

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Nejc ZAKRAJŠEK

**POVEZAVA MED VLAŽNOSTJO LESA IGLAVCEV
IN POJAVOM MODRENJA NA FASADI
MODELNEGA OBJEKTA**

DIPLOMSKI PROJEKT

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Nejc ZAKRAJŠEK

**POVEZAVA MED VLAŽNOSTJO LESA IGLAVCEV IN POJAVOM
MODRENJA NA FASADI MODELNEGA OBJEKTA**

DIPLOMSKI PROJEKT
Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

**CORRELATION BETWEEN MOISTURE CONTENT OF
SOFTWOOD SPECIES AND BLUE-STAINING ON THE FACADE OF
A MODEL OBJECT**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2015

Diplomski projekt je zaključek Visokošolskega strokovnega študija Tehnologije lesa in vlaknatih kompozitov – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Delovni skupini za patologijo in zaščito lesa.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Miha Humar, za somentorja asist. dr. Nejca Thalerja za recenzenta pa doc. dr. Boštjana Lesarja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisni/podpisana izjavljam, da je naloga rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Nejc Zakrajšek

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dv1
DK	UDK 630*844.1
KG	les/lesena fasada/glive modrivke/modrenje/modelni objekt
AV	ZAKRAJŠEK, Nejc
SA	HUMAR, Miha (mentor)/THALER, Nejc (somentor)/LESAR, Boštjan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	POVEZAVA MED VLAŽNOSTJO LESA IGLAVCEV IN POJAVOM MODRENJA NA FASADI MODELNEGA OBJEKTA
TD	Diplomski projekt (Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja)
OP	VII, 50 str., 17 pregl., 27 sl., 24 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Les v zadnjem času spet pridobiva na veljavi in ugledu; delež uporabe lesa kot gradbenega materiala se povečuje. Tako danes opazimo vse več lesenih fasad, ki krasijo vse vrste objektov. Lesene fasade so primerne tako za stanovanjske hiše kot tudi za večje javne stavbe in poslovno-stanovanjske objekte. Vsem lesena fasada predstavlja zaščito osnovne konstrukcije pred vplivi okolja, hkrati pa je pomemben oblikovalski in estetski element stavbe. Les uporabljen za leseno fasado sodi med estetsko bolj obremenjene lesene površine. Kakovost lesene fasade opredeljuje pravilna izbira drevesne vrste, natančna vgradnja in strokovna izvedba detajlov. Pravilen način vgradnje je temeljnega pomena za trajnost lesene fasadne obloge. Ob upoštevanju načel konstrukcijske zaščite in dejstva, da mora biti lesena fasada prezračevana, je skrb za trajnost lesenih fasad odveč. Vseeno pa ne gre pozabiti na dejstvo, da je lesena fasada močno izpostavljena fotodegradaciji in predvsem delovanju gliv modrivk. Spremljali smo leseno fasado na modelnem objektu, postavljenem na vrtu Biotehniške fakultete Oddelka za lesarstvo. Leto in pol smo opravljali meritve vlažnosti lesa, temperature, sončnega obsevanja, zadrževanja kondenza na površini lesa in vremenskih pogojev. Večkrat letno smo ocenjevali pomodrelost fasadnih elementov. Tako smo ob korelaciji lesne vlažnosti z izpostavljenostjo smrekovih, macesnovih in borovih fasadnih elementov ugotovili, da se je najbolje odrezala jedrovina bora, sledi ji smrekovina, nato beljava bora, najslabše pa se je obnesla macesnovina.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dv1

DC UDC 630*844.1

CX wood/wood facade/blue stain fungi/blue staining/model object

AU ZAKRAJŠEK, Nejc

AA HUMAR, Miha (supervisor)/THALER, Nejc (co-advisor)/LESAR, Boštjan (reviewer)

PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology

PY 2015

TY CORRELATION BETWEEN MOISTURE CONTENT OF SOFTWOOD SPECIES AND BLUE-STAINING ON THE FACADE OF THE MODEL OBJECT

DT B. Sc. Thesis (Professional Study Programmes)

NO VII, 50 p., 17 tab., 27 fig., 24 ref.

LA sl

Al sl/en

AB Importance of wood as building material is increasing again. Thus more and more wooden facades can be seen, decorating all types of buildings nowadays. Wooden facades are suitable for residential houses as well as larger public and business-residential buildings, since they protect their basic construction from environmental effects, and at the same time they are an important element of design and aesthetics. Wood used for wooden facade belongs to severely exposed surface. The quality of wooden facade is defined by the right choice of a wood species, precise instalment and professional execution of details. The proper installation is essential for the permanence of wooden facade. There is no reason to worry about the performance of wooden facade if principles of constructional protection, and the fact that wooden facade needs to be ventilated, are considered. Nevertheless, the fact that wooden facade is highly exposed to photo degradation, and even more to blue stain fungus activity, should not be overlooked. We monitored a wooden facade on a model house located in the garden of Department of Wood Science and Technology at Biotechnical Faculty. We have been measuring the numerous parameters for one and a half year. We evaluated to which degree the facade elements blue stained multiple times a year. Correlating the moisture and exposure of spruce, larch and pine wood elements we established that pine heartwood proved to be the most effective, followed by spruce wood, then pine sapwood; while larch wood performed the worst.

KAZALO VSEBINE	s.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 LESENE FASADE	3
2.1 LES KOT ARHITEKTURNI ELEMENT – FASADA	3
2.1.1 Zgodovinski pregled	3
2.2 VRSTE LESA ZA IZVEDBO FASADNIH OBLOG.....	4
2.3 DISKOLORACIJE LESENIH FASAD	8
2.3.1 Modrenje	8
2.3.2 Fotodegradacija	11
2.4 DOLOČANJE VLAŽNOSTI LESA	12
2.4.1 Namen določanja vlažnosti lesa	12
2.4.2 Metode določanja vlažnosti lesa	13
2.4.3 Uporovni merilniki	13
2.5 MODELNI OBJEKT ZA SPREMLJANJE ŽIVLJENSKE DOBE	14
3 MATERIALI IN METODE	17
4 REZULTATI Z RAZPRAVO	22
4.1 OPIS IZPOSTAVITVENIH POLOŽAJEV	22
4.2 KLIMATSKI POGOJI V LJUBLJANI.....	25
4.3 MIKRO-LOKALNI KLIMATSKI POGOJI NA POSAMEZNI FASADI.....	27
4.4 VLAŽNOST FASADNIH LESNIH ELEMENTOV	33
4.5 OCENA POMODRELOSTI FASADE	43
5 SKLEPI	47
6 VIRI	48

KAZALO PREGLEDNIC

s.

Preglednica 1: Primerjava gostot in razredov trajnosti posameznih lesnih vrst: 5-neodporen, 1-zelo odporen (Kitek - Kuzman in sod., 2008: 75)	7
Preglednica 2: Vremenski podatki s portala ARSO (ARSO, 2015)	25
Preglednica 3: Vremenski podatki z območja modelnega objekta	26
Preglednica 4: Najvišje dnevne in mesečne temperature v stopinjah celzija (°C) glede na stran neba	28
Preglednica 5: Podatki o zadrževanju kondenza na površini lesa na posameznih straneh objekta.....	31
Preglednica 6: Podatki meritev sončnega obsevanja. V preglednici je prikazana skupna energija sončnega obsevanja (W/m^2) v opazovanih terminih.....	33
Preglednica 7: Podatki meritev lesne vlažnosti na severni strani modelnega objekta.....	34
Preglednica 8: Podatki meritev lesne vlažnosti na južni strani modelnega objekta.....	34
Preglednica 9: Podatki meritev lesne vlažnosti na vzhodni strani modelnega objekta.....	35
Preglednica 10: Podatki meritev lesne vlažnosti na zahodni strani modelnega objekta....	36
Preglednica 11: Podatki meritev lesne vlažnosti na terasi modelnega objekta.....	36
Preglednica 12: Podatki meritev lesne vlažnosti macesna na modelnem objektu	37
Preglednica 13: Podatki meritev lesne vlažnosti jedrovine bora na modelnem objektu....	37
Preglednica 14: Podatki meritev lesne vlažnosti beljave bora na modelnem objektu	38
Preglednica 15: Podatki meritev lesne vlažnosti smreke na modelnem objektu	38
Preglednica 16: Ocene modrenja posameznih lesnih vrst.....	44
Preglednica 17: Pregled podatkov in povezav med pomodrelostjo in okoljskimi dejavniki	45

KAZALO SLIK

s.

Slika 1: Primer kladne gradnje (Graščina Duplje, 2015).....	4
Slika 2: Les smreke (Arnes, 2015).....	5
Slika 3: Les jelke (Arnes, 2015)	6
Slika 4: Les bora (Mizarstvo Hrovat, 2015)	6
Slika 5: Les macesna (Arnes, 2015)	7
Slika 6: Primer modrenja (Arnes, 2015).....	8
Slika 7: Pojav modrenja na lesenih elementih fasade (Avtor: Miha Humar)	9
Slika 8: Denim pine mizica (Etsy, 2015).....	11
Slika 9: Primer sivenja lesene fasade (Riko Hiše, 2015).....	12
Slika 10: Merilnik vlažnosti lesa (Pce Instruments, 2015)	13
Slika 11: Modelni objekt (Avtor: Miha Humar).....	15
Slika 12: Prikaz sestave stene	17
Slika 13: Prikaz izvedbe fasade in merilec zadrževanja kondenza na vodoravni površini (Avtor: Nejc Zakrajšek).....	18
Slika 14: Merilni sistem podjetja Scanntronik za merjenje in beleženje vlažnosti lesa (Avtor: Miha Humar)	19
Slika 15: Elektrode za spremljanje vlažnosti lesa (Avtor: Miha Humar)	19
Slika 16: Sistem za spremljanje površinske kondenzacije, sončnega obsevanja in temperature lesa (Avtor: Miha Humar).....	20
Slika 17: Severna stran modelnega objekta (Avtor: Miha Humar).....	22
Slika 18: Južna stran modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)	23
Slika 19: Vzhodna stran modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)	23
Slika 20: Zahodna stran modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)	24
Slika 21: Terasa modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)	24
Slika 22: Grafikon najvišjih dnevnih temperatur v stopinjah celzija (°C) glede na stran neba	30
Slika 23: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na severni strani modelnega objekta.....	39
Slika 24: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na južni strani modelnega objekta	40
Slika 25: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na vzhodni strani modelnega objekta	41
Slika 26: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na zahodni strani modelnega objekta.....	42
Slika 27: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na terasi modelnega objekta.....	43

1 UVOD

Les je zahteven gradbeni proizvod, še posebej pa to velja za konstrukcijski les in za proizvode izpostavljene neugodnim klimatskim pogojem. Čeprav se zavedamo prednosti lesa, pa na drugi strani vemo, da je to naravni material z velikim raztrosom mehanskih karakteristik in je tudi razmeroma slabo odporen (Srpčič, 2009).

Uporaba lesa za gradbene konstrukcije se v zadnjih letih povečuje tudi v Sloveniji. Razširjenost lesenih konstrukcij je v svetu zelo različna – v nekaterih državah je gradnja lesenih objektov že(še) tradicionalna (skandinavske države, ZDA, Kanada, Avstralija, Japonska), v drugih obravnavajo les kot manjvreden material, objekte pa kotčasne (mediteranske, delno tudi srednjeevropske države). Slovenija je nekje v sredini – vsi poznamo prednosti gradnje v lesu: od minimalne porabe energije in hitrosti gradnje lesenega objekta do prijetnega bivanja v leseni hiši, kljub temu pa je delež uporabe lesa v gradbeništvu še vedno precej nizek. Zavedati se je sicer treba tudi neugodnih lastnosti lesa (neodpornost proti vplivom vlage, gorljivost), ki pa se jim lahko s pravilnimi konstrukcijskimi ukrepi izognemo. Les lahko uporabljamo tako za objekte visoke gradnje kot za premostitvene objekte, zahtevane lastnosti lesa kot gradbenega materiala pa so odvisne od namena uporabe. Les se lahko uporablja kot nosilni material za konstrukcije (masivni – žagan les, lepljeni lamelirani les, lamelirani slojnat les...), proizvodi iz lesa pa imajo lahko tudi nenosilno funkcijo (talne, stenske, stropne obloge, stavbno pohištvo...) (Srpčič, 2009).

Tudi uporaba lesa za fasadne ovoje v zadnjem času narašča. Tako se srečujemo z različnimi težavami, saj je les naravni material in je kot tak podvržen razkroju. Razgradnjo lahko povzročajo biotski dejavniki (temperatura, vlaga, UV žarki) in abiotski dejavniki (insekti, glive, bakterije). Prav tako se povečuje delež površinsko nepremazanih in nezaščitanih lesenih oblog, največji delež le teh pa predstavljajo fasadni ovoji zgradb (Kitek – Kuzman in sod., 2008).

Ob taki uporabi lesa pa se je potrebno zavedati pogojev, katerim je tak les podvržen in posledic staranja lesa kot materiala. Lesene fasadne obloge so estetsko zelo obremenjene površine. Les, ki je podvržen kombinaciji UV svetlobe in visoke vlažnosti, posivi zaradi procesa fotodegradacije, prav tako je podvržen delovanju insektov ter gliv (Kitek - Kuzman in sod., 2008).

Tako se na fasadnih oblogah pogosto pojavlja modrenje, ki je posledica delovanja gliv modrivk. Investitor navadno želi obdržati prvotni izgled, zato se lahko zaradi modrenja in fotodegradacije lesa zaključi estetska življenjska doba, kljub temu, da je izdelek tehnično in funkcionalno še vedno brezhiben. Prav to pa je eden ključnih vzrokov, da se več ljudi ne odloči za leseno fasadno oblogo ali druge podobne lesene izdelke.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Lesene fasade dokaj hitro spremenijo svojo barvo, to pa je lahko moteč dejavnik za investitorja. Dokaj hitro nastopi delovanje gliv modrivk, ki povzročajo modrenje lesa in fotodegradacijo, kot posledico delovanja UV svetlobe in visoke vlažnosti.

Upoštevati je potrebno tudi izbiro lesne vrste, saj imajo različno odpornost na glive modrivke in fotodegradacijo. Obstaja tudi povezava med vlažnostjo in temperaturo lesa in pojavom gliv modrivk.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Beljava bora je najbolj dovzetna za modrenje. Predpostavljamo, da je lahko tudi jedrovina macesna podobno dovzetna za modrenje. Poleg kemijskih lastnosti lesa na modrenje vpliva tudi sposobnost lesa, da ostane suh.

2 LESENE FASADE

2.1 LES KOT ARHITEKTURNI ELEMENT – FASADA

2.1.1 Zgodovinski pregled

Les je z ljudmi tesno povezan že od človekovega obstoja. Sprva ga je človek uporabljal le za kurivo, nato tudi kot orodje, sčasoma pa se je njegova uporaba povzdignila na višjo raven; iz lesa si je človek zgradil dom.

