

Mehanizmi močenja oblačil

V mokrem oblačilu se počutimo neprijetno in se lahko pojavijo negativne posledice (podhladitev organizma) celo na sobni temperaturi. Zaradi tega se skušamo izogniti močenju oblačila. To pa ni enostavno doseči. Z določenimi ukrepi pa lahko vsaj podaljšamo čas omočenja oblačila, kar v večini primerov zadostuje za uspešno opravljanje določenih dejavnosti na prostem ne glede na vremenske razmere. Uspešno in racionalno lahko zmanjšamo hitrost omočenja oblačila le, če poznamo mehanizem močenja le-tega. V prispevku je obravnavan proces močenja oblačila v naravnem okolju, v katerem je v zraku nasičen parcialni tlak vodne pare, ko dežuje, sneži ali pa je močna rosa na tleh. V procesu močenja so zajete različne kakovosti vrhnje plasti oblačila (kosmata površina s štrlečim lasom, kosmata površina s položenim lasom, oguljena površina tkanine, ki ni izdelana iz hidrofobnih vlaken ali pa ni hidrofobizirana, oguljena hidrofobna tkanina) in prikazane razlike mehanizmov ter hitrosti omočenja v odvisnosti od kakovosti vrhnje plasti oblačila. Obdelani so tudi stranski učinki mokrega oblačila (zmanjšanje toplotne izolacije oblačila, slabo fiziološko počutje, zmanjšanje odpornosti plasti oblačila proti mečkanju, vpliv sušenja mokrega oblačila na izgubo telesne toplote ipd.).

Ključne besede: močenje oblačil, hidrofilitnost in hidrofobnost tkanine, hidraulični premer pore, kosmatost in gladkost površine tkanine

Clothing Wetting Mechanisms

The wet clothing gives unpleasant feelings and negative consequences can appear due to the subcooling of organism, which can happen even at room temperature. Because of this fact we are trying to avoid the wetting of clothing, which is sometimes not easy. We can prolong the time of wetting with certain measures, which is in the majority of cases sufficient for continuation of activities outside buildings, irrespectful of weather conditions. The time of wetting will be successfully and rationally prolonged only if the wetting mechanism is known. The paper describes the wetting process in different conditions of natural environment, i.e. at partially saturated water steam pressure, during rain, snow, or strong dew. Different qualities of upper cloth layers in the wetting process are taken into consideration including hairy surface with protruding hairs, hairy surface with laying hairs, non-hairy surface of the fabric made of nonhydrophobic fibers or fabrics not having an adequate hydrophobic finish, and non-hairy hydrophobic fabrics. The differences in wetting mechanisms and wetting speed depending on quality of the upper clothing layer are also shown. The secondary effects of wet clothing are included as well, i.e. the reduced heat insulation of clothing, bad physiological feelings, the reduced crease resistance, the influence of drying a wet clothing on the loss of body heat.

Keywords: wetting, hydrophilicity, hydrophobicity, hydraulic diameter of pore, hairiness and smoothness of fabric surface

1.0 UVOD

Hitrost omočenja oblačila je odvisna od jakosti dežja, sestave oblačila, časa izpostavitve dežju, morebitne dodatne nepremočljive ali vodoodbojne plasti ipd.

Zakaj je treba spoznati mehanizem omočenja, predvsem oblačila? Predvsem zato, da po možnosti preprečimo omočitev ali vsaj upočasnimo hitrost omočenja. Negativni učinki mokrega oblačila so: povečana teža, slabo počutje in zmanjšana vrednost toplotne izolacije oblačila, ki jo izrazimo s toplotnim uporom. Vrednost toplotnega upora oblačila se zmanjša za približno štirikrat v primeru, da oblačilo vsebuje 100 % vode [1].

