

doc. dr. **Diana Gregor-Svetec**¹, univ. dipl. inž.

Andrej Zabret², univ. dipl. inž.

¹ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo, Snežniška 5, SI-1000 Ljubljana; e-pošta: diana.gregor@ntf.uni-lj.si

² Tosama, Tovarna sanitetnega materiala, d.d., Vir, Šaranovičeva 35, SI-1230 Domžale

Primernost uporabe lažjih vlaknovin v higienskih izdelkih

V podjetju Tosama so ob standardnem izdelku, polipropilenski vlaknovini s ploščinsko maso 20 g/m², izdelali lažje vlaknovine s ploščinskimi masami 18, 16 in 14 g/m². Standardna vlaknovina je bila izdelana iz ene vrste PP vlaken (FiberVisions®HY-Comfort), lažje vlaknovine pa iz mešanice PP vlaken različne dolžinske mase (FiberVisions®HY-Comfort/Dounor®). Cilj raziskave je bil ugotoviti uporabnost vlaknovin manjše ploščinske mase v higienskih izdelkih. V ta namen so bile vlaknovinam določene natezna trdnost, pretržni raztezek, pretržno delo, elastični modul, trgalna in razpočna sila, poroznost, toplotna prevodnost, zračna prepustnost, prepustnost vodne pare in prepustnost tekočine. Analiza je pokazala, da dodatek vlaken večje dolžinske mase vpliva na to, da so mehanske lastnosti vlaknovin primerne kljub nižji ploščinski masi vlaknovin. Vse lažje vlaknovine presegajo zahtevano natezno trdnost v vzdolžni in prečni smeri, v primerjavi s standardno vlaknovino sicer nekoliko zaostajajo v mehanskih lastnostih, poroznost lažjih vlaknovin in s tem njihova prepustnost pa je v primerjavi s standardno vlaknovino, večja.

Ključne besede: polipropilen, vlaknovina, mehanske lastnosti, prepustnost, higienski izdelki.

Applicability of Lightweight Nonwovens in Hygienic Products

Beside a standard product – a polypropylene nonwoven with weight per unit area 20 g/m², Tosama, Domžale, Slovenia produced lighter nonwovens with weight per unit area 18, 16 and 14 g/m². While standard nonwovens are produced from one type of PP fibres (FiberVisions®HY-Comfort), lighter nonwovens are produced from the blend of PP fibres having different weight per unit area (FiberVisions®HY-Comfort/Dounor®). The purpose of the research was to investigate on the basis of mechanical and permeability properties the applicability of lighter nonwovens in hygienic products. For this purpose tensile strength, elongation at break, breaking work, elasticity module, tearing and bursting force, porosity, thermal conductivity, air permeability, water vapour permeability, liquid permeability and wettability were determined. The analysis has shown that with addition of fibres having higher linear density mechanical properties of nonwovens having lower linear density do not deteriorate significantly. All lighter nonwovens achieve or exceed the required tensile strength lengthwise and crosswise, have slightly inferior mechanical properties and higher permeability in comparison with standard nonwoven.

Key words: polypropylene, nonwoven, mechanical properties, permeability, hygienic products

1.0 UVOD

Termično učvrščene kopenske vlaknovine so še vedno eden osnovnih materialov, ki se uporabljajo za izde-

lavo higienskih izdelkov, kot so inkontinenčni pripomočki, damski higienski izdelki za osebno rabo in otroške plenice za enkratno uporabo^[1, 2]. Ti izdelki so v zadnjih desetih letih doživeli veliko sprememb.^[3-5]

Razvoj na področju higiene je ustvaril izdelke, ki so tanjši, bolj dihajo in obenem bolje vpijajo.^[6] Kljub tem inovacijam pa se cene končnih izdelkov niso bistveno povišale. Ta pritisk za ohranjanje čim nižje cene končnega izdelka zahteva inventivnost pri vseh komponentah izdelka. Doseganje čim boljše kakovosti ob čim nižji ceni je izziv, ki ga morajo izdelovalci sprejeti, če želijo ostati konkurenčni.^[7] Optimizacija postopka izdelave in porabe surovine pri izdelavi termično učvrščenih vlaknovin je ena izmed prilagoditev tem zahtevam. Tudi v podjetju Tosama, d.d., sledijo tem trendom, ena izmed poti je zmanjševanje ploščinske mase vlaknovin, namenjenih za izdelavo ženskih higienskih izdelkov.

