

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT
TEKSTIILITEHNOLOOGIA ÕPPETOOL

SOOJUSTUSMATERJALID JA NENDE OMADUSED

Bakalaureusetöö

Liis Kunimägi

Juhendaja: professor Anti Viikna,

Tekstiilitehnoloogia õppetool

Materjalitehnoloogia õppekava KAOB 02/09

2014

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

Liis Kunimägi

SISUKORD

SISUKORD	3
SISSEJUHATUS	4
1. INIMESE SOOJUSTOODANG	5
1.1. Soojusvahetus inimese ja keskkonna vahel	5
1.2. Inimese soojustoodang	7
1.3. Inimese soojusväljastus.....	8
2. SOOJUSTUSMATERJALID JA NENDE EHITUS.....	17
2.1. Rõivastuse mõju ning nõuded.....	17
2.2. Riietuse soojusisolatsiooni mõõtmised.....	20
2.2.1. Soojusisolatsioon.....	20
2.2.2. Evaporatiivne vastupanu.....	21
2.2.3. Tuuletakistus	22
2.2.4. Veetakistus	22
2.2.5. Külma ilma kaitserõivastuse standardid	22
2.3. Soojustusmaterjalide tulemuslikkus	23
2.3.1. Riietuse soojusisolatsiooni standardsed väärtused	23
2.3.2. Kõndimise ja tuule mõju.....	24
2.3.3. Vee ja niiskuse mõju.....	26
2.3.4. Päikesekiirguse toime.....	27
2.3.5. Töötlemise efektid.....	27
2.3.6. Kaitse ennustamine.....	27
2.4. Soojustusmaterjalide struktuur.....	28
2.5. Spetsiaalsed soojustusmaterjalid.....	30
2.5.1. Mitmekihilisuse printsiip.....	30
2.5.2. Looduslikud ja sünteetilised kiud	31
2.5.3. Täiustatud soojustus	31
2.5.4. Hingavad kangad	32
2.5.5. Intelligentsed tekstiilid.....	32
KOKKUVÕTE	33
SUMMARY	34
KASUTATUD KIRJANDUS.....	35

SISSEJUHATUS

Käesolev bakalaureusetöö uurib inimese soojustusmaterjale ja nende omadusi. Külma kliima mõjutab keha talitlust, töövõimet ja heaolu. Peamine oht on jahtumine, olgu see siis kohalik naha jahtumine või kogu keha jahtumine. Jahtumise ennetamiseks ja soojustasakaalu tagamiseks kasutatakse soojustusmaterjale. Nende materjalide tundmine on eriti oluline just karges põhjamaises kliimas, loomulikult ekspeditsioonidel ja töötades tingimustes, kus on vaja kaitset külma eest.

Töö eesmärk on tutvuda soojust hoidvate materjalidega ning vastavate omadustega, mis mõjutavad inimese soojustasakaalu. Oluline on teada informatsiooni inimese soojustootlikkusest ning tunda kiudude, tekstiilide, konstruktsioonide ja rõiva disaini mõju soojusisolatsioonile.

Töö koosneb kahest osast. Esimene osa käsitleb soojusvahetust inimese keha ja keskkonna vahel. See hõlmab inimese soojustasakaalu, soojustootlikkust ning soojusväljastust. Soojusvahetus keha ja keskkonna vahel hõlmab soojuskadusid nahapinnalt konvektsiooni, infrapunakiirguse, konduktsiooni, evaporatsiooni ja hingamise kaudu. Välja on toodud valemid soojustasakaalu ning erinevate soojuskadude arvutamiseks.

Teine osa räägib lähemalt soojustusmaterjalidest. Juttu tuleb rõivastuse soojusisolatsioonist, struktuurist ning kasutatavatest soojustusmaterjalidest. Selguvad rõivastuse soojusisolatsiooni mõõtmise viisid ning soojustusmaterjalide omadusi mõjutavad tegurid.

1. INIMESE SOOJUSTOODANG

1.1. Soojusvahetus inimese ja keskkonna vahel

Rõivaste üheks tähtsamaks funktsiooniks on tagada inimese normaalse elutegevuse jaoks vajalik soojuslik mugavus, mis väljendub inimese heas enesetundes ja töövõimes. Pikaajalise soojusliku mugavuse säilitamise tingimuseks on soojusbilansi säilitamine, mis saavutatakse suurelt osalt organismi termoregulatsiooniga ehk soojusregulatsiooniga ja vastavate rõivaste kasutamisega.[1]

Inimorganism on isereguleeriv süsteem, mille füsioloogiline mehhanism on suunatud inimese poolt välja töötatud soojuse ja väliskeskkonda ära antud soojushulga võrdsuse tagamisele. Kui mingil perioodil see võrdsus puudub, siis toimub inimorganismis soojuse kogunemine või vähenemine. Järelikult muutub keskmine kehatemperatuur. Kesknärvisüsteemi tegevusest tingitud ja alalise kehatemperatuuri säilitamisele suunatud füsioloogiliste protsesside kogumit nimetatakse termoregulatsiooniks. Organismis eralduva soojushulga suurenemisel või keha ülekuumenemisel väljastpoolt saadava soojuse arvel soodustab termoregulatsiooni mehhanism soojusväljastuse suurenemist. [1]

Organismi jahutamisel, mis on osaliselt tingitud rõivaste soojuskaitseomaduste mittevastavusest meteoroloogilistele tingimustele, kutsub termoregulatsiooni mehhanism organismis esile soojusväljastuse vähenemise ja soojuse eraldumise suurenemise. Sellist soojusregulatsiooni, mis vastuseks organismi jahtumisele, tagab soojuse tekke suurenemise, nimetatakse keemiliseks termoregulatsiooniks. Sellist, mis on suunatud soojusväljastuse vähenemisele või suurenemisele keskkonda, nimetatakse füüsikaliseks termoregulatsiooniks.[1]

Jahutava teguri mõjul tekkiv keemiline termoregulatsioon toimub peamiselt lihaste toonuse suurenemise ja väärinate läbi. See viib täiendava soojuse tekkele organismis.[1]

Füüsikaline termoregulatsioon toimub nahas asuvate veresoonte laienemise ja ahenemise teel. Esimesel juhul toimub soojusväljastuse suurenemine kudede soojusjuhtivuse, naha temperatuuri ja temperatuurkudegradiendi ning niiskuse aurumise suurenemise arvel. Teisel juhul toimub soojusväljastuse vähenemine kudede soojusjuhtivuse ja temperatuuride gradiendi vähenemise arvel. R. Afanasjeva andmetel moodustab organismi maksimaalne soojusväljastuse vähenemine füüsikalise termoregulatsiooni tulemusena kogu organismis tervikuna 23,4%. [1]

Suurimal määral ilmneb füüsikaline termoregulatsioon käelaba ja põia piirkonnas. Nendel kehaosadel võib soojusväljastus väheneda kuni 40%. Vähimal määral ilmneb füüsikaline termoregulatsioon pea piirkonnas (soojusväljastuse vähenemine 7%).[1]

Keemilise termoregulatsiooni ilmnemisel (eriti värinte olemasolul) väheneb füüsikalise soojusregulatsiooni efektiivsus (soojuskadude vähenemine 8,0 – 12,7%).[1]

Alalise kehatemperatuuri säilitamiseks peab kogu süsteem olema termostabiilses olekus. Organismis soojuse tekke ja soojusväljastuse vahelise võrdsuse tähistamiseks on kasutusele võetud termin „soojusbilanss“.[1]

Soojusbilanss saavutatakse soojuse tekkimisele organismis (soojustoodang) ja tema ära juhtimisele (soojusväljastus) suunatud protsesside koordineerimisega. Selle tagab inimese keemilise ja füüsikalise termoregulatsiooni aparaat, aga ka inimese kohandumismehhanism, mis reageerib mikrokliima kujundamisele rõivaste ja elamu abil.[1]

Mõlema soojusbilanssi iseloomustava võrdsuse pooled kujutavad endast muutujaid, mis sõltuvad nii füsioloogilistest kui ka füüsikalistest faktoritest. Soojuse teke sõltub kõige rohkem füsioloogilistest faktoritest, soojusväljastus – ümbritseva keskkonna füüsikalistest faktoritest. Viimasel juhul reguleerib füsioloogiline faktor soojusülekanne inimese keha sisekudedest naha pinnale. Üldjuhul võib inimese soojusbilansi kirjutada järgmise valemi kujul:

$$Q_{s,t} + Q_{s,v} = Q_{rad} + Q_{konv} + Q_{kond} + Q_{dif} + Q_{hing} + Q_{higi} + Q_{s,h} \pm D, \quad (1.1)$$

kus $Q_{s,t}$ – inimese soojustoodang;

$Q_{s,v}$ – väline soojuslik koormus (näiteks päikesekiirguse mõjul);

Q_{rad} – soojuskadu radiatsiooni kaudu;

Q_{konv} – soojuskadu konvektsiooni kaudu;

Q_{kond} – soojuskadu konduktsiooni kaudu;

Q_{dif} – soojuskadu difusiooniiskuse aurustumisest naha pinnalt;

Q_{hing} – soojuskadu niiskuse aurustumisest ülemiste hingamisteede pinnalt;

Q_{higi} – soojuskadu higi aurustumisest;

$Q_{s,h}$ – soojuskadu sissehingatava õhu soojendamisest;

D – organismi entalpia (soojussisalduse) muutumine komfortitaseme suhtes (soojuse defitsiit).

Soojusbilansi võrrandi kõik liidetavad võetakse ühe ajahüki jooksul ja väljendatakse vattides.[1]

1.2. Inimese soojustoodang

Inimese eksisteerimise üheks hädavajalikuks tingimuseks on väliskeskkonnaga pideva ainevahetuse olemasolu.[2]

Enamus keha soojustoodangust toimub maksas, ajus ja südames ning harjutuste käigus skeletilihastes. See soojus transporditakse läbi veresoonte ja kudede võrgu nahani, kust see kaotatakse keskkonnale. Ainevahetuse soojuse tekke suurus sõltub lihastöö tasemest ning vähemal määral teguritel nagu haigus ja menstruaaltsükli aeg.[3]

Inimese organismis toimub redoksreaktsioonide tulemusena energia poolest rikaste ainete muundumine madala energeetilise potentsiaaliga aineteks. Sellega kaasneb ühel või teisel kujul energia vabanemine. Energia muundumise protsessid on organismis väga keerukad. Osa organismis tekkivast energiast muundub, näiteks mehaaniliseks energiaks (N), mis hiljem kulutatakse välistöö (välisjõudude ületamiseks tehtav töö) tegemiseks, kuid energia põhiosa muundub soojusenergiaks Q_{st} (soojuse teke).[1]

Inimorganismis soojuse näol eralduv energia (soojustoodang) ja alalise kehatemperatuuri säilitamiseks kulutatav energia moodustab füüsilise töö korral vaid osa energiakulust Q_{ek} :

$$Q_{st} = Q_{ek} - N. \quad (1.2)$$

Kui inimese organismis tekkivat energiat ei kulutata väliseks mehaaniliseks tööks, muundub ta praktiliselt kogu ulatuses soojusenergiaks. Selle määramiseks jälgitakse inimest, kes viibib täielikus rahuolekus (lamab, istub, seisab) või teeb mõnda füüsilist tööd. Tehtud töö hulka võib määrata valemi abil

$$N = Q_{sk}(Q_{ek} - Q_{pv}), \quad (1.3)$$

kus Q_{sk} on soojuskasutegur ja Q_{pv} on soojuspõhivahetus.[1]

Energiakulu täielikus rahuolekus (lihased on lõdvd, puuduvad välised ärritajad, magu on tühi ja mikrokliimatingimused on komfortsed) s.t. tingimustes, mis tagavad termoregulatsiooni mehhanismide minimaalse aktiivsuse, nim. soojuspõhivahetuseks Q_{pv} . Teiste sõnadega – see on minimaalne energiahulk, mis on vajalik peamiste eluprotsesside ülevõlmimiseks. Soojuspõhivahetuse suurus kõigub tervel inimesel sõltuvalt east ja soost (vaata tabel 1.1).[1]

Soojuspõhivahetuse Q_{pv} normatiivsuurused inimese keha pinna ühiku kohta (W/m^2).

