

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Pokrivač, K., 2016. Uporaba poliesterskih netkanih tekstilij za toplotno izolacijo in zadrževanje kondenza. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Bosiljkov, V., somentor Antolinc, D.): 89 str.

Datum arhiviranja: 18-08-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Pokrivač, K., 2016. Uporaba poliesterskih netkanih tekstilij za toplotno izolacijo in zadrževanje kondenza. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bosiljkov, V., co-supervisor Antolinc, D.): 89 pp.

Archiving Date: 18-08-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
PROMETNA SMER

Kandidat:

KLEMEN POKRIVAČ

**UPORABA POLIESTERSKIH NETKANIH TEKSTILIJ
ZA TOPLOTNO IZOLACIJO IN ZADRŽEVANJE
KONDENZA**

Diplomska naloga št.: 3476/PS

**THE USE OF POLYESTER NONWOVEN TEXTILES
FOR THERMAL INSULATION AND RETENTION OF
CONDENSATE**

Graduation thesis No.: 3476/PS

Mentor:

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

Somentor:

asist. dr. David Antolinc

Ljubljana, 16. 08. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVE

Spodaj podpisani študent **KLEMEN POKRIVAČ**, vpisna številka **26108160**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **UPORABA POLIESTRSKIH NETKANIH TEKSTILIJ ZA TOPLOTNO IZOLACIJO IN ZADRŽEVANJA KONDENZA**

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljani

Datum: 11.8.2016

Podpis študenta/-ke:

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**UDK:** 52-334.6:699.82(497.4)(0432.2)**Avtor:** Klemen Pokrivač**Mentor:** izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov**Somentorja:** asist. dr. David Antolinc, asist. Luka Pajek**Naslov:** Uporaba poliestrskih netkanih tekstilij za toplotno izolacijo
in zadrževanje kondenza**Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – univerzitetni študij**Obseg in oprema:** 89 str., 17 pregl., 28 sl., 1 pril.**Ključne besede** netkane tekstilije, toplotna prevodnost, difuzija vodne pare, kondenziranje, enoslojne kovinske strehe, neogrevani objekti, zadrževanje kondenza**Izvleček:**

V diplomski nalogi sem obravnaval netkane tekstilije iz poliestrskih vlaken podjetja Filc d.d. V prvem delu diplomske naloge sem določil toplotno prevodnost različnih voluminoznih netkanih tekstilij z merilcem gostote toplotnega toka. Na osnovi rezultatov sem določil povezavo med gostoto obravnavanih vzorcev, sestavo posameznih vzorcev in njihovo toplotno prevodnostjo. Na osnovi meritev sem dokazal, da imajo obravnavani voluminozne netkane tekstilije primerljivo toplotno prevodnost z izdelki drugih proizvajalcev, ki so dosegljivi na tržišču. Dodatno sem določil okvirno gostoto in sestavo voluminoznih netkanih tekstilij, ki zagotavlja razmeroma nizko toplotno prevodnost. V drugem delu diplomske naloge sem obravnaval konstrukcijski sklop sestavljen iz netkane tekstilije namenjene shranjevanju kondenzata in pločevine. Na osnovi Glaserjeve metode in prilagojene Glaserjeve metode sem določil dovoljene povprečne temperaturne razlike med notranjo in zunanjo stranjo konstrukcijskega sklopa, tako da ni presežena absorpcijska sposobnost netkane tekstilije. Kot vhodni temperaturni podatki na zunanji strani konstrukcijskega sklopa so služili temperaturni podatki za Ljubljano. V diplomski nalogi sem pokazal, da so dovoljene povprečne temperaturne razlike najnižje v zimskem obdobju, v preostalem delu leta pa so lahko temperaturne razlike višje in so si med seboj podobne.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**UDC:** 52-334.6:699.82(497.4)(0432.2)**Author:** Klemen Pokrivač**Supervisor:** Associate prof. Vlatko Bosiljkov, Ph.D**Coadvisor:** Assist. David Antolinc, Ph.D, assist. Luka Pajek**Title:** The use of polyester nonwoven textiles for thermal insulation and retention of condensate**Document type:** Graduation thesis – University studies**Scope and tools:** 89 p., 17 tab., 28 fig., 1 ann.**Keywords:** nonwoven textiles, thermal conductivity, vapour diffusion, condensing, single skin metal roofs, unheated buildings, retention of condensate**Abstract:**

In this graduation thesis I studied polyester nonwoven textiles which are being produced by Filc d.d. In the first part of the thesis I measured thermal conductivity properties of different voluminous nonwoven textiles with a heat flow meter. Based on the measurements I determined a connection between density, composition and thermal conductivity of the materials. The measurements showed that the tested nonwoven textiles have comparable thermal conductivity properties with nonwoven textiles which are already available on the market. In addition I determined the approximate density and composition of nonwoven textiles which lead to good thermal conductivity values. In the second part of the graduation thesis I studied a structural composite consisting of a nonwoven textile and thin metal. The purpose of the nonwoven textile is to hold condensed water. Based on the Glaser method and customized Glaser method I determined the allowed average temperature difference between the outer and inner side of the structural composite so that the absorption capacity of the nonwoven textile is not exceeded. For the outer side of the structural composite I used temperature data for Ljubljana. In the thesis I showed that the allowed temperature differences are lower in the winter period compared with the rest of the year. The allowed temperature differences in the rest of the year are higher and comparable with each other.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. Prof. Vlatku Bosiljkovu in asist. Dr. Davidu Antolincu za nudeno podporo, vodstvo in strokovno svetovanje pri pisanju naloge.

Hvala podjetju Filc d.d. in sodelavcem za podroben vpogled v netkane tekstilije.

Največja zahvala gre mami, očetu, bratu ter seveda moji Šteje semena za nenehno motivacijo in podporo.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	II
IZJAVE	IV
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	VI
BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION	VIII
ZAHVALA	X
1 UVOD	1
2 NETKANE TEKSTILIJE	3
2.1 Splošno o tehničnih tekstilijah	3
2.2 Netkane tekstilije	6
2.2.1 Proizvodnja netkanih tekstilij	6
2.2.2 Uporaba netkanih tekstilij	16
3 TOPLOTNA PREVODNOST VOLUMINOZNIH NETKANIH TEKSTILIJ	17
3.1 Prenos toplote v gradbenih konstrukcijah	17
3.2 Predstavitev voluminoznih netkanih tekstilij	20
3.3 Sestava voluminoznih netkanih tekstilij	22
3.4 Merjenje toplotne prevodnosti	25
3.5 Parametri za vrednotenje toplotne prevodnosti	27
3.5.1 Gostota Materiala	27
3.5.2 Srednja vrednost finosti uporabljenih vlaken	28
3.6 Analiza rezultatov meritev toplotne prevodnosti	29
3.6.1 Podatki o gostoti, debelini in srednji vrednosti dtex	29
3.6.2 Rezultati meritev toplotne prevodnosti	30
3.6.3 Vpliv gostote na toplotno prevodnost	32
3.6.4 Vpliv finosti vlaken na toplotno prevodnost	33
3.6.5 Povzetek analize toplotne prevodnosti	37
4 NETKANE TEKSTILIJE ZA ZADRŽEVANJE KONDENZATA	39

4.1	Navlaževanje gradbenih konstrukcij.....	39
4.1.1	Vzroki in posledice navlaževanja gradbenih konstrukcij.....	39
4.1.2	Higroskopske lastnosti zraka	40
4.1.3	Difuzijsko navlaževanje gradbenih konstrukcij	43
4.1.4	Modeliranje difuzijskega prenosa vodne pare v gradbenih konstrukcijah	45
4.1.5	Modeliranje prehoda vodne pare v gradbenih konstrukcijah	46
4.2	Analiza delovanja netkane tekstilije za zadrževanje kondenzata.....	50
4.2.1	Predstavitev netkane tekstilije za zadrževanje kondenzata	50
4.3	Snovne lastnosti materialov v analiziranem konstrukcijskem sklopu	52
4.4	Način meritve absorpcije vode	53
4.5	Model računanja količine kondenza in tej količini kondenza pripadajoče notranje temperature T_n	55
4.6	Izračuni in rezultati.....	58
4.6.1	Izračun notranjih temperatur na osnovi povprečnih mesečnih temperaturnih podatkov	58
4.6.2	Podrobna analiza mesecev Februar, Maj, Avgust in Oktober.....	60
4.6.3	Izračun T_n na osnovi podrobnih temperaturnih podatkov	65
4.6.4	Izračun količine kondenzata na osnovi povprečnih temperaturnih razlik izračunanih v poglavju 4.6.3.....	69
4.6.5	Izračun količine kondenza na osnovi kombinacije Glaserjeve metode in prilagojene Glaserjeve metode	73
4.6.6	Povprečna temperaturna razlika za Februar, Maj, Avgust in Oktober	84
5	ZAKLJUČEK.....	88
	VIRI	89

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Svetovna poraba tehničnih tekstilij glede na tip proizvoda v obdobju 2000-2005. ([1]: str. 7)	3
Preglednica 2: Vrsta in delež vlaken v sestavi	24
Preglednica 3: Debelina, gostota in srednja vrednost dtex	30
Preglednica 4: Izmerjeni podatki vzorca 1	31
Preglednica 5: Rezultati toplotne prevodnosti	32
Preglednica 6: Vzorci razmeroma podobnih gostot	34
Preglednica 7: Snovni podatki netkane tekstilije [4].....	52
Preglednica 8: Snovni podatki pločevina vir [13]	53
Preglednica 9: Količina absorbirane vode [4]	54
Preglednica 10: Temperaturne razlike določene na osnovi povprečnih mesečnih temperatur	59
Preglednica 11: temperaturne razlike Februar 1	73
Preglednica 12: Temperaturne razlike Febraur 2	75
Preglednica 13: Temperaturne razlike Maj	77
Preglednica 14: Temperaturne razlike Avgust.....	79
Preglednica 15: Temperaturne razlike Oktober	80
Preglednica 16: Temperaturne razlike Oktober 2	82
Preglednica 17: Temepraturne razlike Februar, Maj, Avgust in Oktober.....	84

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema materialov, procesov in proizvodov za pripravo tehničnih tekstilij. ([1]: str. 6)	4
Slika 2: Izdelava temeljne plati – koprene [4]	7
Slika 3: Rahljalnik. [4]	8
Slika 4: Mešalni komori. [4]	9
Slika 5: Napajalnik mikalnika. [4]	10
Slika 6: Mikalnik. [4]	11
Slika 7: Mikalnik in sestavni deli. [4]	11
Slika 8: Križni polagalnik. [4]	12
Slika 9: Iglalnik. [4]	13
Slika 10: Prečni prerez dvokomponentnega poliestrnega vlakna. [5]	14
Slika 11: Komora za termično prepihanje. [4]	14
Slika 12: Zračno pretočni sušilnik. [4]	15
Slika 13: Navijanje materiala v role. [4]	15
Slika 14: Mesta uporabe netkanih tekstilij v stanovanjskem objektu [6]	16
Slika 15: Kristalno rešeto s prikazom prenosa toplote preko atomskih vibracij.([8] str. 6)	18
Slika 16: Kristalno rešeto s prikazom prenosa toplote s trki prostih elektronov.([8] str. 6)	18
Slika 17: Termično prepihani voluminozni netkani tekstil (lasten vir)	20
Slika 18: Vgradnje netkane tekstilije kot toplotna izolacija podstrešja. [10]	22
Slika 19: Struktura izdelka pod mikroskopom [11]	23
Slika 20: Grelna plošča (lasten vir)	25
Slika 21: Zgornjo temperaturno tipalo (lasten vir)	26
Slika 22: Merilna naprava VDM in vzorec za meritev debeline (lasten vir)	27
Slika 23: Potek dejanskih tlakov vodne pare v gradbeni konstrukciji v kateri je konstrukcija narisana z upornosti prehoda vodne pare posameznega sloja r in ne njihovimi debelinami.	47
Slika 24: Prikaz potekov dejanskih tlakov vodne pare v konstrukcijskem sklopu in tlakov nasičenja.	48
Slika 25: Prikaz v primeru, ko pride do kondenzacije vodne pare v ravnini	49

Slika 26: Skladišče gradbenega materiala. [4].....	51
Slika 27: Konstrukcijski sklop. [4]	52
Slika 28: Postavitve vzorcev. [4]	54

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO GRAFIKONOV

Graf 1: Prikaz meritev toplotne prevodnosti	31
Graf 2: Vpliv gostote na toplotno prevodnost	33
Graf 3: Vpliv finosti vlaken na toplotno prevodnost	35
Graf 4: Odnos med toplotno prevodnostjo, finostjo vlaken in gostota materiala	36
Graf 5: Medsebojna primerjava vzorcev z nizko srednjo vrednostjo dtex	37
Graf 6: Povezava med temperaturo, relativno vlažnostjo in tlakom vodne pare	42
Graf 7: Proces navlaževanja	57
Graf 8: Proces sušenja	58
Graf 9: Temperaturne razlike izračunane na osnovi mesečnih povprečnih temperatur	60
Graf 10: Količina kondenza Februarja pri ob upoštevanju mesečne povprečna temperaturne razlike	62
Graf 11: Količina kondenza v Maju pri ob upoštevanju mesečne povprečna temperaturne razlike	63
Graf 12: Količina kondenza v Avgustu ob upoštevanju mesečne povprečna temperaturne razlike	64
Graf 13: Količina kondenza v Oktobru ob upoštevanju mesečne povprečna temperaturne razlike	65
Graf 14: Cikel navlaževanja-sušenja Februar	66
Graf 15: Februar ΔT navlaževanje-sušenje	67
Graf 16: Maj ΔT navlaževanje-sušenje	67
Graf 17: Avgust ΔT navlaževanje-sušenje	68
Graf 18: Oktober ΔT navlaževanje-sušenje	69
Graf 19: Količina kondenza Februar	70
Graf 20: Količina kondenza Maj	71
Graf 21: Količina kondenza Avgust	72
Graf 22: Količina kondenza Oktober	72
Graf 23: Količina kondenza Februar 1	74

<u>Graf 24: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Februar 1.</u>	75
<u>Graf 25: Količina kondenza Februar 2.</u>	76
<u>Graf 26: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Februar 2.</u>	77
<u>Graf 27: količina kondenzata Maj.</u>	78
<u>Graf 28: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Maj.</u>	78
<u>Graf 29: Količina kondenza Avgust.</u>	79
<u>Graf 30: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Avgust.</u>	80
<u>Graf 31: Količina kondenza Oktober 1</u>	81
<u>Graf 32: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Oktober 1.</u>	82
<u>Graf 33: Količina kondenzata Oktober 2.</u>	83
<u>Graf 34: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Oktober 2.</u>	84
<u>Graf 35: Količina kondenzata Februar.</u>	85
<u>Graf 36: Količina kondenzata Maj</u>	86
<u>Graf 37: Količina kondenzata Avgust.</u>	86
<u>Graf 38: Količina kondenza Oktober.</u>	87

UVOD

Zmanjševanje porabe energije je v zadnjih desetletjih zelo aktualno na vseh industrijskih področjih in se smatra kot smer, ki bo omogočala tako nadaljnji razvoj industrije in razvitih družb kot tudi zmanjšanje obremenitev okolja. Za enega izmed materialov, ki lahko sledijo tej smeri, veljajo tudi netkane tekstilije, iz skupine materialov imenovano tehnične tekstilije. V gradbeni stroki so netkane tekstilije znane predvsem kot t.i. geotekstili, ki se pri zemeljskih delih uporabljajo kot ločilni, drenažni, zaščitni, filtrni ali ojačitveni sloj, vendar pa njegove različne izpeljanke in možnosti prilagoditve omogočajo in napovedujejo tudi uporabo na povsem novih področjih. Material se tako razvija in prilagaja tudi za uporabo v konstrukcijskih sklopih gradbenih objektov bodisi kot sekundarna kritina, toplotna izolacija, zvočna izolacija ter tudi kot membrana za shranjevanje kondenzirane vode. S slednjo se rešuje problem prekomernega kondenziranja pod neizoliranimi kovinskimi strehami neogrevanih objektov, kar ji omogočajo lastnosti za ta namen razvite netkane tekstilije, ki je sposobna vpijanja in zadrževanja kondenza v času navlaževanja kot tudi sušenja le tega, ko temperaturno-vlažnostni pogoji to omogočajo. S tem se prepreči kapljanje kondenza izpod strehe, ki bi povzročalo škodo na opremi in stvareh znotraj objekta ter onemogočalo njegovo normalno uporabo.

V okviru diplomske naloge sem z vidika njegove proizvodnje, sestave in uporabnosti obravnaval material podjetja Filc d.d, ki je specializirano za proizvodnjo netkanih tekstilij tako za gradbeno kot tudi za avtomobilsko industrijo. Predstavil, analiziral in ovrednotil sem netkane tekstilije iz vidika toplotne prevodnosti kot možnost uporabe za ta namen v prihodnosti ter z vidika sposobnosti navlaževanja, zadrževanja in sušenja netkane samolepilne tekstilije, ki se že uporablja in vgrajuje v konstrukcijske sklope enoslojnih kovinskih streh v neogrevanih objektih.

Tako sem v prvem delu diplomske naloge preverjal toplotno prevodnost netkanih tekstilij različnih oblik in sestav, ki se sicer zaradi svoje voluminozne strukture prvenstveno uporabljajo v avtomobilski industriji kot zvočna izolacija. Na osnovi meritev in analize njihove sestave, to je glede na gostoto, debelino in vrsto uporabljenih vlaken, sem izbral material oziroma parametre, ki so potrebni za razvoj potencialnega materiala z najboljšimi toplotnoizolativnimi lastnostmi.

V drugem delu diplomske naloge pa sem obravnaval netkano tekstilijo, ki se je razvil za namen preprečevanja kapljanja kondenzirane vode pod enoslojnimi kovinskimi strehami. Na osnovi Glaserjevega postopka glede na znane zunanje pogoje (podatki o dejanskih temperaturi zraka v Ljubljani) določil temperaturne razmere v notranjosti objekta, pri katerih

je netkana tekstilija sposobna sprejeti, zadržati kondenzirano vodo ter se sušiti brez da v določenih neugodnih pogojih pride do saturacije oziroma zamakanja v notranjost objekta.

NETKANE TEKSTILIJE

Splošno o tehničnih tekstilijah

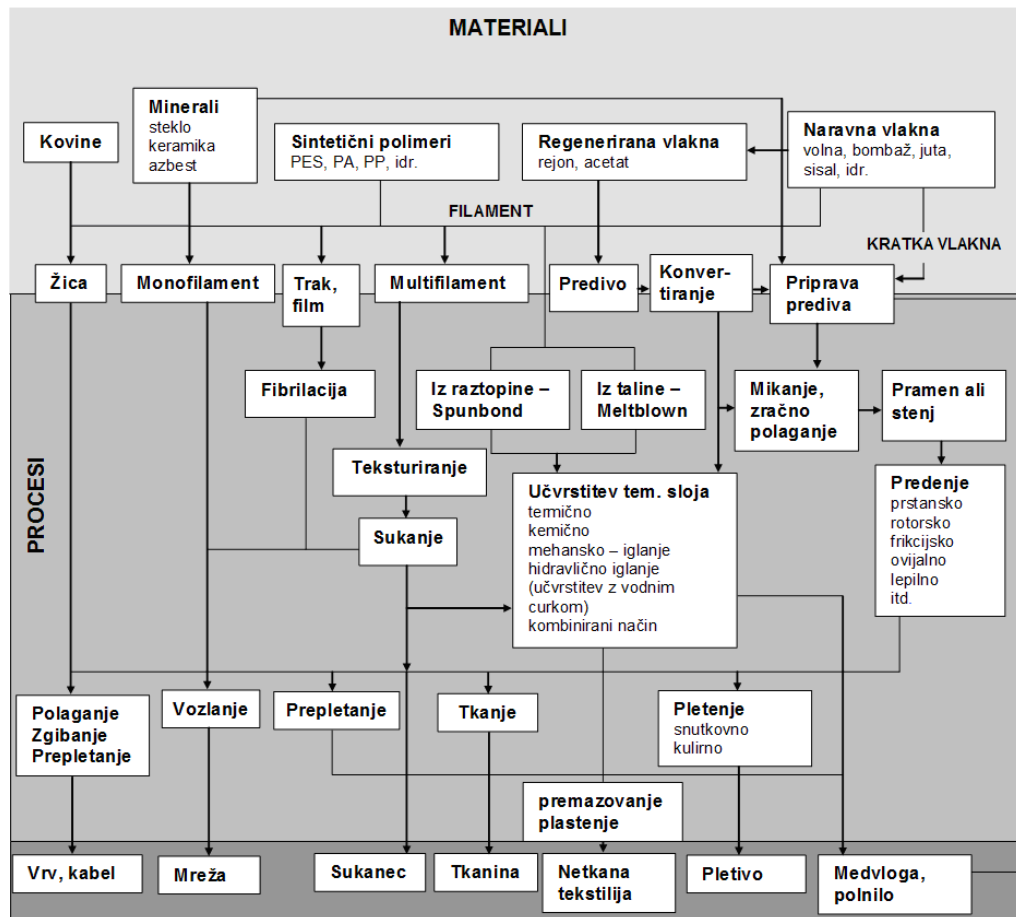
Netkane tekstilije spadajo v zelo široko skupino materialov, ki je opredeljena s pojmom tehnične tekstilije. S tem poimenovanjem se zajema tako moderne tekstilne materiale, industrijske materiale kot tudi različne procese njihove proizvodnje ter različne namene njihove uporabe. Grobo je tehnične tekstilije možno opredeliti kot vlaknate materiale prirejene za funkcionalno (namensko) rabo in z lastnostmi, da lahko nadomeščajo dražje, težje ali manj trdne materiale in predstavljajo funkcionalno rešitev za številne posebne zahteve, kot so lahkost, odpornost, ojačitev, filtracija, ognjezaviralnost, prevodnost, izolacija, prožnost, vpojnost itd. To pomeni, da zanje veljajo tehnična in ne estetska merila. Poleg termina tehnične tekstilije se lahko uporabljajo tudi pojmovanja kot so: funkcionalni tekstil, tehnični tekstil ali visokozmogljive tehnične tekstilije («high-tech textiles»). Uveljavljajo se v vseh panogah in na vseh področjih človekovega delovanja, njihova uporaba za tehnične namene pa je v svetu zelo razširjena tako v smislu količin kot tudi v smislu raznolikosti izdelkov. Tako v proizvodnji kot tudi sami porabi tehničnih tekstilij pa v svetu prevladujejo industrijsko razvite države. [1]

Sektor tehničnih tekstilij, je primer "tradicionalnega sektorja", ki se je uspel prenoviti v nov poslovni model, v celoti prilagojen potrebam nove industrijske revolucije (pametnejši, bolj vključujoč in bolj trajnosten). Tehnične tekstilije so najhitreje rastoči sektor tekstilne industrije v katerem se je v obdobju 2000-2005 dosegla 3,8 % povprečna letna rast v svetovnem merilu (Preglednica 1).

Preglednica 1: Svetovna poraba tehničnih tekstilij glede na tip proizvoda v obdobju 2000-2005. ([1]: str. 7)

Oblika tehnične tekstilije	10 ³ ton		Letna rast [%]	mio USD		Letna rast [%]
	2000	2005		2000	2005	
tkanina	3760	4100	1,7	26710	29870	2,2
netkana tekstilija	3300	4300	5,4	14640	19250	5,6
kompozit	1970	2580	5,5	6960	9160	5,6
ostalo (sukanci in vrvi)	2290	2710	3,4	11950	14060	3,3
vsi tekstilni proizvodi	11320	13690	3,9	60260	72340	3,7

Kako veliko skupino raznovrstnih materialov opredelimo s pojmom tehnične tekstilije ponazarja že možnost njihove delitve glede na številne vidike (Slika 1).



Slika 1: Shema materialov, procesov in proizvodov za pripravo tehničnih tekstilij. ([1]: str. 6)

V grobem se tehnične tekstilije delijo glede na:

- surovine (naravna vlakna, kemična celulozna vlakna, sintetična vlakna, anorganska vlakna in visokozmogljiva organska vlakna),
- namen (tekstilije v kmetijstvu, gradbeništvu in na ostalih področjih uporabe),
- obliko (kratka vlakna, mono in multifilamenti, folijski trakovi, tkanine, pletivo, netkani materiali, kombinirani materiali itd.),
- stroje in postopke izdelave (pređenje, tkanje, pletenje, stroji za izdelavo netkanih materialov, stroji za plemenjenje in dodelavo tehničnih tekstilij). [1]

Opredelitev tehničnih tekstilij pa ni odvisna od surovin, vlaken ali uporabljene tehnologije, temveč od končne uporabe proizvoda oziroma njegovega namena. Na največjem sejmu

tehničnih tekstilij na svetu Tectextil v Frankfurtu je bilo opredeljenih 12 glavnih trgov: 1. kmetijske tekstilije (agrotech), 2. gradbeniške tekstilije (buildtech), 3. oblačilne tekstilije (clothtech), 4. tekstilije za zemeljska dela (geotech), 5. gospodinske tekstilije (hometech), 6. industrijske tekstilije (indutech), 7. medicinske tekstilije (medtech), 8. prometne tekstilije (mobilttech), 9. okoljske tekstilije (oekotech), 10. embalažne tekstilije (packtech), 11. zaščitne tekstilije (protech), 12. Športne tekstilije (sporttech). [2]

Vendar pa prav narava vlaken (poliester, polipropilen, viskoza, bombaž, ogljik, steklo, aramid itd.) in izbira najustreznejših tehnik proizvodnje (predenje, tkanje, vpletanje, pletenje, netkani materiali itd.), vključno s postopki končne obdelave (barvanje, tiskanje, premazovanje, laminiranje itd.), proizvajalcem tehničnih tekstilij omogočajo, da ponudijo tekstilne rešitve, ki zagotavljajo mehanske in druge lastnosti, ki ustrezajo posebnim potrebam končnih uporabnikov in reševanju njihovih problemov. To je, da služijo svojemu namenu.

V začetni fazi njihovega razvoja so se uporabljala naravna vlakna kot so bombaž, volna, lan, svila, konoplja, juta in kapok. Po letu 1920 so se zaradi svoje relativno enakomerne strukture, dobre odpornosti na mehanske sile in temperaturne odpornosti v kompozitih za avtomobile in ostale industrijske izdelke začela uporabljati viskozna vlakna. Sledil je razvoj viskoznih vlaken na različnih področjih, npr. zaradi dobre adsorpcije vode so se s prenosom tehnologije priprave papirja v tekstil začela uporabljati za pripravo netkanih materialov za enkratno uporabo (za higienske potrebe, čistilne krpe ipd.). Za pripravo voluminoznih materialov, ki hkrati adsorbirajo vlago in imajo podobne lastnosti udobja kot bombaž, so se razvila votla viskozna vlakna, ognjevarna viskozna vlakna na oblačilnem področju tehničnega tekstila za izdelavo negorljivih zaščitnih ter športnih oblačil, vlakna z visoko vpojnostjo za izdelavo medicinskih in higienskih tekstilij idr.

Z napredkom razvoja tehničnih tekstilij so skoraj na vseh področjih njihove proizvodnje naravna vlakna izpodrinila sintetična vlakna. Ta se uporabljajo v obliki filamentov ali kratkih vlaken ter obsegajo poliamidna vlakna, poliestrna vlakna, poliakrilnitrilna vlakna, poliolefinska vlakna, polivinilalkoholna vlakna, elastan vlakna. V zadnjem času se je razvoj močno pospešil tudi na področju posebnih organskih vlaken oz. visokozmogljivih vlaken, ki premorejo posebne mehanske, toplotne, kemične ali električne lastnosti.

Anorganska vlakna se pogosto uporabljajo za tehnične izdelke, predvsem za toplotno in zvočno izolacijo, za armiranje plastičnih mas, v gradbeništvu, kot prevodnik svetlobe, zvoka. Najpomembnejše vrste anorganskih vlaken: kovinska vlakna, kovinska amorfnna vlakna, steklena vlakna iz različnih vrst silikatov, keramična vlakna, grafitna in ogljikova vlakna, vlakna iz kalijevega titana, silicijeva vlakna. [1]

Netkane tekstilije

Netkane tekstilije sodijo v skupino nekonvencionalnih tekstilij. Izraz se v grobem uporablja za tekstilije, ki so narejene neposredno iz vlaken ali brezkončnih filamentov, in sicer s postopki, ki so drugačni od tkanja in pletenja; oziroma bolj široko za tekstilije, ki so drugačne od tradicionalnih tekstilij, papirnatih pol ali plastičnih folij. Za njih je značilno, da jih lahko proizvedemo z želeno stopnjo integritete, debeline, prožnosti in poroznosti. Področja uporabe netkanih tekstilij so zelo specifična in posledično se temu prilagajajo tudi načini proizvodnje.[3]

Proizvodnja netkanih tekstilij

Načini proizvodnje netkanih tekstilij kot jih poznamo danes segajo v obdobje med in po 2. svetovni vojni. Zaradi velikega povpraševanja po poceni in dostopnih tekstilnih materialih so nastajali ne-tradicionalni načini proizvodnje tekstilij. Razvoj so omogočili napredki pri razvoju na kemijskem področju in pri razvoju polimerov. Razvili so se proizvodni postopki pri katerih ni potrebno najprej izdelati preje, kar je proizvodnjo netkanih tekstilij močno pocenilo in posledično tudi pospešilo njihov razvoj. Na osnovi znanja, ki je bilo pridobljeno pri vključevanju sintetičnih vlaken v proizvodnji netkanih tekstilij so omogočila optimizacijo proizvodnih procesov. Razvili sta se dve med seboj zelo podobni tehnologiji za izdelavo netkanih tekstilij direktno iz polimerov, ki tvorijo vlakna. To sta ekstrudiranje (»spunbond«) in pihalno ekstrudiranje (»melt-blown«).

V samem procesu proizvodnje netkanih tekstilij se obdeluje kopreno, to je ploskovna tekstilna tvorba, ki je sestavljena iz večplastne množice med seboj povezanih vlaken (lahko tudi brezkončnih filamentov), in je v splošnem sestavljen iz treh faz:

1. Faza: izdelave temeljne plasti netkane tekstilije – koprene:
 - suho položena koprena (mikalniško položene, zračno položene, s kombinacijo slednjih dveh postopkov in elektrostatično položene koprene)
 - mokro položena koprena (naplavljene koprene);
 - ekstrudirana koprena (Spunbond ekstrudirane, Melt – blown ekstrudirane in elektrostatično ekstrudirane koprene);
2. Faza: utrjevanje temeljne plasti:

- mehansko utrjena koprena (iglane, prešite, utrjene z vodnim curkom, polstene koprene),
- kemično utrjena koprena (disperzijsko utrjene s prepajanjem, brizganjem, filmskim tiskanjem in nanašanjem pene in utrjene s polimernimi raztopinami)
- termično utrjene (koprene utrjene s kalandriranjem, zračnim tokom, ultrazvokom in z infrardečimi žarki) ter

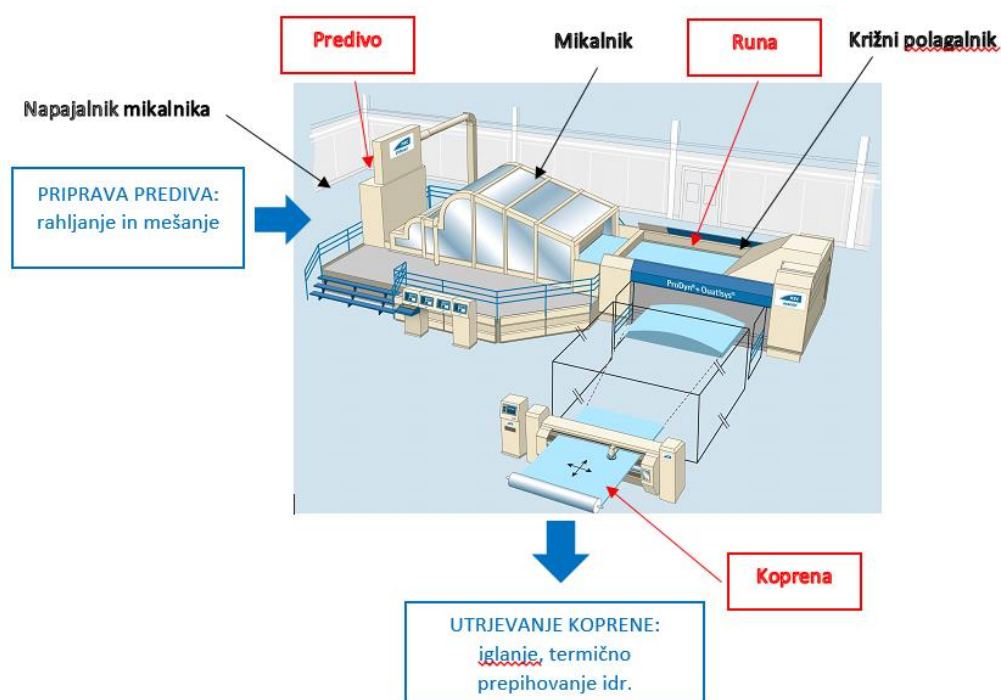
3. Faza: plemenitenje temeljne plasti:

- prevlečene – kaširane koprene
- laminirane (plastene)
- nakodrane
- tiskane
- specialno obdelane koprene idr. [3]

V nadaljevanju je na podlagi strokovne literature [3] in internega gradiva podjetja Filc d.d. [4] podrobneje predstavljena proizvodnja netkane tekstilije iz poliestrskih štapelnih vlaken z uporabo mikalniškega postopka izdelave koprene, predstavljeno je utrjevanje koprene s postopkom iglanja in s postopkom termičnega prepahovanja.

Izdelave temeljne plasti netkane tekstilije – koprene

Za lažje razumevanje posameznih faz izdelave temeljne plasti netkane tekstilije – koprene, ki so predstavljene v nadaljevanju. Na sliki 2 je prikazan opis proizvodne linije.



