

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Renata PAMIĆ

**NOVI PRISTOPI KONSTRUKCIJSKE ZAŠČITE
LESA NA OBJEKTIH KULTURNE DEDIŠČINE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Renata PAMIĆ

**NOVI PRISTOPI KONSTRUKCIJSKE ZAŠČITE LESA NA
OBJEKTIH KULTURNE DEDIŠČINE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**NEW APPROACHES TO CONSTRUCTIONAL WOOD
PROTECTION ON CULTURAL HERITAGE BUILDINGS**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2015

Doktorska disertacija je zaključek doktorskega Univerzitetnega podiplomskega študija bioloških in biotehniških znanosti na znanstvenem področju Varstva okolja na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Raziskovalno delo je bilo opravljeno:

- in situ, na avtentičnih lokacijah izbranih lesenih objektov kulturne dediščine,
- v laboratoriju Biotehniške fakultete, Oddelka za lesarstvo v Ljubljani,
- v laboratoriju Restavratorskega centra v Ljubljani.

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani je Senat Biotehniške fakultete na 2. seji, 2. oktobra 2007 potrdil, da kandidatka izpolnjuje pogoje za neposreden prehod na doktorski Univerzitetni podiplomski študij Varstva okolja, ter opravljanje doktorata znanosti. Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete in sklepu 17. seje Senata Univerze z dne 12. februarja 2009, je bila odobrena tema disertacije z naslovom: »Novi pristopi konstrukcijske zaščite lesa na objektih kulturne dediščine«.

Za mentorja je bil imenovan prof. dr. Franc Pohleven.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: Prof. dr. Marko PETRIČ

Član: Prof. dr. Franc POHLEVEN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član: Prof. dr. Vito HAZLER

Datum zagovora: 2015

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Doktorand:

Renata PAMIĆ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dd
DK	UDK 630*841:630*844.48 (043.3)
KG	konstrukcijska zaščita lesa/konstrukcijske napake/ kulturni pomen dediščine
AV	PAMIĆ, Renata, univ. dipl. soc. in inž. gradb.
SA	POHLEVEN, Franc (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Univerzitetni doktorski študij biotehniških znanosti
LI	2015
IN	NOVI PRISTOPI KONSTRUKCIJSKE ZAŠČITE LESA NA OBJEKTIH KULTURNE DEDIŠČINE
TD	Doktorska disertacija
OP	XIV, 132 st., 8 pregl., 97 sl., 2 pril., 123 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<p>Na ohranjenost lesenih objektov kulturne dediščine poleg odpornosti lesne vrste bistveno vpliva konstrukcijska zaščita lesa. S konstrukcijo lahko zagotovimo, da bodo objekti čim manj izpostavljeni biotskim in abiotskim dejavnikom. Vendar v strukturo kulturno zgodovinskih objektov lahko posegamo le v tolikšni meri, da ohranimo njihovo zunanjost podobo. Na izbranih objektih kulturne dediščine, izpostavljenih izrazito neugodnim klimatskim pogojem, smo ugotovili, da jim zaradi neustrezne konstrukcije grozi propad. Ukrepe konstrukcijske zaščite smo podredili in prilagodili ohranjanju materialnih in kulturnih značilnosti objektov. Poškodovane dele lesa smo zamenjali z zračno suhim iste vrste. S posegi v konstrukcijo smo izboljšali pogoje izpostavitve s tem, da smo preprečili zatekanje in zadrževanje vode ter omogočili čim hitreje odtekanje in sušenje. Konstrukcijski ukrepi in specifični načini izvedbe so postali integralni del zaščite, ki bo prispevala k trajnosti objektov ter zmanjšanju stroškov vzdrževanja. Na izbranih objektih kulturne dediščine smo dokazali, da s strokovnim načrtovanjem in izvajanjem konstrukcijske zaščite bistveno izboljšujemo pogoje in tako prispevamo k ohranjanju kulturne dediščine. Izvirni ukrepi in projektne rešitve konstrukcijske zaščite so lahko izhodišče ter model pri sanaciji podobnih lesenih objektov kulturne dediščine.</p>

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd
DC UDC 630*841:630*844.48 (043.3)
CX constructional protection of wood/constructional failures/designing of wood protection/ cultural significance of heritage
AU PAMIĆ, Renata
AA POHLEVEN, Franc (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate Study Program of Biological and Biotechnical Sciences
PY 2015
TI NEW APPROACHES TO CONSTRUCTIONAL WOOD PROTECTION ON CULTURAL HERITAGE BUILDINGS
DT Doctoral Dissertation
NO XIV, 132 p., 8 tab., 97 fig., 2 ann., 123 ref.
LA sl
AL sl/en
AB In addition to the resistance of wood species, constructional wood protection significantly affects the preservation of wooden objects of the cultural heritage. The construction can ensure that the objects are as little as possible exposed to biotic and abiotic factors. However, we only intervene in their structure to the extent that it does not compromise their external appearance. We found that selected objects of the cultural heritage exposed to highly unfavourable climatic conditions were threatened with decay due to inadequate construction. Constructional protection measures were subordinated and adapted to conservation of the physical and cultural characteristics of the objects. Damaged parts of the wood were replaced with air dried wood of the same species. The interventions in construction improved the conditions of exposure in that they prevented the inflow and retention of water and enabled faster draining and drying. Constructional measures and specific methods of implementation have become an integral part of protection that will contribute to the durability of objects and to the reduction of maintenance costs. It was demonstrated with selected cultural heritage objects that expert planning and implementation of constructional protection significantly improves the conditions of conservation and contributes to protection of the cultural heritage. Innovative measures and project solutions of constructional protection can be a starting point and a model for the arrangement of similar wooden objects of the cultural heritage.

KAZALO VSEBINE

str.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	XIV
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
2 PREGLED OBJAV IN TEORETIČNIH ZASNOV	5
2.1 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA	6
2.1.1 Vlažnost lesa.....	6
2.1.2 Svetloba	7
2.1.3 Glive in insekti	8
2.2 ZAŠČITA LESA	10
2.3 KONSTRUKCIJSKA ZAŠČITA	15
2.4 RAZREDI IZPOSTAVLJENOSTI LESA	19
2.5 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA	22
2.5.1 Konstrukcijska zaščita – pravila	29
3 MATERIALI IN METODE	43
3.1 MATERIALI	43
3.1.1 Grobišče borcev NOB v Radomljah - spomenik.....	43
3.1.2 Spomenik Francetu Balantiču v Kamniku - portal	50
3.1.3 Ruska kapelica na Vršiču	53
3.1.4 Partizanska bolnišnica Krtina na Jezerskem.....	60
3.2 METODE	64
3.2.1 Raziskovalne metode	64
3.2.2 Drugi raziskovalni postopki.....	65
4 REZULTATI.....	67

4.1	SPOMENIK NA GROBIŠČU BORCEV NOB V RADOMLJAH	67
4.1.1	Vzroki degradacije spomenika	67
4.1.2	Ukrepi konstrukcijske in kemične zaščite	71
4.2	SPOMENIK FRANCETU BALANTIČU V KAMNIKU - PORTAL	82
4.2.1	Vzroki degradacije portala	82
4.2.2	Ukrepi konstrukcijske zaščite portala	84
4.3	RUSKA KAPELICA NA VRŠIČU	90
4.3.1	Vzroki za degradacijo kapelice	90
4.3.2	Ukrepi konstrukcijske in kemične zaščite	94
4.4	PARTIZANSKA BOLNIŠNICA KRTINA NA JEZERSKEM.....	97
4.4.1	Vzroki za degradacijo objekta.....	97
4.4.2	Ukrepi konstrukcijske zaščite	103
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	107
5.1	RAZPRAVA.....	107
5.2	SKLEPI.....	109
6	POVZETEK / SUMMARY.....	112
6.1	POVZETEK	112
6.2	SUMMARY	116
7	VIRI 120	

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

str.

Preglednica 1:	Biotski in abiotiski dejavniki ogroženosti lesa	6
Preglednica 2:	Evropski razredi izpostavitev lesnih izdelkov škodljivcem glede na mesto uporabe (SIST EN 335/1, 1992).....	19
Preglednica 3:	Razvrstitev drevesnih vrst v 5 odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti (SIST EN 350-2, 1995)	23
Preglednica 4:	Uporaba kemične zaščite lesa proti glivam glede na razred izpostavljenosti in naravno odpornost lesa (SIST EN 460, 1995)	23
Preglednica 5:	Naravna odpornost nekaterih lesnih vrst proti škodljivcem (SIST EN 350-2, 1994)	24
Preglednica 6:	Odpornostne značilnosti nekaterih iglavcev (SIST EN 350-1, 1994)	26
Preglednica 7:	Odpornostne značilnosti nekaterih listavcev (SIST EN 350-1, 1994)....	26
Preglednica 8:	Učinkovitost impregniranja lesnih vrst (SIST EN 350-2, 1995)	27

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Sorpcijska histereza (levo) in krčenje lesa (desno) (Novak, 2008)	7
Slika 2: Odvisnost ravnovesne vlažnosti lesa od temperature in relativne zračne vlažnosti (Gorišek, 2009).....	15
Slika 3: Odvisnost nabrekanja lesa od lesne vlažnosti (Gorišek in sod., 1994).....	16
Slika 4: Možni pristopi konstrukcijske zaščite lesa	28
Slika 5: Viri vlaženja (levo) in mehanizmi odvlaževanja (desno) (Finch in sod., 2013).....	29
Slika 6: Pomen zagotavljanja vlažnosti lesa pod 20 %.....	29
Slika 7: Dvig lesenega elementa na podstavek preprečuje škropljenje lesa s podlage (levo) (Willeitner in Peek, 1994). Preprečeno je tudi vlaženje lesa v stiku z zemljo, pritez lesa v smeri padavin pa omogoča hitro odtekanje in sušenje izpostavljenega lesa na prostem (desno) (Weissenfeld and König, 2001)	32
Slika 8: Nosilni stebri lesene balkonske konstrukcije so dvignjeni na kovinski podstavek. S tem je preprečeno škropljenje stebrov s podlage in les ni izpostavljen talni vodi. V prvih dveh primerih (leva stran) balkonsko konstrukcijo prekriva napušč, ki sega za 30 cm čez zunanjji rob balkonske ograje in jo ščiti pred padavinami. V tretjem primeru ograja ni zaščiten pred padavinami. V četrtem primeru napušč le delno ščiti ograjo pred padavinami in je les izpostavljen padavinam, kar negativno vpliva na njegovo trajnost (Schober in sod., 2006).....	33
Slika 9: Med vodoravno (levo) in navpično (desno) postavljenou fasadno deščeno oblogo in zidom, mora biti zagotovljeno kroženje zraka (Turkul in Jirouš-Rajković, 2004).....	34
Slika 10: V primeru a deske niso profilirane, reža med njimi omogoča močenje čelnih površin in hrbitne strani desk. V primeru b so deske profilirane in pritezane, vendar napačno orientirane. Voda skozi reže teče za hrbitno stran desk. Hrbtna stran mora postati zunanja. V primeru c so deske pravilno orientirane toda zgornje čelne ploskve niso v naklonu, zato lahko zadržujejo vodo. V primeru d so deske ustrezno pritezane in orientirane ter omogočajo odtekanje vode (Piazza in sod., 2005).....	35
Slika 11: Odkapni rob omogoča hitro kapljanje vode in jo odvede preden jo les absorbira (Piazza in sod., 2005).....	36
Slika 12: Pri spoju vzdolžnih letev pri ograji je s podložkami izveden razmak med lesenimi elementi, z naklonom površin je omogočeno hitro odtekanje vode in sušenje lesa	36
Slika 13: Pozicije vijačenja fasadnih desk (Brandstätter in sod., 2007)	37
Slika 14: Zračenje vertikalno položenega opaža (levo) in horizontalno položenega (desno), (Gockel, 1996)	37

Slika 15:	V prvem primeru (levo) je zatekanje vode v režo fasadne členitve preprečeno s kovinsko obrobo, ki je pritrjena na prečno letev za opažem. V drugem primeru (desno) zatekanje vode preprečuje polica s kovinsko obrobo nameščeno za vertikalno izolacijo stene. V obeh primerih je obroba v naklonu, odkapni rob sega čez linijo opaža, čelne površine in hrbtni deli opaža pa so zračeni (Brandstätter in sod., 2007)	38
Slika 16:	Obroba vrh zidu, ki je poležena v naklonu rahlo dvignjena od podlage, preprečuje vlaženje zgornjega dela zidu in zatekanje vode za fasadno oblogo. Prikazani sta možnosti položitve horizontalnih desk z utorom obrnjenim navzdol in s prekrivanjem desk, kjer zgornja deska v naklonu prekriva spodnjo (Brandstätter in sod., 2007).....	39
Slika 17:	Detajl okna (prerez - levo) nameščenega globoko v fasado, kjer je z naklonom police z odkapnim robom, obrobo nad oknom in zaščitnim kovinskim profilom na spodnji prečki okenskega okvirja preprečeno zatekanje vode v stike okna s podlagom. Desno je nakazana linija police, ki sega čez rob fasade in zaključek fasadnega opaža z zračno režo ob okenski odprtini (Brandstätter et al., 2007).	40
Slika 18:	Primer sestave strešne konstrukcije z leseno kritino in toploto izolacijo stropa. Zračni tok je omogočen pod kritino in s prostornino podstrehe nad topotno izolacijo (Deu, 2004).	41
Slika 19:	Shema odločitev zaščite elementov objekta	42
Slika 20:	Spomenik na prvi (1960), drugi (1980) in tretji lokaciji (2006).....	44
Slika 21:	Poškodbe premazov (levo), razpoke in razjede (desno)	45
Slika 22:	Odpadanje plomb(levo) in lepljenih delov (desno)	45
Slika 23:	Strohnjen les na mestu pritrditve spomenika (levo). Vijačenje spomenika je bilo izvedeno z vijaki 130×10 mm (desno)	46
Slika 24:	Korozija kovinskega nosilca pokrova.....	46
Slika 25:	Korodirani pritrdilni element in obroč zapolnjen z blatom	47
Slika 26:	Posebej razvit sveder za poglobitev izvrtine	48
Slika 27:	Sanacija spomenika s hrastovimi vstavki (levo), zagozdami (v sredini) in mozniki (desno)	48
Slika 28:	Kemična zaščita, utrjevanje z epoksidnimi smolami, dekorativni nanos	49
Slika 29:	Inox cev (levo), nosilni nastavljeni vijaki (v sredini) z nameščenimi poliamidnimi podložkami (desno)	49
Slika 30:	Spomenik pesniku Francetu Balantiču	50
Slika 31:	Poškodbe lesa na stiku podstavek – les (levo) in poškodbe preklade (desno)..	51
Slika 32:	Razpokan steber (levo) je zapolnjen z organskim materilam, ki so ga nanosile mravlje (desno).....	51
Slika 33:	Razpoke zgornje površine preklade (levo) in ugreznen sistem privitja (desno)	52

Slika 34:	Deformacije na spoju preklade s stebroma portalna.....	52
Slika 35:	Spran premaz in obledela površina lesa (levo), tesnjen stik lesa s stiliziranim bakrenim elementom (desno)	53
Slika 36:	Kapelica v času nastanka (levo) in danes (desno)	54
Slika 37:	Zgodnja povojna slovesnost ob kapelici, ko je bila obdana z lubjem (levo) in so na čebulicah zvonika že bile macesnove deščice (desno).....	55
Slika 38:	Zapis Franceta Steleta leta 1921	55
Slika 39:	Fasada kapelice brez lubja (levo), med obema vojnoma je bila obdana z macesnovimi deščicami (desno)	56
Slika 40:	Poškodbe nosilne konstrukcije (levo). Strohnel les je ležal na betonskem zidu, kamor je zatekala voda (desno)	56
Slika 41:	Tesno zastekljene okrogle odprtine zvonika preprečujejo zračenje notranjosti zvonika.....	57
Slika 42:	Izolacija med slojema kritine (levo), obrobe položene povrh lesa (desno)	57
Slika 43:	Razpoka na stiku fasade z zvonikom (levo), obroba je prislonjena na deščice (v sredini), žebljane in razpokane macesnove deščice (desno).....	58
Slika 44:	Razkroj lesa na stiku lesa z betonskim zidom (levo). Les je popolnoma izgubil nosilnost, kapelica se je posedla (desno)	58
Slika 45:	Madeži na strohnelem lesu kažejo na zatekanje vode v konstrukcijo zvonika.	59
Slika 46:	Razkroj lesa na stiku z betonskim zidom (levo), osje gnezdo med notranjo steno in zunanjim oblogom (desno)	59
Slika 47:	Partizanska bolnišnica z horizontalnim opažem pred letom 1974 (levo) in z vertikalnim opažem po obnovi leta 1974 (desno).....	60
Slika 48:	Moderna, neustrezna kritina na objektu partizanske bolnišnice	61
Slika 49:	Trohnoba nosilne konstrukcije in opaža pod pogradom (levo), podne deske na zemlji (desno).....	61
Slika 50:	Detajl kamnitega podnožja z betonsko prevleko in izolacijsko folijo.....	62
Slika 51:	Trohnoba lesenega opaža pri tleh, pogled na vogal objekta z brežino in ogrado v ozadju.....	62
Slika 52:	Stene bolnišnice so bile premazane z odpadnim motornim oljem, kar je potrdila tudi laboratorijska analiza	63
Slika 53:	Ob snetju spomenika leta 2006, so bile odrezane vertikalne lamele obroča (levo). Pritrditev z obročem in bočnimi vertikalnimi lamelami je bila izvedena tudi na novi lokaciji (desno). Oba sistema kažeta na zadrževanje vode, vlaženje lesa in korozijo.....	68
Slika 54:	Razgrajen les in globina radialne razpoke na mestih pritrditve spomenika	69
Slika 55:	Ostanki premazov onemogočajo sušenje lesa.....	69
Slika 56:	Odpri stiki na mestu odpadle plombe in razpoka omogočajo vstop vode globlje v les.....	70

Slika 57:	Prikaz protikorozijske zaščite nosilca pokrova in načina izvedbe.....	71
Slika 58:	Skica izvedbe prezračevanja vrhnjega dela spomenika.....	72
Slika 59:	V vrhnjem delu je spomenik zaščiten s pokrovom, pod njim je urejeno kroženje zraka.....	72
Slika 60:	Princip obdelave plomb pravilnih oblik (levo) in razkrojenih delov (desno)...	73
Slika 61:	Prikaz povezave plombe z mozniki (levo) in prireza lesa v smeri padavin (desno)	74
Slika 62:	Poglabljanje izvrtine s posebnim svedrom	74
Slika 63:	Obnova oslabljenega spodnjega dela spomenika s hrastovim lesom in mozniki.	75
Slika 64:	Priprava izdolbin za vstavitev zagozd za drenažo in zračenje radialnih razpok (levo) in prikaz zagozde z lijakasto poglobitvijo zgornje površine proti izvrtini (desno).....	76
Slika 65:	Detajl vstavitve nosilnih nastavljivih vijakov po obodu saniranega dela spomenika. Pogled na odkapni rob, vgrajene tulce in zavarovane zagozde z izvrtinami	76
Slika 66:	Drenaža glavnih razpok nad saniranim spodnjim delom in zaščita z mrežico.....	77
Slika 67:	Protikorozijsko zaščiten ostanek stare cevi v podstavku, (levo), namestitev nove cevi (desno)	78
Slika 68:	Varianta A postavitve spomenika na kovinski podstavek ne zadošča statičnim zahtevam	78
Slika 69:	Varianta B izvirnega nosilnega sistema spomenika zadošča statičnim zahtevam	79
Slika 70:	Nosilni elementi (levo) so vgrajeni po obodu saniranega spodnjega dela spomenika (desno)	80
Slika 71:	Prevzem nosilnosti z nastavljivimi vijaki po obodu spomenika in dilatacija med kamnito bazo in vijaki s podložko Novilon	80
Slika 72:	Dilatacija med podstavkom in vijaki (levo) ter zračenje cevi (desno)	81
Slika 73:	Izvirna, sedanja postavitev spomenika leta 2013	82
Slika 74:	Skica kritičnih točk poškodb portala	83
Slika 75:	Konveksna preklada (levo), preprečeno močenje stika (desno)	85
Slika 76:	Varianta 1- detajl postavitve stebra na jekleno palico s prirobnico.....	86
Slika 77:	Varianta 1 - prikaz predlagane postavitve portala	87
Slika 78:	Varianta 2 - postavitev portala na sidro brez prirobnice	88
Slika 79:	Varianta 2:- lesna zvezza na pero in utor	89
Slika 80:	Pogled na kritične točke in poškodbe zvonika zaradi zatekanja vode ob križu, za obrobami in skozi razpoke.....	91

Slika 81:	Pogled na kritična mesta zatekanja vode na stiku obložnih desk z betonskim zidom (levo). Voda zateka ob zunanjem horizontalnem opažu, se nabira med zidom in opažem in na spodnji polici, kjer vlaži stebre in opažne deske (skica desno)	92
Slika 82:	Za obrobo, ki se ni prilegala opažu, je voda zatekala na betonski podstavek, se tam nabirala in vlažila stebre in steno kapelice.	93
Slika 83:	Detajl dilatiranega križa z vgrajenim sidrom in nameščeno bakreno pločevino, ki ne dovoljuje zatekanje vode v konstrukcijo zvonika (levo). Pritez lesa v izvrtino, ureditv odkapa in namestitev pločevine čez nosilec križa na čebulasto streho zvonika (detajl desno)	94
Slika 84:	Namestitev obrobe za macesnove deščice na zvoniku (levo) in betonskem zidu (desno)	95
Slika 85:	Z namestitvijo mrež na okroglih oknih zvonika (levo) in s preureditvijo odprtin na vhodnih vratih iz fiksnih in zastekljenih v fleksibilne, je omogočeno kroženje zraka oziroma zračenje notranjosti zvonika in osrednjega dela kapele (desno).	96
Slika 86:	Predlog izravnave poravnave vrhnje ploskve betonskega zidu, dviga konstrukcijskega lesa na distančnike in namestitev obrobe višje za opažne deske (desno)	96
Slika 87:	Razredčen gozd in odprt zračni koridor prispeva k boljšemu pretoku zraka in osončenju območja kapelice.	97
Slika 88:	Prikaz (prerez) glavnih kritičnih točk pri repliki objekta do leta 1974. Streha brez žleba, stebri in podne deske na vlažnih tleh, strm teren in voda za objektom.....	98
Slika 89:	Prikaz (prerez) kritičnih točk vlaženja lesa pri trenutni zasnovi objekta. Strm teren za objektom je zavarovan s prenizko ogrado, ki ne zadržuje gozdnega materiala, raven teren omogoča zatekanje vode v hrbtno steno, nosilni stebri na izolaciji, deske poda na vlažnih tleh	99
Slika 90:	Izrazito vlaženje sten s tal in zapiranje nakopičenega blata za objektom.....	100
Slika 91:	Na posameznih mestih so reže med opažnimi deskami sten precej široke. Veter zanaša vodo v objekt in moči še notranji opaž in stebre.....	100
Slika 92:	Trohnoba lesa na stebrih in deskah pod pogradom	101
Slika 93:	Apneni oplesk in madeži v podnožju zahodne fasade	101
Slika 94:	Vertikalno prislonjena deska ob hrbtno steno objekta ni ustrezna zaščita pred vlaženjem.....	102
Slika 95:	Skozi reže med fasadnimi deskami in skozi odprtine na delu razpokane cementne prevleke temelja, voda zateka v notranjost objekta in vlaži spodnje dele desk in stebrov ter pod.....	103
Slika 96:	Z dvigom stebrov in talne konstrukcije na distančnike, je prepričeno vlaženje lesa s tal. Z namestitvijo žleba in poglobitvijo mulde v terenu, je speljana voda proč od objekta. Z ograjo je prepričeno rušenje zemlje v objekt, impregnacija pa podaljša trajnost v zemljo vgrajenega lesa. Z	

medebojnim razmikom desk in odmikom od sten, je doseženo boljše prezračevanje podne konstrukcije. Z horizontalno orientacijo opažnih desk smo vzpostavili podobo prvotnega spomenika. 105

- Slika 97: Horizontalni fasadni opaž smo zabilo s pocinkanimi žebelji, s spodnjim delom deske prekrivajo žebelj spodnje deske (levo). Opaž je na vogalu zaključen z razmikom med deskami za 1 cm in se zrači (v sredini). Vogal stebra je možno zaščititi s kovinskim elementom in razmikom desk za 1 cm (desno)..... 106

KAZALO PRILOG

Priloga A: Statični račun za postavitev hrastovega spomenika na grobišču borcev druge svetovne vojne v Radomljah

Priloga B: Statični račun za postavitev hrastovega portala spomenika Francetu Balantiču v Kamniku

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Med lesenimi objekti kulturne dediščine lociranih v slovenskih gozdovih, so tudi objekti iz časa druge svetovne vojne kot so partizanske bolnišnice, tehnike, taboriščne barake, bunkerji, kurirske postaje in drugi. Zgrajeni so bili v vojnih razmerah, kot improvizirani začasni objekti z materiali, ki so bili na dosegu roke. Številni so bili postavljeni brez posebnih načrtov, običajno v konspiraciji, na višjih in težje dostopnih gozdnih legah v bližini vodnega vira (Mikuž, 1967). Iz časa prve svetovne vojne so se najdlje časa ohranile lesene spominske kapelice. Številni objekti pa so zaradi slabega vzdrževanja propadli.

