

Analiza dišljivosti i vodonepropusnosti radne odjeće za zaštitu od kiše

Doc. dr. sc. **Aleksandar Regent**, dipl.ing. str.
Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Odjel za tehničke studije
Pula, Hrvatska
Predsjednik HZN/TO 556 Osobna zaštitna oprema i član HZN/TO 557 Zaštitna odjeća
e-mail: aregent@unipu.hr
Prispjelo 3.2.2019.

UDK 677.017/.6
Stručni rad

Za zaštitu od nevremena danas se koristi vodonepropusna dišljiva odjeća. Vodonepropusnost odjeće je najvažnije svojstvo i redovito je jasno brojčano izražena. Dišljivost omogućava isparavanje znoja i značajno pomaže hlađenje tijela nositelja, no podatke o dišljivosti je teže usporediti sa stvarnim potrebama korisnika. Europska norma EN 343 daje jasne kriterije vodonepropusnosti i dišljivosti, ali su parametri koji se u njoj traže često nedovoljni za stvarne uvjete korištenja. Zato bi se u nekim slučajevima trebali navesti viši kriteriji zaštite takve zaštitne radne odjeće, odnosno profesionalne odjeće. Za zaštitu od nevremena često se nabavlja odjeća za osobnu upotrebu, koja nije certificirana po europskim normama. Stoga je teško odrediti da li brojčani pokazatelji dišljivosti na etiketi odjeće odgovaraju zahtjevima korisnika. U svrhu izbjegavanja neugodnih iznenađenja, preporučuje se prije odluke o nabavci takve odjeće obaviti testiranje odjeće u stvarnim uvjetima upotrebe (engl. wear trial).

Ključne riječi: zaštitna odjeća, vodonepropusnost, paropropusnost, zahtjevi normi i korisnika

1. Uvod

Pripadnici raznih interventnih službi, kao što su vatrogasci, članovi gorske službe spašavanja i općenito osobe koje često dulje vrijeme borave i rade na otvorenom prostoru (npr. šumski radnici) suočeni su s potrebom zaštite od oborina (kiše, snijega), vjetra i hladnoće. Za zaštitu od lošeg vremena danas se koristi odjeća koja sadrži vodonepropustan sloj koji propušta vodenu paru, odnosno tzv. dišljivi sloj (membrana ili vodonepropustan dišljiv nanos [1]). Njihov boravak i rad na otvorenom prostoru redovito uključuju srednju ili visoku razinu

fizičke aktivnosti koja iznosi 300-415 W [2], posljedica koje je porast tjelesne temperature i znojenje. Povećanje tjelesne temperature uzrokuje povećano odavanje topline u okoliš, kako bi se tjelesna temperatura zadržala što bliže optimalnoj vrijednosti od 36,5 - 37,5 °C [3]. Isparavanje znoja je prirodni mehanizam kojim se tijelo čovjeka nastoji vratiti na njegovu optimalnu temperaturu. Znoj koji se ne isparava i ne odvodi brzinom koja je približno jednaka brzini njegova nastajanja ostaje unutar odjeće kao tekućina koja stvara neugodan moker osjećaj, a dodatno se smanjuje vrijednost toplinske izolacije (toplinska

vodljivost vode je oko 24 puta veća od toplinske vodljivosti zraka pri temperaturi od 20 °C [4]). Osim što zbog slabije toplinske izolacije čovjeku postaje hladno, znoj istodobno stvara neugodan osjet vlažnosti, koji je naročito izražen na leđima. Toplinska udobnost definira se kao „mentalno stanje zadovoljstva čovjeka s toplinskim okolišem“ [5], odnosno kao „mentalno stanje zadovoljstva s toplinskim okolišem i procjenjuje se subjektivnom evaluacijom“ [6]. Toplinska neudobnost značajno utječe na radnu sposobnost čovjeka, jer smanjuje koncentraciju te učinkovitost i preciznost rada [7]. Čovjek

Tab.1 Otpor tekstilnog materijala na prodor vode po EN 343 [11]

Otpor prodoru vode WP	Klasa			
	1	2	3	4
Uzorak tkanine i šava	8000 Pa = 0,8 m	8000 Pa = 0,8 m	13000 Pa = 1,3 m	20000 Pa = 2 m

koji je u toplinskoj ravnoteži s okolišem po definiciji ima dobitke topline jednake gubicima topline. Tijekom fizičkog rada, količina proizvedene metaboličke topline se povećava, što dovodi do postupnog porasta njegove tjelesne temperature. Mehanizmi fizičke termoregulacije nastoje pojačati hlađenje tijela širenjem površinskih krvnih žila, a ako to nije dovoljno, započinje i odvođenje topline evaporacijom znoja. Pri intenzivnom radu, posebno u toplom i vlažnom okolišu, unutarnja temperatura čovjeka može prijeći sigurnu granicu koja se definira na 38 °C [2] i voditi prema toplinskom udaru. Pri povećanim temperaturama okoliša, količina topline odvedene od tijela konvekcijom, kondukcijom i zračenjem postaje sve manja. Istovremeno se znojenje pojačava, a time i količina topline odvedene evaporacijom. Tijekom intenzivnog fizičkog rada (500 W), prosječno ljudsko tijelo proizvodi približno 800 g znoja po satu [8]. U okolišu temperature oko 30 °C (moguće i prije u vlažnome okolišu) evaporacija ostaje i jedini mogući mehanizam hlađenja tijela.