Tabel 1.1

Vanus	Mees	Naine	Vanus	Mees	Naine
3	69,9	63,3	25	43,1	39,5
5	65,5	61,6	30	42,3	39,7
8	58,3	56,3	35	41,4	39,0
10	54,2	51,5	40	41,3	37,9
12	50,9	47,2	50	39,3	37,1
15	48,6	42,8	60	38,5	36,4
20	44,7	39,9	70	37,7	35,7

Seega inimese soojustoodangu määramiseks on vaja teada tema üldist soojusenergiakulu Q_{ek} , soojuskasutegurit Q_{sk} ja soojuspõhivahetust Q_{pv} . [1]

Soojuskasutegurit saab arvutada valemiga:

$$Q_{sk} = \frac{N}{Q_{ek} - Q_{pv}}. \quad (1.4)$$

Soojuse teke inimese organismi kasvab füüsilise töö korral. Kuid, ka rahuolekus viibival inimesel, näiteks üldisel või lokaalsel külmaga mõjutamisel (keemiline termoregulatsioon). [1]

Väga intensiivse jahutamise korral võib täiendada soojuse teket (keemiline termoregulatsioon) jälgida siis, kui inimene teeb füüsilist tööd. Kuna soojuse teke muutub jahutamisel, siis on seda näitajat võimalik kasutada külma tingimustes kantavate rõivaste hügieenilisel hindamisel. [1]

Andmeid soojuse tekke kohta on vaja organismi soojuskadude arvutamiseks, mis omakorda on aluseks rõivaste soojustakistuse arvutamisel. Tänu rõivaste soojustakistusele tagatakse organismi normaalne soojusbilanss. [1]

Inimese energiakulusid võib määrata otsese ja kaudse kalorimeetria abil. [1]

1.3. Inimese soojusväljastus

Inimese organismis soojusbilansi säilitamise keerulises protsessis on soojusväljastuse (soojusvahetuse) reguleerimisel suur tähtsus. [1]

Inimene annab soojust ära ümbritsevasse keskkonda mitut teed pidi: radiatsiooni (infrapunakiirguse), konvektsiooni, konduktsiooni (juhtivuse), aurumise ja hingamise teel.

Soojusliku komfordi (mugavuse) ja jahtumise tingimustes kuulub suurim osa infrapunakiirguse ja konvektiivsoojuskadudele (73-88%), millest räägivad tabelis 1.2 toodud andmed.[1]

Organismi ülekuumenemist tekitavates tingimustes prevaleerib aurustumise teel toimuv soojusväljastus.

Inimese soojusväljastus soojusliku komfordi tingimustes

Tabel 1.2

Soojuskadude liik	Andmetel							
	M. Rubneri 1896. a.		E.A. Dubois I.D. Hardi 1938. a.		A.A. Letaveti A.E. Malõseva 1941. a.		H.K. Witte 1943. a.	
	W	%	W	%	W	%	W	%
Konvektsiooni	40,3	32,4	12,7	14,2	13,3	15,3	43,2	33,1
Kiirguse	57,0	45,9	53,1	59,1	48,4	55,6	57,2	43,8
Aurustumise	27,0	21,7	23,9	26,7	25,3	29,1	30,0	23,1
Kokku	124,5	100,0	89,9	100,0	87,2	100,0	130,4	100,0

Soojendatud kehas muutub osa soojusenergiast alati kiirgusenergiaks. Soojuskiirgusenergia kandjaks on infrapunased kiired. Need on soojuskiired, nende levimisprotsessi aga nimetatakse termiliseks kiirguseks (soojuskiirguseks).[1]

Elutegevuse protsessis toimub inimese ja ümbritsevate esemete vahel pidev soojusvahetus. Soojusvahetus võib olla nii positiivse kui ka negatiivse soojusbilansiga. Positiivne infrapunakiirguse (IP-kiirguse) soojusbilans tekib siis, kui inimest ümbritsevate piirete keskmine temperatuur on kõrgem tema kehatemperatuurist. Sellisel juhul inimese keha soojeneb infrapunakiirguse arvel.[1]

Igapäevases elus on inimene tihtipeale päikeselt, soojenenud maapinnast, hoonetest, küttekehast lähtuvate erinevate spektraalkarakteristikutega infrapunakiirguste mõju all. IP-kiirguse soojendamise puutub inimene kokku ka oma tootmistegevuses (näiteks metallurgiatsehhides, klaasitööstuses, ka tekstiilitööstuses).[1]

Negatiivne IP-kiirguse soojusbilanss tekib siis, kui inimest ümbritsevate piirete keskmine temperatuur on madalam tema kehatemperatuurist. Sel juhul toimub organismi jahtumine.[1]

Ümbritsevas keskkonnas kohtab tihti pindu, millel on inimkeha omast madalam temperatuur, kusjuures kiirguslikud soojuskadod võivad olla küllalt suured ja olla inimese lokaalse või üldise ülejahtumise põhjuseks. Seda võib täheldada nii elu-, ühiskondlikes kui ka tootmishoonetes (külmad seinad, klaasitud pinnas jne.).[1]

Infrapunase kiirgusjahtumise mõju alla võivad sattuda ehitus-, transpordi-, külmutusseadmetel töötavad inimesed. Kiirguslik soojusloovutus komfortsetes meteoroloogiatingimustes moodustab 43,8–59,1% üldistest soojuskadudest. Kui ruumis on õhu temperatuurist tunduvalt madalama temperatuuriga piirdeid, siis inimese kiirguslike soojuskadude osakaal võib ulatuda 71,0 %-ni.[1]

Kiirgusjahtumise temperatuuri vähenemisel 5°C võrra kasvavad kiirguslikud soojuskadod 16 W/t (14 kcal/t) võrra. A.A. Malõseva andmetel kutsub selline soojendusloovutuse moodus esile organismi palju sügavama jahtumise, kui konvektsiooniline. Seepärast on otstarbekas kasutada rõivaste kiirguslike soojuskadude vähendamiseks heade peegeldusomadustega materjale.[1]

Soojuskiirgus sõltub suurel määral inimese keha ja ümbritsevate esemete pindade (kehade) temperatuuride vahest. [1]

Väikeste temperatuurivahede korral, mis tegelikult kehtib rõivaste ekspluateerimisel, võib infrapunakiirguse teel ära antava soojushulga arvutada valemiga:

$$Q_{rad} = \alpha_{rad} S_{rad} (t_1 - t_2), \quad (1.5)$$

kus α_{rad} – emissioonitegur (IP-kiirguse soojusväljastuse), W/(m²•°C);

S_{rad} – IP-kiirguse soojusvahetuses osalev inimese keha pind, m²;

t_1 – keha pinna (rõivaste) temperatuur, °C;

t_2 – ümbritsevate kehade temperatuur, °C.

Tabelis 1.3 on antud emissioonitegur α_{rad} väärtused inimese keha (rõivaste) ja ümbritsevate kehade temperatuuride teatud arvuliste väärtuste juures.[1]

Kiirguslikus soojusvahetuses osalev inimese keha pind on väiksem inimese kogu keha pinna pindalast, kuna mõned kehaosad kiirgavad vastastikku ja seepärast soojusvahetuses ei osale.

Soojusväljastuses osalev keha pind võib moodustada 71 – 95 % kogu inimese keha pinna pindalast. P.O Fangeri andmetel on efektiivse kiirguspinna koefitsient inimese seistes ja istudes 0,71.[1]

Kiirguslikud soojuskaod rõivastatud inimese keha pinnalt võib arvutada ka järgmise valemi järgi:

$$Q_{rad} = 3,95 \cdot 10^{-8} \cdot S \cdot \frac{S_{rõiv}}{S_{av}} \cdot (t_{rõiv} + 273)^4 - (t_k + 273)^4, \quad (1.6)$$

kus S – inimese keha üldpindala (alasti), m²;

S_{rõiv} – rõivastega kaetud kehaosa pindala, m²;

S_{av} – avatud kehaosa pindala, m²;

t_{rõiv} - rõivaste pinnatemperatuur, °C;

t_k – keskmine kiirgustemperatuur, °C.

Emissioonitegur α_{rad} , cal/(cm²•min•°C)10⁻⁴* (Büthneri andmetel)

Tabel 1.3

Inimese keha pinna (rõivaste) temperatuur, °C	Ümbritsevate esemete temperatuur, °C													
	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
0	40	43	44	46	49	52	58	64	68	72	75	79	83	88
10	44	45	48	51	54	58	63	67	71	75	79	83	87	92
20	47	49	52	55	58	63	67	71	74	78	83	87	91	96
30	51	52	55	59	62	66	71	75	78	82	87	91	96	100
40	54	56	59	62	66	70	75	79	83	86	91	96	101	106

*(1 kcal/(cm²•min•°C)10⁻⁴=0,0696 W/(m²•°C))

Õhus levib soojus põhiliselt õhu liikumise (konvektsiooni) teel. Selle tõttu nimetatakse keha ja õhu vahelise soojusvahetuse protsessi ka konvektiivsoojusvahetuseks. Eristatakse vaba konvektiivset soojusvahetust (keha ja õhu temperatuuride erinevuse arvel) ning konvektiivset sundsoojusvahetust (õhu liikumise mõjul). Inimese soojuskadude üldbilansis moodustab

konvektiivne soojusväljastus tunduva osa (25-30 %). Eriti kasvavad konvektiivsed soojuskaod tuulega. Konvektiivülekanne võib arvutada Newtoni seaduse alusel (kehade jahtumise) valem järgi:

$$Q_{konv} = \alpha_{konv} S (t_{r\ddot{o}iv} - t_{\ddot{o}}), \quad (1.7)$$

kus α_{konv} – soojuse konvektiivülekanne tegur, W/(m²·°C);

S – keha pindala, m²;

$t_{r\ddot{o}iv}$ – inimese keha (rõivaste) pinnatemperatuur, °C;

$t_{\ddot{o}}$ – õhu temperatuur, °C.