Zaradi vloge, ki so jo objekti imeli med vojno, so tudi po vojni ohranili zgodovinski pomen. Žal njihovo upravljanje in redno vzdrževanje, z izjemo redkih nacionalno pomembnejših spomenikov, še danes ni popolnoma urejeno. Prve povojne obnove tovrstnih objektov so še sledile spominu ter ohranjale pristno podobo, vendar je gradivo z časom propadlo, spomin pa zbledel, različni vzdrževalci so v objekte vnašali spremembe, saj je ohranjanje temeljilo na laični presoji posameznih poznavalcev. Z zgodovinsko distanco objekti niso izgubili na svojem pomenu, so pa veliko izgubili na avtentičnosti. Stanje se je nekoliko izboljšalo po letu 1963, ko so se tovrstne obnove začele izvajati pod strokovnim nadzorom spomeniške službe. Vendar je tudi ta izhajala predvsem iz zatečenega stanja, večinoma posnemala vzorce in tako so se nadaljevale tudi napake. S problematiko konstrukcijske zaščite lesa, kot jo pojmujem danes, se stroka ni posebej ukvarjala. Šele zadnja leta se problematika konstrukcijske zaščite nekaterih spomenikov rešuje v sklopu konservatorskih načrtov, ki pa večinoma terjajo predhodne raziskave in posege še podražijo. Dejstvo je, da vremenu izpostavljenim lesenim zgodovinskim spomenikom, ki nimajo urejene konstrukcijske zaščite, neizbežno grozi propad.

Ob terenski dokumentaciji in analizi stanja izbranih lesenih zgodovinskih spomenikov, ki so predmet te disertacije, je bilo ugotovljeno, da so poškodbe in biološki procesi razkroja večinoma posledica neurejene ali napačne konstrukcijske zaščite vgrajenega lesa ter nerednega vzdrževanja. Na večini objektov je bil ugotovljen biološki napad insektov in gliv, zato so bila pri obnovi uporabljena tudi kemična zaščitna sredstva, konstrukcijske

rešitve pa so zahtevale strokovne sanacijske posege. Restavriranje spomeniško varovanih lesenih objektih se običajno izvaja ob upoštevanju splošnih strokovnih načel, da je treba materialno substanco čim bolj ohraniti, posnemati detajle in oblikovne vzorce ter obnovo izvesti na najmanj destruktiven način. Kljub temu, da načela držijo, so se z nestrokovnimi obnovami prenašali tudi napačni vzorci, najhujše pa je, da objekti niso bili nikoli dosledno konstrukcijsko zaščiteni. Poleg tega je razvoj številnih sintetičnih snovi in kompozitov ponekod popolnoma izrinil stoletja preizkušene vzorce lesne gradnje. Z novimi tehnologijami gradnje so se izpodrinile dobre stare tesarske zveze. Način bivanja in gospodarjenja se je spremenil, zaradi tega je bila kulturni dediščini storjena velika škoda. Tako je bil na primer prej stoletja ohranjen les marsikje odstranjen ali je morda še zaprt med betonskimi ploščami in različnimi oblogami. Prav tako sodobna gradnja vnaša v naš kulturni prostor vzorce tuje gradbene tradicije (Hazler, 2008). Naši predniki so gradili trajnostno in okolju prijazne stavbe ter racionalno s pasivnim izkoriščanjem naravnih virov za vzpostavitev bivanju primerne klime in s čim manjšim uničenjem naravnih virov (Deu, 2005).

Splošni premiki v pojmovanju in dojemanju pomena konstrukcijske zaščite so generalizirali spremembe v pristopih ohranjanja kulturne dediščine tudi znotraj stroke, kar je spodbudno. Ker konstrukcijska zaščita skorajda vedno zahteva poseg v konstrukcijo, je ta vedno predmet predhodnih raziskav (Fister, 1979). Danes je splošno znano in sprejeto, da se pri obnovah ne smejo spregledati konstrukcijske napake ali pa opustiti ukrepi konstrukcijske zaščite lesa. V skladu z enotno metodologijo bi morali v sklopu konservatorskih načrtov izvesti temeljito analizo vseh lesenih spomenikov kulturne dediščine, zlasti z vidika njihove konstrukcijske zaščite. S tem bi lahko pravočasno ustavili številne negativne procese razgradnje lesa in s tem posledično tudi izgubo dediščine (Zupančič in sod., 2007).

Zaradi zagotavljanja čedalj zahtevnejših okoljskih in trajnostno naravnanih projektov, je tudi področje zaščite lesa regulirano in mora slediti evropskim standardom. Obnove številnih stavb kulturne dediščine, ki jim je grozil propad zaradi strohnelega lesa ali okužbe z lesno gobo, so izpostavile problematiko njegove zaščite in odprle številna vprašanja tudi znotraj spomeniške stroke. Problematika konstrukcijskih rešitev in na sploh zaščite lesa na

objektih kulturne dediščine zahteva integralni pristop in sodelovanje strokovnjakov različnih strok tako med obnovo kot pri spremeljanju stanja objektov. Varstvo dediščine bi moralo temeljiti na razvoju skupnih standardov ter metodologij in modelov varstva dediščine (Hazler, 2002).

Če lesenim zgodovinskim objektom pravočasno ne zagotovimo konstrukcijske zaščite, bodo neizbežno propadli. Menimo, da mora postati vprašanje konstrukcijske zaščite prioriteta v strategiji spomeniškega varstva lesenih objektov kulturne dediščine. S tem namenom smo na izbranih primerih razvili nov integralni pristop obnove, s katerim posegamo v objekt in tako nosilne kot nenosilne ter dekorativne elemente podredimo zagotavljanju konstrukcijske zaščite.

Obravnavali smo sklop štirih lesenih zgodovinskih objektov. V registru nepremične kulturne dediščine imajo enote zgodovinske dediščine naslednje evidenčne številke (EŠD):

- EŠD 10715 Radomlje - Grobišče in spomenik padlim borcem NOB (v nadaljevanju spomenik),
- EŠD 12019 Kamnik - Spomenik Francetu Balantiču na Novem trgu (v nadaljevanju portal),
- EŠD 855 Vršič - Ruska kapelica (v nadaljevanju kapelica),
- EŠD 25278 Zgornje Jezersko - Partizanska bolnišnica Krtina (v nadaljevanju bolnišnica).

Z namenom restavriranja smo na izbranih zgodovinskih objektih raziskali stanje in razloge za degradacijo lesa. Z izvirnimi rešitvami konstrukcijske zaščite smo jim povrnili izgubljene lastnosti in ohranili njihovo značilno podobo. Z izboljšanjem pogojev njihovega ohranjanja pa smo prispevali k trajnosti in zmanjšanju stroškov njihovega vzdrževanja. Tako že realizirani kot načrtovani primeri konstrukcijske zaščite so vzorčni primeri in lahko pripomorejo urejanju konstrukcijske zaščite v podobnih primerih.

V nalogi prikazane rešitve in pristopi konstrukcijske zaščite objektov temeljijo na integriranju teoretičnih in praktičnih znanstvenih dognanj različnih strok ter njihovi sintezi

na operativni ravni. Tako prispeva naloga k uveljavljanju novih standardov na področju ohranjanja tovrstnih lesenih objektov kulturne dediščine.

2 PREGLED OBJAV IN TEORETIČNIH ZASNOV

Les je anizotropen, nehomogen, higroskopen naravni material, ki je v izpostavljenih podnebnih razmerah podvržen propadanju zaradi delovanja biotskih in abiotskih dejavnikov (Unger in sod., 2001). Biotski razpad povzročijo bakterije, virusi, glive in insekti, abiotski pa dež, mraz in druge padavine, veter, ultravijolični sončni žarki, ogenj, onesnažen zrak. Običajno abiotski dejavniki pripeljejo do biološkega napada (Kervina Hamović, 1989). Zaradi abiotskih dejavnikov se začne les spremenjati, kar se najprej opazi na njegovi površini, ki spremeni barvo in postaja reliefna (Jirouš - Rajković, 2004). Zaradi napetostnega delovanja lesa v nihajočih klimatskih razmerah, se pogosto pojavi razpoke in distorzije (Gorišek, 1994). Deformacije, premiki in zasuki se pojavijo tudi na spojih, če ti niso kvalitetno rešeni. Kadar pa so ustrezeno rešeni, so v funkciji konstrukcijske zaščite. Wallner (2004) na primer navaja, da pri vpetju lesene stebra morajo biti zasuki in premiki zanesljivo preprečeni, da se upogibni momenti v polni meri prenesejo na podporne elemente. Vendar pogosto zaradi vlaženja mesta vpetja pride do popuščanja zvez, ter do napetostnih razpok in nestabilnosti konstrukcije. Da preprečimo neželene pojave in spremembe lesa ter ohranimo njegove lastnosti in podaljšamo trajnost, ga moramo ustrezeno zaščititi. Poslužujemo se konstrukcijske, kemične in površinske zaščite. S konstrukcijskimi ukrepi vzpostavimo ustrezeno stanje konstrukcije, ki preprečuje zatekanje in zadrževanje vode v ali na lesu. Delovanja lesa pa ne moremo popolnoma preprečiti. Osnovno načelo konstrukcijske zaščite je zagotoviti vodi prost odtok proč od konstrukcije in hitro sušenje.

Les že stoletja ščitimo tudi z različnimi površinskimi premazi in kemičnimi zaščitnimi sredstvi, pri čemer sta izbira sredstva in posledično tudi kvaliteta zaščite odvisni od stanja lesa, namena njegove uporabe in uporabljenih konstrukcijskih rešitev (Pohleven in Petrič, 1992). Površinsko les ščitimo z lak emajli, lazurami in laki ter impregniramo s kemičnimi zaščitnimi sredstvi (Pečenko, 1987; Jirouš - Rajković in Turkulin, 2002). S premazi ne moremo popolnoma preprečiti degradacije lesa, zato je potrebno izvajati še druge ukrepe zaščite. Kemijsko zaščito uporabljamo čim manj in le tam, kjer je nujno potrebna (Unger, 1988; Pohleven in Petrič, 1992). Najučinkovitejšo zaščito lesa dosežemo z izbiro in uporabo naravno odpornega in zračno suhega lesa, ki je obenem še ustrezeno konstrukcijsko zaščiten (Pohleven, 2012).

2.1 DEJAVNIKI RAZKROJA LESA

Les, ki je izpostavljen različnim fizikalnim silam in škodljivim vplivom okolja, najbolj ogrožajo vlažnost, svetloba (vidna, UV, IR), glice in insekti (preglednica 1).

Preglednica 1: Biotski in abiotksi dejavniki ogroženosti lesa

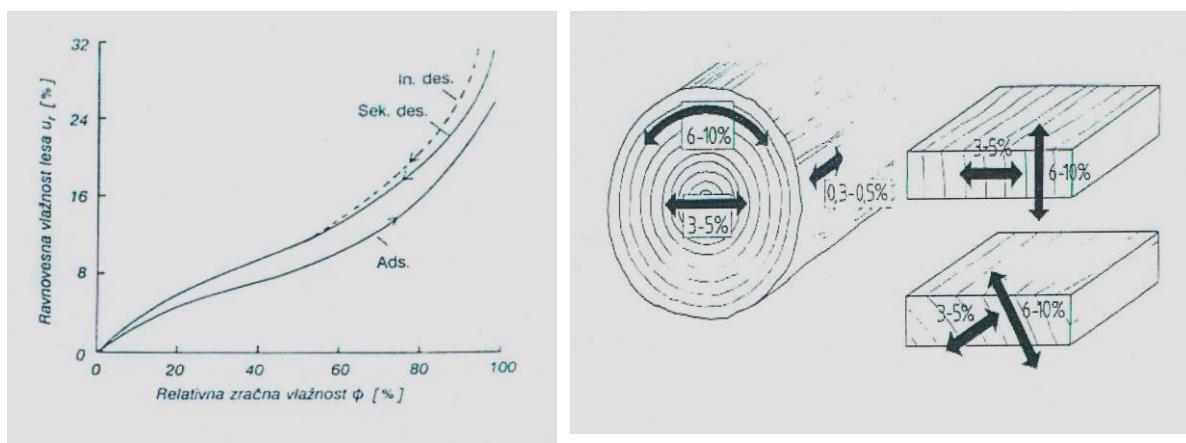
Table 1: Biotic and abiotic factors endangering wood

Biotski dejavniki		Abiotksi dejavniki
bakterije	Les	ogenj, topota
glice		vremenski vplivi
žuželke		mehanski vplivi

Pred škodljivimi biotskimi in abiotskimi dejavniki lahko les zaščitimo z ukrepi konstrukcijske, kemijske in površinske zaščite.

2.1.1 Vlažnost lesa

Les je zelo porozen material in ima zaradi svoje zgradbe veliko notranjo površino. Les iz okolice vpija vodo (adsorpcija) in okolici oddaja vodo (desorpcija). Ko celične stene ne morejo več vpijati vode, doseže les točko nasičenosti celičnih sten. Pri naših drevesnih vrstah je ta pri 30 % vlažnosti. Med atmosfero in lesom se vedno ustvari ravovesje, tako govorimo o ravovesni vlažnosti. Ravovesna vlažnost lesa je ob isti relativni zračni vlažnosti in temperaturi pri oddajanju vode višja kot pri sprejemanju. Govorimo o sorpcijski histerezi oziroma razmerju med ravovesno vlažnostjo lesa v procesu vlaženja in sušenja kot funkciji relativne zračne vlažnosti (Gorišek, 1994; Novak, 2008) (slika 1).



Slika 1: Sorpcijaška histereza (levo) in krčenje lesa (desno) (Novak, 2008)

Figure 1: Sorption hysteresis (left) and contraction of wood (right) (Novak, 2008)

V območju vlažnosti pod točko nasičenosti celičnih sten, to je v higroskopskem območju, les spreminja svoje dimenzijske. Kadar so zaradi delovanja lesa presežene meje njegove trdnosti, ta razpoka in se krivi. Posebnost lesa je, da se v treh glavnih anatomskeh oseh različno krči oziroma nabreka oziroma je razmerje med vzdolžnim, radialnim in tangencialnim krčenjem približno 1:10:20 (Gorišek in sod., 1994; Srpčič, 1997). Gostejša jedrovina se tudi manj krči, kar je zelo pomembno za njegovo uporabo. Tako so na primer deske iz sredine hloda vedno bolj ustaljene in odporne proti krčenju kot tiste, ki so odžagane iz strani hloda. Zaradi krčenja in raztezanja, je les dimenzijsko nestabilen, kar je ena izmed njegovih slabih lastnosti (Torelli in Čufar, 1983). Na prepustnost lesa vplivajo tudi tehnološki procesi njegove obdelave pred vgradnjo (namakanje, parjenje, sušenje, kemična in termična modifikacija) (Hansman in sod., 2002). Za vpijanje vode so zlasti dovezetne površine lesa, kjer se vlakna končujejo, zato morajo biti te površine posebej zavarovane pred navlaženjem. Prav tako je les z vlažnostjo nad 20 % dovezten za okužbo z lesnimi glivami in napade večine insektov (Pohleven, 1994).

2.1.2 Svetloba

Absorbiranje sončne svetlobe v lesu povzroča fizikalne in kemične fotodegradacijske procese. Najprej se ti procesi pojavijo na površini in nato še v notranjosti. Svetloba z valovno dolžino 600 nm prodre v les do globine 200 μm, UV svetloba pa prodre v les do globine 75 μm (Feist in Hon, 1984; Hon, 1991). Lesne sestavine (lignin, celuloza, hemiceluloza, ekstraktivi) so občutljive na delovanje UV svetlobe. Zlasti visok odstotek

UV svetlobe, od 80 do 95 %, absorbira lignin, kar privede do diskoloracije ter tvorbe prostih radikalov in nizko-molekularnih produktov (Jirouš – Rajković in sod., 1997; Pavlič in Mihevc, 2001). Najgloblje prodre infrardeča (IR) svetloba in do globine 1,5 mm povzroči barvne spremembe (Hrastnik in Tišler, 2006). Neželeno diskoloracijo lesa povzročijo modificirane kloroforne skupine lignina ob absorbciji UV svetlobe valovne dolžine od 300 do 400 nm. S kisikom se zlasti tvorijo hidroksilni, ogljikovi in peroksidni radikali, ki povzročijo depolimerizacijo lignina in holoceluloze (Hon in Chang, 1984).

2.1.3 Glive in insekti

Glive za svoj razvoj potrebujejo vodo za raztpljanje snovi in za transport, za dihanje pa kisik iz zraka. Na splošno glive v objektih ne bodo okužile lesa, čigar vlažnost je nižja od 20 %. Pod to vlažnostjo encimi ne prehajajo v les temveč v les prehaja voda iz hif, glive pa odmirajo. Zato je sušenje lesa učinkovit način uničevanja gliv. Les nasičen z vodo ne omogoča dihanje gliv, zato je škropljenje in potapljanje lesa v bazene z vodo učinkovit način zaščite pred glivami. Les s približbo 12 % vlažnostjo, je varen tudi pred večino insektov (Ridout, 2000).

Glive les okužijo s trosi. Iz njih se razvije podgobje, ki prodre v notranjost lesa in z izločanjem encimov razkraja njegove sestavine. Glive z encimatskim razkrojem spremenijo celulozo in lignin v glukozo, ki jo hife vsrkajo in porabijo za lastni metabolizem. Plesni in glive modrivke niso sposobne razkrajati lesa in se prehranjujejo z enostavnimi sladkorji, s polisaharidi ter z beljakovinami v lesu. Plesni lesobarvajo le površinsko, medtem pa modrivke prodrejo globlje v les in lahko temno obarvajo celotno beljavo pri čemer se mehanske lastnosti lesa ne spreminja.

Za vgrajen les so najbolj nevarne hišne glive, ki povzročajo trohnenje. Raziskave so pokazale, da začetna faza ni encimatska in verjetno poteka prek fentonske reakcije. Pomembno vlogo pa ima tudi oksalna kislina (Humar in Pohleven, 2000).

Med hišnimi gobami so najbolj znane bela hišna goba, kletna goba, siva hišna goba ali solzivka ter tramovke. S podgobjem in rizomorfi lahko prodrejo v temelje, stene, tla ali strop objekta, za sanacijo so pa potrebni zahtevni in obsežni ukrepi (Pohleven in Petrič,

1992). Beli hišni gobi ustrezajo temperature med 26 in 27 °C ter vlažnost lesa med 35 do 45 %. Preživi večletna sušna obdobja ter ob ponovni navlažitvi lahko zaživi v vlažnem lesu. Izkazalo se je, da je tolerantna na bakrove pripravke, kar je zaskrbljujoče, saj se ti najbolj uporabljajo pri zaščiti lesa (Humar in sod., 2004; Pohleven, 2009). Les, ki je v stiku s tlemi, pogosto razkraja kletna goba (*Coniophora puteana*) in prav tako povzroča rjavo trohnobo. Dobro uspeva pri temperaturi med 23 do 24 °C in 40 do 60 % vlažnosti lesa. Če les posušimo pod 20% vlažnosti, goba odmre (Schmidt, 2006).

Najbolj je za les nevarna siva hišna goba ali solzivka (*Serpula lacrymans*), ki pri 30 - 40 % vlažnosti lesa in pri optimalni temperaturi 21 - 22 °C že v 12 tednih razkroji do 40 % lesne mase. Povzroča rjavo, destruktivno, prizmatično trohnobo. Posebnost te glive je, da z razkrojem lesa proizvaja vodo, kar ji omogoča razkroj zračno suhega lesa (Pohleven, 1999; Pohleven, 2008).

Gradbeni les in les na prostem, zlasti iglavcev okužujejo tramovke (*Gloeophyllum s.p.*), ki najbolj uspevajo pri temperaturi 29 - 32 °C. Pri 40 % vlažnosti lesa razkroji v 16 tednih do 40 % mase in vso trdnost lesa (Humar, 2008).

Ksilofagni insekti uničujejo les mehansko. Ločimo primarne, sekundarne ter terciarne in kvartarne insekte. Znaki napada insektov so: odpadanje skorje, sipanje črvine, hodniki, izletne odprtine, zvoki iz napadenega lesa, lom izdelkov. Zaradi napada insektov les izgubi na masi in je mehansko oslabljen. Za vgrajen suh les so najbolj nevarni terciarni insekti. V lesu živi več generacij, ki les zapustijo šele takrat, ko ga povsem uničijo. Zaradi navadnega trdoglavca (*Anobium punctatum*) so propadli številni dragoceni leseni predmeti. V simbiozi z glivami so še zlasti nevarni. Zato je preprečitev okužbe lesa z glivami še posebej pomembna. Ključni učinek na razvoj in uničenje larv imajo vlaga lesa, relativna zračna vlaga (med 60 - 95 %) ter temperatura okolja. Optimalna vlažnost lesa za larve navadnega trdoglavca, ki napada les že pri 12 % lesni vlagi, je med 28 - 30 %, ko pa ta preseže 47 - 50 %, se neha razvijati. Najbolj mu odgovarja temperatura med 21 - 24 °C, propade pa pri temperaturi 58 °C, zanesljivo pa nad 62 °C (Zabel in Morrell, 1992; Unger in sod., 2001; Schmidt, 2006).

Zračno suh les je popolnoma varen pred okužbo z glivami in napadom večine insektov (Pohleven, 2009).

Pri zaščiti proti termitem je pomembno pregledovanje terena preden se začne gradnja. Če se zasledi termite, je treba predvideti ukrepe proti termitem, pri čemer ima velik pomen odpornost in impregnacija lesa ter izbira takšnega lesa, ki ga termiti ne marajo. Najboljši ukrep proti degradaciji je v tem, da teren izsušimo in da vlažnost lesa ne preseže 20 %. (Vasič, 1971).

2.2 ZAŠČITA LESA

Les je naraven material in zato podvržen razkroju. Zato je potrebno lesene predmete zaščititi.

Glede na način zaščite ločimo: površinsko, kemično (globinsko in površinsko) ter konstrukcijsko zaščito. Površinsko les zaščitimo s premazi (lak emajli, laki, lazure), kemično z različnimi biocidi, ki delujejo insekticidno in fungicidno, konstrukcijsko pa s konstrukcijo oziroma z vzpostavljanjem pogojev, ki onemogočajo napad škodljivcev.

Les, ki je izpostavljen zunanjim klimatskim razmeram, že stoletja ščitimo s površinskimi premazi, ki imajo predvsem dekorativno funkcijo. Dober površinski premaz v osnovi ščiti les pred ekstremnim nihanjem vlažnosti, ima dobro adhezijo in elastičnost, da sledi delovanju lesa. V kolikor so premazi paropropustni, omogočajo difuzijo vodne pare in ob zaščiti pred UV žarki, preprečujejo tudi napad škodljivcev (Brock in sod., 2000). Bolj ali manj vsi premazi zmanjšujejo difuzijski tok vodne pare (Allegretti in Raffaelli, 2009).

Najbolj zanesljiva zaščita pred škodljivci pa je impregnacija ali prepojitev lesa z zaščitnimi sredstvi za les. Pri kemični zaščiti lesa se uporablajo postopki preventivne zaščite (premazovanje, brizganje, dimljenje in obžiganje, osmozni in različni impregnacijski kotelski postopki ter modifikacija lesa), nekemične konstrukcijske zaščite ter represivne kemične zaščite. Pri ohranjanju historičnega lesa ima prednost nekemična represivna zaščita (sušenje, segrevanje ali zmrzovanje, izpostavitev podprtisku ali nadtlaku, mikrovalovi, ultrazvok, gama žarki, rentgenski žarki). V postopkih zaščite lesa proti

glivam rjave trohnobe se uspešno uporablja tudi RF (mikrovalovi) (Pohleven in sod., 1998).

S pojavom kemikalij so se večinoma opustili tradicionalni konstrukcijski zaščitni ukrepi, ki pa se zaradi okoljevarstvenih razlogov in trajnostno naravnega gospodarjenja ponovno vračajo in postajajo vse bolj pomembni. Ob tem so se pozabila tradicionalna znanja in jih bo potrebno ponovno uvesti oziroma uveljaviti.

Raziskovanje lesa na znanstveni ravni je prisotno v zadnjih dveh stoletjih, zlasti po industrijski revoluciji, ko se poleg lastnosti samega lesa preučujejo še metode diagnosticiranja in zaščite lesa. Tako se na področju diagnostike poleg mehanskih metod uporabljamjo električne, optične, akustične, termografske, radiografske, nuklearno magnetske, kemijske in biološke (Unger in Unger, 1995). Zaščita lesa je bila prisotna že v biblijskih časih, ko je sam Stvarnik naročil Noetu naj zasmoli svojo ladjo. V Svetem Pismu (1981) najdemo tudi pripoved in zanimive napotke kako postopati v primeru hišne gobe.