Idealna odjeća za zaštitu od lošeg vremena pružila bi potpunu zaštitu od vanjskog prodora vode i vjetra, a brzina evaporacije izlučene tjelesne vlage bila bi jednaka brzini njenog stvaranja, pa bi koža i odjeća ostali suhi. Nažalost, takva odjeća ne postoji. Pri intenzivnoj fizičkoj aktivnosti čovjek će se jako znojiti i pri normalnim temperaturama okoliša, a izlučeni znoj navlažiti/namočiti će odjeću čak ako se ta odjeća sastoji samo od obične majice kratkih rukava i kratkih hlača. Visoka relativna vlažnost zraka uzrokuje smanjenje evaporacije. Stoga će ispariti samo manji dio izlučenog znoja, čime će se smanjiti i količina odvedene topline. Smanjenje količine izlučenog znoja posti-

že se smanjenjem intenziteta rada ili uvođenjem odmora. Maksimalno moguće odvođenje znoja i održavanje suhoće odjeće može se postići primjenom novih tehnologija zaštite od prodora vanjske vode i poboljšanja prolaza vodene pare, odnosno materijala sa svojstvom dišljivosti. Cilj ovoga članka je objasniti pojmove i brojčane pokazatelje svojstava „vodonepropusnosti“ i „dišljivosti“ (ili otpornost prolasku vode uz propusnost prolasku vodene pare) koje koriste proizvođači, kako bi se kupcima i korisnicima vodonepropusne/paropropusne odjeće omogućilo da naprave optimalan izbor takve odjeće u skladu sa svojim stvarnim potrebama i financijskim mogućnostima.

2. Dišljivost i vodonepropusnost „profesionalne odjeće“ prema HRN EN normama

Kod nabavke profesionalne osobne zaštitne opreme (OZO), kojoj bi prema Zakonu o zaštiti na radu [9] i pravilnicima donesenima temeljem ovog zakona trebala prethoditi procjena svih relevantnih rizika, kupci u pravilu podršku nalaze u europskim normama (HRN EN). Prema Uredbi (EU) 2016/425 [10], odjeća za zaštitu od lošeg vremena normalno pripada u 2. kategoriju složenosti, što znači da će takvu odjeću testirati i certificirati neko prijavljeno tijelo EU prema HRN EN 343:2019 - Zaštitna odjeća - Zaštita od kiše [11]. Ipak, osobnu zaštitnu opremu (OZO) bira poslodavac na temelju procjene rizika, koji bi u skladu s Uredbom 2016/425 [10] mogao odabrati odjeću 1. kategorije, procjenjujući da ista služi za „zaštitu od atmosferskih uvjeta koji nisu ekstremne prirode“. Takva „neprofesionalna“ odjeća ili odjeća za osobnu upotrebu obrađena je u drugom dijelu

članka. Važeća norma HRN EN 343:2019 [11], sadrži nekoliko novosti u odnosu na prethodno izdanje iz 2008.

Vodonepropusnost (WP) je osnovno zahtijevano svojstvo, a definira se kao hidrostatski tlak koji materijal i šavovi odjeće mogu izdržati pri sporom porastu tlaka vode. Drugim riječima, to je visina stupca vode koju će odjeća izdržati bez prodora vode kroz nju na kraju ispitivanja. Vodonepropusnost tekstila se testira prema HRN EN 20811:2003 [12]. Klase otpornosti na prodor vode prema važećoj normi [11] su navedene u tab.1.

Valja primijetiti da se vodonepropusnost za tekstilne materijale klase 1 ispituje bez prethodne obrade, a za više klase nakon prethodne obrade. Vodonepropusnost šavova klase 1 do 3 ispituje se bez prethodne obrade, a klase 4 nakon prethodne obrade. Najviša klasa 4 je nova i nije postojala u starom izdanju norme.

Dišljivost (R_{et}) se prema EN 11092 [13] definira otporom prolazu vodene pare (evaporacijska izolacija) i predstavlja razliku tlakova vodene pare između dviju strana materijala podijeljeno s rezultirajućim evaporativnim toplinskim tokom po jedinici površine u smjeru gradijenta, čime pokazuje prolaz „latentne“ ili „vlažne topline“ pri ustaljenoj razlici tlakova. Dišljivost je recipročna vrijednost otpora, pa je veći otpor negativan za nositelja. Stoga otpor, načelno gledano, treba biti što manji i to bez ograničenja. Sila koja tjera vodenu paru kroz materijal je razlika parcijalnih tlakova vodene pare između unutarnje i vanjske strane odjeće. Tlak vodene pare na površini tijela, odnosno na unutarnjoj strani odjeće, gotovo je uvijek veći od tlaka pare u okolišu, pa para difundira prema van. Dio vodene pare koji ne prođe kroz materijal ostaje unutar odjeće kao kondenzat [14]. Transport vodene pare relativno je visok u hladnom i suhom okolišu, no u okolišu koji je vrlo topao i vlažan, dišljivost se može gotovo potpuno izgubiti. Ovo svojstvo dišljivosti ne označava propusnost materi-

jala za zrak, što znači da su dišljive membrane i nanosi praktički nepropusni za strujanje zraka. Klase otpornosti na prolaz vodene pare prema važećoj normi [11] su navedene u tab.2. (kao što je već navedeno najviša klasa 4 je nova i nije postojala u starom izdanju norme).

