MB+Petex+vpich.PES

|                   | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                 | 1,3224         | 1,3171         | 0,0053      | 2,1219      | 3,6562      | 1,5343    |
| 2                 | 1,3497         | 1,3769         | 0,0272      | 2,1095      | 2,3016      | 0,1921    |
| 3                 | 1,3365         | 1,3621         | 0,0256      | 2,0311      | 2,7095      | 0,6784    |
| 4                 | 1,3342         | 1,3621         | 0,0279      | 2,0288      | 2,3825      | 0,3537    |
| 5                 | 1,3574         | 1,3852         | 0,0278      | 2,2983      | 2,8233      | 0,5250    |
| priemer. [ g ]    |                |                | 0,0228      |             |             | 0,6567    |
| smer. odch. [ g ] |                |                | 0,0087      |             |             | 0,4681    |
| variač. koef. [%] |                |                | 38,52       |             |             | 71,28     |

Tab. č. 16 10% MB+Petex+vpich.PES

|                   | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                 | 1,3310         | 1,3582         | 0,0272      | 2,4595      | 2,8892      | 0,4297    |
| 2                 | 1,3955         | 1,4199         | 0,0235      | 2,5434      | 3,0479      | 0,5045    |
| 3                 | 1,3308         | 1,3522         | 0,0214      | 2,3149      | 3,3751      | 1,0602    |
| 4                 | 1,3885         | 1,4192         | 0,0307      | 2,2365      | 2,8120      | 0,5755    |
| 5                 | 1,3821         | 1,4189         | 0,0368      | 2,3215      | 2,6749      | 0,3534    |
| priemer [ g ]     |                |                | 0,0279      |             |             | 0,5866    |
| smer. odch. [ g ] |                |                | 0,0054      |             |             | 0,2791    |
| variač. koef. [%] |                |                | 19,56       |             |             | 42,59     |

Tab. č. 17 20% MB+Petex+vpich.PES

|                   | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                 | 1,3466         | 1,3533         | 0,0367      | 2,2264      | 2,4731      | 0,2467    |
| 2                 | 1,3747         | 1,4122         | 0,0375      | 2,0988      | 2,7571      | 0,6583    |
| 3                 | 1,3797         | 1,4172         | 0,0375      | 2,2241      | 2,6704      | 0,4463    |
| 4                 | 1,3445         | 1,3929         | 0,0484      | 2,2365      | 2,7253      | 0,4888    |
| 5                 | 1,3836         | 1,4331         | 0,0495      | 2,2639      | 2,5535      | 0,2896    |
| priemer [ g ]     |                |                | 0,0419      |             |             | 0,4259    |
| smer. odch. [ g ] |                |                | 0,0064      |             |             | 0,1476    |
| variač. koef. [%] |                |                | 13,73       |             |             | 34,67     |



Tab č. 18 30% MB+Petex+vpich.PES

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                  | 1,3488         | 1,4025         | 0,0537      | 2,0917      | 2,3681      | 0,2764    |
| 2                  | 1,3951         | 1,4336         | 0,0385      | 2,0006      | 2,2404      | 0,2344    |
| 3                  | 1,3463         | 1,3846         | 0,0383      | 2,0405      | 2,1752      | 0,1347    |
| 4                  | 1,3509         | 1,3821         | 0,0312      | 1,9002      | 2,6282      | 0,7280    |
| 5                  | 1,3958         | 1,4359         | 0,0401      | 2,0627      | 2,4226      | 0,3599    |
| priemer [ g ]      |                |                | 0,0403      |             |             | 0,3466    |
| smer. odch . [ g ] |                |                | 0,0073      |             |             | 0,2039    |
| variač. koef . [%] |                |                | 18,19       |             |             | 58,84     |