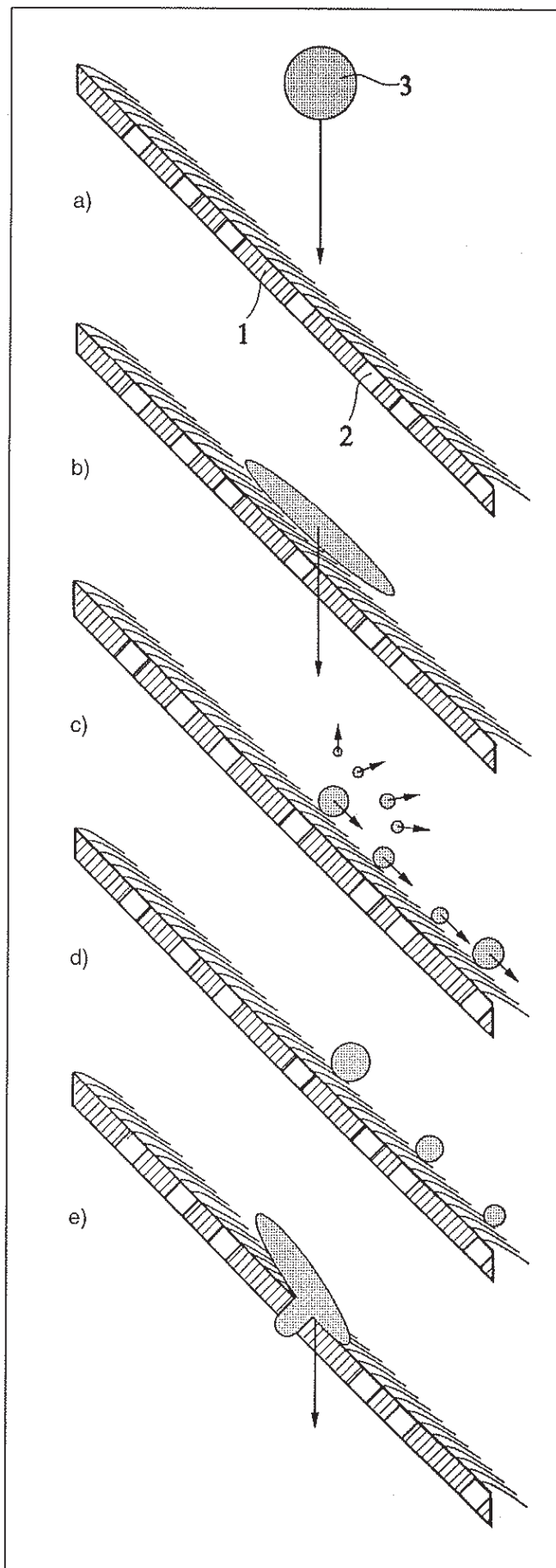
Namen tega članka je podroben opis mehanizma omočenja oblačila, prikaz teorije tega mehanizma in interakcije med vodo in tekstilnimi vlakni, iz katerih so izdelane plasti oblačila, ter predstavitev vpliva strukture ploskih tekstilij na hitrost omočenja oblačila in vodoodbojnega učinka nekaterih impregniranih snovi na hitrost omočenja. Poleg oblačil so pomembni tudi drugi proizvodi, ki so izdelani iz ploskih tekstilij, predvsem iz tkanin, kot so šotori, razna prekrivala (cerade) ipd.

Sam mehanizem omočenja ne zadostuje, da bi pravilno ukrepali v vseh možnih primerih. Za prikazovanje pojava omočenja moramo poznati osnovne teoretične predpostavke. Upoštevati moramo tudi posledice omočenja oblačila ali blaga, ki smo ga skladiščili v šotorih ali pod vodotesnimi prekrivali. V tem prispevku se bomo omejili ozko le na omočenje ploskih tekstilij ne glede na področje uporabe.