Norma EN 343 također daje preporuke za maksimalna vremena kontinuiranog nošenja odijela (jakne i hlača) za zaštitu od nevremena (bez dodatne toplinske izolacije), tab.3.

Iz podataka prikazanih u tab.3 jasno se uočava da temperatura okoliša znatno utječe na dišljivost odjeće (manji R_{et}) a viša temperatura okoliša znatno smanjuje vrijeme mogućeg rada bez stanki za odmor. Ograničenije vremena nošenja služi za zaštitu korisnika, kako mu se temperatura tijela pri kraju rada ne bi podigla iznad sigurne granice od 38 °C. Svaki dodatni sloj odjeće koja se nosi ispod zaštitne (majica, donje rublje, košulja itd.) daje dodatnu toplinsku izolaciju, koja nije uzeta u obzir kod vrijednosti prikazanih u tab.3. Isto tako, viša razina fizičkog rada smanjuje vrijeme nošenja. To znači da su stvarna vremena maksimalnog neprekinutog rada uvijek kraća od navedenih, što bi osoba zadužena za zaštitu na radu i OZO trebala uzeti u obzir.

No kakvu zaštitu od prodora vode pruža odjeća koja udovoljava zahtjevima ove norme u stvarnim uvjetima upotrebe. Iskustvo pokazuje da su u EN 343 [11] specificirani vrlo skromni zahtjevi, koji u mnogim situacijama neće ispuniti očekivanja korisnika glede vodonepropusnosti. Otpor na prodor vode je i kod najviše specificirane visine stupca vode ($WP = 2$ m) relativno malen, te ne pruža dovoljnu zaštitu od njenog prodora prema tijelu korisnika. To je posebno izraženo na izloženijim površinama tijela, kao što su laktovi, ramena i koljena, ili pri direktnom udaru vodenog mlaza [15] Tako npr. Američki standard *NFPA 1971* [15] zahtijeva da minimalni otpor na prodor vode vatrogasnog odijela za strukturne požare bude 172

Tab.2 Otpor na prolaz vodene pare po EN 343 [11]

Otpor prolazu vodene pare R_{et} (m ² Pa/W) (kroz sve slojeve odjeće)	Klasa			
	1	2	3	4
Uzorak tekstilnog materijala	$R_{et} > 40$	$25 < R_{et} \leq 40$	$15 < R_{et} \leq 25$	$R_{et} \leq 15$

Tab.3 Preporučeno maksimalno vrijeme kontinuiranog nošenja (u satima) za odijelo EN 343 [11]*

Temp. radnog okoliša °C	Klasa			
	1 $R_{et} > 40$	2 $25 < R_{et} \leq 40$	3 $15 < R_{et} \leq 25$	4 $R_{et} \leq 15$
25	60	105	180	-
20	75	250	-	-
15	100	-	-	-
10	240	-	-	-
5	-	-	-	-
- znači: vrijeme nošenja nije ograničeno				

*Podaci vrijede za standardnog čovjeka, srednju razinu fizičkog napora ($M = 150$ W/m²), pri 50 % relativne vlažnosti i brzinu vjetra od 0,5 m/s. Ventilacijski otvori na odjeći i/ili stanke tijekom rada mogu produžiti maksimalno preporučeno vrijeme rada

Tab.4 Otpor tekstilnih materijala prodoru vode – ovisnost sa stvarnim uvjetima nošenja [17]

Otpor prodoru vode (m v.s.)	Razina zaštite	Opis uvjeta nošenja
0 - 5	Nula do djelomična zaštita od vode	Slaba kiša, suhi snijeg, bez tlaka
6 - 10	Zaštita od kiše i vodonepropusnost pod malim tlakom	Slaba kiša, prosječan snijeg, mali tlak
11 - 15	Zaštita od kiše i vodonepropusnost osim pod visokim tlakom	Umjerena kiša, prosječan snijeg, mali tlak
16 - 20	Zaštita od kiše i vodonepropusnost pod visokim tlakom	Jaka kiša, mokar snijeg, umjereni tlak
> 20	Zaštita od kiše i vodonepropusnost pod vrlo visokim tlakom	Jaka kiša, mokar snijeg, visoki tlak

kPa (25 psi), što iznosi 17,2 m visine stupca vode (v.s.). Općenito se smatra da visokokvalitetna odjeća treba imati vodonepropusnost od najmanje 5 m v.s., a niskokvalitetna odjeća 1,3 m v.s. [16]. Neki drugi autori navode više vrijednosti, tj. minimalno 5 m v.s. za postizanje stvarne nepropusnosti za kišu, dok se za visokokvalitetne materijale za oštrije uvjete traži 15-30 m v.s. [8]. U tab.4 prikazana je veza između otpora tkanine na prodor vode i stvarnih uvjeta nošenja.