Tab č. 19 40% MB+Petex+vpichPES

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                  | 1,3493         | 1,3952         | 0,0459      | 2,0961      | 2,2877      | 0,1916    |
| 2                  | 1,3485         | 1,3880         | 0,0395      | 2,1270      | 2,3588      | 0,2318    |
| 3                  | 1,3868         | 1,4245         | 0,0377      | 2,0175      | 2,5092      | 0,4917    |
| 4                  | 1,3577         | 1,4110         | 0,0533      | 2,2726      | 2,4879      | 0,2153    |
| 5                  | 1,3206         | 1,3629         | 0,0423      | 2,4113      | 2,6486      | 0,2373    |
| priemer [ g ]      |                |                | 0,0444      |             |             | 0,2735    |
| smer. odch . [ g ] |                |                | 0,0059      |             |             | 0,1102    |
| variač. koef . [%] |                |                | 13,43       |             |             | 40,29     |

Tab. č. 20 Ecotextil+ Petex+vpich.PES

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                  | 1,3794         | 1,3803         | 0,0009      | 2,2473      | 3,4534      | 1,2061    |
| 2                  | 1,3683         | 1,3694         | 0,0011      | 2,2266      | 2,9213      | 0,6947    |
| 3                  | 1,3654         | 1,3658         | 0,0004      | 2,1219      | 2,6585      | 0,5366    |
| 4                  | 1,3293         | 1,3304         | 0,0011      | 2,0366      | 2,5408      | 0,5042    |
| 5                  | 1,3836         | 1,3842         | 0,0006      | 2,2268      | 2,6399      | 0,4131    |
| priemer [ g ]      |                |                | 0,0008      |             |             | 0,6709    |
| smer. odch . [ g ] |                |                | 0,0003      |             |             | 0,2825    |
| variač. koef . [%] |                |                | 33,97       |             |             | 42,11     |



Tab. 21 Objemný filter

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                  | 1,3838         | 1,3844         | 0,0006      | 8,0957      | 8,5237      | 0,4280    |
| 2                  | 1,3413         | 1,3419         | 0,0006      | 8,0254      | 8,3759      | 0,3505    |
| 3                  | 1,3874         | 1,3882         | 0,0008      | 9,1695      | 9,5571      | 0,3876    |
| 4                  | 1,3668         | 1,3683         | 0,0015      | 9,6394      | 9,9299      | 0,2905    |
| 5                  | 1,3242         | 1,3251         | 0,0009      | 8,3393      | 8,9989      | 0,6596    |
| priemer [ g ]      |                |                | 0,0008      |             |             | 0,4232    |
| smer. odch . [ g ] |                |                | 0,0003      |             |             | 0,1265    |
| variač. koef . [%] |                |                | 33,97       |             |             | 29,89     |

Tab. č. 22 vpichovaný PES

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                  | 1,3782         | 1,5836         | 0,2054      | 0,6862      | 1,1884      | 0,5022    |
| 2                  | 1,4144         | 1,6173         | 0,2029      | 0,6849      | 1,1152      | 0,4303    |
| 3                  | 1,3772         | 1,5957         | 0,2185      | 0,6589      | 1,1055      | 0,4466    |
| 4                  | 1,4175         | 1,5886         | 0,1711      | 0,7408      | 2,2263      | 1,4855    |
| 5                  | 1,3308         | 1,4509         | 0,1201      | 0,7542      | 1,0672      | 0,3130    |
| priemer [ g ]      |                |                | 0,1836      |             |             | 0,6355    |
| smer. odch . [ g ] |                |                | 0,0353      |             |             | 0,4294    |
| variač. koef . [%] |                |                | 19,26       |             |             | 67,57     |