Ploske tekstilije so po svoji naravi nehomogeni proizvodi. Zaradi tega je težko razviti model močenja, ki bi veljal v vseh primerih. Glede na hitrost močenja imamo lahko zelo velike razlike. Pri tkaninah je hitrost močenja v precejšnji meri odvisna od kakovosti njihove površine. Ta je lahko gola ali kosmata oziroma lasasta. Las je lahko obrnjen v določeno smer ali pa ne; lahko leži pod določenim kotom glede na površino tkanine. Tkanina ima določeno debelino, gostoto, določeno število in velikost por med nitmi osnove in votka, kar vse vpliva na hitrost močenja tkanine. To velja predvsem za golo površino tkanine. Če pa je površina tkanine kosmata, potem ima kakovost lasu dominantno vlogo pri hitrosti močenja. Pod tem razumemo hidrofilen ali hidrofoben značaj vlaken, gostoto in orientiranost lasu ter višino le-tega.

2.0 MEHANIZMI MOČENJA OBLAČIL

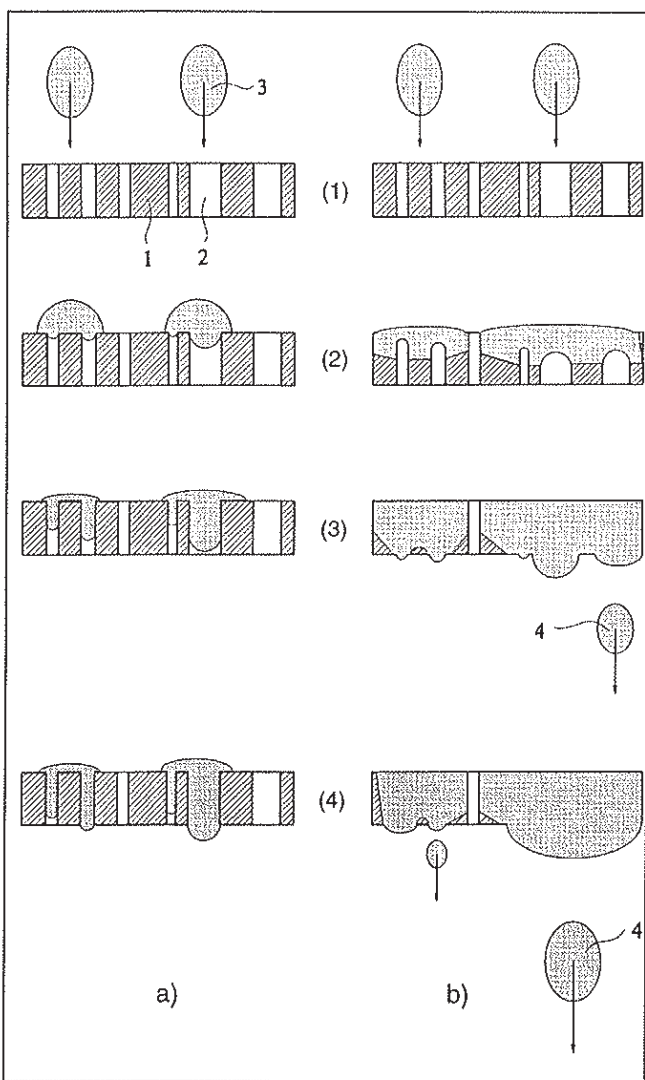
Glede na kakovost tkanine in lego površine le-te lahko opazujemo več mehanizmov močenja oblačil. Na sliki 1 so prikazane štiri faze močenja tkanine, ki ima poševno usmerjen las in na njo padajo kaple dežja (3) pod kotom 45 stopinj. Tkanina ima pore (2) med nitmi osnove in votka (1), ki imajo pomembno vlogo pri mehanizmu močenja oblačila. Ko kaplja doseže površi-