Slično tome, svojstva dišljivosti odjeće prema zahtjevima norme EN 343 [11] neće ispuniti sva očekivanja nositelja u stvarnim uvjetima upotrebe. U tab.5 je dan prikaz razine dišljivosti odjeće prema klasifikaciji poznatog njemačkog Hohenstein Institute.

Testiranje otpora prolazu vodene pare (R_{et}) izvodi se prema *HRN EN ISO 11092:2014* [13] na tzv. „modelu kože“, koji je razvio upravo Hohenstein Institute. Iako taj test zbog uvjeta mjerenja, koji se mogu znatno razlikovati od najčešćih uvjeta u praksi, nije uvijek pouzdan kao pokazatelj udobnosti, on je ipak najbliži realnim uvjetima, pa je stoga usvojen kao optimalna metoda u svrhu testiranja dišljivosti zaštitne odjeće u EN normama.

Da bi riješio problem nedovoljnih zahtjeva vrijednosti vodonepropusnosti i dišljivosti odjeće propisanih normom EN 343 [11], nositelj profesionalne odjeće bi trebao pri nabavi specificirati zahtjeve koje smatra potrebnim, odnosno prikladnima

Tab.5 Klasifikacija otpora prolazu vodene pare, razine dišljivosti i osjećaja udobnosti pri nošenju [17]

Otpor prolazu vodene pare R_{et} (m^2Pa/W)	Razina dišljivosti	Udobnost pri nošenju
< 6	Vrlo dobra/ekstremna dišljivost	Udobnost pri visokoj aktivnosti
6 – 13	Dobra/vrlo dobra dišljivost	Udobnost pri umjerenj razini aktivnosti
13 – 20	Zadovoljavajuća dišljivost	Neudobnost pri visokoj razini aktivnosti
20 – 30	Nezadovoljavajuća, donekle dišljiva	Umjerena udobnost pri niskoj razini aktivnosti
> 30	Nezadovoljavajuća, nedišljiva	Neudobnost i kratko vrijeme tolerancije

za svoje potrebe. U tom slučaju proizvođač mu može kao dokaz dostaviti ispitni izvještaj temeljem kojega je izdan certifikat. Pritom se treba voditi računa da zahtjevi budu realni, odnosno da ne budu iznad karakteristika odjeće koja se nalazi na tržištu.

3. Dišljivost i vodonepropusnost odjeće za osobnu upotrebu

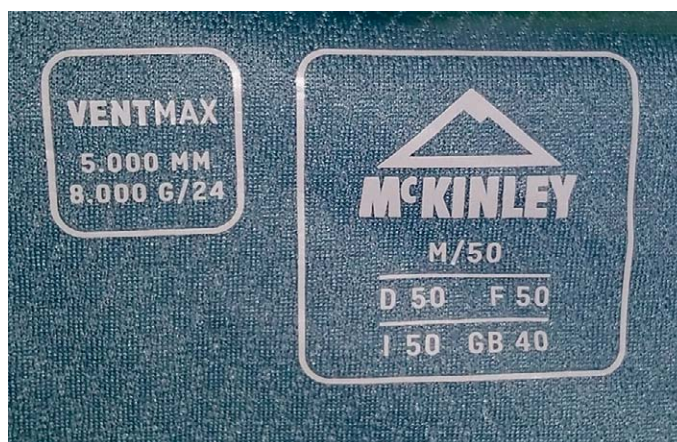
Osim „modela kože“, u svijetu se koristi veći broj testova ispitivanja dišljivosti za tekstilnih materijala, posebno zbog niže cijene i veće jednostavnosti. Takvi testovi se često koriste izvan EU. Međutim, istraživanja su pokazala da test dišljivosti materijala „modelom kože“ ima nekoliko značajnih prednosti i daje direktnu korelaciju s vlažnošću kože nositelja [3].

Jedna alternativa koja se najčešće primjenjuje je mjerenje „brzine prolaza vodene pare“ (engl. Moisture Vapour Transmission Rate, MVTR, ili engl. Water Vapour Transmission Rate, WVTR u g/m^2h). Ovom metodom se određuje količina vodene pare koja prolazi kroz $1 m^2$ tekstilnog materijala tijekom nekog perioda (obično izražena kao $g/m^2/24 h$) u testnim uvjetima, a prikladna je za ispitivanja svih vrsta tekstilnih materijala, a ne samo za tkanine [18]. Ovaj test se obično izvodi prema američkom standardu ASTM E96 [18] i često navodi samo kao tzv. „cup method“. Kod ovog standarda

je problem što postoji više različitih metoda i 6 standardnih testnih uvjeta, a u uvodu ovog standarda jasno piše da se „ne može očekivati usklađenost rezultata dobivenim različitim metodama“. Ipak, najčešće se testiranje dišljivosti tekstilnih materijala obavlja prema proceduri B ili proceduri D (engl. water method pri $23 ^\circ C$ i $32,2 ^\circ C$ [18]).