Tab č. 23 0 % MB

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ] | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ] |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1                  | 1,4048         | 1,4531         | 0,0483      | 0,6616      | 0,8316      | 0,1700    |
| 2                  | 1,3787         | 1,4199         | 0,0412      | 0,6343      | 0,8089      | 0,1746    |
| 3                  | 1,4174         | 1,4510         | 0,0336      | 0,6811      | 1,5303      | 0,8492    |
| 4                  | 1,3216         | 1,3659         | 0,0443      | 0,7161      | 0,8978      | 0,1917    |
| 5                  | 1,3783         | 1,4185         | 0,0402      | 0,5666      | 0,7055      | 0,1389    |
| priemer [ g ]      |                |                | 0,0415      |             |             | 0,3048    |
| smer. odch . [ g ] |                |                | 0,0048      |             |             | 0,2726    |
| variač. koef . [%] |                |                | 11,71       |             |             | 89,44     |



Tab. č. 24 10% MB

|                          | $m_{f1} [g]$ | $m_{f2} [g]$ | $m_f [g]$     | $m_1 [g]$ | $m_2 [g]$ | $m [g]$       |
|--------------------------|--------------|--------------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| 1                        | 1,4140       | 1,4484       | 0,0344        | 0,6750    | 1,1996    | 0,5246        |
| 2                        | 1,3754       | 1,4352       | 0,0598        | 0,6101    | 0,9437    | 0,3336        |
| 3                        | 1,3898       | 1,4469       | 0,0571        | 0,6359    | 0,9746    | 0,3387        |
| 4                        | 1,4035       | 1,4451       | 0,0416        | 0,6538    | 0,8244    | 0,1706        |
| 5                        | 1,3659       | 1,4185       | 0,0523        | 0,6361    | 0,8379    | 0,4769        |
| <b>priemer [g]</b>       |              |              | <b>0,0491</b> |           |           | <b>0,3688</b> |
| <b>smer. odch. [g]</b>   |              |              | <b>0,0096</b> |           |           | <b>0,1244</b> |
| <b>variač. koef. [%]</b> |              |              | <b>19,60</b>  |           |           | <b>33,72</b>  |

Tab.č. 25 20% MB

|                          | $m_{f1} [g]$ | $m_{f2} [g]$ | $m_f [g]$     | $m_1 [g]$ | $m_2 [g]$ | $m [g]$       |
|--------------------------|--------------|--------------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| 1                        | 1,4071       | 1,4400       | 0,0329        | 0,6273    | 0,7139    | 0,0866        |
| 2                        | 1,3723       | 1,4149       | 0,0426        | 0,6827    | 0,8108    | 0,1281        |
| 3                        | 1,3145       | 1,3510       | 0,0365        | 0,5885    | 1,1783    | 0,5898        |
| 4                        | 1,5149       | 1,5708       | 0,0559        | 0,4558    | 0,6583    | 0,2025        |
| 5                        | 1,5186       | 1,5684       | 0,0498        | 0,6560    | 0,9049    | 0,2489        |
| <b>priemer [g]</b>       |              |              | <b>0,0435</b> |           |           | <b>0,2511</b> |
| <b>smer. odch. [g]</b>   |              |              | <b>0,0083</b> |           |           | <b>0,1784</b> |
| <b>variač. koef. [%]</b> |              |              | <b>19,19</b>  |           |           | <b>71,05</b>  |

Tab. č. 26 30% MB

|                          | $m_{f1} [g]$ | $m_{f2} [g]$ | $m_f [g]$     | $m_1 [g]$ | $m_2 [g]$ | $m [g]$       |
|--------------------------|--------------|--------------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| 1                        | 1,5325       | 1,5356       | 0,0031        | 0,5526    | 0,6739    | 0,1213        |
| 2                        | 1,5589       | 1,6249       | 0,0660        | 0,5621    | 1,3708    | 0,8087        |
| 3                        | 1,5448       | 1,6336       | 0,0888        | 0,5359    | 0,7624    | 0,2265        |
| 4                        | 1,5459       | 1,6320       | 0,0861        | 0,5469    | 0,9932    | 0,4463        |
| 5                        | 1,5194       | 1,5415       | 0,0221        | 0,5777    | 1,2741    | 0,6994        |
| <b>priemer [g]</b>       |              |              | <b>0,0532</b> |           |           | <b>0,4604</b> |
| <b>smer. odch. [g]</b>   |              |              | <b>0,0346</b> |           |           | <b>0,2639</b> |
| <b>variač. koef. [%]</b> |              |              | <b>65,04</b>  |           |           | <b>57,32</b>  |