Slika 1: Močenje tkanine, ki ima lasasto površino a) do d) hidrofobna površina; e) hidrofilna površina tkanine

no tkanine, deformira las in se tudi sama deformira (sl. 1b). Kinetična energija kaplje se uporabi za deformacijo lasu in povečanje površine kaplje. Končni rezultat je razbijanje kaplje v več manjših (sl. 1c), ki se skotalijo s površine tkanine. Vendar nekaj majhnih kapelj ostane na površini le-te (sl. 1d). Opisani mehanizem močenja se nanaša na **hidrofobno tkanino**. Osnovno tkivo tkanine ostane suho. Če pa je tkanina **hidrofilna** (sl. 1e), prodre kaplja v poro zaradi dinamičnega pritiska, ki ga proizvaja pri padcu na površino oblačila. Če je kinetična energija kaplje dovolj velika in če je obenem dovolj velik hidravlični premer pore v tkanini, ne bo omočena le zgornja plast, ampak tudi naslednja, ki se nahaja pod njo, kot je to prikazano na sl. 1e.

V primeru gole površine (sl. 2) je ta lahko hidrofobna (sl. 2a) ali hidrofilna (sl. 2b). V obeh primerih lahko paralelno opazujemo štiri faze močenja. Prva faza je enaka v obeh primerih. Površini sta suhi in kaplji (3) sta v legi, tik preden bosta padli na površino. V tem primeru smo predpostavili, da se nanaša na ramenski

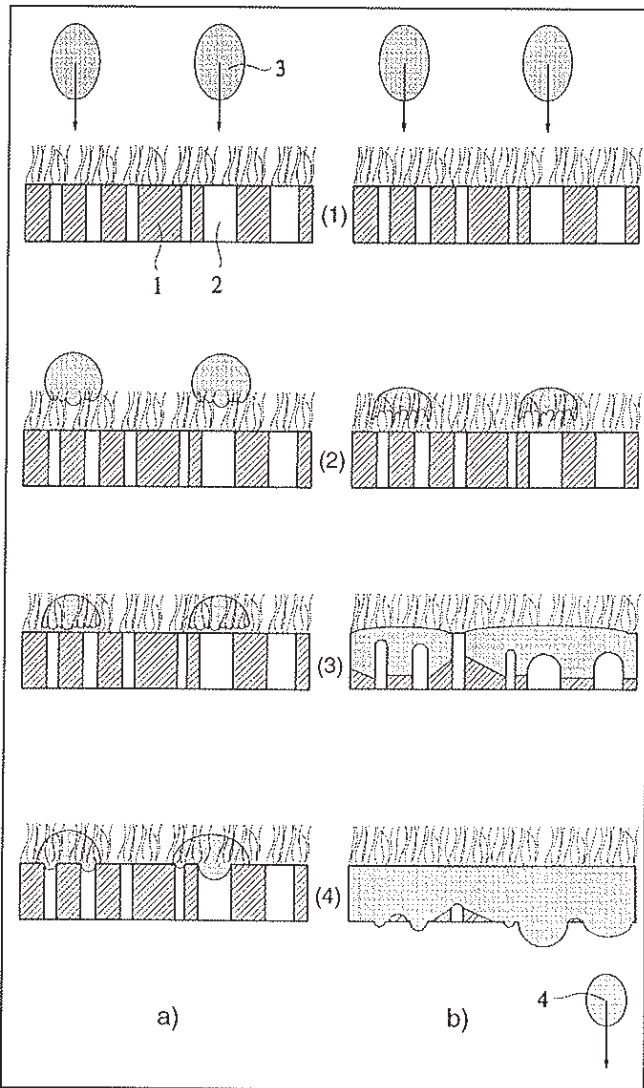


Slika 2: Močenje tkanine, ki nima kosmate površine
 a) hidrofobna tkanina: (1) do (4) – faze močenja tkanine
 b) hidrofilna tkanina: (1) do (4) – faze močenja tkanine