Soojuse konvektiivülekanne tegur sõltub keha kujust ja õhu liikumise kiirusest, millest annavad tunnistust tabeli 1.4 andmed. [1]

Konvektiivseid soojuskadusid keha katvate rõivaste pinnalt võib arvutada järgmise valemiga:

$$Q_{konv} = S \frac{S_{r\ddot{o}iv}}{S_{av}} \alpha_{konv} (t_{r\ddot{o}iv} - t_{\ddot{o}}), \quad (1.8)$$

kus S – inimese keha üldpindala, m²;

$S_{r\ddot{o}iv}/S_{av}$ – rõivastega kaetud ja katmata kehapindade pindalade suhe.

Soojuse konvektiivülekanne tegur

Tabel 1.4

Õhu liikumise kiirus, m/s	Konv.		Õhu liikumise kiirus, m/s	Konv.	
	kcal/(t·m ² ·°C)			kcal/(t·m ² ·°C)	W/(m ² ·°C)
0,0-0,5	6,0	7,0	9,9-12,4	42,5	49,4
0,6-1,7	9,0	10,5	12,5-15,2	50,0	51,8
1,8-3,3	14,3	16,6	15,3-18,2	59,0	68,6
3,4-5,2	20,8	24,2	18,3-21,5	67,8	78,8
5,3-7,4	27,8	32,3	21,6-25,1	78,0	90,7
7,5-9,8	34,9	40,6	25,2-29,0	90,0	104,7

Väikeste õhu liikumise kiiruste juures toimub soojusvahetus vaba konvektsiooni teel, kusjuures tegur α_{konv} on temperatuuride vahe $t_{rõiv}-t_{\delta}$ funktsioon [$\alpha_{konv}=f(t_{rõiv}-t_{\delta})$].[1]

Suurte õhu liikumise kiiruste juures α_{konv} on tuule kiiruse funktsiooniks ($\alpha_{konv}=fv_{tuul}$).[1]

Kandmisel võivad rõivad liibuda tihedalt vastu inimese keha ja samal ajal kokku puutuda kehaosa või mingi esemega (näiteks istumisel, lamamisel jne.). Soojusülekanne inimese keha pinnalt temaga kokku puutuvatele tahketele kehadele toimub soojusjuhtivuse teel (konduktsiooniga). Sel juhul soojusülekanne käib Fourier' seaduse järgi:

$$Q_{kond} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} S, \quad (1.9)$$

kus Q_{kond} – soojushulk, mis on läbinud seina pindalaga S mingi aja jooksul;

λ - rõivakihtide soojusjuhtivustegur, $W/(m \cdot ^\circ C)$;

t_1 – rõivakihtide sisemise poole temperatuur, $^\circ C$;

t_2 – rõivakihtide välimise poole temperatuur, $^\circ C$;

δ – rõivakihtide paksus, m.

Nagu ülaltoodud valemist näha võib, on konduktiivsoojusvahetus seda suurem, mida madalam on eseme temperatuur, millega inimene kokku puutub, mida suurem on kokkupuutepind ja väiksem rõivakihtide paksus.[1]

Harilikes tingimustes pole konduktiivkadude osa kuigi suur, kuna õhu (liikumatu) soojusjuhtivusteguri väärtus on tühine. Inimene kaotab sealjuures konduktsiooni kaudu soojust vaid tallapindade kaudu, mille pindala moodustab ainult ca 3 % keha üldpindalast.[1] Kuid mõningatel juhtudel (näit. tankikabiinis) võib rõivaste kokkupuutepind külmade seintega olla võrdlemisi suur.[1]

Soojustusväljastus, eriti kõrge õhutemperatuuri juures, võib toimuda difusiooniiskuse ja higi aurumise teel. Soojusliku komforti ja juhtimise tingimustes kaotab suhtelises füüsilises rahuolekus viibiv inimene niiskust naha ja ülemiste ja hingamisteede pinnalt difusiooni (tajumatu perspiratsioon) kaudu. Sel viisil annab inimene ümbritsevasse keskkonda 23-27% üldistest soojuskadudest, millest 1/3 on ülemistelt hingamisteedelt aurumise soojuskaod ja 2/3 – soojuskaod aurumisest naha pinnalt.[1]

Tajumatu perspiratsioon on soojusliku komforti tingimustes küllaltki stabiilne suurus ja vaid veidi kõigub sõltuvalt naha verevarustusest (tabel 1.5).

Tajumatu niiskusekadu õhu temperatuuril 24-25 °C

Tabel 1.5

Relatiiv- niiskus %	Üldised niiskus- kaod, g/t	Niiskus- kaod naha kaudu, g/t	Kaud hingamisteede kaudu		Hingamis-teede ja naha kaudu toimuvate niiskus- kadude suhe
			Niiskus	Süsihappe- gaas, hapnik	
Kuni 30	32,15	21,56	7,90	2,69	1 / 2,0
30 kuni 80	30,97	22,52	5,77	2,68	1 / 2,7
Üle 80	30,77	23,64	4,30	2,86	1 / 3,3

Niiskuse aurumise kiirus kehapinnalt sõltub nahalähedase kihi ja ümbritseva õhu partsiaalrõhkude (osarõhkude) vahest, õhu liikumise kiirusest ning rõivaste õhu- ja auruläbilaskvusest, hõõrkaotustest nahapinna pindalast. Arvutusvalemite aluseks on Daltoni statsionaarse niiskusülekanne protsessi (vedeliku aurumise lahtiselt pinnalt) valem:

$$W_{\text{aur}} = \beta F (P_{\text{küll}} - P_a), \quad (1.10)$$

kus W_{aur} – aurumise kiirus ehk ajaühikus auruks muutuva vedeliku kogus, g/t;

β - niiskuse loovutuse ja auru partsiaalrõhkude vahe suhtekoeffitsient;

F – vedeliku lahtise pinna pindala (antud juhul niiske kehapinna pindala), m²;

$P_{\text{küll}}$ – küllastatud auru rõhk naha temperatuuri t_p juures, kui $t_\delta > t_k$, kPa.

P_a – auru partsiaalrõhk ümbritsevas õhus, Pa.[1]

Erinevate uurijate pakutud valemid erinevad üksteisest selle poolest, et niiskusloovutuse koeffitsiendi ja niiske pinna pindala määramiseks on antud erinevad empiirilised sõltuvused (näiteks Witte $N \cdot K$, kui $F=1,65 \text{ m}^2$).[1]

$$\beta = 65,5 (0,5 + \sqrt{v}), \quad (1.11)$$

kus v on õhu liikumise kiirus, m/s.

Seoses sellega, et rõivaste õhu- ja auruläbilaskvuse ning niiske pinna pindala F määramine on väga raske, on ka aurumiskiiruse W_{aur} arvutamine raskendatud.

Tajumatute niiskuskadude piires moodustab F ca 10% kogu keha pindalast S .

Niiske kehapinna pindala võib arvutada valemi järgi

$$F = \frac{100 (p_{küll} - p_a)}{p_{küll.n} - p_a}, \quad (1.12)$$

kus $P_{küll.n}$ on küllastatud auru rõhk niiskete nahaosade kohal naha temperatuuri juures.

Soojuskaod difusiooniiskuse aurumisest naha pinnalt $Q_{aur.d}$ (ühik W) võib määrata transformeeritud P.O. Fangeri valemi järgi:

$$Q_{aur.d} = 3,06 \cdot 10^{-3} S (256 t_n - 3360 - P_a), \quad (1.13)$$

kus P_a on auru partsiaalrõhk ümbritsevas õhus, Pa,

t_n – naha temperatuur, °C.

Sisse hingatav õhk niiskub hingamisteede läbimisel niiskuse aurumisest limaskestadelt. Väljahingamise ajal veeaur osaliselt kondenseerub, kui väljahingatav õhk sisaldab rohkem niiskust kui sisse hingatav.[1]

Soojuskaod niiskuse aurumisest ülemistelt hingamisteedelt $Q_{aur.h}$ võib arvutada valemi järgi (P.O. Fanger)

$$Q_{aur.h} = 14,9 \cdot 10^{-6} Q_{s.t} (5880 - P_a), \quad (1.14)$$

kus $Q_{s.t}$ – inimese soojustoodang, W.[1]

Higieritus kujutab endast üht termoregulatsiooni tähtsaimat mehhanismi, mis mängib põhirolli organismi ülekuumenemisel ja füüsilise töö tegemisel. Higierituse suuruse määravad inimese füüsilise aktiivsuse tase, meteoroloogilised tingimused ja rõivaste eksploatatsioonitingimustele vastavuse aste. Erituva higi kogus võib ulatuda 1,7 l/h. Kui välistingimused ei takista eralduva higi aurumist, siis võib soojusbilanss säilida. Piiratud higi aurumise võimaluste juures (näiteks veeauru kõrge partsiaalrõhk õhus, auru mitteläbilaskvate rõivaste kandmine) progresseerub soojuse akumulatsioon organismis.[1]

Maksimaalselt võimalikud soojuskaod higi aurumisest $Q_{aur.higi}$ võib arvutada valemiga

$$Q_{aur.higi} = 17,3 (E_f - e) (0,5 + \sqrt{v}), \quad (1.15)$$

kus E_f – maksimaalselt võimalik veeauru rõhk inimese naha temperatuuri juures, mmHg (1 mmHg= 133,3 Pa);

e – veeauru rõhk õhus (absoluutniisksus), mmHg.