2.0 EKSPERIMENTALNI DEL

Vlaknovine iz polipropilenskih vlaken so bile izdelane po mehanskem postopku izdelave koprene in termični učvrstitvi le-te. Termična učvrstitev koprene je potekala pri temperaturi 155 °C. Za izdelavo vlaknovine s ploščinsko maso 20 g/m² so bila uporabljena polipropilenska vlakna FiberVisions®HY-Comfort, za lažje vlaknovine (18, 16 in 14 g/m²) pa mešanica polipropilenskih vlaken različne dolžinske mase FiberVisions®HY-Comfort / Dounor®, v razmerju 70 / 30 ut. %. Določene lastnosti vlaken, podrobneje podane v eni izmed predhodnih objav,^[8] so podane v preglednici 1.

Preglednica 1: Lastnosti vlaken: dolžina (l), dolžinska masa (T_l), specifična pretržna napetost (σ_p), pretržni raztezek (ε) in modul elastičnosti (E₀)

| Vlakna | L (mm) | T _l (dtex) | σ (cN/tex) | ε (%) | E ₀ (GPa) |
|---------------|--------|-----------------------|------------|-------|----------------------|
| FiberVisions® | 35,7 | 2,7 | 18,6 | 378 | 0,3 |
| Dounor® | 35,9 | 3,1 | 15,0 | 429 | 0,4 |

2.1 Metode preiskav

Na vlaknovinah so bile določene tekstilno-tehnološke, mehanske in prepustne lastnosti: debelina, pretržna sila, pretržno delo, pretržna napetost, pretržni raztezek, modul elastičnosti, trgalna sila, razpočna sila, odpornost proti drgnjenju, toplotna prevodnost, poroznost, zračna prepustnost, prepustnost vodne pare in prepustnost tekočin. Naslednje lastnosti vlaknovin so bile določene po standardnih metodah: debelina (SIST EN ISO 9073-2), pretržna sila in pretržni raztezek (SIST EN ISO 13934-1), trgalna trdnost (SIST EN ISO 9073-4), razpočna sila (DIN 53 861), odpornost proti drgnjenju (SIST EN ISO 12947-2, SIST EN ISO 12947-3), zračna prepustnost (SIST EN ISO 9237), prepustnost tekočin (SIST EN ISO 9073-8), odpornost proti površinskemu škropljenju (SIST EN 24920).

Natezne lastnosti so bile izmerjene na dinamometru Instron 6022 in vrednotene z računalniškim programom DINARA [9].

Toplotna prevodnost je bila določena z merjenjem prehoda toplote iz toplejšega dela v hladnejši del, pri čemer je bil med toplejšo in hladnejšo bakreno ploščo vstavljen preskušane in referenčni vzorec – steklena plošča z znano prevodnostjo. Meritev se izvaja tako, da se merilne plošče spojijo s termoelementi, in po določenem času, ko ni več sprememb v napetosti, se le-ta odčita. Pri merjenju temperature s termoelementi uporabljamo temperaturne krivulje, ki so eksperimentalno umerjene za različna merilna področja instrumenta. Za nek določen odklon v napetosti na milivoltmetru se iz grafa razbere odgovarjajoča temperatura. Koeficient toplotne prevodnosti (λ) se izračuna iz naslednje enačbe:

$$\lambda = \lambda_n \cdot \frac{d}{d_n} \cdot \frac{(T_4 - T_3)}{(T_3 - T_2)} \quad (1)$$

kjer je λ_n toplotna prevodnost referenčne steklene plošče (1,0319 W/mK), d debelina preskušanca (mm), d_n debelina referenčne steklene plošče (4 mm), T₂ temperatura hladnejše debele merilne bakrene plošče (°C), T₃ temperatura srednje tanke merilne bakrene plošče (°C) in T₄ temperatura toplejše debele merilne bakrene plošče (°C).