Za začetek industrijske zaščite štejemo leto 1838, ko je Bethell razvil metodo globinske impregnacije lesa s kreozotnim oljem za zaščito železniških pragov in drogov. Na začetku 20. stoletja je bila večina raziskav na področju zaščite lesa usmerjena v razvoj vodotopnih pripravkov na osnovi floridov, kromatov, nitrofenolov in arzenatov. Leta 1933 je indijski raziskovalec Sonti Kamesan razvil vodotopni pripravek na osnovi kromovih, bakrovih in arzenovih spojin (CCA), optimizirana mešanica pred 30 leti se še danes uporablja (Kervina-Hamović, 1990; Richardson, 1993; Humar, 2004). CCA in kreozotno olje so uporabljali do devetdesetih let prejšnjega stoletja. Zaradi strupenosti so leta 1985 prepovedali uporabo Lindana in leta 1989, v večjem delu Evrope, tudi PCP (pentaklorofenola). Prav tako so, zaradi okoljske neprimernosti, kasneje nehalo uporabljati TBTO (tributil kositrov oksid), ki so ga v šestdesetih letih razvili in namenili za zaščito stavbnega lesa uvrščenega v prvem in drugem razredu ogroženosti (Unger in sod., 2001; Humar, 2003).

Za zaščito lesa se med vodotopnimi organskimi pripravki uporabljamjo triazoli in sintetični piretroidi in organski pripravek Bethogard, ki zaščiti les pred glivami bele in rjave

trohnobe, kot tudi pred glivami mehke trohnobe. Med anorganskimi vodotopnimi se uporablajo zaščitna sredstva na osnovi bakra in kroma (CC), bakra, kroma in bora (CCB), bakra, kroma in fosforja (CCP). Zaradi rakotvornosti se uporaba kromovih spojin omejuje (Pohleven in Petrič, 1992; Pohleven, 1998). Že desetletja se v zaščiti lesa uporablajo tudi kovinski karboksilati zlasti bakrovi, cinkovi in železovi naftenati, ki delujejo vodooodbojno, zaradi maščobne kisline pa tudi fungicidno in insekticidno (Pohleven in Petrič, 1995; Pohleven in Petrič, 1999).

Trenutno so v zaščiti lesa najbolj aktualne bakrove in borove spojine. Le te v kombinaciji z različnimi amini izboljšajo vezavo v kombinaciji s sekundarnim biocidom (borove spojine, azoli in triazoli in kvartarne amonijeve spojine), ki izboljša odpornost proti tolerantnim glivam in insektom. Med njim sorodna sredstva spada še uporaba CuHDO, ki se veže v les s kristalizacijo, zaradi spremembe pH vrednosti impregniranega lesa. Najbolj uporabljeni bakrovi pripravki so, zaradi izpiranja iz lesa, še vedno predmet raziskovanj (Humar in Pohleven, 2005; Humar in Pohleven, 2007; Lesar in Humar, 2007).

Med postopke za zaščito lesa se uvršča tudi termično modificiran in acetiliran les (Humar, 2004; Welzbacher in sod., 2009). Nov praktični vidik uporabe lesa je njegovo utekočinjenje pri normalnem tlaku in povišani temperaturi s polihidričnimi alkoholi in fenoli. Kombinacija utekočinjenega lesa in predvsem umetnih smol vodi do nastanka novih fenolnih in epoksidnih smol ter do novih poliuretanskih pen (Tišler, 2002).

V impregniranem lesu, ki je v kontaktu s kovino, so pogosto prisotni korozijski procesi. Znano je, da ekopolimeri na površinah kovine tvorijo biofilme, ki v povezavi s kovinskimi ioni kemičnih zaščitnih pripravkov v lesu, lahko povzročijo elektrokemični proces korozije (Beech, 2004; Zelinka, 2013).

Zaščita lesa se začne s pravilnim gospodarjenjem z gozdom oziroma posekom lesa. Za kakovosten les je pomemben tudi način podiranja, obdelave svežega lesa, transporta in skladiščenja ter sušenja. Da bi les zaščitili pred okužbo, so ga izpirali in potapljali v morje, za kriviljenje so ga parili in kuhalili, premazovali z antiseptičnimi sredstvi, oljnatimi barvili, emajli, laki in firneži iz lanenega olja in smole, terpentinovim oljem, v vodi topnim

steklom, mešanico grafita, gumija in šelaka. Proti glivam so uporabljali lesni katran, karbolinej, kreozotno oglje. V prostorih z živili in krmo so uporabljali fluorove spojine in CCA in CCB soli. Pri antiseptični zaščiti so razlikovali vpojitev (na primer večkratno premazovanje in tudi potopitev v zaščitno sredstvo za krajsi čas), prepojitev (kianizacija) ali globinsko impregnacijo z različnimi kotlovnimi postopki (Kregar, 1952). Po Petroviču (1980) so metode zaščite lesa razdeljene na: metode brez pritiska, metode difuzije biocida, metode z izmenjujočim pritiskom in podpritiskom ter druge načine zaščite. Isti avtor razvrsti tudi sredstva za zaščito lesa proti ognju na mehanska, ki izolirajo površino lesa pred ognjem in kemijska, ki s kemijskim delovanjem preprečijo ali zavirajo gorenje.

Iz okoljevarstvenih razlogov in zaradi napredovanja znanosti na področju poznavanja zaščitnih sredstev, so v skladu z evropsko direktivo o biocidih številni kemični pripravki za zaščito lesa umaknjeni s trga oziroma je njihova uporaba strogo nadzorovana (BPD, 1998).

Neželeni učinki kemičnih in drugih postopkov zaščite se lahko pojavijo kot razpoke, deformacije, luščenje, barvne spremembe itd, zato previdnost pri njihovi uporabi, zlasti v primeru kulturne dediščine, ni odveč (Unger in sod., 2001). V konservatorstvu veljajo principi ohranjanja in uporabe nedestruktivnih metod ter načelo ohranjanja zdravega in originalnega lesnega gradiva. Dotrajanega se nadomesti s kompatibilnim enake vrste. Kemično represivno sredstvo se uporabi le izjemoma, če je to nujno potrebno in ko so izčrpane vse druge možnosti (Icomos, 2004; Pohleven, 2012;). K zmanjšanju vlaženja in s tem stroškov vzdrževanja in uporabe premazov prispeva oblika (forma) same konstrukcije, zlasti oblikovanje in izvedba detajlov (Hrovatin in sod., 2009).

Postopki zaščite in razvoj biocidov za zaščito lesa so predmet aktualnih študij, ki so usmerjene k iskanju novih pristopov pri ohranjanju historičnih objektov iz lesa. Uvajajo se inovativne tehnologije in tehnike konsolidacije lesa z epoksidnimi smolami, jeklenimi sidri, ojačitvami s polimernimi in karbonskimi vlakni, inertnimi silikati in dodatki za utrjevanje (Brezović in sod., 2003). Uporaba nanomaterialov je na stopnji testiranja koherentnosti obstoječih materialov z dodanimi strukturnimi ali zaščitnimi materiali. Zato Russell (2002) izvedbo kakršnihkoli zaščitnih ukrepov in uporabo novih materialov

pogojuje s predhodno detajlno identifikacijo in analizo defektov ter vzrokov poškodb kakor tudi ustreznosti zaščitnih tehnik in materialov. Pri diagnosticiranju različnih stanj spomenikov se uvaja elektronski digitalni monitoring, ki omogoča ažurno pridobivanje informacij (vlažnost, temperatura) o stanju objekta in s tem omogoča pravočasne vzdrževalne ukrepe, dokumentiranje stanja in načrtovanje nadaljnji posegov. Z inovativnimi tehnologijami se zmanjšuje potreba pogostega poseganja v objekte, s čemer se zmanjšajo stroški (Despot, 2001; Bertolini, 2005;).

Zaščite lesa si danes ne moremo predstavljeni brez spremljanja prisotnosti insektov in gliv. Stanje ugotavljamo z različnimi tehnikami (vizualno, z žarki, kemičnimi indikatorji, dihanje) med njimi so nekatere za umetnine lahko tudi destruktivne. Tako med nedestruktivne tehnike uvrščamo ugotavljanje prisotnosti termitor na osnovi izločenega metana. Napadenost predmetov s katerimkoli organizmom pa lahko preverimo s porabo kisika ali izločanja ogljikovega dioksida pri dihanju (Koestler, 1993). Za nadzorovanje biološkega razkroja in zatiranje škodljivcev se danes izvajajo represivni postopki, ki niso vezani na biocide (impregnacijo). Med te spada anoxi metoda zaduševanja oziroma izpostavitev okolju brez kisika (Koestler, 1999; Stušek in sod., 2000). Po ugotovitvi škodljivca se za uničenje uporablja zaduševanje s CO₂, dušikom ali argonom (Koestler, 1992; Pohleven in sod., 2004). Uporablja se tudi segrevanje, zmrzovanje ali obsevanje, s čem pa se predmete lahko poškoduje (Koestler, 1999). Navedene metode se pogosto odsvetuje, še zlasti če so to leseni predmeti kulturne dediščine (Hoadley, 1990; Torelli, 1991; Čufar in Zupančič, 1999).

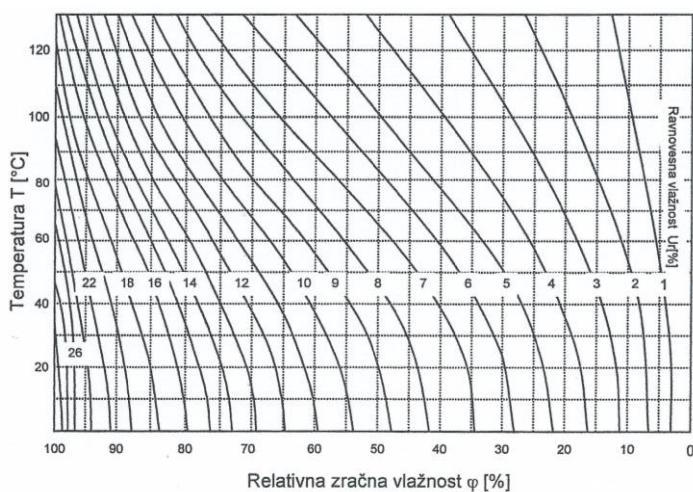
V vseh obdobjih lesnega stavbarstva in uporabe lesnih izdelkov so veljala pravila, da mora biti les ves čas suh, da je potrebno uporabiti naravno odporno vrsto lesa in drevo posekat v zimskem času. Z uveljavitvijo ekološkega, trajnostnega sonaravnega gospodarjenja je obveljalo, da je les treba ščititi z okolju prijaznimi sredstvi (BPD, 1998; Weissenfeld in Konig, 2001; Pohleven in sod., 2009).

2.3 KONSTRUKCIJSKA ZAŠČITA

Prva bivališča, ki jih je človek gradil za zavarovanje pred neugodnimi vremenskimi razmerami in pred sovražnikom, so bila lesena. Za zaščito lesa so uporabljali naravna sredstva in skrbeli z rednim vzdrževanjem. Tehnologija gradnje se je razvijala od preprostih konstrukcij do današnjih dni, ko se iz lesa gradijo zelo kompleksne in obsežne gradbene konstrukcije. Vzporedno s tehniko gradnje se je na izkustvih razvijalo in izpopolnjevalo tudi vedenje o konstrukcijski zaščiti (Lopatič, 2009).

Kadar so konstrukcijske rešitve ustrezne, predstavljajo najbolj naravni način zaščite lesa. S stališča trajnosti lesenih konstrukcij je potrebno dobro poznati zgradbo in lastnosti, sploh pa sorpcijo, spremenjanje volumna in pH (alkalnost) vrednosti lesa (Grosser 1977; Tišler, 2002; Almeida in Hernandez, 2007).

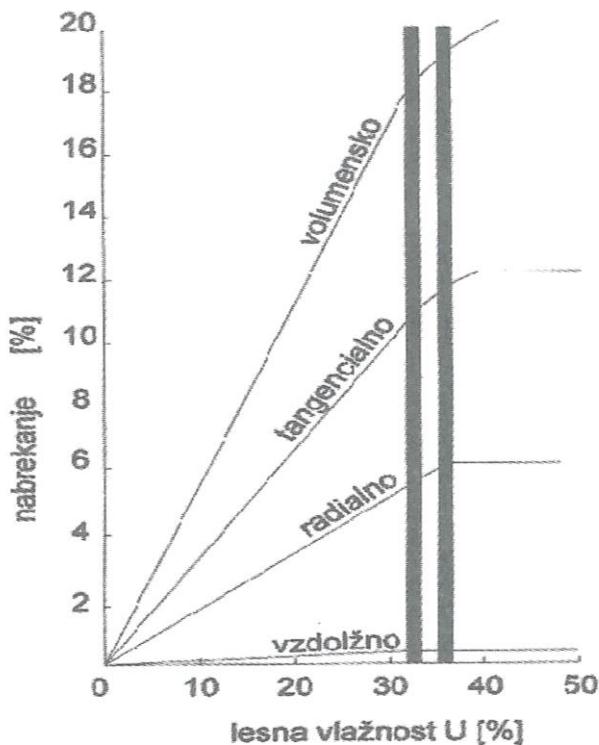
Pri načrtovanju lesenih konstrukcij je treba preučiti pogoje uporabe, zlasti temperaturo in relativno vlažnost okolja, v katerem se bo konstrukcija uporabljala. V spremenljivi klimi se les izmenoma krči in nabreka. Vsaka sprememba relativne zračne vlažnosti ali temperature povzroča spremembo ravnovesne vlažnosti in dimenzij lesa (Gorišek, 2009) (slika 2).



Slika 2: Odvisnost ravnovesne vlažnosti lesa od temperature in relativne zračne vlažnosti (Gorišek, 2009)

Figure 2: Wood moisture equilibrium in relation to temperature and relative air humidity (Gorišek, 2009)

Nabrekanje je odvisno od lesne vlažnosti in preneha, ko so celične stene nasičene z vodo (Gorišek in sod., 1994) (slika 3).



Slika 3: Odvisnost nabrekanja lesa od lesne vlažnosti (Gorišek in sod., 1994)

Figure 3: Swelling of wood in relation to wood moisture content (Gorišek et al., 1994)

Pri vgraditvi lesa je treba paziti, da je lesna vlažnost približno enaka ravnovesni vlažnosti, ki jo narekujejo srednje klimatske razmere na mestu vgraditve, sicer pride do neželenega krčenja ali nabrekanja.

Izdelki narejeni iz jedrovine odpornnejših lesnih vrst, so varni pred večino škodljivcev, ne da bi jih zaščitili z biocidi (Weissenfeld in Konig, 2001). V celično steno inkrustrirane jedrovinske snovi prispevajo k naravni odpornosti lesa (Tišler, 1986; Čufar, 2006). Dejstvo je, da je zračno suh les varen pred okužbo z lesnimi glivami in napadom insektov vlažnega lesa. Če pa so objekti in izdelki narejeni iz jedrovine odpornejših drevesnih vrst, bodo varni tudi pred večino lesnih insektov, ki napadajo suh les (Pohleven in Petrič, 1992).

Pomembno je, da za izdelavo izdelka les posekamo v času mirovanja vegetacije (zimski čas), ko se v lesu izrabijo rezervne hranljive snovi. Les, ki vsebuje inhibitorne snovi (tanine, smole, alkaloide) ima največjo naravno odpornost in z njo povezano trajnost

(Tišler in Lipušček, 2001; Gorišek, 2006; Lesar in sod., 2010). Na trajnost iglavcev vpliva tudi gostota. Gosteji les je bolj trajen (Gorišek, 2006). Trajnost pa je odvisna predvsem od načina vgradnje oziroma konstrukcije ter mesta vgradnje. S pravilno konstrukcijo in z ustreznim oblikovanjem detajlov lahko odločilno vplivamo na njegovo trajnost za nekaj stoletij ali celo tisočletij (Brischke in sod., 2013; Morris, 2013).

Z namenom optimizacije uporabe lesa v zunanjih razmerah, na primer oken, balkonov in teras, so razviti številni projektni detajli, okovja in sklopi, ki že vključujejo konstrukcijsko zaščito in z doslednostjo izvedbe zagotavljajo dolgoročno trajnost lesa (Werning in Schober, 2004; Schober in sod., 2006; Kitek Kuzman in sod., 2013).

Z gradbeno tehničnimi rešitvami lahko izdelkom in objektom bistveno izboljšamo pogoje ohranjanja. Že pri gradnji moramo upoštevati splošna ventilacijska pravila in dosledno pozicionirati zračnike za zadostno zračenje, kar zagotovo pripomore, da je les zračno suh, bivalni prostori pa prezračevani (Heating Ventilating ..., 1959).

Na pomen dobrega projektiranja za trajnost objektov, so opozarjali že renesančni arhitekti (Jokilehto, 1986). V strategiji spomeniška varstva kulturne dediščine se je uveljavil princip izdelave konservatorskega načrta, kjer naj bi bili detajlno opredeljeni ukrepi konstrukcijske zaščite (Kerr, 2013). Tehnične rešitve, kot so naklon strehe, večji napušč, pomik stavbnega pohištva pod napušč, zračni kanali, pokritost balkonov in teras, orientacija opaža, dvignjen okvir okna, odkapalni nosovi in žlebovi, lahko bistveno prispevajo k trajnosti objekta (Willeitner in Peek, 1994; Gockel, 1996; Piazza in sod., 2005; Brandstätter in sod., 2007).

Že pri načrtovanju objekta moramo upoštevati nosilnost konstrukcije in opredeliti v kateri odpornostni in trdnostni razred sodi izbrana vrsta lesa. Pomembni parametri so upogibna trdnost, gostota in deformabilnost lesa. Masiven les uvrstimo v trdnostni razred, ki je po standardu EN 338 (2010) označen s črkama C (Coniferous = iglavci) oz. D (Deciduous = listavci) in številko, ki pomeni upogibno trdnost v MPa (na primer C 24 pomeni les iglavcev z upogibno trdnostjo 24 MPa. Lameliran les uvrščamo v trdnostni razred po standardu EN 1194 (2000), označen je z oznako GL (Glued Laminated Timber = lepljeni lamelirani les). S črko h (homogenous = homogen) osnoven les iz lamel istega trdnostnega

razreda, s črko c (combined = kombiniran) les, kjer so notranje lamele iz nižjega trdnostnega razreda in številko, ki prav tako pomeni trdnostni razred lesa – pri homogenem vseh lamel, pri kombiniranem pa zunanjih.

Poleg gliv in insektov je največji uničevalec lesa ogenj. Za masiven in lepljeni lamelirani konstrukcijski les je treba upoštevati tudi parametre odziva na ogenj (Srpič, 2009). Večjo požarno odpornost lesa dosežemo z izbiro večjih dimenzij in večslojnih prerezov (Dujič in Žarnić, 2009).

Pajek (2008) navaja sisteme pasivne požarne zaščite s katerimi je možno povečati požarno varnost v stavbah kulturne dediščine. Navaja obešene stropove, zaščitne premaze, obloge in zaslone. Med proizvodi za nenosilne elemente navaja predelne stene in zasteklitve, horizontalne stropne membrane, dvojni pod, požarna vrata in zapore, tesnjenje prehodov kablov in cevi. Pri lesu, ki je gorljiv material, je zlasti pomembna nosilnost v požaru. Ta je odvisna od prereza in dolžine nosilnega elementa ter tlačne in upogibne obremenitve. S časom površina lesa zgoreva in presek nosilca se zmanjša od 0,5 do 0,8 mm na minuto. Ker je les dober izolator in vsebuje precejšnjo količino vode, ki preprečuje njegovo segrevanje, se nosilnost nezgorelega dela bistveno ne zmanjša. S časom se zmanjša samo presek in s tem tudi nosilnost.

Požarna odpornost elementov gradbenih konstrukcij je klasificirana v standardu SIST EN 13501-2 (2007). Preizkusi požarne odpornosti lesenih konstrukcij so pokazali, da rezan les zdrži do požarne odpornosti R30, lepljen pa tudi do R60. Oznaka R pomeni nosilnost oziroma sposobnost elementa konstrukcije, da določen čas ne izgubi nosilnosti v primeru požara z ene ali več strani (porušitev), številka ob oznaki pomeni požarno odpornost v minutah.

Zaradi staranja, izsušenosti in poškodovanosti z insekti, les v starejših stavbah kulturne dediščine ne doseže požarne odpornosti R30, kar pomeni, da bo do porušitve prišlo najkasneje po 30 minutah standardnega požara. Danes se uporablja požarno odporne stropne plošče. Kadar se zahteva večja požarna odpornost, je možno star in oslabljen les najprej ojačiti in ga protipožarno obleči s požarno odpornimi ploščami. Zaradi prosojnosti

se v objektih kulturne dediščine veliko uveljavlja sistemsko požarna zasteklitev oziroma požarno steklo. Prav tako je možno požarno zaščititi tudi kovinske dele v lesu, ki v požaru hitro dosežejo kritično temperaturo izgube nosilnosti. Širjenje požara se preprečuje tudi z vstavljanjem ekspanzijskih trakov v vratno krilo in namestitvijo požarnega samozapiralnega. Najbolj je znana zaščita s kamenom volno in protipožarnim premazom.

2.4 RAZREDI IZPOSTAVLJENOSTI LESA

S konstrukcijsko zasnova lahko bistveno vplivamo na razred izpostavljenosti oziroma ogroženosti lesa. Razredi izpostavljenosti so definirani v SIST EN 335-1 (1992) (preglednica 2).

Preglednica 2: Evropski razredi izpostavitve lesnih izdelkov škodljivcem glede na mesto uporabe (SIST EN 335/1, 1992)

Table 2: European classes of exposure of wooden products to pests according to the place of use (SIST EN 335/1, 1992)

Razred izpostavljenosti	mesto uporabe/vlažnost lesa	POVZROČITELJI OGROŽENOSTI			
		insekti	glive	modrivke	izpiranje
I.	nad tlemi, pokrito – vedno suho (pod 20%)	+	-	-	-
II.	nad tlemi, pokrito – nevarnost močenja (občasno 20%)	+	+	-	-
III.	nad tlemi, nepokrito – pogosto močenje (pogosto 20%)	+	+	-/+	+
IV.	v tleh ali vodi – stalno vlažno (stalno nad 20%)	+	+	+	+
V.	v morski vodi (stalno nad 20%)	+	+	+	+

V prvem razredu ogroženosti je les izpostavljen le klimatskim nihanjem, ki so običajna v bivalnih prostorih in zračna vlažnost ne presega 70%. Lesna vlažnost je pod 20%. Glive lesa v tem razredu ne napadajo. Do napada le teh pride le, če ne upoštevamo pravil in vgradimo že okužen ali vlažen les. V tem razredu ne prihaja do izpiranja zaščitnih sredstev, vendar v nekaterih primerih lahko pride do segrevanja (ostrešja, opaž), kar lahko v veliki meri vpliva na sestavo in stabilnost biocidov. Tipičen primer izdelkov v prvem razredu izpostavljenosti je pohištvo, umetniški predmeti (okviri slik, kipci) in ostrešje. Les v I. razredu lahko napadejo insekti, zlasti hišni kozliček (*Hylotrupes bajulus*), ki napada

večinoma beljavo iglavcev, navadni trdoglavec (*Anobium punctatum*), ki ga najdemo v starem pohištvu, in rjavi parketar (*Lyctus brunneus*), ki vrta luknje večinoma v beljavi venčasto-poroznih listavcev. Les je v tem razredu večinoma zaščiten le s površinskimi premazi. Največjo težavo v I. razredu izpostavljenosti predstavlja dejstvo, da je, v primerjavi z glivami, okužbo lesa z insekti veliko teže predvideti in preprečiti.

V drugem razredu ogroženosti se nahaja les, ki je nameščen pod streho in občasno izpostavljen relativni zračni vlažnosti nad 70 %. Konstrukcijski elementi niso v stiku s tlemi. Vlažnost lesa lahko naraste nad mejo biološke odpornosti (več kot 20 %), ki omogoča razvoj gliv. Še posebej nevarno je v primeru nepravilne konstrukcije, če voda ne more odteči in zato zastaja. V teh primerih se lahko razvijejo predvsem glice, ki povzročajo destruktivno rjavo trohnobo (tramovka, bela hišna goba, kletna goba, siva hišna goba). Na dekorativnih površinah lesa se pojavljajo še plesni ali glivično obarvanje (pogosto glice modrivke). Glice modrivke najdemo le v beljavi. Les intenzivno obarvajo, vendar ne vplivajo na mehanske lastnosti. Najpogostejša obarvanja so modra in siva. Kritičen dejavnik pri obarvanju je vлага. Že kratkotrajno navlaženje je dovolj, da les lokalno pomodri. Ob vsakem nadalnjem vlaženju pa se madež širi. Verjetnost okužbe z insekti je primerljiva z I. razredom izpostavljenosti. Tipičen primer izdelkov v II. razredu izpostavljenosti so okna, balkonske ograje (če so pod streho) in zunanji opaži. Les se navadno zaščiti s premazovanjem, redkeje z globinsko impregnacijo.