Slika 2: Izdelava temeljne plasti – koprene [4]

Pri pripravi prediva gre za prvi korak pri kontinuiranem procesu proizvodnje netkanih tekstilij, to je rahljanje in mešanje množice vlaken v gmoti. V času skladiščenja ali transporta so vlakna stisnjena v balah, s čimer se od 5 do 10-krat zmanjša njihova prostornina. Pred predelavo bale odpremo in jih v idealnem primeru pustimo, da se vlakna aklimatizirajo in odprejo ter s tem prevzamejo temperaturo in vlago prostora odlagališča. S tem se jim izboljšajo predelovalne lastnosti. Vlakna se v ustreznem razmerju položijo na transportni trak rahljalnika (Slika 33).



Slika 3: Rahljalnik. [4]

Zrahljana vlakna se iz rahljalnika transportirajo po ceveh do mešalne komore. Procesna linija sestoji iz dveh mešalnih komor (Slika 44), medtem ko se v eni vlakna še mešajo, se v drugi, kjer so vlakna že ustrezno pripravljena, le ta dovajajo napajalniku mikalnika. Zaradi večje nehomogenosti prediva enkratno mešanje le tega namreč ne zadošča, hkrati pa se tako zagotavlja kontinuirano dovajanje zrahljanih in mešanih vlaken.



Slika 4: Mešalni komori. [4]

Po zaključenem rahljanju in mešanju se vlakna pnevmatsko po ceveh transportirajo do napajalnika mikalnika (Slika 5), kjer se iz množice kosmičev tvori ploskovna tvorba – runa, ki je predložek mikalnika. V napajalnik mikalnika dovajamo zrahljana in v ustreznem razmerju mešana vlakna. S pomočjo senzorjev se v napajalnem jašku le tega uravnava enakomeren dotok vlaken po celotni širini jaška. Cilj je zagotavljati čim bolj enakomerno ploščinsko maso po širini in dolžini ploskovne tvorbe - runa, ki se dovaja na letvasti trak mikalnika. Glede na princip spremljanja nihanja mase sta se ustalila dva načina:

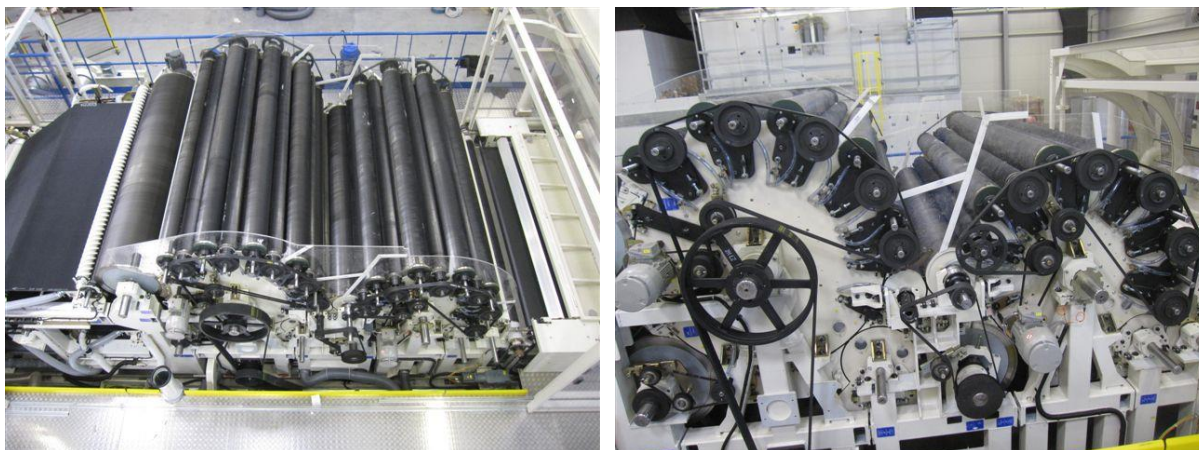
- sistem uravnavanja s tračno tehniko, ter
- sistem regulacije s sevalom žarkov.



Slika 5: Napajalnik mikalnika. [4]

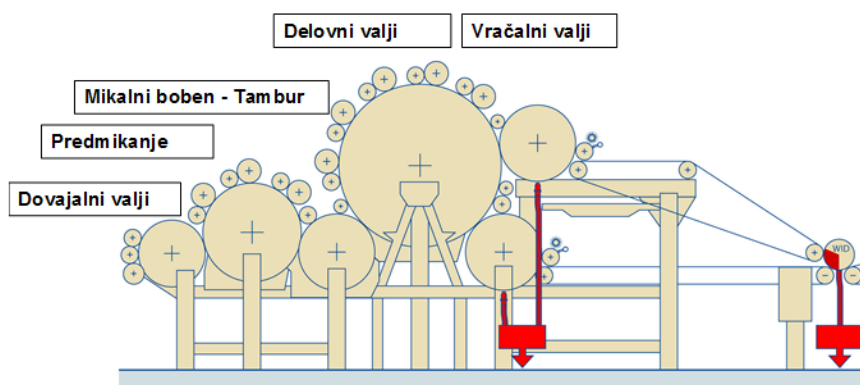
Na novejših proizvodnih linijah netkanih tekstilij se je ustalila regulacija s sevalom žarkov. Pri tej vrsti regulatorja se z napajalnimi valji runo kontinuirano dovaja na letvasti dovajalni trak mikalnika. Pred prvimi dovajalnimi valjčki mikalnika je na eni strani sevalnik žarkov, na drugi strani pa pretvornik in zbiralnik sevanja. Sevalnik seva enosmerne γ -žarke v ozkem kotu skozi runo. Intenzivnost žarkov, ki preteče skozi runo in se pretvori v pretvorniku žarkov na nasprotni strani v električni tok, je odvisna od mase množice vlaken v merilnem pasu rune. Pred začetkom delovanja mikalnika vnesemo v mikroprocesor referenčne vrednosti rune in omikane koprene. Glede na registrirano vrednost mase rune mikroprocesor krmili dovajalno napravo in zagotavlja, da je količina rune zmeraj v čim bolj optimalni ravni. Merilna naprava seva do 20-krat v sekundi skozi runo, kar zagotavlja v primerjavi z tračno tehtnico količinsko veliko natančnejše dovajanje rune.

Med mikanjem izotropnega runa iz kosmičev vlaken pride do t.i. razvlaknitve kosmičev do posameznih vlaken. Izdelek mikalnika (Slika 6) je koprena, ki je glede na zahteve končnega izdelka razdelimo v eno ali dve kopreni.



Slika 6: Mikalnik. [4]

V nadaljevanju je predstavljen mikalnik z dvema mikalnima bobnoma (Slika 7). Mikalnik torej sestoji iz dveh mikalnih bobnov, ki sta med seboj povezana v en stroj. Na prvem bobnu se izvaja grobo mikanje, na drugem bobnu se pa izvaja intenzivno in fino mikanje. Koprna se prenaša iz enega na drugi valj s pomočjo prenosnih valjev. Mikanje na prvem in drugem mikalnem bobnu se izvaja s po petimi mikalnimi enotami, ki so sestavljene iz delovnega in vračalnega valja. Zmikana koprna se sname iz drugega mikalnega bobna s pomočjo dveh snemalnih valjev. Torej imamo dve koprni, ki se pred vstopom v križni polagalnik združita v eno. Orientacija vlaken je vzdolžna, delno anizotropna.



Slika 7: Mikalnik in sestavni deli. [4]

Za večplastno polaganje koprne se uporablja profilni križni polagalnik s sinhronim sistemom translatorskega gibanja zgornjega in spodnjega voza. Pri križnem polagalniku (Slika 8) se hitrost vnašanja koprne v polagalnik razlikuje od hitrosti skladiščenja koprne na združevalnem traku. To omogoča skladiščenje koprne brez kakršne koli osne in prečne obremenitve vlaken v koprni. Koprna je torej brez kakšne koli notranje napetosti. Tako energetsko stabilizirana koprna omogoča hitrejše polaganje koprne na robovih in nekoliko počasnejše polaganje koprne po širini združevalnega traku, ampak brez kakršne koli osne

napetosti ali raztezanja koprene med polaganjem. Sistem ProDYN (patentno zaščiten), pri čemer gre za interaktiven sistem med samim mikalnikom in dinamičnim polagalnikom, ki delujeta kot homogena celota. Sistem sinhronizira interaktivno delovanje napajalnika mikalnika, mikalnika in križnega polagalnika. Prednost sistema je, da omogoča izdelavo plastene koprenske tekstilije z minimalnim odstopanjem ploščinske mase po dolžini in širini. In sicer na slednji način:

Na izhodu linije se pomočjo X-Ray skeniranja kontrolira ploščinska masa utrjene tekstilije po dolžini in širini in se nihanje le-te uravnava samodejno preko PorDyn sistema. Sistem poskrbi, da je v mikalniku in na križnem polagalniku toliko materiala, da je poraba materiala čim manjša.



Slika 8: Križni polagalnik. [4]

Utrjevanje temeljne plasti

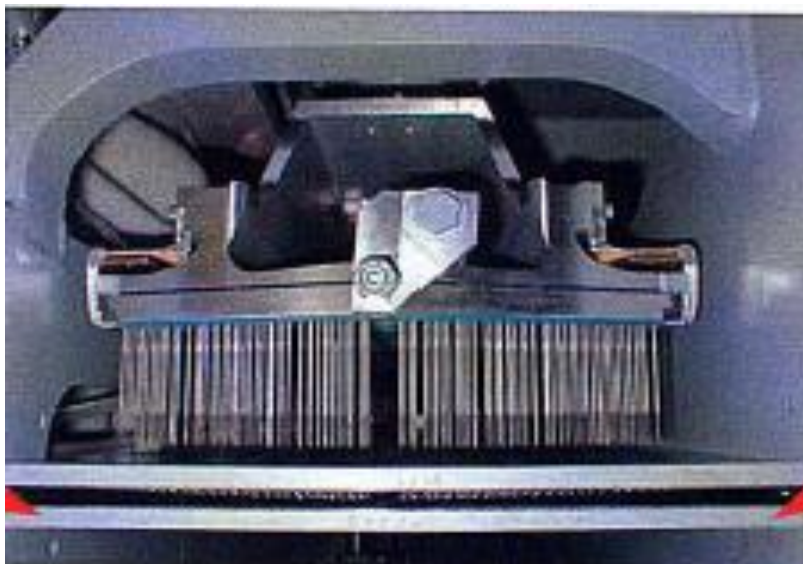
Ker plastena koprena po križnem polaganju zaradi premajhne adhezije med množico vlaken nima zadostne prestrižne trdnosti, jo je potrebno utrditi, pri čemer se lahko uporabi postopek iglanja. Z iglalnikom se plasteno kopreno utrjuje z navpičnim prebadanjem z množico igel z zazobki. Iglalne stroje glede na intenzivnost iglanja delimo na prediglalnike in iglalnike.

Plastena koprena se najprej utrjuje s prediglalnikom, s katerim se jo rahlo utrdi s prepletanjem množice vlaken, da je primerna za nadaljnjo predelavo v procesu. Za enakomerno in kakovostno prediglanje plastene koprene je potrebno omogočiti dovajanje le-te v čim bolj enakomerni debelini ter čim bliže iglam z zazobki. Najprimernejše je dovajanje plastene koprene z brezkončnimi transportnimi trakovi.

Na prediglalniku je na igelni deski nameščena množica igel z zazobki. Premik igelne deske v smeri gor-dol opravlja zobniško gonilo, pri čemer pa je možno plasteno kopreno iglati od zgoraj ali od zgoraj in spodaj. Igle z navpičnim gibanjem vgrajujejo snopiče vlaken skozi

plasteno kopreno, pri čemer se ta prepletajo s sosednjimi vlakni v kopreni, to pa poveča njihovo adhezijo in posledično strižno trdnost koprene.

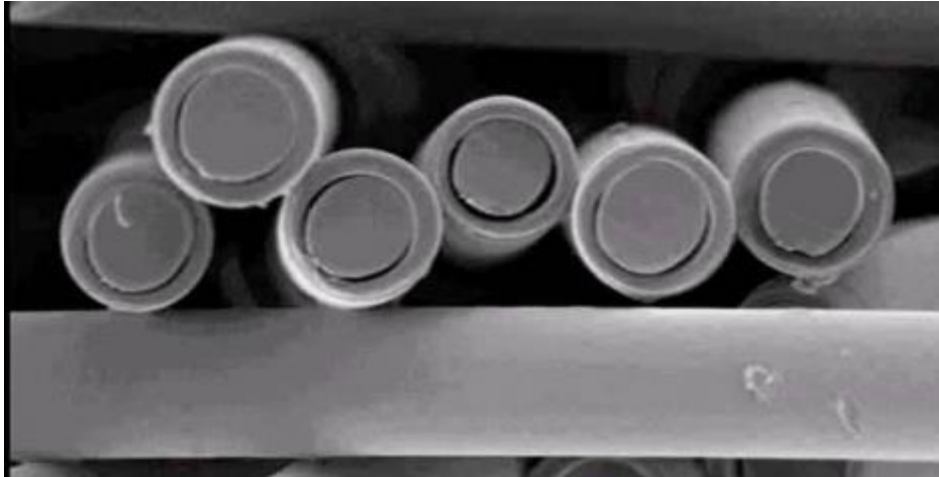
Prediglanju sledi iglanje na iglalniku (Slika 9), ki v grobem sestoji iz enakih delov kot prediglalnik. Enako igle zagrabijo snopiče po 10 do 20 vlaken in jih porinejo tako, da te ležijo pravokotno na ravnino koprene.



Slika 9: Iglalnik. [4]

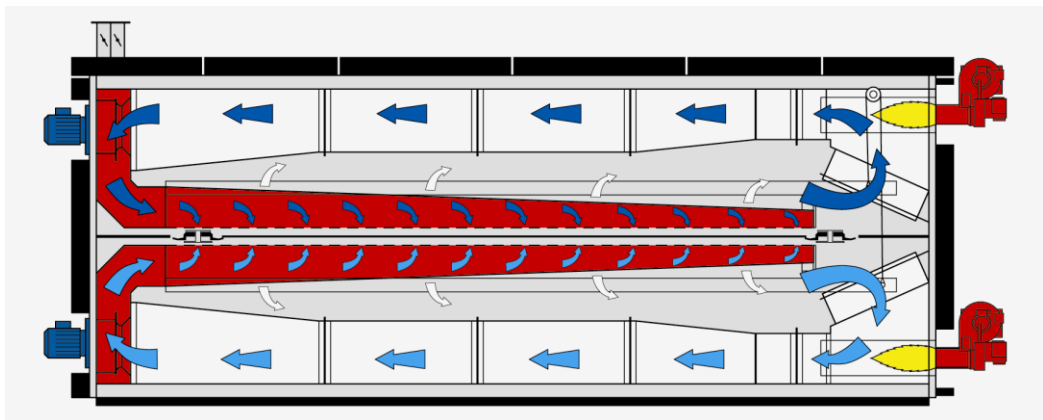
Drugi način utrjevanja koprene je postopek termičnega prepihanja. Pri tem postopku se najpogosteje uporablja trdna veziva kot so vezivna vlakna, termoplastični prah in termoplastične folije ali mreže.

Dvokomponentna vezivna vlakna (Slika 10) so posebna vrsta poliestrskih vlaken, ki so namenjena povezovanju materiala s termičnim prepihanje ali kalandriranjem. Jedro dvokomponentnega vlakna ima višjo temperaturo taljenja $>220^{\circ}\text{C}$ kot plašč, to je cca. 110°C . V plašču je polimer z relativno nizkim zmečičem in tališčem, ki zagotavlja dobro utrjevanje med temeljnimi in vezivnimi vlakni v mešanici. Veziva vlakna se temeljnemu vlaknom primešajo v količinah od 5-20%, pri posebnih zahtevah glede trdnosti materiala lahko tudi več. Pri tem načinu proizvodnje je dobro mešanje vlaken še posebej pomembno, saj nezadostna kakovosti mešanja med temeljnimi in dvokomponentnimi vlakni pomeni manjšo izrabo vezivnih vlaken in vodi do nižjih prestrižnih vrednosti koprenske tekstilije.



Slika 10: Prečni prerez dvokomponentnega poliestrnega vlakna. [5]

Pri postopku utrjevanja s segrevanjem z zračnim pretokom koprena vstopa v komoro za termično preprihovanje (Slika 11) bodisi po postopku iglanja ali pa neposredno po postopku križnega polaganja. V toplotni komori piha vroč zrak z nadzorovano temperaturo in z nadzorovano hitrostjo kroži v komori ter se širi skozi kopreno. S tem je zagotovljeno, da se toplota prenese na čisto vsako vlakno v komori.



Slika 11: Komora za termično preprihovanje. [4]

Za zračno pretočno utrjevanje se uporablja eno ali več-bobenski sušilnik ali pa zračno pretočni sušilnik s horizontalnim sitastim transportnim trakom (Slika 12).



Slika 12: Zračno pretočni sušilnik. [4]

Po končanju postopka termičnega utrjevanja s pihanjem vročega zraka skozi kopreno še sledi še obdelava vroče koprenske tekstilije s pomočjo dveh vročih stiskalnih valjev, ki pomaga oblikovati vezivo in določiti debelino koprenske tekstilije. Po končanem postopku utrjevanja se material navije v role (Slika 13).

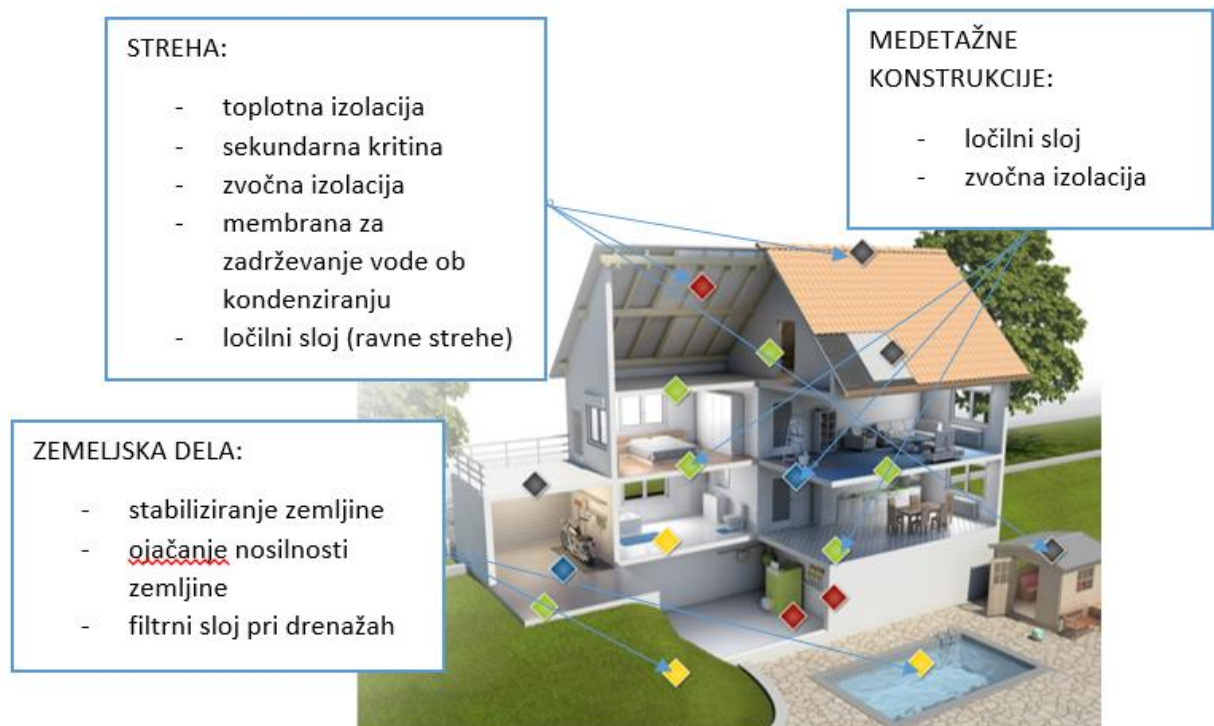


Slika 13: Navijanje materiala v role. [4]

Uporaba netkanih tekstilij

Uveljavljanje in razvoj netkanih tekstilij tudi danes temelji na možnosti njihove proizvodnje s specifičnimi lastnostmi po tržno sprejemljivih cenah, kar pa jim uspeva predvsem na področjih filtrov in higienskih izdelkov, tekstilij za nego, materialov za gradbeno industrijo, materialov za avtomobilsko industrijo, materialov za toplotno in zvočno izolacijo.

Mesta vgradnje netkanih tekstilij v gradbeništvo so zelo raznolika). V zadnjih desetletjih se je material najbolj uveljavil kot geotekstil pri zemeljskih delih za ločevanje zemeljskih plasti, njihovo stabiliziranje, ojačanje nosilnosti, pri izvedbi drenažnih sistemov itd. Glede na različne načine proizvodnje se netkane tekstilije uporabljajo kot toplotna izolacija v predelnih stenah in podstrešjih, s posebnimi nanosi opravljajo vlogo sekundarne kritine ali parne ovire/zapore, medetažne zvočne izolacije ali pa kot ločilni sloj v konstrukcijskih sklopih ravnih streh.

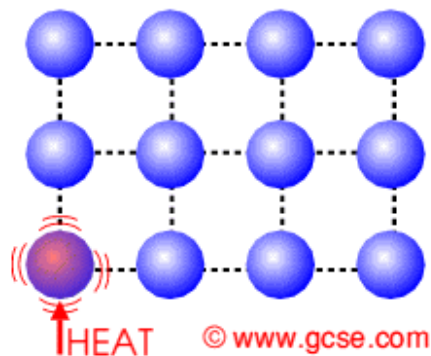


Slika 14: Mesta uporabe netkanih tekstilij v stanovanjskem objektu [6]

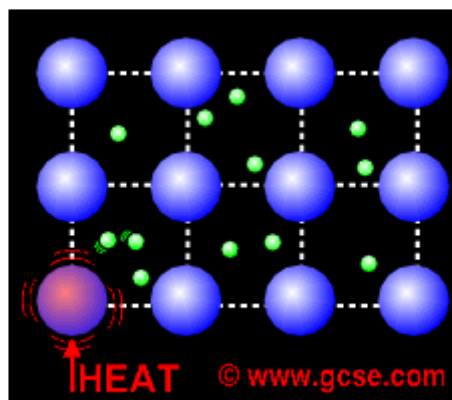
TOPLOTNA PREVODNOST VOLUMINOZNIH NETKANIH TEKSTILIJ

Prenos toplote v gradbenih konstrukcijah

V nadaljevanju so predstavljene teoretične osnove na osnovi strokovne literature vira [7]. Poznamo več oblik energij, ki so pomembne pri energetski analizi stavb in vgrajenih gradbenih materialov. To so elektromagnetno valovanje, kemična energija, jedrska energija, električna energija in toplota ali notranja energija. V okviru konstrukcijskih sklopov se v veliki meri analizira toplota oziroma notranja energija. Pri čemer je merilo za količino toplote v posameznem telesu temperatura posameznega predmeta. V predmetu ni prisotne notranje energije v primeru, da je temperatura predmeta enaka temperaturi absolutne ničle (0 K). Prenos toplote se odvija prek toplotnega toka, ki ga poganja razlika temperatur. Toplota je torej prehodna oblika energije, ki prehaja iz predelov z višjo temperaturo na področja z nižjo temperaturo (2. zakon termodinamike). Ta proces se konča, ko se temperaturi izenačita. Ločimo tri načine prenosa toplote in sicer kondukcijo (prevod toplote), sevanje (radiacija) in konvekcija (prestop toplote). V prvem delu diplomske naloge sem izmeril toplotne prevodnosti različnih voluminoznih netkanih tekstilov. Za lažje razumevanja prvega dela diplomske naloge je v nadaljevanju podrobneje predstavljen prenos toplote s kondukcijo. Gre za način prenosa toplote na atomskem in molekularnem nivoju. Pomembno je da pri tem procesu ne prihaja do preoblikovanja molekul in razpada jeder. Torej pri tem načinu ne potekajo kemijske ali jedrske reakcije. Prenos je odvisen od agregatnega stanja snovi torej ali je snov v plinastem, kapljevinstem ali trdnem stanju. Pri tem je notranja energija merilo za količino energije prenesene med mikroskopsko majhnimi delci. Pri čemer se ta pri kapljevinah in plinih prenaša z naključnimi trki med prostimi molekulami v snovi. Ker je število trkov odvisno od velikosti molekul in od količine molekul na enoto površine, pride do večjega, intenzivnejšega prenosa energije pri kapljevinah. Pri višjih temperaturah je gibanje molekul večje, pride do več trkov in posledično je višja tudi kinetična energija. Pri trdnih snoveh pa ne pride do trkov posameznih molekul, ampak je prenos toplote posledica atomskih vibracij (nihanj) v kristalni rešetki (Slika 15). Pri trdnih snoveh ločimo prevodnike in neprevodnike. Posebnost prevodnikov je, da imajo proste elektrone v kristalni rešetki in ti trki med prostimi elektroni pospešijo prenos toplote (Slika 16).



Slika 15: Kristalno rešeto s prikazom prenosa toplote preko atomskih vibracij.([8] str. 6)



Slika 16: Kristalno rešeto s prikazom prenosa toplote s trki prostih elektronov.([8] str. 6)

Za prevod toplote je potreben temperaturni gradient, ki je definiran kot temperaturna razlika na določeni razdalji in določeni smeri v snovi. Ker je mikroskopski nivo kondukcije težje opisati se v gradbeništvu osredotočimo na makroskopski nivo, kjer obnašanje snovi, ki je podvržena temperaturnemu gradientu dovolj natančno opiše toplotna prevodnost. Tako, da lahko prenos toplote s kondukcijo vrednotimo na osnovi toplotne prevodnosti snovi λ . Sama toplotna prevodnost je ovrednotena s toplotnim tokom Q [W], ki prehaja skozi 1 meter debeli sloj materiala pri temperaturni razliki na mejah sloja v višini enega Kelvina. Iz tega sledi, da je enota toplotne prevodnosti W/mK. V prvi fazi je torej koristno, da definiramo toplotni tok. Osnovna značilnost prevajanje toplote izhaja iz drugega zakona termodinamike, ki pravi, da teče toplota sama od sebe od mesta z višjo temperaturo k mestu z nižjo temperaturo. Torej tudi toplotni tok teče v tej smeri. Gostota toplotnega toka je določena kot razmerje med toplotnim tokom in površino A [m²] skozi katero toplotni tok teče.

$$q = \frac{Q}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

Gostoto toplotnega toka, ki se prevaja skozi snov določimo z 1D Fourierjevim zakonom in gostoto toplotnega toka lahko zapišemo v spodnji obliki (Enačba 2). V enačbi predstavlja λ sorazmernostni faktor, katerega imenujemo toplotna prevodnost. Za določeno snov ja te vrednost značilna in nam pove kako dobro določena snov prevaja toploto. Toplotno prevodnost sem v prvem delu diplomske naloge določil za različne voluminozne netkane tekstile. Strogo gledano je toplotna prevodnost temperaturno odvisna, vendar jo v praksi smatramo kot konstantno vrednost. Negativni predznak v enačbi ponazarja, da teče toplotni tok v smeri od višje proti nižji temperaturi.

$$q = -\lambda \frac{d\theta}{dx} = -\lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{d} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2)$$

kjer je:

d ... debelina [m]

Natančno gledano je prenos toplote v gradbenih konstrukcijah časovno nestacionaren pojav, vendar se v gradbeni praksi večinoma omejimo na stacionarno analizo. Tega načela sem se v diplomski nalogi držal tudi sam. Pri stacionarni analizi gradbenih konstrukcij je najpomembnejša lastnost gradbene konstrukcije njena toplotna prehodnost, ki jo označimo z U. Določena je s toplotnim tokom Q [W], ki prehaja skozi 1m² površine pri stalni temperaturni razliki zraka na obeh straneh konstrukcije, ki je enaka 1K. Enota za toplotno prehodnost je enaka W/m²K. torej nam toplotna prehodnost pove koliko W toplotnega toka preteče skozi snov kadar je temperaturna razlika med obema stranema konstrukcije enaka 1K. Enačba za toplotno prehodnost se glasi:

$$U = \frac{\lambda}{d} \left[\frac{W}{m^2K} \right] \quad (3)$$

Recipročna vrednost toplotne prehodnosti je toplotna upornost, ki nam pove kolikšna mora biti temperaturna razlika med dvema stranema konstrukcije, da skozi njo teče 1W toplotnega toka.

$$R = \frac{1}{U} = \frac{d}{\lambda} = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{m^2K}{W} \right] \quad (4)$$

V diplomski nalogi sem se omejil na stacionarni pretok toplote katerega značilnost je, da je toplotni tok, ki vstopi v konstrukcijo enak toplotnemu toku, ki izstopi iz konstrukcije. Če upoštevamo enačb 2 in 3 lahko zapišemo, da je toplotni tok enak zmnožku toplotne prehodnosti in temperaturne razlike. Torej lahko zapišemo:

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (5)$$

kjer sta:

θ_i ... notranja temperatura [°C]

θ_e ... zunanja temperatura [°C]

V nadaljevanju bom predstavil netkani tekstil pri katerih sem izmeril toplotno prevodnost, meritve, ki sem jih opravil in na koncu analiziral rezultate meritev.

Predstavitev voluminoznih netkanih tekstilij

V prvem delu diplomske naloge sem izvajal meritve toplotne prevodnosti na termično preprihane netkane tekstilije podjetja Filc d.d. Gre za voluminozne netkane tekstilije, ki se proizvajajo s postopkom termičnega preprihovanja. Analizirani materiali so prvenstveno razviti za namen zvočne absorpcije. V prvi vrsti se ti materiali uporabljajo v avtomobilski industriji. Tipična mesta vgradnje v avtomobilu so A, B in C stebrički, vrata, strop, koloteki, pod motornim pokrovom itn. Zaradi svoje voluminozne in porozne strukture so zanimivi tudi z vidika toplotne izolacije. Na sliki 17 je prikazan eden izmed preizkušenih vzorcev.



Slika 17: Termično preprihani voluminozni netkani tekstil (lasten vir)

V primerjavi z ostalimi gradbenimi materiali imajo toplotno izolativni gradbeni materiali boljše izolativne vrednosti in sicer v večini zaradi lastnosti mirujočega zraka ali drugih plinov v porah izolativnih materialov. Sam izhodiščni material za proizvodnjo izolativnih materialov v osnovi ni primeren za izolacijo. Zaradi tega velja, da je pri razvoju toplotno izolativnih materialov dodatno k nizki toplotni prevodnosti izhodiščnega materiala potrebno zagotoviti

strukturo materiala, ki zagotavlja ustrezno količino in razporeditev mirujočega zraka ali katerega drugega plina med porami.

Toplotno izolativne lastnosti materiala v grobem določajo sledeči dejavniki:

- Toplotna prevodnost vlaken materiala
- Toplotna prevodnost plinov oziroma zraka v porah izolativnega materiala
- Toplotno sevanje plinov v porah, ter
- Toplotna konvekcija kot posledica gibanja plina

Dobri izolativni materiali vse te 4 načine prevajanja toplote dobro preprečujejo. V splošnem velika vsebnost »ogrodja« materiala oziroma posledično velika gostota materiala povzroča povečanje toplotne prevodnosti materiala. Manjša gostota sicer zmanjša učinek toplotne prevodnosti samega »ogrodja« materiala, ampak se zaradi povečanja števila por poveča učinek prenosa toplote zaradi sevanja. Zaprtoporni oziroma bolje rečeno skoraj zaprtoporni materiali (npr. XPS → ekstrudirani polistirol, poliuretan) se proizvajajo na način, da so v porah plini, s toplotno prevodnostjo nekajkrat nižjo kot je toplotna prevodnost zraka. To je tudi poglavitni razlog, da imajo zaprtoporni materiali boljše toplotno izolativne lastnosti v primerjavi z odprtopornimi materiali, ki imajo pore zapolnjene z zrakom. Negativna stran zaprtopornih materialov je, da se ti plini sčasoma izločijo iz materiala (t.i. thermal drift efekt) in se s časom posledično njihova toplotna prevodnost poveča. Ta pojav se poskuša omejiti s difuzijsko zaprtimi nanosi na površini materiala. Pri odprtopornih materialih so vplivi toplotne konvekcije v porah in zračne prepustnosti materiala faktorja, ki veliko bolj določata toplotno izolativne lastnosti materiala. [9]

Voluminozni netkani tekstili se uvrščajo v skupino materialov z razmeroma odprtoporno strukturo in v porah za toplotno izolativne lastnosti poskrbi zrak. Tipična mesta uporabe kot toplotno izolativni material v gradbeništvu je vsepovsod tam kjer se od material ne zahteva nosilna funkcija oziroma ni prisotnih tlačnih obremenitev na material. Tipična mesta vgradnje: lahke predelne stene, stropi z lesenimi tramovi, spuščeni stropi itn. Na sliki 18 je prikazan primer uporabe voluminoznega netkanega tekstila za toplotno izolacijo podstrešja.