Velikost in porazdelitev por v vlaknovinah sta bili določeni z Jakšičevo zračno pretočno metodo, z merjenjem pretoka zraka skozi določeno površino suhega in omočenega preskušanca pri naraščajočem gradientu tlaka. Pri različnih razlikah tlakov se izmeri volumenska hitrost pretoka zraka skozi določeno površino suhega preizkušanca. Preskušane se omoči s tekočino znane gostote in površinske napetosti. Počasi se povečuje razlika tlakov, dokler se ne pojavi prvi zračni mehur. Iz razlike tlakov se izračuna hidravlični premer prve, največje pore, in število por največjega premera po enačbi 2. Nato se odčitavajo vrednosti tlaka pri naprej izbranih volumenskih hitrostih pretoka in poda porazdelitev por po velikosti.

$$n_i = h_i^{2-b} \cdot \frac{V_i}{k \cdot a} \quad (2)$$

$$n_i = h_i^{2-b} \cdot \left(\frac{V_i \cdot h_{i-1}^b - V_{i-1} \cdot h_i^b}{k \cdot a \cdot h_{i-1}^b} \right) \quad (3)$$

V enačbah 2 in 3 je n_i število por največjega premera, n_i število por i-tega premera, h_i pritisk, pri katerem se odprejo pore i-tega premera (Pa), h_{i-1} pritisk, pri katerem se odprejo pore s premerom i-1 (Pa), V_i volumenski pretok pri pritisku h_i (cm³/s), V_{i-1} volumenski pretok pri pritisku h_{i-1} (cm³/s), k konstanta z vrednostjo 1,31, a mejna konstanta (b = 0,5, a = 1265) in b eksponent, določen iz pretočne enačbe (V = A · h^b)

Prepustnost vodne pare je bila določena po gravimetrični metodi z merjenjem hitrosti pretoka vodne pare skozi določeno površino preskušanca (7 cm²) v določenem času (24 ur). Prepustnost vodne pare je bila določena glede na izgubo mase posode pri 10 mm razdalji med površino vode in preskušano vlaknovino.

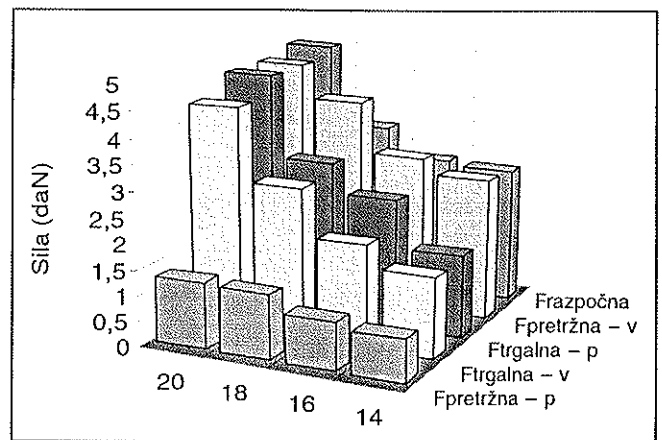
3.0 REZULTATI Z RAZPRAVO

Rezultati analize so pokazali, da se izmerjene vrednosti ploščinskih mas dobro ujemajo z nazivnimi vrednostmi, odstopanja so v mejah dovoljenega. Majhno nihanje ploščinske mase pri vseh lažjih vlaknovinah, ki ne presega 3,5 %, pomeni, da sta dovajanje in razporeditev vlaken v tehnološkem postopku izdelave kopenske zadovoljivo enakomerna. Debelina vlaknovin, določena s ploščinsko maso in enakomerno razporeditvijo vlaken v vlaknovini se z zmanjševanjem ploščinske mase zmanjšuje, korelacija je visoka, saj znaša korelacijski koeficient 0,967. Dobljene vrednosti in njihovo odstopanje je primerljivo z navedenimi podatki drugih proizvajalcev termično učvrščenih vlaknovin^[10-14], ki dovoljujejo odstopanja do ± 5 %.