V tretjem razredu izpostavljenosti les ni v stiku z zemljo, vendar je pogosto izpostavljen vlaženju. Ker se nahaja na prostem, je poleg izpiranja močno izpostavljen tudi UV sevanju, kar se odraža v izpiranju biocidnih komponent iz lesa in razpokanosti lesa. V tem razredu izpostavljenosti in ob ugodnih temperaturah les najbolj ogrožajo glice (glice razkrojevalke in modrivke) in insekti. Les je izpostavljen padavinam, direktnemu močenju, zaščitna sredstva se iz njega izpirajo. V tem razredu so fasadni opaži, lesene balkonske ograje, vrtne ograje, leseni deli klopi. Les se v tem razredu navadno globinsko impregnira, redkeje se uporablja tudi premazovanje. V tem primeru se izpiranje biocidov smiselno preprečuje z uporabo lakov ali lak-lazur. Največjo pozornost se namenja ukrepom konstrukcijske zaščite (na primer zgornji konstrukcijski elementi prekrivajo spodnje, čelne površine se zatesnjujejo z epoksidnimi premazi, uporabi se globinsko zaščiten les, med elementi so

razmiki). Največji problem v tretjem trazredu izpostavljenosti je, da les sčasoma razpoka. V razpokah zastaja voda in zato se tu razvijejo odlični pogoji za okužbo z glivami. V četrtem razredu izpostavljenosti se les trajno nahaja v stiku z zemljo. Ogrožajo ga insekti in glive. Nevarnost okužbe z glivami je večja, z izjemo območij, kjer so prisotni termiti. Les je torej v stalnem stiku z vodo ali drugo vlažno podlago in ima stalno več kot 20% vlažnosti zato ga napadajo glive razkrojevalke, modrenje, insekti, zaščitno sredstvo se izpira. V tem razredu les ogroža druga skupina gliv kot les, ki se nahaja v tretjem razredu izpostavljenosti. Najbolj pomembna je povečana prisotnost gliv bele trohnobe in gliv, ki povzročajo mehko trohnobo. Zaradi razkrajanja lignina in ostalih polisaharidov postaja les vse bolj mehak in se vlaknasto cepi. Najbolj je znana pisana ploskocevka (*Trametes versicolor*). Najpogosteje se v IV. razredu izpostavljenosti nahajajo razni drogovi, železniški pragovi, stebri in podobni izdelki pri katerih zaščita lesa zgolj s premazovanjem ni smiselna (Humar, 2003).

Kadar je les nenehno izpostavljen delovanju morske vode, ga uvrščamo v peti razred ogroženosti. Insekti ga lahko napadajo v primeru, ko je ta nad vodno gladino.

Razvrščanje lesa v razrede izpostavljenosti po SIST EN 335-1 (1992) oziroma SIST EN 335 (2013) je v postopku projektiranja ukrepov konstrukcijske zaščite zelo pomembno in predpostavlja mikro in makro analizo pogojev uporabe. V sklopu enega samega objekta so nekateri lesni elementi bolj izpostavljeni kot drugi, odvisno od tega kakšno pozicijo in vlogo imajo v konstrukcijski sestavi.

Za vezan les pride vpoštev vseh pet razredov ogroženosti, za vlaknene plošče širje razredi ogroženosti, ker se jih ne vgrajuje v morje. Za iverne in orientirane vlaknene plošče pa se upoštevajo prvi trije razredi ogroženosti, ker se te ne vgrajujejo v/na zemljo ter v sladko in morsko vodo. Lesne vrste imajo različno naravno odpornost proti škodljivim zunanjim dejavnikom, zato glede na mesto uporabe izbiramo med ustrezno odpornimi lesovi.

V prvem razredu je ob ustrezni suhosti ustrezna vsaka vrsta lesa, s stopnjevanjem tveganja pa se izbor oži.

Glede na vlažnost uporabo rezanega in lameliranega lepljenega lesa razvrščamo v tri kategorije. V prvem razredu uporabljamo les z 12 % vlažnostjo, v drugem do 20 %, v

tretjem pa les z več kot 20 % vlažnostjo. Za rezan les velja predpisan maksimalna vlažnost 18 %, za lamelirane lepljene konstrukcije 15 %. Če se tega pravila zaščite strogo ne upošteva, ni možno učinkovito in trajno ščititi lesa z nobenim kemičnim sredstvom, ker bo ta pri neželeni preseženi vlažnosti prej ali slej izgubil svojo zaščitno funkcijo. Izmenične spremembe higroskopskega ravnovesja precej zmanjšujejo trajnost lesa, ki je predvsem odvisna od pogojev uporabe in od opornosti lesa (Šega, 2010; Pohleven, 2012).

2.5 NARAVNA ODPORNOST IN TRAJNOST LESA

Naravna odpornost lesa je lastnost, ki jo ima les v naravnem zdravem stanju in pomeni dovzetnost na škodljivce. Odvisna je od anatomske zgradbe lesa in kemijske sestave lesa.

Na naravno odpornost, ki je predvsem odvisna od anatomske zgradbe in delovanja toksičnih ekstraktivnih snovi v jedrovini, vpliva najbolj še struktura ranega in kasnega lesa, hidrofobnost sestavin celične stene, zgradba lesa in gostota. Naravna odpornost lesa iste vrste ni vedno enaka, ampak se spreminja tako v drevesu kot tudi med posameznimi drevesi. Zaradi velike variabilnosti naravne odpornosti lesa se močno razlikuje njegova trajnost, ki pa je odvisna od mesta vgradnje in načina uporabe.

Trajnost lesa je za uporabnike zelo pomembna, ker pove koliko časa bo les obdržal svoje relevantne lastnosti. Pri njegovi uporabi v zunanjih klimatskih razmerah, skušamo odpraviti neugodne učinke.

Z ustreznimi naravnimi postopki, med katerimi so prav postopki konstrukcijske zaščite najbolj naravni način zaščite, preprečimo ali vsaj upočasnimo propadanje lesa in obenem skrbimo za okoljski vidik naravne zaščite lesa (Lesar in sod., 2008)

Glede na naravno odpornost razvrstimo lesne vrste v 5 razredov (Eaton in Hale, 1993; SIST EN 350-2, 1995) (preglednica 3).

Preglednica 3: Razvrstitev drevesnih vrst v 5 odpornostnih razredov. Podatki veljajo za jedrovino. Beljava vseh lesnih vrst je razvrščena v 5. razred odpornosti (SIST EN 350-2, 1995)

Table 3: Classification of tree species into 5 classes of resistance. The data is based on heartwood. The sapwood of all timber species is classified into 5th grade resistance (SIST EN 350-2, 1995)

RAZRED ODPORNOSTI		TRAJNOST LESA (leta) (les v stiku z zemljo)	DREVESNA VRSTA
zelo odporne	1	20 +	robinja (1-2), iroko, tik
odporne	2	15-20	kostanj, dob, tisa,
zmerno odporne	3	10-15	oreh, macesen, bor (3-4)
neodporne	4	5-10	smreka, jelka, brest
zelo občutljive	5	<5	javor, breza, bukev, topol

Ogroženost lesenega izdelka z glivami in insekti je odvisna od mesta uporabe oziroma vgradnje. Tako na primer okna in zunanja vrata pogosto ustreza RI 3, če pa uporabimo učinkovit površinski premaz, pa zadošča tudi RI 2. Zaščita lesa proti insektom pri teh gradbenih elementih praviloma ni potrebna. Uporabo kemične zaščite proti glivam v odvisnosti od razreda izpostavljenosti in naravne odpornosti lesa prikazuje spodnja preglednica (preglednica 4).

Preglednica 4: Uporaba kemične zaščite lesa proti glivam glede na razred izpostavljenosti in naravno odpornost lesa (SIST EN 460, 1995)

Table 4: Use of chemical protection of wood against fungi in relation to hazard classification and natural resistance of wood (SIST EN 460, 1995)

RAZRED IZPOSTAVLJENOSTI	ODPORNOSTNI RAZRED ZA MASIVNI LES				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	(0)	(0)
3	0	0	(0)	(0) - (x)	(0) - (x)
4	0	(0)	(x)	x	x
5	0	(x)	(x)	x	x

Legenda:

- 0 Naravna odpornost lesa zadostuje.
- (0) Naravna odpornost lesa praviloma zadostuje. Pri visoki vlažnosti (pri nabrekanju) se priporoča zaščita lesa s sredstvi.
- (0) - (x) Naravna odpornost lahko zadostuje (npr smrekovina za fasadne opaže), vendar je odvisna od vrste lesa, zračnosti in mesta uporabe. Tako je na bolj izpostavljenih mestih potrebna zaščita lesa s sredstvi, kot npr. pri uporabi beljave bora na zahodni strani slabo zračene fasade.
- (x) Zaščita lesa s sredstvi je priporočljiva, vendar lahko naravna odpornost pod določenimi pogoji uporabe zadostuje, npr. pri uporabi jedrovine duglazije v suhih tleh.
- x Zaščita lesa s sredstvi (impregnacija) je potrebna.

Tako na primer:

- Pri uporabi jedrovine naravne odpornosti razreda 1 in 2, ni potrebna dodatna kemična zaščita lesa.
- Pri uporabi beljave naravne odpornosti razreda 1 in 2 in črnjave naravne odpornosti razredov 3, 4 in 5 je potrebna zaščita proti glivam modrivkam, proti pravim razkrojevalkam lesa in vremenskim vplivom.
- Pri uporabi beljave naravne odpornosti razredov 3, 4 in 5 je potrebna zaščita proti glivam modrivkam, pravim razkrojevalkam lesa in proti vremenskim vplivom.

Trajnost lesa je čas (obdobje) v katerem les ohrani vse svoje naravne lastnosti. Odvisna je od naravne odpornosti ter načina in mesta uporabe. V pogojih, ko trajnosti izdelka ne moremo zagotoviti s konstrukcijo in naravno odpornostjo, ga zaščitimo s pripravki, ki vsebujejo biocide. Kemično zaščiten les oziroma z biocidi prepojen les ima umetno (nenaravno) odpornost in ni dovzet za škodljivce, njegova odpornost pa je odvisna od anatomske zgradbe in umetne kemijske sestave (Pohleven, 2012).

Lesni izdelki iz najbolj odpornih vrst lesa vzdržijo v stiku z zemljo ali vodo do 20 let. Zato pri načrtovanju uporabe za izdelek izberemo ustrezno odporno drevesno vrsto. V standardu je navedenih 107 vrst glede na njihovo dovzetnost na škodljivce (SIST EN 350-2, 1994) (preglednica 5).

Preglednica 5: Naravna odpornost nekaterih lesnih vrst proti škodljivcem (SIST EN 350-2, 1994)

Table 5: Natural resistance of some wood species against pests (SIST EN 350-2, 1994)

VRSTA LESA	Naravna odpornost proti		
	Glivam	Insektem	Termitom
Tik, Robinja	1 zelo odporno	odporno	neodporno
Hrast, Kostanj, Tisa	2 odporno	odpora jedrovina hrasta, kostanj - neodporno	neodporno
Rdeči Bor, Macesen, Duglazija	3 zmerno odporno	neodporno	neodporno
Jelka, Smreka	4 slabo odporno	občutljiv jedrni les	občutljiv jedrni les
Bukev, Jesen, Javor, Topol	5 neodporno	neodporno	neodporno

V območjih, kjer vladajo ekstremna temperaturna nihanja, je do neke mere možno izboljšati pogoje ohranjanja lesenih objektov kulturne dediščine. Lahko izberemo odporno, tam prilagojeno vrsto lesa, ker je les razmer vajen. Vgrajen les v takšnem okolju najbolj varujemo, če ga konstrukcijsko zaščitimo in mu omogočimo, da se s svojimi naravnimi lastnostmi brani pred okoljskimi dejavniki.

S kemično zaščito se ponavadi poruši naravna odzivnost lesa, poleg tega je treba zaščito po določenem času ponoviti.

K trajnosti objektov, ki se nahajajo v neugodnih klimatskih razmerah, lahko nekoliko prispevamo tudi z načrtovanjem in izvedbo gozdno gospodarskih ukrepov. V območjih objektov kulturne dediščine je možno z gozdno gojitvenimi načrti vplivati na lokalne pogoje. Tako je možno vplivati na gozdni sestoj, na erozijske procese, na gozdni rob, s primernim redčenjem in revitalizacijo je možno doseči boljšo osončenost, z odpiranjem zračnih koridorjev tudi boljšo prevetritev območij dediščine.

Zato se novi pristopi konstrukcijske zaščite nanašajo tudi na nujne ukrepe v neposredni okolini objektov.

Številni leseni objekti kulturne dediščine se nahajajo v gozdovih, zato je naloga gozdarske stroke, da v gozdnogospodarske načrte vključi strokovne zahteve, ki se nanašajo na dolgoročno varovanje in ohranjanje tovrstnih objektov zlasti na načrtovanje in izvajanje ukrepov, ki izboljšujejo pogoje ohranjanja objektov v avtentičnem okolju.

Zaradi variabilnosti naravne odpornosti, različne vrste lesa posledično zagotavljajo različno trajnost konstrukcije, zato je pomembno že v fazi načrtovanja konstrukcijskih rešitev upoštevati pomembnejše značilnosti lesa (naravno odpornost, vodno vpojnost, dimenzijsko stabilnost, biološko odpornost, permeabilnost) tako iglavcev (preglednica 6) kot listavcev (preglednica 7).

Preglednica 6: Odpornostne značilnosti nekaterih iglavcev (SIST EN 350-1, 1994)

Table 6: Resistance features of some conifers (SIST EN 350-1, 1994)

Pomembnejše odpornostne značilnosti nekaterih iglavcev							
Lesna vrsta		Naravna trajnost	Vodna vpojnost	Dimenzijska stabilnost	Biološka odpornost	Permeabilnost	Uporaba
Jelka		majhna	srednja do velika	ugodna	majhna	srednja	Za vse zunanje notranje konstrukcije, vrata, okna
Smreka		majhna	majhna	ugodna	majhna	srednja	Vse masivne in lamelirane elemente
Bor	Jedrovina	srednja	majhna	ugodna	majhna	srednja	Za zunanje konstrukcije, vrata in okna
	Beljava	slaba	zelo velika	ugodna	slaba	zelo dobra	Nekakovosten, impregniran = za okna, obloge in ograje
Macesen		dobra	majhna	ugodna	zmerna	slaba	

Večina javnih spomenikov na prostem je izdelana iz hrasta. Pomembnejše odpornostne značilnosti nekaterih listavcev so prikazane v preglednici (preglednica 7).

Preglednica 7: Odpornostne značilnosti nekaterih listavcev (SIST EN 350-1, 1994)

Table 7: Resistance features of some deciduous trees (SIST EN 350-1, 1994)

Pomembnejše odpornostne značilnosti nekaterih listavcev						
Lesna vrsta	Naravna trajnost	Vodna vpojnost	Dimenz. stabilnost	Biološka odpornost	Permeabilnost	Uporaba
Bukev	slaba	zelo velika	majhna	zelo majhna	zelo velika	Le notranja uporaba, zunaj le z impregnacijo
Kostanj	dobra	majhna	srednja	velika	zmerna	Težave s sušenjem in izpiranjem tanina; kakovosten gradbeni les za vse namene
Hrast	velika	majhna	srednja	zelo velika	slaba	Notranja in zunanja uporaba
Jesen	dobra	velika	majhna	majhna	slaba	Notranja uporaba
Robinija	zelo dobra	zelo majhna	srednja	izjemno velika		

Uporabnost lesnih vrst po gostotnih razredih je razdeljena na pet razredov (izjemno in zelo nizka z 200-300 kg/m³; nizka z 300-450 kg/m³; srednja z 450-600 kg/m³; srednje visoka 600-700 kg/m³; visoka in zelo visoka 700-800 kg/m³). Gostota lesa vpliva na naravno odpornost lesa, vendar pa gost les sam po sebi ne pomeni nujno dobre naravne odpornosti. Tako je na primer bukovina manj odporna od jedrovine bora kljub temu, da je gostejša. Pri hrastu na gostoto vpliva širina branik. Širše so, gostejši je les in s tem bolj odporen. Na naravno odpornost lesa učinkujejo še količina ekstraktivov, hidrofobnost lesa, stopnja difuzivnosti, čas sečnje (Humar in sod., 2008; Lesar in sod., 2008; Hazler, 2008; SIST EN 350-2, 1994)).

Vedno ne moremo zagotoviti pogojev, da bi bil les ves čas suh, zato je v takšnih primerih potrebno lesene izdelke pred vgraditvijo preventivno zaščititi še s kemičnimi sredstvi, ki vsebujejo biocide. Na kvaliteto impregnacije vpliva več faktorjev, zlasti gostota. Potrebno je, da zaščitno sredstvo globoko prodre v les in se v njem dobro fiksira (impregnacija) (preglednica 8).

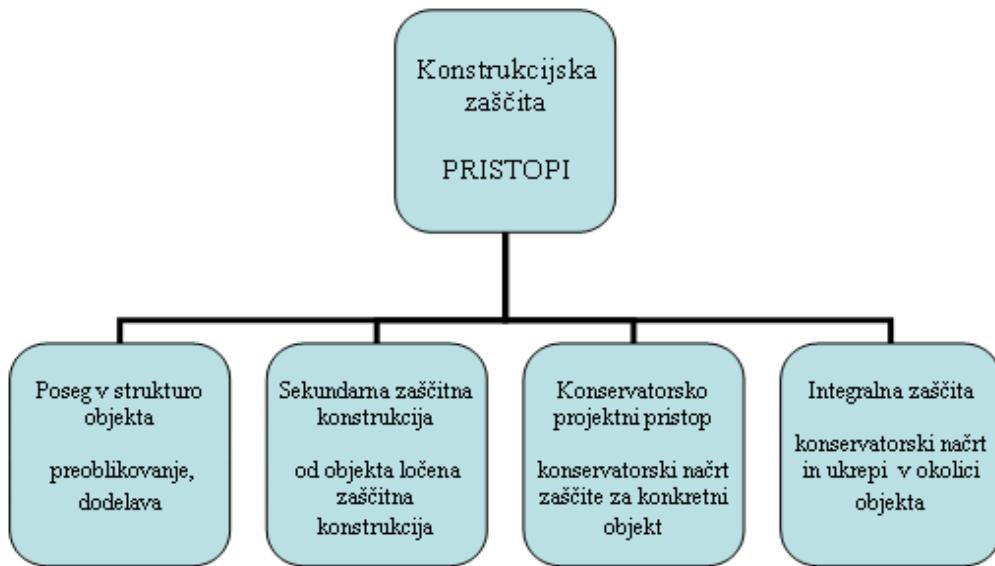
Preglednica 8: Učinkovitost impregniranja lesnih vrst (SIST EN 350-2, 1995)

Table 8: Efficiency of impregnation of wood species (SIST EN 350-2, 1995)

Razred	Sposobnost impregniranja	Opomba
1	Lahka (prepustne vrste)	Žagani les je mogoče v celoti impregnirati brez težav
2	Zmerno lahka (zmerno prepustne)	Impregniranje je preprosto, vendar vpijanje zaščitnega sredstva ni popolno (učinkovita prepojenost se doseže po dve do triurni obdelavi – pri iglavcih več kot 6 mm v globino, pri listavcih je večina por zapolnjena z zaščitnim sredstvom).
3	Težka (težko prepustne)	Impregniranje je težko, (od tri do štiriurna obdelava je uspešna le do globine od 3 do 6 mm).
4	Zelo težka (neprepustne)	Zaščita ni učinkovita tudi po dolgotrajno obdelavi

Konstrukcijska zaščita je sistem ukrepov s katerimi ustrezne pogoje zaščite lesa dosegamo s konstrukcijo. V okoljih, kjer imajo spomeniki še funkcionalno zemljišče, je včasih treba izvesti zaščitne ukrepe (naklon terena, drenaže, mulde, posek itd) najprej v okolici in potem šele na objektu samem. Govorimo o kompleksnem, integralnem sistemu ukrepov, ko s posegi v neposredni okolici in s samo konstrukcijo izboljšujemo pogoje ohranjanja

vgrajenega lesa. S preprečevanjem daljšega navlaževanja konstrukcije preprečujemo razkroj lesa oziroma ohranjamo njegove lastnosti (slika 4).



Slika 4: Možni pristopi konstrukcijske zaščite lesa

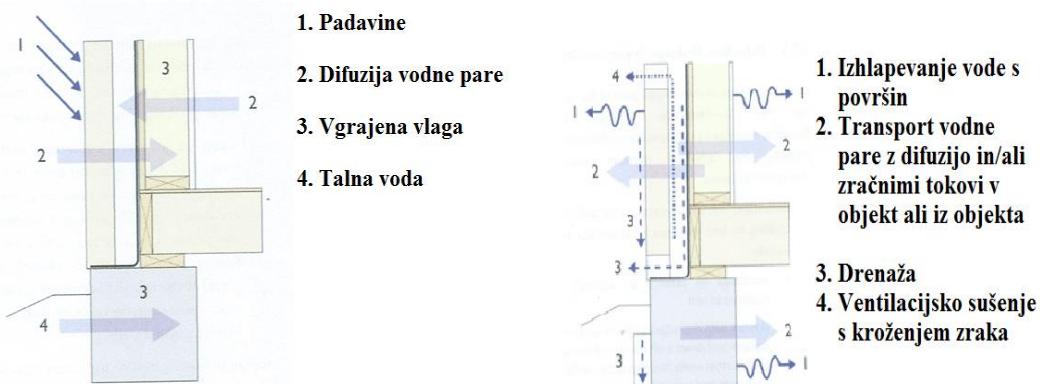
Figure 4: Possible approaches for the constructional protection of wood

Integralni sistem konstrukcijske zaščite vključuje več pristopov:

- neposredni poseg v objekt;
- izvedbo od objekta ločene, sekundarne konstrukcije, ki je namenjena zaščiti osnovne konstrukcije;
- izvedbo zaščitnih ukrepov v skladu s konservatorskim načrtom zaščite dela ali celote objekta;
- integralno zaščito, ki upošteva načrtovanje konstrukcijske zaščite objekta v povezavi z okoljem in pripadajočo infrastrukturo.

Konstrukcijska zaščita zadeva različne ravni ukrepanja. Prva, preventivna raven, zadeva projektiranje, materialno tehnične ukrepe, ukrepe kemične zaščite, ter ukrepe, ki jih je potrebno izvršiti v teku proizvodnje, skladiščenja, prevoza in montaže (Turkul in Jirouš, 2004). Druga raven je praktična in pomeni operacionalizacijo ukrepov konstrukcijske zaščite na samem objektu ob dejanskem upoštevanju načel konstrukcijske zaščite. Običajno ob izvedbi ukrepov konstrukcijske zaščite opravimo še sanacijo tehničnih

poškodb objekta pri čemer smo pozorni in odpravimo vire navlaževanja (Deu, 2004, Finch in sod., 2013) (slika 5).



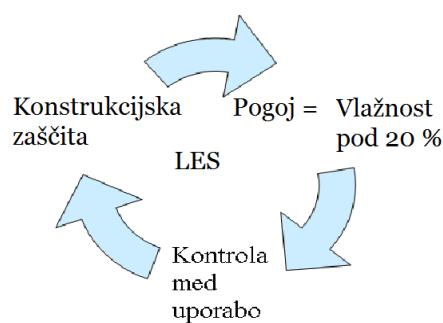
Slika 5: Viri vlaženja (levo) in mehanizmi odvlaževanja (desno) (Finch in sod., 2013)

Figure 5: Wetting sources (left) and drying mechanisms (right) (Finch and al., 2013)

2.5.1 Konstrukcijska zaščita – pravila

Konstrukcijska zaščita je kompleksen sistem ukrepov, ki so odvisni od zasnove konkretnega objekta, lastnosti lesa ter klime okolja v katerem se objekt nahaja.

Konstrukcijska pravila so postulati, ki jih je treba integrirati in dosledno upoštevati v vseh fazah obravnave objekta. S konstrukcijskimi rešitvami in rednim vzdrževanjem moramo zagotoviti, da bo les ves čas suh in vzdrževan ter med uporabo kontrolirati vlago (slika 6).