Vahet $E_f - e$ nimetatakse ka füsioloogilise küllastuse defitsiidiks.[1]

Higierituse suuruse määrab kõigi muude võrdsete tingimuste juures energiakulutuste suurus. Komfortset soojustunnetust võib märgata vaid teatud kindlate aurumise soojusväljastuse ja soojusvoolu soojusväljastuse suhete juures ($Q_{konv}+Q_{rad}+Q_{kond}$). Aurumise soojusväljastuse komfortitase määratakse valemiga

$$Q_{aur.h.k} = 0,36 S \frac{Q_{s.t.}}{S} - 58, W. \quad (1.16)$$

Niiskuse aurumise soojuskaod võib kindlaks teha eksperimentaalselt, määrates aurustunud vedeliku koguse. [1]

Soojuskaod hingamisel (väljahingatava õhu soojendamiseks) moodustavad vaid vähese osa üldistest soojuskadudest. Energiakulutuste suurenedes ja õhu temperatuuri vähenedes kasvavad seda liiki soojuskaod. Madalatel temperatuuridel hingamine jahutab hingamisteid ja lisandub naha soojuskadudele. Külma õhku soojendatakse ja küllastatakse kopsudes ja hingamisteedes veeauruga. Hingamisteede jahtumine suureneb külmematel õhutemperatuuridel. See suureneb hetke ventilatsiooni suurenemisega, kuid jääb suhteliselt konstantseks murdosa metaboolse soojuse tootmise juures. Hingamisteede soojuskadude hulk võib olla 15-20% kogu keha soojustoodangust. Hingamisteede soojuskaod ei ole ühegi füsioloogilise kontrolli all, kuid neid võib vähendada lihtsate suukatete või spetsiaalsete maskidega soojuse ja niiskuse taastamiseks.[2]

Külmastressi klassifikatsioon võib põhineda lisa soojuskadudena, mis tulenevad tasapisi külmemast keskkonnast. Võrreldes +20 °C soojuskadusid +5°C juures, siis soojuskadu kahekordistub, -10 °C juures kolmekordistub, -25 °C juures neljakordistub. Tingimused 20 °C juures esindavad sisetingimusi, kus keha on heas termilises tasakaalus. Madalamatel temperatuuridel ei suuda keha säilitada soojustasakaalu, koed kaotavad soojust ja temperatuur langeb.[2]

Soojuskaod sissehingatava õhu soojendamiseks Q_{hs} võib arvutada valemiga

$$Q_{hs} = 0,0012 Q_{ek} (34 - t_{\delta}), \quad (1.17)$$

Kus t_{δ} – ümbritseva õhu temperatuur, °C;

34 – väljahingatava õhu keskmine temperatuur, °C.

Soojuskadude Q_{hs} arvutamisel soovitatakse väljahingatava õhu temperatuur võtta kõrge õhutemperatuuri juures 36 °C, keskmiste õhutemperatuuride juures 34° ja madalate temperatuuride juures 30 °C.[1]

2. SOOJUSTUSMATERJALID JA NENDE EHITUS

2.1. Rõivastuse mõju ning nõuded

Soojustusmaterjale kasutatakse naha vastas, et suurendada keha termoregulatsiooni kontrolli ulatust ning vähendada soojusregulatsiooni ainevahetuse kulu. Rõivastus vähendab soojusvahetust, kuid samas lubab enamus juhtudel aurustunud niiskusel põgeneda. Mõned rõivad takistavad vihma läbitungimist, kaitsevad nahka jahtumise eest ning ennetavad riietuse isolatsiooni efektiivsuse vähenemist.[3]

Rõivasüsteemides, mida kasutatakse miinuskraadidega kliimas, on mitmete tegurite tõttu soojuse ja niiskuse liikumine keeruline. Soojusvahetus toimub kõigis etappides konduktsiooni kaudu, kõrgelt poorses kiulises isolatsioonis infrapunakiirguse (IP-kiirguse) kaudu ning niiskes õhus konvektsiooniga. Suur osa transpordist toimub kiudude ja ümbritseva õhu vahel mitte ainult difusiooni ja konvektsiooni kaudu, vaid ka niiskuse absorptsiooni või desorptsiooni kaudu, nagu ka välimiste jõudude (kapillaarne rõhk ja gravitatsioon) mõjul kondenseerunud vedela vee liikumisel. Niiskuse absorptsioon või desorptsioon ja faasi muutus kogub või vabastab kiulises isolatsioonis soojust, mis raskendab soojuse liikumise protsessi. Niiskuse või vedeliku sisaldusel varieeruvad materjali soojusliikumise omadused oluliselt, mistõttu on neid protsesse raske määrata.[3]

Rõivastuse efektid soojusvahetuses määravad kaks peamist terminist omadust konvektsiooni, infrapunakiirguse (IP-kiirguse) ja evaporatsiooni ehk naha pinnalt ja hingamisteede limaskestalt vee aurumise kaudu.[2]

- a) Soojusisolatsioon (I) määratleb rõivakihtide abil vastupanu konvektsiooni ja IP-kiirguse soojusülekandele. Vastupanu moodustub soojusvahetusele igas suunas ja üle kogu keha pinna. See on keskmine nii kaetud kui ka katmata keha osadele. Antud unikaalne definitsioon lubab tutvustada soojustasakaalu valemis rõivastust. Riietuse ja külgnevate õhuavade isolatsioon on defineeritud kui kogu soojusisolatsiooni väärtused (I_T) ning põhineb järgneval valemil:

$$I_T = \frac{t_{sk} - t_a}{R + C}, \quad (2.1)$$

kus R on IP-kiirguslik soojusvahetus;

C – konvektsiooniline soojusvahetus;

t_{sk} – peamine naha temperatuur, °C;

t_a – õhutemperatuur, °C.

I väärtus on antud $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ või clo-ühikus. $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$, see on soojusisolatsiooni kogus, mis lubab puhke olekus inimesel, $21 \text{ }^\circ\text{C}$ juures ventileeritud ruumis ($0,1 \text{ m/s}$ õhuliikuvusega), säilitada soojustasakaalu. Definiitsiooni ja clo üksust tutvustati juba üle 60 aasta eest, et hõlbustada inimese soojustasakaalu mõistmist.[2]

- b) Evaporatiivne vastupidavus (R_e) määratleb rõiva kihtide vastupanu aurustumisel ja auru ülekandel. See tähistab kogu kehapinna soojusisolatsiooni. Soojusülekanne toimub ainult sel juhul, kui higi aurustub nahalt ja liigub difusiooni või konvektsiooni teel keskkonda. Riidekihtide ja õhuavade evaporatiivne vastupanu (R_{eT}) on määratud järgneva valemiga. Ühikuks on $\text{Pa m}^2/\text{W}$.

$$R_{eT} = \frac{p_{sk} - p_a}{E}, \quad (2.2)$$

kus E on evaporatiivne soojusvahetus;

p_{sk} – veeauru rõhk nahapinnal, kPa;

p_a – üldine veeauru rõhk, kPa.[2]

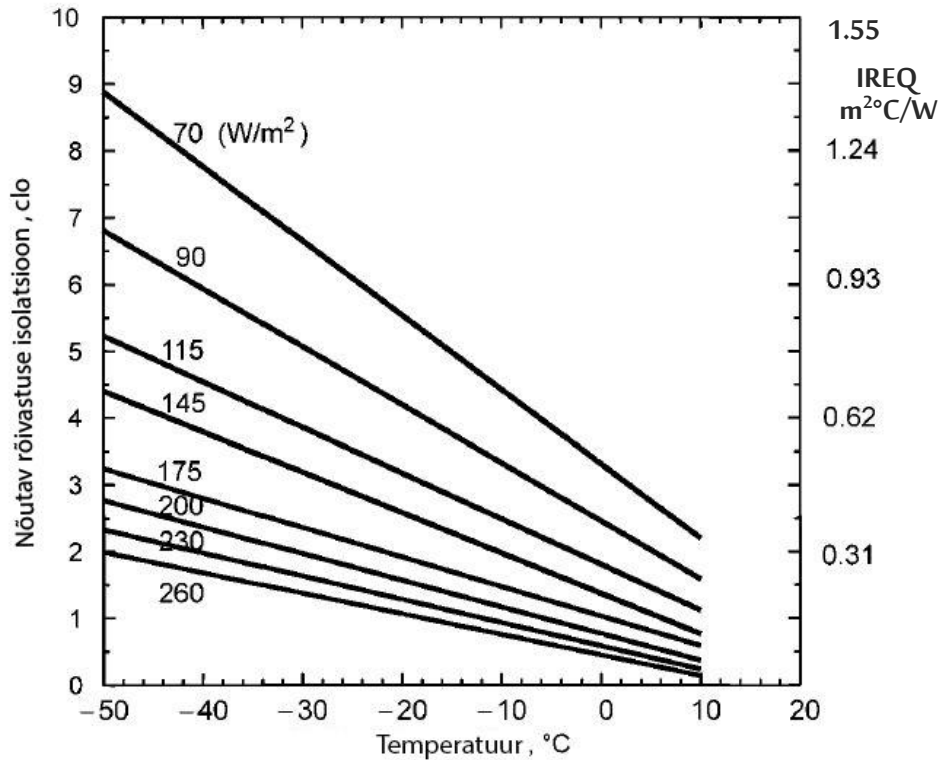
Niiskuse läbilaskvuse indeks (i_m) väljendab alternatiivselt veeauru ülekandumisel rõiva vastupidavust. Indeks seob riidesüsteemis evaporatiivse ja kuiva soojuste vastupidavuse. Kehtib järgnev seos:

$$R_{eT} = \frac{I_T}{i_m \cdot L}, \quad (2.3)$$

kus L on Lewise number ($16,7 \text{ }^\circ\text{C}/\text{kPa}$), i_m väärtus varieerub vahemikus 0 läbitungimatu pinna korral kuni 1 märja pinna ja tugeva tuule korral. i_m väärtus väheneb seisva õhu kihtide paksuse ja rõivakihtide numbri suurenedes. Vastavalt pakub mitmete rõivakihtidega riietus kõrget vastupanu evaporatiivsele soojusülekandele.[2]

Parim strateegia külma vastu võitlemisel on rõivaste isolatsiooni parandamine ning sellega evaporatiivse soojusvahetuse vältimine või minimeerimine. p_{sk} väärtus on valemis ainult natuke kõrgem kui ümbritsev p_a , järelikult evaporatiivne soojuskadu on väike. Seega ümbritseva õhutemperatuuri võimalikud väärtused, mille jaoks on võimalik säilitada soojustasakaalu, on määratud rõiva isolatsiooni väärtusega.[2]

Üks rahvusvaheline standard määrab ümbritseva kliima ja aktiivsuse funktsioonina rõivaste nõutava soojusisolatsiooni (IREQ).[2] Joonis 2.1 näitab rõivaste nõutavat soojusisolatsiooni (IREQ-väärtused) erinevate aktiivsuste ja õhutemperatuuride kombineerimisel.



Joonis 2.1 Rõivaste soojusisolatsiooni nõuded varieeruvates töötingimustes madalal temperatuuril ilma tuuleta. Väga kõrgetel aktiivsuse tasemetel peab olema tõeline soojusisolatsioon kõrgem, et vältida vastuvõetamatut kohalikku naha jahtumist.

See soojusisolatsiooni nõuete määramise meetod eeldab, et rõivad peavad vastavates konditsioonides pakkuma maksimum soojusisolatsiooni. IREQ-väärtus täpsustab ainult rõivakihtide nõudeid ning rõiva pinnaga piirnev õhukiht arvutatakse eraldi.[2]

Soojusisolatsiooni nõuded suurenevad külmas kliimas madala aktiivsuse juures järsult. Ainevahetussoojuse tootmise madalad tasemed vajavad kõrget soojustakistust selleks, et tagada soojustasakaal. Kõrge aktiivsuse tasemed toodavad vastupidiselt palju soojust, mis tuleb momentaalselt edasi kanda ümbritsevasse keskkonda, et vältida keha ülekuumenemist. Kõige parem viis selle saavutamiseks on vähendada soojusisolatsiooni kihte. Lisaks kiirendab soojuskadu tuul. Selleks, et minimiseerida mikrokliimalist jahtumist, peavad keha pinnapealsed kihid pakkuma kõrget vastupidavust tuulele ning riideeseme välimine kiht peab olema tehtud materjalist, millel on madal õhu läbilaskvus. Niisked tekstiilid ja rõivakihid vähendavad aga soojusisolatsiooni ja suurendavad soojuskadu, mistõttu välimise kihi pealmine pool peaks olema vett tõrjuv või veekindel.[2]

2.2. Riietuse soojusisolatsiooni mõõtmised

Oluline on teada, kuidas saab tegelikku rõivastust testida, et hinnata mil määral see vastab soojust hoidvate riiete nõuetele.