Natezne lastnosti vlaknovin v vzdolžni (smer izdelave kopenske) in prečni smeri so podane v preglednicah 2 in 3. Kot je razvidno iz slike 1, ima največjo pretržno in razpočno trdnost ter trgalno silo standardna vlaknovina, z zmanjševanjem ploščinske mase pa se trdnost vlaknovin zmanjšuje. Vlaknovina večje ploščinske mase ima več vlaken na enoto površine, le-ta so tako med seboj bolj povezana, zato je za njen pretrg, trganje in razpočenje potrebna večja sila. Vse lažje vlaknovine presegajo zahtevano vzdolžno natezno trdnost 2,2 daN za 30 do 90 %.

Tudi v prečni smeri lažje vlaknovine zadostijo zahtevi po natezni trdnosti, ki mora biti večja od 0,4 daN, oziroma jo za več kot 70 % presegajo. V primerjavi s standardno vlaknovino vlaknovine manjše ploščinske mase obdržijo od 86 do 60 % natezne trdnosti v vzdolžni in od 96 do 64 % v prečni smeri, več kot 50 % razpočne trdnosti ter od 67 do 35 % trgalne trdnosti.

Pretržna napetost vlaknovin manjše ploščinske mase se ne razlikuje veliko od pretržne napetosti standardne vlaknovine, nekoliko večja razlika je v pretržnem delu, kjer je za pretrg najlažje vlaknovine potrebne 25 % manj energije na enoto mase kot za standardno vlaknovino. Izjema je vlaknovina s ploščinsko maso 18 g/m², ki ima tako pretržno napetost kot pretržno delo večjo kot standardna vlaknovina. Značilnost te vlaknovine je tudi, da v trenutku, ko nanjo začne delovati natezna sila, daje največji upor med vsemi preiskanimi vlaknovinami. Modul elastičnosti pri drugih dveh vlaknovinah pa je do 30 % manjši od standardne vlaknovine.



Slika 1: Razpočna, trgalna in pretržna sila vlaknovin.

Preglednica 2: Pretržna sila (F_{pr}), pretržna napetost (σ_{pr}), pretržno delo (A_{pr}), pretržni raztezek (ϵ_{pr}), modul elastičnosti (E_0) in napetost v polzišču (σ_{pol}) vlaknovin v vzdolžni smeri.

| Vzorec | F_{pr} (daN) | σ_{pr} (MPa) | A_{pr} (J/kg) | ϵ_{pr} (%) | E_0 (GPa) | σ_{pol} (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
| Vlaknovina 20 g/m ² | 4,81 | 4,58 | 13,48 | 59,6 | 0,031 | 0,39 |
| Vlaknovina 18 g/m ² | 4,14 | 4,60 | 15,54 | 56,3 | 0,042 | 0,55 |
| Vlaknovina 16 g/m ² | 3,12 | 4,16 | 11,98 | 44,0 | 0,026 | 0,81 |
| Vlaknovina 14 g/m ² | 2,82 | 4,02 | 10,16 | 39,0 | 0,021 | 0,87 |

Preglednica 3: Pretržna sila (F_{pr}), pretržna napetost (σ_{pr}), pretržno delo (A_{pr}), pretržni raztezek (ϵ_{pr}), modul elastičnosti (E_0) in napetost v polzišču (σ_{pol}) vlaknovin v prečni smeri.

| Vzorec | F_{pr} (daN) | σ_{pr} (MPa) | A_{pr} (J/kg) | ϵ_{pr} (%) | E_0 (GPa) | σ_{pol} (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
| Vlaknovina 20 g/m ² | 1,30 | 1,23 | 5,27 | 79,0 | 0,007 | 0,10 |
| Vlaknovina 18 g/m ² | 1,25 | 1,25 | 5,73 | 70,0 | 0,008 | 0,11 |
| Vlaknovina 16 g/m ² | 0,94 | 1,25 | 5,14 | 67,2 | 0,006 | 0,14 |
| Vlaknovina 14 g/m ² | 0,83 | 1,19 | 4,86 | 67,3 | 0,004 | 0,21 |

Pretržni raztezek kaže težnjo po nižanju z manjšanjem ploščinske mase, korelacija je večja v vzdolžni kot prečni smeri. Za okoli 20 % večji pretržni raztezek je v prečni smeri, kjer so vlakna manj orientirana, vlaknovina je zato v tej smeri bolj raztezna. Pri vlaknovinah manjše ploščinske mase je pretržni raztezek v vzdolžni smeri med 40 in 55 %, v prečni pa okoli 70 % in je do 50 % v vzdolžni in do 15 % v prečni smeri manjši od raztezka standardne vlaknovine.