Slika 6: Pomen zagotavljanja vlažnosti lesa pod 20 %

Figure 6: The importance of providing a wood moisture content below 20 %

Pri urejanju konstrukcijske zaščite lesenih objektov je treba upoštevati osnovna pravila (Turkulin in Jirouš-Rajković, 2004; Eckhard in sod., 2008):

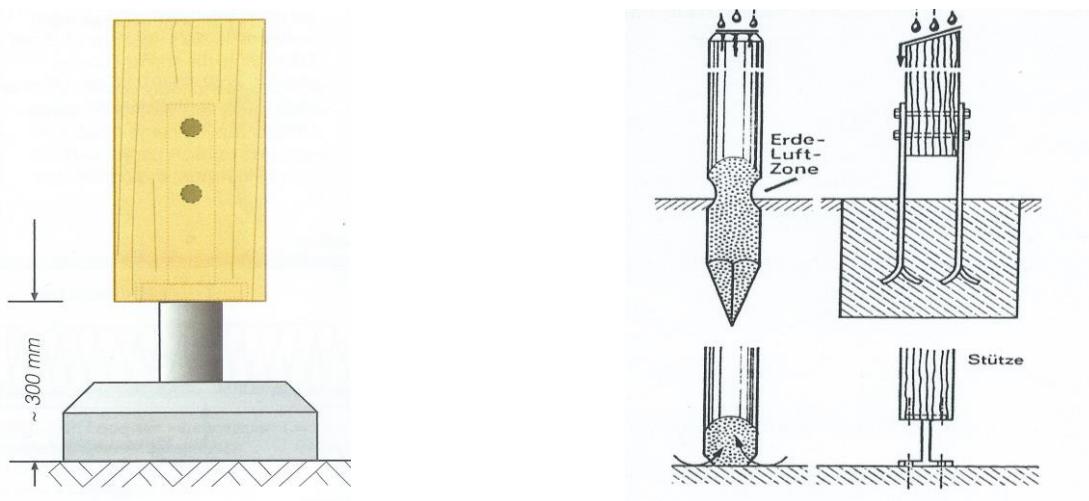
- Vsebnost vode v lesu mora biti vedno pod 20 %, pri teh vlažnostih lesa okužba z glivami praviloma ni mogoča.
- S konstrukcijo moramo zagotoviti čim boljše odtekanje vode oziroma preprečiti zatekanje vode in zadrževanje le te v lesu. Na lesenih površinah in lesenih konstrukcijah voda ne sme stati.
- Les mora biti zaščiten pred padavinsko vodo in od tal odmaknjen, da ni izpostavljen škropljenju s podlage, ali zaščiten s kovinskimi oblogami.
- Stavbno pohištvo, kot so okna, vrata, moramo vgraditi čim globlje v fasado, da so kar najbolj zaščiteni pred vremenskimi vplivi.
- Stik lesa z drugimi materiali mora biti tak, da se les ne vlaži. Zaradi kapilarnosti naj se les ne dotika direktno drugih materialov.
- Vsi čelni preseki morajo biti prekriti ali tesnjeni, ker les vzdolž vlaken vpija vodo štiridesetkrat hitreje kot prečno. Robne površine in preseki lesnih plošč morajo biti zaščiteni. Prav tako se je treba izogniti utorom, luknjam, odprtinam, odprtim razam, razpokam, poklinam, kjer se voda lahko zadržuje, kapilarno prodira v globino in se zbira v materialu.
- Zaradi slabe odpornosti zlepljenih slojev proti soncu in dežju, naj ti ne bodo na izpostavljenih površinah, če niso drugače ustrezen zaščiteni. Prav tako, še zlasti pri fasadnem lesu, je treba preprečiti, da bi bile velike, zelo nagnjene in temnoobarvane površine izpostavljene soncu.
- Pri fasadah naj bodo razmiki na zunanjih površinah širši od 5 mm, da se v njih kapilarno ne zbira voda, horizontalni pa morajo biti nagnjeni navzdol in proti zunanji strani, tako da ostri rob zgornje površine služi kot odkopalni rob. Vmesni prostori (reže) na spojih fasadnih površin morajo biti pokriti z letvicami, preklopjeni ali spojeni na utor in pero, pri čemer je utor vedno zgoraj.
- Gradbeni elementi zunanjih sten (na primer fasadni opaž) morajo imeti med steno in lesno konstrukcijo urejen prezračevalni (zračni) kanal. Pri vertikalnem polaganju desk so podložne letve (impregnirane) vodoravne, zato morajo biti ponekod ločene,

zamaknjene ali položene poševno, da se omogoči vertikalna ventilacija, kroženje zraka od spodaj navzgor.

- Zunanji konstrukcijski les naj ima, kolikor je le mogoče, čim ožji profil.
- Lesu moramo zagotoviti prezračevanje. Zunaj vgrajeni elementi se prosto zračijo z zunanje strani. V steno vzidanim tramovom, vgradnim omaram, stenskim in stropnim oblogam pa moramo dovajati zrak z odprtinami v steni ali z zračnimi kanali.
- Na stikih lesa z hidroizolacijsko plastjo je treba paziti, da se nad njo ne zadržuje voda.
- Za odtekanje vode je boljša vertikalna konstrukcija elementov. Vodoravnim in premalo nagnjenim površinam se je treba izogibati, če pa so te nujne jih je treba ustrezno zaščititi s pločevino ali drugim zamenljivim »žrtvovanim« lesenim materialom in zagotoviti ventilacijo pod njim. Vodoravno nameščeni elementi pa morajo imeti dovolj velik odkopalni naklon (med 13 in 15°) na zunanjou stran, ki omogoča hitro odtekanje vode.
- Les mora neovirano delovati, sicer pride do napetosti, ki povzročajo deformacije in razpoke. Reže morajo biti širše od velikosti mogočih nabrekov. Preklopi plošč ali fasadnih desk ne smejo biti dvostransko zabiti ali zlepljeni, spoji s polutori ali utori in peresi morajo omogočiti širjenje in krčenje peresa.
- Vsebnost vode v lesu mora biti vedno pod 20 %, pri teh vlažnostih lesa okužba z glivami praviloma ni mogoča.
- Grče so v lesu neželene. Povzročajo lahko napetosti in s tem povezano nastajanje razpok; v razpoke pa prodre voda. Grčave površine lesa ne izpostavljamo direktnemu močenju, še bolje je, če se takšnemu lesu že pred izdelavo izognemo.
- Les z veliko smole je na fasadnem opažu problematičen. Pri temperaturi okoli 60 °C postane smola tekoča in se začne izcejati. Zaradi izločene smole se močno vraščene grče zrahljajo in dvignejo premaz. Skozi razpokane premaze pa voda prodira v les.
- Temperature površine lesa med letno insolacijo dosežejo okoli 70 °C, kar zaradi izsuševanja in krčenja povzroči razpoke in s tem omogoči zatekanje vode. To zlasti velja za elemente iz masivnega lesa velikih prečnih prerezov.
- Robovi in koti naj bodo rahlo zaobljeni v radiusu 2,5 mm, da se površinski premaz povsod enakomerno porazdeli in je les kvalitetnejše zaščiten.

Za zaščito lesa in lesnih konstrukcij so v zadnjem obdobju, ko je poudarek na energetsko učinkoviti gradnji, izdelani številni konstrukcijski modeli z diferencirano podatkovno bazo, ki že vsebujejo ustrezne konstrukcijske rešitve in uporabnikom omogočajo pravočasne in pravilne ukrepe med samo gradnjo in v teku uporabe (Finch in sod., 2013).

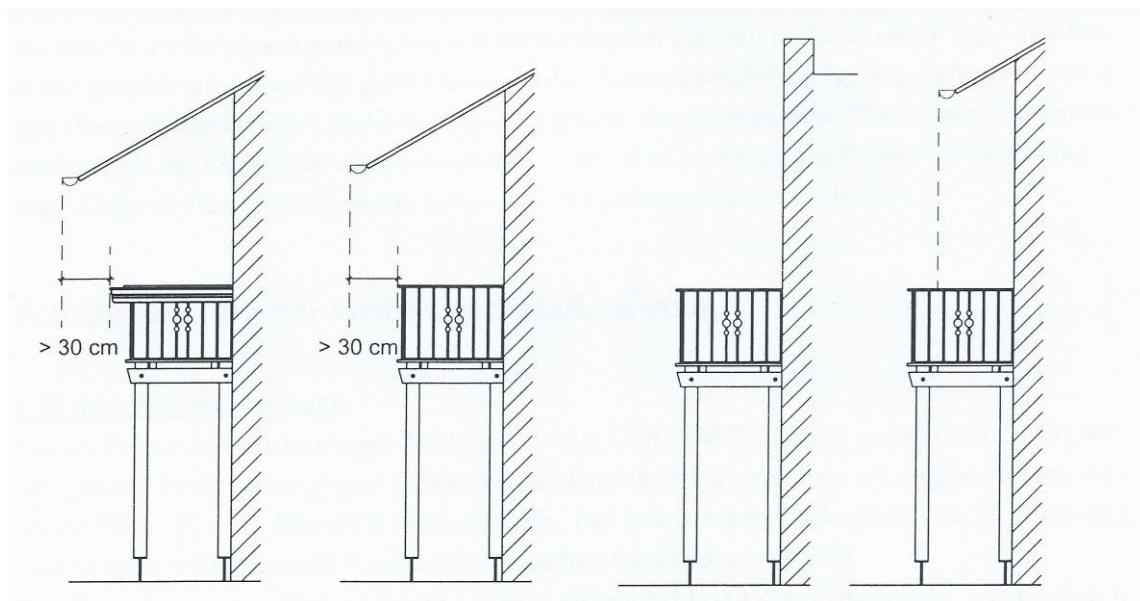
Na življenjsko dobo lesenega izdelka na prostem, poleg mesta oziroma kraja uporabe, vplivata najbolj oblika in način vgradnje izdelka. Od obeh je odvisno ali bo izdelek vodo zadrževal oziroma bo ta z njega hitro odtekala in mu omogočila, da se hitro osuši (slika 7).



Slika 7: Dvig lesenega elementa na podstavek preprečuje škropljenje lesa s podlage (levo) (Willeitner in Peek, 1994). Preprečeno je tudi vlaženje lesa v stiku z zemljo, prirez lesa v smeri padavin pa omogoča hitro odtekanje in sušenje izpostavljenega lesa na prostem (desno) (Weissenfeld and König, 2001)

Figure 7: Raising the wooden element on a base prevents the wood from being sprayed from the base (left) (Willeitner and Peek, 1994). It also prevents wetting of the wood by contact with the ground. Cutting the wood in the direction of rainfall allows rapid draining and drying of wood exposed outdoors (right) (Weissenfeld and König, 2001)

Zadosti velik napušč in strešni naklon prepreči direktno močenje lesenih fasadnih opažev, stavbnega pohištva, balkonskih ograj itd. Tako na primer s podaljšanjem napušča za najmanj 30 cm od zunanjega roba balkonske ograje lahko zaščitimo les pred padavinami in zmanjšamo razred izpostavljenosti lesa iz RI 3 na RI 2 (slika 8).



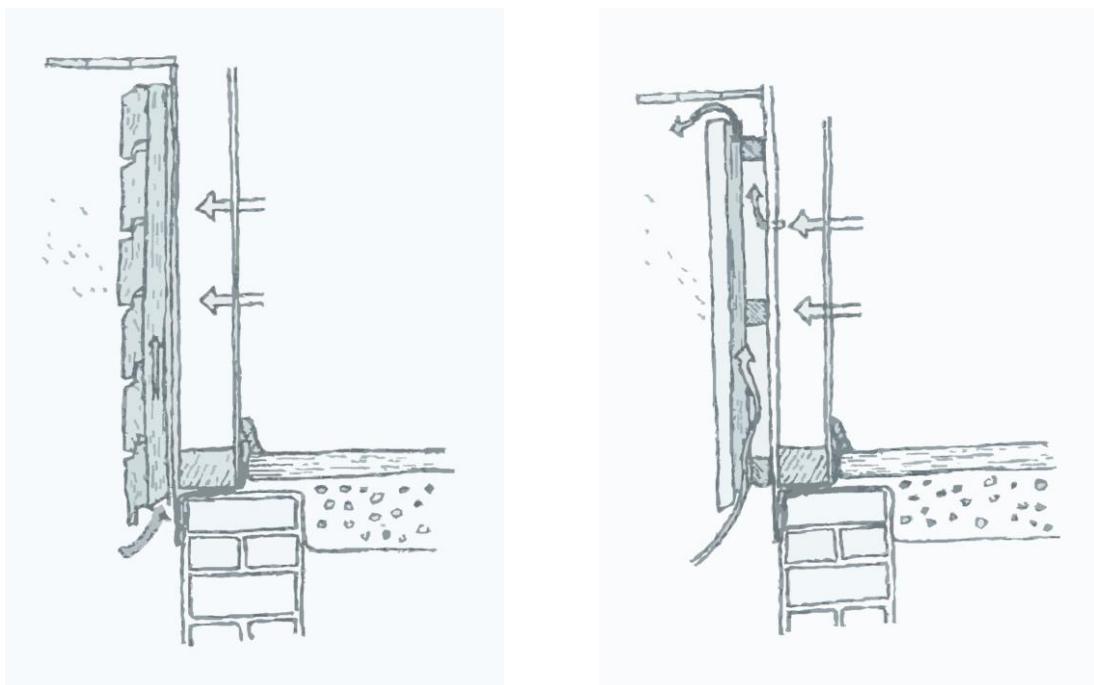
Slika 8: Nosilni stebri lesene balkonske konstrukcije so dvignjeni na kovinski podstavek. S tem je preprečeno škropljenje stebrov s podlage in les ni izpostavljen talni vodi. V prvih dveh primerih (leva stran) balkonsko konstrukcijo prekriva napušč, ki sega za 30 cm čez zunanj roj balkonske ograje in jo ščiti pred padavinami. V tretjem primeru ograja ni zaščitena pred padavinami. V četrtem primeru napušč le delno ščiti ograjo pred padavinami in je les izpostavljen padavinam, kar negativno vpliva na njegovo trajnost (Schober in sod., 2006).

Figure 8: The pillars of a wooden balcony construction are elevated on a metal base. This prevents the pillars being sprayed from the ground and wood is not exposed to soil water. In the first two cases (left side of image), the balcony construction is covered with an overhang, which extends 30 cm beyond the outer edge of the balcony railing and protects it from rain. In the third case, the railing is not protected against precipitation. In the fourth case, the overhang only partially protects the fence against precipitation and the wood is thus exposed to precipitation, which has a negative impact on its durability (Schober and al., 2006).

Do navlaževanja, posledično pa tudi do biološkega razkroja lesenih delov konstrukcije, pride pogosto zaradi kapilarnega prenosa vode iz tal ali zaradi napak pri vgradnji izolacijskih in drugih membran. Vir navlaževanja so lahko tudi napačno izvedene ali počene hišne inštalacije ter okvare gospodinjskih aparatov.

V kombinaciji z drugimi materiali je lesu treba omogočiti neovirano delovanje in zračenje ter prehod vodne pare skozi konstrukcijske sklope. Oviranje difuzije vodne pare lahko privede do kondenzacije in vlaženja ter posledično tudi biološkega razkroja lesa. V primeru fasadnega sklopa polagamo opaž (18-20 mm debele deske) vodoravno ali navpično na podložne impregnirane letve (od 24 do 38 mm debeline). Med zidom in fasadno oblogo treba zagotoviti kroženje zraka od spodaj navzgor. Pri navpičnem polaganju je horizontalne podložne letve treba zamikati in vmes puščati 30-50 cm široke

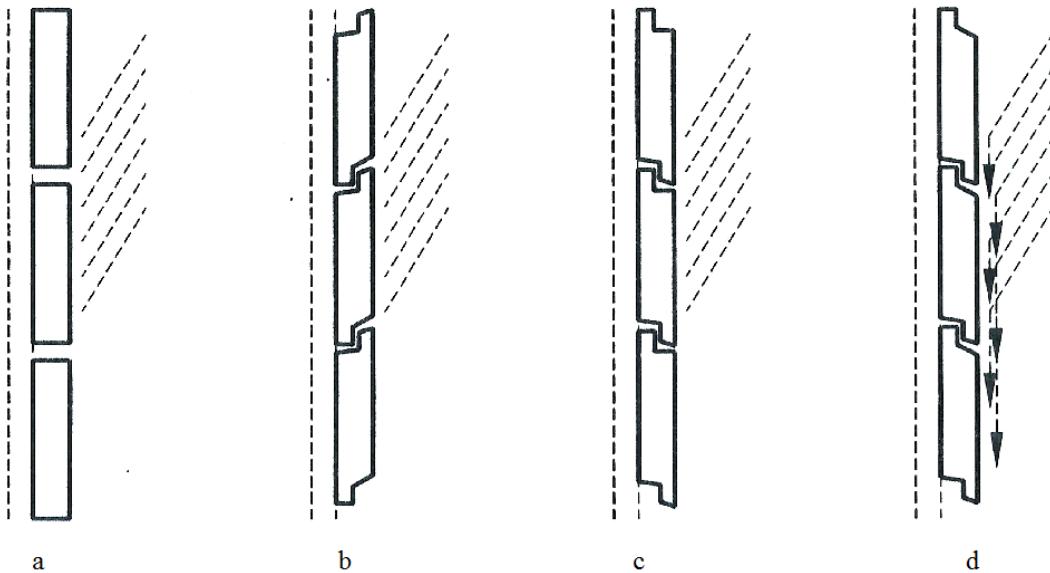
prehode, da se omogoči vertikalna ventilacija. Pri navpičnem polaganju nastaja manj vodnih žepov in odprtih spojev. Pri vodoravnem polaganju, profilirane deske, za razliko od običajnih, bolje nalegajo. Najpogosteje se spajajo na utor in pero, pri čemer je pero vedno obrnjeno navzgor. V obeh primerih, tako pri vodoravnem kot pri navpičnem polaganju, je smiselno ustrezno zaščititi čelne ploskve desk z čelno pasto ali debeloslojnim premazom. Pri uporabi fasadnih lesnih plošč je treba, zaradi različnega higroskopskega delovanja zunanjih in notranjih slojev, preprečiti zvijanje ter jih ustrezno površinsko in hrbtno obdelati in premazati. Ker je zunanjega stran lesene obloge izpostavljena vlaženju zaradi padavin, notranja pa difuziji vodne pare skozi zidove, je treba s kroženjem zraka med oblogo in zidom omogočiti, da se relativna vlažnost zraka izenačuje z zunanjim in preprečuje pojav trohnenja v zaprtih prostorih (Turkul in Jirouš-Rajković, 2004; Kunič, 2009) (slika 9).



Slika 9: Med vodoravno (levo) in navpično (desno) postavljenim fasadno deščeno oblogo in zidom, mora biti zagotovljeno kroženje zraka (Turkul in Jirouš-Rajković, 2004)

Figure 9: Air circulation must be provided between the horizontal (left) or vertical (right) wooden façade cladding and the wall (Turkul and Jirouš-Raković, 2004)

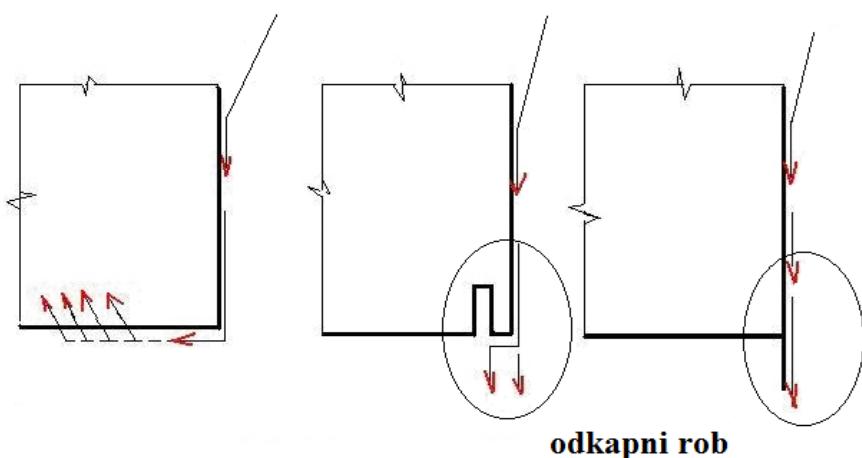
Pri fasadnih oblogah je poleg oblike profilacije pomembna tudi pravilna orientacija in naklon profila, ki v nobenem primeru ne sme dovoljevati zatekanja vode za oblogo ali zadrževanje vode v utorih in na čelnih površinah (slika 10).



Slika 10: V primeru a deske niso profilirane, reža med njimi omogoča močenje čelnih površin in hrbtne strani desk. V primeru b so deske profilirane in pritezane, vendar napačno orientirane. Voda skozi reže teče za hrbtno stran desk. Hrbtna stran mora postati zunanj. V primeru c so deske pravilno orientirane toda zgornje čelne ploskve niso v naklonu, zato lahko zadržujejo vodo. V primeru d so deske ustrezno pritezane in orientirane ter omogočajo odtekjanje vode (Piazza in sod., 2005)

Figure 10: In the case of a, the boards are not profiled and the slot between them allows wetting of both the front surface and the back of the boards. In the case of b, the boards are profiled and trimmed but incorrectly oriented. The water flows through the slot to the back of the boards. In the case of c, the boards are correctly oriented but the upper surfaces of the boards are not inclined so can retain water. In the case of d, the boards are properly trimmed and oriented and allow the water to drain (Piazza and al., 2005).

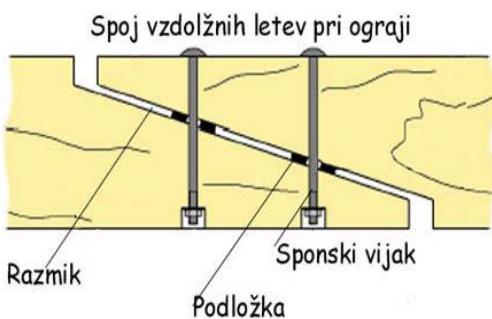
Les je porozen material in absorbira vodo tudi s kapilarnim vlekom. Z odkapnimi žlebovi in robovi omogočimo, da se voda na robu ustavi in hitro odkaplje ter na ta način prestrežemo in preprečimo močenje lesenega elementa oziroma absorbcijo le te v les (slika 11).



Slika 11: Odkapni rob omogoča hitro kapljanje vode in jo odvede preden jo les absorbira (Piazza in sod., 2005)

Figure 11: The drip edge allows rapid dripping of water and it is led off before being absorbed by the wood (Piazza and al., 2005)

Pri spajanju in pritrjevanju izpostavljenih lesnih elementov med seboj je treba omogočiti vodi da neovirano odteka in se les čim prej osuši. Kjer je možno, vijačimo z notranje, neizpostavljene strani. Ob vijakih ne sme zastajati voda, z izbiro nerjavnih vijakov se izognemo koroziji metala. Pri spojenih lesenih elementih z distančniki poskrbimo za zadostni razmik in z naklonom površin, da voda hitro odteče in se les suši (slika 12).

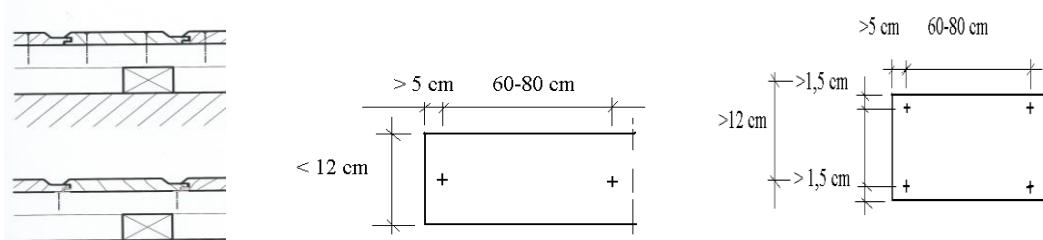


Slika 12: Pri spoju vzdolžnih letev pri ograji je s podložkami izveden razmik med lesenimi elementi, z naklonom površin je omogočeno hitro odtekanje vode in sušenje lesa

Figure 12: The joint of the longitudinal rail of the fence is made with washers spacing between wooden elements; the angled surfaces enable rapid water drainage and drying of wood

Pomemben element, ki vpliva na kvaliteto zaščite, je tudi pritrjevanje. Odvisno od velikosti in uporabe izdelka, je za les treba uporabiti ustrezne lesne vijke, vijačiti na zadostni

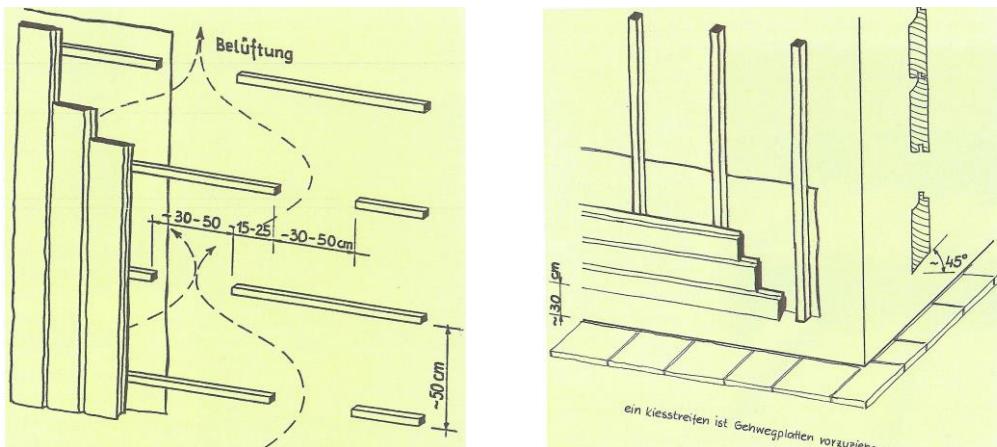
oddaljenosti od robov izdelka, da se izdelek ne razkolje. Prav tako ne vijačimo na delu utora in peresa, kjer se voda intenzivno izceja (slika 13).



Slika 13: Pozicije vijačenja fasadnih desk (Brandstätter in sod., 2007)

Figure 13: Positions of screws of facade boards (Brandstätter and al., 2007)

Med fasado in leseno oblogo je treba omogočiti kroženje zraka, zato morajo biti prečne nosilne letve deljene in izmenično zamknjene, da zrak nemoteno kroži (slika 14).



Slika 14: Zračenje vertikalno položenega opaža (levo) in horizontalno položenega (desno), (Gockel, 1996)

Figure 14: Ventilation of the vertically positioned panel (left) and the horizontally laid one (right), (Gockel, 1996)

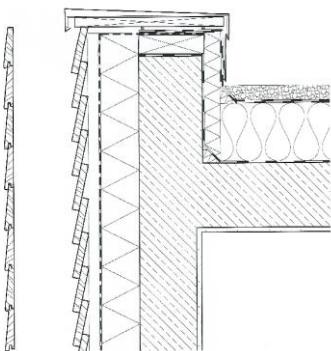
Pri prekinitvah fasadnega opaža je treba poskrbeti za odvod vode proč od reže, obrobo pa namestiti tako, da se voda izceja na njo in v naklonu odteka proč. Za lesom mora biti omogočeno kroženje zraka (slika 15).