Odjeća za osobnu upotrebu ili „neprofesionalna“ odjeća namijenjena je za zaštitu od kiše i nevremena planinara, skijaša i građanstva, a može se naći u različitim trgovinama sportske i druge odjeće. Budući da pripadnici interventnih službi i radnici koji rade na otvorenom prostoru dobar dio vremena provode u okolišu u kojem im je potrebna samo zaštita od kiše i nevremena, nije rijedak slučaj da se odjeća za ovu namjenu nabavlja kao „neprofesionalna“, tj. odjeća 1. kategorije prema Uredbi 2016/425 [10].

Ta uredba je zamijenila *Direktivu 89/686/EEZ* [19] i *Pravilnik o stavljanju na tržište OZO* [20]. Trgovci i proizvođači neprofesionalne odjeće za zaštitu od nevremena nude različite jakne i hlače deklarirane kolokvijalno kao „hardshell“ ili „softshell“ [21]. Takva odjeća nema etiketu s oznakom EN norme, a često niti znak CE. Na pojedinoj odjeći, posebno višeg cjenovnog razreda, biti će i oznaka trgovačkih imena i funkcija koju ona pružaju npr. Goretex, Sympatex, eVent, DryVent, Windstopper ili sl. Proizvođači takve odjeće smatraju da bi oznake, odnosno etikete kupce trebale uvjeriti da je u pitanju najbolja moguća odjeća za predviđenu namjenu, pa često ne navode nikakve brojčane podatke o vodonepropusnosti niti o dišljivosti. Kod neprofesionalne odjeće cjenovno nižeg razreda, obično postoje etiketa s brojčanim pokazateljima vodonepropusnosti (npr. 2000 mm ili 5000 mm) i dišljivosti (npr. 3.000 $g/24$ ili 8.000 $g/24 h$). Primjer takve etikete prikazan je na sl.1. Podaci na etiketi trebali bi kupcu dati dojam ozbiljnosti, tj. pouzdanosti u kvalitetu odjeće za zaštitu od nevremena iako marka proizvođača nije poznata, a cijena je pristupačnija. Ponekad se uz ove podatke uz svojstvo dišljivosti odjeće navodi „Cup method“. Dok je podatak o vodonepropusnosti kupcu još donekle razumljiv, podatak o dišljivosti vjerojatno bi mu trebao reći koliku će količinu tjelesne vlage materijal odjeće moći odve-



Sl.1 Tipična etiketa „neprofesionalne“ vodonepropusne dišljive odjeće

sti po m^2 njene površine u 24 sata. Tako izražen podatak o dišljivosti prosječnom je kupcu nestručnjaku sigurno lakše shvatljiv nego dišljivost izražena kao R_{et} . Uz to, dišljivost od npr. $8.000 \text{ g}/24 \text{ h}$ (8 litara znoja) izgleda na prvi pogled izvrsno, pa kupac smatra da će dobiti i više nego što mu je potrebno. Taj podatak se dobiva u laboratorijskim uvjetima, koji su znatno različiti od stvarnih uvjeta upotrebe, ali po načelu veće je bolje, kupac će lako zaključiti da je vodonepropusnost od 5000 mm bolja nego vodonepropusnost od 2000 mm . Također će mu biti jasno da je dišljivost od $8.000 \text{ g}/m^2$ bolja nego dišljivost od $3.000 \text{ g}/m^2$. Treba navesti da neki proizvođači ne navode čak niti jedinice mjere ($\text{g}/m^2/24 \text{ h}$) nego samo (g), pa tada kupcu nije jasno odnosi li se deklarirana dišljivost na 1 m^2 ili na neku drugu površinu, kao niti na koje vrijeme korištenja. Dok jednostavna logika ovakvih usporedbi vjerojatno ima nekakvog smisla kad se uspoređuju proizvodi istog proizvođača, teško ju je primijeniti u usporedbi proizvoda različitih proizvođača, budući da niti jedan od njih ne navodi metodu po kojoj je obavio mjerenja. Bez navođenja metode mjerenja, svaka usporedba podataka je naime besmislena. Pitanje koje se postavlja je: da li proizvođači svjesno obmanjuju kupce (bez navedene metode ispitivanja bilo kojeg svojstva, usporedba rezultata je nemoguća) ili pak smatraju da su kupci neznalice koje ne valja opterećivati jasnim i objektivnim podacima. Ovo pitanje ne odnosi se samo na odjeću niže cijene, nego i na skuplje marke (Goretex, Sympatex, eVent itd.), jer niti kod njih se ne navode brojevi pokazatelji svojstava.