Tab. č. 27 40% MB

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ]   | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ]     |
|--------------------|----------------|----------------|---------------|-------------|-------------|---------------|
| 1                  | 1,5173         | 1,5766         | 0,0593        | 0,5766      | 0,8514      | 0,2748        |
| 2                  | 1,5273         | 1,5881         | 0,0608        | 0,4708      | 0,7755      | 0,3047        |
| 3                  | 1,5670         | 1,6663         | 0,0793        | 0,5455      | 0,7969      | 0,2514        |
| 4                  | 1,5221         | 1,6058         | 0,0837        | 0,4113      | 1,1001      | 0,6888        |
| 5                  | 1,5650         | 1,5760         | 0,0411        | 0,6049      | 1,0084      | 0,4035        |
| priemer [ g ]      |                |                | <b>0,0648</b> |             |             | <b>0,3864</b> |
| smer. odch . [ g ] |                |                | <b>0,0153</b> |             |             | <b>0,1606</b> |
| variač. koef . [%] |                |                | <b>23,64</b>  |             |             | <b>41,77</b>  |

Tab. č. 28 0% MB+vpich.PES

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ]   | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ]     |
|--------------------|----------------|----------------|---------------|-------------|-------------|---------------|
| 1                  | 1,5213         | 1,5651         | 0,0438        | 1,4819      | 1,8388      | 0,3569        |
| 2                  | 1,5269         | 1,5679         | 0,0410        | 1,4823      | 2,0035      | 0,5212        |
| 3                  | 1,4797         | 1,5034         | 0,0437        | 1,1318      | 1,5526      | 0,4208        |
| 4                  | 1,4652         | 1,5108         | 0,0456        | 1,3580      | 1,6052      | 0,2472        |
| 5                  | 1,5271         | 1,5689         | 0,0418        | 1,1661      | 1,8463      | 0,6802        |
| priemer [ g ]      |                |                | <b>0,0351</b> |             |             | <b>0,4452</b> |
| smer. odch . [ g ] |                |                | <b>0,0045</b> |             |             | <b>0,1473</b> |
| variač. koef . [%] |                |                | <b>10,07</b>  |             |             | <b>33,09</b>  |

Tab. č. 29 10% MB+vpich.PES

|                    | $m_{f1}$ [ g ] | $m_{f2}$ [ g ] | $m_f$ [ g ]   | $m_1$ [ g ] | $m_2$ [ g ] | $m$ [ g ]     |
|--------------------|----------------|----------------|---------------|-------------|-------------|---------------|
| 1                  | 1,5190         | 1,5563         | 0,0373        | 1,3014      | 1,4910      | 0,1896        |
| 2                  | 1,5528         | 1,5799         | 0,0271        | 1,3040      | 1,4724      | 0,1684        |
| 3                  | 1,5498         | 1,5887         | 0,0389        | 1,1886      | 1,4118      | 0,2232        |
| 4                  | 1,5398         | 1,5667         | 0,0346        | 1,1366      | 1,8627      | 0,7261        |
| 5                  | 1,5015         | 1,5366         | 0,0351        | 1,2071      | 1,4164      | 0,2093        |
| priemer [ g ]      |                |                | <b>0,0346</b> |             |             | <b>0,3033</b> |
| smer. odch . [ g ] |                |                | <b>0,0041</b> |             |             | <b>0,2121</b> |
| variač. koef . [%] |                |                | <b>11,72</b>  |             |             | <b>69,95</b>  |

V 11/98  
T