V Sloveniji, deželi bogati z lesom, je les tako že od nekdaj prevzemal veliko vlogo v razvoju naselbinske kulture. Mnoge ohranjene hiše, kozolci, podi in druga poslopja pričajo o uporabi lesa kot enega prvih gradbenih sredstev, ki se je s pomočjo znanja o pravilni uporabi ohranil do današnjih dni. Prvotno je imel les v zgradbah nosilno funkcijo, hkrati pa je tvoril tudi vzorec fasadnega ovoja. Lesene fasade so se tako razvijale v tesni povezavi z masivno leseno gradnjo, ki predstavlja zibelko razvoja lesne gradnje. Prva znana bivališča iz masivnega lesa tako sodijo v bronasto dobo, v čas, ko so ljubljansko barje naseljevali koliščarji. Njihovo osnovno gradivo so predstavljali hlodi manjših dimenzij (Zbašnik - Senegačnik in sod., 2004).

Leseno gradnjo so v srednjem veku zavirale težnje po gradnji kulturnih objektov, kot so cerkve z daljšo trajnostjo, zato se je v tem obdobju zmanjšal delež gradnje z lesom, napredovala pa je uporaba kamena in opek. Kasneje, v 19. stoletju, so se uveljavljali celo predpisi o ognjevarni gradnji. Kljub temu pa lesena gradnja ni zamrla. Deloma zaradi tradicije gradnje z lesom, deloma pa zaradi priročnosti lesa kot gradbenega sredstva. Tako lahko v današnjih časih zopet govorimo o porastu lesene gradnje in uporabe lesa (Deu, 2004).

Na slovenskem je bila sprva prisotna kladna gradnja (Slika 1), kar dokazujejo arheološke najdbe iz 8. stoletja pred našim štetjem. Ta tip gradnje lahko označimo z nazivom brunarica v pravem pomenu besede. Konstrukcijo zgradbe so tvorila bruna, neotesana okrogla debla, ki so s svojo horizontalno usmeritvijo obenem tvorile fasadni plašč. Tak tip bivališč je bil najbolj razširjen v Alpah (Zbašnik - Senegačnik in sod., 2004).



Slika 1: Primer kladne gradnje (Graščina Duplje, 2015)

V srednjem veku sta se iz brunarice začeli oblikovati dve različici gradnje. Prva je razvijala in ohranjala tradicionalno gorsko brunarico, kjer so nosilni elementi položeni drug na drugega, v vogalih pa so bili elementi spojeni z različnimi vezmi. Druga varianta se je razvila v nižinskih predelih in je temeljila na principu nosilnih vogalnih stebrov. Med stebre kvadratnih prereзов z utori so nato nalagali elemente drug na drugega. Uporabljali so tesana bruna, velikokrat že uporabljene tramove in včasih tudi plohe. Stike med horizontalnimi elementi so tesnili z apneno malto, mahom ali ilovico. Stene iz tramov ali plohov so navadno prekrili z slojem apnenčevega ometa (Kitek - Kuzman in sod., 2008).

Zaradi omejene možnosti porabe in velike vrednosti lesa je bila njegova potrošnja omejena in dobro premišljena. To je tudi razlog, da je bil les sprva skoraj vedno uporabljen kot konstrukcijski in hkrati fasadni material. Tako je imel vgrajen les konstrukcijsko in estetsko vrednost.

Les so začeli kot samostojni fasadni material uporabljati kasneje. Prve na tem področju so bile skandinavske dežele, Avstrija in Švica. Trend sledenja le tem je opazen še danes (Zbašnik - Senegačnik in sod., 2004).

2. 2 VRSTE LESA ZA IZVEDBO FASADNIH OBLOG

Oblikovanje lesenih oblog fasad je povezano z izbiro vrste lesa, pri čemer smo pozorni na njegovo barvo, strukturo, trdnost, gostoto in druge mehanske lastnosti, kot tudi na njegovo naravno odpornost. Upoštevati je potrebno tudi vzdrževanje, ki ga posamezna drevesna vrsta zahteva.

Največkrat uporabljene drevesne vrste za izdelavo lesenih oblog prihajajo iz skupine iglavcev: smreka, bor, jelka in predvsem macesen (Zbašnik - Senegačnik in sod., 2004).

- **SMREKA** (*Picea abies*) je pri nas zelo razširjena, posledično je smrekovina tudi lahko dostopna in ekonomsko ugodna ter zelo primerna kot konstrukcijsko gradivo. Ima rumenobel les s svilnatim leskom, pri čemer se beljava in jedrovina barvno ne ločita (Slika 2). Pri uporabi na prostem je potrebna izjemna pazljivost, saj smrekovina spada med neodporne lesne vrste. Je enostavna za površinsko obdelavo in sušenje, se dobro lepi, lepo vijači ter je enostavna za žebljanje, pri čemer ob stiku s kovino ne korodira. Les se zaradi železovih ionov lahko sivkasto obarva. Srednja gostota absolutno suhega lesa (ρ_0) je 430 kg/m^3 (Preglednica 1), krčenje lesa je zmerno. Drevo tvori ravna polnolesna debla. Les je na voljo v zadostnih količinah po zmerni ceni. Področje uporabe smrekovine je zelo široko (Kitek - Kuzman in sod., 2008).



Slika 2: Les smreke (Arnes, 2015)

- **JELKA** (*Abies alba*) Jelovina je po gostoti, izgledu in naravni odpornosti podobna smrekovini, ravno tako barvno ne ločimo beljave in jedrovine. Ima rahel sivkast navdih. Značilne so trdne, obilne in močne grče, nima pa normalnih smolnih kanalov (Slika 3). Les se hitro suši, rad poka in se lahko obdeluje. Je bolj odporna proti kislinam in bazam kot smrekovina, bolje tudi prenaša spremembe vlažnosti. V preteklosti je bila uporaba jelovine bolj pogosta kot uporaba smrekovine, zaradi večjega deleža jelke v naših gozdovih in zaradi debel velikih dimenzij. Zelo pogosto se v srednjem delu debla nahaja mokro srce, ki ima neprijeten kiselkast vonj. Ena od slabosti jelovine, ki omejuje uporabo v konstrukcijske namene je nagnjenost h kolesivosti. Zaradi tega se je nekateri uporabniki izogibajo. Jelov les oddaja prepoznaven vonj tudi med obdelavo, in ga je po njem možno tudi prepoznati (Kitek - Kuzman in sod., 2008).



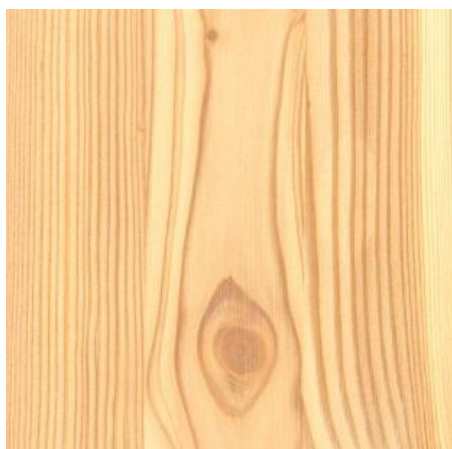
Slika 3: Les jelke (Arnes, 2015)

- **RDEČI BOR** (*Pinus sylvestris*) ima svilnat lesk in značilno rdečkasto-rumeno obarvano jedrovino, ki sčasoma potemni do rjavega odtenka. Beljava je praviloma široka in se jasno barvno loči od jedrovine (Slika 4). Branike so jasno vidne, kasni les je temnejše barve. Smolni kanali so številni, bolj razločno vidni in večjih dimenzij kot pri macesnu in smreki, zato jih lahko opazimo s prostim očesom. Svež les ima značilen aromatičen vonj. Srednja gostota lesa (ρ_0) je 490 kg/m³ (Preglednica 1), krčenje lesa je zmerno, vendar močnejše kot pri smrekovini. Trdnost variira v povezavi z gostoto. Jedrovina bora je dokaj odporna, medtem ko je beljava bora neodporna in sodi med referenčne neodporne vrste po standardih EN113 (CEN, 2006) in EN 252 (CEN, 2012). Beljava je še posebej podvržena glivam modrivkam, kar predstavlja predvsem estetsko pomanjkljivost, modrenje lesa. Beljava se dobro impregnira, zato je cenjena za izdelavo telekomunikacijskih drogov. Borovina se dobro obdeluje in lahko suši. Nekaj pozornosti je potrebno nameniti smoljenju, saj lahko ovira obdelavo, sušenje in površinsko obdelavo (Kitek - Kuzman in sod., 2008).



Slika 4: Les bora (Mizarstvo Hrovat, 2015)

- **MACESEN** (*Larix decidua*) po strukturi in barvi odraža značilno rdečkasto-rjavo jedrovino in svetlo rumenkasto ozko beljavo (Slika 5). Sestavo lesa zaznamujejo razločne branike, oster prehod iz ranega v kasni les in majhni smolni kanali. Macesen ima najvišjo gostoto med evropskimi iglavci, kar daje lesu dokaj veliko trdnost in trdoto. Srednja gostota lesa (r_0) je 550 kg/m³ (Preglednica 1). Krčenje je zmerno, tudi dimenzijska stabilnost je dobra. Macesnovina je razmeroma odporna proti insektom in glivam. Spada v odpornostni razred 3, če je iz slabih rastišč lahko pade tudi v 4. razred odpornosti. Nekaj težav lahko pričakujemo pri površinski obdelavi zaradi smole, ter pri žebljanju in vijačenju, priporočljivo je predvrtanje. Suši se lahko in brez večjih težav. Ima široko področje uporabe in je cenjen tako pri konstrukcijski rabi kot pri izdelavi pohištva. Jedrovina macesnovine velja za najtrajnejšo izmed lesa domačih iglavcev. Praviloma se v tretjem razredu uporabe obnese bolje, kot v četrtem razredu, kar je treba upoštevati pri načrtovanju. Drevo tvori lepa, dolga in ravna debela, zato imamo navadno opraviti z lepimi sortimenti. Na kvaliteto lesa močno vpliva rastišče. Praviloma ima macesnovina z višjih rastišč boljše lastnosti, kot macesnovina iz nižin. V zadnjem času se veliko uporablja tudi macesnovina pod komercialnim imenom »sibirski macesen« (Kitek - Kuzman in sod., 2008).



Slika 5: Les macesna (Arnes, 2015)

Preglednica 1: Primerjava gostot in razredov trajnosti posameznih lesnih vrst: 5-neodporen, 1-zelo odporen (Kitek - Kuzman in sod., 2008: 75)

Lesna vrsta	Gostota r_0 (kg/m ³) srednja vrednost	Naravna odpornost (SIST EN 350)
Smreka (<i>Picea abies</i>)	430	4
Jelka (<i>Abies alba</i>)	410	4
Bor (<i>Pinus sylvestris</i>)	490	3-4
Macesen (<i>Larix decidua</i>)	550	3-4

2.3 DISKOLORACIJE LESENIH FASAD

Na večini reklamnih materialov prikazujejo lesene fasadne obloge kmalu po tem, ko so bile vgrajene. Smrekovina je pri tem navadno povsem svetla, macesnovina in borovina pa rdečkasto rjavi. Že takoj po vgradnji pa se prične barva zaradi različnih biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja spreminjati (Slika 7). Glavni vzroki za spremembe so UV sevanje, voda, pojav gliv modrivk in drugih plesni.

2.3.1 Modrenje

Znanih je okoli 400 različnih vrst gliv, ki povzročajo obarvanje oziroma modrenje lesa. Uvrščamo jih v deblo zaprtotrošnic (*Ascomycota*) in nepopolnih gliv (*Fungi imperfecti*). V skupino nepopolnih gliv uvrščamo glive, pri katerih spolna struktura še ni znana. Pripadnice nepopolnih gliv pogosto povzročajo tako površinska kot globinska obarvanja, v nekaterih primerih oziroma pogojih lahko celo mehko trohnobo (Benko in sod., 1987). Praviloma pa glive modrivke ne povzročajo mehanskih poškodb (Vek, 2007).



Slika 6: Primer modrenja (Arnes, 2015)

Glive modrivke povzročajo širok spekter barvnih sprememb (Slika 6). Vse od svetlo sivih, modrih, rjavih, zelenih in tudi temno sivih ter črnih odtenkov. Barva diskoloriranega lesa je odvisna od strukture melamina in strukture lesa samega (Benko in sod., 1987). Najpogostejše se te glive pojavijo na lesu bora, kjer se največkrat pojavijo modri odtenki. Zato tem glivam pravimo glive modrivke. Podobno jih poimenujejo tudi v angleško govorečih deželah – blue stain fungi.

V osnovi delimo glive modrivke v tri skupine:

- primarne glive modrivke (okužujejo stoječa ali sveže posekana drevesa)
- sekundarne glive modrivke (okužujejo žagarske sortimente preden jih posušimo)
- terciarne glive modrivke (okužujejo lesne izdelke, ko so že enkrat v uporabi) (Žlahtič, 2015)

Modrivke so razširjene po vsem svetu. Povzročajo površinska in globinska obarvanja lesa, najdemo pa jih v listavcih in iglavcih. Predvsem primarne in sekundarne modrivke navadno okužijo beljavo, poredko pa se v višjih stopnjah okužbe pojavijo tudi v jedrovini. Razlog tiči v dejstvu, da jedrovina ob poseku drevesa ne vsebuje več živih parenhimskih celic, ki shranjujejo škrob in enostavne sladkorje, ki so glavni vir hrane gliv modrivk. Večina gliv modrivk ne izraža encimov, ki bi omogočili razgradnjo lesa. Navadno se primarno modrenje pojavi na posekanem drevju, lahko pa se okužijo tudi fiziološko oslabljeni drevesa z zmanjšano vlažnostjo in povečanim deležem kisika v lesu. Pogosto se pojavlja okužba dreves, ki so predhodno napadena s strani insektov, navadno lubadarja in ostalih podlubnikov. Tako les okužijo insekti sami, kar je značilno za sekundarne insekte. To se opazi po obarvanosti izletne odprtine insekta. Glive modrivke lahko najdemo tudi na iverju, papirju, gradbenem in stavbnem ter površinsko obdelanem lesu (Benko in sod., 1987).

Da se les okuži, mora tros pasti neposredno na beljavo, s čimer se omogočijo pogoji za razvoj mlade hife. Glive modrivke proizvajajo veliko število trosov, od 10^5 do 10^{10} trosov dnevno. Do okužbe lahko pride preko razpok in odprtin na skorji debla. Transport trosov omogočajo različni viri. Lahko jih prenaša veter, insekti, navadno gre za podlubnike, voda ali orodje s katerim obdelujemo les. Zato je treba biti pazljiv, če se na žagarskem obratu vzporedno razžaguje zdravo in s podlubniki ali modrivkami okuženo hlodovino. Red na obratu je predpogoj za kvaliteto. Na žagarskih obratih se pojavljajo predvsem sekundarne glive modrivke.

Glive modrivke uspevajo pri širokem temperaturnem intervalu, in sicer med temperaturo 5 °C in 35 °C. Pod 3 °C in nad 40 °C večina gliv preneha uspevati, postanejo neaktivne ali odmrejo. Najbolj jim ustrezajo temperature med 22 °C in 25 °C. Razvijejo se lahko v lesu, ki vsebuje od 40 % do 160 % vlage. Za mejno vlažnost, torej vlažnost lesa pri kateri glive modrivke še uspevajo velja 23 %, pod to vrednostjo se modrivke ne morejo razvijati in propadejo. Pri tem velja upoštevati, da ti podatki ne veljajo za povprečno vlažnost lesa, temveč za vlažnost površinskega sloja, ki je bolj izpostavljen hitremu navlaževanju.