Razmotri li se kako pojedini stručni izvori za sportaše karakteriziraju takvu neprofesionalnu odjeću i koje podatke navode na etiketama te budući da u pravilu ne navode kojom su metodom i u kojim testnim uvjetima dobiveni rezultati, realno je pretpostaviti da su dobiveni tzv. „Cup metodom“, dišljivost se može približno karakterizirati na sljedeći način [22]:

- $5.000 - 10.000 \text{ g}/m^2/24 \text{ h}$ – dišljivost prikladna za općenitu upotrebu na otvorenom prostoru, urbano putovanje, rekreativno skijanje/daskanje na pisti;
- $10.000 - 15.000 \text{ g}/m^2/24 \text{ h}$ - dišljivost za aktivniju upotrebu na otvorenom prostoru, pješačenje, turno skijanje;
- $15.000 - 20.000 \text{ g}/m^2/24 \text{ h}$ – dišljivost za jaku aerobnu aktivnost na otvorenom prostoru (još više je bolje).

Dišljivost izraženu u $\text{g}/m^2/24 \text{ h}$ nije moguće preračunati u R_{et} vrijednosti izražene u $\text{m}^2\text{Pa}/\text{W}$. Ipak za grubu orijentaciju smatra se da je dišljivost od $3.000 \text{ g}/m^2/24 \text{ h}$ približno ekvivalentna s $R_{et} = 40 \text{ m}^2\text{Pa}/\text{W}$ [23], što bi odgovaralo najnižoj klasi odjeće 1 prema *EN 343* (nezadovoljavajuća dišljivost, neudobnost i kratko vrijeme tolerancije).

4. Ostali značajni faktori

Trajna vodoodbojna obrada materijala (engl. Durable Water Repellent - DWR) obično je akronim koji označava ultra tanak površinski sloj polimera, koji se pri proizvodnji nanosi na vanjsku površinu vodonepropusne dišljive odjeće [22, 24]. DRW prodire u vlakna vanjskog sloja tkanine i čini je vodoodbojnom. Stoga kiša koja padne zadržava oblik kuglica (kuglica), koje će „skliznuti“ s odjeće bez upijanja u tkaninu, čime se onemogućava površinsko razlijevanje i upijanje vode po vanjskoj površini odjeće, sl.2. DRW obavlja više važnih zadaća [22, 21]:

- Vodoodbojna površina odjeće djeluje estetski ljepše nego „namočena“ odjeća, zadržava postojani oblik i ne lijepi se za nositelja,
- Površinski film vode začepio bi mikroskopske pore kroz koje vodena para izlazi, povećao bi otpor i time smanjio transport vlage od nositelja prema okolišu. DRW onemogućava razlijevanje vode po vanjskoj površini odjeće,
- Po površini odjeće s istrošenim DRW voda se razlijeva, pa izgleda



Sl.2 Djelovanje DWR na površini odjeće

kao da je membrana propustila (iako nije). Dojmu o propuštanju pridonosi smanjeni transport vlage, što uzrokuje njenu kondenzaciju na unutrašnjoj strani odjeće. U vrlo hladnom okolišu, taj se kondenzat može smrznuti.

Iako se naziva trajnom obradom nakon određenog vremena upotrebe i ciklusa njege (pranja ili kemijskog čišćenja) može doći do istrošenosti DRW. No postoje različiti načini obnove DRW obrade, npr. u procesu pranja, sprejanjem i dr. Neke od tih tretmana, nazvanih „reproofing“, moguće je izvesti i kod kuće.

Pranjem, odnosno čišćenjem odjeće s DRW obradom ona se troši, ali čišćenje pomaže pri održavanju dišljivosti odjeće, jer nečistoće, posebno tjelesna masnoća, ulja i sl. mogu začepiti mikroskopske pore koje održavaju dišljivost. Zbog toga ne treba pretjerivati s čišćenjem i pranjem te ih treba pažljivo provoditi.

Gibanje nositelja i ventilacijski otvori na odjeći pomažu odvođenju tjelesne vlage. Gibanjem tijela nositelj „pumpa“ vodenu paru prema van kroz otvore na odjeći. Odvođenju vlage doprinosi i djelomično otvaranje patentnog zatvarača jakne, no pri jačoj kiši ili vjetru ta opcija nije prihvatljiva. Kvalitetnije vodonepropusne dišljive jakne danas često imaju ventilacijske otvore ispod pazuha ili uz njih, a na hlačama se ponekad mogu naći vertikalni ventilacijski otvori u području bedara, koji se također zatvaraju patentnim zatvaračima [21]. Ovakvi ventilacijski otvori naravno ne povećavaju paropropusnost materijala, već omogućavaju povećani transport vlažnog zraka iz

unutrašnjosti odjeće prema vanjskoj atmosferi te time „rasterećuju“ zahtjeve na vodonepropusni/paropropusni sloj posebno u nepovoljnim okolišnim uvjetima.