Slika 18: Vgradnje netkane tekstilije kot toplotna izolacija podstrešja. [10]

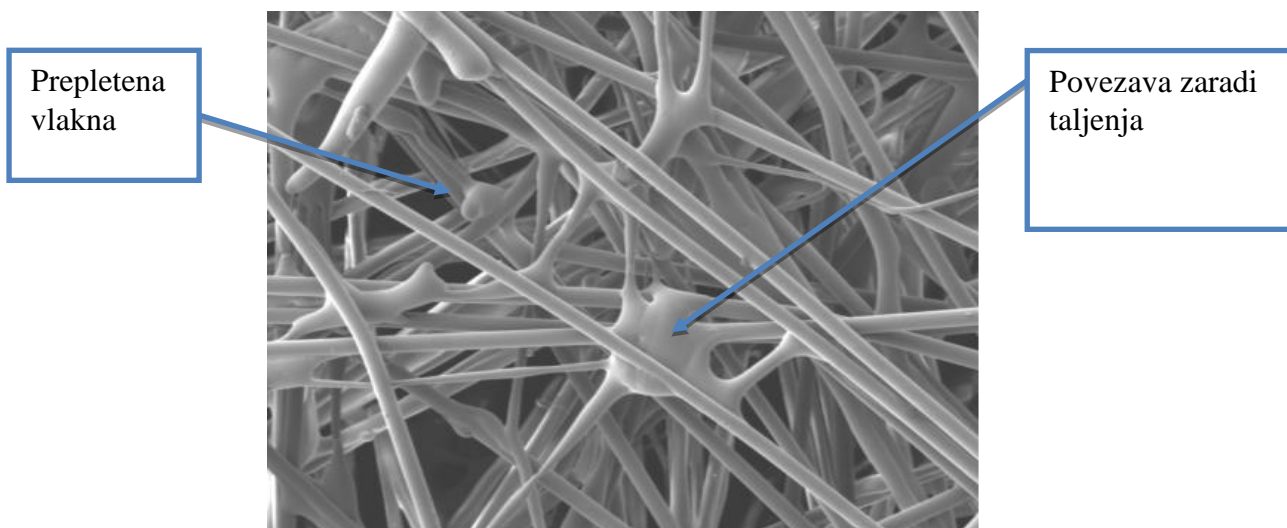
Sestava voluminoznih netkanih tekstilij

Netkani materiali obravnavani v diplomski nalogi so sestavljeni iz 100% poliestrskih vlaken. Netkane tekstilije za zvočno izolacijo so praviloma sestavljeni iz finejših vlaken (nižji dtex) in dvokomponentnih vlaken, ki imajo funkcijo vezanja (ang. Binding).

Glavne značilnosti:

- Termično in včasih tudi mehanično utrjeni materiali
- Proizvedeni brez kemičnih veziv
- Bele, sive in črne barve
- Odlična akustična absorpcija
- Debelina od 5-25 mm
- Površinska teža 200 g/m²-1200 g/m²
- Sestava 100% PES

Kot že rečeno je vsak material obravnavan v tem delu diplomske naloge sestavljen iz vsaj dveh komponent. Osnovnega vlakna s tališčem nad 200 °C in dvokomponentnega vlakna pri katerem ima ovoj nižje tališče (cca. 110 °C) v primerjavi z jedrom vlakna. Ovoj se med postopkom termičnega prepihanja stali in poveže material v porozno strukturo. Na sliki 19 je prikazana struktura termično prepihanega materiala. Na sliki je prikazano, da so vlakna med seboj prepletena in dodatno povezana zaradi topljenja ovoja dvokomponentnih vlaken.



Slika 19: Struktura izdelka pod mikroskopom [11]

Finost poliestrskih vlaken definiramo z enoto dtex, ki je definirana kot masa v gramih na 10.000 dolžinskih metrov vlakna. [12]

Določeni vzorci imajo zaradi tehničnih ali estetskih zahtev za izdelek v mešanici 3 vlakna, torej določen procent dveh osnovnih vlaken z različnim dtex-om ali barvo in dodatno kot preostali izdelki še delež dvokomponentnih vlaken. Tipično razmerje med osnovnimi in dvokomponentnimi vlakni v mešanici je 80-20 oz. 4-1 v prid osnovnim vlaknom.

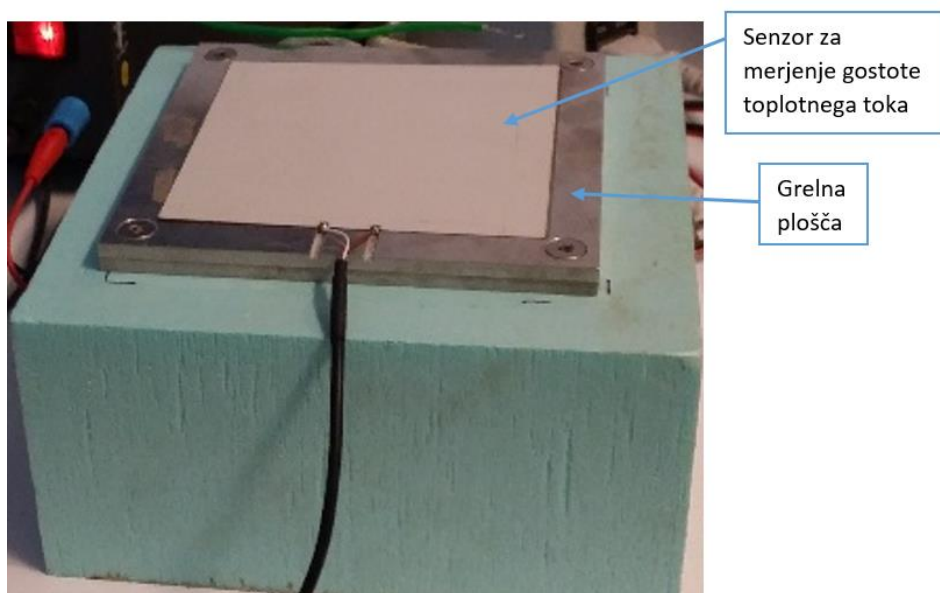
Na osnovi teh teoretičnih predpostavk in izkušenj pridobljenih s strokovne literature so se za namen meritve toplotne prevodnosti izbrali materiali z različno strukturo glede finosti vlaken in različno strukturo glede same gostote materiala. Cilj je bil določiti povezave med finostjo uporabljenih vlaken in toplotno prevodnostjo ter povezavo med gostoto netkane tekstilije in toplotno prevodnostjo. Spodnja preglednica 2 prikazuje izbrane vzorce za testiranje in njihovo sestavo:

Preglednica 2: Vrsta in delež vlaken v sestavi

	Surovinska sestava					
	Dtex vlakna 1 [dtex]	Delež v mešanici [%]	Dtex vlakna 2 [dtex]	Delež v mešanici [%]	Dtex vlakna 3 [dtex]	Delež v mešanici [%]
Vzorec 1	17	60	7	20	4,6	20
Vzorec 2	17	60	7	20	4,6	20
Vzorec 3	17	50	6,7	20	4,6	30
Vzorec 4	3,3	80	4,6	20	/	/
Vzorec 5	1,7	80	4,6	20	/	/
Vzorec 6	1,7	80	4,6	20	/	/
Vzorec 7	1,7	80	4,6	20	/	/
Vzorec 8	1,7	80	4,6	20	/	/
Vzorec 9	6,7	70	4,6	30	/	/
Vzorec 10	3,3	70	3,3	10	4,6	20
Vzorec 11	3,3	70	3,3	10	4,6	20
Vzorec 12	3,3	70	3,3	10	4,6	20
Vzorec 13	1,3	80	4,6	20	/	/
Vzorec 14	7	60	3,3	30	1,7	10
Vzorec 15	1,7	80	4,6	20	/	/
Vzorec 16	6	70	3,3	30	/	/
Vzorec 17	2,2	65	1,7	5	4,6	30
Vzorec 18	1,7	80	4,6	20	/	/

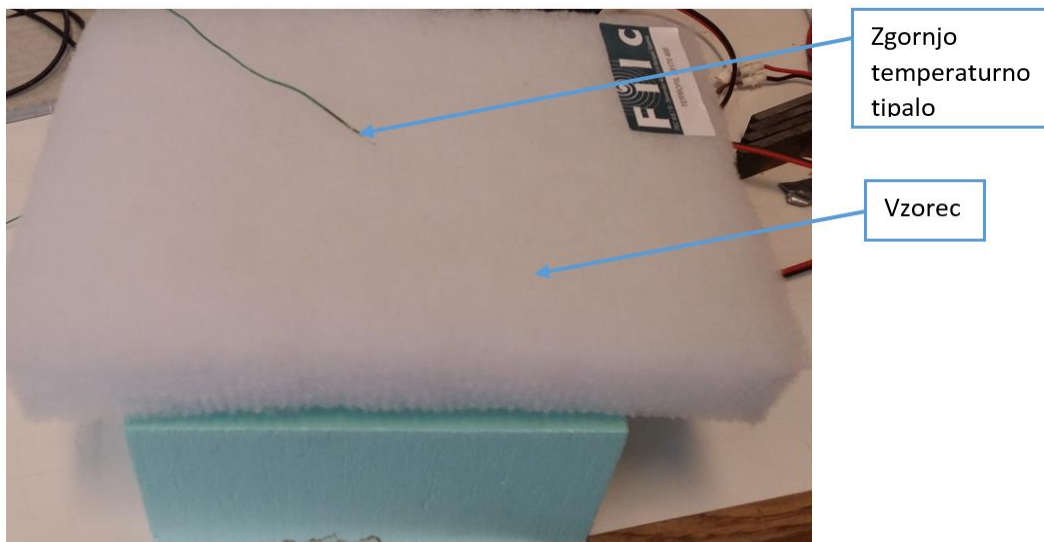
Merjenje toplotne prevodnosti

V nadaljevanju je predstavljen sam princip in način merjenja toplotne prevodnosti na izbranih vzorcih. Pri meritvah toplotne prevodnosti se vzorec položi na grelno ploščo prikazano na sliki 20. Toplotno prevodnost smo določili posredno z merjenjem gostote toplotnega toka, katero smo izmerili s senzorjem za merjenje gostote toplotnega toka prikazanim na sliki 20. Dodatno je bilo potrebno izmeriti še temperaturo na spodnji (topli) strani in zgornji (hladni) strani preizkušanca. Temperaturo smo merili s termočleni tipa K.



Slika 20: Grelna plošča (lasten vir)

Na Sliki 21 je prikazan eden izmed preizkušanih vzorcev in zgornjo temperaturno tipalo.



Slika 21: Zgornjo temperaturno tipalo (lasten vir)

V materialu se vzpostavi temperaturni gradient. Naprava nam poda podatek o gostoti toplotnega toka in temperaturne podatke na spodnji in zgornji strani vzorca. Na osnovi teh podatkov lahko s pomočjo enačbe določimo toplotno prevodnost vzorca po preoblikovani enačbi številka 5 :

$$\lambda = \frac{d \cdot q}{T_{\text{spodaj}} - T_{\text{zgoraj}}} \left[\frac{\text{mW}}{\text{m}^2\text{K}} = \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right] \quad (6)$$

Pri sami meritvi je pomembno, da se toplotni tok ustali. V trenutku, ko se vrednosti stabilizirajo lahko prenehamo z meritvijo. V diplomski nalogi so se vsi vzorci merili vsaj 5 ur, kar je bilo dovolj dolgo časovno obdobje, da se je toplotni tok ustalil. Ker je eden izmed odločilnih parametrov za določanje toplotne prevodnosti debelina sem vsem vzorcem izmeril debelino na certificirani napravi za merjenje debeline voluminoznih netkanih tekstilij. Meritve debeline sem opravil z napravo VDM (03/12), ki ustreza standardu EN ISO 9073-2 za meritve debeline voluminoznih netkanih tekstilij. Na spodnji sliki je prikazana sestava merilne naprave.

Sestava naprave:

- merilno telo
- aparat za obdelavo podatkov (mini procesor)
- igla za vpenjanje vzorca med merilne ploščice



Slika 22: Merilna naprava VDM in vzorec za meritev debeline (lasten vir)

Postopek meritve debeline z merilcem VDM:

Meritev debeline sem izvejal po standardu EN ISO 9073-2 pod pritiskom 0,02 kPa na okroglem vzorcu, ki sem ga predhodno izrezal iz večjega vzorca na katerem je bila opravljena meritev s senzorjem gostote toplotnega toka. Pred meritvijo se s pomočjo kolesca na desni strani, ki je namejeno horizontalnemu pomikanju merilnih ploščic umeri naprava. Ploščici je potrebno približati do točke, da se na zaslonu pojavi vrednost 0 in v trenutku ko zasveti zelena lučka je naprava umerjena. Merilni ploščici s kolescem razpremo toliko, da lahko vstavimo vzorec. Vzorec zbodemo 2 cm od roba z iglo za vpenjanje vzorca, vzorec položimo na nastavek tako, da je med obema merilnima ploščicama. Kolesce zavrtimo do mesta, da na ekranu zasveti zelena lučka, dobimo zapis meritve. [4]

Parametri za vrednotenje toplotne prevodnosti

Pri analiziranju rezultatov meritev toplotne prevodnosti sem se osredotočil na dva parametra in sicer gostoto materiala in srednja vrednost finosti vlaken. Podrobneje sta načina izračuna teh dveh parametrov predstavljena v nadaljevanju.

Gostota Materiala

Sposobnost toplotnega izoliranja je odvisna od vsebnosti por med posameznimi vlakni. V teh porah ujeti zrak zagotavlja dobre toplotno izolativne lastnosti. Eden izmed odločilnih

parametrov, ki nam to lahko ponazori je gostota materiala, ki je v diplomski nalogi izračunana po sledeči formuli (7):

$$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{m}{A_v \cdot d_v} \quad (7)$$

kjer je:

m_v ... masa vzorca [kg]

A_v ... ploščina vzorca [m²]

d_v ... dejanska debelina vzorca [m].

Vsi vzorci so imeli enako širino (0,21 m) in enako dolžino (0,297 m), razlikovala se je zgolj debeline in masa. Dejanska debelina materiala je bila izmerjena po standardu EN ISO 9073-2. Masa vzorca je bila določena s tehtnico.

Srednja vrednost finosti uporabljenih vlaken

Dodatno na toplotno prevodnost vpliva sama količina por, kar pa je povezano s samo finostjo vlaken. Bolj fina so vlakna več manjših por se tvori v materialu. Zaradi tega dejstva je smiselno dodatno h gostoti materiala določiti tudi srednjo vrednost dtex materiala. To temelji na predpostavki, da pri enaki površinski teži materiala in debelini materiala s finejšimi vlakni dosežemo, da je v netkanem tekstilu finejša struktura oziroma se tvori več manjših por. Srednjo vrednost dtex določimo po formuli:

$$\overline{dtex} = \frac{A \cdot \text{vlakna 1}[dtex] + B \cdot \text{vlakna 2}[dtex] + C \cdot \text{vlakna 3}[dtex]}{A+B+C} \quad (8)$$

kjer so:

A, B, C ... delež vlaken v mešanici [%]

in velja:

$A+B+C = 100$ [%]

Analiza rezultatov meritev toplotne prevodnosti

Podatki o gostoti, debelini in srednji vrednosti dtex

V preglednici 3 je vidno, da sem izbral razmeroma širok spekter materialov kljub dejstvu, da je večina materialov optimiranih za dobro zvočno absorpcijo. Sama gostota izbranih vzorcev seže od približno 9 kg/m^3 do približno 170 kg/m^3 . Debeline sežejo od 4 mm do 50 mm. Srednje vrednosti finosti vlaken je prav tako stopnjevana v razmeroma širokem intervalu med 1,96 dtex-12,52 dtex.

Preglednica 3: Debelina, gostota in srednja vrednost dtex

Vzorec	Dejanska izmerjena masa [g]	Dejanska izmerjena debelina [m]	Dejanska izmerjena gostota vzorca [kg/m ³]	Srednja vrednost finosti vlaken [dtex]
Vzorec 1	212	0,025	8,56	12,52
Vzorec 2	520	0,051	10,22	12,52
Vzorec 3	1027	0,048	21,40	11,22
Vzorec 4	705	0,026	27,33	3,56
Vzorec 5	343	0,017	20,39	2,28
Vzorec 6	457	0,019	25,10	2,28
Vzorec 7	471	0,012	40,20	2,28
Vzorec 8	591	0,018	31,99	2,28
Vzorec 9	980	0,050	19,60	6,07
Vzorec 10	417	0,014	29,85	3,56
Vzorec 11	410	0,015	27,25	3,56
Vzorec 12	503	0,019	26,15	3,56
Vzorec 13	404	0,014	28,89	1,96
Vzorec 14	767	0,006	121,28	5,36
Vzorec 15	471	0,011	40,20	2,28
Vzorec 16	1198	0,007	169,47	5,19
Vzorec 17	208	0,004	47,84	2,89
Vzorec 18	370	0,021	17,54	2,28

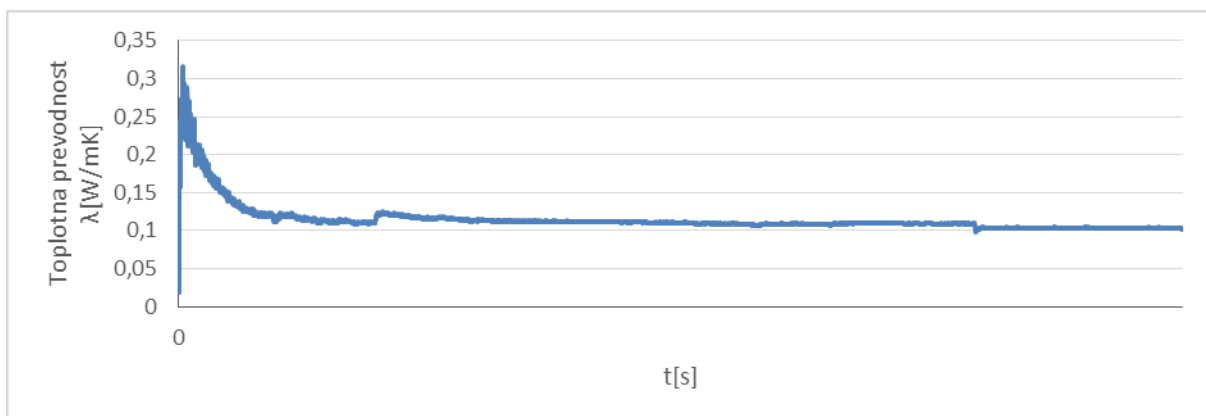
Rezultati meritev toplotne prevodnosti

V preglednici 4 so prikazani rezultati meritev toplotne prevodnosti za vzorec 1. Za večjo preglednost je prikazana začetna in končna meritev. Vzrok za to je predstavljen v komentarju nad grafom 1. Za sam izračun vrednosti toplotne prevodnosti je bila uporabljena enačba 6.

Preglednica 4: Izmerjeni podatki vzorca 1

Gostota toplotnega toka [W/m ²]	T spodaj [°C]	T zgoraj [°C]	Izmerjena debelina vzorca [m]	Toplotna prevodnost [W/mK]
0,376	20,582	20,084	0,025	0,188
102,798	56,714	31,686	0,025	0,102

Iz grafa 1 je razvidno, da po začetnem nihanju meritve toplotne prevodnosti konvergirajo k vrednosti okoli 0,10 W/mK. Pri vseh vzorcih izmerjenih v tej diplomski nalogi je bil uporabljen zgoraj opisani postopek meritve in obdelave podatkov. Kot že rečeno je sam čas trajanja posamezne meritve najmanj 5 ur in prikaz vseh podatkov v tabelarični obliki bi bil nesmiseln. Preostali grafikoni so priloženi v prilogi diplomske naloge.



Graf 1: Prikaz meritev toplotne prevodnosti

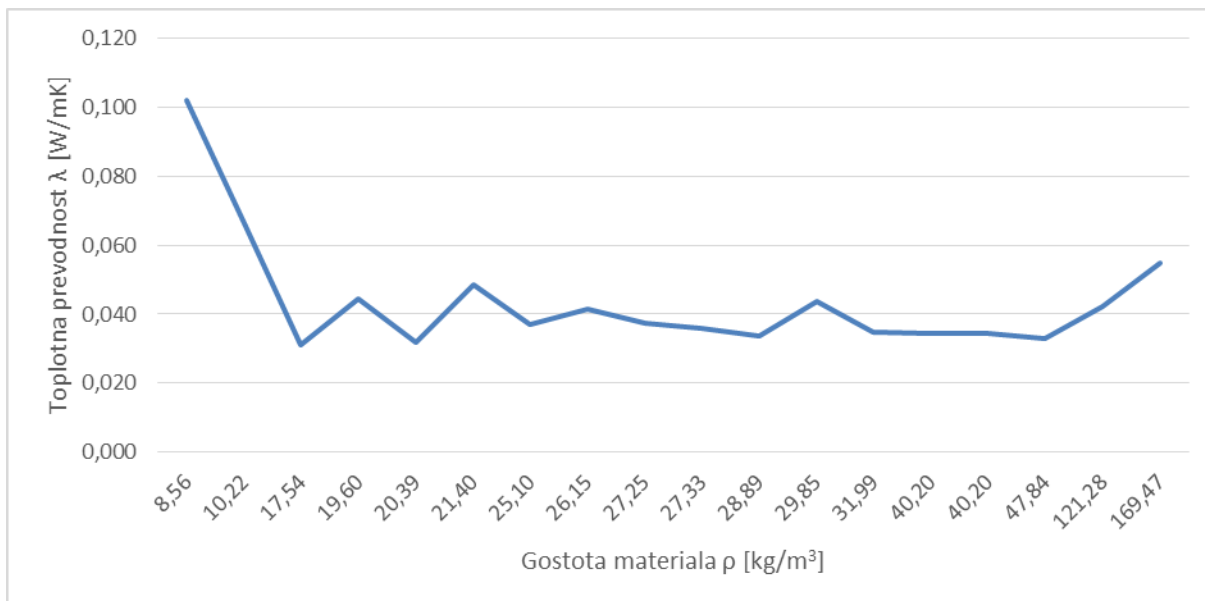
V preglednici 5 so zbrani vzorci in pripadajoče vrednosti toplotnih prevodnosti. Iz rezultatov je vidno, da imajo vzorci toplotno prevodnost med 0,031 in 0,102 W/mK. Rezultati so podrobneje analizirani v nadaljevanju.

Preglednica 5: Rezultati toplotne prevodnosti

Vzorec	Toplotna prevodnost vzorca [W/mK]
Vzorec 1	0,102
Vzorec 2	0,067
Vzorec 3	0,049
Vzorec 4	0,035
Vzorec 5	0,032
Vzorec 6	0,037
Vzorec 7	0,034
Vzorec 8	0,035
Vzorec 9	0,044
Vzorec 10	0,044
Vzorec 11	0,037
Vzorec 12	0,042
Vzorec 13	0,034
Vzorec 14	0,042
Vzorec 15	0,034
Vzorec 16	0,055
Vzorec 17	0,033
Vzorec 18	0,031

Vpliv gostote na toplotno prevodnost

V tem delu je na osnovi meritev predstavljena povezava med gostoto materiala in toplotno prevodnostjo materiala. Na grafu 2 je vidno, da gostota vpliva na toplotno prevodnost predvsem pri skrajnih gostotah. Torej v primeru, ko je gostota razmeroma majhna (okoli 10 kg/m³) ali velika (preko 100 kg/m³). Za majhne gostote velja, da je toplotna prevodnost materiala razmeroma visoka zaradi pojava konvekcije v porah materiala. Torej lahko sklepamo, da kljub veliki količini zraka v porah vpliv zraka ni pozitiven, saj je vzorec preveč zračno propusten. Pri materialih z večjo gostoto je povečanje toplotne prevodnosti posledica pomanjkanja ujetega zraka v porah, ki bi pozitivno vplival na toplotno prevodnost materiala. Na osnovi izmerjenih vzorcev lahko sklepamo, da leži ustrezna gostota materiala za doseganje nizkih vrednosti toplotne prevodnosti v območju med 20-50 kg/m³, kjer so izmerjene vrednosti toplotne prevodnosti med 0,031-0,049 W/mK (Graf 2).



Graf 2: Vpliv gostote na toplotno prevodnost.

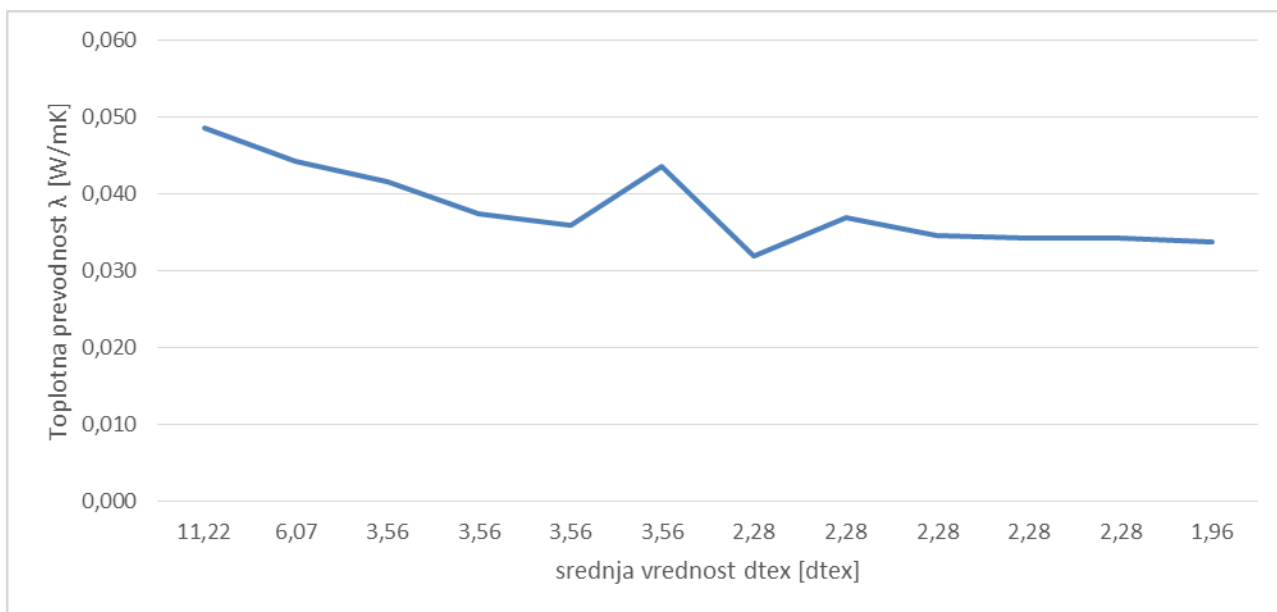
Vpliv finosti vlaken na toplotno prevodnost

Pri tej analizi podatkov sem netkane tekstile z ekstremnimi vrednostmi gostote izključil, da bi na rezultate sama gostota materiala vplivala čim manj. V preglednici 6 so zbrani vzorci z razmeroma podobno gostoto in različno surovinsko sestavo v smislu finosti mešanice vlaken. Gostota izbranih vzorcev leži v intervalu med 20-40 kg/m³.

Preglednica 6: Vzorci razmeroma podobnih gostot

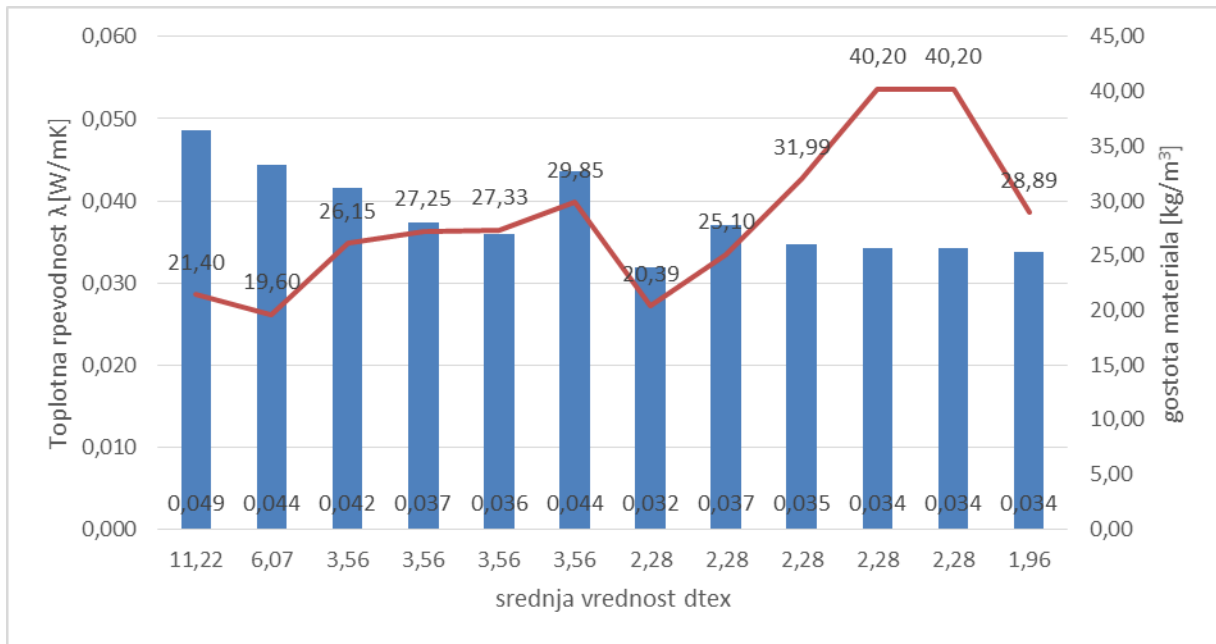
Vzorec	Dejanska izmerjena gostota vzorca [kg/m ³]	Srednja vrednost finosti vlaken [dtex]	Toplotna prevodnost vzorca [W/mK]
Vzorec 15	40,2	2,28	0,034
Vzorec 13	28,89	1,96	0,034
Vzorec 12	26,15	3,56	0,042
Vzorec 11	27,25	3,56	0,037
Vzorec 10	29,85	3,56	0,044
Vzorec 9	19,6	6,07	0,044
Vzorec 8	31,99	2,28	0,035
Vzorec 7	40,2	2,28	0,034
Vzorec 6	25,1	2,28	0,037
Vzorec 5	20,39	2,28	0,032
Vzorec 4	27,33	3,56	0,036
Vzorec 3	21,4	11,22	0,049

V grafu 3 je prikazana toplotna prevodnost v odvisnosti od srednje vrednosti dtex-a. Na prvi pogled se z nižanjem srednje vrednosti dtex-a niža tudi toplotna prevodnost materiala. Netkani tekstil z razmeroma grobo sestavo mešanice (srednja vrednost finosti 11,22 dtex) ima toplotno prevodnost blizu 0,049 W/mK. Z večanjem finosti mešanice toplotna prevodnost razen v dveh primerih konstanto pada in pri materialih z najmanjšo srednjo vrednostjo finosti doseže toplotna prevodnost vrednost med 0,032 W/mK in 0,037 W/mK. Najnižja vrednost toplotne prevodnosti 0,032 W/mK ni dosežena z najnižjo srednjo vrednostjo finosti, ampak z minimalno višjo vrednostjo srednje finosti 2,28 dtex. Torej na osnovi grafa 3 lahko sklepam na pozitiven vpliv finosti vlaken na toplotno prevodnost. Da bi domnevo o pozitivnem vplivu nizkih vrednosti dtex na toplotno prevodnost potrdil sem dodatno preveril povezavo med toplotno prevodnostjo, srednjo finostjo vlaken in gostoto vzorcev.



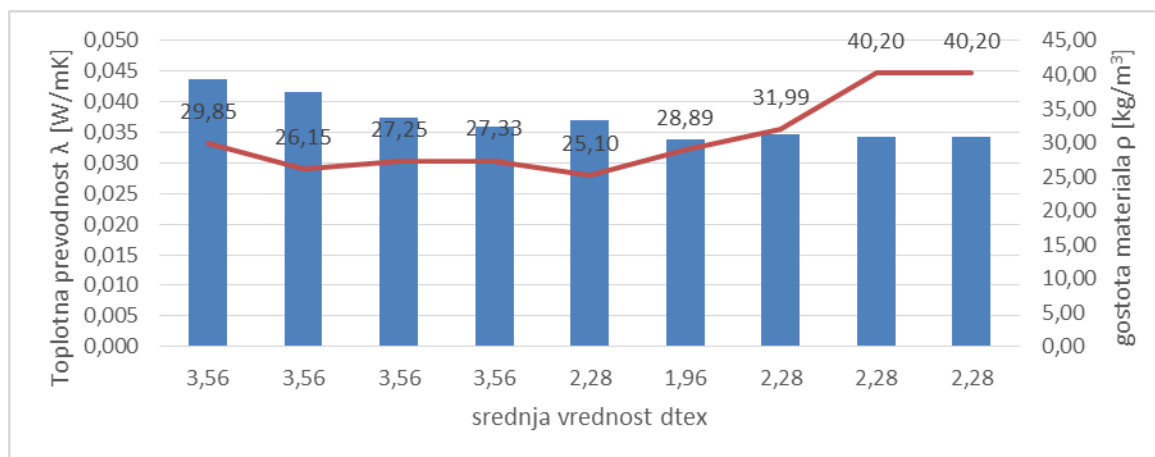
Graf 3: Vpliv finosti vlaken na toplotno prevodnost.

Na grafu 4 je tako kot v grafu 3 prikazana toplotna prevodnost v odvisnosti od srednje vrednosti finosti posameznega vzorca, vendar so rezultati prikazani v stolpčni obliki. Dodatno so s črto prikazane tem vzorcem pripadajoče gostote. Če primerjam vzorca z gostoto približno 20 kg/m^3 in različnimi srednjimi vrednostmi finosti se pokaže, da je pri bolj grobi sestavi materiala s srednjo vrednostjo finosti vlaken 11,22 dtex vrednost toplotne prevodnosti najvišja in pri materialu s srednjo vrednostjo dtex 2,28 občutno nižja in sicer znaša 0,032 W/mK. Pri materialih z razmeroma nizko srednjo vrednostjo finosti vlaken 2,28 ali manj je vpliv gostote manjši, saj imajo vzorci pri gostotah med $30\text{-}40 \text{ kg/m}^3$ praktično enako toplotno prevodnost in sicer 0,034-0,035 W/mK.



Graf 4: Odnos med toplotno prevodnostjo, finostjo vlaken in gostota materiala.