Slika 15: V prvem primeru (levo) je zatekanje vode v režo fasadne členitve preprečeno s kovinsko obrobo, ki je pritrjena na prečno letev za opažem. V drugem primeru (desno) zatekanje vode preprečuje polica s kovinsko obrobo nameščeno za vertikalno izolacijo stene. V obeh primerih je obroba v naklonu, odkapni rob sega čez linijo opaža, čelne površine in hrbtni deli opaža pa so zračeni (Brandstätter in sod., 2007)

Figure 15: In the first case (left), water penetration in the slot of facade articulation is prevented by metal flashing, which is fixed to a crossbar behind the cladding. In the second case (right), penetration of the water is prevented by the cover shelf with metal flashing behind the vertical insulation of the wall. The metal flashing slopes, the drip edge extends beyond the line of facade, and the front surface and the back parts of the cladding are ventilated in both cases (Brandstätter et al., 2007).

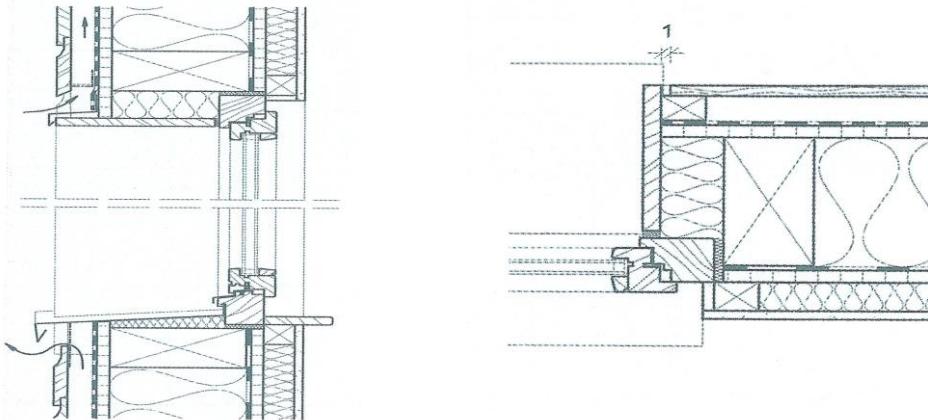
Na lesenih horizontalnih izpostavljenih površinah se voda ne sme zadrževati, zato na les namestimo pločevino, od lesa jo dvignemo in položimo v naklonu, da se bo voda odtekala proč. Odvisno od sestave konstrukcije, izdelamo tudi hidroizolacijo. Če postavljamo opaž horizontalno, mora biti utor obrnjen navzdol (slika 16).



Slika 16: Obroba vrh zidu, ki je poležena v naklonu rahlo dvignjena od podlage, preprečuje vlaženje zgornjega dela zidu in zatekanje vode za fasadno oblogo. Prikazani sta možnosti položitve horizontalnih desk z utorom obrnjениm navzdol in s prekrivanjem desk, kjer zgornja deska v naklonu prekriva spodnjo (Brandstätter in sod., 2007).

Figure 16: The edge of the top of the wall, which is set at a gradient and slightly raised from the base, prevents wetting of the upper wall and penetration of water behind the façade cladding. Both mounting options of horizontal boards with the groove facing down and with overlapping boards, whereby the upper board in the gradient overlaps the lower, are shown (Brandstätter et al., 2007).

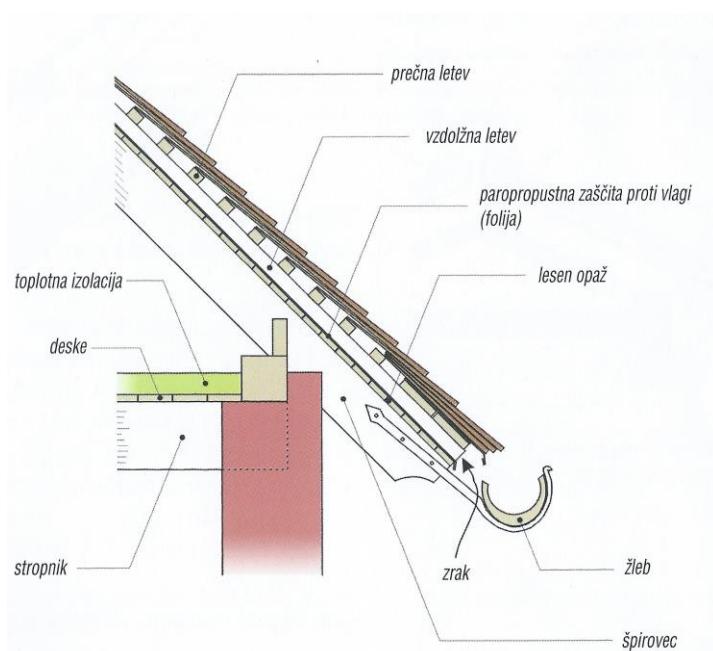
Poleg strehe, nadstreškov in napuščev, pomembno funkcijo varovanja stavbnega pohištva pred padavinami opravljujo tudi zidni venci in polkna. Pomembno je, da je stavbno pohištvo, še zlasti okna, dovolj globoko zamaknjeno v fasado in da je preprečeno zatekanje vode v stike lesa s podlago. Opaž na vogalu ob okenski odprtini ne zaključimo v tesnem stiku temveč pustimo 1 cm režo, polica pa mora biti v naklonu in odkapni rob dovolj oddaljen od linije fasade, da se voda ne izceja po fasadi (slika 17).



Slika 17: Detajl okna (prerez - levo) nameščenega globoko v fasado, kjer je z naklonom police z odkapnim robom, obrobo nad oknom in zaščitnim kovinskim profilom na spodnji prečki okenskega okvirja preprečeno zatekanje vode v stike okna s podlago. Desno je nakazana linija police, ki sega čez rob fasade in zaključek fasadnega opaža z zračno režo ob okenski odprtini (Brandstätter et al., 2007).

Figure 17: Detail of a window (cross-section - to the left) placed deep in the facade, whereby the inclination of the shelf with a drip edge, the border above the window and the protective metal flashing on the underside of the crossbar of the window frame prevent water from entering into contact with the window surface. On the right side are shown the line of shelves that extend beyond the edge of the facade and the closure the façade cladding with an air gap by the window openings (Brandstätter et al., 2007).

V strešni oziroma podstrešni konstrukciji objekta, kjer se večinoma v različnih sestavah uporablja še toplotna izolacija in paropropustna folija, je treba omogočiti kroženje zraka in difuzijo vodne pare, saj s tem preprečimo neželeno akumulacijo vodne pare in posledično navlažitev sestave konstrukcije (slika 18).



Slika 18: Primer sestave strešne konstrukcije z leseno kritino in toploto izolacijo stropa. Zračni tok je omogočen pod kritino in s prostornino podstrehe nad topotno izolacijo (Deu, 2004).

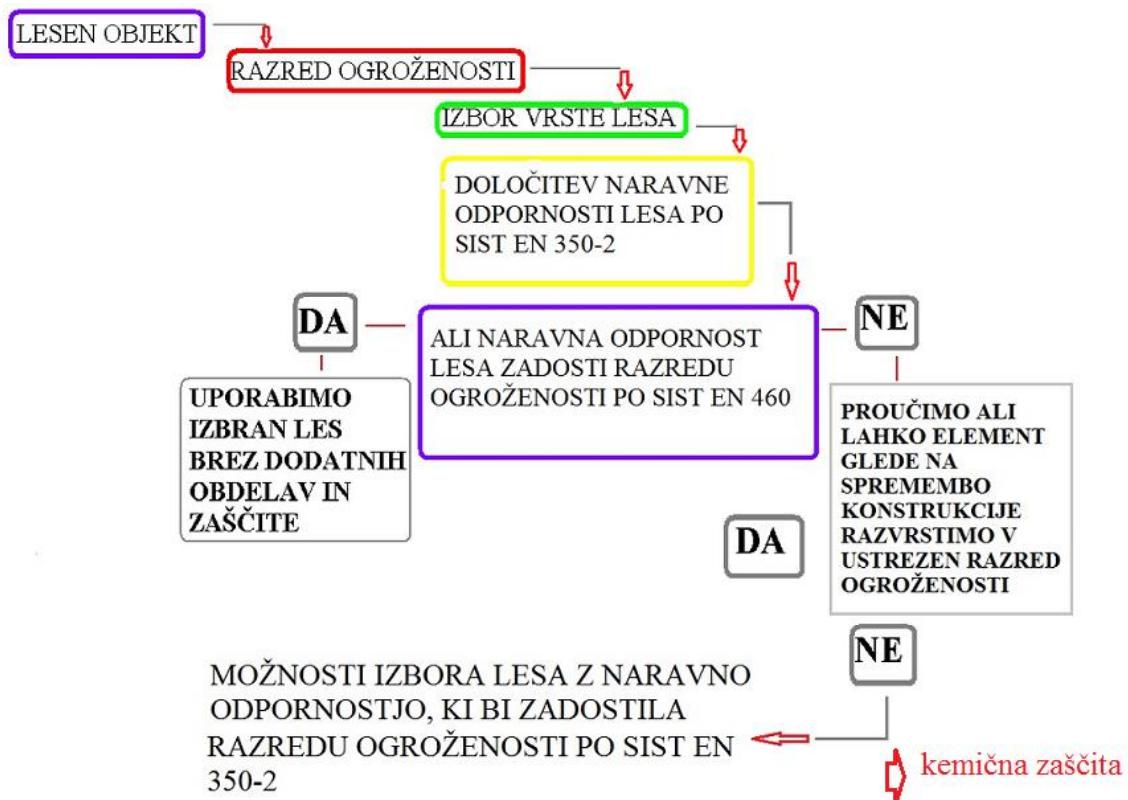
Figure 18: Example of a roof structure with a wooden cover and heat insulation of the ceiling. Airflow is enabled under the roof covering and in the space of the attic above the insulation (Deu, 2004).

Pri načrtovanju konstrukcijske zaščite je zelo pomembno analizirati tudi neposredno okolico objekta: Včasih se prav v okolici pojavljajo problemi, ki lahko direktno vplivajo na stanje konstrukcije. Tako je treba resno upoštevati podtalnico, plazove, izpiranje temeljev, lezenje in posedanje terena. Vpliv na konstrukcijo ima lahko tudi vegetacija z močnejšim koreninskim sistemom. Našteti pojavi so lahko vir degradacije objekta, saj se vgrajeni materiali odzivajo na fizikalne in kemične procese okolice. Objekt se lahko posede, konstrukcija popusti ali poči, lesne vezi se izpulijo, lepljeni deli in drugi stiki se odprejo. Vse to so potencialna mesta zatekanja vode v konstrukcijo.

Pri izbiri nadomestnega lesa in kadar želimo z izbiro lesa zmanjšati razred ogroženosti ali prispevati k trajnosti konstrukcije, ima pomembno vlogo prav naravna odpornost lesa.

Glede na razred ogroženosti, namen in mesto uporabe ter naravno odpornost lesa, in ob upoštevanju veljavnih standardov, se pri konstrukcijski zaščiti odločamo ali les kemično zaščititi ali ne. Ko opredelimo razred ogroženosti obravnawanega elementa, moramo preveriti ali je uporabljena vrsta lesa primerna za določen razred ogroženosti v skladu s

standardom SIST EN 460. Če je lesna vrsta primerna, opravimo ukrepe brez kemične zaščite. Če ni primerna, predvidimo ali naravno odpornejšo vrsto lesa ali pa izvedemo kemično zaščito (slika 19).



Slika 19: Shema odločitev zaščite elementov objekta

Figure 19: Diagram of the decision on protection elements of the building

Ves čas načrtovanja konstrukcijske zaščite upoštevamo načela konstrukcijske zaščite.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

Objekti, ki so predmet obravnave, so izdelani iz lesa slovenskega porekla. Številne poškodbe in identificirana trohnoba lesa so terjali podrobnejšo analizo vsakega posebej.

3.1.1 Grobišče borcev NOB v Radomljah - spomenik

Grobišče borcev NOB v Radomljah je registrirana kulturna dediščina z evidenčno številko (EŠD) 10715. Osrednji del grobišča 132 borcev druge svetovne vojne v Radomljah predstavlja masiven hrastov spomenik na kamnitem podstavku. Spomenik osmerokotne tlorisne zasnove meri v višino 600 cm in je rahlo koničen, spodaj je premera 60 cm, zgoraj pa 50 cm. Postavljen je na granitni podstavek velikosti 100×100×50cm.

Leta 1960, ko so sredi naselja prvič uredili grobišče, so spomenik postavili na zidan kamniti podstavek, kjer so ga spodaj obdali s kovinskim obročem in s štirih strani privijačili skozi vertikalne kovinske lamele višine 37 cm. Hrastov spomenik je stesal domačin, mizar Jože Pirš – Luka. Površina spomenika je dekorativno premazana. Vmesni zalomljeni rombi so poslikani z zlato bronzo. Ob preureditvi grobišča leta 1981, so spomenik prestavili na okrogli betonski podstavek in ga pritrdirili z zunanje strani. Leta 2006 so posmrtnе ostanke prenesli na radomeljsko pokopališče, kjer so v skladu z idejno zasnova arhitekta Ignaca Hribernika spomenik postavili na granitni podstavek in ga že tretjič pritrdirili z zunanje strani. Od arhitekturnih elementov prvotne ureditve grobišča je ostal le hrastov spomenik (slika 20).



Slika 20: Spomenik na prvi (1960), drugi (1980) in tretji lokaciji (2006)

Figure 20: Monument in first (1960), second (1980) and third (2006) location

Ko smo spomenik sneli in ga od blizu dokumentirali, smo na njem ugotovili naslednje poškodbe:

- luščenje premazov in razpoke,
- odpadanje razlepljenih plomb,
- razpad vlaken in trohnobo lesa,
- manjši odklon podstavka z centralno nameščeno cevjo,
- korozijo metalnih delov.

Po odstranitvi razpokanega in odstopajočega barvnega premaza, so se pokazale številne razpoke lesa, razrahljane plombe, trohnoba in razmiki lepljenih delov (slika 21).



Slika 21: Poškodbe premazov (levo), razpoke in razjede (desno)

Figure 21: Damage to coatings (left), cracks and corrosion (right)

Plombe in odlepljeni lesni vložki so odpadli, stiki nekaterih lepljenih delov so bili odprtji. Površina spomenika je bila močno razpokana, razbrzzdana, hrapava, lesna vlakna so bila dvignjena in vzdolžno močno luskasta. Mestoma so lesna vlakna bila zapolnjena s starim dekorativnim premazom in ostanki epoksidnega polnila (slika 22).



Slika 22: Odpadanje plomb(leva) in lepljenih delov (desno)

Figure 22: Seals falling off (left) and laminated parts (right)

Največje poškodbe smo ugotovili v spodnjem, nosilnem delu spomenika, kjer je bil spomenik z obročem pritrjen. Poškodbe so bile na vseh štirih straneh v višini pritrdilnih lamel zelo izrazite, vijaki pa korodirani. Les je na teh mestih popolnoma propadel, vlakna

so bila natrgana, les je bil strohnel in prizmatično razpadel. Jedro okoli osne izvrtine spomenika je bilo še zdravo, toda močno razpokano. Radialne razpoke so bile zelo široke in globoke. Segale so do izvrtine in so potekale tudi do 200 cm višine (slika 23).



Slika 23: Strohnjen les na mestu pritrditve spomenika (levo). Vijačenje spomenika je bilo izvedeno z vijaki 130×10 mm (desno)

Figure 23: Decay of wood at the point of attachment of the monument (left). Attaching the monument through the metal strips was done with screws 130×10 mm (right)

Na vrhu spomenika je bil nameščen kovinski obroč na katerega je bil pritrjen bakreni pokrov. Obroč je bil močno korodiran (slika 24).



Slika 24: Korozija kovinskega nosilca pokrova

Figure 24: Corrosion of the carrier ring cover

Spomenik, višine 600 cm, je imel v spodnjem delu centralno izvrtino višine 50 cm in premera 10 cm, je bil nasajen na kovinsko cev višine 50 cm in premera 9 cm. Nosilna kovinska cev je bila močno korodirana in zapolnjena z cementnim polnilom, obroč pa zapolnjen z vodo in blatom (slika 25).



Slika 25: Korodirani pritrdilni element in obroč zapolnjen z blatom

Figure 25: Corroded mounting attachments and ring filled with mud

Za odstranitev premaza smo uporabili mehanski odstranjevalec barve s HSS rezili in brusni papir ter odstranjevalec barve Metabo - rezkar. Za brušenje in izravnavo površin smo uporabili ekscentrični brusilnik. Vlažnost smo merili z digitalnim vlagomerom tip LG6 slovenskega proizvajalca MIPO.

Za izvedbo del smo uporabili strgala, skalpele, dleta, čopiče, brizgalke, brusne papirje, svedre, mizarsko žago. Za poglobitev izvrtine v lesu smo razvili in izdelali posebni vrtalni sistem (slika 26).



Slika 26: Posebej razvit sveder za poglobitev izvrtine

Figure 26: Specially developed drill for deepening a hole

Pri sanaciji in restavriranju spomenika smo uporabili zračno suh les iste vrste (hrast). Za stabilizacijo spomenika pa nerjaveče konstrukcijsko jeklo S 235. Za sanacijo spodnjega dela spomenika smo izdelali lepljene hrastove vstavke (plombe), hrastove zagozde in hrastove moznike. Lepljenje elementov smo izvedli z uretanskim lepilom za les (slika 27).



Slika 27: Sanacija spomenika s hrastovimi vstavki (levo), zagozdami (v sredini) in mozniki (desno)

Figure 27: Restoration of a monument with an oak insertion (left), wedges (in the middle) and dowels (right)

Spomenik smo impregnirali z zaščitnim pripravkom Silvanolin, slovenskega proizvajalca Silvaproduct iz Ljubljane. Zapolnjevanje razpok in utrjevanje oslabljenega spodnjega dela spomenika smo izvedli z epoksidno smolo za injektiranje Kemapox Fill 1000, slovenskega proizvajalca Kema Puconci, ki smo ji dodajali lesno moko, mikrosilik, AR vlakna in pigmente. Za obnovo dekorativnega premaza spomenika smo uporabili Paraloid B72 in pigmente (slika 28).



Slika 28: Kemična zaščita, utrjevanje z epoksidnimi smolami, dekorativni nanos

Figure 28: Chemical protection, consolidation with epoxy resins, decorative coating

Epoksidni premaz in pasto ter steklene armaturne mrežico smo uporabili tudi v postopku protikorozijske zaščite nosilca bakrenega pokrova in pri sanaciji ostanka stare cevi v granitnem podstavku.

Pri izboru materiala za nosilno cev, zračne mrežice in nosilne vijke smo izbrali inox. Kot dilatacijski material med kamnom in kovino smo uporabili Novilon gumijaste podložke premera 40 mm in debeline 8 mm. Novilon je poliamid, ki spada med inženirske plastike, je odporen na velike pritiske, obrabo in agresivne kemikalije (slika 29).



Slika 29: Inox cev (levo), nosilni nastavljeni vijaki (v sredini) z nameščenimi poliamidnimi podložkami (desno)

Figure 29: Stainless steel tube (left), carrier adjustable screws (centre) fitted with polyamid washers (right)

Vsi uporabljeni materiali so preizkušeni in ob rednem vzdrževanju v običajnih pogojih uporabe, zagotavljajo dolgo življensko dobo spomenika.

3.1.2 Spomenik Francetu Balantiču v Kamniku - portal

Hrastov portal je sestavni del javnega spomenika posvečenega Kamničanu, pesniku Francetu Balantiču (1921 - 1943). Hrastov portal, ki je postavljen v bližini lokacije njegove rojstne hiše. Portal simbolizira pesnikovo smrt v goreči hiši. V ognjenih zubljih je med dvaintridesetimi žrtvami v Grahovem umrl tudi pesnik. Občina Kamnik mu je leta 1991 postavila spomenik (slika 30).



Slika 30: Spomenik pesniku Francetu Balantiču

Figure 30: Monument to France Balantič

Portal je sestavljen iz dveh hrastovih stebrov preseka $180 \times 24 \times 24$ cm, ki sta vpeta v kamniti bazi in zgoraj povezana s prečko dimenzij $178 \times 24 \times 24$ cm. Na stebrih so pritrjeni še stilizirani bakreni plameni. Stebra sta v tesnem stiku z granitnima podstavkoma. Površina stebrov je bila, zaradi simbolike in hkrati zaščite, prvotno površinsko ožgana. Kasneje je bila premazana z lazurnim premazom črne barve.

Na lesenem portalu smo ugotovili številne konstrukcijske napake, zaradi katerih so nastale poškodbe. Problematični so stiki vgrajenih materialov (les-granit, les-armatura). Izrazito poškodovan je les na stikih med lesom in kamnom, v osi vertikalne pritrdilne armature in na izpostavljeni prekladi. Les portala je strohnel in prizmatično razpadel (slika 31).



Slika 31: Poškodbe lesa na stiku podstavek – les (levo) in poškodbe preklade (desno)

Figure 31: Damage to wood contact base - wood (left) and damage to the lintel (right)

Po vertikali stebrov, paralelno z navojno pritrdilno palico, poteka večja razpoka lesa. V notranjosti portala smo našli lesne mravlje in veliko organskega materiala (slika 32).



Slika 32: Razpokan steber (levo) je zapolnjen z organskim materilam, ki so ga nanosile mravlje (desno)

Figure 32: Cracked pillar (left) is filled with organic material brought by ants (right)

Sondiranje strohnelega dela portala je pokazalo, da preklado s stebroma veže jeklena palica Ø 14 mm, spodaj je vgrajena v granitni podstavek, na prekladi pa privita s šestrobno matico in podložko. Največje poškodbe so na zgornji površini preklade na mestu privitja preklade s stebroma. Les je ob ugrezneni matici s podložko popolnoma strohnel in prizmatično razpadel, površina preklade pa močno razpokana, napolnjena z razpadlim rastlinskim materialom, razbrazdana in rahlo vbočena (slika 33).



Slika 33: Razpoke zgornje površine preklade (levo) in ugreznjen sistem privitja (desno)

Figure 33: Cracks of the upper surface of the lintel (left) and countersunk screw system (right)

Steba portalna sta zasukana, portal je nestabilen (slika 34).



Slika 34: Deformacije na spoju preklade s stebroma portalna

Figure 34: Deformation at the junction of the lintel with the pillars of the portal

Površine lesa, ki so bile premazane z črno lazuro, so sprane in obledele. Stiki med lesom in stiliziranimi bakrenimi plameni, ki so nameščeni na steba, so zapolnjeni s kitom, ki je na mestih počen in odstopa od podlage (slika 35).



Slika 35: Spran premaz in obledela površina lesa (levo), tesnjen stik lesa s stiliziranim bakrenim elementom (desno)

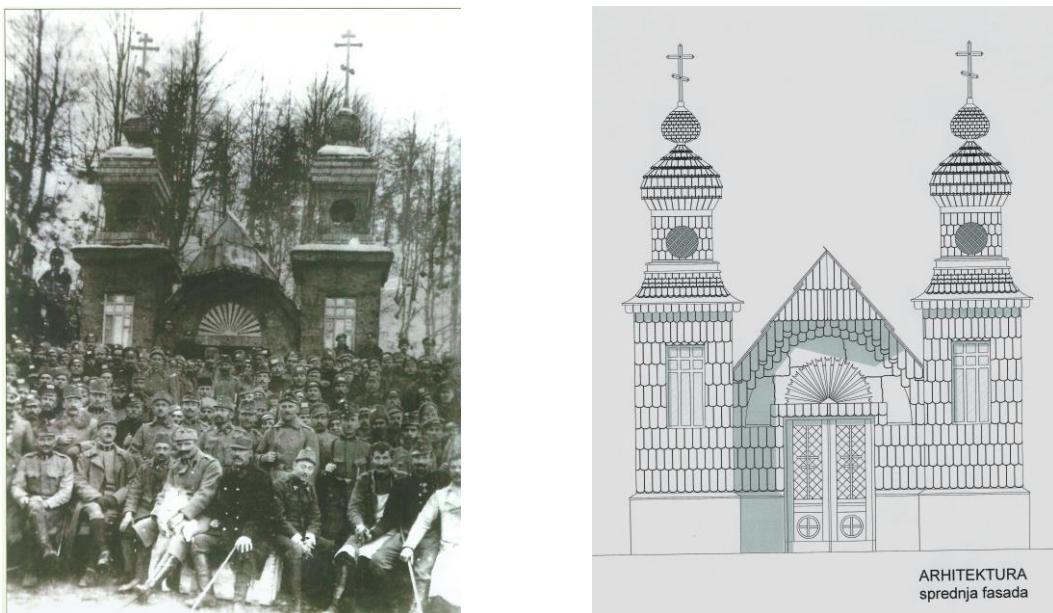
Figure 35: Leached and faded surface coating of wood (left), contact sealed timber with a stylized copper element (right)

Zaradi strohnelosti lesa je portal statično ogrožen in ga je potrebno temeljito rekonstruirati in nadomestiti s suhim hrastovim lesom. Za izdelavo izvirnega pritrdilnega sistema je bilo izbrano nerjaveče konstrukcijsko jeklo S 235. Na spojih preklade s stebroma smo uporabili hrastove moznike \varnothing 30 mm z distančnikom 3 mm v izvrtini.

3.1.3 Ruska kapelica na Vršiču

Rusko kapelico so v težkih razmerah prve svetovne vojne zgradili preživeli ruski vojni ujetniki v spomin preminulim ujetnikom in stražarjem, žrtvam snežnih plazov z Mojstovke, ob gradnji ceste na Vršič (Zupanič in Testen, 2007).