Kvaliteta izrade, izgled, trajnost, marka, površinska masa, cijena i dr. su također značajni faktori, koji utječu na izbor odjevnog predmeta prema zahtjevima nositelja, odnosno kupca. Vodonepropusni dišljivi sloj može načelno biti membrana (koja zbog fizičkog integriteta uvijek mora biti na nosivoj tkanini), ili pak nanos na površini nosive tkanine. Razlika se na neki način može opisati kao razlika između tapete i boje na zidu. U prosjeku, membrane su naravno trajnije. Materijali izrade vodonepropusnog dišljivog sloja načelno mogu biti ePTFE (ekspandirani politetrafluoretilen - Teflon, primjer Gore-tex, Steadair, eVent), poliester (primjer Sympatex), poliuretan (primjer Porelle). Neke membrane sadrže kombinaciju materijala, no detalji izrade su obično javno nedostupni i predstavljaju poslovnu tajnu proizvođača. Svaki od materijala ima neke prednosti i neke nedostatke, pa stvarne prednosti i nedostaci po uvjerenju autora više ovise o konkretnom proizvođaču (marki i vrsti proizvoda), nego o osnovnom materijalu membrane ili dišljivog nanosa. Među važne faktore treba uvrstiti i kvalitetu patentnog zatvarača, odnosno kvalitetu njegove ugradnje u odjeću. Radi osiguranja vodonepropusnosti, patentni zatvarači moraju također biti vodonepropusni ili izvedeni tako da su pokriveni poklopcem [21].

5. Zaključak

Razvoj tehnologije i pad cijena doveo je do toga da je danas odjeća za zaštitu od nevremena gotovo uvijek ujedno i dišljiva. Na tržištu je dostupan širok izbor vodonepropusne dišljive odjeće, pa svatko može odabrati ono što mu odgovara. „Profesionalna“ odjeća je certificirana prema EN i označena CE oznakom, pa se brojčanim pokazateljima iz ispitnog iz-

vještaja mogu dokazati svojstva koja bi kupac/ korisnik želio dobiti, što jamči da nakon kupnje vjerojatno neće biti neugodnih iznenađenja odnosno nedostataka u kvaliteti. Kod „neprofesionalne“ odjeće podatke o dišljivosti proizvođači obično nejasno deklariraju, jer ne navode norme po kojima su rezultati dobiveni. Stoga korisnici teško mogu odabrati odjeću koja će zadovoljiti njihove zahtjeve, posebno zahtjeve za dišljivošću. Dok bi načelno „hardshell“ odjeća trebala biti vodonepropusna u praktički svim uvjetima, „softshell“ odjeća pruža samo zaštitu od vjetra i lagane kraće kiše. Između ovih dviju krajnosti postoji mnoštvo proizvoda, koji mogu zadovoljiti određene konkretne potrebe kupca, ovisno o njegovim potrebama za zaštitom i udobnošću, uvjetima nošenja, vremenu izlaganja, financijskim mogućnostima itd. U nedostatku jasnih podataka o dišljivosti pri kupnji „neprofesionalne“ odjeće, veći bi korisnici od dobavljača trebali zatražiti uzorke, koje će u primjerenom roku i u najčešćim uvjetima upotrebe isprobati „testni tim“ od nekoliko pouzdanih nositelja (wear trial). Po završetku perioda testiranja i isprobavanja, testni tim može kroz svoje zaključke pokazati da li je neka odjeća, odnosno koja je odjeća od ponuđenih modela, prikladna za određenu namjenu ili kupca. Bez obzira na to, gotovo je nemoguće da će baš svi korisnici biti zadovoljni u svim uvjetima upotrebe, no ako zadovoljno bude 80-90% korisnika, napravljen je dobar izbor.

Literatura:

- [1] Sinha K.: A Review on Coating & Lamination in Textiles: Processes and Applications, *American Journal of Polymer Science*, <https://doi.org/10.5923/j.ajps.20120203.04>.
- [2] HRN EN ISO 7243:2017 - Ergonomija toplinskog okruženja -- Procjena toplinskog stresa pomoću WBGT indeksa (temperatura vlažnog termometra sfere) (ISO 7243:2017; EN ISO 7243:2017)

- [3] Schmidt A. et al.: Comfort testing and fit analysis of military textiles in Performance Testing of Textiles - Methods, Technology and Applications, edited by Lijing Wang, p.25-37, Elsevier 2016.
- [4] Kraut B.: Džepni strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb 1965., p.200-202.
- [5] HRN EN ISO 7730:2005 - Ergonomija toplinskog okoliša - Analitičko utvrđivanje i tumačenje toplinske udobnosti uporabom izračuna PMV i PPD indeksa i lokalnih toplinskih kriterija udobnosti (ISO 7730:2005; EN ISO 7730:2005)
- [6] ANSI/ASHRAE Standard 55 - 2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- [7] Hot Environments - Health Effects and First Aid, Canadian Centre for Occupational Health & Safety CCOHS, https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/heat_health.html, pristupljeno 15.10.2019.
- [8] Longhin C., et al.: Introduction to waterproof and water repellent textiles in Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing, edited by Williams, J.T., p.3-24, Elsevier 2018.
- [9] Zakon o zaštiti na radu, NN br. 71-14, 118-14, 154-14, 94-18, 96-18.
- [10] Uredba (EU) 2016/425 Europskog parlamenta i Vijeća od 9. ožujka 2016. o osobnoj zaštitnoj opremi i o stavljanju izvan snage Direktive Vijeća 89/686/EEZ
- [11] HRN EN 343:2019 - Zaštitna odjeća - Zaštita od kiše (EN 343:2019)
- [12] HRN EN 20811:2003 - Tekstilni plošni proizvodi - Određivanje otpornosti na prodiranje vode - Ispitivanje s hidrostatskim tlakom (ISO 811:1981; EN 20811:1992)
- [13] HRN EN ISO 11092:2014 Tekstil - Fiziološka svojstva - Mjerenje toplinske otpornosti i propusnosti vodene pare u stacionarnom stanju (ispitivanje s vlažnom vrućom pločom) (ISO 11092:2014; EN ISO 11092:2014)
- [14] Kanat Z.E.: Sportswear, in Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing, edited by Williams, J.T., p.367-390, Elsevier 2018.
- [15] NFPA 1971:2018: Standard on Protective Ensembles for Struc-