Na grafu 5 je prikazana primerjava vzorcev z nizko srednjo vrednostjo finosti. Povprečna vrednost izmerjene toplotne prevodnosti pri vzorcih s srednjo vrednostjo dtex 3,56 je 0,040 W/mK, pri materialih s srednjo vrednostjo dtex 2,28 ali manj je povprečna vrednost toplotne prevodnosti 0,035 W/mK. Z večjo finostjo vlaken se ustvari struktura materiala z večjim številom por z ujetim zrakom. Sklepamo lahko, da se še zmanjša vpliv toplotne konvekcije kot posledica gibanje plinov. V strokovni literaturi in na osnovi podatkov proizvajalcev materialov v katerih je najnižja navedena toplotna prevodnost materiala 0,035 W/mK so določeni vzorci testirani v diplomski nalogi primerljivi z materiali dosegljivimi na trgu. Sicer je bila pri vzorcih v diplomski nalogi izmerjena tudi nižja toplotna prevodnost (0,032 W/mK). Ena od omejitev izbrane analize določanja toplotne prevodnosti materialov so meritve v nekontroliranem okolju. Posledično lahko na meritve vpliva gibanje zraka, saj je material vlaknast. Da bi lahko zagotovo trdil, da je vrednost verodostojna bi bilo potrebno opraviti meritve na certificirani merilni napravi za določanje toplotne prevodnosti.



Graf 5: Medsebojna primerjava vzorcev z nizko srednjo vrednostjo dtex

Povzetek analize toplotne prevodnosti

Iz zbranih podatkov lahko sklepam, da do določene mere vplivajo na toplotno prevodnost tako gostota materiala kot tudi finost vlaken iz katerih je material sestavljen. Primerna gostota materiala za doseg čim boljših toplotno izolativnih lastnosti leži v območju med 20-40 kg/m³. Najboljše toplotno izolativne lastnosti ima material sicer pri srednji finosti uporabljenih vlaken 2,28 dtex, vendar so razlike z srednjim dtex-om 3,56 majhne. Z bolj grobimi vlakni (večja vrednost dtex) lahko veliko lažje dosežemo večje debeline in tudi material je bolj odporen na sile med samo manipulacijo z materialom, zato bi bila finost vlaken 3,56 dtex primerna vrednost za materiale za toplotno izolacijo.

Na tržišču so termično prepahane netkani tekstili za namen toplotne izolacije prisotni že več let in po podatkih dosegljivih na spletnih straneh proizvajalcev se material trži kot eno izmed ekološko bolj sprejemljivih materialov za toplotno izolacijo. Kot glavne prednosti so izpostavljene:

- možnosti proizvodnje materialov iz recikliranih vlaken in tudi možnost 100% recikliranja materiala
- proizvodnja brez kemijskih ali organskih dodatkov
- sama vlaga materialu ne škoduje
- brez vonja
- odporni na razpadanje
- Za samo vgradnjo materiala ni potrebna nobena zaščitna obleka ali posebno orodje
- Toplotna prevodnost 0,035-0,045 W/mK

-
- Debelina od 6-18 cm

Na trgu so dosegljivi materiali z gostoto med 20-40 kg/m³. O sami dtex strukturi proizvajalci ne podajajo bolj podrobnih podatkov. Gradbeno fizikalne lastnosti materialov testiranih v diplomski nalogi so primerljivi z izdelki dosegljivimi na tržišču, vendar imajo za komercialno uporabo premajhno debelino. Omejitev izvedene analize je tudi neprimerljivost rezultatov s certificiranimi metodami za določanje toplotne prevodnosti materialov. V primeru, da bi se proizvajali materiali z ustrežno gostoto in sestavo v večjih debelinah bi lahko voluminozni netkani tekstili podjetja Filc d.d. po kvaliteti konkurirali materialom, ki so že prisotni na tržišču.

NETKANE TEKSTILIJE ZA ZADRŽEVANJE KONDENZATA

Navlaževanje gradbenih konstrukcij

V drugem delu diplomske naloge sem podrobneje obravnaval kondenzacijo vodne pare na notranji površini konstrukcije, ki je posledica nižje temperature na notranji površini konstrukcije v primerjavi z notranjo temperaturo zraka. V gradbeni praksi se izognemo tej vrsti kondenzacije z ustrezno dimenzioniranimi konstrukcijskimi sklopi pri katerih je zagotovljena ustrezna toplotna zaščita. Ta toplotna zaščita poskrbi, da je temperatura na notranji površini dovolj visoka, da ne bo prišlo do kondenziranja vodne pare na površini. V diplomski nalogi sem obravnaval netkano tekstilijo, ki se te problematike loti na drugačen način, saj pri enostavnejših objektih, pri katerih je uporabljena enoslojna pločevinasta kritina, izolacija ni stroškovno upravičena. Da v tem primeru v trenutku ko pride do tvorjenja kondenzata ne bi prišlo do kapljanja, netkana tekstilija zadrži kondenzat, ki nastane. V trenutku, ko toplotno vlažnostne razmere to omogočajo pa shranjeni kondenzat izhlapi nazaj v prostor. Ker ima ta netkana tekstilija omejeno absorpcijsko sposobnost bom v drugem delu diplomske naloge analiziral in določil temperaturno vlažnostne pogoje pri katerih je še material sposoben sprejeti nastali kondenzat in s tem preprečiti kapljanje. Pri izračunih sem se oprl na teoretične osnove iz strokovne literature vira [7].

Vzroki in posledice navlaževanja gradbenih konstrukcij

Za gradbene konstrukcije velja, da se navlažijo v primeru, kadar so v stiku z vodno paro ali vodo. Navlažujejo se porozne snovi pri katerih so v porah dodatno k zraku prisotne vodne molekule v omejenem številu. Število vodnih molekul v porah je odvisno od snovnih lastnosti materiala in količine molekul vodne pare v zraku, ki je v stiku z gradbeno snovjo. Stanje snovi, ko so molekule vodne pare v snoveh v energetskem ravnovesju z okolico imenujemo higroskopsko ravnotežje. Do navlaževanja gradbenih materialov pride, ko je to higroskopsko ravnovesje preseženo.

Možni vzroki za preseganje higroskopskega ravnovesja:

- Prehod vode v pore iz tal ali meteornih padavin
- Hidrostatični tlak v primeru ko so površine konstrukcij v vodi (vodni hranilniki, bazeni)
- Poškodbe vodovodnih in kanalizacijskih instalacij

- Visoke vlažnosti zraka s katerim je gradbena konstrukcija v stiku; molekule prehajajo iz zraka s procesom, ki ga imenujemo sorpcija v notranjost gradbene konstrukcije
- Kondenzacija vodne pare iz zraka na površini konstrukcije v primeru, ko je temperatura na površini konstrukcije občutno nižja od temperature zraka
- Kondenzacija vodne pare v notranjost gradbene konstrukcije, ki se lahko pojavi pri procesu prehoda ali difuzije molekul vodne pare skozi konstrukcijo
- Vgrajene vlage, ki ostane v konstrukciji po vgradnji

Navlaževanje gradbenih konstrukcij v večini primerov vpliva negativno na mehanske in toplotne lastnosti stavb. Med pomembnejšimi posledicami navlaževanja so:

- Vlažne konstrukcije povečajo vlažnost zraka v stavbi in ustvarjajo pogoje za razvoj mikroorganizmov
- S povečanjem vlažnosti se gradbenim snovem poveča toplotna prevodnost; voda ima razmeroma visoko toplotno prevodnost ($\lambda=0,60$ W/mK) kakor praktično mirujoči zrak v porah gradbenih snovi ($\lambda=0,025$ W/mK). Vpliv navlaževanja na prehod toplote je večji pri odprtopornih materialih. Zaradi povečane toplotne prevodnosti se poveča senzibilni toplotni tok, ki prehaja skozi material zaradi razlike v temperaturah
- V primeru prisotnosti vode se toplotni tok poveča tudi zaradi latentnega toplotnega toka; to je toplotni tok potreben za uparjanje vode shranjene v gradbeni konstrukciji
- V tesnih gradbenih konstrukcijah iz poroznih snovi v katerih je prisotna voda se pojavi periodičen prenos vode med zunanjo in notranjo površino konstrukcije s procesom, ki je podoben delovanju toplotnih cevi
- Veliko gradbenih snovi se pri navlaževanju razteza, kar povzroča dodatne mehanske obremenitve (v določenih primerih lahko presegajo tudi temperaturne raztezke)
- Povečani stroški vzdrževanja (razpadanje, rjavenje in tudi porušitev)

Higroskopske lastnosti zraka

Zrak je zmes različnih plinov (N_2 , O_2 , Ar, CO_2) in v naravi zrak zmeraj vsebuje tudi vodno paro. Če predpostavimo, da je zrak zmes idealnih plinov torej velja za vlažen zrak Daltonov zakon po katerem je tlak zraka p_{atm} enak vsoti delnih tlakov plinov v zraku p_i (imenuje se tudi tlak suhega zraka $p_{z,s}$) in delnega tlaka vodne pare. Sledi:

$$p_{atm} = \sum p_i + p_v = p_{z,s} + p_v \quad (9)$$

Dogovorjeno je, da je nominalni tlak zraka p_{atm} na morski gladini 1013 mba ali 101,3 Kpa, delni tlak vodne pare v zraku nekje med 0,1-12 kPa. Pomembna lastnost zraka je, da lahko vsebuje samo končno količino vodne pare. To stanje je doseženo, ko je delni tlak vodne pare p_v v zraku enak tlaku nasičenja vodne pare $p_{v,nas}$. Tlak nasičenja vodne pare je odvisen od temperature zraka. To je ena izmed najpomembnejših higroskopskih lastnosti zraka. Določen je s sledečim izrazom:

$$\theta \leq 0^{\circ}C \quad p_{v,nas,T} = 611 \cdot e^{\left(\frac{22,44\theta}{272,44+\theta}\right)} [Pa] \quad (10)$$

$$\theta \geq 0^{\circ}C \quad p_{v,nas,T} = 611 \cdot e^{\left(\frac{17,08\theta}{234,18+\theta}\right)} [Pa] \quad (11)$$

Tlak nasičenja vodne pare $p_{v,nas}$ se z višanjem temperature povečuje, torej lahko vsebuje zrak z višjo temperaturo več vodne pare in hladnejši zrak manj vodne pare. Stanje nasičenja lahko dosežemo z navlaževanjem ali ohlajanjem. Temperaturo zraka pri kateri je zrak nasičen imenujemo temperatura rosišča θ_{ros} .

Količino prisotne vodne pare v zraku lahko opredelimo na različne načine. Absolutna vlažnost zraka je določena z razmerjem mase vode v 1 kg suhega zraka:

$$x = \frac{m_v}{m_{z,s}} \left[\frac{kg}{kg} \right] \quad (12)$$

S pomočjo enačbe stanja za idealen plin lahko nadomestimo masi vodne pare in zraka s tlakom vodne pare p_v in tlakom suhega zraka $p_{z,s}$ in molskima masam vodne pare M_v (18 kg/kmol) in zraka ($M_{z,s} = 28,9$ kg/kmol).

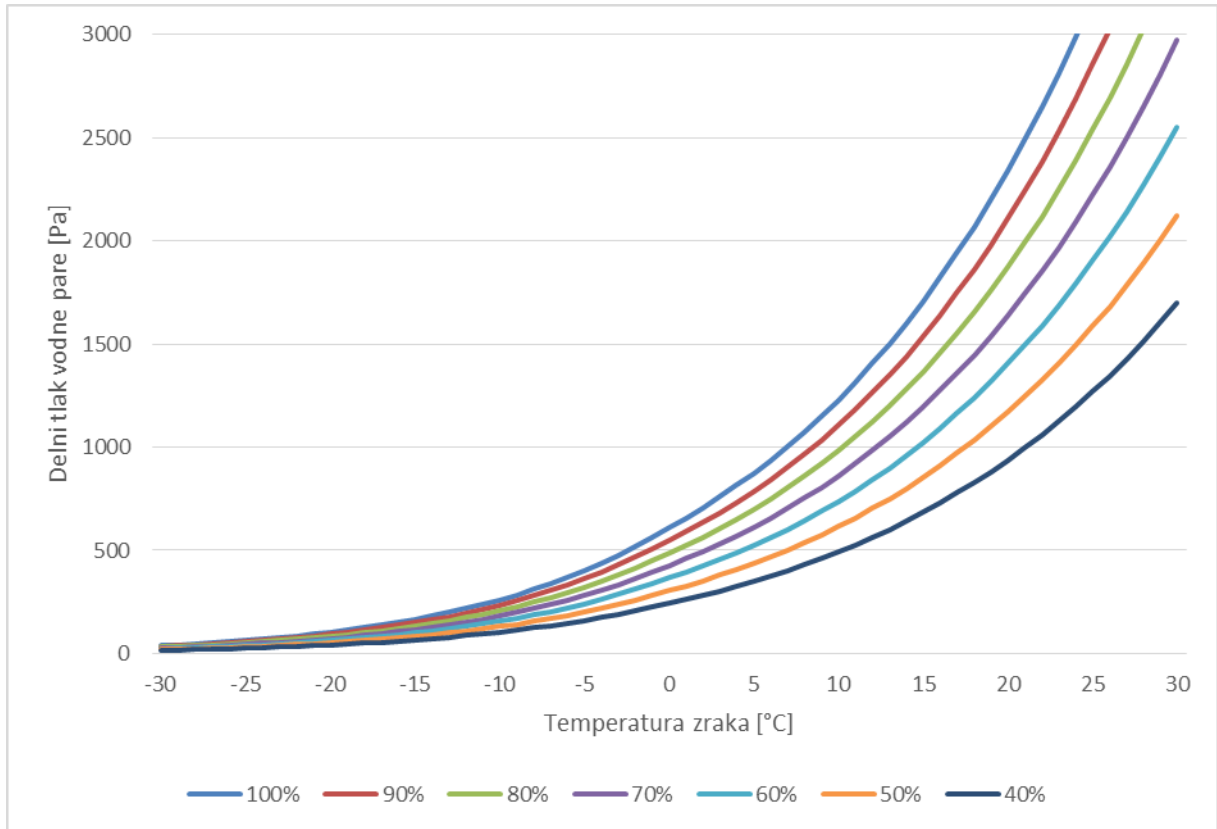
Sledi:

$$x = \frac{m_v}{m_{z,s}} = \frac{p_v M_v}{p_{z,s} M_{z,s}} = 0,622 \frac{p_v}{p_{atm} - p_v} \left[\frac{kg}{kg} \right] \quad (13)$$

Masa vodne pare v 1 kg suhega zraka je razmeroma majhna in zato absolutno vlažnost pogosto navajamo v gramih na kilogram suhega zraka. V naravi je absolutna vlažnost zraka med 2-20 g/kg in v stavbah 4-12 g/kg. Pogosto navajamo vlažnost zraka z kot relativno vlažnost zraka φ , ki je definirana kot razmerje dejanskega delnega tlaka vodne pare p_v in tlaka nasičene vodne pare $p_{v,nas}$ pri isti temperaturi zraka. Pri tem gre za relativno število med 0 in 1 oziroma 0 in 100%. Relativna vlažnost nasičenega zraka je 1 oziroma 100%. Zapišemo lahko:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{v,nas}} \left[\frac{Pa}{Pa} = 1 \right]; \varphi = \frac{p_v}{p_{v,nas}} \cdot 100[\%] \quad (14)$$

V naravi je prisotna relativna vlaga od nekaj odstotkov do 99% tik pred pojavom padavin. Na grafu 6 je predstavljena povezava med temperaturo zraka, relativno vlažnostjo in delnimi tlaki vodne pare.



Graf 6: Povezava med temperaturo, relativno vlažnostjo in tlakom vodne pare.

Količino vodne pare lahko prikažemo tudi kot vlažnost v g/m^3 ali pa kg/m^3 . Prikažemo jo torej kot maso vodne pare v enoti prostornine zraka. Določena je z enačbo 15:

$$z_v = \frac{p_v}{R_v \cdot (\theta + 273,15)} = \frac{p_v, \text{nas}, \theta \cdot \varphi}{462 \cdot (\theta + 273,15)} \left[\frac{\text{Pa} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}{\text{J} \cdot \text{K}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (15)$$

kjer so:

R_v ... plinska konstanta za vodo (462J/kgK)

θ ... temperatura zraka [°C]

v ... količina vodne pare

Vlažnost zraka v naravi je nekje med 2 in 20 g/m³. Največjo vlažnost ima nasičen zrak (V_{nas}), ki ga lahko izračunamo s pomočjo zgornje enačbe v primeru, da upoštevamo, da je relativna vlažnost zraka enaka $\phi=1$.

Od zgoraj napisanega sem v izračunih uporabil enačbo za računanje tlakov. Dodatno se je pri interpretaciji kot zelo primerno orodje izkazal graf 6. Sama uporabna vrednost enačbe, kjer sta uporabljeni molska masa suhega zraka in vodne pare bo se pokazala v kasnejšem poglavju.

Difuzijsko navlaževanje gradbenih konstrukcij

V primeru, ko v opazovanem konstrukcijskem sklopu obstajata območji v katerih se specifični vlažnosti zraka razlikujeta se med območjema vzpostavi difuzijski tok molekul vodne pare. Ta se prekine, ko se vlažnosti zraka izenačijo. Difuzijski tok vodne pare g med dvema področjema v zraku različne vlažnosti določimo s Fickovim zakonom:

$$g = -D_v \frac{dv}{dx} \left[\frac{kg}{m^2s} \right] \quad (16)$$

kjer so:

g ... difuzijski tok [kg/m²s]

dv/dx ... gradient vlažnosti in ponazarja spremembo vlažnosti v snovi skozi katero prehaja vodna para

D_v ... difuzijski koeficient vodne pare v zraku in je snovna lastnost zraka

Negativen predznak v izrazu ponazarja, da je difuzijski tok usmerjen v nasprotno smer kakor gradient specifične vlažnosti. Pri tem še upoštevamo dodatni predpostavki, da je difuzijski tok g enodimenzijski, kar pomeni, da se prostorninska vlažnost spreminja le v eni osi prostorskega koordinatnega sistema in, da je snov izotropna torej so njene snovne lastnosti po celotni prostornini enake. Za mirujoč zrak velja, da je difuzijski koeficient D_v enak:

$$D_v = (22,2 + 0,14 \cdot \theta) \cdot 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (17)$$

V porozni snovi se pojavi difuzijski tok vodne pare tudi v primeru, če ta ločuje zrak z različno vlažnostjo. Difuzijski tok vodne pare prav tako določimo s Fickovim zakonom. Sledi:

$$g = -\delta_v \frac{dv}{dx} \left[\frac{kg}{m^2s} \right] \quad (18)$$

Skozi takšen sloj bo difuzijski tok prehajal dokler sta vlažnosti na obeh straneh sloja različni. V zgornjem primeru je Fickov zakon zapisan za časovno stacionarno stanje, torej se vlažnost zraka v časovno ne spreminja in zaradi tega se časovno ne spreminja tudi difuzijski tok vodne pare. Z δ_v označimo difuzijski koeficient vodne pare snovi, ki ni zrak. Velja, da je difuzijski koeficient δ_v odvisen od vlažnosti kar pomeni, da gre za problem nelinearnega sistema prvega reda. V praksi si sam izračun difuzijskega toka vodne pare poenostavimo tako, da difuzijski koeficient δ_v difuzijski koeficient δ_v nadomestimo z difuzijsko upornostjo prehoda vodne pare μ . Sam difuzijski potencial pa ovrednotimo kot razliko med delnimi tlaki vodne pare p_v v zraku na mejah sloja snovi.

Difuzijska upornost μ je določena z razmerjem med difuzijskim koeficientom vodne pare v zraku D_v in difuzijskim koeficientom vodne pare snovi δ_v in je brez dimenzijsko število. Zapišemo lahko:

$$\mu = \frac{D_v}{\delta_v} \left[\frac{m^2 s}{m^2 s} = 1 \right] \quad (19)$$

Izraz 15, ki ponazarja količino vodne pare v zraku zapišemo v diferencialni obliki.

$$dv = \frac{dp_v}{R_v(\theta+273,15)} \quad (20)$$

In tako lahko zapišemo, da je difuzijski tok vodne pare enak enačbi 21 v kateri negativni predznak opredeljuje, da je difuzijski tok usmerjen v nasprotni smeri kakor gradient delnih tlakov vodne pare.

$$g = -\frac{D_v}{\mu} \frac{dv}{dx} = -\frac{1}{\mu} \cdot \frac{D_v}{\underbrace{R_v(\theta+273,15)}_A} \cdot \frac{dp_v}{dx} \left[\frac{kg}{m^2 s} \right] \quad (21)$$

V enačbi določimo vrednost konstante A tako, da vstavimo poljubno temperaturo in dobimo sledeči izraz:

$$g = -\frac{1}{\mu} \cdot 0,622 \frac{dp_v}{dx} \left[\frac{kg}{m^2 s} \right] \quad (22)$$

Nato zamenjam gradient tlakov vodne pare dp_v/dx z razlikami $\Delta p/\Delta x$. Pri čemer predstavlja Δp razliko delnih tlakov vodne pare na mejah sloja, Δx pa predstavlja debelino tega sloja. Sedaj lahko zapišemo enačbo 22 v obliki enačbe 23 v kateri $p_{v,1}$ predstavlja delni tlak vodne pare na notranji strani poljubne porozne snovi in $p_{v,2}$ delni tlak vodne pare na zunanji površini poljubne porozne snovi. Vrednost 0,622 nam je že znana iz enačbe 13 in predstavlja razmerje med molsko maso vodne pare M_v in molsko maso zraka $M_{z,s}$.

$$g = 0,622 \cdot \frac{p_{v,1} - p_{v,2}}{\mu \cdot d} \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right]; p_{v,1} > p_{v,2} \quad (23)$$

Pri zgornjih enačbah smo za ponazoritev prehoda vodne pare g v sloju snovi uporabili Fickov zakon, ki je ekvivalenten Fourierjevemu zakonu, ki smo ga uporabili za ponazoritev gostote toplotnega toka q , ki se prevaja skozi sloj gradbene snovi. Upor prehoda toplote $R=d/\lambda$ v tem primeru nadomesti upornost prehoda vodne pare $\mu \cdot d$. Pri čemer je pri prevajanju gostote toplotnega toka gonilna sila razlika temperatur pri prehodu vodne pare oziroma difuzijskem toku pa je gonilna sila razlika v dejanskih tlakih vodne pare.

Modeliranje difuzijskega prenosa vodne pare v gradbenih konstrukcijah

Pri konvektivnem prestopu snovi in toplote sta združena difuzija vodne pare in gibanje vlažnega zraka v prostoru. Pri tem predpostavimo, da se zrak v prostoru s temperaturo θ_i in vlažnostjo v_i ob stiku s površino gradbene konstrukcije ohladi ali segreje na temperaturo površine θ . Kot posledica bo prišlo do spremembe vlažnosti zraka $v_{\theta si}$. Zapišemo, da je specifični tok vodne pare, ki prestopa na površini gradbene konstrukcije enak:

$$g = \beta_v \cdot (v_i - v_{\theta si}) \left[\frac{kg}{m^2 \cdot s} \right] = \beta_p \cdot (p_{v, \theta i} - p_{v, \theta si}) \left[\frac{kg}{m^2 \cdot s} \right] \quad (24)$$

Sama smer prestopa snovi je določena z razliko vlažnosti na v prostoru v_i in ob površini $v_{\theta si}$. Lahko rečemo tudi, da je smer prestopa določena z razliko delnih tlakov vodne pare $p_{v,i}$ in $p_{v,si}$. Snovni prestopnosti β_v in β_p sta določeni na osnovi Lewisove relacije in po podobnosti med prenosom toplote in snovi:

$$\beta_v = \frac{\alpha_c}{\rho_z \cdot c_{p,z}} \left[\frac{m}{s} \right]; \beta_p = \frac{\beta_v}{R_v \cdot (T + 273,15)} \left[\frac{\frac{Ns^2}{m}}{kg} \cdot \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{N} = \frac{s}{m} \right] \quad (25)$$

kjer so:

α_c ... konvektivna toplotna prestopnost [W/m^2K]; tipične vrednosti na notranji površini gradbene konstrukcije so 1-4 W/m^2K in tipične vrednosti na zunanji strani konstrukcije med 5-10 W/m^2K

ρ_z ... gostota zraka [kg/m^3]

$c_{p,z}$... specifična toplota zraka [J/kgK]

Ob upoštevanju zgornjih vrednosti je snovna upornost prestopa vodne pare ($1/\beta_p$) med konstrukcijo in zrakom nekje med 0,002 in 0,003 s/m. V praksi pri izračunu prehoda vodne pare v konstrukcijah zanemarimo upornost prestopa vodne pare na površini konstrukcije β_p .

V gradbeni konstrukciji je difuzijski prehod vodne pare odvisen od dejanskih tlakov vodne pare v gradbeni konstrukciji in upora prehoda vodne pare, ki ga označimo z r in je določen z izrazom:

$$r = \mu \cdot d \text{ [m]} \quad (26)$$

kjer sta:

μ ... difuzijska upornost prehoda vodne pare

d ... debelina [m]

V primeru večslojne gradbene konstrukcij je celotni upor prehoda vodne pare r_{cel} enak vsoti uporov prehoda vodne pare posameznih slojev:

$$\sum r_{\text{cel}} = \sum r_i = \sum \mu_i \cdot d_i \text{ [m]} \quad (27)$$

Torej določamo difuzijski tok vodne pare skozi večslojno gradbeno konstrukcijo na osnovi razlik delnih tlakov vodne pare na mejah posameznih slojev konstrukcije ($p_{v,i}$ - $p_{v,e}$):

$$g = 0,622 \cdot \frac{p_{v,i} - p_{v,e}}{\sum r_i} \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right]; p_{v,i} > p_{v,e} \quad (28)$$

Modeliranje prehoda vodne pare v gradbenih konstrukcijah

Kot že rečeno je drugi del diplomske naloge osredotočen na pojav kondenzacije v ravnini pri prehodu vodne pare z difuzijo. V praksi ugotavljamo tako nastalo količino kondenzata z Glaserjevo metodo. En način vrednotenja temelji na vrednotenju difuzijskega prenosa vodne pare v dveh obdobjih in sicer na obdobje navlaževanja, ki se pojavlja pozimi in obdobje sušenja, ki se pojavlja naslednje poletje. V obeh obdobjih predpostavimo konstantne robne pogoje, torej konstantne temperaturno vlažnostne pogoje θ_i in ϕ_i v objektu in okolici. Te predpostavke pa ne odražajo realnih razmer. Problem rešimo tako, da spreminjajoče razmere upoštevamo za vsak mesec, dan ali uro. Za bolj podrobno analizo potrebujemo bolj detaljne vhodne podatke.

Postopek računa na osnovi Glaserjeve metode:

- V prvem koraku določimo toplotno prehodnost določene gradbene konstrukcije U in iz podanih temperatur zunanosti izračunamo temperaturo na površini in na stiku slojev. V drugem delu diplomske naloge, ta korak ni bil potreben, saj sem zaradi visoke vrednosti toplotne prevodnosti pločevine predpostavil, da je temperatura na površini enaka zunanji temperaturi

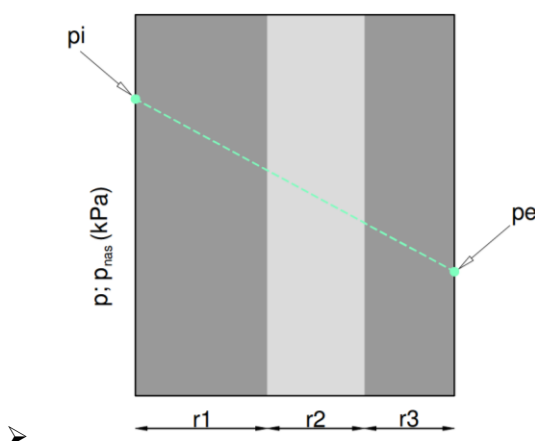
- Narišemo Glaserjev diagram slojev konstrukcije kot je prikazano na Sliki 24 za vseh 12 mesecev pri čemer je na x osi navedena upornost prehoda vodne pare in ne debelina posameznega sloja:

$$r = \mu \cdot d [m] \quad (29)$$

- Izračunamo dejanske tlake vodne pare v notranjosti p_i in okolici p_e po sledečih formulah:

$$p_i = p_{nas,\theta_i} \cdot \varphi_i ; p_e = p_{nas,\theta_e} \cdot \varphi_e \quad (30)$$

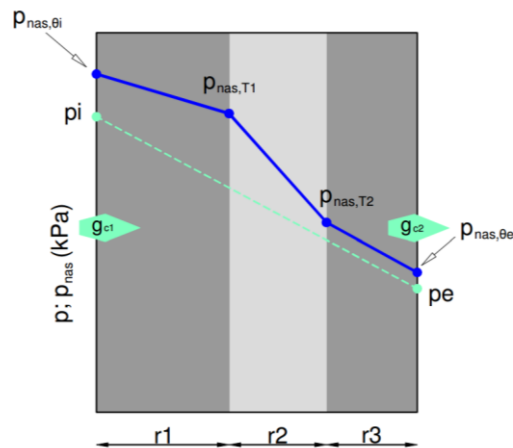
- V Glaserjevem diagramu povežemo točki p_i in p_e in s tem dobimo daljico, ki ponazarja kako se v konstrukcijskem sklopu spreminjajo dejanski tlaki vodne pare kot je prikazano na Sliki 23 .



Slika 23: Potek dejanskih tlakov vodne pare v gradbeni konstrukciji v kateri je konstrukcija narisana z upornostmi prehoda vodne pare posameznega sloja r in ne njihovimi debelinami.

Nato izračunamo tlak nasičenja vodne pare p_{nas} pri temperaturah na površini in na stikih slojev v konstrukciji. Te vrednosti vrišemo v Glaserjev diagram.

- V primeru, da znotraj konstrukcijskega sklopa in na površinah ležijo delni tlaki vodne pare pod vrednostjo tlakov nasičenja ne pride do kondenzacije vodne pare. Takšen primer je prikazan na sliki 24



Slika 24: Prikaz potekov dejanskih tlakov vodne pare v konstrukcijskem sklopu in tlakov nasičenja.

V splošnem je difuzijski tok vodne pare g_{c1} , ki vstopa v konstrukcijo enak difuzijskemu toku, ki izstopa g_{c2} . Velja torej spodnja enačba:

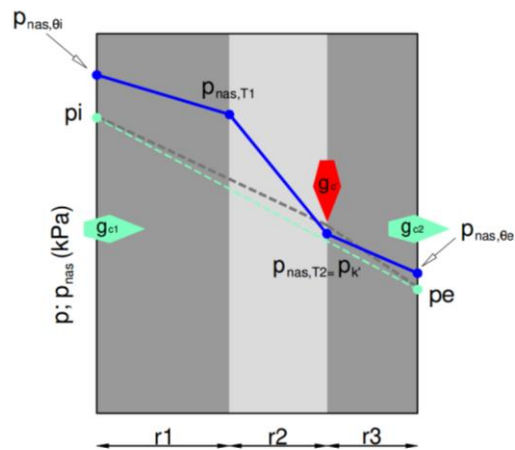
$$g_{c1} = g_{c2} = 0,622 \cdot \frac{p_i - p_e}{\sum_i r_i} \left[\frac{g}{m^2 h} \right] \quad (31)$$

V določenih primerih, ko delni tlaki vodne pare presegajo tlak nasičenja pride do kondenzacije. Tak primer kondenzacije se imenuje kondenzacija v ravnini. Ker tako stanje ni možno se delni tlak vodne pare zniža do tlaka nasičenja (označen z p_k') in del vodne pare kondenzira in pride do navlažitve. Torej pomeni, da je vstopajoči tok vodne pare g_{c1} večji od izstopajočega toka vodne pare g_{c2} . Razlika med njima predstavlja količino kapljevite vode, ki ostane v konstrukciji vsako uro. Zapišemo:

$$g_{c1} = 0,622 \cdot \frac{p_i - p_k'}{r'}; \quad g_{c2} = 0,622 \cdot \frac{p_k'' - p_e}{r''} \left[\frac{g}{m^2 h} \right]$$

$$g_c' = g_{c1} - g_{c2} \left[\frac{g}{m^2 h} \right]$$

Na sliki 25 je prikazan primer, ko pride do kondenzacije vodne pare v ravnini,



Slika 25: Prikaz v primeru, ko pride do kondenzacije vodne pare v ravnini.

r' =vsota upornosti difuziji vodne pare r vseh slojev od notranje površine in ravnino kondenzacije

r'' =vsota upornosti prehoda vodne pare vseh slojev med ravnino kondenzacije in zunanjo površino gradbene konstrukcije

Analiza delovanja netkane tekstilije za zadrževanje kondenzata

Predstavitev netkane tekstilije za zadrževanje kondenzata

V drugem delu diplomske naloge sem obravnaval samolepilno netkano tekstilijo, ki je namenjena shranjevanju kondenza na neizoliranih enoslojnih kovinskih strehah, torej netkana tekstilija shrani kondenz, ki nastaja v fazi navlaževanja, v fazi sušenja pa kondenz izhlapi nazaj v prostor. Tipični primeri uporabe so pokrite tržnice, hlevi, neogrevana skladišča itn. Za lažjo predstavbo je na Sliki 28 prikazano skladišče gradbenega materiala v katerem je netkana tekstilija nalepljena na spodnji strani pločevinaste strehe.



Slika 26: Skladišče gradbenega materiala. [4]

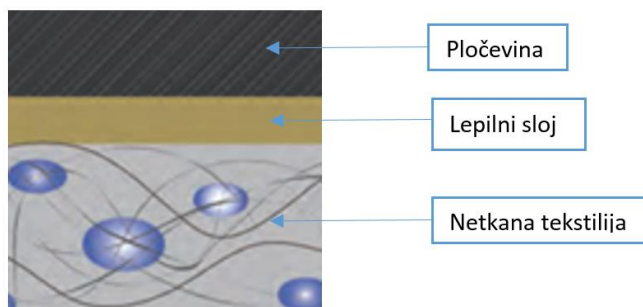
Glavna funkcija netkane tekstilije je torej, da pred poškodbami zaradi kapljanja kondenza varuje predmete shranjene v notranjosti objekta. Do tvorbe kondenza na notranji strani konstrukcijskega sklopa pride zaradi različnih temperaturno vlažnostnih pogojev na notranji in zunanji strani konstrukcijskega sklopa pločevinaste kritine.