2.2.1. Soojusisolatsioon

Traditsiooniliselt mõõdetakse tekstiilide termilisi omadusi kuumutatava pliidiga.[2] Katsetused -20 °C juures uuendusliku kuuma plaadiga, mis kontrollib higistamist, on andnud järeldusi, et enamuse temperatuuri jaotuse muutusi kiulises rõivavatis, mis on kaetud mõlemalt poolt õhukese riidega, toimuvad külmas kliimas poole tunniga. Kiudude niiskuse imamise omadused ja kraasloori tihedus või poorsus mõjutavad rõivavati temperatuuri ja veesisalduse jaotust. Kiudude niiskuseimavus suurendab rõivaloori temperatuuri ning parem kondenseerunud vee kogunemine rõivaloori välimisse piirkonda tuleneb rõivaloori paremast läbilaskvusest.[3] Selline informatsioon on aga riietuse omaduste ennustamisel piiratud väärtusega. Soojusvoog on riide ning õhukihi erinevate kombinatsioonide läbimisel kolmemõõtmeline. Rõiva kuju, disain ja keha katvus muudavad soojusisolatsiooni väärtust. Spetsiifiline rõivastuse soojusisolatsiooni definitsioon nõuab kuumusvoogude vastupanu mõõtmist üle kogu keha pinna. Selleks on vaja termilist mannekeeni (joonis 2.1).[2]

Termilised mannekeenid omavad rõivastuse uurimisel pikka ajalugu. Põhimõtteliselt on terve inimese keha suurune mudel tihedalt kaetud spetsiaalsete juhtmetega. Kehapind on tavaliselt jagatud anatoomilisteks kehaosadeks, mis moodustavad sõltumatud tsoonid. Iga tsooni pinna temperatuur on mõõdetud ja regulatsiooni programm varustab seda elektrienergiaga, mis on vajalik, et säilitada nahatemperatuuri (tavaliselt umbes 34 °C). Mannekeen paigutatakse katsetustel kindlate tingimustega kliimakambrisse. Riietuse soojusisolatsiooni saab määrata, kui mõõta mannekeeni naha temperatuuri, ümbritseva õhu temperatuuri ja energia tarbimist stabiilsetes tingimustes (valem 2.1).[2]



Joonis 2.1 Kõndiv termiline mannekeen rõivastuse soojusisolatsiooni mõõtmiseks.

Kogu rõivastuse soojusisolatsioon (I_T) määrab kõigi keha katvate kihtide (kaasa arvatud ümbritsevate õhukihtide) soojusisolatsiooni. Tavaline rõivastuse soojusisolatsioon (I_{cl}) defineerib ainult soojusisolatsiooni nahast rõiva pinnakihini. Õhukihi soojusisolatsioon (I_a) määratleb palja keha pinnaga piirneva õhukihi soojusisolatsiooni. Kehtib järgnev seos:

$$I_T = I_{cl} + \frac{I_a}{f_{cl}}, \quad (2.4)$$

kus f_{cl} on riietusala tegur. Kogu kehapinna ala laieneb, kui kehale asetatakse rõiva kihid. Tavaliselt f_{cl} varieerub väärtustel 1,0 kuni 1,5 raske ja paksu talveriietuse korral. I_a mõõdetakse paljal termilisel mannekeenil ja I_T mõõdetakse test riietusega. I_{cl} väärtus on teistitava rõivastuse jaoks arvutatav valemiga 2.4. Parima tulemuse f_{cl} väärtuse määramisel saab kasutades fotogramm meetodit või keha skannereid.[2]

2.2.2. Evaporatiivne vastupanu

Kangaste vastupanu vee aurustumisele inimese nahapinnalt ning hingamisteede limaskestalt on mõõdetav kuumutatud veevannil. Olemas on ka higistavad mannekeenid, kuid tulemused näitavad rohkem suhtelist higistamise mõju soojusvahetusel, kui tegelikku evaporatiivset vastupanu. Läbilaskvusindeksi usaldusväärsed väärtused võib anda märg kate kuival termilisel mannekeenil ning rõivastuse evaporatiivse vastupanu määramist võib lubada rõiva ja mannekeeni mõõtmiste kombinatsioon.[2]

2.2.3. Tuuletakistus

Rõiva tuuletakistust mõõdetakse ühikus kuupjalga minutis ruutmeetri kohta (CFM – cubic feet per minute per square meter), mida kõrgem CFM, seda väiksem on tuuletakistus. Kuju, jäikuse, kihtide ja muude tegurite efekte ei arvestata. Rohkem infot saab tuuletakistuse mõõtmise kohta standardist ISO-EN-9237, 1995.[2]

2.2.4. Veetakistus

Infot riide veetakistuse mõõtmise kohta saab standardist ISO-811, 1981. Olemas on ka uus test, mis mõõdab veetakistust kogu materjalis.[2]

2.2.5. Külma ilma kaitserõivastuse standardid

Erinevat tüüpi kaitserõivastuste jaoks on arendatud suur number rahvusvahelisi standardeid. Kaitset külma ja kõleda ilma vastu sisaldavad järgmised European pre-Standard (ENV) ja European Standard (EN) näited:

ENV-342. Kaitserõivad – rõivad kaitsmaks külma eest. 2002.

ENV-343. Kaitserõivad – kaitse halva ilma vastu. 1998.

ENV-14058. Kaitserõivad – rõivad kaitseks jaheda ilma eest. 2002.

EN-511. Külma eest kaitsvad kindad. 2002.

ENV-342 nõuab soojusisolatsiooni, õhu läbilaskvuse ja evaporatiivse vastupanu mõõtmisi. Kaks viimast omadust mõõdetakse kangastel. Soojusisolatsioon mõõdetakse mannekeeniga, kas staatiliselt või kõndides. Olemas on ka võrrandid tuule korrigeerimiseks. Rõiva tunnustest arusaamine tagatakse soojusisolatsiooni väärtuse ja õhu läbilaskvuse klassi märkimisega etiketti.

ENV-343 (ENV-343, 1998) nõuab vee läbilaskvuse ja evaporatiivse vastupanu mõõtmist riidel. Tulemused märgitakse mõõdetud väärtuste klassidena.

ENV-14058 nõuab soojusisolatsiooni ja õhu läbilaskvuse mõõtmist riidel.

EN-511 nõuab tervel kinda soojusisolatsiooni mõõtmisi termilisel käemudelil. Lisaks nõuab kontakti vastupanu mõõtmisi (mõõdetakse pliidil kinda näidise sisemise poolega). Tulemused esitatakse ühest neljast klassist.[2]

2.3. Soojustusmaterjalide tulemuslikkus

2.3.1. Riietuse soojusisolatsiooni standardsed väärtused

Rõivaeseme soojusisolatsiooni standardne väärtus on peamine isolatsiooni väärtus (I_{cl}). Vastavalt standarditele on see väärtus mõõdetud tuulevabas tingimuses seisva staatilise mannekeeniga. Peamine soojusisolatsiooni väärtus on nimetatud enamus tabelites koos informatsiooniga rõiva soojusisolatsioonist. Tabel 2.2 annab näiteid rõiva soojusisolatsiooni väärtustest jahedas kuni külmas keskkonnas.[2]

Peamised valitud rõiva isolatsiooniväärtused (I_{cl}) mõõdetuna termilisel mannekeenil

Tabel 2.2

Nr.	Rõivaese	I_{cl} , $m^2C/$	clo
1	Aluspüksid, lühikeste käistega särk, parajad püksid, madala säärega sokid, kingad	0,08	0,5
2	Aluspüksid, särk, parajad püksid, sokid, kingad	0,10	0,6
3	Aluspüksid, kaitseülikond, sokid, kingad	0,11	0,7
4	Aluspüksid, särk, kaitseülikond, sokid, kingad	0,13	0,8
5	Aluspüksid, särk, püksid, kittel, sokid, kingad	0,14	0,9
6	Aluspüksid, alussärk, särk, kaitseülikond, sokid, kingad	0,16	1,0
7	Aluspüksid, alussärk, särk, püksid, jakk, vest, sokid, kingad	0,17	1,1
8	Aluspüksid, särk, püksid, jakk, kaitseülikond, sokid, kingad	0,19	1,3
9	Alussärk, aluspüksid, isolatsiooni püksid, isolatsiooni jakk, sokid, kingad	0,22	1,4
10	Aluspüksid, t-särk, särk, parajad püksid, isolatsiooni kaitseülikond, sokid, kingad	0,23	1,5
11	Aluspüksid, alussärk, särk, püksid, jakk, jope, müts, kindad, sokid, kingad	0,25	1,6
12	Aluspüksid, alussärk, särk, püksid, jakk, jope, pealmised püksid, sokid, kingad	0,29	1,9
13	Aluspüksid, alussärk, särk, püksid, jakk, jope, pealmised püksid, sokid, kingad, müts, kindad	0,31	2,0
14	Alussärk, aluspüksid, isolatsiooni püksid, isolatsiooni jakk, pealmised püksid, jope, sokid, kingad	0,34	2,2
15	Alussärk, aluspüksid, isolatsiooni püksid, isolatsiooni jakk, pealmised püksid, jope, sokid, kingad, müts, kindad	0,40	2,6
16	Arktika rõivasüsteem	0,46- 0,70	3-4,5
17	Magamiskotid	0,46- 1,4	3-9

Soojusisolatsioon paraneb rõiva kihtide arvu ja paksuse suurenedes. Soojusisolatsioon ehitatakse üles õhu kihtidega. Tekstiilid, mis hoiavad õhku rõivakihtide vahel ja minimaliseerivad sisemise konvektsiooni, pakuvad head soojusisolatsiooni. Kiudude keemilised ja füüsilised omadused on vähem olulised, sest nende ruumi osakaal tekstiilis on väga väike. Tekstiilid on mitmekihilises rõivastuses vähem olulised kui keskmised õhukihid, mille nad moodustavad. Umbkaudne hinnang on, et tekstiilid üksteise peal ning vahekatted annavad olenemata kiu tüübist umbes 1,5 clo/cm paksuse.[2]