Slika 7: Pojav modrenja na lesenih elementih fasade (Avtor: Miha Humar)

Modrivke se v veliki večini razvijajo v beljavi, kjer se hranijo s protoplazmo, z vsebino živih celic, odpadnimi snovmi na lesu, smolo ali lesom, kjer je prišlo do fotodegradacije. To je razlog, da ne vplivajo na zmanjšanje mehanskih lastnosti, temveč le na estetske lastnosti lesa. Situacija se spremeni, ko glivam zmanjka enostavno dostopnih hranil. Posledično odmrejo, ali pa začnejo razkrajati tudi celulozo in hemiceluloze (Benko in sod., 1987). To je možno predvsem na lesu, ki so ga že delno razgradili abiotski dejavniki razkroja.

Kljub temu obstajajo vrste gliv modrivk (*Ceratocystis picea* in *Aureobasidium pullulans*), ki povzročajo mehko trohno (angl. *soft rot*). S tem lahko vplivajo na poslabšanje nekaterih mehanskih, fizikalnih in kemijskih lastnosti lesa (Eaton in Hale, 1993). Tako imamo lahko opravka z zmanjšanjem udarne žilavosti in odpornosti lesa proti udarcem. Manjše negativne spremembe lahko pričakujemo tudi pri upogibni, natezni in tlačni trdnosti. Zmanjša se tudi gostota. Spremeni se za toliko, kolikor porabi gliva za svoj razvoj in metabolizem (Benko in sod., 1987). Vendar je treba upoštevati, da do mehke trohne pride le v specifičnih pogojih, kjer je kisika malo. To so na primer podzemni deli ali les, ki je večino časa potopljen v sladki vodi, na fasadah pa do takšnih pogojev navadno ne pride. V svoji raziskavi Vek (2007) ni ugotovil, da bi zaradi modrenja prišlo do poslabšanja modula elastičnosti. Nasprotno, modul elastičnosti se je pri pomodrelem lesu celo rahlo izboljšal.

Pri nas so najpogostejše naslednje glive modrivke (Kervina-Hamović, 1990):

- *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud
- *Schlerophoma pityophila* (Corda) Höhn
- *Ceratocystis clavata* (Math.-Kärrik) Hunt
- *Ceratocystis picea* (Münch.) Bakshi
- *Ceratocystis ips* (Rumb.) C. Moreau
- *Ceratocystis coerulescens* (Münch.) Bakshi
- *Ceratocystis piliifera* (Fr.) Moreau

V zadnjem času se na trgu pojavlja pohištvo pod komercialnim imenom »denim pine« oziroma širše »denim wood«. Gre za pohištvo, pri katerem so obarvanje lesa spretno izkoristili kot novo tržno nišo. Tovrstno pohištvo je izdelano iz lesa okuženega z glivami modrivkami (Slika 8) (Humar in Pohleven, 2005).



Slika 8: Denim pine mizica (Etsy, 2015)

2.3.2 Fotodegradacija

Les izpostavljen sončni svetlobi ali drugim agresivnim sevanjem lahko utрпи nepopravljive posledice, življenjska doba lesa se lahko zmanjša. UV svetloba, ki povzroči sončne opekline na koži, sproži tudi kemijske in fizikalne spremembe v lesu (Slika 9). Te se odražajo kot diskoloracije, razpad kemijskih vezi, poslabšanje fizikalnih in kemijskih lastnosti ter druge anatomske spremembe (Pavlič in Mihevc, 2001).

Les dobro absorbira sončno svetlobo. Posledično je njegova površina ob izpostavljenosti sončni svetlobi podvržena fizikalno-kemični fotodegradaciji, ta pa odpira možnost prodora v notranjost lesa. Fotodegradacijo lesa povzroča svetloba valovne dolžine 200 do 600 nm, ki v les prodre do globine 200 μm . Največji vpliv ima UV svetloba, ki lahko v les prodre do globine 75 μm . Vse glavne sestavine lesa, to so lignin, celuloza, hemiceluloza in ekstraktivi, so občutljive na UV svetlobo. Najobčutljivejši je lignin, ki absorbira od 80 % do 95 % UV svetlobe. Tako degradacija lignina privede do tvorbe prostih radikalov in drugih nizkomolekularnih produktov, ki se z lahkoto izpirajo s površine lesa (Pavlič in Mihevc, 2001).

Izpostavljenost fotodegradaciji privede do nastanka kininov, ki so rjave barve. Zato sprva fotodegradiran les porjavi. Kasneje voda spere kinine iz lesa, kar opazimo kot sivenje lesa. Posivitev nezaščitene lesene površine je posledica delovanja številnih biotskih in abiotskih dejavnikov razkroja lesa. Barvni toni staranega lesa so odvisni od drevesne vrste, stopnje in vrste izpostavljenosti in konstrukcijske izvedbe, v mnogih primerih pa tovrstne spremembe niso estetsko sprejemljive za končne uporabnike. Največjo težavo predstavlja

neenakomerna posivelost, zaradi različne izpostavljenosti UV svetlobi, ter ostalih dejavnikov razgradnje.



Slika 9: Primer sivenja lesene fasade (Riko Hiše, 2015)

2.4 DOLOČANJE VLAŽNOSTI LESA

2.4.1 Namen določanja vlažnosti lesa

Razlogov za merjenje lesne vlažnosti je veliko, največkrat pa jo določamo v naslednjih primerih:

- v svežem lesu, za določitev količine vode v lesu,
- pred izvajanjem sušenja, za izbiro pravilnega programa sušenja,
- med izvajanjem sušilnega procesa, za kontrolo in primerjavo vlažnosti z režimom sušenja,
- po sušenju, kot kontrolo pred nadaljnjo obdelavo ali uporabo,
- med postopki obdelave, za preprečevanje delovanja in preverjanje ustreznosti zahtevam nadaljnjih postopkov kot so lepljenje in različne stopnje površinske obdelave
- po vgraditvi, zaradi vpliva nihajočih klimatskih razmer ali morebitnih napak,
- za raziskovalne namene in
- za spremljanje kvalitete izvedenih del (Metode določevanja vlažnosti lesa, 2015).

2.4.2 Metode določanja vlažnosti lesa

Poznamo več načinov določanja vlažnosti lesa (Metode določevanja vlažnosti lesa, 2015):

- gravimetrična metoda,
- merjenje z uporovnimi merilniki,
- merjenje dielektrične konstante,
- destilacijska metoda,
- titracijska (Karl-Fischerjeva metoda),
- z β delci ali žarki,
- z nevtroni z visoko energijo,
- z nuklearno magnetno resonanco
- idr.

V praksi se največkrat uporabljajo električni merilniki (merjenje upornosti in merjenje dielektrične konstante) in gravimetrična metoda (metoda tehtanja) (Metode določevanja vlažnosti lesa, 2015).

2.4.3 Uporovni merilniki

Električne metode merjenja lesne vlažnosti spadajo med nedestruktivne metode. Električni merilniki (Slika 10) delujejo na odvisnosti med električno upornostjo lesa in količino vode v lesu. Meritve so zanesljive v relativno majhnem območju in so manj natančne, vendar zadoščajo našim potrebam. Ločimo dva tipa električnih merilnikov: uporovni merilnik, ki deluje na istosmerni tok in dielektrični merilnik, ki deluje na izmenični tok (Električni merilniki lesne vlažnosti, 2015).



Slika 10: Merilnik vlažnosti lesa (Pce Instruments, 2015)

- **ELEKTRIČNI UPOROVNI MERILNIK**

Ta vrsta merilnika, temelji na principu, da z nižanjem vlažnosti lesa električna upornost lesa narašča. Pri sušenju od TNCS (tj. točka nasičenja celičnih sten) pa do absolutno suhega lesa se električna upornost lahko poveča za 10^6 - do 10^{12} -krat. Od vlažnosti lesa ob poseku pa do TNCS pa se električna upornost spremeni le za okoli 50-krat. Upornost je odvisna tudi od smeri lesnih vlaken, temperature in vrste lesa. S tovrstnimi merilniki lahko izvajamo natančne meritve le v območju vlažnosti lesa med 6 % in 25 %. Merjenje pod 6 % lesne vlažnosti je nenatančno, ker je upornost prevelika, in obratno pri višjih vlažnostih, upornost pade na majhne vrednosti. Na merjenje močno vpliva temperatura lesa, merilniki so umerjeni na temperaturo 20 °C. Tako je potrebno pri vsaki meritvi upoštevati temperaturno kompenzacijo in nastaviti merilnik za vsako lesno vrsto posebej. Če merimo vlažnost z iglami, je priporočljivo da so te izolirane (Električni merilniki lesne vlažnosti, 2015). V zadnjem obdobju se ta metoda uveljavlja tudi za kontinuirano spremljanje vlažnosti lesa v vgrajenih objektih. V tem primeru nas zanima predvsem vlažnost lesa nad mejo, primerno za glivni razkroj. Ta se nahaja med 20 % in 25 %.

- **DIELEKTRIČNI ALI KAPACITIVNOSTNI MERILNIKI**

Merilniki delujejo na osnovi dielektričnih lastnosti lesa. Te so odvisne od gostote, vlažnosti in temperature lesa. Merilniki so občutljivi na količino snovi med elektrodama in na spremembo gostote lesa. Razpoke ali smolni žepki lahko ovirajo meritev, oziroma je posledično meritev netočna. Dielektrični merilniki se uporabljajo manj kot uporovni. Meritve je možno opraviti v območju lesne vlažnosti od 0 % do 25 %. Ta način merjenja izmeri povprečno vlažnost med elektrodama (Električni merilniki lesne vlažnosti, 2015).

2.5 MODELNI OBJEKT ZA SPREMLJANJE ŽIVLJENSKE DOBE

Les je vedno bolj priljubljen gradbeni material. Zadnje čase izkazuje posebno velik potencial za sanacijo ovojev stavb in energijsko sanacijo. V tem primeru se srečujemo z zahtevo po poznavanju življenjske dobe lesa na prostem, intervalih obnavljanja in ne nazadnje tudi po energijski učinkovitosti ovojev. Z namenom izpopolniti znanje smo na vrtu Oddelka za lesarstvo postavili modelni objekt (Slika 11), kjer kontinuirano spremljamo te parametre (Humar, 2015).



Slika 11: Modelni objekt (Avtor: Miha Humar)

Med ključnimi preprečevalci širše porabe lesa, je podatek o življenjski dobi uporabljenega lesa in intervalih vzdrževanja. Ta dva podatka sta za načrtovanje investicij nujna. Informacije pridobljene na modelnem objektu, so še zlasti pomembne za širšo ljubljansko pokrajino, saj so vremenske razmere v tem okolju med najbolj neugodnimi za rabo lesa na prostem (Humar, 2015).

V mednarodni primerjavi različnih klim se je izkazalo, da je klima v okolici Ljubljane med najbolj ugodnimi za razvoj gliv razkrojevalk. Zato smo se v sodelovanju s partnerskimi podjetji odločili za postavitve modelnega objekta, kjer v stvarnih pogojih spremljamo življenjsko dobo lesa (Humar, 2015).

V našem podnebnem pasu les ogrožajo predvsem glive, zato se bomo pri modelnem objektu osredotočili predvsem nanje. V naravi so procesi razgradnje zaželeni, kadar les uporabljamo v komercialne namene, pa želimo razkroj čim bolj upočasniti. Najpogostejša rešitev, s katero podaljšamo življenjsko dobo lesa, je impregnacija neodpornih lesnih vrst z biocidi ali uporaba odpornih tropskih lesnih vrst, vendar uporabe le-teh ne uvrščamo med okolju prijazne. Zato potekajo raziskave, ki obravnavajo možnosti okolju prijazne zaščite lesa. V okviru tega projekta smo se dotaknili treh rešitev, in sicer: impregnacije neodpornih lesnih vrst s hidrofobnimi pripravki, termične modifikacije lesa in uporabe domačih odpornih lesnih vrst. Če les uporabljamo v gradbene namene je nujno poznati življenjsko dobo nezaščitenega in zaščitenega lesa v izbranem okolju. Namen projekta modelnega objekta je vzpostaviti sistem spremljanja življenjske dobe naših lesnih materialov v stvarnih pogojih. Zato je bilo treba postaviti čim bolj realno konstrukcijo, na katero smo vgradili lesne materiale za testiranje (Humar, 2015).

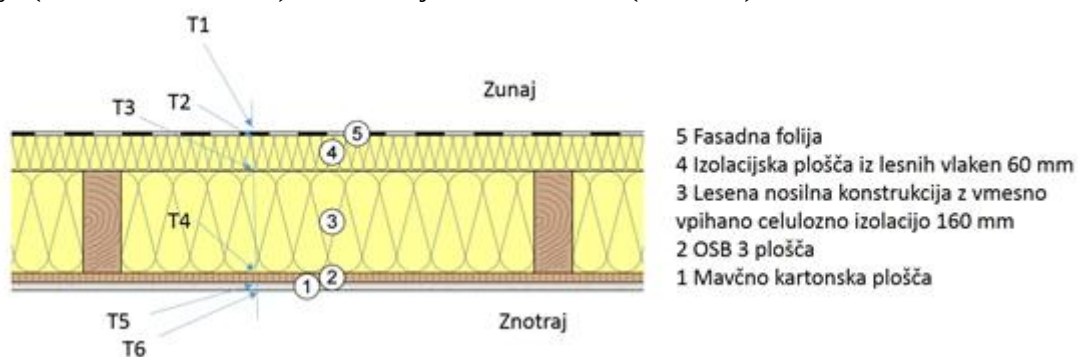
Materiale smo povezali s sondami za določanje vlažnosti lesa (upornosti lesa), temperature, mase lesa ... Poleg tega v objektu spremljamo klimo, fazni zamik prehoda toplote skozi izolacijski ovoj, barvo lesa, prisotnost gliv razkrojevalk, gliv modrivk in plesni ter smer in moč vetra (Humar, 2015) ...

Vedno pomembnejša je tudi izolacija ovoja stavbe. Včasih so za te namene uporabljali predvsem umetne izolacijske materiale, danes pa pridobivamo naravne izolacijske materiale, kot je na primer celulozna izolacija. Stavba je izolirana s celulozno izolacijo ZIMICELL, ki je proizvedena v Sloveniji. Celulozna toplotna in zvočna izolacija je narejena iz prostih celuloznih vlaken. Ta so proizvedena iz časopisnega papirja z mehanskim razvlaknjevanjem. Med proizvodnim procesom se vlaknom z avtomatskim doziranjem dodajo mineralna protipožarna, insekticidna in fungicidna sredstva. Eden izmed namenov tega projekta je preveriti, kako se obnaša ta material skozi življenjsko dobo, ali se poseda, ali se izolativnost izolacije sčasoma spreminja. Odgovore na ta vprašanja nam bodo omogočila večletna testiranja (Humar, 2015).