Sama absorpcijska sposobnost netkane tekstilije je omejena zato sem v diplomski nalogi na osnovi Glaserjeve metode in različnih predpostavk pripravil model in s tem modelom analiziral temperaturno vlažnostne pogoje pri katerih še material deluje in nato določil

povprečno mesečno temperaturno razliko med notranjo in zunanjo stranjo konstrukcijskega sklopa v obdobju navlaževanja in povprečno mesečno temperaturno razliko v obdobju sušenja pri kateri je netkana tekstilija sposobna zadržati nastali kondenz. Pridobljeni podatki bodo v bodoče služili, kot dodatna razlaga kupcem v primeru reklamacij zaradi kapljanja kondenza in tudi kot dodatno orodje za informiranje kupcev.

Snovne lastnosti materialov v analiziranem konstrukcijskem sklopu

V nadaljevanju so predstavljeni obravnavni konstrukcijski sklop in materialni podatki, ki so bili uporabljeni pri izračunih. Kot že rečeno je konstrukcijski sklop sestavljen iz tanke pločevine, sloja lepila in sloja netkane tekstilije kot je prikazano na sliki 27.



Slika 27: Konstrukcijski sklop. [4]

V preglednicah 7 in 8 so podani uporabljeni snovni podatki pri čemer se lepilni sloj ni upošteval pri izračunih.

Preglednica 7: Snovni podatki netkane tekstilije [4]

Snovni podatki netkane tekstilije	
Debelina d [m]	0,001
Toplotna prevodnost λ[W/mK]	0,038
Difuzijska upornost prehoda vodne pare μ	1,56
Upor prehoda vodne pare r [m]	0,00156

Preglednica 8: Snovni podatki pločevina vir [13]

Snovni podatki (jeklo)	
Debelina d [m]	0,0007
Toplotna prevodnost λ[W/mK] nerjaveče jeklo	58,50
Difuzijska upornost prehoda vodne pare μ jeklo	∞

Kot je razvidno iz preglednic 7 in 8 ima pločevina predpostavljeno neskončno difuzijsko upornost, netkana tekstilija pa razmeroma majhno difuzijsko upornost oziroma je difuzijsko odprta. Posledica tega je, da difuzijski tok teče skozi netkani tekstil razmeroma neovirano in se zaradi velike difuzijske upornosti pločevine zaustavi na površini pločevine in na tej točki se ob primernih pogojih tvori kondenz. Pri čemer poteka difuzijski tok v primeru navlaževanja iz notranjosti (območje z višjim tlakom vodne pare) prosti pločevini in v obratni smeri v primeru sušenja. Dodatno je iz preglednice razvidno, da je pločevina slab toplotni izolator in zato lahko kot že rečeno predpostavimo, da je temperatura na notranji strani površine enaka zunanji temperaturi zraka. Iz podatkov za netkano tekstilijo vidimo, da je material toplotno izolativen, vendar zaradi majhne debeline toplotno izolativni učinek zanemarljiv in lahko predpostavimo, da se na stičišču netkane tekstilije in pločevine srečata zunanja in notranja temperatura zraka. Sledi, da je ključen parameter netkane tekstilije njena absorpcijska sposobnost, saj je s tem določeno pri katerih temperaturno vlažnostnih pogojih bo konstrukcijski sklop deloval in netkana tekstilija zadržala tvorjeni kondenz. V nadaljevanju je opisan postopek meritve absorpcijske sposobnosti materiala.

Način meritve absorpcije vode

Pri opisani metodi gre za Filc interno metodo FD 15. Absorpcija netkanega materiala se meri pod nakloni 0° , 45° in 90° . Meritve se izvajajo na pločevinastih ploščicah velikosti 140 x 120 mm na katere je nanešen samolepilni netkani tekstil izmer 100 x 100 mm. Kovinsko ploščico pred nanosom netkane tekstilije očistimo z 96% etilnim alkoholom. Vzorec samolepilne tekstilije po nanosu dvakrat povaljamo (1 krat navpično, 1 krat vodoravno). Tako pripravljen vzorec stehtamo (kovinska ploščica z netkanim tekstilom). Maso označimo z M_1 (masa suhega vzorca). Vzorce nato testiramo pod tremi naklonskimi koti (0° , 45° in 90°). Za vsak test pod določenim kotom pripravimo 3 vzorce. Tako pripravljene vzorce potopimo v vodo globine 2 cm tako, da je netkan tekstil na zgornji strani. Vzorce v vodi povaljamo z valčkom v navpični in vodoravni smeri. Po eni uri vzamemo vzorce iz vode in jih namestimo na ustrezno

stojalo (slika 28). Prve 3 vzorce namestimo horizontalno, naslednje 3 pod kotom 45° in zadnje 3 pod kotom 90°. Netkani tekstil mora biti pri odtekanju pod kotoma 45° in 90°. Vzorce po 15 minutah odtekanja stehtamo- M_2 (masa mokrega vzorca). Na sliki 28 je prikazan pripomoček za shranjevanje vzorcev pod nakloni 0°, 45° in 90°.



Slika 28: Postavitve vzorcev. [4]

Na osnovi spodnje enačbe izračunamo vsebnost vode za vsak vzorec in nato izračunamo povprečno vsebnost vode glede na določeni kot.

$$\text{vsebnost vode} = \frac{M_2 - M_1}{0,01} \left[\frac{g}{m^2} \right] \quad (34)$$

Na osnovi izkušenj se deklarira za netkani material, ki bo služil za analizo vrednosti absorpcijske sposobnosti zbrane v preglednici 9. [4]

Preglednica 9: Količina absorbirane vode [4]

Naklon	Količina shranjene vode [g/m ²]
0°	1000
45°	800
90°	600

Pri sami analizi konstrukcijskega sklopa sem predpostavil, da je ta pod naklonom 0° , torej sem upošteval kot mejno absorpcijsko sposobnost netkane tekstilije 1.000 g/m^2 . Dodatno sem v diplomski nalogi predpostavil, da poteka navlaževanje in sušenje linearno s poljubno hitrostjo navlaževanja in sušenja. Dodatna predpostavka je, da se material navlažuje v 12 urnem ciklu in suši v sledečem 12 urnem ciklu. Pri čemer sem predvideval, da se konstrukcijski sklop navlažuje v obdobju nižje zunanje temperature, kjer so pričakovane višje temperaturne razlike med zunanjo in notranjo stranjo konstrukcijskega sklopa. Obdobju navlaževanja sledi 12 urno obdobje sušenja v obdobju z višjo zunanjo temperaturo, ko se lahko pričakuje, da bo temperaturna razlika v prid sušenju bolj verjetna. Torej sem vse vhodne temperaturne podatke razdelil na 12 uro obdobje z višjo temperaturo in 12 urno obdobje z nižjo temperaturo znotraj enega dneva. Zaradi predpostavk lahko pride do odstopanja rezultatov od realnosti.

Model računanja količine kondenza in tej količini kondenza pripadajoče notranje temperature T_n

V prvi fazi sem določil vhodne podatke in robne pogoje pri katerih sem analiziral konstrukcijski sklop. Parametri, ki sem jih obravnaval so: zunanji temperaturno vlažnostni pogoji, notranji temperaturno vlažnostni pogoji, temperaturna razlika med notranjo in zunanjo stranjo konstrukcijskega sklopa in količino kondenza v netkani tekstiliji.

V nadaljevanju sem podrobneje opisal sam postopek izračuna količine kondenza in izračuna temperature zraka na notranji strani konstrukcijskega sklopa. Kot sem že zapisal v teoretičnem delu diplomske naloge je količina tvorjenega kondenza odvisna od temperaturne razlike med zrakom na notranji strani konstrukcijskega sklopa in samo površino na notranji strani konstrukcijskega sklopa. V izračunih sem upošteval, da je temperatura površine na notranji strani konstrukcijskega sklopa enaka zunanji temperaturi, torej sem upošteval bolj kritično temperaturo. To predpostavko sem opravičil z dejstvom, da pločevina nima bistvenih toplotno izolativnih lastnosti. Za izračun količine kondenza po Glaserjevi metodi potrebujemo še podatke o temperaturi in vlažnosti zraka na notranji strani konstrukcijskega sklopa. Ker je v diplomski nalogi, kot izhodišče služila netkana tekstilija z znano absorpcijsko sposobnostjo je zanimivo vprašanje pri katerih temperaturno vlažnostnih pogojih je netkana tekstilija še sposobna absorbirati ves nastali kondenz in s tem preprečiti kapljanje. V ta namen sem Glaserjevo metodo preoblikoval v smislu, da kot vhodni podatek uporabimo količino kondenza, ki se naj tvori v eni uri na m^2 notranje površine konstrukcijskega sklopa in iz tega določil notranjo temperaturo zraka pri predpostavljeni relativni vlažnosti zraka v notranjosti.

Torej lahko zapišemo enačbo, ki nam poda delni tlak vodne pare pri kateri se tvori izbrana količina kondenza. Enačba se glasi:

$$p_{v,delni,notranjost} = \frac{g \cdot r + 0,622 \cdot p_{v,nas,zun}}{0,622} \quad (32)$$

kjer je:

g ... izbrana količina kondenzata [g/m²h]

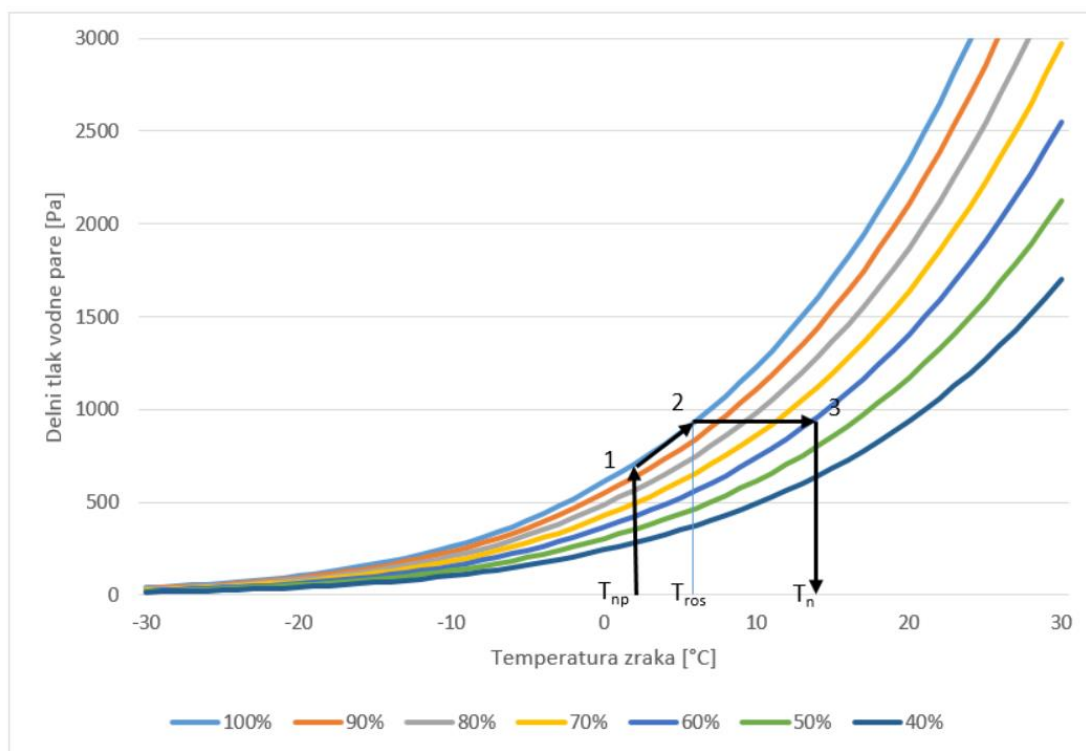
r ... upor prehoda vodne pare r [m]

$p_{v,delni,notranjost}$... delni tlak vodne pare v notranjosti pri kateri kondenzira količina kondenza g [Pa]

Iz izračunanega delnega tlaka vodne pare lahko izračunamo temu tlaku pripadajočo temperaturo in sicer iz enačbe:

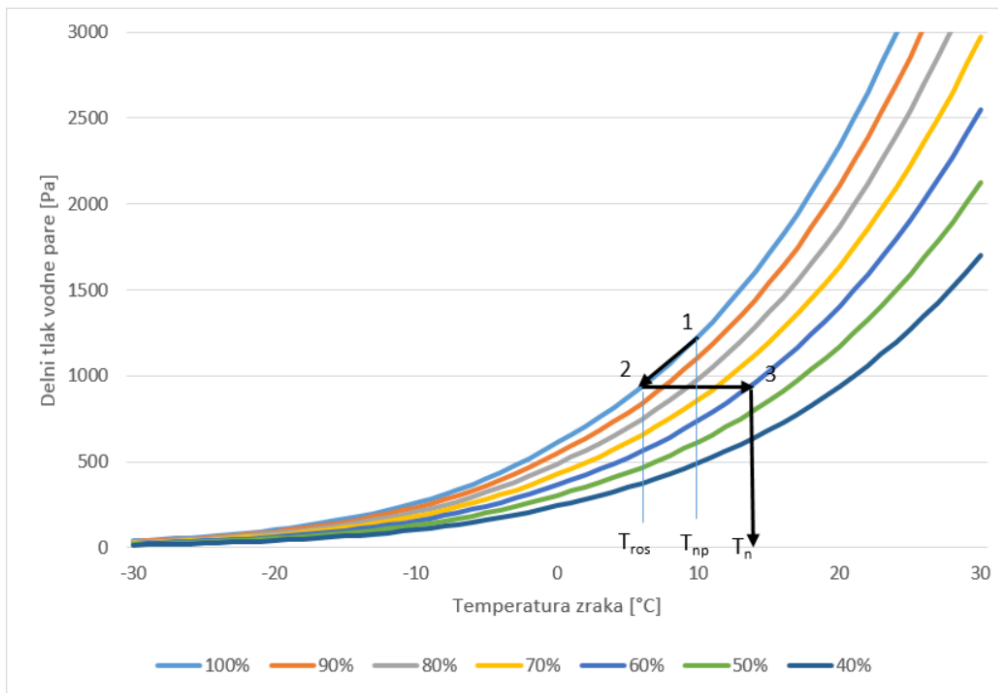
$$T_N = \frac{234,18 \cdot \ln\left(\frac{p_{v,delni,notranjost}}{611}\right)}{17,08 - \ln\left(\frac{p_{v,delni,notranjost}}{611}\right)} \quad [^{\circ}C] \quad (33)$$

Izračunana temperatura T_n predstavlja notranjo temperaturo zraka. Ta način izračuna je pomagal predvsem pri določevanju reda velikosti temperaturnih razlik pri katerih je še netkana tekstilija sposobna prevzeti nastalo količino kondenza. Za boljše razumevanje je na spodnjih dveh diagramih prikazan postopek določevanja notranje temperature v procesu navlaževanja in procesu sušenja. Kot osnova za razlago je služil graf 6 v katerem je prikazana odvisnost med temperaturo in relativno vlažnostjo zraka ter tlakom vodne pare. Na grafu 7 je prikazan proces navlaževanja. Kot že rečeno nam kot vhodni podatek služi temperatura na notranji strani konstrukcijskega sklopa (T_{np}). Na diagramu določimo tej točki pripadajoč tlak nasičenja (točka 1), nato se vzdolž krivulje nasičenja pomaknem do vrednosti tlaka pri kateri se po Glaserjevi metodi tvori izbrana količina kondenza (točka 2). Iz te točke se premaknemo po abscisni osi do krivulje z izbrano notranjo relativno vlažnostjo (točka 3). Sedaj se premaknemo vzdolž ordinate in temu relativnemu tlaku določimo pripadajočo temperaturo T_n , ki je iskana notranja temperatura. Točka 2 je enaka temperaturi rosišča T_{ros} temperature T_n . Dodatno je vidno, da je $T_{np} < T_{ros}$ torej pride do kondenzacije.



Graf 7: Proces navlaževanja.

Na grafu 8 je grafično prikazan proces sušenja. Tako kot pri procesu navlaževanja nam kot vhodni podatek služi temperatura površine na notranji strani konstrukcijskega sklopa T_{np} . Na diagramu določimo tej temperaturi pripadajoč tlak nasičenja (točka 1). Nato se po krivulji nasičenja premaknemo vrednosti tlaka pri kateri se po Glaserjevi metodi posuši izbrana količina kondenza (točka 2). Iz te točke se vzdolž abscise premaknemo do krivulje z izbrano relativno vlažnostjo (točka 3). Sedaj se premaknemo vzdolž ordinate in temu delnemu tlaku vodne pare določimo pripadajočo temperaturo, ki predstavlja temperaturo zraka T_n na notranji strani konstrukcijskega sklopa. Točka 2 je enaka temperaturi rosišča T_{ros} temperature T_n . Dodatno je vidno, da je $T_{np} > T_{ros}$ torej lahko sklepamo, da pride do sušenja.



Graf 8: Proces sušenja.

Po določitvi okvirnih temperaturnih mej s prilagojeno Glaserjevo metodo sem uporabil še klasično Glaserjevo metodo za določevanje tvorjene količine kondenza. V poglavju kjer so analizirani izračuni je navedeno kateri način izračuna je bil uporabljen in zakaj je bil uporabljen.

Izračuni in rezultati

Izračun notranjih temperatur na osnovi povprečnih mesečnih temperaturnih podatkov

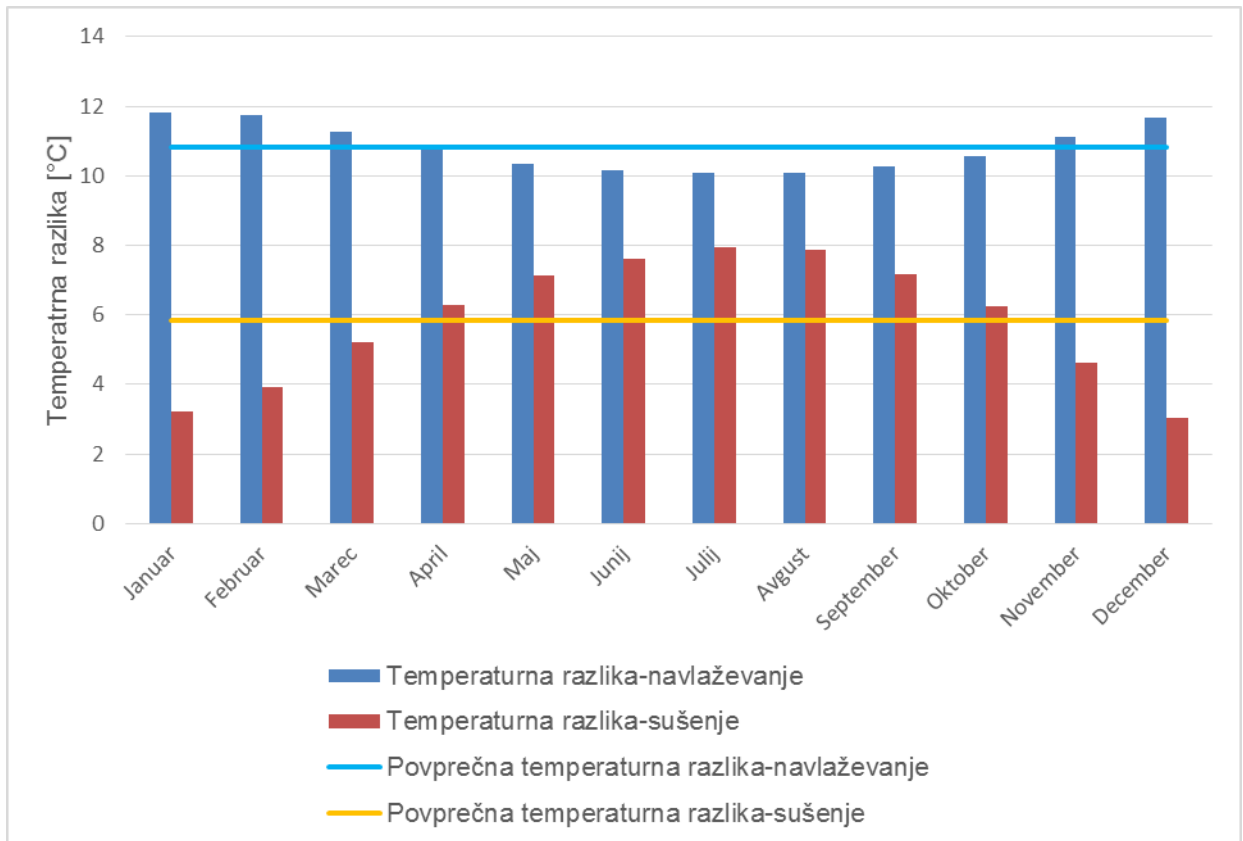
V prvem koraku sem izračunal dopustne temperaturne razlike med notranjo in zunanjo stranjo v ciklu navlaževanja in v ciklu sušenja na osnovi povprečnih mesečnih temperatur za Ljubljano za obdobje 1981-2010 [14]. Pri tem je povprečna mesečna nižja temperatura bila upoštevana v 12 urnem dnevnem obdobju navlaževanja in povprečna mesečna višja temperatura v 12 urnem obdobju sušenja. Notranjo temperaturo zraka sem opravil s prilagojeno Glaserjevo metodo tako, da sem predpostavil, da se netkana tekstilija v 12 urnem ciklu navlaži do absorpcijske meje (1.000 g/m^2) in se v sledečem 12 urnem ciklu sušenja popolnoma posuši torej je netkani tekstilija pred naslednjim ciklom navlaževanja popolnoma suha. Predpostavljena relativna vlažnost zraka notranjega prostora je 60%. Iz tako izračunane notranje temperature zraka sem nato izračunal temperaturno razliko med zunanjo in notranjo stranjo konstrukcijskega sklopa. Rezultati so predstavljeni v spodnji preglednici v kateri nižja zunanja temperatura predstavlja izhodišče za cikel navlaževanja in višja zunanja temperatura izhodišče za cikel sušenja.

Preglednica 10: Temperaturne razlike določene na osnovi povprečnih mesečnih temperatur

Mesec	Zunanja Temperatura [°C]	Izračunana kritična notranja temperatura za nastanek kondena [°C]	ΔT [°C]
Januar	-2,5	9,32	11,82
	3,4	6,62	3,22
Februar	-2	9,76	11,76
	6,4	10,33	3,93
Marec	1,7	12,98	11,28
	11,4	16,6	5,2
April	5,8	16,54	10,74
	16,1	22,37	6,27
Maj	10,3	20,65	10,35
	21,4	28,55	7,15
Junij	13,7	23,86	10,16
	24,6	32,21	7,61
Julij	15,5	25,59	10,09
	27,3	35,26	7,96
Avgust	15,2	25,3	10,1
	26,7	34,58	7,88
September	11,5	21,77	10,27
	21,6	28,78	7,18
Oktober	7,7	18,25	10,55
	15,9	22,13	6,23
November	2,8	13,92	11,12
	8,8	13,43	4,63
December	-1,1	10,56	11,66
	3,8	6,82	3,02

Za lažjo interpretacijo rezultatov sem podatke predstavil še na grafu 9 na katerem so zbrane povprečna mesečna temperaturna razlika med notranjo in zunanjo stranjo obravnavanega konstrukcijskega sklopa v obdobju navlaževanja in povprečna mesečna temperaturna razlika med notranjo in zunanjo stranjo konstrukcijskega sklopa v obdobju sušenja. Dodatno je na grafu navedena še povprečna letna temperaturna razlika za cikel navlaževanja in povprečna letna temperaturna razlika za cikel sušenja. Iz grafa je razvidno, da so v obdobju navlaževanja dopustne večje temperaturne razlike, kot v obdobju sušenja, kar lahko razložimo z dejstvom, da se v ciklu navlaževanja pomaknemo po krivulji nasičenja na grafu 7

navzgor. V ciklu sušenja pa ravno obratno in se pomaknemo po krivulji nasičenja navzdol. Iz grafa je opazen tudi trend, da so v mesecih z višjim temperaturnim nivojem dopustne višje temperaturne razlike v ciklu sušenja. Torej kljub temu, da se upošteva pri vsakem mesecu enaka tlačna razlika pride do različnih temperaturnih razkorakov. To lahko razložimo na osnovi grafa 6 v katerem je vidno, da se z višanjem nivoja temperatur višajo tudi pripadajoči tlaki. Dodatno opazimo, da tem višja je vrednost tlaka, tem večji so temperaturni prirastki med posameznimi stopnjami relativne vlažnosti.



Graf 9: Temperaturne razlike izračunane na osnovi mesečnih povprečnih temperatur.

Podrobna analiza mesecev Februar, Maj, Avgust in Oktober

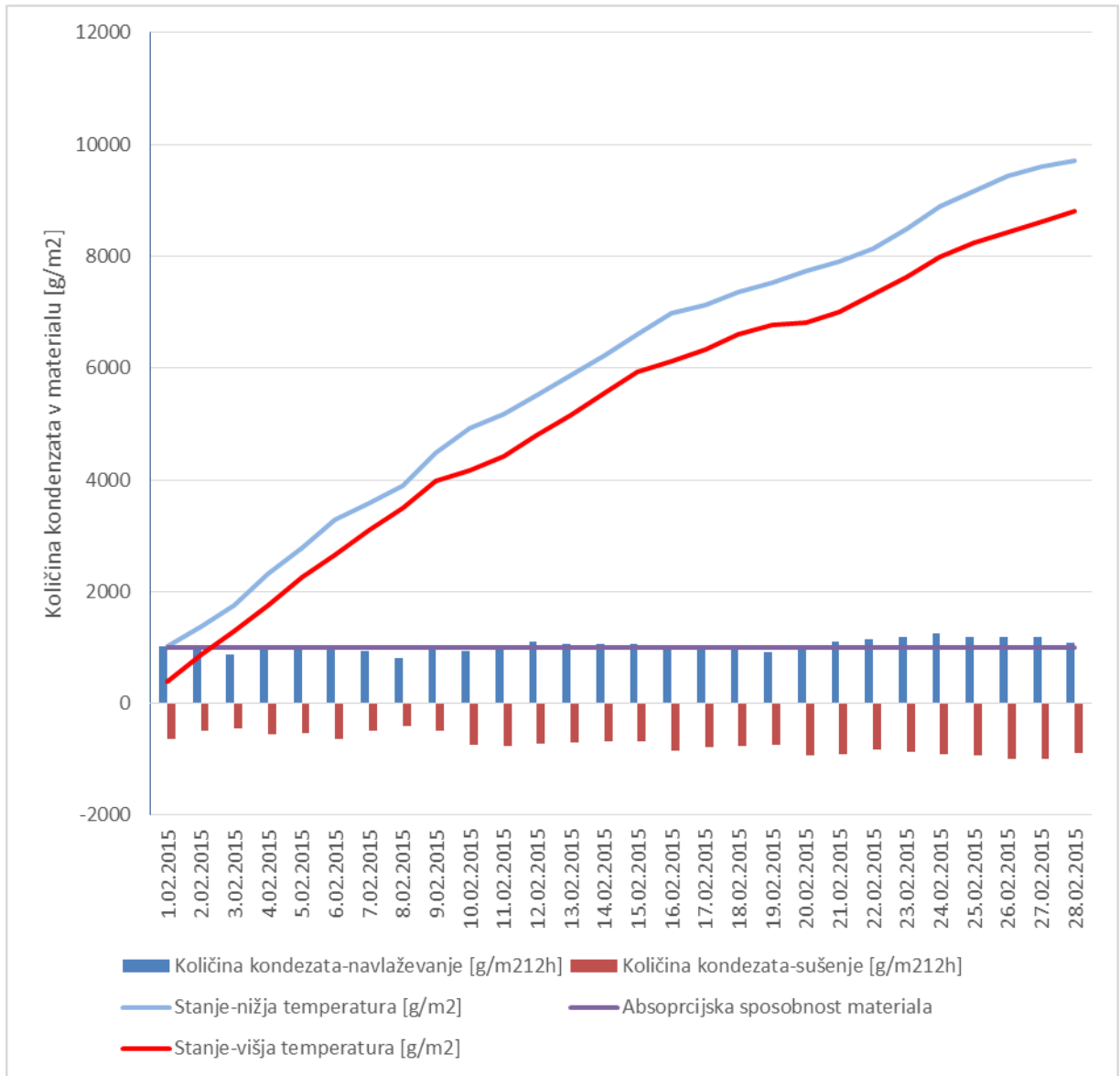
Ker lahko dejanski dnevni temperaturni potek občutno odstopa od povprečnih mesečnih temperatur sem zgoraj izračunane mesečne povprečne temperaturne razlike preveril ob upoštevanju bolj detajlnih temperaturnih podatkih za 1 poljubno izbrani mesec v vsakem letnem času. Bolj podrobno sem obravnaval mesece Februar, Maj, Avgust in Oktober. Upošteval sem temperaturne podatke za Ljubljano za leto 2015 [15] pri čemer sem na osnovi urnih temperaturnih podatkov za posamezen dan določil nižjo povprečno temperaturo v nočnem obdobju in višjo povprečno temperaturo v dnevnem času posameznega dneva. Predpostavil sem, da pride v 12 urnem ciklu z nižjo povprečno temperaturo do navlaževanja

in 12 urnem obdobju z višjo povprečno temperaturo do sušenja. V nadaljevanju so predstavljene podrobnejše analize posameznih mesecev.

V prvem koraku služijo kot vhodni podatki povprečna dnevna nižja in povprečna dnevna višja temperatura. Notranja temperatura je določena na osnovi temperaturne razlike izračunane v predhodnem poglavju za obdobje sušenja in obdobje navlaževanja. Za izračun količine kondenza, ki se tvori kot posledica teh temperaturno vlažnostnih pogojev sem uporabljal Glaserjevo metodo. Na spodnjih grafih je s stolpcem prikazana količina kondenza, ki se tvori v 12 urnem obdobju navlaževanja in količina, ki se v 12 urnem obdobju posuši. S horizontalno črto je predstavljena absorpcijska sposobnost materiala. Obe naraščajoči črti predstavljata količino kondenza v materialu in sicer višja krivulja prikazuje stanje v materialu po dnevnem obdobju navlaževanja in nižja krivulja po obdobju sušenja. V obdobju sušenja je pomembno, da se tudi v primeru, ko se teoretično posuši več kot 1.000 g/m^2 upošteva samo vrednost sušenja 1.000 g/m^2 , saj je ta vrednost predpostavljena sposobnost sušenja materiala.

Februar

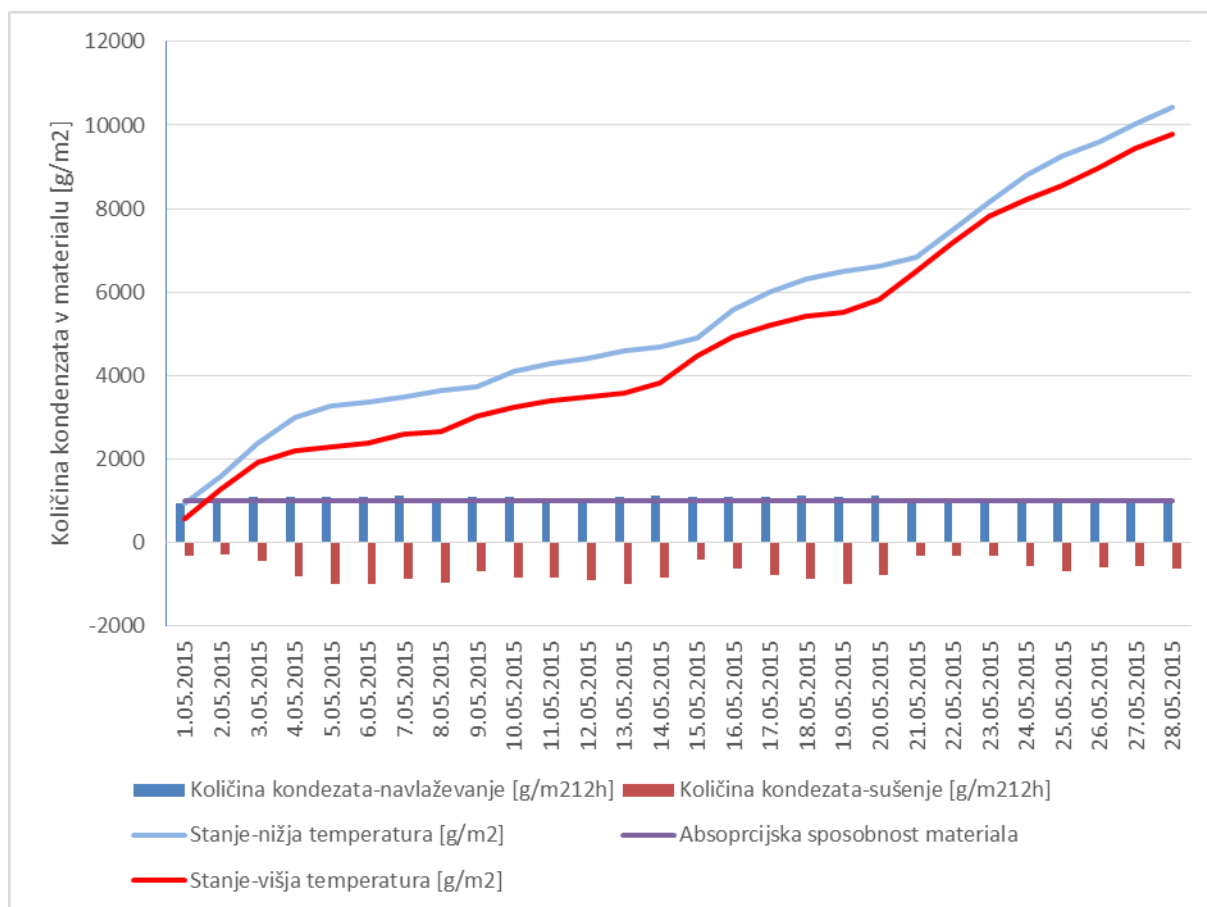
Iz rezultatov izračuna za Februar, ki so prikazani v na grafu 10 je razvidno, da je absorpcijska sposobnost materiala prekoračena že tekom prvega dneva v mesecu. To pomeni, da bi prišlo do kapljanja že prvi dan v mesecu, torej je temperaturna razlika izračunana na osnovi povprečnih mesečnih temperatur previsoka. Sicer je na grafu vidno, da absorpcijska sposobnost materiala v dnevnem ciklu navlaževanja večinoma ni presežena, vendar je sama akumulacija kondenza iz dneva v dan prevelika oziroma se material tekom cikla sušenja suši premalo. Na koncu meseca bi teoretično bilo v netkani tekstiliji shranjeno pribl. 8.500 g/m^2 kondenza.