Rõiva soojusomadused muutuvad praktilises kasutuses dünaamiliselt, näiteks keha liikumise, tuule ning niiskuse kogunemise mõju tulemusena. Sellised tegurid häirivad õhu kihtide mikrokliimat ja muudavad soojuslikke omadusi. Peamine soojusisolatsiooni väärtus kehtib praktikas ainult seisval inimesel seiva õhu käes. Dünaamilistes töö tingimustes on vaja kasutamiseks läbi viia parandusi, mida saab teha kahel meetodil. Esiteks viiakse termilisel mannekeenil läbi lisamõõtmised. Teiseks parandatakse põhilise soojusisolatsiooni väärtust kasutades empiirilisi algoritme. Esimene viis kompromiteerib erinevate õhukiiruste mõjutustel kõndiva mannekeeni mõõtmisi. See annab reaalselt informatsiooni testitud eseme omadustest, kuid ainult testitud tingimustes. Testimise hind kasvab erinevate tingimuste arvu suurenedes kiirelt.[2]

See variant on saadaval külma eest kaitseva rõivastuse Euroopa standardis. Teine variant nõuab ühte või rohkemat võrrandit, mis parandavad tegeliku aktiivsuse ja kliima tingimustes (tavaliselt tuul) I_{cl} väärtust. See mudel on hõlmatud ka arvuti programmis läbivaadatud IREQ-standardi jaoks (ISO/DIS-11079,2004). [2]

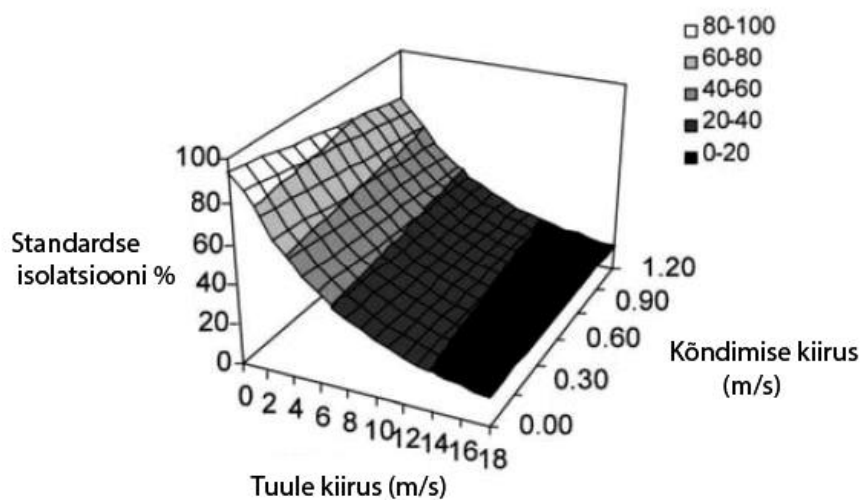
2.3.2. Kõndimise ja tuule mõju

Antud võrrandid on tuletatud erinevatest laborites saadud katsetustest. Nilsson uuris kliima tuuletunnelis talverõivastuse esemeid ja kavandas võrrandis muudatused arvestades kõndimise kiirust, tuule kiirust ja õhu läbilaskvust riide välimistes kihtides. Koos Havenithiga lisasid nad andmeid teistest allikatest ja kavandasid kergelt muudetud võrrandi.[2]

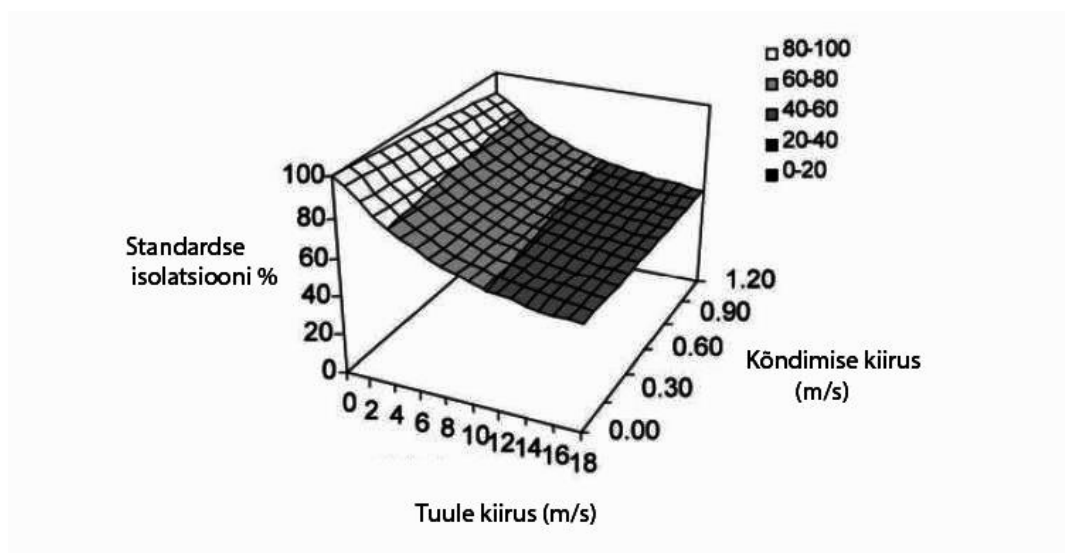
$$I_{T,r} = \left[e^{[-0,0512 \cdot (v_{ar}-0,4) + 0,794 \cdot 10^{-3} \cdot (v_{ar}-0,4)^2 - 0,0639 \cdot w]} \cdot p^{0,1434} \right] \cdot I_{T,static} , \quad (2.5)$$

kus v_{ar} on õhu suhteline kiirus m/s, w on kõndimise kiirus m/s ja p on õhu läbilaskvus l/(m²s).

Madal õhu läbilaskvus



Kõrge õhu läbilaskvus



Joonis 2.3 Tuule ja kõndimise kiiruse efektid riietuse soojusisolatsioonile. Protsentide väärtuste vähenemine mõõdetud seisval mannekeenil seisva õhu korral väljendab tuule ja kõndimise kiiruse efekti.

Korrigeeritud võrrand kehtib kogu soojusisolatsiooni väärtusele, sellele lisatakse veel piirõhukihi efekt. Joonis 2.3 näitab, et välise riietuse kihiga, mis on kõrge tuulekindlusega, on soojusisolatsiooni vähenemine suurel tuule kiirusel siiski rohkem kui 30-40%. Soojusisolatsioon väheneb, sest keha tuulepealsel poolel toimub kokku surumise efekt. Tekstiili õhuläbilaskvus määratakse konstruktsioonis esinevate pooride numbriga ja suurusega. Poorideta tekstiilid on läbitungimatud ja pakuvad tuule vastu head kaitset, ka piisavalt väikeste pooridega materjalid ei lase praktikas õhul läbi tungida.[2]

2.3.3. Vee ja niiskuse mõju

Riietus saab märjaks sademete või muude väliste tegurite tõttu. Vett tõrjuva või veekindla kangaga saab ennetada rõivastuse märgumist. Mitmed turul olevad materjalid on veele täiesti läbimatu, ka erinevad kanga töötlemisviisid muudavad neid vähem või rohkem veekindlaks – omadus, mis võib pestes ja aja jooksul väheneda. Mõned mikropoorsed materjalid ja kanga töötlemisviisid omavad kõrgetasemelist veekindlust (ka tuulekindlust), siiski võivad nad lubada läbipääsu veeaurule (hingamine). See omaduste kombinatsioon on tulemuseks rõivastes, mis on veekindlad, kuid siiski hingavad ulatuses, kus vähene kogus higi võib tungida nahalt välisesse õhku. Need funktsioonid on olulised parasvöötme ja soojas kliimas, kuid külmas kliimas piiravad seda funktsiooni füüsilised nähtused.[2]

Külmas kliimas esineb läbi rõivakihtide nahast õhuni järsk temperatuuride erinevus. Kastepunkti temperatuur ja lõpuks külmumistemperatuur võib jõuda riietuse sisemusse, kui niiske õhk liigub nahalt väljapoole. Niiskus koguneb rõiva sisemistesse kihtidesse kondenseerumise korral. Riietuse märgumine vähendab oluliselt soojusisolatsiooni efektiivsust. Nelja talvist riietuseset mõõdeti higistaval termilisel mannekeenil kolme tunni jooksul kahel tasemel, 100 ja 200 g/(m²*h). Õhutemperatuurid jäid vahemikku 0 kuni – 40 °C. Tabel 2.3 näitab kolme tunni jooksul kogunenud vee hulka ja seeläbi vähenenud soojusisolatsiooni efektiivsust. Higi aurumine väheneb oluliselt külmas kliimas, -10 ja – 25 °C juures eritub umbes 40-60% higi, madalamatel temperatuuridel on see vähem kui 20%. [2]

Tegelik aurustumine ja kogu soojusisolatsiooni erinevus higistamise ja higi kogunemise tulemusena.

Tabel 2.3

Ese	Kogu- isolatsioon kuivalt, m ² °CW ⁻¹	Higistamise tase		Higistamise tase	
		100 g h ⁻¹ m ⁻²		200 g h ⁻¹ m ⁻²	
		Evaporat- sioon	Isolatsiooni vähenemine	Evaporat- sioon	Isolatsiooni vähenemine
Ese 1. 0°C	0,32 (2,1)	54	0	61	-7
Ese 2. -10 °C	0,46 (3,0)	48	-13	38	-21
Ese 3. -25 °C	0,65 (4,2)	17	-21	17	-28
Ese 4. -40 °C	0,65 (4,2)	21	-20	15	-21

2.3.4. Päikesekiirguse toime

Päikesekiirgus võib külmas kliimas aidata kaasa soojuse tasakaalu parandamisele, kuna annab kehale soojuskiirgust. Tumedad värvid neelavad nähtavas spektris rohkem soojuskiirgust kui heledad toonid. Soojuse neelduvuse netomõju on välimises kihis tõenäoliselt väike, kuna külmal päeval kantakse rohkem rõivakihte.[2]

2.3.5. Töötlemise efektid

Mitmed tekstiilide ja rõivaste omadused kahjustuvad kandmisel ja pesemisel. Järk-järgult kaovad pindmised töötled (näiteks veetõrjevus), mida tuleb sel juhul korrata. Soojusisolatsioon võib pärast korduvat pesemist väheneda. Selle suurusjärg sõltub paljudest teguritest, nagu näiteks kvaliteedist, kiudude ja tekstiilide omadustest, kokku tõmbumisest ja konstruktsiooni tüübist. Paksud esemed ja magamiskotid kaotavad pärast pesemist oma soojusisolatsioonist ligi 20%. [2]

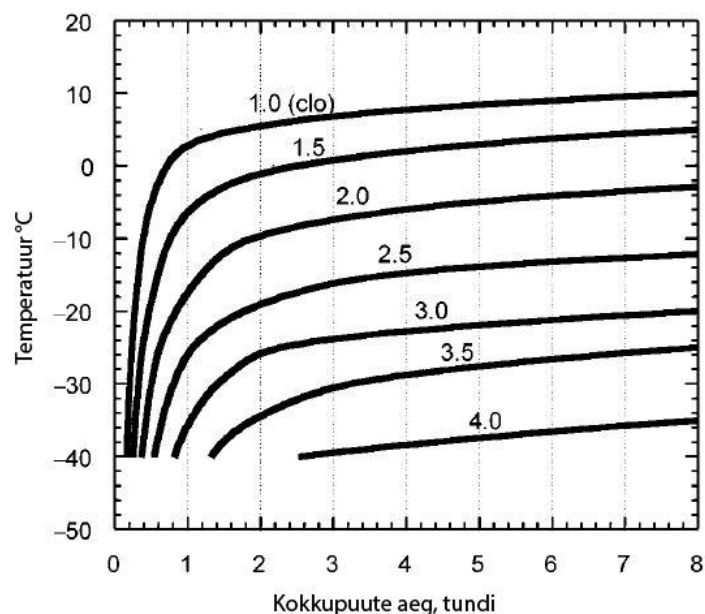
2.3.6. Kaitse ennustamine

Soojustasakaalu mudeli abil võib kirjeldada soojustasakaalu tingimusi. Selle abil saab määrata

- erinevate aktiivsuste ja kliima kombinatsioonide korral nõutud rõivastuse isolatsiooni (IREQ);
- kokkupuute aega kindla rõivastuse soojusisolatsiooni korral, erineva aktiivsuse ja kliima kombinatsioonidel, vastuvõetava jahtumise jaoks;
- tuule ja liikumise efekte soojusisolatsiooni ja soojustasakaalu.