3 MATERIALI IN METODE

Modelni objekt stoji na vrtu Oddelka za lesarstvo. Na vzhodni in južni strani mimo pelje cesta, ki je od objekta oddaljena nekaj metrov. Na zahodni strani ga obdajajo bližnje zgradbe, ki stojijo za cesto. Na zahodni strani ob njem stojijo drevesa, enako na severu, le da so nekoliko bolj oddaljena. Najbolj odprt in izpostavljen je testni objekt s severne strani.

Skelet objekta je iz smrekovega lesa dimenzij 8x16 cm tehnično sušen na 14 %. Med nosilne elemente je vpihana celulozna izolacija. Na notranji strani je nato pritrjena OSB plošča in nanjo mavčno kartonska plošča. Na zunanji strani pa je na skelet pritrjena lesno vlaknena izolacijska plošča, sledijo podkonstrukcijske letve, nato fasadna UV obstojna folija (sekundarna kritina) in nazadnje fasadne letve (Slika 12).



Slika 12: Prikaz sestave stene

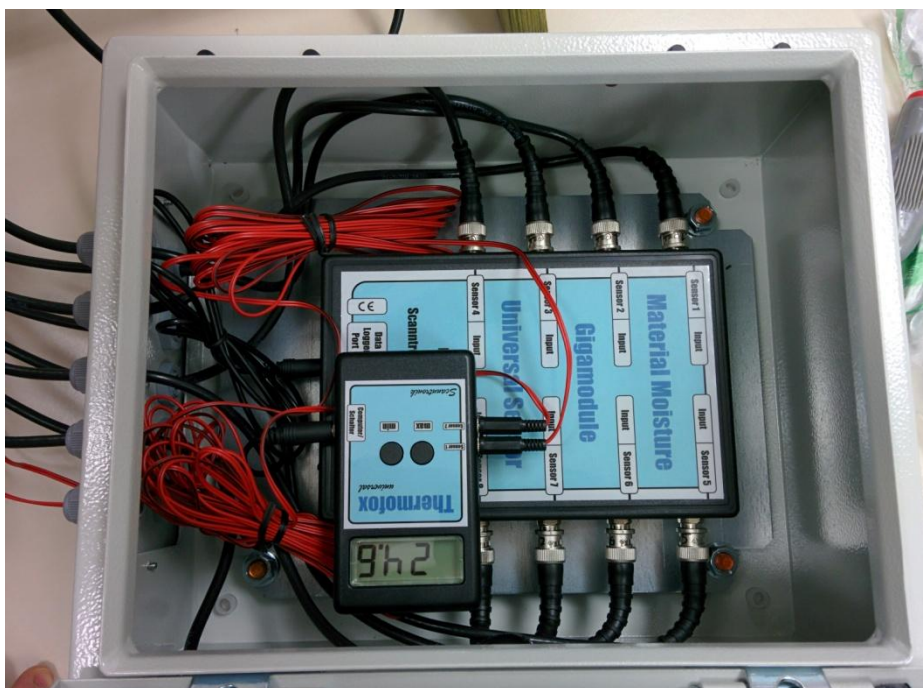
Letvice so izdelane iz tehnično sušenega lesa. Uporabili smo smrekovino (*Picea abies*), evropsko macesnovino (*Larix decidua*) in borovino (*Pinus sylvestris*) debeline 25 mm in širine 50 mm. Vijačene so s cinkanimi vijaki.



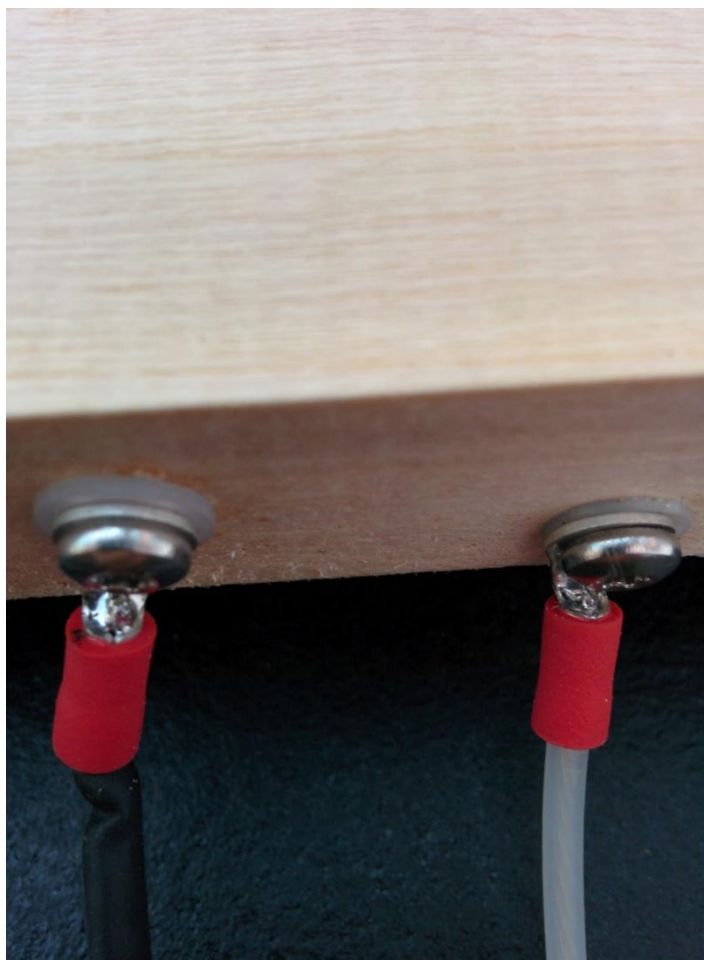
Slika 13: Prikaz izvedbe fasade in merilec zadrževanja kondenza na vodoravni površini (Avtor: Nejc Zakrajšek)

Temperaturo merimo na zunanji in notranji strani letvice s temperaturnimi senzorji. Tako upravljamo in naprej razpolagamo s povprečjem temperature. Merimo na vseh straneh neba in na terasi na eni lokaciji (Slika 13). Senzorje za spremljanje temperature je izdelal dr. Mitja Ferlan z Gozdarskega inštituta Slovenije. Senzorji za spremljanje temperature so nameščeni na beli površini. Na ta način izničimo vpliv barve površine. Ti senzorji beležijo temperaturo vsakih 15 minut in jo preko GPRS modula pošiljajo na Dropboxov strežnik, kjer se ti podatki shranjujejo. Poleg teh senzorjev se na notranji strani letov nahajajo tudi temperaturni senzorji podjetja Scantronnik (Slika 14), ki beležijo temperaturo lesa vsakih 12 ur. Te podatke potrebujemo za pravilen izračun vlažnosti lesa.

Vlažnost se meri na vsaki strani objekta z enim senzorjem za vsako lesno vrsto. V ta namen uporabljamo izolirane jeklene elektrode, ki merijo električno upornost v sredini vzorcev (Slika 15). Električno upornost merimo vsakih 12 ur. Iz podatkov o električni upornosti in temperaturi lesa smo izračunali vlažnost lesa, kot to opisuje Lampen (2012).



Slika 14: Merilni sistem podjetja Scanntronik za merjenje in beleženje vlažnosti lesa (Avtor: Miha Humar)



Slika 15: Elektrode za spremljanje vlažnosti lesa (Avtor: Miha Humar)

Vremenske podatke smo sprva povzeli s strani ARSO (ARSO, 2015), od aprila 2014 pa smo ob objektu postavili amatersko vremensko postajo, ki podaja vremenske podatke točno na lokaciji kjer stoji modelni objekt. Tako so podatki bolj točni.

Zadrževanje kondenza na površini se spremlja s pomočjo senzorjev, ki jih je po naročilu izdelal dr. Mitja Ferlan iz Gozdarskega inštituta Slovenije. Ti senzorji so pritrjeni na površino lesa oziroma 2 m nad teraso (Slika 13). Zaradi možnosti poškodb niso nameščeni neposredno na teraso. Senzorji delujejo po principu sklenitve električnega kroga. Do tega pride ob prisotnosti kapljice vode, ki se zadrži med elektrodama senzorja. Pri tem steče električni tok, kar senzor zabeleži. S tem dobimo podatek o času ko je bila površina vlažna in hkrati ko je bila suha (električni tok ni tekkel) (Sliki 13 in 16).



Slika 16: Sistem za spremljanje površinske kondenzacije in sončnega obsevanja (Avtor: Miha Humar)

Poleg teh senzorjev se nahajajo tudi senzorji, ki na vseh straneh neba merijo energijo sončnih žarkov, ki padejo na površino. Na ta način pridemo do podatka, kako intenzivno je obsijana posamezna površina in kako to vpliva na fotodegradacijo. Tudi ta merilni sistem je bil izdelan na Gozdarskem inštitutu Slovenije.

Modrenje lesa smo prvič ocenjevali dne 29.11.2013, drugič 7.1.2014, naslednjič 18.3.2014, potem 5.6.2014 in zadnjič 7.10.2014. Ocenjevalo je več ljudi, ocene smo prikazali kot povprečje ocen vseh ocenjevalcev. Ocenjevalne kriterije smo priredili po standardu SIST EN 152-1 (1996), le tretji razred smo razdelili na dva dela.

Tako pomeni:

- ocena 0: površina ni obarvana: madežev na površini ne opazimo,
- ocena 1: površina je minimalno in zato nepomembno obarvana: največji dovoljeni premer madežev je 2 mm, vseh madežev ni več kot 50,
- ocena 2: les je močno obarvan: če so madeži med seboj povezani, je lahko obarvano do $\frac{1}{3}$ površine vzorca; če madeži med seboj niso povezani, je lahko obarvano do $\frac{1}{2}$ površine vzorca,
- ocena 3: les je močno obarvan: če so madeži med seboj povezani, je obarvano več od $\frac{1}{3}$ površine vzorca,
- ocena 4: madeži med seboj niso povezani, pomodrelo je več od $\frac{1}{2}$ zgornje površine vzorca.

Kjer ni bilo možno ločiti med fotodegradacijo površine in modrenjem, smo oceno označili z *.

4 REZULTATI Z RAZPRAVO

4.1 OPIS IZPOSTAVITVENIH POLOŽAJEV

Ideja modelnega objekta je, da na različnih položajih izpostavimo različne lesne vrste in določimo, kako se v teh pogojih obnašajo. Upoštevati je potrebno, da so na posameznih straneh modelnega objekta lokacije drevesnih vrst različne, zato vsako lokacijo za vsako posamezno lesno vrsto obravnavamo ločeno. Velja, da prihaja tudi do razlik, ki so posledica izpostavitve in ne lastnosti posameznega materiala, kajti izpostavljenost ni identična, če je ena vrsta pomaknjena visoko pod napušč, druga pa je locirana blizu tal.

Prikazane so natančne lokacije lesnih vrst: 1 – smrekovina, 10 – jedrovina macesna, 17 – bor beljava, 18 – bor jedrovina. Izpostavitve posameznih lesnih vrst je razvidna iz slik (Slika 17 do Slika 21). Na terasi, severni, južni in zahodni strani so izpostavljeni vsi materiali, na vzhodni pa le smrekovina in macesnovina.



Slika 17: Severna stran modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)



Slika 18: Južna stran modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)



Slika 19: Vzhodna stran modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)



Slika 20: Zahodna stran modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)



Slika 21: Terasa modelnega objekta (Avtor: Miha Humar)

V kolikor med seboj primerjamo izpostavljenost posameznih strani fasade in terase, je očitno, da je najbolj izpostavljena terasa. Ta se v celoti nahaja v vodoravnem in popolnoma izpostavljenem položaju, zato nanjo pade največja količina padavin, obenem pa je odtekanje vode najpočasnejše (Slika 21). Vzhodna (Slika 19) in zahodna stran (Slika 20) sta nekoliko manj izpostavljeni kot terasa, saj se nahajata v vertikalnem položaju.

Upoštevati je treba, da obe strani fasadi nimata nadstreška. Tema fasadama sledita južna (Slika 18) in severna fasada (Slika 17). Severna fasada je zaradi previsa najmanj izpostavljena. Nekoliko bolj so izpostavljene le spodnje letve, ki jih moči odbita meteorna voda.

4.2 KLIMATSKI POGOJI V LJUBLJANI

Na območju vrta Oddelka za lesarstvo se nahaja tudi manjša amaterska vremenska postaja. V prvih mesecih izpostavitve vremenska postaja še ni delovala, zato smo za potrebe pridobili vremenske podatke, ki so dostopni s portala ARSO (ARSO, 2015).

Preglednica 2: Vremenski podatki s portala ARSO (ARSO, 2015)

LETO	MESEC	POVPREČNA TEMPERATURA (°C)	POVPREČNA RELATIVNA VLAŽNOST (%)	KOLIČINA PADAVIN (mm/m ²)	ŠT. DNI S PADAVINAMI > 0,1mm/m ²	ŠT. DNI Z MEGLO
2013	OKTOBER	13,2	80	37,4	14	8
	NOVEMBER	7,3	82	207,7	18	5
	DECEMBER	2,7	90	60,5	12	15
2014	JANUAR	5,4	90	172	17	15
	FEBRUAR	4,4	88	281,4	21	13
	MAREC	10	67	35,4	9	2
	APRIL	13,1	72	97,5	14	5
	MAJ	15,7	65	94	15	2
	JUNIJ	20,2	66	131,4	14	3
	JULIJ	20,8	75	130,3	21	3
	AVGUST	19,6	76	205	14	8
	SEPTEMBER	16,2	83	203,6	17	15
	OKTOBER	13,6	81	163,4	11	7
	NOVEMBER	8,8	92	248,6	21	12
	DECEMBER	3,9	84	87,9	15	4
2015	JANUAR	2,8	83	69,7	11	7
	FEBRUAR	2,4	82	64,3	12	9
	MAREC	7,6	68	105,1	9	1
	APRIL	11,8	62	46,8	8	1
	MAJ	17	70	114,9	12	2

Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO) vsako leto na spletni strani izda mesečni bilten, kjer objavi podatke o meteorologiji, agrometeorologiji, hidrologiji, onesnaženosti zraka in potresih glede na izračun povprečij med letoma 1961 in 1990 (primerjalno obdobje). Značilnosti za posamezno leto povzemamo z biltenov.

Po objavljenih podatkih je bilo leto 2013 nadpovprečno toplo. Letno povprečje sončnega obsevanja je bilo nižje kot prejšnja leta, izstopa le poletje, ki je preseglo povprečje sončnega obsevanja prejšnjih poletij. Zima, pomlad in jesen so postregle z nadpovprečno količino padavin, poletje je bilo s padavinami skromno (Naše okolje, 2013). Vlažno okolje in topla jesen in pomlad, sta nudili odlične pogoje za razvoj gliv.

V letu 2014 so bile po nižinah zabeležene višje temperature kot lepo poprej, dosežene so bile rekordne vrednosti, kljub temu, da je bilo sončnega vremena manj kot v povprečju primerjalnega obdobja. Padavine, ki jih je bilo povsod vsaj za desetino več kot v dolgoletnem povprečju, so večkrat povzročile obsežne poplave. Ponekod je bilo leto 2014 rekordno namočeno. To se je odražalo v pogostosti in intenzivnosti poplav in vodnatosti rek. Leto 2014 je zaznamoval izjemno obsežen pojav žleda, ki je povzročil ogromno škodo v prvih dneh februarja (Naše okolje, 2014).