- tural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting
- [16] Mukhopadhyay A., V.K. Midha: A review on designing the waterproof breathable fabrics part I: fundamental principles and designing aspects of breathable fabrics, *J. of Ind. Text.* 2008, 37 (3), 225–262., <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1528083707082164>, pristupljeno 16.1.2019.
- [17] Hikmet Z.O.: Development of waterproof breathable coatings and laminates, in *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, edited by Williams, J.T., p.25-72, Elsevier 2018.
- [18] ASTM 96 Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials, E96/E96M – 10
- [19] DIREKTIVA VIJEĆA 89/686/EEZ od 21. prosinca 1989.o usklađivanju zakonodavstva država članica u odnosu na osobnu zaštitnu opremu (89/686/EEZ)
- [20] Pravilnik o stavljanju na tržište osobne zaštitne opreme, NN br. 10/89
- [21] Siler W.: Rain Jackets, Explained, <https://gizmodo.com/rain-jackets-explained-1711511848>, pristupljeno 20.1.2019.
- [22] Gugel, M.: All about waterproof fabrics, <https://www.paddypallin.com.au/blog/all-about-waterproof-fabrics/>, pristupljeno 20.10.2019.
- [23] Breathability in quality control at Hohenstein Institute, 29th September 2014, Boennigheim, <https://www.innovationintextiles.com/breathability-in-quality-control-at-hohenstein-institute/>, pristupljeno 20.10.2019.
- [24] Durable water repellent, https://en.wikipedia.org/wiki/Durable_water_repellent, pristupljeno 20.1.2019.

SUMMARY

Analysis of breathability and waterproofness of rain protection workwear

A. Regent

Today it is usual to use waterproof clothing to protect against bad weather with so-called breathability property. Clothing waterproofness is the most important feature and is regularly clearly numerically expressed. Breathability is a property that allows sweat transport in the form of steam and significantly helps cool the wearer's body, but it is more difficult to compare the data on breathability with the user's actual needs. The European standard EN 343 provides clear criteria for waterproofness and breathability, but the parameters required are often insufficient to evaluate properties under actual conditions of use. Buyers of such protective workwear and/or professional protective clothing should therefore in some cases specify higher requirements. For the protection against bad weather everyday clothing is purchased, but it is not certified in accordance with European standards. Therefore, it is difficult to determine whether numerical breathability indicators on the garment label correspond to the user's requirements. In order to avoid unpleasant surprises, it is recommended to perform wear trial under real wear conditions before deciding to purchase such clothing.

Keywords: protective clothing, waterproofness, vapor permeability, requirements of standards and users

Juraj Dobrila University of Pula

Department for Technical Studies

Pula, Croatia

e-mail: aregent@unipu.hr

Received February 3, 2019

Analyse der Atmungsaktivität und Wasserdichtheit von Regenschutz-Arbeitskleidung

Heute ist es üblich, zum Schutz vor schlechtem Wetter wasserdichte Kleidung mit sogenannter Atmungsaktivität zu verwenden. Die Wasserdichtheit der Kleidung ist das wichtigste Merkmal und wird regelmäßig zahlenmäßig deutlich ausgedrückt. Die Atmungsaktivität ist eine Eigenschaft, die den Schweißtransport in Form von Dampf ermöglicht und erheblich zur Kühlung des Körpers des Trägers beiträgt, aber es ist schwieriger, die Daten zur Atmungsaktivität mit den tatsächlichen Bedürfnissen des Benutzers zu vergleichen. Die europäische Norm EN 343 gibt klare Kriterien für Wasserdichtheit und Atmungsaktivität vor, aber die erforderlichen Parameter reichen oft nicht aus, um die Eigenschaften unter tatsächlichen Nutzungsbedingungen zu bewerten. Die Käufer solcher Arbeitsschutz- und/oder Berufsschutzkleidung sollten daher in einigen Fällen höhere Anforderungen stellen. Für den Schutz vor schlechtem Wetter wird Alltagskleidung gekauft, die jedoch nicht nach europäischen Standards zertifiziert ist. Daher ist es schwierig zu bestimmen, ob die numerischen Atmungsaktivitätsindikatoren auf dem Kleidungsetikett den Anforderungen des Benutzers entsprechen. Um unangenehme Überraschungen zu vermeiden, wird empfohlen, vor der Entscheidung für den Kauf solcher Kleidung einen Trageversuch unter realen Tragebedingungen durchzuführen.