Graf 10: Količina kondenza Februarja pri ob upoštevanju mesečne povprečna temperaturne razlike.

Maj

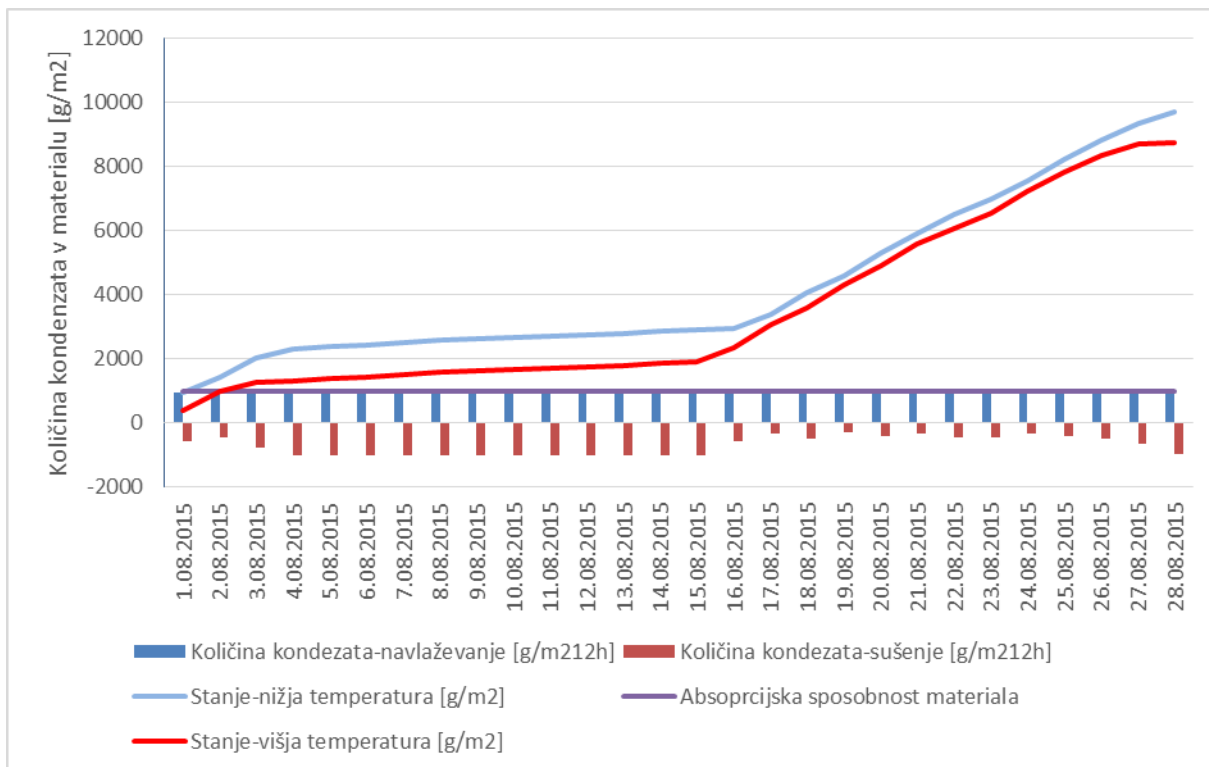
Na grafu 11 je vidno, da tudi v mesecu Maju pride do prekomerne kondenzacije. Netkana tekstilija doseže absorpcijsko mejo tekom drugega dneva v obdobju navlaževanja. Tako kot v mesecu Februarju je absorpcijska sposobnost netkane tekstilije na dnevnem nivoju presežena izjemoma, vendar je akumulacija kondenza iz dneva v dan prevelika. Na koncu meseca bi se teoretično v netkani tekstiliji nabralo skoraj 10.000 g kondenza na m².



Graf 11: Količina kondenza v Maju pri ob upoštevanju mesečne povprečne temperaturne razlike.

Avgust

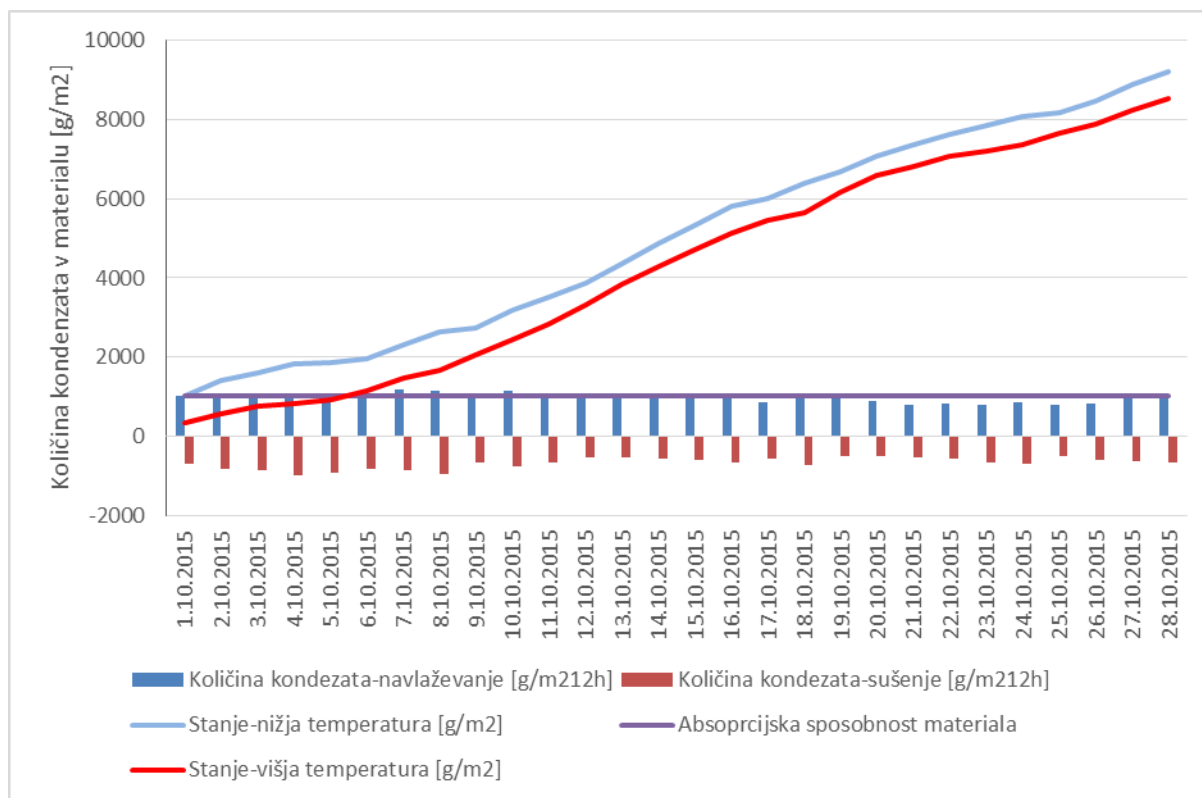
Tudi v mesecu Avgustu (graf 12) bi bila presežena absorpcijska sposobnost materiala v začetku meseca. V primerjavi s Februarjem in Majem je opazno, da je prisotno več sušenja, vendar je vseeno v netkani tekstiliji prevelika količina kondenza. V drugi polovici meseca pride do zmanjšanja nivoja sušenja in posledično teoretična količina kondenzata v netkanem tekstilu proti koncu meseca občutno naraste. Na koncu meseca je teoretično dosežena količina kondenza v netkani tekstiliji pribl. 8.500 g/m².



Graf 12: Količina kondenza v Avgustu ob upoštevanju mesečne povprečna temperaturne razlike.

Oktober

Tako kot v vseh do sedaj obravnavanih mesecih bi tudi v Oktobru bila absorpcijska sposobnost materiala presežena na začetku meseca. Tudi v Oktobru je vidno, da je v enem dnevu absorpcijska sposobnost netkane tekstilije presežena redko, vendar je tudi v tem primeru akumulacija do konca meseca prevelika. Na koncu meseca bi se v materialu teoretično akumuliralo preko 8.000 g kondenza na m².



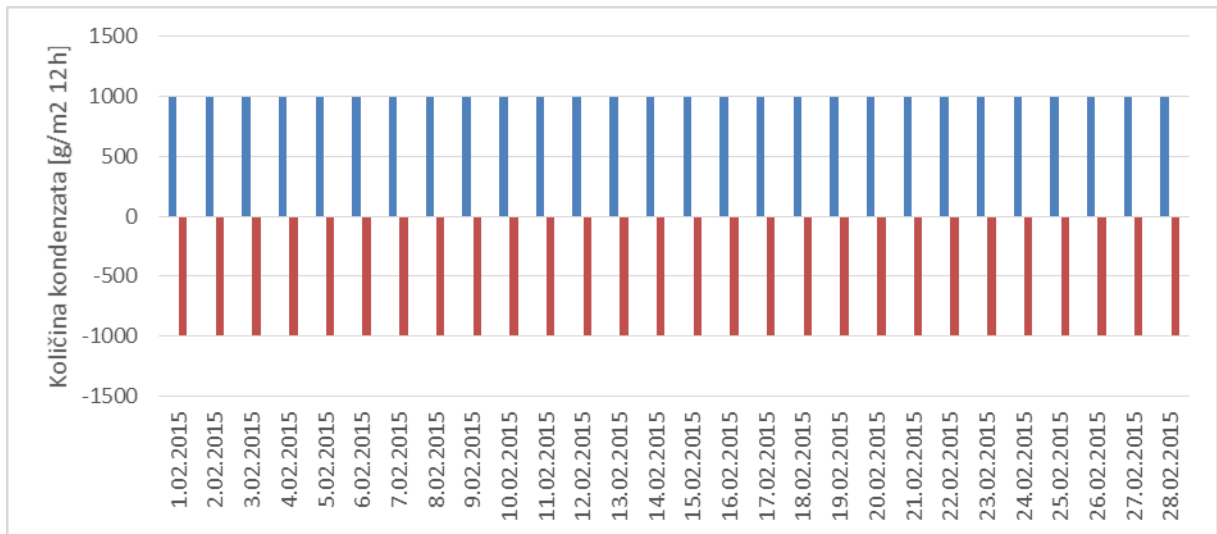
Graf 13: Količina kondenza v Oktobru ob upoštevanju mesečne povprečna temperaturne razlike.

Skupni komentar grafov št. 10, 11, 12 in 13

Iz rezultatov je vidno, da je bila analiza s podrobnejšimi temperaturnimi podatki bila upravičena. Vzrok za prekomerno količino kondenza v netkani tekstiliji lahko pripišemo odstopanju dnevnih povprečnih temperatur navlaževanja in sušenja od povprečnih mesečnih temperatur uporabljenih v predhodnem poglavju.

Izračun T_n na osnovi podrobnih temperaturnih podatkov

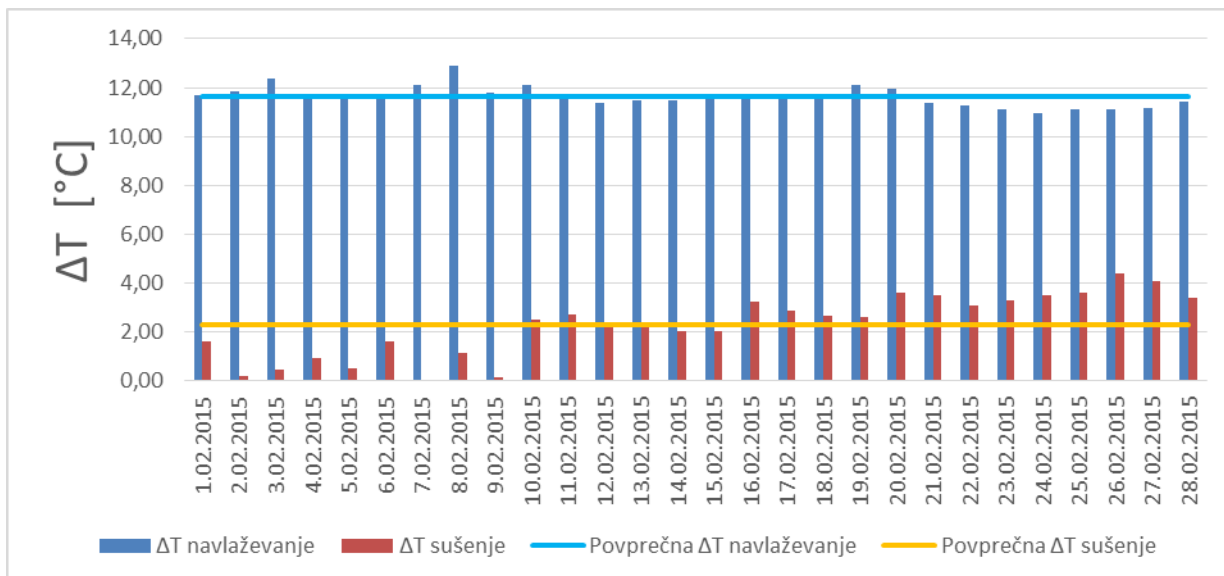
Za določitev povprečne dovoljene temperaturne razlike je bilo potrebno obravnavati bolj podrobne vhodne temperaturne podatke. V nadaljevanju sem s pomočjo prilagojene Glaserjeve metode določil dnevno temperaturno razliko v obdobju navlaževanja tako, da kondenzira 83 g/m² kondenzata na uro in temperaturno razliko v obdobju sušenja tako, da se posuši 83 g/m² v eni uri. Torej je v netkani tekstiliji po vsakodnevem 12 urnem ciklu sušenja pribl. 1.000 g/m² kondenza in po 12 urnem ciklu sušenja je netkana tekstilija popolnoma suha. Za lažjo predstavo je na spodnjem grafu 14 prikazan cikel navlaževanje-sušenje za mesec Februar.



Graf 14: Cikel navlaževanja-sušenja Februar.

Februar

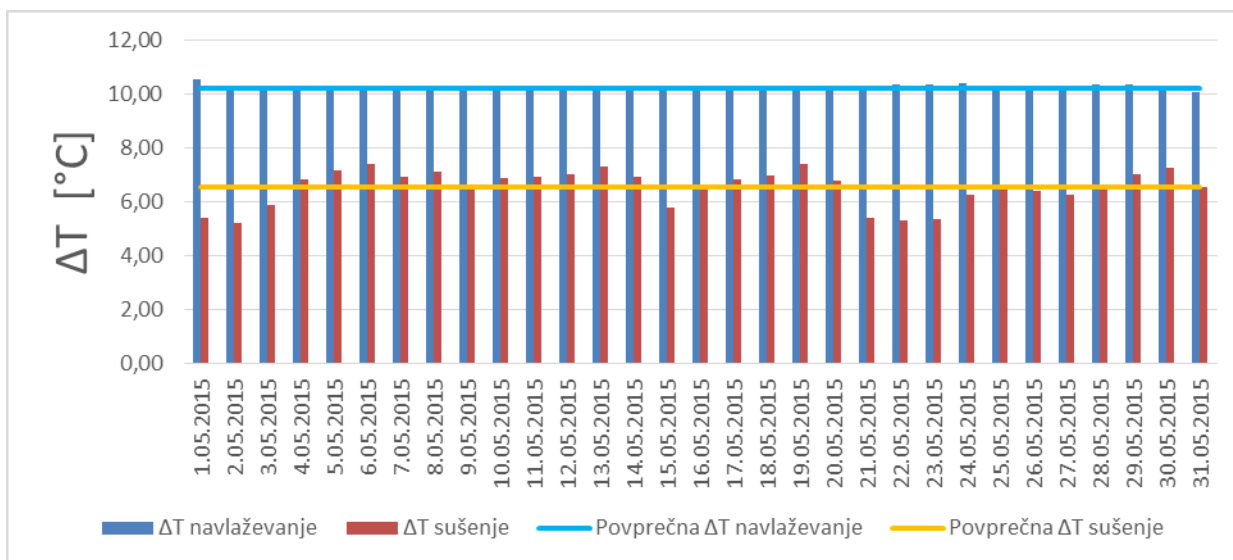
Na grafu 15 je s stolpci prikazana dnevna temperaturna razlika med T_{np} (temperatura notranje površine) in T_n (temperatura zraka v notranjosti) v obdobju navlaževanja in v obdobju sušenja. Z modro črto je označena povprečna temperaturna razlika v obdobju navlaževanja in z rumeno črto povprečna temperaturna razlika v obdobju sušenja. Tako kot v poglavju 4.6.1 opazimo, da je povprečna temperaturna razlika v obdobju navlaževanja večja kot v obdobju sušenja. Ta pojav si lahko razlagamo na osnovi grafov 7 in 8, kjer je vidno, da mora biti v obdobju navlaževanja notranja temperatura T_n tako visoka, da je T_{np} nižja od temperature rosišča T_n in to toliko, da se tvori izbrana količina kondenza. Za razliko obdobju sušenja je T_{np} višja od temperature rosišča in je posledično temperaturna razlika med T_{np} in T_n manjša. Dodatno je iz grafikon razvidno, da sta obe ΔT manjši, kot pri izračunu na osnovi povprečnih mesečnih temperatur.



Graf 15: Februar ΔT navlaževanje-sušenje

Maj

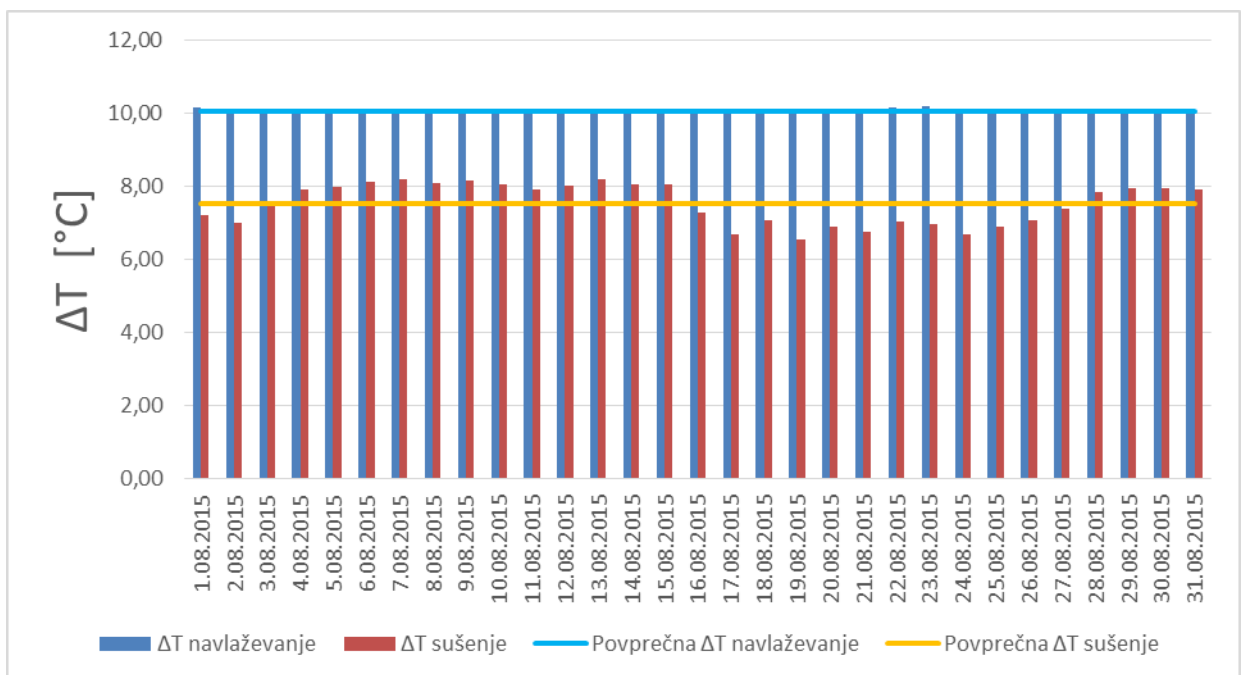
Na grafu 16 je vidno, da je tako kot za mesec Februar izračunana povprečna temperaturna razlika v obdobju navlaževanja višja kot povprečna temperaturna razlika v obdobju sušenja. Prav tako sta obe povprečni temperaturni razliki manjši kot temperaturni razliki izračunani na osnovi povprečnih mesečnih temperatur.



Graf 16: Maj ΔT navlaževanje-sušenje.

Avgust

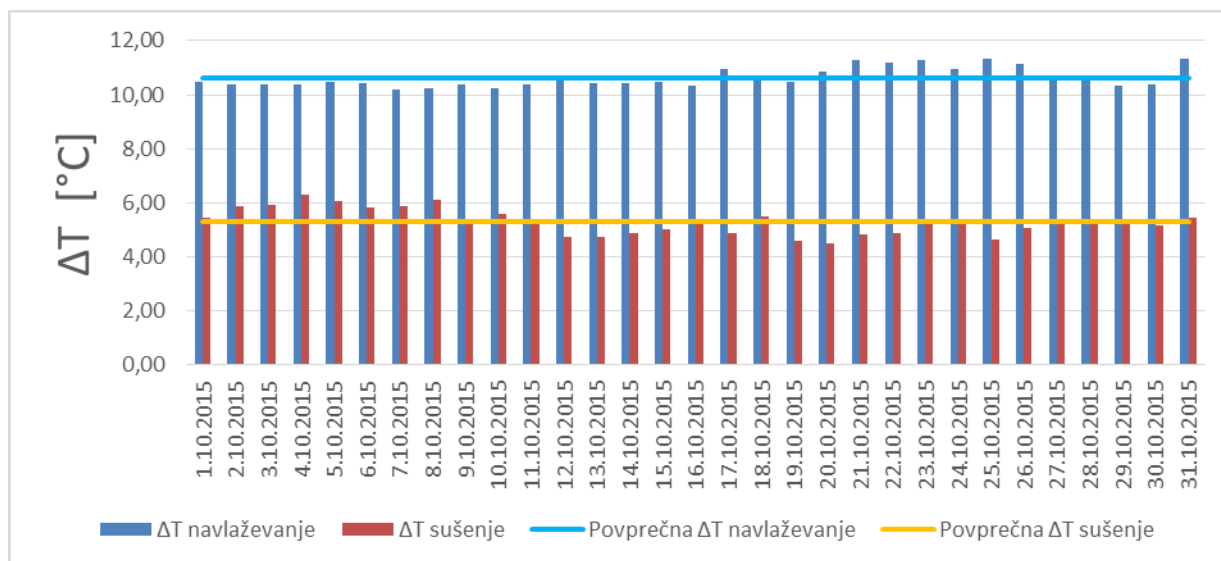
Tudi v mesecu Avgustu lahko potrdimo opažanja iz predhodnih dveh mesecev (graf 17). Izračunana povprečna temperaturna razlika v obdobju navlaževanja je višja kot povprečna temperaturna razlika v obdobju sušenja in obe povprečni temperaturni razliki sta manjši kot temperaturni razliki izračunani v prvem poglavju. Opazimo, da je tako kot v prvem poglavju temperaturna razlika v obdobju sušenja razmeroma visoka v primerjavi z predhodno analiziranimi mesecema. Tako kot v prvem poglavju to lahko pripišemo razlagi višjemu temperaturnemu nivoju v mesecu Avgustu.



Graf 17: Avgust ΔT navlaževanje-sušenje.

Oktober

Za razliko od preostalih obravnavanih mesecev je v Oktobru povprečna temperaturna razlika v obdobju navlaževanja praktično enaka temperaturni razliki izračunani v prvem poglavju. To lahko pripišemo dejstvu, da je povprečna nižja mesečna temperatura iz poglavja 4.6.1 praktično enaka izračunani povprečni nižji temperaturi izračunani na osnovi dnevnih podatkov o temperaturah. Povprečna temperaturna razlika v obdobju sušenja pa je tako kot v ostalih mesecih nižja.



Graf 18: Oktober ΔT navlaževanje-sušenje.

Skupni komentar grafov 15, 16, 17 in 18

Pri vseh grafih, razen v ciklu navlaževanja v mesecu Oktobru je bila povprečna mesečna temperaturna razlika manjša tako v obdobju navlaževanja, kot v obdobju sušenja. Sledi izračun količine kondenza na osnovi izračunanih povprečnih temperaturnih razlik v 4.6.3.

Izračun količine kondenzata na osnovi povprečnih temperaturnih razlik izračunanih v poglavju 4.6.3

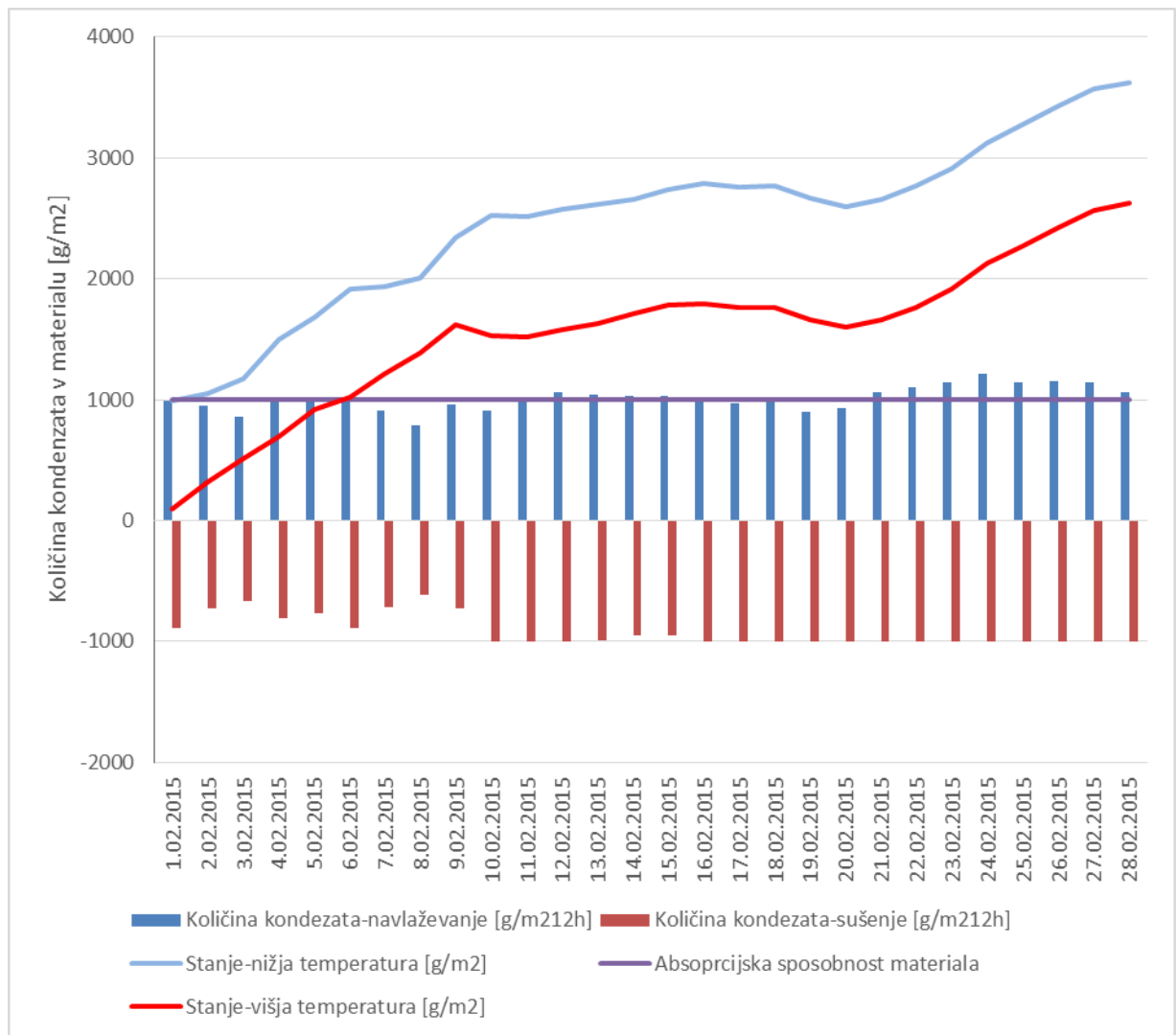
Vhodni podatki:

- Temperatura notranje površine T_{np} je enaka zunanjim povprečnim dnevnim temperaturam v ciklu navlaževanja in ciklu sušenja
- Temperatura zraka na notranji strani konstrukcijskega sklopa je določena na osnovi povprečnih temperaturnih razlik izračunanih v ciklu navlaževanja in ciklu sušenja iz poglavja 4.6.3
- Za izračun količine kondenzata je uporabljena Glaserjeva metoda

Februar

Iz grafa 19 je razvidno, da je kljub manjši temperaturni razliki med T_{np} in T_n absorpcijska sposobnost netkane tekstilije premajhna in pride do kapljanja že na začetku meseca. Zaslediti je možno enak trend kot v poglavju 4.6.2, kjer v posameznem dnevu absorpcijska sposobnost material redko presežena, vendar je akumulacija kondenza prevelika. Sredi meseca se količina kondenza, ki se posuši poveča, kar privede do stabilizacije skupne

količine kondenza v netkani tekstiliji. Konec meseca se občutno poveča količina kondenza, ki kondenzira v enem dnevu in s tem se proti koncu meseca dvigne nivo kondenza na koncu meseca. Na koncu meseca je teoretično v materialu shranjeno preko 2.500 g/m², kar je nad absorpcijsko sposobnostjo materiala. Opazimo, da je količina kondenza na koncu meseca skoraj 4 krat manjši kot v poglavju 4.6.2. Dodatno znižanje temperaturnih razlik je bilo torej koristno, čeprav bo potrebno temperaturne razlike še prilagoditi.

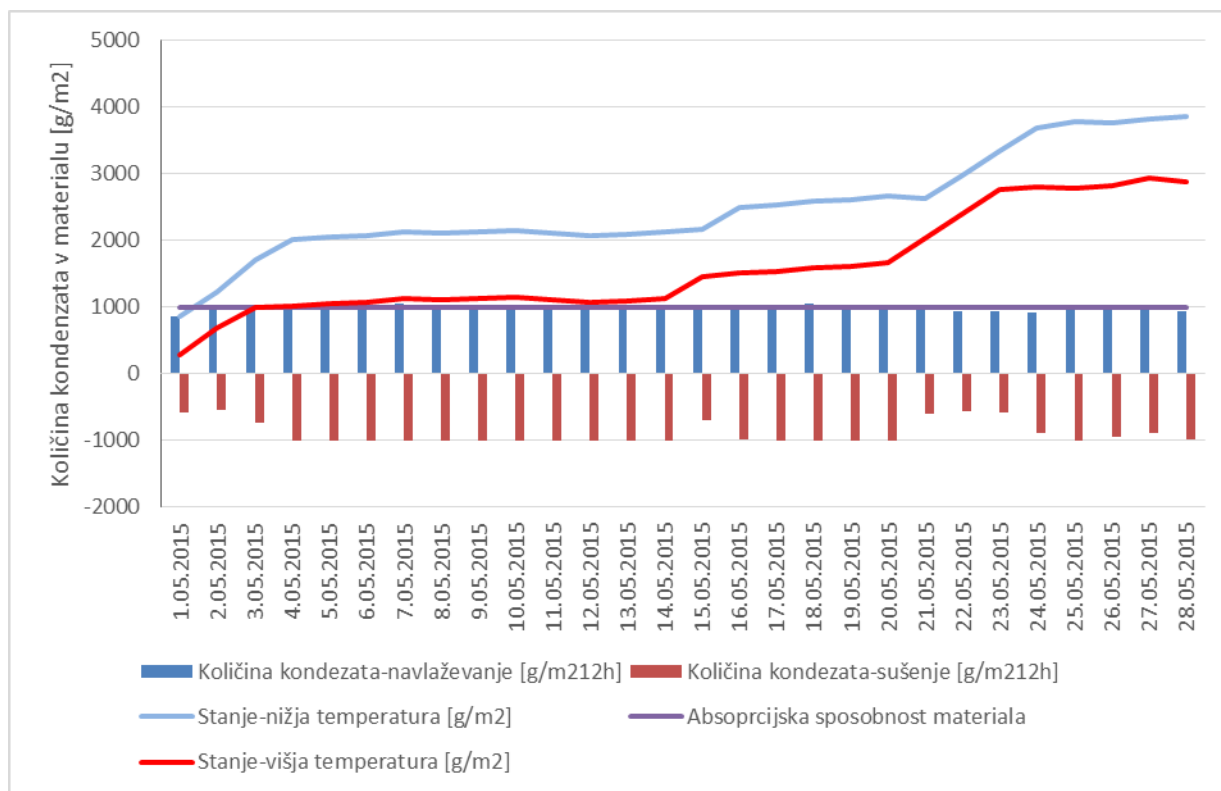


Graf 19: Količina kondenza Februar.