V preglednici 2 so prikazani vremenski podatki, ki imajo vpliv na degradacijo fasade. To so predvsem podatki o temperaturi, količini padavin, številu padavinskih dni in dni z meglo. Predvsem vlažno okolje je ključno za razvoj površinskih obarvanj.

Podatki o povprečni temperaturi, povprečni relativni zračni vlažnosti, količini padavin in sončnem obsevanju izmerjeni ob modelnem objektu so prikazani v preglednici 3. Ti podatki se nahajajo predvsem za drugo obdobje izpostavitve. Vključujejo še podatke o urah sončnega obsevanja, ki nakazujejo, kako je sijalo sonce.

Preglednica 3: Vremenski podatki z območja modelnega objekta

LETO	MESEC	POVPREČNA TEMPERATURA (°C)	POVPREČNA RELATIVNA VLAŽNOST (%)	KOLIČINA PADAVIN (mm/m ²)	SEŠTEVEK SONČNEGA OBSEVANJA (kWh/m ²)	POVPREČJE SONČNEGA OBSEVANJA/ DAN (kWh/m ²)
2014	APRIL	12,5	78	4	131633	146
	MAJ	14,5	70	97	271933	163
	JUNIJ	18,8	73	162	335441	165
	JULIJ	19,6	80	109	418037	140
	AVGUST	18,8	82	189	360005	121
	SEPTEMBER	15,6	87	169	250654	87
	OKTOBER	13,0	85	122	189136	64
	NOVEMBER	8,4	94	204	63931	22
	DECEMBER	3,6	88	58	61770	21
2015	JANUAR	2,1	86	30	68654	27
	FEBRUAR	1,7	86	76	125401	47
	MAREC	6,9	71	94,8	336963	113
	APRIL	11,1	64	42	448037	156
	MAJ	16,1	75	84	412246	139
	JUNIJ	21,1	68	17	271469	164

Iz podatkov je razvidno, da je v letu 2014 na točni lokaciji padlo manj padavin kot navaja ARSO za celotno Slovenijo. Ti podatki so natančnejši, saj so pridobljeni natanko na lokaciji ob testnem objektu. Agencija ARSO tako navaja, da je od aprila 2014 do maja 2015 na območju celotne Slovenije padlo 1763 mm/m^2 padavin, naše meritve pa so v istem obdobju namerile 1441 mm/m^2 padavin (Preglednica 2 in 3). Upoštevati pa je treba, da predvsem meritve padavin na amaterskih postajah niso tako natančne saj, predvsem v času neviht, veter odpihne del padavin, v času zmrzali in snega pa dela padavin ne zaznamo. Podatek z male vremenske postaje je pomemben predvsem za vrednotenje padavinskih dogodkov.

4.3 MIKRO-LOKALNI KLIMATSKI POGOJI NA POSAMEZNI FASADI

Vremenski podatki pridobljeni s strani ARSO in z naše amaterske vremenske postaje, so pokazatelj, ki kaže standardizirane podatke o vremenu. Mikro pogoji na vseh straneh fasade pa so pogosto močno različni. Posamezne strani fasade so različno obsevane, različno izpostavljene vlaženju in se nahajajo pod različnimi temperaturnimi režimi. Zato smo v zadnjih dveh mesecih opravljali meritve še na mikrolokacijah fasade. Kljub temu, da je meritev potekala le dva meseca, ti podatki nakazujejo na obremenjenost posamezne fasade.

Predstavljeni so vremenski pogoji v času izvajanja meritev (Preglednica 4). Meritve so se izvajale na vseh straneh fasade in terasi. V tabeli so predstavljeni rezultati meritev temperature na površini fasade. Temperatura lesa je bila predvidoma še nekoliko višja od izmerjenih temperatur, saj je les temnejši in zato absorbira več energije, kot beli senzorji, kjer so potekale dejanske meritve.

V mesecu aprilu je najvišje temperature dosegala južna fasada (36°C), sledi ji terasa ($34,1^\circ\text{C}$), zahodna stran ($32,2^\circ\text{C}$) ter vzhodna ($30,6^\circ\text{C}$) in severna fasada ($30,6^\circ\text{C}$). V mesecu maju je bila najtoplejša terasa ($38,9^\circ\text{C}$), po vrsti sledijo južna ($38,1^\circ\text{C}$), zahodna ($34,8^\circ\text{C}$), severna ($34,3^\circ\text{C}$) in vzhodna fasada ($29,9^\circ\text{C}$). Junija (9 dni) je bila najtoplejša terasa (44°C), sledita ji z enako temperaturo južna ($40,5^\circ\text{C}$) ter zahodna ($40,5^\circ\text{C}$) stran, nato severna ($38,8^\circ\text{C}$) in zadnja vzhodna ($34,5^\circ\text{C}$) stran neba. Iz podatkov je lepo razviden trend višanja temperature proti poletju, ter največja izpostavljenost terase (Slika 22). Poleg tega se jasno vidi, da je zjutraj temperatura južne fasade nižja zaradi osenčenosti in zaradi dejstva, da so zjutraj temperature najnižje. Najbolj sta sončnemu obsevanju izpostavljeni terasa in južna stran. Relativno dobro je osenčena tudi severna stran, saj jo ob zahodu delno obsije sonce, v njeni bližini pa nidreves, ki bi zasenčila fasado.

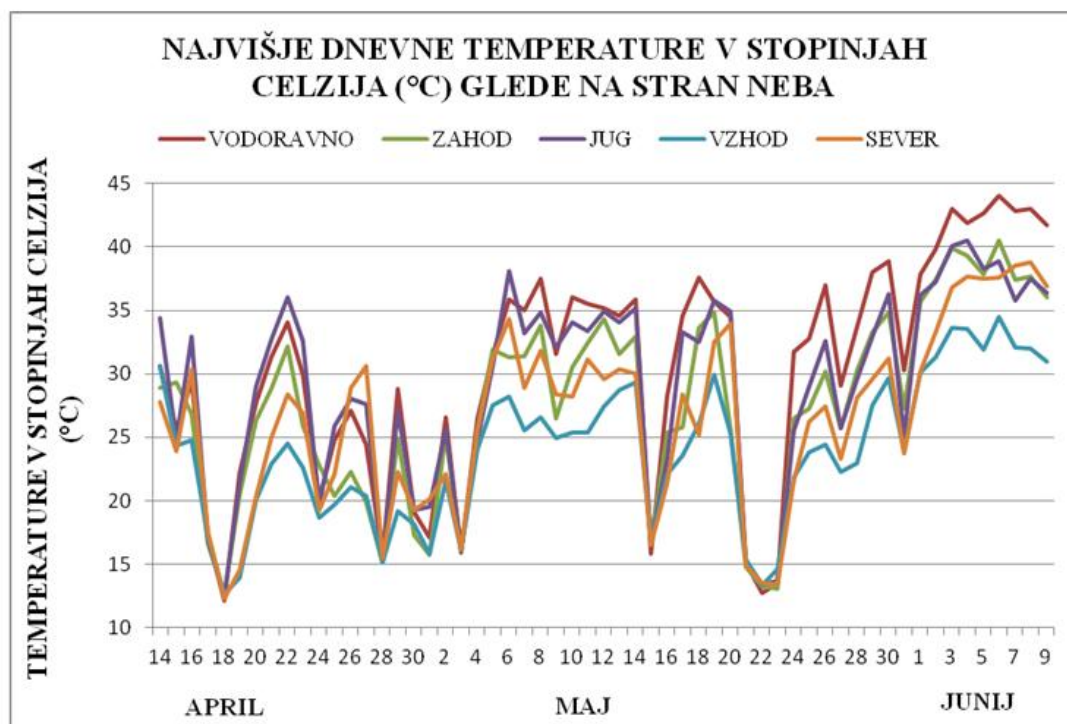
Preglednica 4: Najvišje dnevne in mesečne temperature v stopinjah celzija (°C) glede na stran neba

MESEC	STRAN NEBA					
	DAN	TERASA	ZAHOD	JUG	VZHOD	SEVER
APRIL	14	30,6	28,9	34,4	30,6	27,8
	15	25,6	29,3	24,8	24,3	23,9
	16	29,4	26,8	32,9	24,8	30,4
	17	17,2	16,6	16,9	17,1	17,5
	18	12,1	12,6	12,5	12,6	12,3
	19	22,2	20,5	21,3	13,9	14,5
	20	27,7	26,3	29,0	20,0	20,3
	21	31,3	28,8	32,7	22,9	24,9
	22	34,1	32,2	36,0	24,5	28,4
	23	29,9	25,9	32,6	22,6	26,9
	24	20,1	22,8	19,6	18,7	19,3
	25	24,8	20,4	25,9	19,7	22,1
	26	27,1	22,3	28,0	21,1	28,9
	27	24,4	19,9	27,6	20,4	30,6
	28	15,6	15,1	15,2	15,1	15,5
	29	28,8	24,9	27,1	19,2	22,3
	30	19,1	17,3	19,3	18,1	19,3
NAJVIŠJA MESEČNA TEMPERATURA (°C)		34,1	32,2	36,0	30,6	30,6
MAJ	1	17,1	15,7	19,5	15,8	20,1
	2	26,6	25,2	25,6	21,6	22,1
	3	15,9	16,1	16,1	16,1	16,2
	4	26,5	25,6	24,8	24,1	25,5
	5	31,5	31,9	30,6	27,5	31,2
	6	35,9	31,3	38,1	28,2	34,3
	7	35,0	31,4	33,2	25,5	28,9
	8	37,5	33,8	34,8	26,6	31,8
	9	31,6	26,5	32,1	24,9	28,4
	10	36,0	30,5	34,1	25,4	28,2
	11	35,5	32,4	33,4	25,4	31,1
	12	35,2	34,3	34,9	27,4	29,6
	13	34,6	31,6	34,1	28,7	30,4
	14	35,9	32,9	35,2	29,3	30,0
	15	15,8	16,6	16,6	16,8	16,5
	16	28,3	25,4	23,3	22,1	21,4
	17	34,6	25,8	33,3	23,6	28,4
	18	37,6	33,6	32,5	26,1	25,2
	19	35,7	34,8	35,8	29,9	32,5
	20	34,5	25,6	34,9	25,3	34,0

(se nadaljuje)

(nadaljevanje preglednice 4. Najvišje dnevne in mesečne temperature v stopinjah celzija (°C) glede na stran neba)

MESEC	STRAN NEBA					
MAJ	DAN	TERASA	ZAHOD	JUG	VZHOD	SEVER
	21	15,1	14,8	15,2	15,4	14,9
	22	12,7	13,2	13,4	13,3	13,5
	23	13,5	13,1	13,7	14,6	13,4
	24	31,7	26,5	25,5	21,8	21,6
	25	32,8	27,3	29,0	23,8	26,2
	26	37,0	30,2	32,6	24,4	27,4
	27	29,1	25,7	25,7	22,3	23,3
	28	33,7	30,3	29,6	23,0	28,1
	29	38,0	33,3	32,9	27,5	29,6
	30	38,9	34,8	36,3	29,7	31,2
	31	30,3	27,3	25,0	23,9	23,7
NAJVIŠJA MESEČNA TEMPERATURA (°C)		38,9	34,8	38,1	29,9	34,3
JUNIJ	1	37,8	35,7	36,2	30,1	30,2
	2	39,8	37,4	37,2	31,3	33,3
	3	43,0	39,9	40,1	33,6	36,8
	4	41,9	39,3	40,5	33,5	37,7
	5	42,7	37,8	38,3	31,9	37,5
	6	44,0	40,5	38,9	34,5	37,6
	7	42,8	37,4	35,8	32,1	38,5
	8	43,0	37,7	37,5	32,0	38,8
	9	41,7	36,0	36,4	31,0	36,9
NAJVIŠJA MESEČNA TEMPERATURA (°C)		44,0	40,5	40,5	34,5	38,8
NAJVIŠJA IZMERJENA TEMPERATURA (°C)		44,0	40,5	40,5	34,5	38,8



Slika 22: Grafikon najvišjih dnevnih temperatur v stopinjah celzija (°C) glede na stran neba

Drugi podatek, ki pojasnjuje pojav modrenja na fasadi je pojav kapljevinaste vode na površini lesa. To smo določili s senzorji, ki so merili prevodnost med elektrodama. Ko je bila prisotna kapljica, je tok stekel. To vrednost smo vzeli, kot čas ko je bila površina ploščice vlažna. Tekom dneva so se površine posušile. Ta podatek je pomemben, saj nakazuje izpostavljenost posameznih površin. Pridobili smo tudi podatke o zadrževanju kondenza na površini lesa na posameznih straneh objekta. Podatki so zbrani v preglednici 5 (Preglednica 5).

Iz te preglednice se jasno vidi da so nekatere površine bolj izpostavljene kondenzirajoči vlagi kot druge. V preiskovanem obdobju sta bili najdlje časa vlažni terasa in vzhodna fasada. Na senzorjih se je nahajala voda kar polovico vsega časa. Bistveno manj sta bili vlažni vzhodna in južna fasada (33 % časa), najmanj pa severna (29 %). V nadaljevanju bomo skušali oceniti, kako to vpliva na pojav modrenja.