Ruska kapelica se nahaja v visokogorju Julijskih Alp, v območju Triglavskega naravnega parka. Leži ob zgodovinski vršički, današnji Ruski cesti, na nadmorski višini med 1130 in 1146 m, ob cesti med Kranjsko goro in gorskim prelazom Vršič (slika 36).



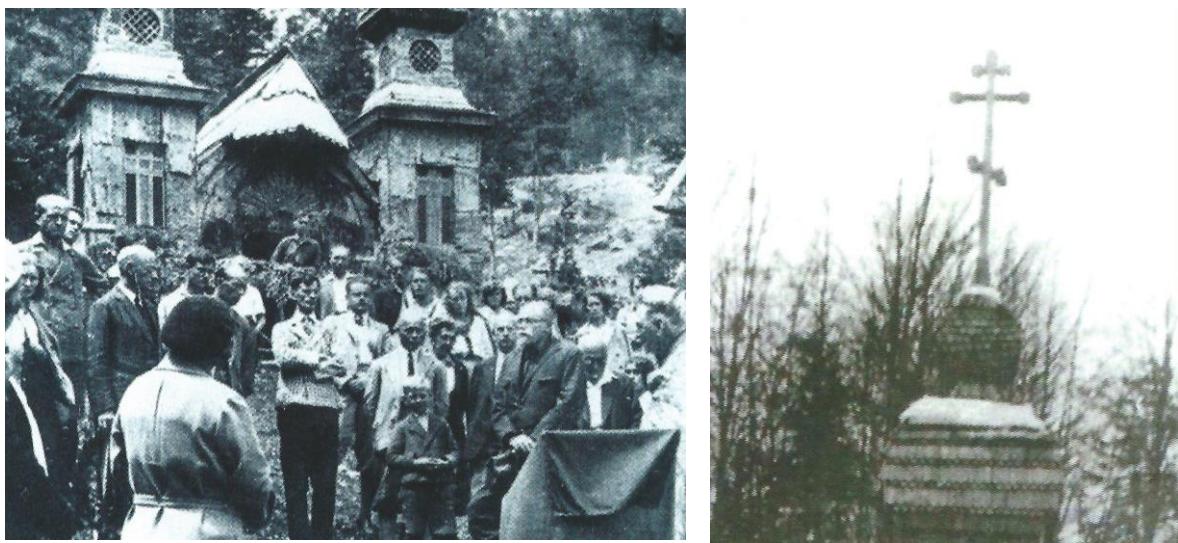
Slika 36: Kapelica v času nastanka (levo) in danes (desno)

Figure 36: The chapel at the time of creation (left) and today (right)

Zgrajena je iz lesa v skladu s stavbno tradicijo ruske pravoslavne cerkve. Material za gradnjo kapelice so vojaki vzeli iz okolja. Poleg kamna, je bil les najbolj priročen material. Potrebovali so ga za cestne opaže in opore, konstrukcije proti plazovom, vojaške barake in tudi gretje.

Po svoji funkcionalni in konstrukcijski zasnovi je kapelica enoprostorski objekt s centralnim vhodom in dvema manjšima stranskima zvonikoma. V centralnem prostoru je skromen oltarček narejen iz posušenih okroglic, ki so jih vojaki nabrali v okolici. Lesena konstrukcija je položena na 90 cm visok kamnit betonski zid. Nosilno ogrodje in stene kapelice so izdelane iz smrekovega lesa, fasade pa so obložene z rezanimi macesnovimi deščicami.

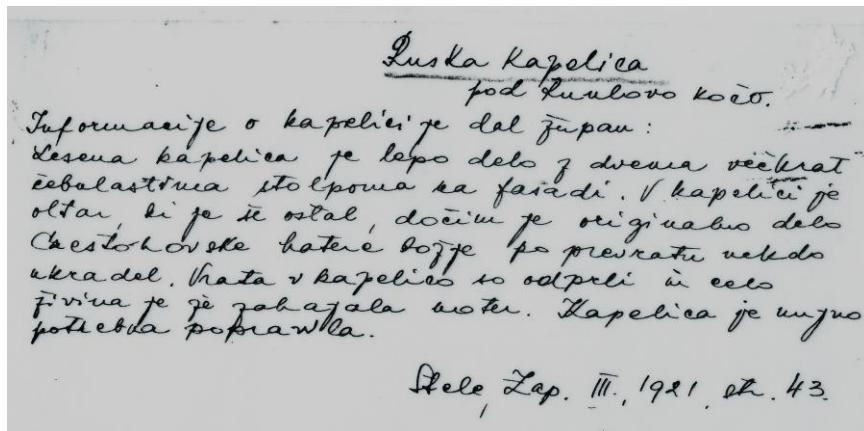
Fasada kapelice je bila prvotno obložena s smrekovim lubjem. V vojnih razmerah je bilo lubje s svojo značilno luskasto obliko idealna naravna izbira in obenem dekoracija objekta. Čebulasti deli zvonikov so bili že od samega začetka obloženi s polkrožno zaključenimi macesnovimi deščicami. Na oknih zvonikov so bile mreže (slika 37).



Slika 37: Zgodnja povojna slovesnost ob kapelici, ko je bila obdana z lubjem (levo) in so na čebulicah zvonika že bile macesnove deščice (desno)

Figure 37: Early postwar ceremony at the chapel when it was clad with bark (left) and already larch shingles on the belfry bulbs (right)

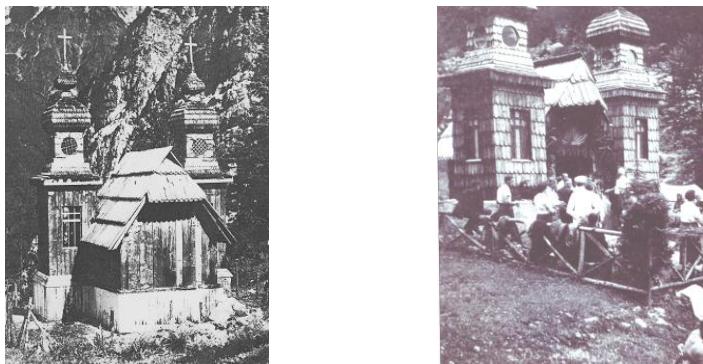
Iz Steletovih zapisov leta 1921 razberemo že prve težave s kapelico in poziv k njeni obnovi (slika 38).



Slika 38: Zapis Franceta Steleta leta 1921

Figure 38: Note by France Stele in 1921

Med prvo in drugo svetovno vojno, ko je lubje odpadlo, so bile stene kapelice obdane z macesnovimi deščicami, okna zvonikov s katerih so bile odstranjene lesene mreže, so bila zastekljena (slika 39).



Slika 39: Fasada kapelice brez lubja (levo), med obema vojnoma je bila obdana z macesnovimi deščicami (desno)

Figure 39: The chapel facade stripped of bark (left), during the interwar period it was clad with larch shingles (right)

Po drugi svetovni vojni se je skušalo z vzdrževalnimi ukrepi ohranjati zunanjo podobo kapele, medtem ko večjih posegov v nosilno konstrukcijo ni bilo. Na slabo stanje konstrukcije je opozoril potres 1998. leta, ko se je kapelica nagnila. Leta 2005 so bile ugotovljene tudi druge konstrukcijske napake, ki so omogočale vlaženje in trohnobo tako nosilnih kot nenosilnih konstruktivnih leseni delov kapele, še zlasti na stičnih površinah z betonskim zidom (slika 40).



Slika 40: Poškodbe nosilne konstrukcije (levo). Strohnel les je ležal na betonskem zidu, kamor je zatekala voda (desno)

Figure 40: Damage to the bearing structure (left). Rotten wood was lying on the concrete wall, onto which water ran (right)

Ob pregledu kapelice po potresu 1998. leta, smo ugotovili intenzivno posedanje konstrukcije in premike obeh zvonikov. Zvonika sta bila nagnjena, konstrukcija labilna, obrobe odmaknjene od strohnelega lesa.

Okrogle odprtine zvonikov so zastekljene, konstrukcijski in obložni les zvonika je vlažen in lokalno strohnel (slika 41).



Slika 41: Tesno zastekljene okrogle odprtine zvonika preprečujejo zračenje notranjosti zvonika

Figure 41: Sealed glazed circular openings prevent ventilation inside the belfry

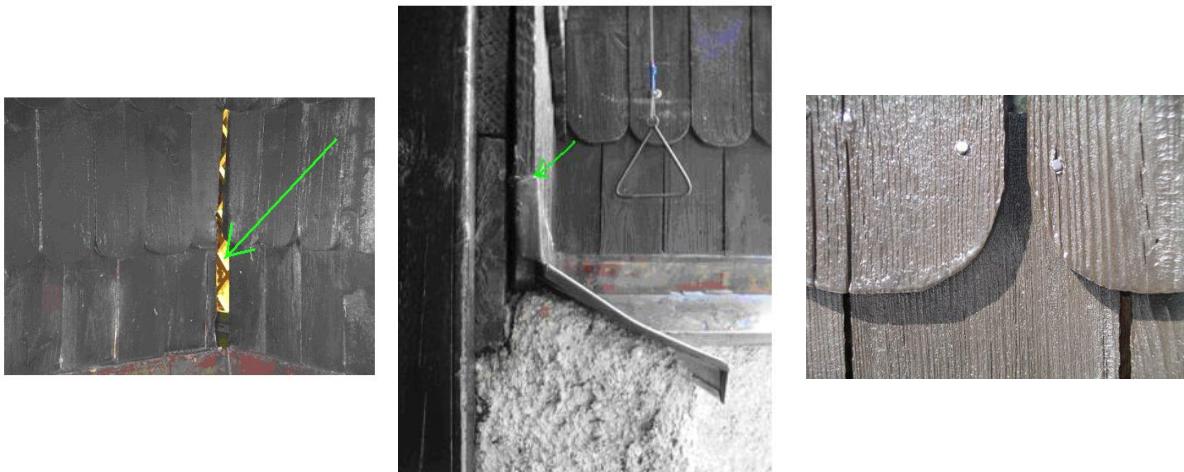
Dvokapna streha kapelice je pokrita z macesnovimi deskami (dvojno kritje), med slojema kritine je izolacijska plast lepenke. Stik fasade z betonskim coklom je zakrit z bakreno obrobo, ki je zatesnjena na macesnove deščice (slika 42).



Slika 42: Izolacija med slojema kritine (levo), obroba položene povrh lesa (desno)

Figure 42: Isolation under the shingles (left), metal flashing laid on top of the wood (right)

Premik konstrukcije se je pokazal na stiku vhodne fasade z zvonikom, kjer je ugotovljena večja špranja in odstopanje bakrene obrobe. Fasadne deščice, premazane z debeloslojno lazuro, so pribite z žeblji in ponekod počene (slika 43).



Slika 43: Razpoka na stiku fasade z zvonikom (levo), obroba je prislonjena na deščice (v sredini), žebljane in razpokane macesnove deščice (desno)

Figure 43: Crack at the junction of the facade with the belfry (left), metal flashing is resting on the shingles (in the middle), nailed and cracked larch shingles (right)

Nosilni in tudi nenosilni konstrukcijski les je vlaknasto razpadel (bela trohnoba) do te mere, da so se strohneli deli sesuli v prah (slika 44).



Slika 44: Razkroj lesa na stiku lesa z betonskim zidom (levo). Les je popolnoma izgubil nosilnost, kapelica se je posedla (desno)

Figure 44: Degradation of wood in contact with the concrete wall (left). The wood has completely lost load bearing capacity, the chapel subsided (right)

Notranja konstrukcija zvonikov je vlažna, les je strohnel. Madeži vlage so prodrli na površino apnenih premazov notranje stene (slika 45).



Slika 45: Madeži na strohnelem lesu kažejo na zatekanje vode v konstrukcijo zvonika

Figure 45: Stains on the wood indicate intrusion of water into the construction of the belfry

Med propadlo notranjo in zunanjo steno so gnezidle lesne ose (slika 46).



Slika 46: Razkroj lesa na stiku z betonskim zidom (levo), osje gnezdo med notranjo steno in zunanjo oblogo (desno)

Figure 46: Decay of wood in contact with the concrete wall (left), wasps' nest between the inner wall and the outer cladding (right)

Poškodbe na nosilnih elementih so bile tako obsežne, da je bila ogrožena statičnost in je grozila porušitev objekta. Zato je bil izdelan projekt celostne prenove. Predpisan je bil princip ohranjaanja še zdrave lesne tvarine. Uporabili smo smrekov, klan in žagan

macesnov les, ter nekaj hrastovega lesa za podložke. Macesen je bil nabavljen z okolice Jezerskega in je bil delno strojno in delno ročno obdelan. Za žebanje in pritrjevanje lesa smo uporabili pocinkane in kromirane žebelje. Za obrobe smo izbrali bakreno pločevino in bakrene žebličke, za sidranje konstrukcijsko jeklo S 235 in epoksidna konstrukcijska lepila. Za zaščito lesa smo uporabil kemični pripravek Silvanolin (Silvaproduct Ljubljana).

3.1.4 Partizanska bolnišnica Krtina na Jezerskem

Bolnišnica Krtina se nahaja na Jezerskem v gozdovih Komatevre. Lesen objekt tlorisne velikosti 5×4 m z enokapno streho, je registrirana kulturna dediščina z evidenčno številko EŠD 25278. Partizanska bolnišnica Krtina je bila zgrajena septembra 1944 po zamisli domačina in partizana Antona Širna. Namenjena je bila predvsem zdravljenju koroških partizanov. Les za bolnišnico so razžagali na žagi Viktorja Robnika, ki je bil tedaj partizan na Koroškem. V bolnišnici se je zdravilo okoli 30 ranjenih borcev. Januarja 1945. leta je bila bolnišnica požgana in ubit ranjenec Stanko Grošelj, ki je ob bolnišnici tudi pokopan.

Leta 1953 so, po spominu na prvotno požgano, ponovno postavili bolnišnico. V povojnem obdobju so bolnišnico večkrat prenavljali. Leta 1974 so horizontalni opaž zamenjali z vertikalnim (slika 47).



Slika 47: Partizanska bolnišnica z horizontalnim opažem pred letom 1974 (levo) in z vertikalnim opažem po obnovi leta 1974 (desno)

Figure 47: Partisan hospital with horizontal cladding before 1974 (left) and with vertical cladding after renovation in 1974 (right)

Bolnišnica je bila postavljena ob brežino. Izdelana je bila iz smrekovega lesa in prekrita z macesnovimi skodlami.

Današnje, zatečeno stanje objekta kaže, da je bilo vzdrževanje prepusteno laični presoji posameznikov in opravljeni brez konzultacij s stroko. Bolnišnica je prekrita z moderno kritino podjetja Trimo, kar je s stališča zgodovinske vloge objekta nedopustno (slika 48).



Slika 48: Moderna, neustrezna kritina na objektu partizanske bolnišnice

Figure 48: Modern, inappropriate roofing on the partisan hospital

Stebri, vključno z nosilno konstrukcijo pograda in podnimi deskami, so v stiku z zemljo in so strohneli. Na mestih, kjer med podnimi deskami ni razmika, so te izrazito vlažne in strohnele (slika 49).



Slika 49: Trohnoba nosilna konstrukcija, podne deske leže na zemlji

Figure 49: Decay of load-bearing structures), floor boards on the ground

V prednjem delu je konstrukcija uprta v kamnito podnožje, ki je bilo prevlečeno s plastjo cementa in izolirano z lepenko. Opaž je na stiku z in nad izolacijo izrazito vlažen (slika 50).



Slika 50: Detajl kamnitega podnožja z betonsko prevleko in izolacijsko folijo

Figure 50: Detail of stone base with a concrete coating and insulating foil

Na fasadnem lesu je opazen pas strohnelega lesa med 35 in 70 cm višine. Med objektom in brežino je ozek pas ravnega terena ter ograda iz macesnovih okroglic in vkopanih pilotov (slika 51).



Slika 51: Trohnoba leseneopaža pri tleh, pogled na vogal objekta z brežino in ogrado v ozadju

Figure 51: Decay of wooden cladding at ground level, view of the corner of the building with the slope and fence in the background

Iz okoljevarstvenih razlogov smo dali laboratorijsko pregledati vzorec lesa s fasade bolnišnice. Naravoslovne preiskave so naše sume, da so bile opažne deske premazane s tam najdenim odpadnim motornim oljem, potrdile (Bešlagić, 2013). V objektu je bilo shranjeno uporabljeno odpadno motorno olje (slika 52).



Slika 52: Stene bolnišnice so bile premazane z odpadnim motornim oljem, kar je potrdila tudi laboratorijska analiza

Figure 52: The walls of the hospital were coated with waste engine oil, which was confirmed by laboratory analysis

3.2 METODE

3.2.1 Raziskovalne metode

V raziskovalni nalogi smo se posluževali zgodovinske, analitične in komparativne metode ter metode vizualne inšpekcije. Na praktični ravni pa smo sledili principom ohranjanja avtentičnega gradiva pri čemer smo nadomestili propadli les z istovrstnim ali z bolj odpornim. Z rekonstrukcijo smo vzpostavili celovitost spomenika in mu tako ohranili obliko ter funkcijo. Pri izvajanju sanacijskih del smo uporabili naravne materiale in preizkušene tehnike dela, medtem ko smo eliminirali s prejšnjimi posegi dodane neustrezne elemente.

V prvi fazi smo za vsak objekt zbrali in pregledali razpoložljive pisne vire in drugo zgodovinsko gradivo, da bi dobili čim več podatkov o prvotni podobi, materialu in drugih lastnosti ter o dosedanjih posegih v objekt. Upoštevali smo tudi ustna izročila lokalnih zgodovinarjev, vzdrževalcev in lokalnih poznavalcev. O izbiri in uporabi novih materialov smo opravili strokovne konzultacije pri tehnikah, restavratorjih in proizvajalcih.

Vse objekte smo vizualno pregledali, opravili meritve in detajlno dokumentirali obstoječe stanje. Na objektih, za katere smo našli zgodovinsko gradivo in podatke o prvotnih materialih, smo najprej ugotavliali ali so materiali še ohranjeni in v kakšnem so stanju. Preučili smo dokumentacijo o prvotni konstrukciji in ugotavliali ali je bil les konstrukcijsko zaščiten.

S primerjalno analizo zgodovinskega gradiva in sedanjega stanja smo ugotavljali, kaj se je skozi različne posege na posameznem objektu spremajalo in kako so spremembe vplivale na trajnost objektov. S primerjalno analizo med prvotnim stanjem, vplivi kasnejših posegov in trenutnim stanjem objekta smo ustvarili bazo podatkov, ki smo jo potrebovali za načrtovanje restavratorskih ukrepov konstrukcijske zaščite.

Elemente, za katere nismo imeli zadostnega zgodovinskega gradiva, smo detajlno dokumentirali in vizualno ugotavljali njihovo ohranjenost, obliko in vlogo v konstrukciji. Preverili smo ali v obstoječem stanju opravljajo in zagotavljajo konstrukcijsko zaščitno

funkcijo. Kritična mesta in lokalne poškodbe lesa, kjer les ni bil ustrezeno konstrukcijsko zaščiten, smo posebej evidentirali in preučili vzroke razkroja lesa ter iznašli izvirno konstrukcijsko rešitev, ki smo jo podredili trajnosti in ohranitvi izvirne oblike objekta.

3.2.2 Drugi raziskovalni postopki

Za spomenik na grobišču borcev druge svetovne vojne v Radomljah in za portal spomenika Francetu Balantiču smo pripravili izvirne rešitve postavitve in jih v skladu s tehničnimi predpisi tudi statično izračunali. V računskem statičnem modelu smo pri obeh spomenikih upoštevali hrastov les in konstrukcijsko jeklo S 235.

Ker je bil les kamniškega portala popolnoma dotrajan, smo predvideli njegovo nadomestitev z novim iste vrste. Zaradi močne simbolike spomenika, so površine hrastovega portala obdelane s plinskim gorilnikom do faze ožganosti (zažaritve). Odstranjevanje in glajenje slabo vezane ožgane površine smo opravili z nerjavno žičnato prejo. Postopek je zaradi enakomerne debeline ožganega sloja možno ponoviti. Pri načrtovanju nove postavitve portala smo izvedli sondiranje prereza spodnjega dela in ugotovili način pritrditve. Kovinska palica poteka po celotni osi portala. Poleg poškodb, konstrukcijskih napak in trohnobe, smo evidentirali tudi lesne mravlje, ki so se vanj vselile.

Pri Ruski kapelici na Vršiču smo v fazi demontaže konstrukcijskih nosilnih in tudi nenosilnih delov izvedli detajlni pregled vsake deščice posebej in našli nekaj napisov iz leta 1916 in 1917 ter jih dokumentirali, fragmente lesa pa oddali v analizo Restavratorskem centru.

V primeru Partizanske bolnišnice Krtina na Jezerskem smo zbirali podatke o bolnišnici in opravili poizvedbo pri vaščanih starejših od 80 let, pri krajevni borčevski organizaciji in pri svojcih, ki vsa leta prihajajo na grob borca Stanka Grošlja. Iz ustnih izročil smo izvedeli, da je bil prvotno objekt izdelan iz neskobljanih desk, ki niso bile premazane. Zato smo se odločili, da bomo pri rekonstrukciji uporabili le neobdelane deske zaščitene po principu konstrukcijske zaščite. Z vzdrževanjem se omogoči menjava dotrajanega lesa, kar zagotavlja njegovo originalnost.

V raziskovalnem postopku so bili vzeti vzorci lesa za analizo zaščitnih premazov na partizanski bolnici Krtina.

IR spektroskopijo (Infrared Spectroscopy) in FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analizo je izvedel Restavratorski center Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije. Povzetek raziskave je opredeljen tudi v rezultatih.

4 REZULTATI

Rezultat raziskovalnega dela in praktično izvedenih ukrepov konstrukcijske zaščite so izvirne rešitve ter ustrezeno konstrukcijsko zaščiteni objekti kulturne dediščine. Zaradi uporabljenih metod in tehnik dela ter izvedene dokumentacije, so rezultati preverljivi in večinoma ponovljivi brez destrukcije in izgube originalnih lastnosti enot dediščine.

4.1 SPOMENIK NA GROBIŠČU BORCEV NOB V RADOMLJAH

Spomenik je bil namenjen postavitvi na prostem in je bil zato izpostavljen delovanju abiotskih in biotskih dejavnikov okolja.

4.1.1 Vzroki degradacije spomenika

Vzrok za degradacijo hrastovega spomenika je več. Poleg abiotskih in biotskih dejavnikov (vpliv vode in drugih padavin, nizkih in visokih temperatur, vetra, sončnih žarkov, gliv), je degradacija posledica neupoštevanja načel konstrukcijske zaščite pri obdelavi lesa ter načrtovanju pritrdilnega sistema in postavitve. Ob upoštevanju delovanja lesa, ki ga v popolnosti ne moremo preprečiti, je v veliki meri za degradacijo kriva opustitev sanacije nastalih razpok, poškodovanih premazov in drugih elementov spomenika.

Vzroki za degradacijo spomenika so zlasti v biološkem razkroju oziroma trohnobi lesa zaradi dolgotrajnega preseganja še varne 20 % meje vlažnosti lesa. Razkroj so pospešili sledeči faktorji:

- Zatekanje vode v lesne razpoke in plombe ter zastajanje le te v njih.
- Neustrezen prirez lesa, ki na plombah in lepljenih delih ni bil oblikovan v naklonu navzven in je zato voda zatekala in zastajala v stikih ter prodirala globlje v les.
- Izguba zaščitne funkcije površinskega dekorativnega premaza zaradi fotodegradacije, luščenja in mehanskih poškodb, ki omogočajo padavinam vlaženje nezaščitenih površin lesa in prodor vode v razpoke lesa. V primeru spomenika so bila zlasti občutljiva izpostavljenna lesna vlakna vrezanih rombov ter plomb.

- Izpostavljenost spodnjega dela spomenika škropenuju s podstavka in vpijanju vode s podstavka.
- Nezadostni naklon kamnitega podstavka, kjer se padavine zadržujejo in vlažijo spodnji del spomenika.
- Neustrezni pritrdilni sistem, ki je v tesnem stiku z lesom in kamnitim podstavkom, v spodnjem delu omogoča nabiranje in zastajanje vode oziroma preprečuje odtekanje vode, zračenje in sušenje lesa.
- Zatekanje vode v mesta vijačenja spomenika.
- Korozijski procesi in izcejanje rje v les.

Dosedanja načina postavitve spomenika z bočnim vijačenjem sta omogočila, da je voda zatekala in vlažila dele, ki bi, zaradi svoje vloge prenašanja obremenitve, morali biti najbolj varovani. Nakopičeno blato ob obroču in kovinski plošči, na kateri je spomenik v tesnem stiku ležal, je preprečevalo odtekanje vode. S tem, ko spomenik ni bil dvignjen od podlage in je obroč zadrževal vodo, so bili vzpostavljeni pogoji za navlažitev in razkroj lesa (slika 53).