del oblačila in kaplje padajo normalno na površino. V drugi fazi so kaplje udarile na površino in se je del kinetične energije izrabil za deformacijo kapelj, del se je transformiral v potencialno energijo. Ilustrirane so posledice tega dogajanja. Pri hidrofobni tkanini se del kaplje nahaja v pori, medtem ko se preja oziroma tkivo tkanine sploh ni omočilo. Pri hidrofilni tkanini sta obe kaplji praktično vsrkani v tkivo tkanine oziroma preje. Pore se bolj počasi polnijo z vodo. Ker sta kaplji dovolj narazen, je ena pora ostala neomočena, oziroma v njej ni vode. Ker pač naprej dežuje, obstaja velika verjetnost, da na teh mestih pade še določeno število kapelj – tretja faza. Realno je pričakovati, da bodo hidrodinamični pritiski dodatnih kapelj potiskali vodo skozi pore. V primeru hidrofilne tkanine lahko pričakujemo, da bodo ustvarjeni pogoji za popolno omočenje – curek kaplje (4) s spodnje strani tkanine pronica naprej na naslednjo plast oblačila (sl. 2b, 3. faza). Tkivo tkanine pa se še zmeraj ne bo omočilo v primeru, če je hidrofobnost permanentna (sl. 2a, 3. faza).

Pri hidrofilni tkanini pa bo že prva kaplja (4) zaradi medsebojnega trenja plasti prešla na naslednjo plast oblačila. Še zmeraj predpostavljamo, da nobena kaplja ni padla na prej omenjeno prazno poro. V četrti fazi je voda zapolnila nekatere pore pri **hidrofobni tkanini** in se že pojavila na nasprotni površini tkanine. To se lahko zgodi tudi v drugi fazi pod pogojem, da sta hitrost in masa kaplje dovolj veliki in da pripadajoča kinetična energija zadostuje za stanje v četrti fazi. Predpostavljamo, da je hidrofobna le vrhnja plast oblačila. Če se spodnja plast drgne ob vrhnjo plast, bo ta vpila vodo, ki je na spodnji strani vrhnje tkanine oblikovana v polsfero. Če poznamo kinetično energijo kapelj in dolžino por (debelino tkanine), lahko ugotovimo zgornjo vrednost hidravličnega polmera por, skozi katere ne bo predrta voda na nasprotno površino tkanine. Pri hidrofilni tkanini lahko ugotovimo, da so se združile polsfere, ki jih oblikuje voda na koncih dveh sosednjih por na desni strani slike 2b v četrti fazi. Zaradi tega dogodka se navidezni hidravlični premer pore poveča za nekajkrat. Poleg tega se zmanjša vrednost omočilnega kota. S tem se tudi zmanjša potreben hidrostatičen tlak kot posledica navideznega povečanja premera pore in predvsem zmanjšanja omočilnega kota na praktično ničelno vrednost. Posledica tega je povečanje hitrosti pretoka vode skozi to plast oblačila in povečanje hitrosti močenja spodnjih plasti le-tega.

V primeru kosmate površine z navpično usmerjenim lasom (slika 3) pa se proces močenja precej razlikuje od prej opisanega. V primeru, da je las dovolj gost (ena kaplja prekrije veliko število vlaken, ki štrlijo iz tkiva tkanine), se kaplje nabodejo na štrleča vlakna. Pri tem se del energije kaplje porabi za deformacijo lege vlaken, del pa za deformacijo le-te. Med površino tkanine in kapljo je plast zraka in osnovno tkivo tkanine ni omočeno niti pri hidrofobni niti pri hidrofilni tkani-