Preglednica 5: Podatki o zadrževanju kondenza na površini lesa na posameznih straneh objekta

MESEC	DAN	TERASA (min)	ZAHOD (min)	JUG (min)	VZHOD (min)	SEVER (min)
APRIL	17	720	323	321	50	51
	18	1373	1034	1162	913	1056
	19	860	689	778	813	706
	20	769	616	611	793	547
	21	588	448	449	568	414
	22	493	192	247	313	204
	23	425	59	110	161	82
	24	1073	445	322	452	288
	25	629	574	544	755	514
	26	666	440	438	752	423
	27	867	469	322	626	237
	28	1369	1076	1039	1189	975
	29	579	605	503	784	446
	30	850	582	582	903	470
SKUPNA MESEČNA KOLIČINA (min)		19999	12851	13463	16101	13426
SKUPNA MESEČNA KOLIČINA (dan)		14	9	9	11	9
MAJ	1	1111	729	717	1017	611
	2	655	601	520	866	483
	3	1208	935	757	1172	679
	4	627	553	460	907	412
	5	578	386	367	669	369
	6	660	407	328	690	301
	7	401	209	133	422	123
	8	526	257	207	493	187
	9	724	336	296	579	287
	10	656	642	546	815	537
	11	578	505	420	768	367
	12	508	345	305	635	248
	13	67	28	14	222	3
	14	517	155	101	298	124
	15	1429	1204	1158	1246	1167
	16	714	748	708	1080	657
	17	627	539	497	896	457
	18	665	500	484	838	445
	19	648	473	424	827	360
	20	728	388	355	846	283
	21	1047	1008	944	1221	927

(se nadaljuje)

(nadaljevanje preglednice 5. Podatki o zadrževanju kondenza na površini lesa na posameznih straneh objekta)

MESEC	DAN	TERASA	ZAHOD	JUG	VZHOD	SEVER
MAJ	22	1437	1231	1229	1251	1231
	23	1438	1248	1243	1251	1246
	24	927	751	797	1123	823
	25	656	582	631	1062	544
	26	934	655	752	1098	658
	27	547	503	524	937	470
	28	284	115	240	775	131
	29	610	341	416	877	311
	30	530	297	381	809	301
	31	360	51	197	858	67
SKUPNA MESEČNA KOLIČINA (min)		22397	16721	16149	26547	14810
SKUPNA MESEČNA KOLIČINA (dan)		16	12	11	18	10
JUNIJ	1	616	503	499	856	455
	2	558	204	287	767	202
	3	593	338	352	790	285
	4	488	167	209	669	111
	5	494	188	208	636	125
	6	479	220	204	637	153
	7	524	163	202	599	103
	8	432	16	51	385	6
	9	539	80	121	486	39
SKUPNA MESEČNA KOLIČINA (min)		4723	1878	2132	5825	1479
SKUPNA MESEČNA KOLIČINA (dan)		3	1	1	4	1
SKUPNA KOLIČINA (min)		47119	31450	31743	48473	29715
SKUPNA KOLIČINA (dan)		33	22	22	34	21

Kondenz se je največ časa zadrževal na vzhodni strani. To je posledica orientiranosti objekta, ter bližine stanovanjskih objektov, ki nudijo zavetrno lego hkrati pa zmanjšajo čas izpostavljenosti sončnemu sevanju. Sledi terasa, saj je locirana vodoravno, posledično voda ne odteka in ne drsi s površine temveč se vpija v les. Razlog, da terasa ne presega vzhodne strani je, da se terasa tako hitro kot navlaži tudi posuši, saj jo sonce obsije skozi večino dneva in je bolj izpostavljena. Sledita južna in zahodna stran, med njima ni bistvene razlike. Najmanj kondenza se je zadrževalo na severni strani. Menimo, da je to posledica mikro lokacije in gibanja zraka okoli testnega objekta. Zrak ima s severne strani zelo odprt dostop, zato površino hitro osuši. Poleg tega je severna stena delno nagnjena (večji napušč) kar dodatno zmanjšuje možnost kondenzacije na tej steni.

V nadaljevanju bomo ovrednotili še čas vlažnosti lesa in vpliv le tega na pojav gliv modrivk. Aprila 2015 smo začeli z meritvami sončnega obsevanja na vseh straneh modelnega objekta in terasi.

Preglednica 6: Podatki meritev sončnega obsevanja. V preglednici je prikazana skupna energija sončnega obsevanja (W/m^2) v opazovanih terminih.

MESEC	STRAN NEBA				
	TERASA	ZAHOD	JUG	VZHOD	SEVER
APRIL	371715	143000	246891	68632	203774
MAJ	459397	110985	211839	77044	207352
JUNIJ	202824*	47202*	88252*	27520*	100992*
SKUPNA KOLIČINA (W/m^2)	1033936,5	301186,6	546982,5	173196,3	512118,4

*v mesecu juniju smo pridobili podatke za prvih devet dni

Iz podatkov (Preglednica 6) vidimo, da je soncu najbolj izpostavljena terasa, kjer deske ležijo vodoravno. Sonce jo obsije takoj ko pride čez hiše na vzhodni strani, in jo obseva dokler ne zaide za okoliška drevesa na zahodu.

Če odmislimo teraso, sta najbolj obsijani južna stran ter za njo severna (Preglednica 6). Sledi zahodna stran. Najmanj je obsevana vzhodna stran, zaradi hiš v neposredni bližini. Podatki o sončnem obsevanju so pomembni tako za razumevanje dinamike vlaženja lesa, kot tudi procesov fotodegradacije. V tej nalogi smo se osredotočili le na procese modrenja. V eni prihodnjih nalog bi bilo smiselno osvetliti tudi procese fotodegradacije.

4.4 VLAŽNOST FASADNIH LESNIH ELEMENTOV

Predstavili bomo meritve vlažnosti lesa, pridobljene na testnem objektu glede na smer in pozicijo posamezne strani fasadnega ovoja. Ker senzorji niso bili nameščeni istočasno, smo del meritev izrazili v absolutnih, del pa v relativnih vrednostih. Del meritev pa je izpadel tudi zaradi tehničnih težav povezanih z merilno opremo.

Na severni strani je bilo opravljenih med 926 in 879 meritev. Glede na to, da smo vlažnost določali dvakrat dnevno, to pomeni, da so meritve potekale več kot leto dni (Preglednica 7).

Preglednica 7: Podatki meritev lesne vlažnosti na severni strani modelnega objekta

	SEVER			
	SMREKA	BOR JEDROVINA	BOR BELJAVA	MACESEN
Število meritev	905	879	926	879
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	25,2	24,6	24,9	25,1
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,1	20,1	20,1	20,1
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	47,0	27,4	31,9	46,1
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)				
U > 20 %	100	100	100	100
U > 25 %	46,0	38,9	42,4	47,2
U > 30 %	0,8	0,0	0,1	0,5
U > 20 % in T > 20 °C	26,6	31,4	36,4	31,4

Zanimivo je, da smo najvišje vlažnosti zabeležili pri macesnovini in smrekovini, ki sodita v lesni vrsti ki sta bolj odporni na navlaževanje. Razlog za to je dejstvo, da sta obe locirani nizko, blizu tal. To kaže na to, da je včasih mikrolokacija pomembnejša od makrolokacije. Sledi beljava bora, ki je nad smreko in macesnom ter pod jedrovino bora. Povprečne vlažnosti vseh lesih vrst so primerljive.

Južna stran je bila nekoliko bolj izpostavljena močenju kot severna stran, vendar je tudi bolj izpostavljena sončnemu obsevanju zato se hitreje suši. Na južni strani smo izvedli med 643 in 850 meritev (Preglednica 8).

Preglednica 8: Podatki meritev lesne vlažnosti na južni strani modelnega objekta

	JUG			
	SMREKA	BOR JEDROVINA	BOR BELJAVA	MACESEN
Število meritev	850	643	643	850
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	24,7	25,0	24,9	26,0
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,1	20,8	20,8	20,1
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	28,0	43,8	27,7	43,6
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)				
U > 20 %	100	100	100	100
U > 25 %	39,5	46,8	43,7	57,1
U > 30 %	0,0	0,5	0,0	7,5
U > 20 % in T > 20 °C	26,5	19,8	19,8	26,5

Smreka je višje pod napuščem kot macesen, zato ima tudi nižjo vlažnost kot macesen. Skladno s tem so vlažnosti macesna višje, kot vlažnosti smrekovine. Macesen je bil tako kar 7,5 % časa vlažnejši od TNCS, med tem ko pri ostalih lesnih vrstah tako visoke

vlažnosti nismo zabeležili pogostejše od 1 %. Pri boru ni bistvene razlike med jedrovino in beljavo, tudi lokacija je podobna. Očitno sta oba materiala dobro zavarovana pred dežjem in razlika v dovzetnosti na vlago ne pride do izraza.

Na vzhodni strani imamo izpostavljeni le dve lesni vrsti, macesnovino in smrekovino. Na teh dveh lesnih vrstah smo izvedli 770 oziroma 905 meritev. Za razliko od ostalih do sedaj opisanih fasad, se tu smreka obnaša slabše od macesna. Delež dni, ko je bila smrekovina vlažnejša od 30 % je 12,3 % pri macesnovini pa le 2 %. Tudi to potrjuje pomen mikrolokacije na vlažnost lesa (Preglednica 9).

Preglednica 9: Podatki meritev lesne vlažnosti na vzhodni strani modelnega objekta

	VZHOD	
	SMREKA	MACESEN
Število meritev	770	905
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	25,7	24,9
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,1	20,1
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	48,4	44,5
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)		
U > 20 %	100	100
U > 25 %	37,1	38,3
U > 30 %	12,3	2,0
U > 20 % in T > 20 °C	35,1	26,6

Zahodna fasada je izpostavljena tako vlaženju kot sončnemu obsevanju. Na tej fasadi smo izvedli med 1003 in 659 meritev. Najvišje vlažnosti smo zabeležili pri borovini (49,9 %), najnižje pa pri smrekovini (38,7 %), kljub primerljivi izpostavljenosti. Delež dni, ko je vlažnost presegala 30 % je bil v vseh primerih relativno nizek in je znašal med 4,6 % (smreka) in 0,8 % (macesen) (Preglednica 10).

Preglednica 10: Podatki meritev lesne vlažnosti na zahodni strani modelnega objekta

	ZAHOD			
	SMREKA	BOR JEDROVINA	BOR BELJAVA	MACESEN
Število meritev	1003	659	659	659
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	24,9	25,5	25,3	25,2
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,0	20,9	20,9	20,9
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	46,2	49,9	49,7	38,7
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)				
U > 20 %	100	100	100	100
U > 25 %	34,1	51,1	46,6	46,0
U > 30 %	4,6	2,9	2,0	0,8
U > 20 % in T > 20 °C	33,6	20,3	20,3	20,3

Terasa je bila najbolj izpostavljena padavinam, zaradi vertikalne orientiranosti, in dejstva da se nahaja relativno blizu tlem. Na terasi smo izvedli 849 meritev vlažnosti (Preglednica 11).

Preglednica 11: Podatki meritev lesne vlažnosti na terasi modelnega objekta

	TERASA			
	SMREKA	BOR JEDROVINA	BOR BELJAVA	MACESEN
Število meritev	850	849	849	849
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	33,9	27,5	45,7	28,1
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,2	20,2	20,1	20,2
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	51,5	39,2	65,4	41,2
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)				
U > 20 %	100	100	100	100
U > 25 %	89,2	64,8	93,2	70,4
U > 30 %	69,1	25,9	87,4	30,9
U > 20 % in T > 20 °C	26,5	26,4	26,4	26,4

Vse vrste lesa so enako izpostavljene. Najvišjo vlažnost je imela beljava bora, sledi ji smreka, macesen in jedrovina bora.

Kot zanimivost in možnost primerjave, bomo v naslednjih preglednicah 12 do 15 prikazali še vlažnosti posamezne drevesne vrste na severni, južni, vzhodni in zahodni strani ter na terasi. S tem imamo omogočen vpogled, kako se ista drevesna vrsta obnaša na različnih straneh modelnega objekta. Pri interpretaciji podatkov ne smemo pozabiti na variabilnost pozicioniranja drevesnih vrst na samem objektu.

V kolikor primerjamo obnašanje macesnovine na posameznih fasadah vidimo, da je bila maksimalna vlažnost macesnovine določena med 38,7 % (zahod) in 46,1 % na severni strani (Preglednica 12). Delež dni, ko je bila vlažnost višja od 30 % pa je najvišji na terasi. To jasno kaže na to, da je delež dni z vlažnostjo višjo od 30 % pomembnejši indikator kot najvišja vlažnost. Med ostalimi fasadami, je bila macesnovina najbolj izpostavljena vlaženju na južni fasadi.

Preglednica 12: Podatki meritev lesne vlažnosti macesna na modelnem objektu

	MACESN				
	TERASA	SEVER	JUG	VZHOD	ZAHOD
Število meritev	849	879	850	905	659
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	28,1	25,1	26,0	24,9	25,2
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,2	20,1	20,1	20,1	20,9
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	41,2	46,1	43,6	44,5	38,7
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)					
U > 20 %	100	100	100	100	100
U > 25 %	70,4	47,2	57,1	38,3	46,0
U > 30 %	30,9	0,5	7,5	2,0	0,8
U > 20 % in T > 20 °C	26,4	31,4	26,5	26,6	20,3

Podobno, kot smo zabeležili pri macesnovini, smo tudi pri jedrovini bora največji delež dni z vlažnostjo nad TNCS zabeležili pri letvah položenih na terasi (Preglednica 13). Vlažnost borovine na ostalih fasadah je bila relativno nizka, nekoliko višje vrednosti smo zabeležili le še na zahodni fasadi.

Preglednica 13: Podatki meritev lesne vlažnosti jedrovine bora na modelnem objektu

	BOR JEDROVINA			
	TERASA	SEVER	JUG	ZAHOD
Število meritev	849	879	643	659
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	27,5	24,6	25,0	25,5
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,2	20,1	20,8	20,9
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	39,2	27,4	43,8	49,9
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)				
U > 20 %	100	100	100	100
U > 25 %	64,8	38,9	46,8	51,1
U > 30 %	25,9	0,0	0,5	2,9
U > 20 % in T > 20 °C	26,4	31,4	19,8	20,3

Beljava bora sodi med bolj permeabilne lesne vrste. Hitro se navlaži, kar se jasno odraža tudi v naših podatkih (Preglednica 14). Vse vrednosti za beljavo bora so bistveno višje od vrednosti, ki smo jih zabeležili pri macesnovini in jedrovini bora. Največji delež dni, ko je vlažnost presegla TNCS smo zabeležili na terasi (87,4 %). Na fasadah je bila vlažnost

bistveno nižja. To kaže na to, da so vertikalne površine bistveno manj izpostavljene kot horizontalne.

Preglednica 14: Podatki meritev lesne vlažnosti beljave bora na modelnem objektu

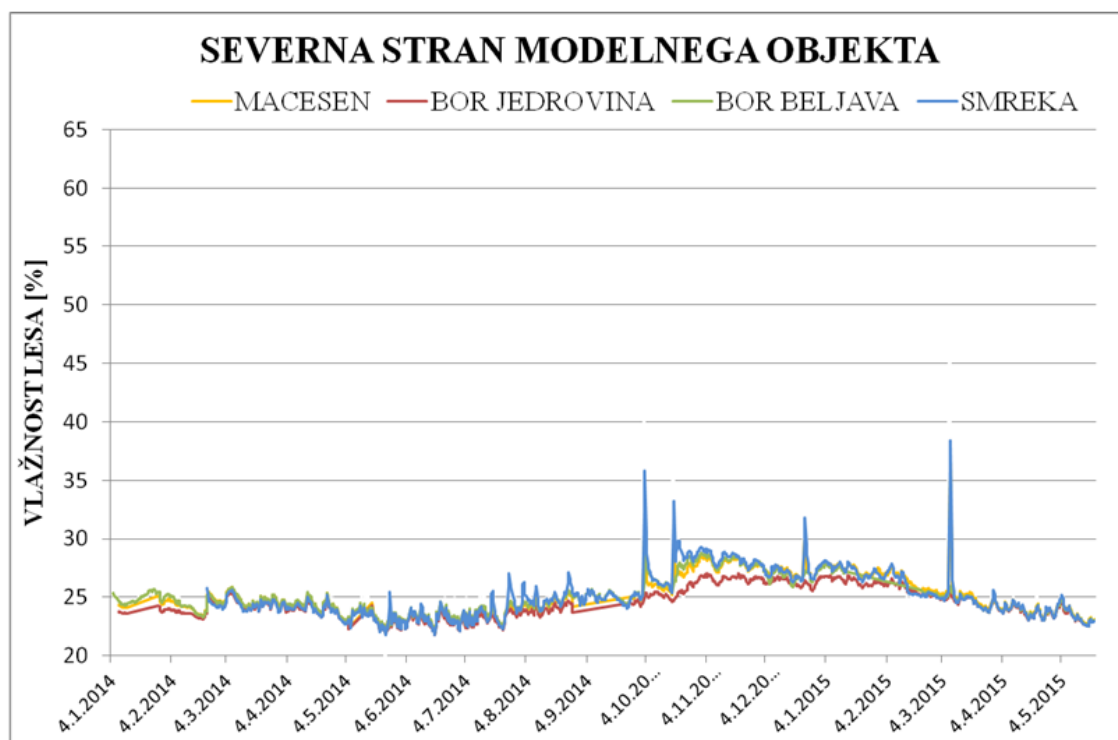
	BOR BELJAVA			
	TERASA	SEVER	JUG	ZAHOD
Število meritev	849	926	643	659
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	45,7	24,9	24,9	25,3
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,1	20,1	20,8	20,9
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	65,4	31,9	27,7	49,7
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)				
U > 20 %	100	100	100	100
U > 25 %	93,2	42,4	43,7	46,6
U > 30 %	87,4	0,1	0,0	2,0
U > 20 % in T > 20 °C	26,4	36,4	19,8	20,3

Smrekovina, se je obnašala podobno kot beljava bora. Vlažnost elementov na terasi je bistveno višja od fasadnih elementov. Izstopa še vzhodna fasada, kjer so fasadni elementi bistveno bolj izpostavljeni vlaženju kot na ostalih straneh modelnega objekta (Preglednica 15).