Odpornost tekstilij proti drgnjenju je pomembno merilo za določitev obrabljivosti izdelkov in njihove uporabne vrednosti. Odpornost proti drgnjenju, ocenjena z izgubo mase, je pri vseh vlaknovinah zelo dobra. Izgube mase glede na maso pred drgnjenjem so zelo majhne, pod tremi odstotki, še najmanjša je pri 18 g/m² vlaknovini, kjer znaša en odstotek.

Z naraščajočo ploščinsko maso in debelino se povečuje število vlaken v enoti volumna, s tem njihova povezanost in prepletенost, kar povzroči zmanjšanje zračne prepustnosti in prepustnosti vodne pare. Največji upor pretoku vodne pare je bil ugotovljen pri standardni vlaknovini, in sicer 2,2 mm, pri lažjih vlaknovinah pa pada z manjšanjem ploščinske mase do 1,1 mm pri vlaknovini s ploščinsko maso 14 g/m². Kot je razvidno iz preglednice 4, imajo vse vlaknovine visoko prepustnost vodne pare, ki je med 40 in 43 g/m²h.

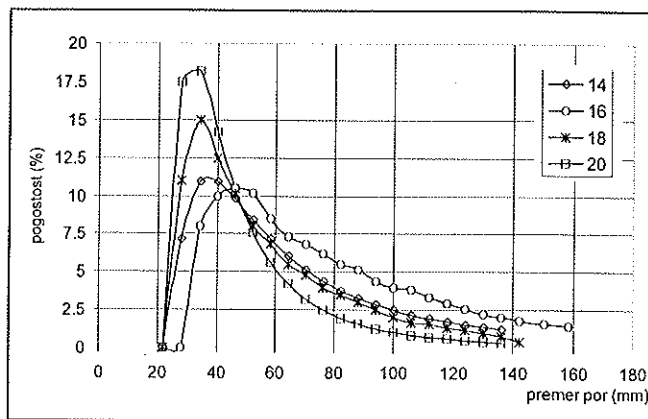
Tudi velikost por je v soodvisnosti s ploščinsko maso: večja ko je ploščinska masa, manjše so pore in tudi manj jih je. Tako ima standardna vlaknovina najmanjše pore med vsemi vlaknovinami, najmanjšo srednjo površino por in tudi najmanjši delež srednje površine por. S srednjim premerom por 166 μm in srednjo površino por 3,2 mm² ima vlaknovina najmanjše ploščinske mase največje pore in največjo površino por med vsemi preiskanimi vlaknovinami.

Tudi toplotna prevodnost je povezana s strukturo in debelino vlaknovine. Manj je zračnih prostorov in večja je debelina vlaknovine, večja je njena toplotna prevodnost in manjša zračna prepustnost. Tako toplotna prevodnost s 45 mW/mK pri standardni vlaknovini pade na 21 mW/mK pri najlažji vlaknovini in zračna prepustnost s 110 m³/m²min pri standardni vlaknovini naraste na 245 m³/m²min pri najlažji vlaknovini. Večja gostota vlaknovine povzroči, da se zmanjša prepustnost tekočine. Zahtevani čas prodora tekočine je do 3 s, in pri vseh vlaknovinah je bil izmerjeni čas pod 3 s.