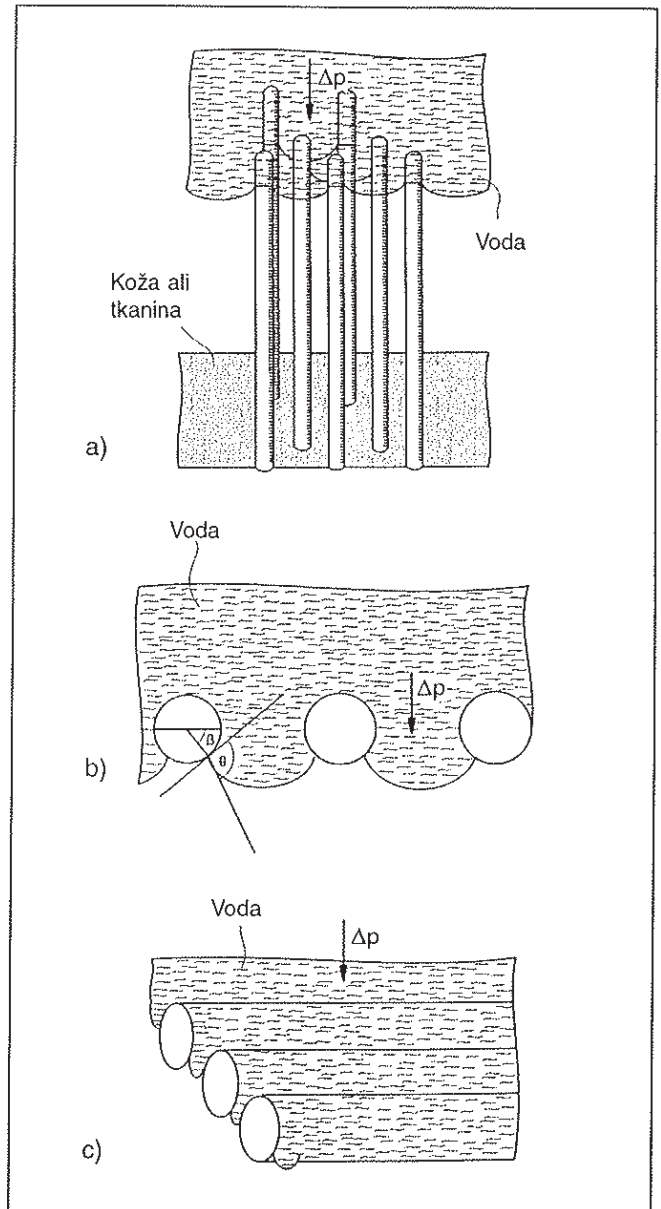
Slika 3: Močenje tkanine, ki ima kosmato površino
 a) hidrofobna tkanina: (1) do (4) - faze močenja tkanine
 b) hidrofilna tkanina: (1) do (4) - faze močenja tkanine

ni (sl. 3a in sl. 3b, druga faza). Vendar je bistvena razlika v konfiguraciji spodnjega dela kaplje. Pri hidrofobni tkanini spodnji del kaplje, ki je med vlakni, tvori konveksne oblike, pri hidrofilni pa konkavne, gledano od spodaj navzgor. V tretji fazi pa se vzpostavi novo ravnovesje. Pri hidrofobni tkanini so kaplje tik nad površino tkanine, medtem ko je hidrofilna tkanina skoraj popolnoma vsrkala kaplje v tkivo tkanine. Ker voda hitreje potuje po tkivu (preji) tkanine kot vzdolž same pore, doseže nižji nivo v stenah por kot v samih porah. V četrti fazi so kaplje že delno vrinjene v pore hidrofobne tkanine; hidrofilna tkanina pa je praktično popolnoma omočena in voda kaplja že navzdol z nasprotnne površine tkanine. Če primerjamo mehanizem močenja gole (sl. 2) in kosmate (sl. 3) površine, lahko ugotovimo bistveno razliko hitrosti močenja. V realnih pogojih uporabe se las razmeroma hitro obrabi in v večini primerov uporabljamo za vrhno plast gladke nekosmatene tkanine, ki se vsaj približno močijo po mehanizmu, prikazanem na sliki 2.