Preglednica 15: Podatki meritev lesne vlažnosti smreke na modelnem objektu

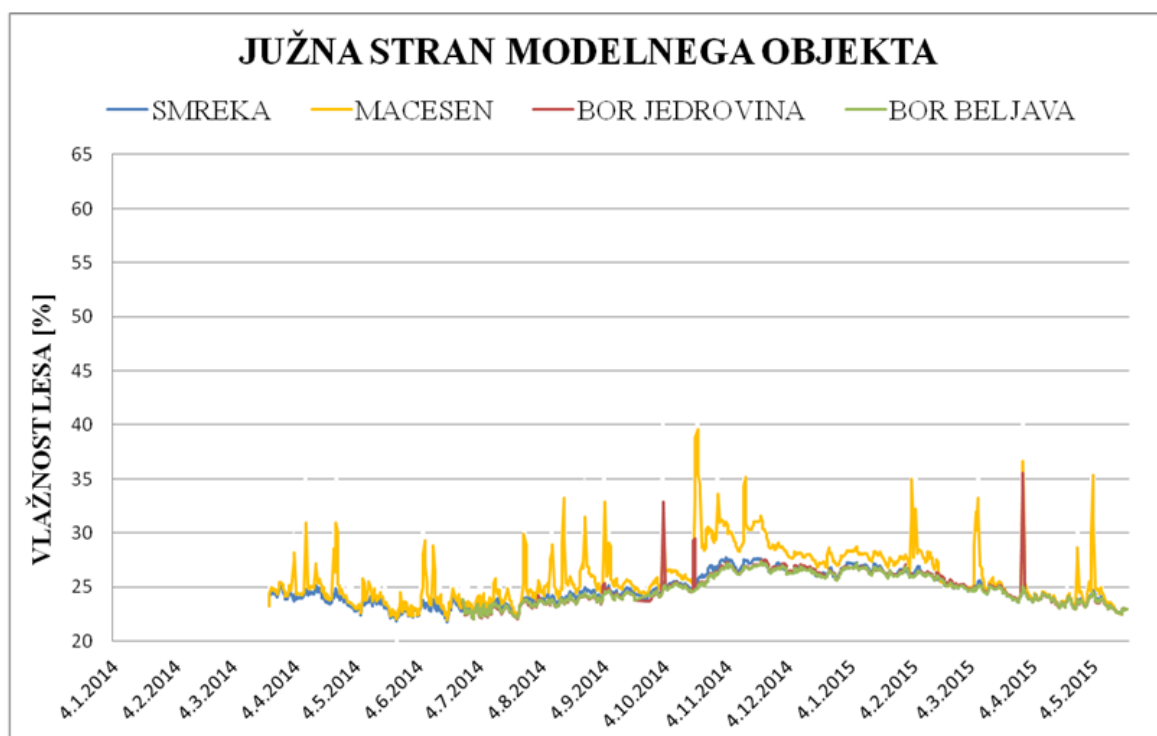
	SMREKA				
	TERASA	SEVER	JUG	VZHOD	ZAHOD
Število meritev	850	905	850	770	1003
Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	33,9	25,2	24,7	25,7	24,9
Minimalna izmerjena vlažnost (%)	20,2	20,1	20,1	20,1	20,0
Maksimalna izmerjena vlažnost (%)	51,5	47,0	28,0	48,4	46,2
DELEŽ MERITEV, KI USTREZAJO DANIM POGOJEM (%)					
U > 20 %	100	100	100	100	100
U > 25 %	89,2	46,0	39,5	37,1	34,1
U > 30 %	69,1	0,8	0,0	12,3	4,6
U > 20 % in T > 20 °C	26,5	26,6	26,5	35,1	33,6

Izrisali smo tudi grafikone, ki prikazujejo nihanje vlažnosti posameznih drevesnih vrst na vseh straneh objekta in terase (Slika 23 do Slika 27):



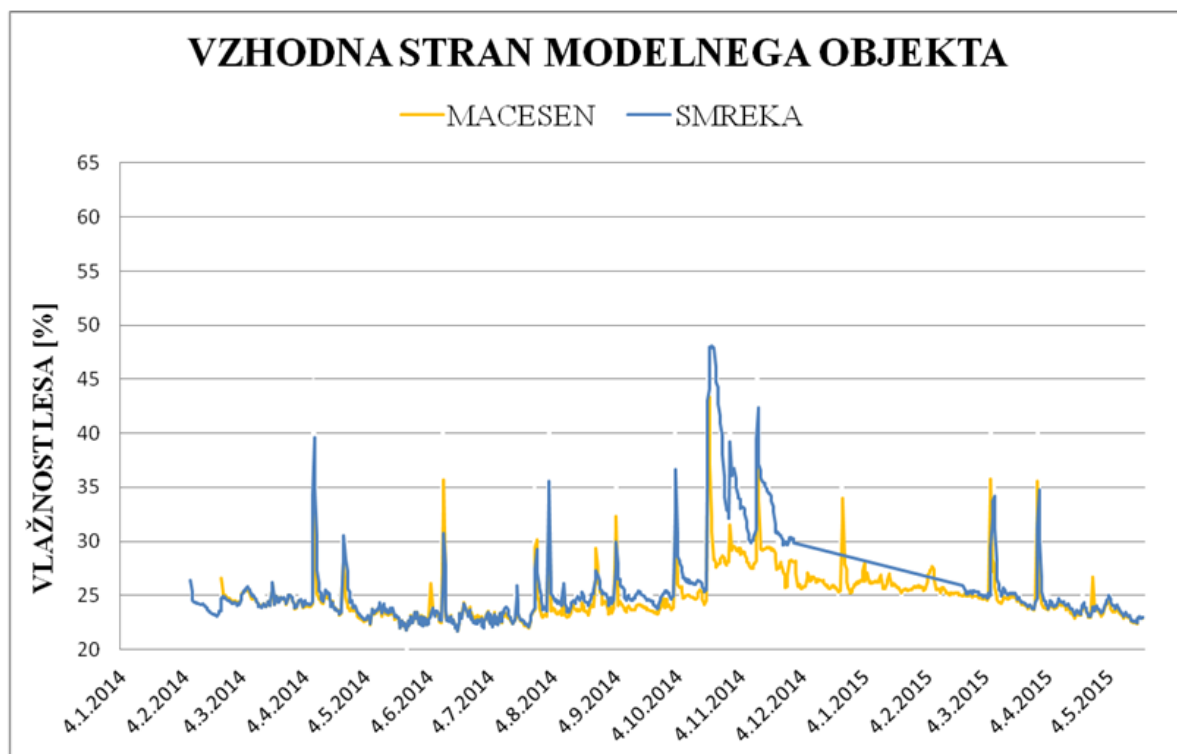
Slika 23: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na severni strani modelnega objekta

Grafikon prikazuje nihanje vlažnosti lesa na severni strani modelnega objekta. Zaradi previsa na steni in večjega napušča so na severni strani pogoji zelo enotni in zato ni velikih razlik v vlažnosti. Najvišjo povprečno vlažnost 25,2 % je imela smrekovina, sledi macesnovina 25,1 %, nato beljava bora s 24,9 %, najnižjo vlažnost pa je imela jedrovina bora, 24,6 %. Razlike v vlažnosti pripisujemo tudi različni poziciji posameznih drevesnih vrst na modelnem objektu. Tako je logična povezava da imata smrekovina in macesnovina, ki sta najbližje tlom, tudi najvišjo vlažnost, beljava in jedrovina bora ki sta locirani višje pod napuščem pa posledično nižjo vlažnost (Slika 23).



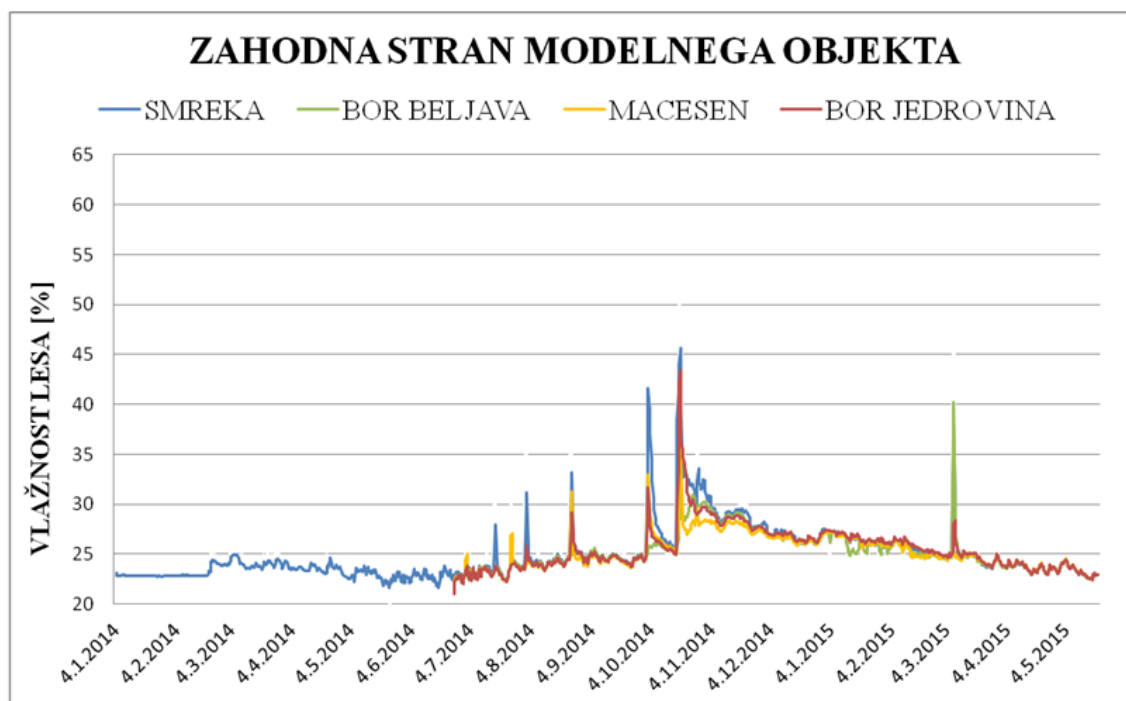
Slika 24: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na južni strani modelnega objekta

Najvišjo povprečno vlažnost na južni strani modelnega objekta je imel macesen in sicer 26,0 %, sledi jedrovina bora s 25,0 %, nato beljava bora s 24,9 % in nazadnje smreka s 24,7 %. Upoštevati je potrebno lokacijo posamezne drevesne vrste na sami fasadi. Smreka je locirana najvišje pod napuščem, zato tudi najnižja izmerjena vlažnost. Najbližje tlom je macesen, bora pa sta na primerljivi višini, zato tudi zelo podobni vlažnosti (Slika 24).



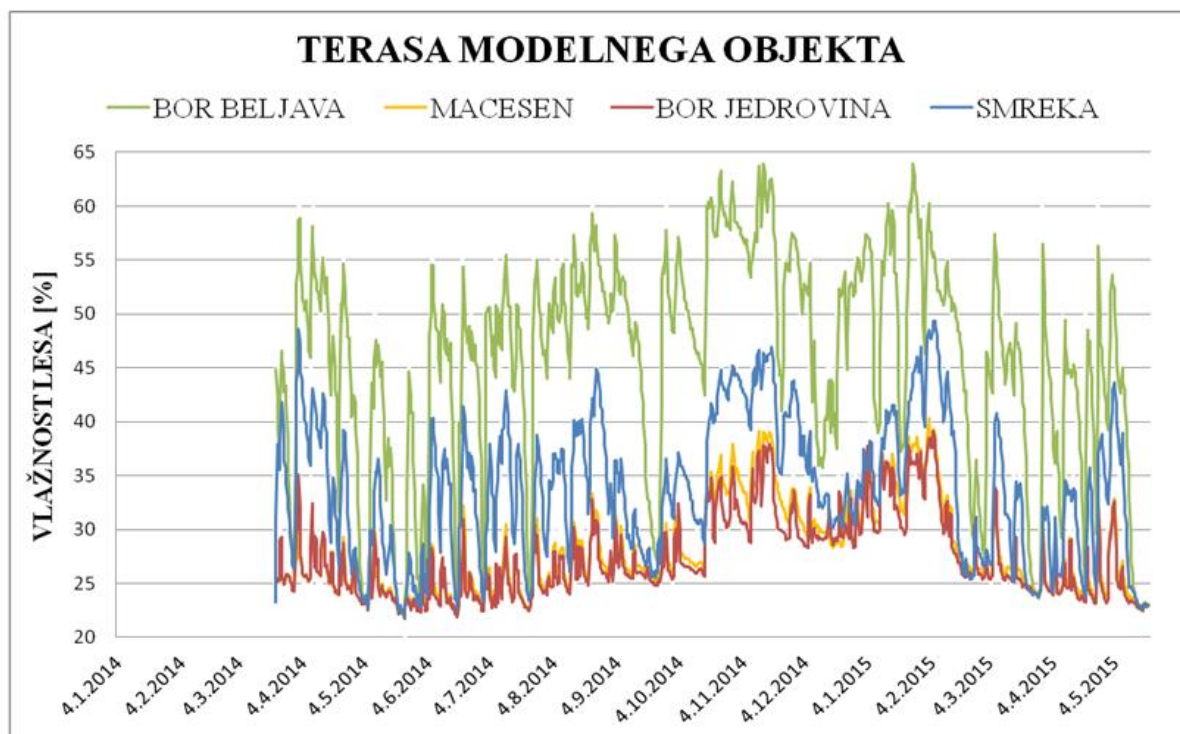
Slika 25: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na vzhodni strani modelnega objekta

Grafikon prikazuje nihanje vlažnosti smrekovine in macesnovine na vzhodni fasadi modelnega objekta. Smreka je tekom izvajanja meritev imela višjo vlažnost. Povprečna vlažnost smrekovine je bila 25,7 %, povprečna vlažnost macesnovine pa 24,9 % (Slika 25).