Maj

V grafu 20 je vidno, da pride do prekomerne tvorbe kondenza v začetku meseca in je absorpcijska sposobnost materiala presežena. Vidno je, da se v ciklu sušenja nivo kondenza zmanjša premalo. Na dnevnem nivoju absorpcijska sposobnost materiala ni bila presežena, vendar je akumulacija vseeno prevelika in netkana tekstilija je saturirana večino meseca. Na koncu meseca je teoretično v netkani tekstiliji cca. 3.000 g/m² kondenza, kar je vseeno

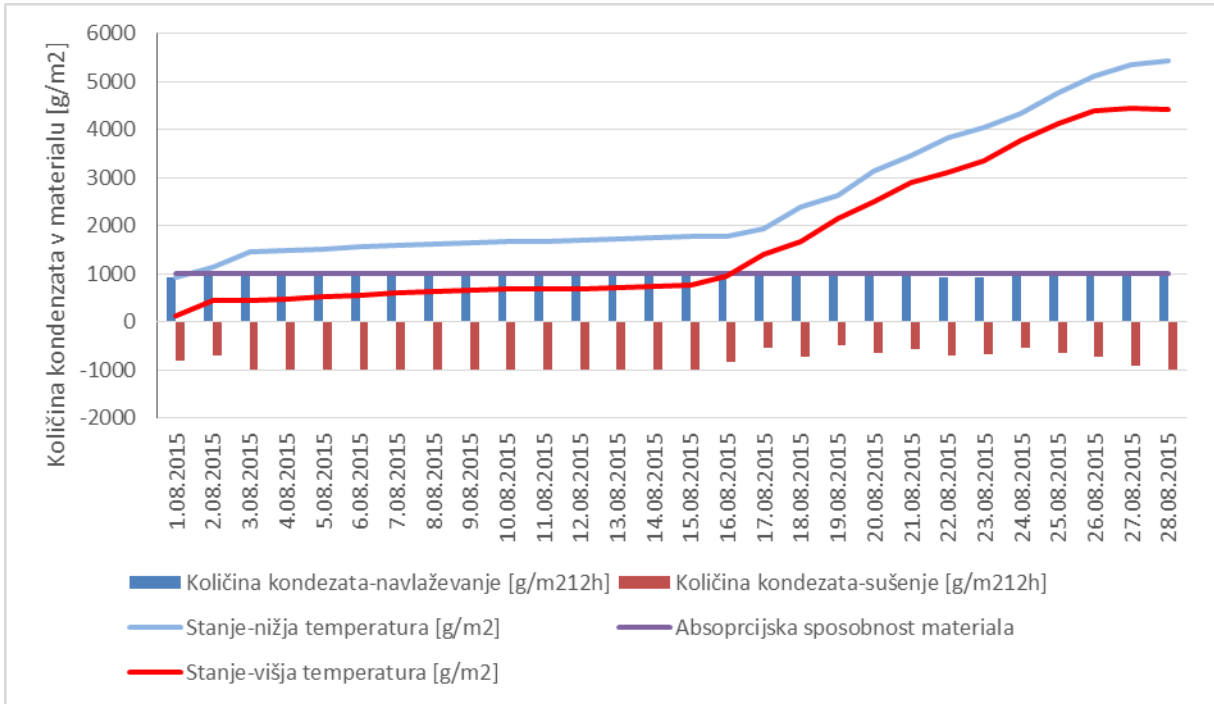
občutno manj kot v poglavju 4.6.2, torej je tudi v Maju manjša korekcija temperaturnih razlik nivo kondenza v materialu občutno znižala.



Graf 20: Količina kondenza Maj.

Avgust

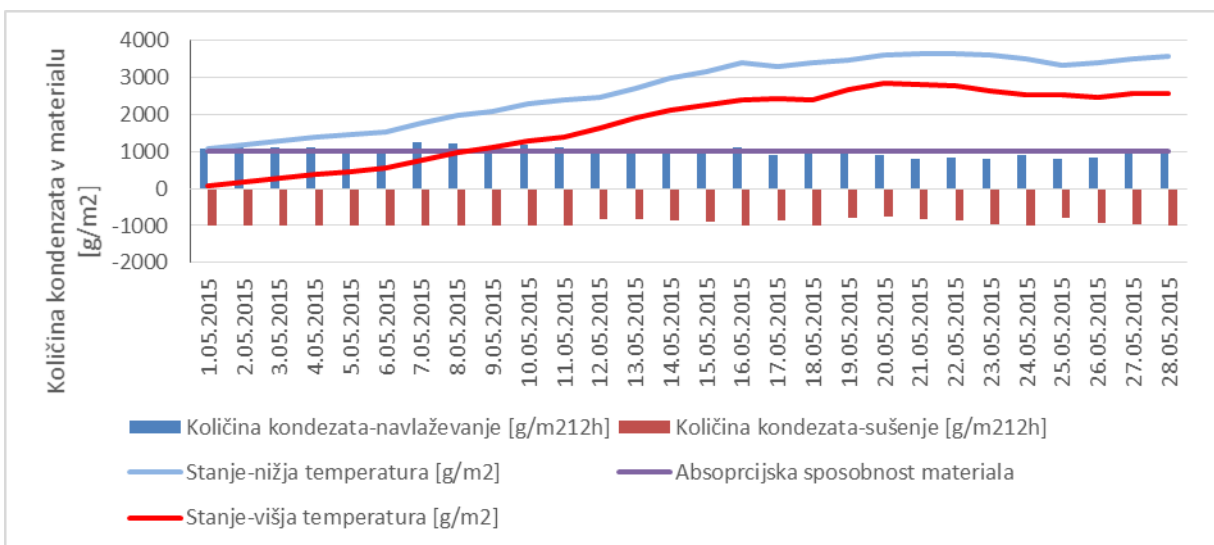
Tudi v mesecu Avgustu zasledimo (graf 21), da je absorpcijska sposobnost materiala presežena na začetku meseca. Na koncu meseca se teoretično v netkani tekstiliji nahaja cca. 4.500 g/m². Tako kot v Februarju in Avgustu je manjša prilagoditev temperaturne razlike v primerjavi z poglavjem 4.6.2 občutno znižala količinski nivo kondeza v materialu.



Graf 21: Količina kondenza Avgust.

Oktober

Tako kot v vseh mesecih do zdaj pride do prekomerne saturacije netkane tekstilije že v začetku meseca. Na koncu meseca se teoretično v netkanem tekstilu nahaja 2.500 g/m². Torej je tudi v Oktobru manjša sprememba temperaturne razlike znižala količinski nivo kondenza v materialu.



Graf 22: Količina kondenza Oktober.

Skupni komentar grafov 19, 20, 21 in 22

Pri vseh obravnavanih mesecih se je količinski nivo kondeza konec meseca zmanjšal v primerjavi s poglavjem 4.6.2. Torej se je izkazalo, da je bil račun na osnovi podrobnejših vhodnih temperaturnih podatkov smiseln. Ta korak vendarle ni prinesel ustrezne temperaturne razlike na osnovi katere bi material bil pod absorpcijsko mejo celoten mesec in posledično ne bi prišlo do kapljanja. Potrebna je dodatna prilagoditev temperaturnih razlik.

Izračun količine kondenza na osnovi kombinacije Glaserjeve metode in prilagojene

Glaserjeve metode

S predhodnimi izračuni sem se približal okviru temperaturnih razlik pri katerih bi netkana tekstilija bila sposobna zadržati nastali kondenz. Vendar še zmeraj zaradi prevelike akumulacije kondenza pride do kapljanja. V tem poglavju sem na osnovi Glaserjeve metode iterativno določil dopustno temperaturno razliko med T_{np} in T_n pri kateri je netkana tekstilija še sposobna absorbirati nastali kondenz in torej ne pride do kapljanja. Ta temperaturna razlika je označena z ΔT . Kot vhodni temperaturni podatki so služili dejanski dnevni temperaturni podatki. Temperatura T_n pa je bila določena na osnovi izbrane povprečne temperaturne razlike za obdobje sušenja in povprečne temperaturne razlike za obdobje navlaževanja. Dodatno sem v tem poglavju analiziral iz tega sledeče dnevne temperature zraka T_n na notranji strani konstrukcijskega sklopa.

Februar

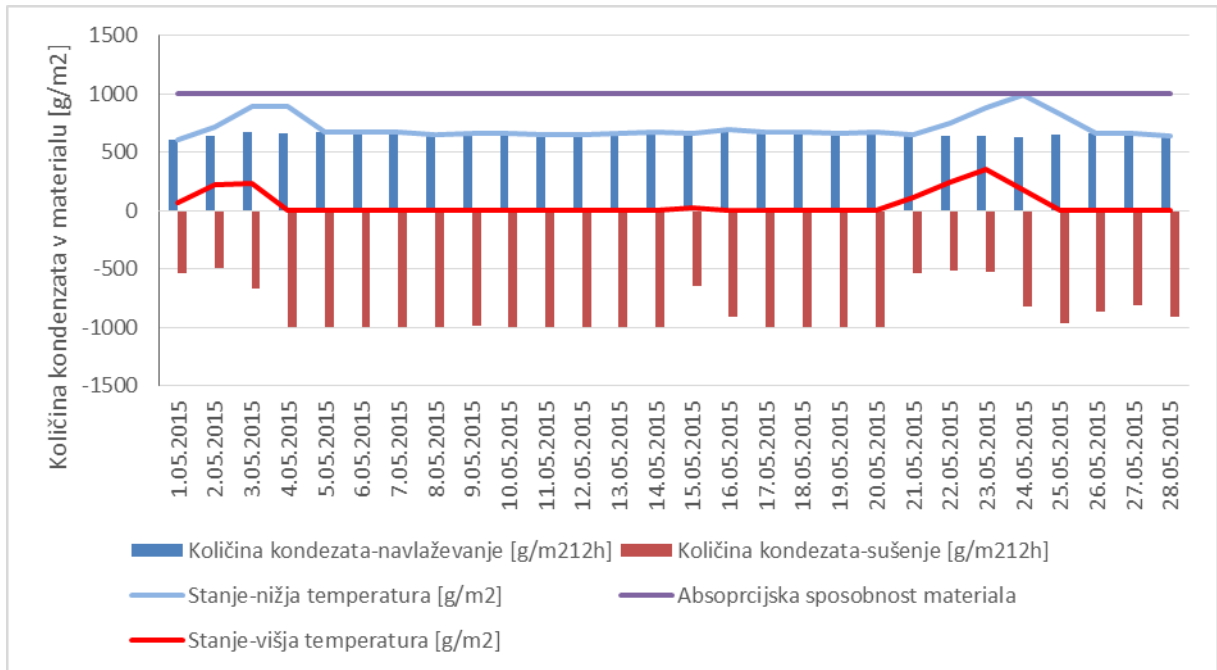
V preglednici 10 so na zgoraj opisani način določene povprečne temperaturne razlike v ciklu navlaževanja in v ciklu sušenja. Tako kot v predhodnih poglavjih je vidno, da je povprečna dopustna temperaturna razlika v ciklu navlaževanja večja kot v ciklu sušenja.

Preglednica 11: temperaturne razlike Februar 1

Temperaturna razlika Februar	
Povprečna ΔT navlaževanje [°C]	10,71
Povprečna ΔT sušenje [°C]	2,5

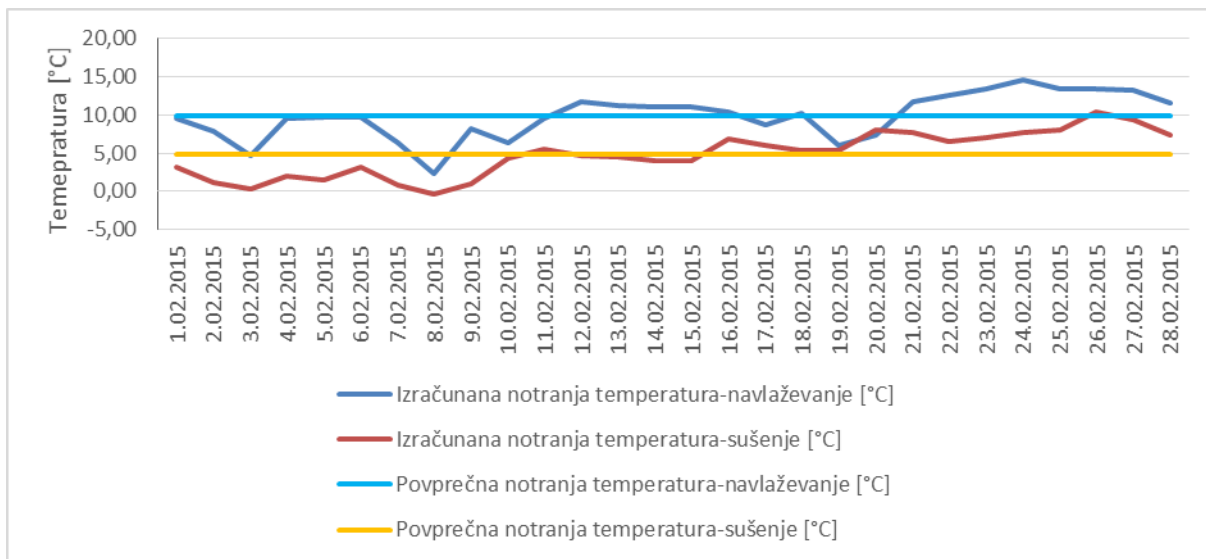
Na grafu 23 je prikazano, da je izbrana temperaturna razlika ustrezna in količina kondeza v netkani tekstiliji nikoli ne presega absorpcijske sposobnosti materiala. Maksimalna količina kondenzata v materialu je 989 g/m². Dodatno je iz grafa razvidno, da je temperaturna razlika

v obdobju sušenja izbrana tako, da se material čim bolj suši in se tem zagotovi, da je material na koncu meseca po izračunih popolnoma suh.



Graf 23: Količina kondenza Februar 1.

Dodatno je zanimivo še preveriti tem povprečnim temperaturnim razlikam pripadajoče temperature T_n v obdobju sušenja in v obdobju navlaževanja. Iz grafa 24 je razvidno, da je notranja temperatura višja v obdobju navlaževanja in nižja v obdobju sušenja. To je posledica dejstva, da sem določil maksimalne temperaturne razlike pri katerih se tvori razmeroma velika količina kondenza. Prav tako so v obdobju sušenja bile izbrane temperature pri katerih se netkana tekstilija razmeroma dobro suši in zaradi razmeroma nizkega nivoja zunanjih temperatur so dopuščene temperaturne razlike razmeroma majhne. Zaradi teoretično pravilnih, vendar v praksi razmeroma neverjetnih podatkov sem določil še maksimalne temperaturne razlike tako, da je povprečna notranja temperatura v ciklu sušenja višja kot povprečna notranja temperatura v obdobju navlaževanja.



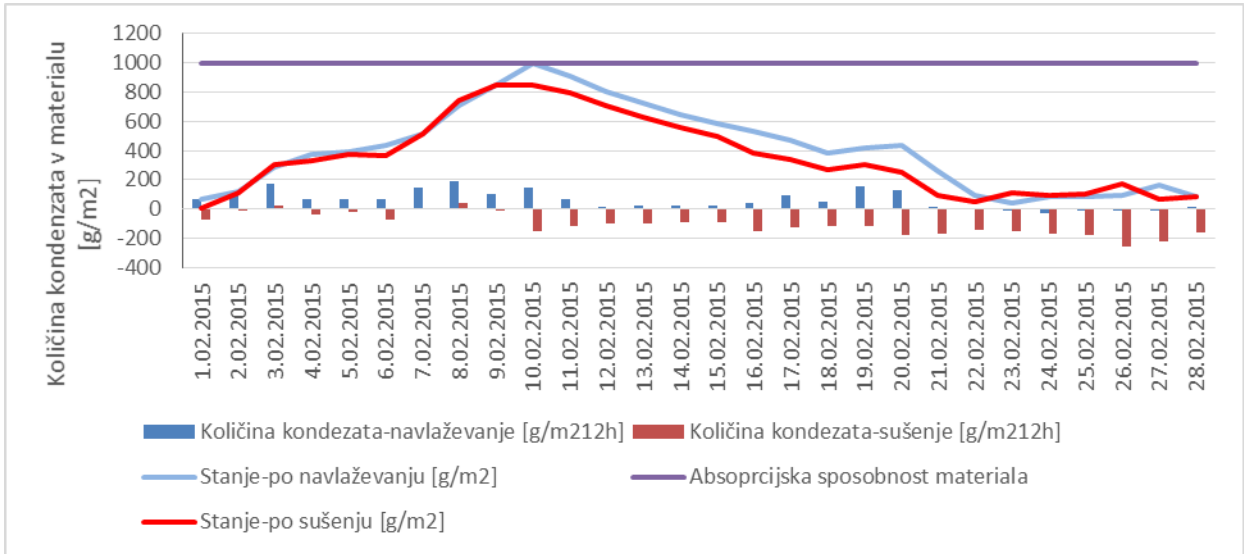
Graf 24: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Februar 1.

V preglednici 11 so zbrani podatki pri katerih je material sposoben absorbirati nastali kondenza in ne pride do kapljanja in je hkrati notranja temperatura sušenja v ciklu sušenja nad nivojem notranje temperature v ciklu navlaževanja.

Preglednica 12: Temperaturne razlike Februar 2

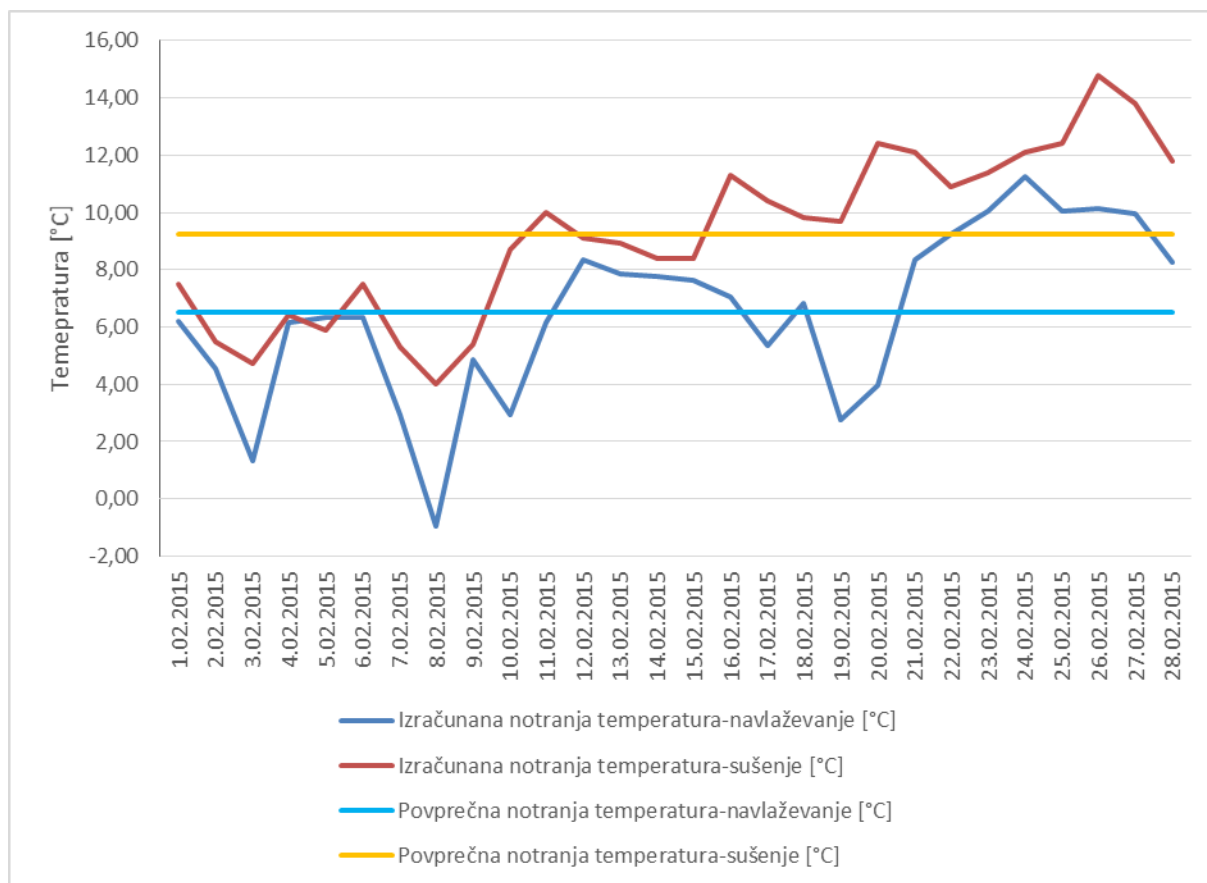
Temperaturna razlika Februar	
Povprečna ΔT navlaževanje [°C]	7,35
Povprečna ΔT sušenje [°C]	6,91

Iz grafa 25 je vidno, da je v tem primeru dnevni nivo navlaževanja mnogo manjši kot v predhodnem primeru (sedaj v povprečju 5 g/m²h; prej 65 g/m²h) in dnevni nivo sušenja je prav tako manjši (sedaj 9 g/m²h, prej 83 g/m²h). Kljub temu je v določenem trenutku stanje kondenza v netkani tekstiliji na absorpcijski meji in sicer je maksimalno stanje 996 g/m².



Graf 25: Količina kondenza Februar 2.

Na grafu 26 je vidno, da je vsakodnevna notranja temperatura v ciklu sušenja nad vsakodnevno notranjo temperaturo v ciklu navlaževanja. Izjema je samo 5.2.2015 kjer je bila zunanja temperatura konstantna, kar privede do anomalije, saj na osnovi predpostavk tudi v primeru konstantnih temperatur v enem dnevu pride do cikla navlaževanja in do cikla sušenja.



Graf 26: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Februar 2015.

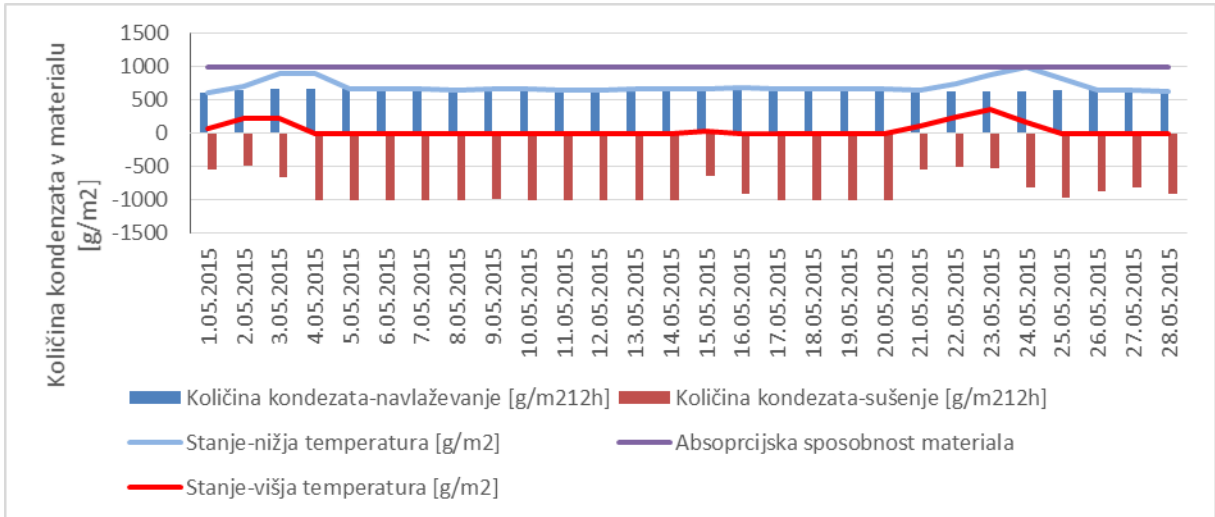
Maj

V preglednici 12 je prikazana povprečna temperaturna razlika pri kateri še je netkana tekstilija sposobna zadržati nastali kondenz. Tako kot do sedaj tudi v tem primeru opazimo, da je povprečna temperaturna razlika v ciklu sušenja višja kot povprečna temperaturna razlika v ciklu navlaževanja.

Preglednica 13: Temperaturne razlike Maj

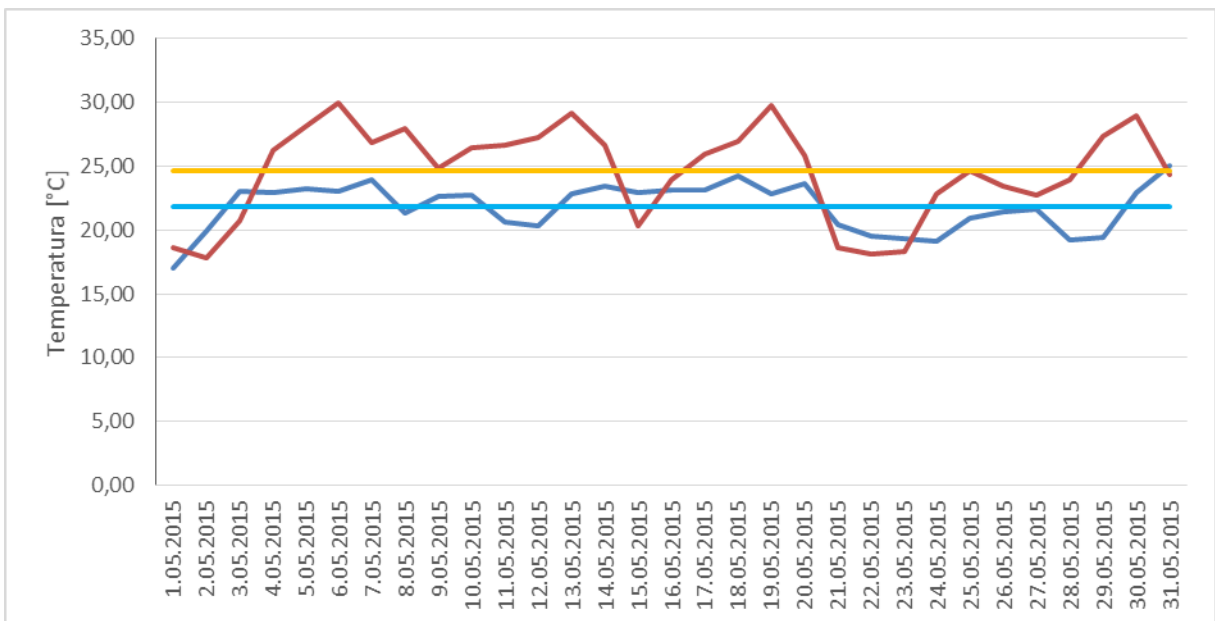
Temperaturna razlika Maj	
Povprečna ΔT navlaževanje [°C]	9,51
Povprečna ΔT sušenje [°C]	6,65

Na grafu 27 je vidno, da je pri izbranih povprečnih temperaturnih razlikah netkana tekstilija sposobna zadržati akumulirani kondenz. Maksimalna vrednost akumuliranega kondenza je 994 g/m². Dodatno je iz grafa vidno, da se material pri izbrani temperaturni razliki v ciklu sušenja večinoma popolnoma posuši.



Graf 27: Količina kondenza Maj

Na grafu 28 je vidno, da je pri izbranih povprečnih temperaturnih razlikah notranja temperatura v ciklu sušenja višja kot v ciklu navlaževanja, kar je verjetno tudi res pri realnih objektih. Tako kot v mesecu Februarju pride do odstopanja v dnevih, ko sta upoštevani zunanji temperaturi v ciklu sušenja in ciklu navlaževanja zelo podobni. Ta anomalija je kot že rečeno posledica predpostavke, da je vsak dan razdeljen na cikel navlaževanja in na cikel sušenja.



Graf 28: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Maj.

V mesecu Maju ponovno računanje povprečnih temperaturnih razlik ni potrebno, saj so že v predhodnem koraku izračunane povprečne temperaturne razlike v času navlaževanja in

sušenja podale razmeroma verjetne temperaturne podatke za notranjo stran konstrukcijskega sklopa v ciklu sušenja in ciklu navlaževanja.

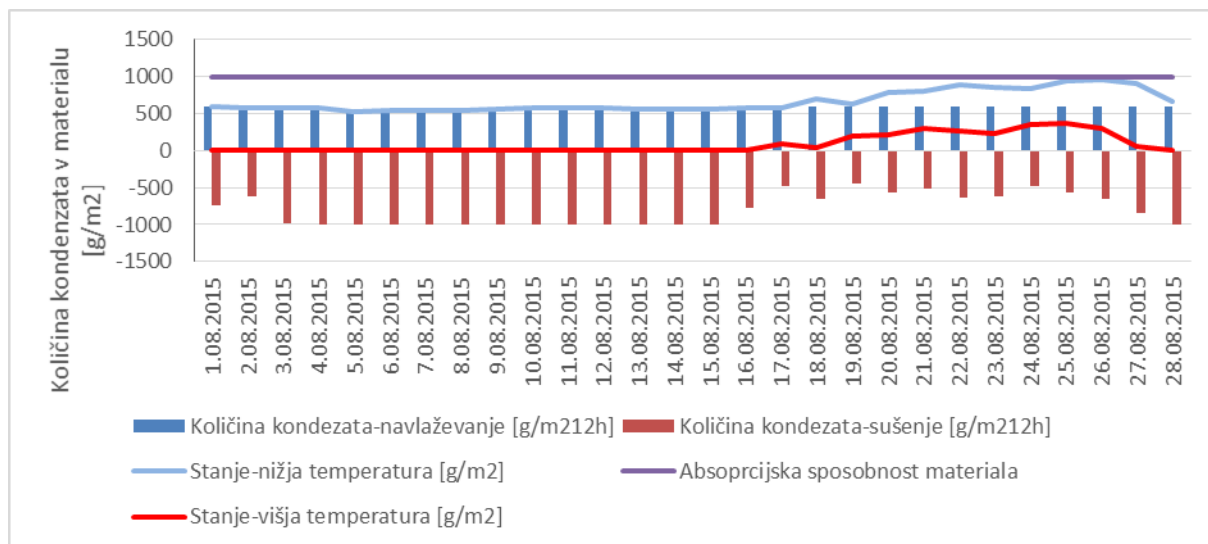
Avgust

Na spodnji preglednici je prikazana povprečna temperaturna razlika v ciklu navlaževanja in povprečna temperaturna razlika v ciklu sušenja. Tudi v mesecu Avgustu je dopustna temperaturna razlika v obdobju navlaževanja večja kot v obdobju sušenja.

Preglednica 14: Temperaturne razlike Avgust

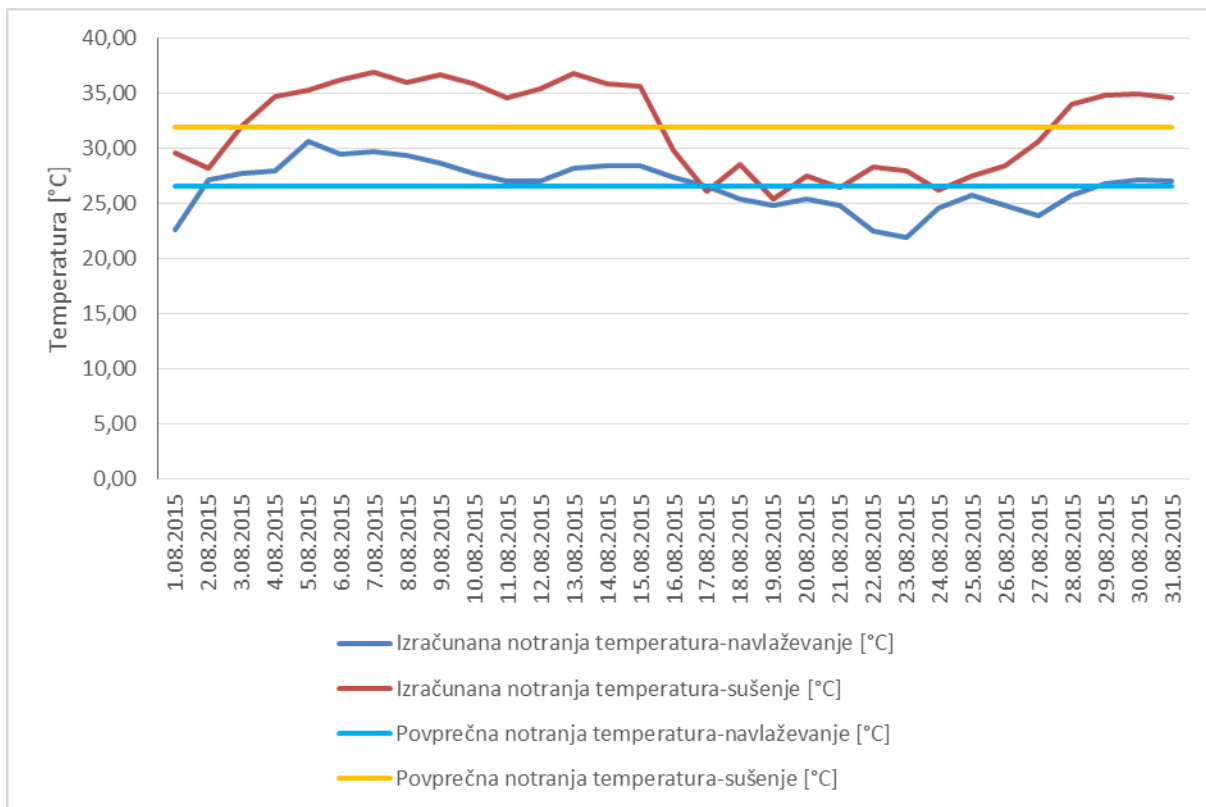
Temperaturna razlika Avgust	
Povprečna ΔT navlaževanje [°C]	9,36
Povprečna ΔT sušenje [°C]	7,61

Na grafu 29 je vidno, da absorpcijska sposobnost netkane tekstilije pri izbrani temperaturni razliki ni presežena. Maksimalna vrednost kondenza v materialu je enaka 958 g/m². Dodatno opazimo, da je bila temperaturna razlika za cikel sušenja določena tako, da je netkana tekstilija večino meseca po ciklu sušenja popolnoma suha.



Graf 29: Količina kondenza Avgust.

Na grafu 30 je vidno, da so dejanske temperature na notranji strani konstrukcijskega sklopa v ciklu sušenja višje kot so v ciklu navlaževanja kar je verjetno tudi v realnih pogojih. Do odstopanja pride tako kot v mesecu Februarju in maju samo v dnevih, ko so zunanje temperature razmeroma konstantne v ciklu navlaževanja in v ciklu sušenja.