3.0 KRATEK ORIS TEORIJE MOČENJA

Tkanina je porozna tekstilija. S praktičnega stališča pore v vlaknih in preji ne vplivajo bistveno na proces močenja. Osnovni parametri, ki jih moramo upoštevati v procesu močenja, so predvsem: omočilni kot, kakovost površine tkanine, velikost in porazdelitev por med nitmi osnove in votka, gostota in debelina tkanine ter hidrostatični oziroma hidrodinamični pritisk vode oziroma kapelj dežja. Mera za hidrofilnost oziroma hidrofobnost tkanine je vrednost omočilnega kota Θ . Če je ta manjši kot 90 stopinj (slika 4a), je tkanina hidrofilna. Če pa je ta kot večji kot 90 stopinj (slika 4b in 4c), je tkanina hidrofobna.

Ker je pritisk vode na pore odvisen od kinetične energije kapelj dežja, si je zanimivo ogledati nekaj podatkov. Pri pršenju imajo kaplje le 0,012 ergov energije

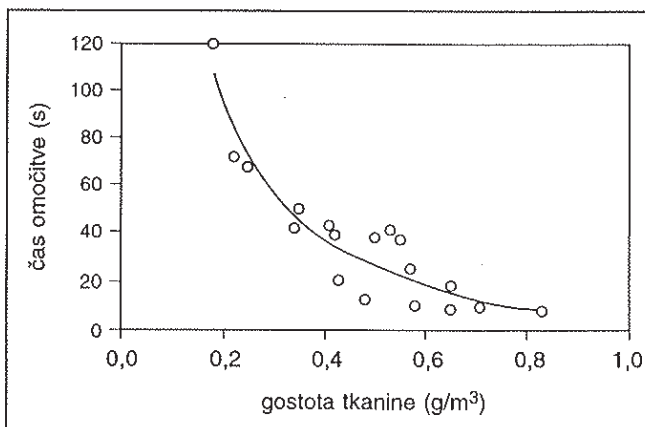


Slika 4: Dva hidrofobna idealizirana tipa lasu
 a) pokončni las; b) in c) položeni las

dar ta odvisnost ni premočrtna. Na sliki 6 je soodvisnost predstavljena z regresijsko krivuljo parabole. Krivulja ima obliko, ki jo da enačba 6.

$$t = a + b/\gamma \quad (6)$$

Ker je t – čas omočenja v sekundah in γ gostota tkanine v g/cm^3 imajo koeficienti naslednje vrednosti: $a = -20,73$; $b = 23,24$. Koeficient korelacije je 93,5 %, kar sicer zadostuje za praktično uporabo. Če teži gostota proti ničli, (v našem primeru je najmanjša gostota, ki je uporabljena v eksperimentu 0,18), teži čas omočenja proti 1,8 minute. Ta čas je za praktične potrebe izredno kratek in nepomemben. Skratka, zaščito proti močenju oblačila lahko dosežemo le s pomočjo hidrofobnih vlaken ali s pomočjo permanentnih hidrofobnih impregnacij.



Slika 5: Odvisnost hitrosti omočenja od gostote tkanine

Uporaba različnih poroznih folij, kot je goratex ipd. je trajna vodoodbojna zaščita, vendar je težava v tem, da prepustnost vodne pare skozi takšno folijo v veliki večini primerov ni zadostna. Ne glede na to, ali se oblačilo zmoči zaradi zunanjih vzrokov (dež, sneg, rosa) ali pa zaradi kondenzacije izhlapelega znoja, so posledice enake. Zmanjša se termoizolacijska vrednost oblačila in v mrzlem okolju se lahko podhladi organizem. Po drugi strani pa je v določenih razmerah potrebno pospešiti odvajanje toplote skozi površino kože, da ne pride do konzerviranja toplote v organizmu in povečanja temperature telesa. To je možno doseči z izhlapevanjem znoja. V takšnem primeru so nezaželene plasti, ki dajo velik upor pretoku znoja, ker zmanjšujejo hitrost njegovega izhlapevanja.