Mudeli väärtused võetakse ümbritsevate kliimatingimuste (õhu temperatuur, peamine kiirgustemperatuur, tuule kiirus ja niiskus) ja aktiivsuste tasemelt rõivastuse nõutava isolatsiooni jaoks (IREQ). Teised kaks analüüsi nõuavad vastava riideeseme jaoks põhilise isolatsiooni väärtuse defineerimist. Vastavad arvutused teostab arvuti programm, mis on saadaval internetis.[2]

Joonis 2.4 näitab rõiva esemete kaitsvat väärtust nominaalse soojusisolatsiooni väärtustel 1-4 clo-d kerge töö intensiivsusel vastates ainevahetuse määrale 110 W/m^2 . Clo väärtused on peamised väärtused, mida saab võtta näiteks tabelist 2.2. Kui saadaval olev isolatsiooni väärtus on ebapiisav, siis arvutatakse soovitatav mõjuaeg. Joonisel 2.4 olevad väärtused kehtivad seisva õhu korral.



Joonis 2.4 Kokkupuute aeg ja isolatsioon erinevatel temperatuuri (tuulevaikse) ja rõivastuse kombinatsioonidel kerge aktiivsuse (110 W/m^2) korral. Rõivastuse isolatsioon on antud kui peamine isolatsiooni väärtus. Väärtus korrigeeritakse tuule ja kõndimise kiiruse jaoks arvuti programmiga automaatselt.

Kõik kurvid nihkuvad tugevneva tuule ja kõndimise kiiruse suurenemise korral vasakule (vt. joonis 2.3).[2]

2.4. Soojustusmaterjalide struktuur

Kiud on vajalikud, et takistada õhu liikumist. Villakus kiudude vahel olev õhk, mille soojusjuhtivus on väiksem kui mistahes kiul, tagab rõivastuse soojusisolatsiooni. Kanga struktuuris on kiul kaks peamist funktsiooni soojusisolatsiooni tagamisel. Esiteks, kiud moodustavad õhuvahed ja takistavad õhu liikumist. Teiseks, kiud takistavad infrapunakiirgusest põhjustatud soojuskadusid. Soojusisolatsiooni efektiivsus sõltub nii kiu peensusest ja kujust kui ka kanga struktuurist. Keerduvad kiud hoiavad rohkem õhku, kuna lõnga struktuuris tekivad kitsad praod, mis suurendavad kanga soojusisolatsiooni ja takistavad õhu liikumist. Loomulik keerduvus ning suur seisva õhu maht on villakiul. See seletab villa traditsioonilist kasutust soojustusmaterjalina.[4]

Rõiva funktsioonide parandamiseks kasutatakse mikrokiude, eriti spordirõivastes, magamiskottides ja telkides. Mikrokiud omavad kangas suuremat pindala ja kaks korda suuremat mahtu. Infrapunase kiirguse soojusülekanne on tekstiilis seotud kiu diameetriga, peenemate kiudude korral esineb madalam soojusülekanne.[4]

Erinevad lõnga struktuurid mõjutavad tekstiili soojusisolatsiooni. Lõnga struktuur koos kiu geomeetria ning kanga konstruktsiooniga mõjutavad kangas infrapunase kiirguse mõju, niiskuse ülekandumist ja konduktsiooni. Keerutatud lõng või tekstureeritud filamentkiududest lõng hoiab endas rohkem õhku ning pakub paremat soojusisolatsiooni, kui lapik filamentkiududest lõng. Lõnga keeru aste mõjutab soojuse ja niiskuse ülekannet. Kõrgema keeruastmega lõng on rohkem kompaktne, vähem õhuline ning parandab niiskuse ülekande kapillaarsuse efekti.[4]

Suur seisva õhu hulk on paksus kangas. Veelgi paremat soojusisolatsiooni pakuvad mitmekihilised kangad. Erinevad kanga struktuurid omavad erinevaid poorsusi, seega hoiavad ka erineval hulgal õhku. Ka kanga raskus mõjutab materjali soojusisolatsiooni. Külma kliima korral on oluline tasakaalustada kõrge soojusisolatsioon kerge raskusega, et tagada rõiva mugavus. Kerget kangaid saab, kui kasutada kahe kanga vahel madala kiutihedusega materjale või poliüuretaan vahtu. Selline struktuur loob kõrge soojusisolatsiooni, kuid samas on kerge kaaluga. Madala tihedusega materjalide puhul tuleb arvestada infrapunasest kiirgusest põhjustatud soojuskadudega.[4]

Mitmekihilised soojustusmaterjalid koosnevad tavaliselt kolmest kihist. Sisemine kiht moodustab nahaga mikrokliima. Sellest kihist algab niiskuse ja soojuse ülekanne. Keskmine kiht annab enamuse soojusisolatsioonist. Enamasti koosneb see materjalidest, mis hoiavad suurel hulgal õhku. Välimise kihi peamine ülesanne on pakkuda kaitset ning hoida rõiva terviklikkust. Välimine kiht peab olema valmistatud heade mehaaniliste omadustega materjalidest. Paremate omaduste saavutamiseks (näiteks veekindlus) võib välimist kihti viimistleda keemiliselt. Keemiline viimistlus muudab ka tekstiili soojuslikke omadusi. Olemas on keemilised viimistlused, mis ladustavad soojust ning vabastavad seda, kui kliimatingimused muutuvad. Hulgaliselt on uuritud faasi muutvaid materjale, mis neelavad soojusenergiat, kui nad muutuvad tahkest olekust vedelasse, ning vabastavad soojust, kui muutuvad tagasi vedelast olekust tahkesse olekusse.[4]

Soojust hoidvate materjalide lisaareng on täispuhutavate torude kasutamine kangas. See mehhanism lubab inimesel puhuda torustikku, kui on vaja paremat soojusisolatsiooni. Teine lisaareng on elektrilise kütte lisamine rõiva struktuuri. Elektriline küte hõlmab endas juhtmete seadmist rõivasse ning elektrienergia tagamist kasutades patareisid.[4]

2.5. Spetsiaalsed soojustusmaterjalid

2.5.1. Mitmekihilisuse printsiip

Nagu eelpool mainitud, sooja pidamine on kindlaks määratud seisva õhu kihtide paksusega, mis katavad peaaegu kõigi kehaosade pinnad. Seega võib kasutada igat liiki tekstiile ja materjale, kui peetakse kinni sellest printsiibist. Külma eest kaitsev rõivastus on tavaliselt ehitatud mitmetest rõiva kihtidest, mis on asetatud üksteise peale. Sisemine kiht on naha vastas ning kontrollib mikrokliima temperatuuri ja niiskust. See kiht peab vähese aktiivsuse korral vähendama õhu liikuvust. Soojus ja niiskus peab kõrge aktiivsuse korral liikuma läbi kihi, et nahk saaks jahutust. Niiskust võib kontrollida absorptsiooniga, teise kihti liikumisega või ventilatsiooniga. Absorptsioon vähendab naha niiskust ja tagab suhtelise mugavuse, kuid niiskus jääb riietusse ning võib kahjustada soojuse tasakaalu hilisemas etapis. Hüdrofoobsete tekstiilide kasutamine naha vastas suurendab kiiresti niiskuse hulka, mis juhitakse välimisse kihti. Selle eeliseks on suurenenud teadlikkus soojustasakaalust (ebamugavustunne), kuid niiskus jääb siiski riietesüsteemi. Ventilatsiooni printsiip vajab aurutõkke kandmist naha pinnal. Mikrokliima niiskus tõuseb higistades kiiresti, kuid veeaur ei saa minna välimistesse kihtidesse. Niiske mikrokliima sunnib kandjat riidekihte avama ning ventileerima mikrokliimat. See printsiip on eelistatud puhates ja madala aktiivsuse juures.[2]

Absorptsiooni tehnika on kasulik madala kuni keskmise aktiivsuse juures, kus on limiteeritud higistamine. Transportiv printsiip võib olla kasutusel kõikide tegevuste juures, eriti kõrge aktiivsuse korral intensiivse higistamisega. Need on enim sobivad sportimisel ja pikaajalise aktiivsuse korral. Üks tähtsaid tegureid külmakaitse puhul on niiskuse kontroll. See tähendab, et kihtide märgumine peab olema välistatud (seestpoolt higistades või väljastpoolt märgudes, näiteks vihma korral). Kui see ei ole võimalik, siis peavad olema kontrollitud niiskuse kogunemise tagajärjed.[2]

Keskmine kiht annab kõige rohkem isolatsiooni. See sisaldab sõltuvalt vajadusest kas ühte või mitut paksemast materjalist rõivakihti. Tekstiilivalik on nii kaua valikuline, kuni hea isolatsioon on tagatud. Pikemaajalistel viibimistel, koos piiratud soojenemise ja kuivamise võimalustega (ekspeditsioonid), peaks olema kasutusel mitte imavad materjalid.[2]

Välimine kiht peab kaitsma keskkonna mõjude eest (tuul, vihm, tuli, kriimustused). Vastavalt ametinõuetele on vajalik ka kaitse kemikaalide ja füüsiliste mõjude vastu. Välimine kiht võib pakkuda lisa isolatsiooni, kui kasutada voodrit (kraasloori, rõivavatti).[2]