Preglednica 4: Prepustnost vodne pare (PVP), upor pretoku vodne pare (R), srednji premer por (d), srednja površina por (S), koeficient toplotne prevodnosti (λ), zračna prepustnost (Q) vlaknovin.

| Vzorec | PVP (g/m ² h) | R (mm) | d (μm) | S (mm ²) | λ (mW/mK) | Q (m ³ /m ² min) |
|--------------------------------|--------------------------|--------|--------|----------------------|-----------|--|
| Vlaknovina 20 g/m ² | 43,3 | 2,2 | 68,4 | 2.22 | 45,3 | 146,6 |
| Vlaknovina 18 g/m ² | 41,6 | 1,8 | 83,1 | 3.10 | 44,6 | 220,9 |
| Vlaknovina 16 g/m ² | 40,1 | 1,3 | 129,4 | 3.20 | 32,2 | 240,5 |
| Vlaknovina 14 g/m ² | 39,5 | 1,1 | 165,7 | 3.23 | 20,7 | 252,4 |

Za opis poroznosti vlaknovin ni dovolj le podatek o srednji velikosti in površini por, pomembna je tudi porazdelitev le-teh. Kot je razvidno iz slike 2, je porazdelitev velikosti por široka. V primerjavi s standardno vlaknovino imajo lažje vlaknovine širšo porazdelitev, pomaknjeno k večjim poram.



Slika 2: Porazdelitev velikosti por.

4.0 SKLEP

Razvoj higienskih izdelkov, namenjenih za osebno rabo, v smeri zmanjševanja njihove mase zahteva prilagajanje vseh komponent tej zahtevi. Tako je bilo ena izmed razvojnih smernic zadnjih nekaj let zmanjševanje ploščinske mase termično učvrščenih kopenskih vlaknovin ob ohranitvi primerne prepustnosti in njihovi zadostni trdnosti. Primerjalna analiza med standardno vlaknovino in vlaknovinami manjše ploščinske mase je pokazala, da vse vlaknovine manjše ploščinske mase presegajo zahtevano natezno trdnost, vendar pa se mehanske lastnosti z manjšanjem ploščinske mase slabšajo. Tako so pretržne natezne lastnosti, razpočna in trgalna trdnost pri najlažji vlaknovini v primerjavi s standardno tudi do 50 % nižje. Pri lažjih vlaknovinah, izdelanih iz mešanice vlaken različne dolžinske mase, je zaradi manjšega števila vlaken na enoto površine struktura bolj porozna in zato bolj prepustna kot standardna vlaknovina. Primerjava z lažjimi vlaknovinami drugih proizvajalcev termično učvrščenih vlaknovin je pokazala podobno veliko trdnost in podobne prepustne lastnosti primerjanih vlaknovin.

Zabvala

Raziskava je bila sofinancirana s strani Agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

VIRI

- [1] RIGBY, D. The pace of change. *Nonwovens Report Int.*, 1999, No.9, p.24–28, ISSN 0953-1092
- [2] HORROCKS, AR. in ANAND, SC. *Handbook of technical textiles*. Cambridge : The Textile Institute : Woodhead publishing Limited, 2000.
- [3] *Review and Forecast*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.nonwovens-industry.com>
- [4] BITZ, K. *The Challenges of Good Hygiene*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.nonwovens-industry.com>
- [5] *Feminine Hygiene Overview*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.nonwovens-industry.com>
- [6] PELC, E. *The Feminine Touch*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.nonwovens-industry.com>
- [7] BITZ, K. *Hygiene Suppliers Hang Tough*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.nonwovens-industry.com>
- [8] GREGOR-SVETEČ, D., GOLJAT, P., SLUGA, F. in ZABRET, A. Characteristics of lightweight polypropylene thermally bonded nonwovens. V: *Fibre-grade polymers, chemical fibres and special textiles: proceedings*. Maribor : Faculty of Mechanical Engineering, Textile Department, 2004.
- [9] BUKOŠEK, V. *Računalniško vrednotenje viskoelastičnih lastnosti vlaken, filamentov, prej, tkanin, trakov, folij in ploskih izdelkov iz nateznih in tlačnih preskusov DINARA*. Ljubljana : Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo- Oddelek za tekstilno tehnologijo, 1989.
- [10] *PantexGroup-Nonwovens*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.pantex.it>
- [11] *Shalag Shamir Nonwoven Fabric Industry*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.shalag.co.il>
- [12] *Fibervisions*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.fibervisions.dk>
- [13] *Albis Group*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.albisnw.com>
- [14] *Crane nonwovens*. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.cranenonwovens.com>

Prispelo/Received: 11-2004; sprejeto/accepted: 04-2005