4.0 SKLEPI

Glede na dejstvo, da ima lahko v našem podnebnju uporaba mokrega oblačila izredno negativne posledice, predvsem zaradi zmanjšanja toplotnega upora oblačila, moramo to upoštevati pri projektiranju oblačil. Nepremočljivost oblačila ali vsaj zmanjšanje hitrosti

močenja lahko dosežemo z uporabo vodoodbojnih re-promaterialov za izdelavo zgornjih plasti oblačila. Tehnologija hidrofobiziranja tkanin ni dala pričakovanih rezultatov. Ima nekaj osnovnih pomanjkljivosti. Sama po sebi je draga in ekološko vprašljiva. Poleg tega se ne da doseči stalnost vodoodbojne impregnacije. Zaradi tega ni tržno zanimiva.

Vodoodbojni impregnanti se lahko vsaj delno kemično veže na vlakna. V tem primeru moramo vlakna oziroma tkanino pripraviti tako, da ima kemično aktivne skupine, na katere bi se impregnanti kemično vezal. Če bi to dosegli, bi dobili stalni vodoodbojni učinek na tkanini. Drugo je vprašanje, koliko bi to stalo.

Vodoodbojne impregnacije, ki se vežejo na tkanino s pomočjo slabih adhezijskih vezi, ne prenesejo mehanskih učinkov (pregibanje, drgnjenje), ki se pojavijo med uporabo oblačila. Če gre za bombažno tkanino, penetrira voda v vlakno na mestu, kjer je poškodovan vodoodbojni film. Vlakno nabrekne in film se nadalje poškoduje. Poškodovan film počasi odpade s površine tkanine in s tem se zmanjšuje prvotna vrednost vodoodbojnega učinka impregnacije.

Bolj primerno je dodajanje vodoodbojne komponente v talino ali raztopino, iz katere se izdeluje (prede) kemično vlakno. Takšno vlakno je ponavadi precej dražje kot vlakno brez dodanih vodoodbojnih komponent. Pri tem moramo upoštevati dejstvo, da rabimo zelo lahke tkanine, po možnosti izdelane iz mikrovlaknen, za vrhno – vodoodbojno plast oblačila. Temu je primerna majhna poraba vlaken na enoto površine tkanine, kar nevtralizira višjo ceno vlaken.

Uporaba različnih folij, kot je goratex ipd., ki imajo sicer veliko število por majhnega premera, (okrog $1 \mu\text{m}$) ni priporočljiva, ker dajejo velik upor pretoku vodne pare. Zaradi tega lahko pride do kondenzacije le-te v oblačilu, v primeru ko je izhlapevanje znoja hitrejšo, kot je transport le-tega v okolje.

Prispelo/Received 06-1999; sprejeto/accepted 01-2000

Viri

- [1] JAKŠIČ, D. *Projektiranje in konstrukcija tekstilij*. Ljubljana : Oddelek za tekstilstvo, 1988, str. 161-167 in 231-255.
- [2] BUNDESMANN. *Melliand Textilberichte*, 1935, vol. 16, s. 128. Citirano v *Waterproofing and water – repellency*, ref. 4, str. 282 – 288.
- [3] SLOWINSKE, GA. in POPE, AG. *Am. Dyes. Rep.*, 1947, vol. 36, p. 108. Citirano v *Waterproofing and water – repellency*, ref. 4, str. 270.
- [4] *Waterproofing and water – repellency*. Edited by J.L. Moilliet. Amsterdam; London; New York : Elsevier, 1963, p. 15-16.
- [5] BAXTER, S. in CASSIE, ABD. *J. Tex. Inst.*, 1945, vol. 36, T67. Citirano v *Waterproofing and water – repellency*, ref. 4, str. 35.