Slika 26: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na zahodni strani modelnega objekta

Na zahodni strani modelnega objekta je imela najvišjo povprečno vlažnost jedrovina bora, ta je bila 25,5 %, sledi ji beljava bora s 25,3 %, macesen s 25,2 % in smreka s 24,9 %. Na zahodni strani objekta ni napušča, zato lahko rezultate interpretiramo s predpostavko, da so bile vse vrste enako izpostavljene. Najbolj so glive modrivke obarvale smrekovino, sledi ji beljava bora. Najboljšo oceno je prejela jedrovina bora (Slika 26, Preglednica 16).



Slika 27: Grafikon nihanja vlažnosti lesa na terasi modelnega objekta

Na terasi je imela najvišjo povprečno vlažnost beljava bora, to je 45,7 %, sledi smreka s 33,9 %, nato macesen z 28,1 % in nazadnje jedrovina bora s 27,5 %. Iz meritev in ocen modrenja je lepo razvidna povezava med lesno vlažnostjo in modrenjem. Tako je beljava bora že na drugem ocenjevanju modrenja prejela oceno 4, medtem, ko je smreka kot naslednja po vrsti prejela oceno 2,5. Najbolje se je na terasi odrezala macesnovina (Slika 27).

4.5 OCENA POMODRELOSTI FASADE

Tekom izvajanja meritev je potekalo ocenjevanje modrenja. Ocenjevalo je več oseb, tako da smo dobili čim bolj verodostojne podatke in smo se izognili subjektivnemu vplivu. V tabeli imamo prikazana povprečja posameznih ocenjevanj. Prvo ocenjevanje je potekalo dne 29.11.2013, drugo 7.1.2014, naslednje 18.3.2014, potem 5.6.2014 in zadnje ocenjevanje 7.10.2014 (Preglednica 16).

Preglednica 16: Ocene modrenja posameznih lesnih vrst

				DATUM				
				29.11.2013	7.1.2014	18.3.2014	5.6.2014	7.10.2014
Št. materiala	Lesna vrsta/obdelava	Fasada/Terasa	Stran neba	Povprečje 1. ocenjevanja	Povprečje 2. ocenjevanja	Povprečje 3. ocenjevanja	Povprečje 4. ocenjevanja	Povprečje 5. ocenjevanja
1	Smreka	fasada	J	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
		fasada	S	0,2	1,1	2,7	3,2	3,1
		fasada	V	0,0	1,6	1,9	2,1	2,3
		fasada	Z	0,0	1,7	2,4	2,7	3,5
		terasa		1,8	2,5	*	*	*
10	Macesen	fasada	J	0,0	1,0	1,0	0,8	*
		fasada	S	0,0	0,4	1,0	2,8	3,3
		fasada	V	0,0	1,3	2,0	2,0	2,9
		fasada	Z	0,0	0,3	2,0	2,6	3,2
		terasa		0,7	1,0	*	*	*
17	Bor beljava	fasada	J	0,8	2,0	3,0	2,8	2,6
		fasada	S	0,0	0,0	2,0	2,3	2,3
		fasada	Z	0,0	2,3	3,9	3,9	3,9
		terasa		3,4	4,0	*	*	*
18	Bor jedrovina	fasada	J	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
		fasada	S	0,0	0,0	0,4	0,6	0,6
		fasada	Z	0,0	0,3	2,1	2,6	2,8
		terasa		0,5	1,5	*	*	*

* ne loči se modrenja od sivenja

Terasa je zaradi močne izpostavljenosti soncu ter dežju močno posivela, zato po pol leta ni več možno ločiti med modrenjem in fotodegradacijo. Z gotovostjo lahko rečemo, da je najbolj pomodrela beljava bora, saj je že pri drugem ocenjevanju prejela oceno 4. Na severni strani je najbolj pomodrel macesen, kar pa je v največji meri posledica tega, da je najbližje tlom in posledično bolj vlažen. Najbolje se je izkazala jedrovina bora, ki pa je pomaknjena visoko pod napušč in je posledično bolj suha. Na južni strani je najbolj pomodrela beljava bora. Najbolje sta se odrezala jedrovina bora in pa smreka. Smreka je locirana visoko pod napušč, bor pa je umeščen pod polico in s tem pridobi nekaj napušča.

Eden izmed namenov te naloge je, kako na podlagi klimatskih pogojev oceniti, ali bo v posameznem izpostavitvenem položaju na posamezni lesni vrsti prišlo do modrenja ali ne. Na primeru smrekovine je jasno razvidno, da je povprečna vlažnost smrekovine najvišja pri terasi, sledi pa vzhodna, severna, zahodna in južna fasada. Najintenzivnejše modrenje pa se je pojavilo na terasi ter na zahodni in severni fasadi, kljub temu da tam les ni bil najbolj vlažen. Podobno smo zabeležili pri macesnovini. Ne glede na povprečno vlažnost,

smo zabeležili primerljivo pomodrelost macesna. Tudi pri borovini ni bilo zabeležiti vpliva vlažnosti lesa na pomodrelost fasade. Edino na zahodni fasadi je opaziti rahlo povezanost med visoko povprečno vlažnostjo in pomodrelostjo. Ta trend je opaziti tako pri beljavi, kot pri jedrovini (Preglednica 13 in 14).

Preglednica 17: Pregled podatkov in povezav med pomodrelostjo in okoljskimi dejavniki

Lesna vrsta	Smer neba	Vlažnost lesa		Ocena pomodrelosti po 8 mesecih
		Povprečje meritev lesne vlažnosti (%)	Delež meritev, ki ustrezajo $U > 20$ % in $T > 20$ °C (%)	
Smreka	T	33,9	26,5	*
	S	25,2	26,6	3,1
	J	24,7	26,5	0,2
	V	25,7	35,1	2,3
	Z	24,9	33,6	3,5
Macesen	T	28,1	26,4	*
	S	25,1	31,4	3,3
	J	26,0	26,5	*
	V	24,9	26,6	2,9
	Z	25,2	20,3	3,2
Bor jedrovina	T	27,5	26,4	*
	S	24,6	31,4	0,6
	J	25,0	19,8	0,0
	V	/	/	/
	Z	25,5	20,3	2,8
Bor beljava	T	45,7	26,4	*
	S	24,9	36,4	2,3
	J	24,9	19,8	2,6
	V	/	/	/
	Z	25,3	20,3	3,2
	Smer neba	Povprečna temperatura lesa (°C)	Kondenzirajoča vlaga (št. dni)	Povprečno sončno obsevanje (kW/m ²)
Splošne meritve	T	17,1	33	1033,9
	S	17,6	21	512,1
	J	18,0	22	547,0
	V	16,9	34	173,2
	Z	17,0	22	301,2

* ne loči se modrenja od sivenja; / ni podatka

Ker med vlažnostjo lesa in modrenjem ni bilo zaznati tesne povezave, smo testirali povezanost še med drugimi parametri. Glavni razlog, da med vlažnostjo lesa in modrenjem ni tesne povezave, je po vsej verjetnosti povezan z dejstvom, da smo vlažnost določali na sredini vzorcev, modrenje pa je izrazito površinski fenomen. Zato smo preverili, ali obstaja

povezava med kondenzacijo vlage na površini, temperaturo in sončnim obsevanjem (Preglednica 17). Prvo kar opazimo je, da je bila terasa izpostavljena zelo izrazitemu sončnemu obsevanju, kondenzacija vlage na vodoravni površini pa je kljub temu druga najvišja. Kljub temu da je sonce površino hitro posušilo je bila kar dolgo vlažna. To se odraža v relativno intenzivni pomodrelosti (Slika 24, Preglednica 11) ter sivenju (Preglednica 16).

V kolikor med seboj primerjamo posamezne lesne vrste, vidimo, da je bilo najintenzivnejše modrenje na severni in zahodni fasadi. Če te podatke primerjamo s povprečno temperaturo površine, vidimo da je temperatura na teh stranicah povprečna in se ekstremno ne segreje. Sončno obsevanje teh površin je povprečno in primerljivo z južno stranjo. Skupen čas, ko je bila površina vlažna je primerljiv. Zanimivo je, da je bila vzhodna stran bolj vlažna, manj izpostavljena sončnemu obsevanju a je kljub temu manj pomodrela. To kaže na to, da je modrenje izredno kompleksen proces, ki ga ne moremo osvetliti z osnovnimi parametri, temveč je verjetno odvisen še od številnih ostalih, pogojev, ki jih ne znamo v celoti ovrednotiti.

5 SKLEPI

Najbolj obremenjena je bila terasa, najmanj pa severna stran modelnega objekta, zaradi konstrukcijske zaščite z napuščem. Med južno, vzhodno in zahodno stranjo ni bilo bistvenih razlik.

Sončnemu obsevanju je bila najbolj izpostavljena terasa, sledijo južna, severna, zahodna in nazadnje vzhodna stran.

Kondenzirajoča vlaga se je največ časa zadrževala na vzhodni strani (34 dni od 53 dni), sledi terasa (33 dni od 53 dni), nato južna in zahodna stran (22 dni od 53 dni) ter severna stran (21 dni od 53 dni).

Najvišja povprečna temperatura lesa je bila na južni strani (18,0 °C), sledi ji severna stran (17,6 °C), nato terasa (17,1 °C), zahodna stran (17,0 °C) in nazadnje vzhodna stran (16,9 °C). Razlike so bile majhne, pričakovali smo večji razpon temperatur.

Na terasi po drugem ocenjevanju pomodrelosti ni bilo možno ločiti med pomodrelostjo in fotodegradacijo lesa, zato imamo ocene pomodrelosti le do vključno drugega ocenjevanja.

Če razvrstimo lesne vrste glede na ocene modrenja in ne glede na ostale dejavnike in opravljene meritve, se je najbolje odrezala jedrovina bora, sledi smrekovina, nato beljava bora in nazadnje macesnovina.

Med vlažnostjo lesa in pomodrelostjo nismo zaznali tesne povezave. Predvidevamo, da je modrenje lesa izrazito površinski pojav, mi pa smo merili lesno vlažnost na sredini fasadnih elementov, zaradi česar smo zaznali povprečna nihanja vlažnosti, nismo pa zaznali najvišjih vlažnosti na površini. . Ob ponovnem izvajanju meritev bi dodatno merili lesne vlažnosti na površini vseh treh drevesnih vrst na vseh straneh neba in terasi, enako bi izvajali meritve temperature lesa. Tako bi lahko opravili tesnejše in točnejše primerjave med posameznimi drevesnimi vrstami, vlažnostjo površine in pojavom gliv modrivk.

V prihodnosti bi bilo smiselno osvetliti še druge dejavnike modrenja lesa in poiskati boljšo korelacijo med modrenjem in okoljskimi dejavniki.

Meritve in analiza podatkov pridobljenih na modelnem objektu so ovrgle našo hipotezo, da velja med modrenjem lesa in lesno vlažnostjo tesna povezava.

6 VIRI

- Arnes: akademska in raziskovalna mreža Slovenije, Les.
<http://www2.arnes.si/~evelik1/les/iglavci.htm> (julij 2015)
- ARSO: Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.
<http://www.arso.gov.si/> (julij 2015)
- Benko R., Kervina - Hamović L., Gruden M., 1987. Patologija lesa. Lesna patologija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 122 str.
- Deu Ž. 2004. Tradicionalne lesene fasade. V: Lesene fasade. Zbašnik - Senegačnik, M. (ur.). Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 16-23
- Eaton R. A., Hale M. D. C., 1993. Wood decay, pests and protection. London, Chapman and Hall: 250 str.
- Električni merilniki lesne vlažnosti. Skupnost SIO.
https://skupnost.sio.si/egradiva/lesarstvo/videofon_les_lastnosti/html/elektrini_merilniki_lesne_vlanosti.html (julij 2015)
- Etsy, Buckshot denim pine block side table
<https://www.etsy.com/listing/93457493/buckshot-denim-pine-block-side-table> (julij 2015)
- Graščina Duplje, Vogvarjeva hiša v Spodnjih Dupljah
<http://www.grascina-duplje.si/zz%20vogvarjeva/> (julij 2015)
- Humar M., Pohleven F. 2005. Biotehnologija v lesarstvu = Biotechnology in wood industry. Les, 57, 11: 316-321
- Humar M. 2015 Performance of bio-based building materials.
<http://www.costfp1303.com/en/> (junij 2015)
- Kervina - Hamović L. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 126 str.
- Kitek - Kuzman, M. in sod. 2008. Gradnja z lesom. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 312 str.

Lampen S. C. 2012. Aufbau einer Kennlinien-Datenbank für die elektrische Holzfeuchtemessung. Masterarbeit, Unniversity of Hannover: 110 str.

Metode določevanja vlažnosti lesa. 2015. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.
http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/3_METODE_DOLOCEVANJA_VLAZNOSTI_LESA.pdf
(julij 2015)

Mizarstvo Hrovat, Bor
<http://hrovat.net/o-lesu/drevesne-vrste/evropske-vrste/bor/> (julij 2015)

Naše okolje. 2013. Bilten agencije RS za okolje. Ljubljana, ARSO: Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEenica/mese%C4%8Dni%20bilten/NASE%20OKOLJE%20-%20December%202013.pdf> (julij 2015)

Naše okolje. 2014. Bilten agencije RS za okolje. Ljubljana, ARSO: Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEenica/mese%C4%8Dni%20bilten/NASE%20OKOLJE%20-%20December%202014.pdf> (julij 2015)

Pavlič M., Mihevc V. Zaščita lesa pred vremenskimi vplivi = Protection of wood against weathering. 2001. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/mpavlic/POVRSINSKA_VAJE/Zascita_lesa.pdf
(julij 2015)

Pce Instruments, Wood Moisture Meter FME
https://www.pce-instruments.com/english/measuring-instruments/test-meters/wood-moisture-meter-brookhuis-micro-electronic-b.v.-wood-moisture-meter-fme-det_296443.htm (julij 2015)

Riko hiše, Enodružinska hiša Smlednik
<http://www.riko-hise.si/si/reference?pid=2130&project=enodruzinska-hisa>
(julij 2015)

Srpčič J. 2009. Les za gradbene konstrukcije. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije.
http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Les_za_gradbene_konstrukcije.pdf
(julij 2015)

Vek V. 2007. Spremembe mehanskih lastnosti lesa zaradi delovanja gliv modrivk, diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 58 str.

Zbašnik - Senegačnik M., Deu Ž., Turklin H., Jirouš - Rajkovič V., Zdovc S., Wallner E., Kalčič E., Pucelj J., Kresal J. 2004. Strokovno izpopolnjevanje Lesene fasade. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 70 str.

Žlahtič M., Thaler N., Medved S., Pohleven F., Krže L., Željko M., Lesar B., Humar M. Vpliv obdelave in izvedbe fasade na pojav modrenja na fasadi modelnega objekta, Silva Slovenica, 31-34. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.

http://eprints.gozdis.si/678/1/%C5%BDlahti%C4%8D,_Znanstveno_sre%C4%8Da_nje_Gozdin_Les.pdf (julij 2015)