2.5.2. Looduslikud ja sünteetilised kiud

Tekstiilid, nagu vill ja villasegud, omavad kõrget absorbeerumisvõimet ja ei kaota väiksemate niiskuskoguste puhul oma isolatsiooniomadusi. Naha vastas võib kasutada villa, see hoiab naha suhteliselt kuivana. Siiski niiskuse kontroll väheneb, kui riie küllastub niiskusega. Puuvill on samuti absorbeeruv. See liibub märgumise korral vastu nahka, mistõttu ei ole soovituslik kanda külma ilma korral. Mitmed sünteetilised tekstiilid on hüdrofoobsed ja niiske õhk liigub nahapinnalt läbi rõiva järgmisesse kihti. Naha mikrokliima muutub higistades ruttu niiskeks, mis põhjustab ebamugavust ning sunnib kandjat tegema mugandusi. See on üks peamisi põhjusi, miks kasutatakse naha vastas aurutõkkega materjale.[2]

Rõivastes imendunud niiskus annab, lisaks ebamugavustundele teatud etappides, kandjale ka raskust ning vähendab selles teatud rõivakihis soojusisolatsiooni. Kui aktiivsus langeb ning higistamine lakkab, siis märja rõiva kuivamine võib kehalt võtta rohkem soojust, kui toodab ainevahetus. Tulemuseks on külmavärinad, mis võivad ohustada soojustasakaalu ja viia hüpothermiani. Nii kaua, kuni suudetakse püsida kuivana, on rõiva materjali valik (sünteetiline või looduslik) erinevate kihtide jaoks maitse või vajaduse küsimus. Higistades ja pikemajalisel väljas viibimisel tuleks siiski arvestada teatud rõivastuse osades kergete, tugevate ja hüdrofoobsete materjalide eelistega.[2]

2.5.3. Täiustatud soojustus

Villased ja poolvillased kangad on tänu nende kiu looduslikkusele hea soojustusega. Moodsad sünteetilised tekstiilid, näiteks rõivavatid (kraasloorid), mis on tehtud polüester õõneskiududest või polüolefiin mikrokiududest, sarnanevad mõnes mõttes looduslike materjalidega ning kindlustavad paksuse ühiku kohta hea isolatsiooni. Kui rääkida kosmose tehnoloogiast, siis rõivastes ning ellujäämis varustustes on kasutuses peegeldavad materjalid (suuremas osas aluminiseeritud kangad ning kiud). Nende materjalidega peegeldatakse suurem osa soojusest, mille keha kaotab kiirgamise teel, nahale tagasi. Antud tehnoloogia kannab edasi üldiselt vähem soojust ning isolatsioon on kõrgem, kui võrrelda sarnase tehnoloogiaga ilma peegeldava kihita. Praktika siiski näitab, et üldine mõju on väike, mõningal juhul isegi mitteamustatav. Põhjuseid on mitmeid. Soojuskiirguse kaudu moodustab üleüldisest soojuskaost väikese osa, eriti tuule olemasolul ning ka keha liigutamisel (10-15%). Kiirguse peegeldamine vajab kihtide vahesid, mida on raske saavutada ning säilitada. Suurem osa peegeldavatest riietest on läbitungimatud ja segavad niiskuse kandumist. Levinud on aluminiseeritud kingade sisemised tallad, mis võrreldes sama paksu alumiiniumivaba tallaga ei paku mitte mingisugust lisa

isolatsiooni. Kindad ja sokid, mis on kootud alumiiniumniiti sisaldavast lõngast, ei paku samuti paremat isolatsioon võrreldes sellistega, kus alumiiniumniit puudub.[2]

2.5.4. Hingavad kangad

Hea kaitse on vajalik halva ilma korral (vihm ja lumi). Siiski veekindlad riided võivad segada aurumise teel toimuvat soojusvahetust. Inimene saab märjaks ka aktiivse liikumise korral higistades. Seda probleemi aitavad mingil määral lahendada mikroportsed materjalid. Väikesed poorid lasevad läbi veeauru, kuid peatavad vedeliku. Antud tehnoloogia töötab üpris hästi mõõdukas või soojas kliimas, jahedas kliimas on see vähem kasulik. Kui riie kogeb vahelduvalt sooja ja külma, võib ta lasta soojadel tingimustel imendunud niiskusel põgeneda. Sellised tekstiilid on tihti tuulekindlad, mis on kasulik külmas keskkonnas.[2]

2.5.5. Intelligentsed tekstiilid

Viimastel aastatel on turule tulnud mitmed materjalid, mis sisaldavad mingisugust aktiivset komponenti. Näiteks faasi muutvad materjalid (PCM – phase change material), täispuhutavate torudega ja elektrilise küttega materjalid. Tekstiilid, mis sisaldavad faasi muutvaid materjale, vastavad jahtumisele vabastades kius sisalduvast vahast või riidest soojust (kiudaine sisaldus muutub tahkest vedelasse). Tahke faas reageerib kuumusele neelates soojust (kiudaine sulab). Rõivas võib kuumas ja külmas keskkonnas pakkuda kandjale termoregulatsiooni, kui valida faasi muutmiseks kindel temperatuur. Siiski turul olevad PCM tekstiilid ei sisalda piisaval hulgal faasi muutvat materjali. Kaasatud soojusülekanne on peaaegu olematu, raskesti mõõdetav ja võimatu tajuda.[2]

Täispuhutavad tekstiilid peavad võimaldama rõiva paksuse laienemist suurendades isolatsiooni efektiivsust. Torusüsteemiga materjale saab täis puhuda suuga. Tulemuseks on laiem rõiva kiht ning parem isolatsioon. Elektriliselt soendavad elemendid, mis on lisatud tekstiili, on kättesaadavad juba mitu aastat. Nende puuduseks on patareide väike võimsus ja juhtmestiku väike vastupidavus. Mobiiltelefonide ja tahvelarvutite kiire areng on kättesaadavaks teinud võimsad kaua kestvad patareid, mida saab kasutada ka lisaküttena. See kontseptsioon on ilmselt kõige kasulikum käte ja jalgade soendamiseks. Turul on saadaval ka sisse ehitatud patareidega rõivad, mis on laetavad vooluvõrgus.[2]

KOKKUVÕTE

Soojustoodang ja soojuskadu peavad olema inimese soojustasakaalu tagamiseks võrdse väärtusega. Kui mingil perioodil see võrdsus puudub, siis toimub inimorganismis soojuste kogunemine või vähenemine. Soojuse teke sõltub rohkem füsioloogilistest faktoritest ning soojusväljastus ümbritseva keskkonna füüsikalistest faktoritest. Enamus keha soojustoodangust toimub maksas, ajus ja südames ning harjutuste käigus skeletilihastes. See soojus transportitakse läbi veresoonte ja kudede võrgu nahani, kust see kaotatakse keskkonnale. Soojuse tekke andmeid on vaja organismi soojuskadude arvutamiseks, mis omakorda on aluseks rõivaste soojustakistuse arvutamisel. Organismi normaalne soojusbilanss tagatakse tänu rõivaste soojustakistusele. Inimene annab ära soojust ümbritsevasse keskkonda mitut teed pidi: infrapunakiirguse, konvektsiooni, konduktsiooni, aurumise ja hingamise teel.

Soojustusmaterjale kasutatakse naha vastas, et suurendada keha termoregulatsiooni kontrolli ulatust ning vähendada ainevahetuse kulu. Riidetuse soojusisolatsiooni saab määrata kasutades termilist mannekeeni, millel tuleb mõõta naha temperatuuri, ümbritseva õhu temperatuuri ja energia tarbimist stabiilsetes tingimustes.

Rõivastuse soojusisolatsiooni mõjutavad tegurid nagu higi aurustumine, tuule kiirus, vihm ja lumi, päikese kiirgus ning rõiva töötused viimistlusmaterjalidega jne. Üheks rõiva soojusisolatsiooni parandamise võimaluseks on kasutada rõivastuse välimises kihis tuuletõket. Suurel tuule kiirusel on soojusisolatsiooni vähenemine siiski rohkem kui 30-40%.

Soojusisolatsioon paraneb rõiva kihtide arvu ja paksuse suurenedes. Head soojusisolatsiooni pakuvad tekstiilid, mis hoiavad õhku rõivakihtide vahel ja minimaliseerivad sisemise konvektsiooni. Nii kaua, kuni suudetakse püsida kuivana, on rõiva materjali valik (sünteetiline või looduslik) erinevate kihtide jaoks maitse või vajaduse küsimus. Higistades ja pikemajalisel väljas viibimisel tuleks siiski arvestada teatud rõivastuse osades kergete, tugevate ja hüdrofoobsete materjalide eelistega.

Viimastel aastatel on turule tulnud mitmed intelligentsed materjalid, mis sisaldavad mingisugust aktiivset komponenti. Näiteks faasi muutvad materjalid (PCM – phase change material) ning täispuhutavate torudega ja elektrilise küttega materjalid.

SUMMARY

Thermal insulation materials and their properties

Cold environments may adversely affect human physiological functions, work performance and wellbeing. The major threat is cooling, be it local skin cooling, extremity cooling or whole body cooling. The strategy for cold protection is prevention of cooling and maintenance of heat balance at acceptable temperature levels. This study investigates the thermal insulation materials necessary for ensuring the human heat balance.

First chapter discusses the topic of human heat balance. To ensure this balance the heat production of human body and heat dissipation to the environment should be balanced. Heat exchange between the body and the environment takes place at the skin surface by convection, radiation, conduction, evaporation and via the airways (respiration).

Second chapter explains properties of the thermal insulation materials. In the cold, the function of the clothing is to reduce the heat transfer to the environment, especially by limiting the convective heat loss by air movements and the radiant heat loss. Thermal insulation of clothing system is influenced by several effects, such as walking and wind speed, water and moisture content, solar radiation and surface treatments. For example, at low temperature, humidity may condense within the textile layers and negatively affect their thermal insulation and, as a consequence, the thermal and the tactile comfort of the wearer.

Thermal insulation is determined by the thickness of still air layers covering the body surface. Usually the thermal insulation clothing system has three layers. The inner layer is worn directly on top of the skin and controls the microclimate temperature and humidity. The middle layer provides most of the insulation. The outer layer must provide protection against environmental factors. This layer can also add to the total insulation by the provision of insulation liners and battings. The choice of material (natural or synthetic) for the various layers is a matter of taste or other preferences and requirements as long as one can stay dry. Although, the advantage of lightweight, strong and hydrophobic materials as parts of the clothing ensemble should be recognized.

Important thermal insulation materials are also breathing fabrics and intelligent textiles. In recent years several new types of materials and fabrics have been put on the market that contain some active component. Examples are phase change materials (PCM), inflated tubing and electrical heating.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Р.А. Делль, Р.Ф. Афанасьева, З.С. Чубарова. Гигиена одежды. Москва „Легкая индустрия“ 1979.
2. Richard A. Scott. Textiles for protection. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2005
3. N. Pan, P. Gibson. Thermal and moisture transport in fibrous materials. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2006.
4. J. Williams. Textiles for cold weather apparel. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2009