Graf 30: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Avgust

Tako kot v mesecu Maju so določene notranje temperature v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja razmeroma verjetne in dodatno določevanje temperaturne razlike ni potrebno.

Oktober

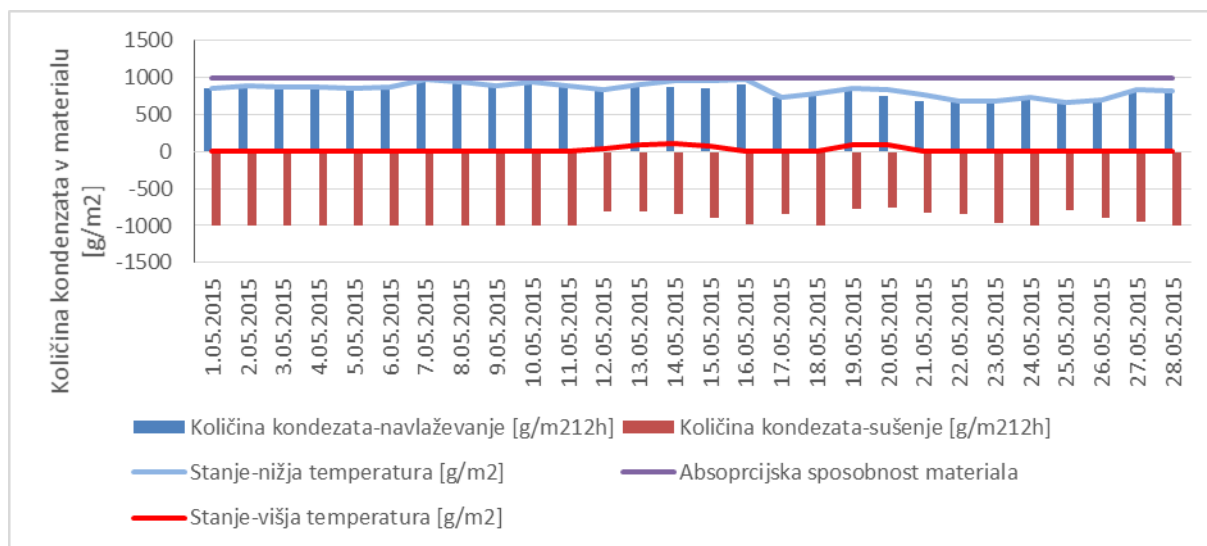
Na preglednici 15 je prikazana povprečna temperaturna razlika v ciklu navlaževanja in povprečna temperaturna razlika v ciklu sušenja. Tako kot do sedaj v vseh obravnavanih mesecih je tudi v Oktobru dopustna temperaturna razlika v obdobju navlaževanja večja kot v obdobju sušenja.

Preglednica 15: Temperaturne razlike Oktober

Temperaturna razlika Oktober	
Povprečna ΔT navlaževanje [°C]	10,12
Povprečna ΔT sušenje [°C]	5,36

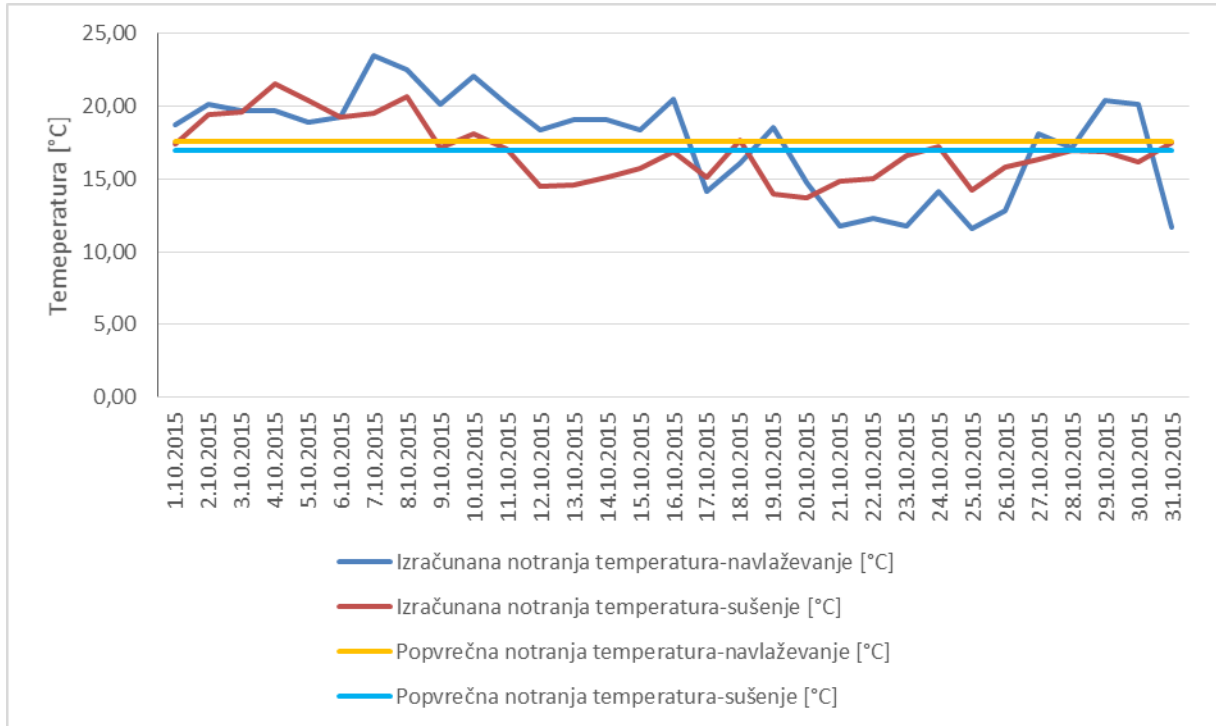
Na grafu 31 je vidno, da je pri povprečnih temperaturnih razlikah iz zgornje preglednice netkana tekstilija večino meseca na zgornji meji absorpcijske sposobnosti. Maksimalna

količina kondenza v materialu je 978 g/m². Dodatno je razvidno, da je večino meseca netkana tekstilija po ciklu sušenja popolnoma suha.



Graf 31: Količina kondenza Oktober 1

Na grafu 32 so prikazane tem temperaturnim razlikam pripadajoče temperature v notranjosti. Opazimo, da je povprečna notranja temperatura v ciklu sušenja pod povprečno notranjo temperaturo v ciklu navlaževanja. To je sicer teoretično možno, vendar v objektih kjer je praviloma netkana tekstilija uporabljen malo verjetno. Zato sem tako kot v mesecu Februarju določil temperaturne razlike še z dodatno zahtevo, da je povprečna notranja temperatura v ciklu sušenja nad povprečno notranjo temperaturo v ciklu navlaževanja.



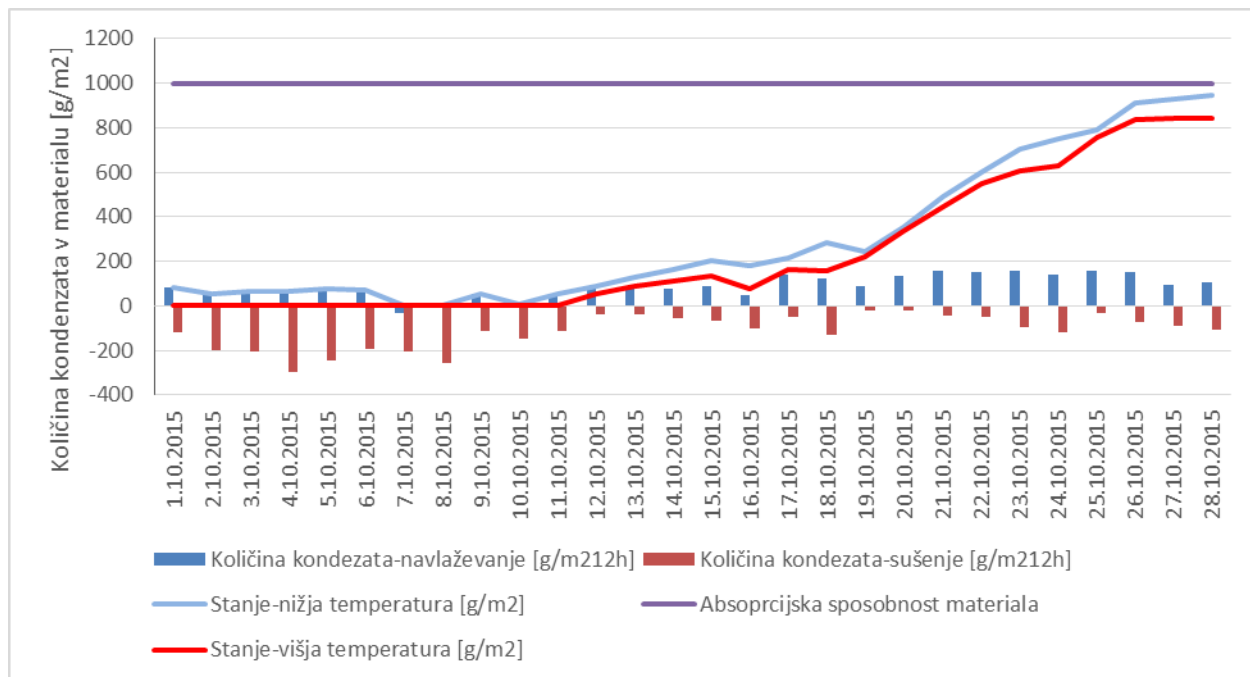
Graf 32: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Oktober 1.

V preglednici 16 so zbrani podatki pri katerih je material sposoben absorbirati nastali kondenz torej ne pride do kapljanja in je hkrati notranja temperatura v ciklu sušenja nad nivojem notranje temperature v ciklu navlaževanja. Opazimo, da je povprečna temperaturna razlika v ciklu navlaževanja manjša v primerjavi z prvim izračunom za Oktober. Temperaturna razlika v ciklu sušenja pa večja v primerjavi s prvim izračunom.

Preglednica 16: Temperaturne razlike Oktober 2

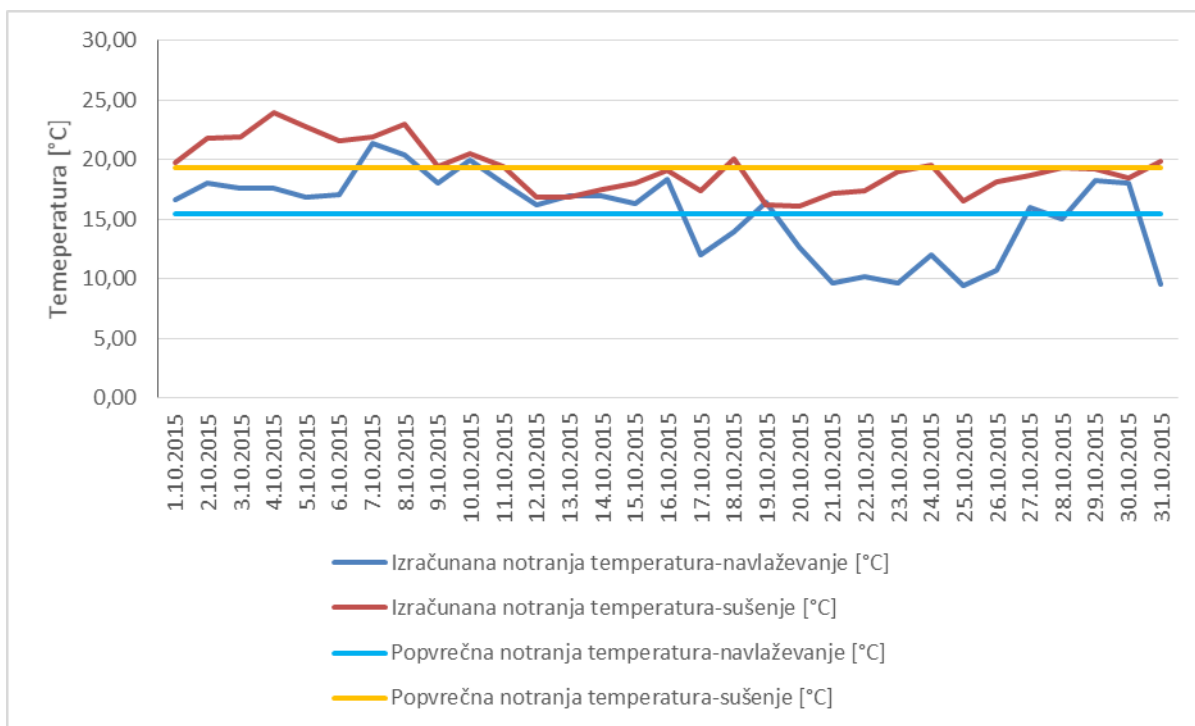
Temperaturna razlika Oktober	
Povprečna ΔT navlaževanje [°C]	8,01
Povprečna ΔT sušenje [°C]	7,70

Iz spodnjega grafa je vidno, da je v tem primeru dnevni nivo navlaževanja mnogo manjši kot v predhodnem primeru (sedaj v povprečju 7 g/m²h; prej 69 g/m²h) in dnevni nivo sušenja je pravtako manjši (sedaj 10 g/m²h, prej 83 g/m²h). Kljub temu je v določenem trenutku stanje kondenza v netkani tekstiliji na absorpcijski meji in sicer je maksimalno stanje 949 g/m². večino meseca je sicer nivo količine kondenza v netkani tekstiliji na razmeroma nizkem nivoju, vendar zaradi padca nivoja zunanjih temperatur pride konec meseca do skokovitega prirastka količine kondenza.



Graf 33: Količina kondenzata Oktober 2.

Na spodnjem grafu je vidno, da je vsakodnevna notranja temperatura v ciklu sušenja nad vsakodnevno notranjo temperaturo v ciklu navlaževanja večino meseca. Izjema so samo dnevi kjer je bila zunanja temperatura razmeroma podobna tako v ciklu navlaževanja kot v ciklu sušenja, kar privede do anomalije, saj na osnovi predpostavk tudi v primeri konstantnih temperatur v enem dnevu pride do cikla navlaževanja in do cikla sušenja.



Graf 34: Notranja temperatura v ciklu sušenja in v ciklu navlaževanja – Oktober 2.

Povprečna temperaturna razlika za Februar, Maj, Avgust in Oktober

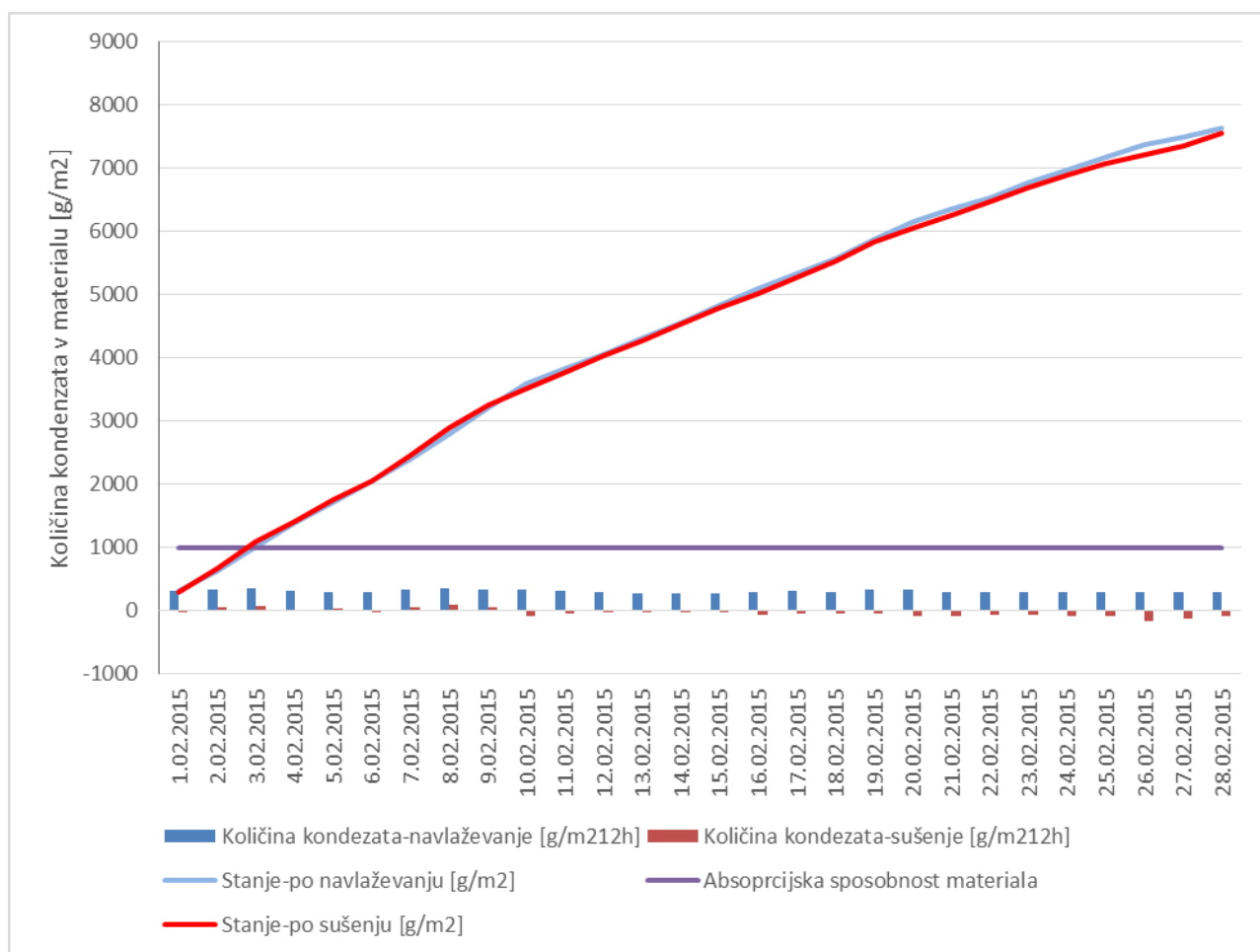
V nadaljevanju sem za vse 4 podrobneje obravnavane mesece izračunal količino kondenza v netkani tekstiliji na osnovi povprečne vrednosti temperaturnih razlik v obdobju navlaževanja in v obdobju sušenja izračunane na osnovi temperaturnih razlik iz predhodnega poglavja. Pri tem sem upošteval za meseca Februar in Oktober temperaturno razliko pri kateri je notranja temperatura v ciklu sušenja nad vrednostjo notranje temperature v ciklu navlaževanja. V preglednici 17 so zbrani podatki iz predhodnega poglavja in povprečna letna temperaturna razlika v obdobju navlaževanja in v obdobju sušenja.

Preglednica 17: Temepraturne razlike Februar, Maj, Avgust in Oktober

	Feb	Maj	Avgust	Oktober	Povprečna letna ΔT [°C]
Povprečna ΔT navlaževanje [°C]	7,35	9,51	9,36	8,01	8,56
Povprečna ΔT sušenje [°C]	6,91	6,65	7,61	7,7	7,22

Februar

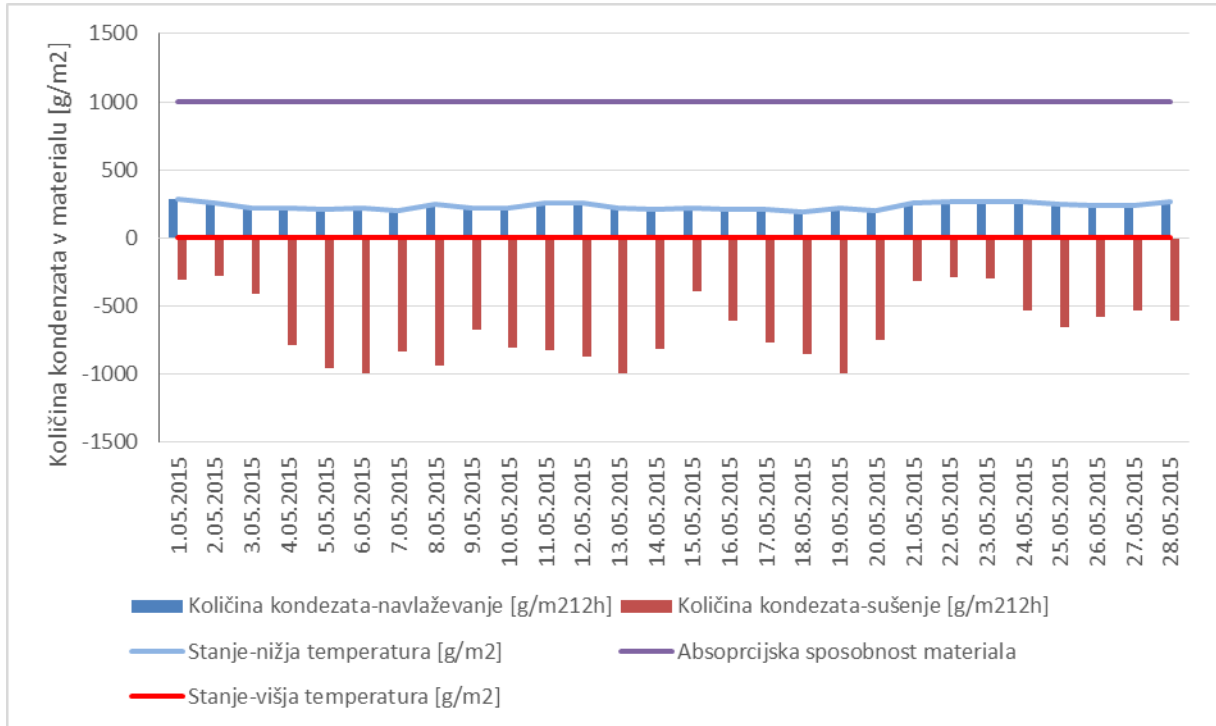
Na grafu 35 je prikazana količina kondenza, ki se tvori ob predpostavki povprečnih letnih temperaturnih razlik. Na grafu je vidno, da je absorpcijska sposobnost materiala presežena v začetku meseca. Konec meseca bi bilo teoretično v netkani tekstiliji preko 7.000 g kondenza na m². Vzrok za to je prevelika temperaturna razlika v obdobju sušenja in se posledično netkani tekstil suši prepočasi. Vzrok za to je razmeroma nizki nivo temperatur v mesecu Februarju, ki ne dopušča velikih temperaturnih razlik v obdobju sušenja.



Graf 35: Količina kondenzata Februar.

Maj

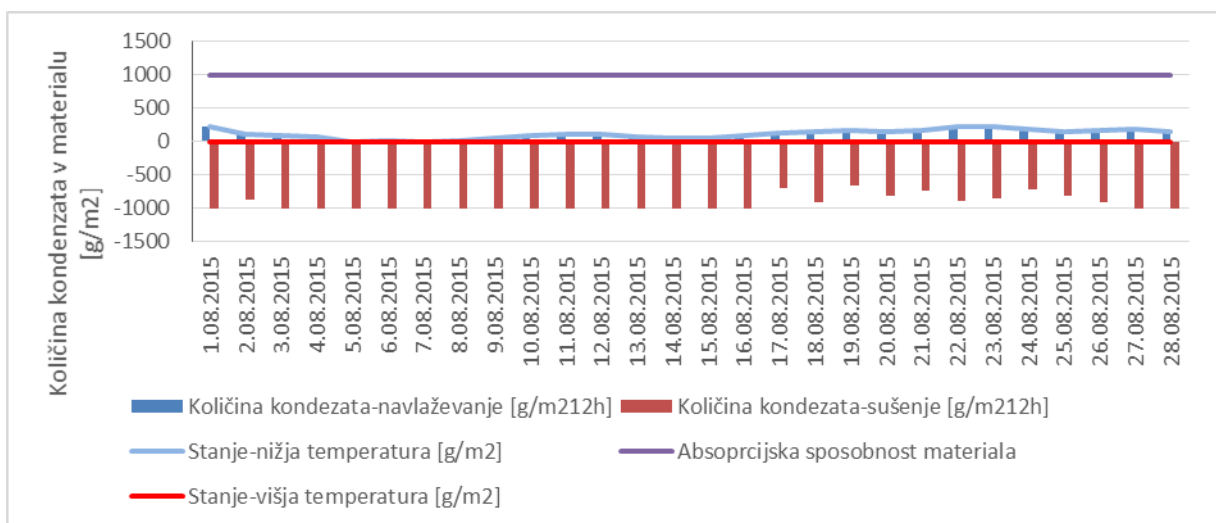
Na grafu 36 je vidno, da v mesecu Maju ne pride do tvorbe prevelike količine kondenza v netkani tekstiliji in sicer je popolnoma suha po vsakem ciklu sušenja. Povprečna letna temperaturna razlika je primerna.



Graf 36: Količina kondenza Maj

Avgust

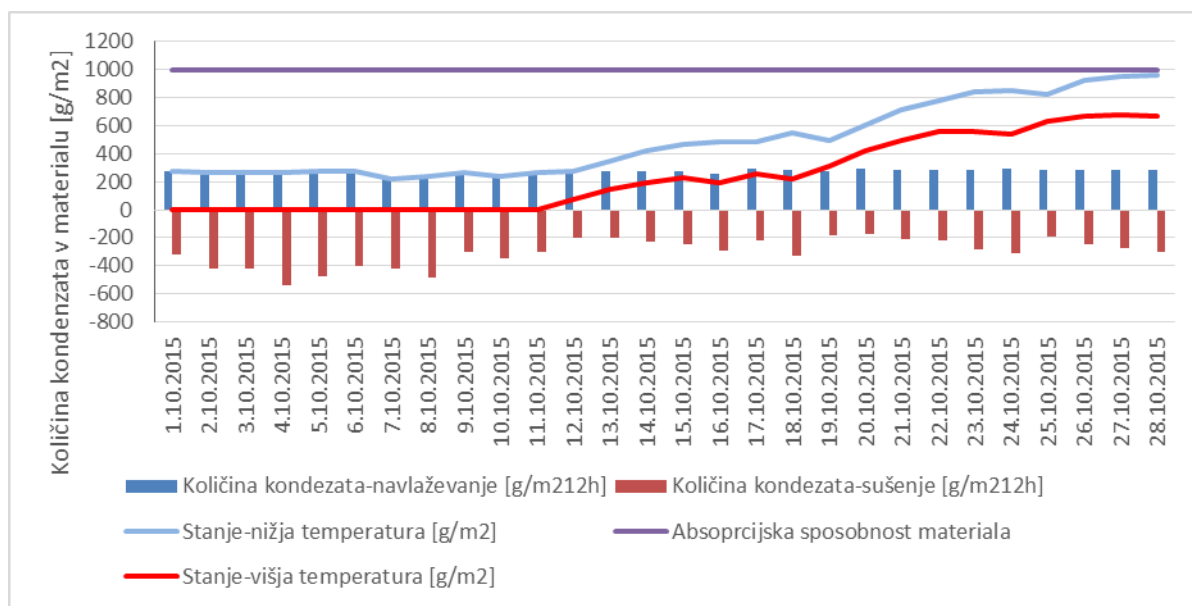
Na grafu 37 je vidno, da tudi v mesecu Avgustu ne pride do prekomerne akumulacije kondenza v netkani tekstiliji. Dodatno opazimo, da je količina tvorjenega kondenza na dnevnem nivoju razmeroma nizka.



Graf 37: Količina kondenzata Avgust.

Oktober

Na grafu 38 lahko vidimo, da tudi v tem mesecu ne pride do prekomerne akumulacije kondenza v netkani tekstiliji. Dodatno opazimo, da material proti koncu meseca pride skoraj do absorpcijske meje netkane tekstilije. Vzrok za to je nižji nivo zunanjih temperatur v primerjavi z mesecema Maj in Avgust.



Graf 38: Količina kondenza Oktober.

Sklep grafov 34, 35, 36 in 37

Izračunane povprečne temperature delujejo v treh podrobneje obravnavanih mesecih. Težave s prekomernim nivojem količine kondenza v materialu so samo v zimskem mesecu Februarju, kjer je nivo temperatur razmeroma nizek v primerjavi z preostalimi meseci in je temperaturna razlika v obdobju sušenja prevelika in posledično se netkani tekstil suši minimalno. Torej je potrebno v zimskih mesecih zagotoviti manjšo temperaturno razliko predvsem v ciklu sušenja.

ZAKLJUČEK

V prvem delu diplomske naloge sem z merilcem gostote toplotnega toka določil toplotno prevodnost različnih poliestrskih voluminoznih netkanih tekstilij. V prvem koraku sem izbral vzorce, ki se med seboj razlikujejo po gostoti in finosti surovinske sestave. V nadaljevanju sem tem vzorcem določil njihovo toplotno prevodnost. Na osnovi rezultatov sem ugotovil, da na toplotno prevodnost preizkušenih vzorcev vpliva njihova gostota in srednja finost vlaken iz katerih vzorec sestoji. Zbrane podatke sem nato analiziral in določil gostoto in srednjo vrednost finosti vlaken v materialu, ki zagotavlja nizko vrednost toplotne prevodnosti. Na osnovi meritev je primerna gostota materiala za doseg čim nižje vrednosti toplotne prevodnosti v območju med 20-40 kg/m³. Najnižjo vrednost toplotne prevodnosti je imel material pri srednji finosti uporabljenih vlaken 2,28 dtex, vendar so bile razlike z srednjim dtex-om 3,56 majhne. Z bolj grobimi vlakni (večja vrednost dtex) lahko veliko lažje dosegamo večje debeline in tudi material je bolj odporen na sile med samo manipulacijo z materialom, zato bi bila finost vlaken 3,56 dtex primerna vrednost za materiale za toplotno izolacijo. Sicer v podjetju Filc d.d. v tem trenutku še ne ponujajo voluminoznih netkanih tekstilij kot toplotno izolacijo, vendar je na osnovi meritev opravljenih v diplomski nalogi vidno, da imajo materiali dovolj nizko toplotno prevodnost. Dodatno se bodo lahko sklepi glede primerne gostote in finosti vlaken uporabljale pri razvoju izdelkov v bodoče.

V drugem delu diplomske naloge sem obravnaval samolepilno netkano tekstilijo, ki je namenjen shranjevanju kondenza pri hladnih prezračevanih objektih pokritih z enoslojno kovinsko streho. V diplomski nalogi sem v prvem koraku določil robne pogoje pri katerih sem analiziral cikel navlaževanja in cikla sušenja netkane tekstilije. Pri izračuni količine kondenza sem uporabljal Glaserjevo metodo in prilagojeno Glaserjevo metodo in na osnovi teh ustvaril model tvorjenja in sušenja kondenza. Model sem uporabil za določitev povprečnih dopustnih temperaturnih razlik med temperaturo notranjega zraka in temperaturo površine na osnovi dnevnih temperaturnih podatkov za Ljubljano. V diplomski nalogi sem ugotovil, da so največje možne dopustne temperaturne razlike v mesecih z višjim temperaturnim nivojem. V zimskem obdobju je dovoljena temperaturna razlika v ciklu sušenja na nižjem nivoju kot v mesecih z višjimi temperaturami. Sam model je sestavljen tako, da je za določitev primerne temperaturne razlike v ciklu sušenja in navlaževanja potrebno pridobiti samo temperaturne podatke o kraju v katerem bi želeli določiti primerne temperaturne razlike, da netkana tekstilija zadrži nastali kondenz. V bodoče bo model uporaben za podjetje Filc d.d. predvsem pri analizi reklamacij, ki so povezane z prekomernim nivojem kondenza v netkani tekstiliji in posledičnim kapljanjem.

VIRI

- [1] Vončina, B. 2011. Tehnične tekstilije. Maribor: Univerza v Mariboru, Strojna fakulteta: 106 str.
- [2] Evropski ekonomski-socialni odbor. Mnenje o tehničnih tekstilijah kot gonilu rasti. 2013.
- [3] Nikolić, M., Nikolić, Z. 2004. Netkane tekstilije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo: 171 str.
- [4] Interno gradivo podjetja Filc d.d. 2016.
- [5] Anitiv. Nonwoven technologies for diverse applications. 2016.
- <http://www.technicalnonwovens.com/product/bicomponents> (Pridobljeno 15. 2. 2016.)
- [6] TWE Vliesstoffwerke GmbH & Co. KG. 2016.
- <http://www.twe-group.com/index.php?contentID=12> (Pridobljeno 27. 6. 2016.)
- [7] Medved, S. 2010. Gradbena fizika. Ljubljana: Fakulteta za arhitekturo, 320 str.
- [8] Cotič P. 2014. Prenos Toplote in energijska učinkovitost stavb. Predavanja.
- [9] Häupl, P. 2008. Bauphysik. Dresden, Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Institut für Bauklima: 550 str.
- [10] TWE Vliesstoffwerke GmbH & Co. KG. 2016.
- http://www.home-iso.de/media/twe/images/twe-20-01-16-19100-rgb_1-big.jpg (Pridobljeno 10. 3. 2016.)
- [11] Centexbel. Textile Competence Centre. 2016.
- http://www.centexbel.be/files/month/blanco-nonwoven-FS22345-003_0.png (Pridobljeno 17. 3. 2016.)
- [12] Feinheit (Textilien). 2016.
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Feinheit_\(Textilien\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Feinheit_(Textilien)) (Pridobljeno 16. 4. 2016.)
- [13] Krainer A. 2011. Koeficient toplotne prehodnosti. Predavanja.
- <ftp://ftp.fgg.uni-lj.si/Sendable/Patricia/STAVBARSTVO/Stavbarstvo%20II%202009-10/Krainer%20Staro%20stavbarstvo/Stavbarstvo1/8%20difuzija%20toplote%20in%20vodne%20pare.pdf> (Pridobljeno 17. 4. 2016.)

[14] ARSO – Agencija Republike Slovenije za okolje. Klimatsko povprečje 1981-2010.

http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_location/ljubljana/climate-normals_81-10_Ljubljana.pdf (Pridobljeno 1. 5. 2016.)

[15] Weather Underground. 2015. Ljubljana-Center ILJUBLJA3.

<https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=ILJUBLJA3>

(Pridobljeno 10. 5. 2016.)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: GRAFI TOPLOTNIH PREVODNOSTI