Slika 53: Ob snetu spomenika leta 2006, so bile odrezane vertikalne lamele obroča (levo). Pritrditev z obročem in bočnimi vertikalnimi lamelami je bila izvedena tudi na novi lokaciji (desno). Oba sistema kažeta na zadrževanje vode, vlaženje lesa in korozijo

Figure 53: During the deconstruction of the monument in 2006, vertical strips were cut off the ring (left). Strengthening with a band and side vertical lamination was also carried out at the new location (right). Both systems demonstrate retention of water, moistening of the wood and corrosion

Močne in globoke razpoke v radialni smeri so delno posledica delovanja lesa zaradi krčenja in nabrekanja, v večji meri pa posledica vijačenja, ker je bil spomenik v spodnjem delu togo pričvrščen, v zgornjem delu pa izpostavljen sili vetra (slika 54).



Slika 54: Razgrajen les in globina radialne razpoke na mestih pritrditve spomenika

Figure 54: Decomposed wood and depth of radial crack at the points of attachment of the monument

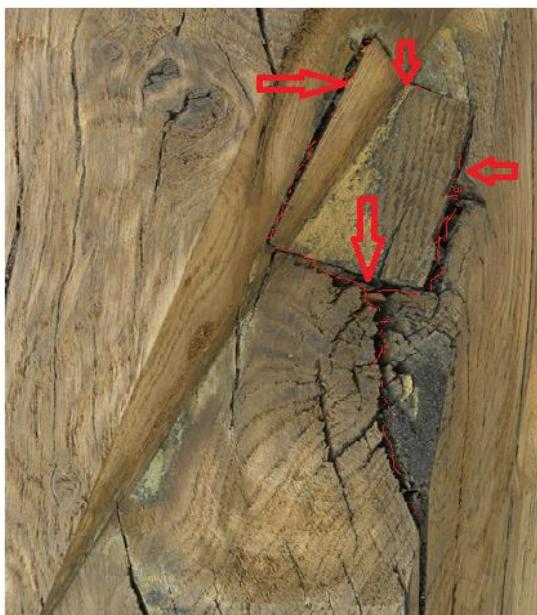
Zaradi učinkovanja abiotiskih dejavnikov in napetostnega delovanja lesa, so nastale številne večje in manjše razpoke in s tem tudi razpoke in luščenje dekorativne plasti. V razpoke in kontaktne površine med barvo in les je zatekala voda in dvigala barvne plasti. Ker ni bilo več oprijema med lesno podlago in barvo ter med barvnimi plastmi, je barva odpadla ali pa je v obliki lusk in mehurjev odstopala. Razpokan površinski premaz je omogočil zatekanje vode v notranjost spomenika, ostanki premaza pa so onemogočali sušenje lesa (slika 55).



Slika 55: Ostanki premazov onemogočajo sušenje lesa

Figure 55: Remains of coatings prevent drying of wood

Voda je skozi razpoke našla pot tudi do plomb in lepljenih delov in v stikih zastajala in vlažila les, zaradi česa je les spremenjal lastnosti na kontaktnem delu s PVC (polivinil klorid) lepilom. S krčenjem in nabrekanjem plomb ob nihanju vlažnosti in temperature, so se rahljale tudi kontaktne površine med lesom in lepilom, plombe pa so razpokane in odpadle. Na plombah je voda zatekala v notranjost spomenika tudi zaradi pomanjkanja naklona na prirezu robnih površin. Napačno prirezane površine omogočajo zatekanje vode v stike in zatekanje v razpoke (slika 56).



Slika 56: Odpti stiki na mestu odpadle plombe in razpoka omogočajo vstop vode globlje v les

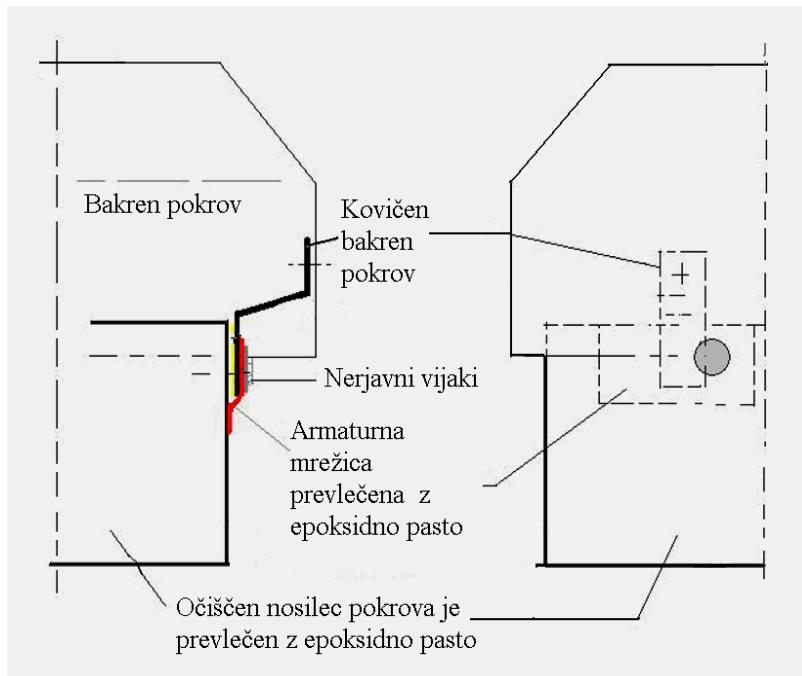
Figure 56: Open contacts where sealing has fallen off. The cracks allow water to enter deeper into the wood

Z vrha spomenik ščiti bakreni pokrov, ki je v stiku z železnim vijakom povzročal galvansko korozijo. Zaradi korodiranega nosilca pokrova in vijakov je prišlo do razgradnje kovine in stika na mestu pritrditve in tudi do zatekanja rje po površini in skozi razpoke v notranjost spomenika.

Ugotovljen manjši odklon podstavka, ki ga pripisujemo stabilizaciji in diferenciaciji tal v preteklem obdobju, ni imel bistvenega vpliva na samo degradacijo spomenika.

4.1.2 Ukrepi konstrukcijske in kemične zaščite

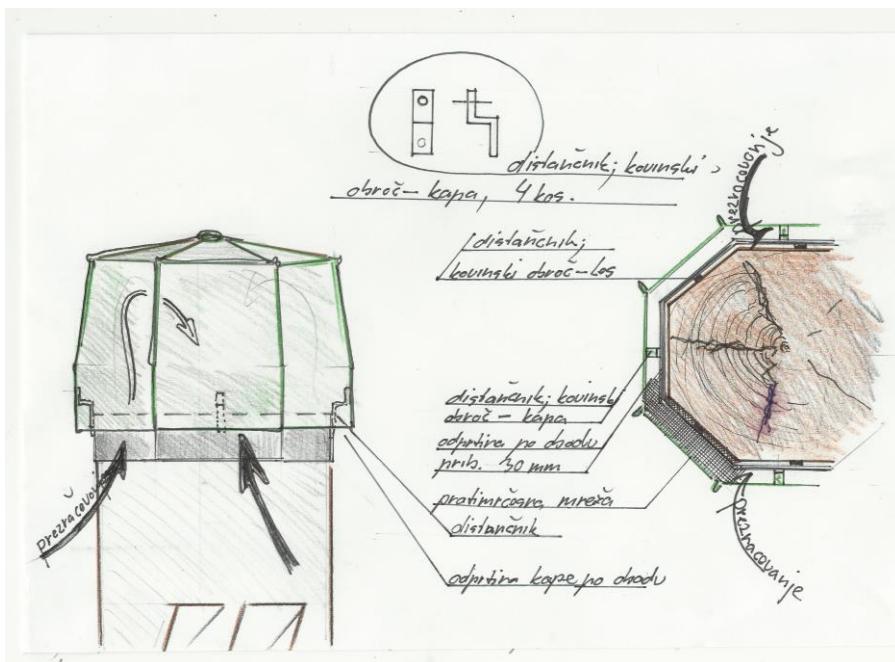
Najprej smo spomenik previdno demontirali. Z vrha spomenika smo odstranili bakren pokrov, nosilni obroč pokrova in korodirane vijake ter izvedli protikorozjsko zaščito in uredili prezračevanje zgornjega dela spomenika. Obroč smo očistili rje in prevlekli z epoksidno pasto. Nosilce bakrene kape smo prilepili z epoksidnim lepilom, armirali s stekleno tkanino, ki smo jo prevlekli z epoksidno pasto ter z nerjavečimi podložkami in vijaki dodatno zavarovali pred snetjem bakrenega nosilca. Namen posega je bil sanirati vrhnje zaščitne elemente in preprečiti nadaljnjo korozijo (slika 57).



Slika 57: Prikaz protikorozjske zaščite nosilca pokrova in načina izvedbe

Figure 57: Presentation of corrosion protection of a cap bearer and method of implementation

V zgornjem delu spomenika smo uredili prezračevanje. Na stiku lesa z nosilcem bakrenega pokrova ter med nosilcem in pokrovom smo vstavili distančnike ter tako omogočili cirkulacijo zraka. Namestili smo tudi mrežico, ki preprečuje naselitev mrčesa (slika 58).



Slika 58: Skica izvedbe prezračevanja vrhnjega dela spomenika

Figure 58: Sketch of ventilation of the upper part of the monument

Zaščitni pokrov smo namestili na prvotno mesto (slika 59).



Slika 59: V vrhnjem delu je spomenik zaščiten s pokrovom, pod njim je urejeno kroženje zraka

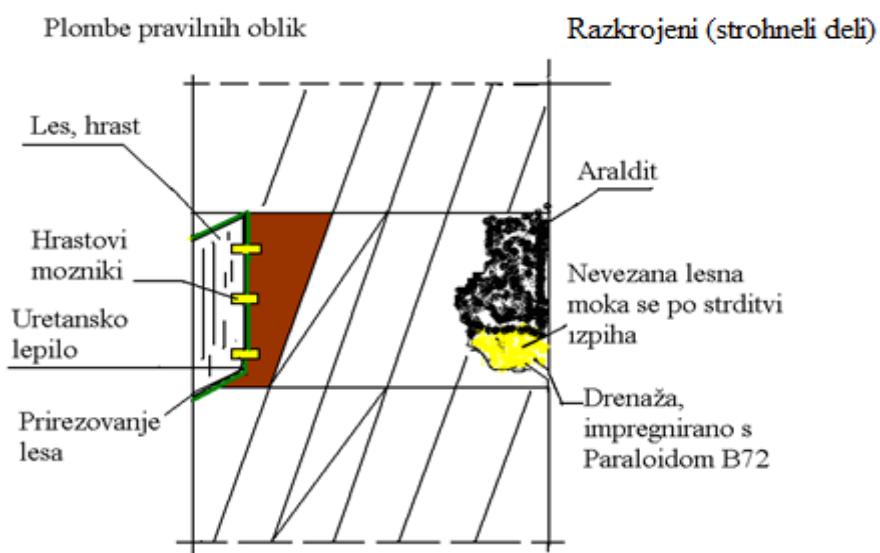
Figure 59: The top part of the monument is protected by a cover, beneath which air is able to circulate

Nato smo pristopili k sanaciji lesenega dela spomenika. Po odstranitvi ostankov stare barve, plomb in odlepljenih delov lesa, smo les temeljito očistili. Pred kemično zaščito je bila vlažnost lesa 16 %. Spomenik smo večkrat s premazovanjem, oblivanjem in brizganjem z odprto šobo (omogoča brizganje kapljic) prepolili s Silvanolinom. Po tednu

dni sušenja, smo izmerili vlažnost lesa (19 %) in zapolnili razpoke z epoksidno smolo, ki smo ji dodali lesno moko, mikrosilik. Za čvrstejšo strukturo smo na posameznih mestih dodali tudi AR vlakna. S tem smo preprečili zatekanje vode v notranjost spomenika.

Plombe smo sanirali na več načinov, z mozniki, uretanskim lepilom in pirezom lesa ter epoksiidi in drugimi restavratorskimi materiali.

Razkrojene dele smo zapolnili z epoksidnim vezivom z dodano lesno moko in steklenimi poroznimi AR vlakni dolžine 10 mm. Na enak način smo v dveh in ponekod treh slojih zapolnili tudi razpoke. Poškodovano mesto smo temeljito očistili in prepojili s Silvanolinom in utrdili s Paraloidom B72. V razpoke smo nasuli suho nevezano lesno moko, ostali volumen pa zapolnili z aralditno maso. Ko se je ta strdila, smo uredili drenažo za odtok vode. Odprtino proti mrčesu smo zapolnili z nerjavečo žično volno, ki omogoča zračenje (slika 60).



Slika 60: Princip obdelave plomb pravilnih oblik (levo) in razkrojenih delov (desno)

Figure 60: Principle of treatment with regular shaped seals (left) and eroded parts (right)

Pri oblikovno pravilnih plombah in delno tudi pri razkrojenih delih, smo povezavo izvedli z mozniki in uretanskim lepilom, pri čemer smo les pirezali tako, da bo lahko voda ob padavinah nemoteno odtekala (slika 61).



Slika 61: Prikaz povezave plombe z mozniki (levo) in priteza lesa v smeri padavin (desno)

Figure 61: Presentation of connection of seal with dowels (left) and trimming of wood in the direction of precipitation (right)

Da bi se izognili zunanjemu vijačenju in bi ustrezno rešili statiko spomenika, smo poglobili izvrtino. Zato smo izdelali posebni sveder (slika 62).

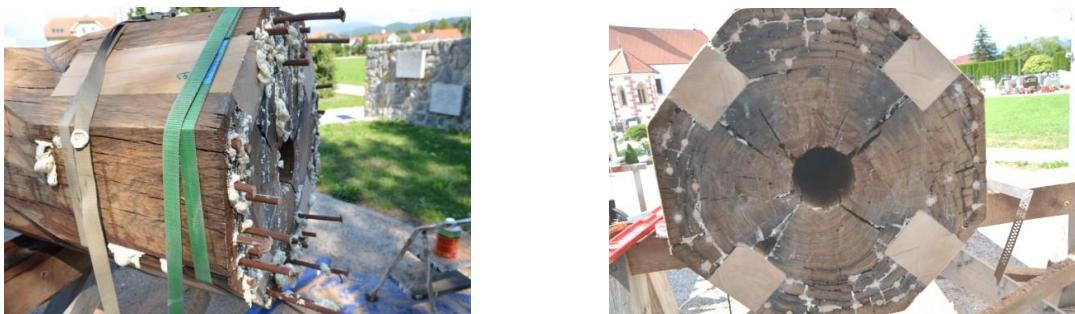


Slika 62: Poglavljanje izvrtine s posebnim svedrom

Figure 62: Deepening a hole with a special drill bit

Spodnji, najbolj oslabljeni del spomenika smo konstrukcijsko ojačili in pripravili, da lahko v skladu z novo zasnovno postavitve prevzame statično obremenitev. Strohneli les na mestu prejšnjega vijačenja smo z mizarskimi dleti odstranili in predele zaščitili s Silvanolinom. Z mozničenjem in uretanskim lepilom smo vgradili hrastove prizme $350 \times 100 \times 100$ mm. Po

obodu, v širini 100 mm in do globine 400 mm, smo les navrtali, ga prepojili s Silvanolinom, vstavljali in z uretanskim lepilom zlepili moznike (slika 63).



Slika 63: Obnova oslabljenega spodnjega dela spomenika s hrastovim lesom in mozniki.

Figure 63: Restoration of weakened lower part of the monument with oak wood and dowels

Uporabljeni restavratorski materiali (uretansko lepilo, epoksidi) so po eni strani omogočili ojačitev in sanacijo spodnjega dela spomenika, po drugi pa so ustvarili nepropustno bariero za vodo. Da bi preprečili nabiranje vode nad saniranim delom, smo izvedli še drenažo glavnih razpok. Za zračenje in odtok smo skozi zagozde izdelali izvrtine premera 8 mm in nanje zlepili mrežice proti mrčesu. Na mestih, kjer potekajo glavne radialne razpoke, je takšna drenaža smiselna. Razpoke nad zagozdami smo še pred vstavitvijo zagozd očistili in kemično zaščitili. Zagozde, ki smo jih na zgornji strani lijakasto poglobili proti sredini, smo lepili le s strani in zgoraj po robu. V spodnjo ploskev spomenika smo 1,5 cm od oboda vrezali odkopalni žleb (slika 64).



Slika 64: Priprava izdolbin za vstavitev zagozd za drenažo in zračenje radialnih razpok (levo) in prikaz zagozde z lijakasto poglobitvijo zgornje površine proti izvrtini (desno)

Figure 64: Preparation of cavities for the insertion of wedges for drainage and ventilation of radial cracks (left) and presentation of wedge with a funnel-shaped deepening of the upper surface towards the bore (right)

Izvirna izvedba stabilizacije spomenika je zahtevala trden in varen nosilen spodnji del spomenika. Po saniranem obodu smo vgradili tulce za nastavljive vijake, hrastove zagozde pa smo dodatno zavarovali proti izvleku (slika 65).



Slika 65: Detajl vstavitve nosilnih nastavljivih vijakov po obodu saniranega dela spomenika. Pogled na odkapni rob, vgrajene tulce in zavarovane zagozde z izvrtinami

Figure 65: Detail of the insertion of carrier adjustable screws around the perimeter of the renovated part of the monument. View of the drip edge and secured wedge with holes

Ker se glavne razpoke nad zagozdami nadaljujejo aksialno tudi nad saniranim spodnjim delom spomenika, smo izvedli drenažo razpok nad saniranim delom. Na vseh štirih straneh spomenika smo izvrtali poševna drenažno prezračevalna izvodila premera 8 mm. Zunanji izpostavljeni deli izvrtin so poglobljeni, spodaj in zgoraj prirezani v smeri padavin, da voda lahko odteče. Izvrtine so prekrite z zaščitno mrežico (slika 66).



Slika 66: Drenaža glavnih razpok nad saniranim spodnjim delom in zaščita z mrežico

Figure 66: Drainage of main cracks over renovated lower part and protection with air mesh

Po sanaciji podložišča smo pristopili k obnovi površine spomenika. Na očiščeno površino smo nanašali razredčen 7 % Paraloid B72 in tako utrjevali spomenik ter pripravili vezni sloj za premaze. Paraloid B72, ki je bil tudi prvotno uporabljen, se dobro oprime na različne podlage in je primeren za impregniranje, lepljenje ali barvanje. Je UV obstojen, se hitro suši, ohranja prožnost pri nižjih temperaturah, ima primerno propustnost parnega tlaka in ga je možno kadarkoli odstraniti z acetonom, etil-acetatom, kar je v konservatorsko restavratorski doktrini pomembno dejstvo.

Dvignjena lesna vlakna smo pred zaključnim toniranim premazom na fino obrusili. Poglobljene dele površine smo večkrat premazali s 15 % Paraloidom B72 z dodanimi pigmenti oziroma bronzo (medenino) v prahu. Ostale površine smo prav tako premazali s Paraloidom B72 z dodatki rjavega in črnega UV stabilnega pigmenta v prahu. Brušenje med posameznimi nanosi ni bilo potrebno, ker etilacetat, v katerem je raztopljen Paraloid B72, topi predhodne sloje. Obrusili smo le posamezne nepravilnosti in grudice. Spomeniku smo tako povrnili značilno podobo.

Sledila je priprava podstavka in nosilne cevi. Staro korodirano nosilno cev na granitnem podstavku smo v vidnem polju odstranili. Da bi preprečili večjo destrukcijo podstavka, smo cev v kamnitem podstavku obdržali. Cev smo očistili cementnega polnila in rje in jo protikorozjsko zaščitili. Stik med cevjo in kamnom smo zapolnili z dvokomponentno, visoko lepljivo, nizko viskozno epoksidno smolo. Cev smo kot vodilo (pušo) uporabili za vstavitev nove cevi (slika 67).

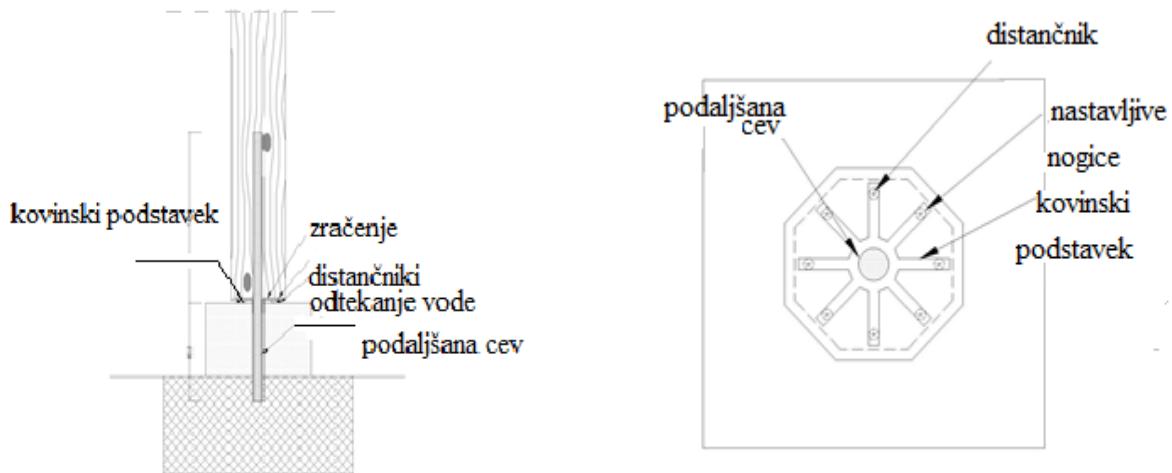


Slika 67: Protikorozjsko zaščiten ostanek stare cevi v podstavku, (levo), namestitev nove cevi (desno)

Figure 67: Anticorrosion protection of the residue of old tube in pedestal (left), installation of new tube (right)

Iz poškodb je razvidno, da so koroziji procesi potekali tudi med kovino in podstavkom. Zato smo uredili postavitev spomenika z dilatacijo stikov med granitom in kovinskimi vijaki. S tem se obenem blažijo posledice vibracij, ki se preko Novilon gumic točkovno razdelijo in umirijo.

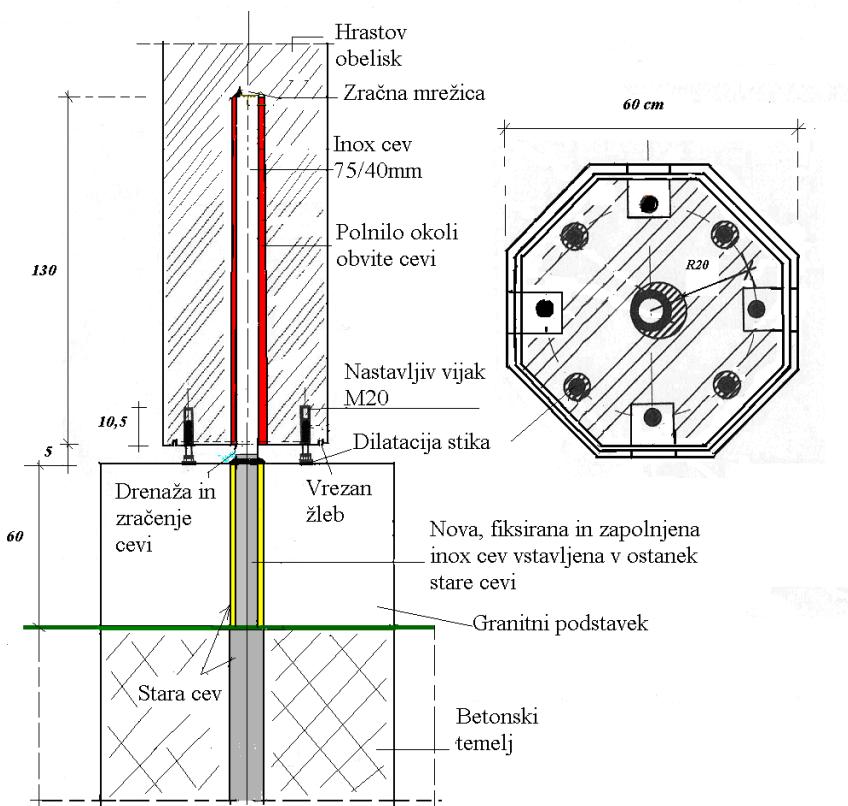
Prejšnji pritrtilni sistem smo odstranili in najprej pripravili varianto postavitve, pri kateri bi spomenik nosila izključno centralno nameščena podaljšana cev, spodnji del spomenika pa bi bil dvignjen od podlage na kovinski podstavek z osmimi krakovi in nogicami (slika 68).



Slika 68: Varianta A postavitve spomenika na kovinski podstavek ne zadošča statičnim zahtevam

Figure 68: Variant A of monument installation on metal base does not satisfy static requirements

Statični izračun (priloga A) je pokazal, da nova inox cev Ø 75/40 mm, skupne dolžine 1905 mm, od tega 1300 mm v izvrtini spomenika in 600 mm v podstavku, prevzame le 60 % obremenitve. Za prevzem celotne obremenitve je bilo treba obremeniti še konsolidirani spodnji del spomenika. Zato smo razvili izvirno varianto postavitve, ki je zadostila statičnim zahtevam. Za prevzem dodatnih 40 % obremenitve, smo po obodu spomenika vgradili osem vijakov M20 in jih vijačili v nerjaveče vložke z notranjim navojem. Posamezen vložek je premera 30 mm, dolg 105 mm z globino navoja 100 mm. Vložke z vijaki smo vgradili v radiju 200 mm, štiri v prizme, štiri pa v posebne hrastove tulce premera 50 mm in dolžine 150 mm (slika 69).



Slika 69: Varianta B izvirnega nosilnega sistema spomenika zadošča statičnim zahtevam

Figure 69: Variant B of the original monument carrier system meets static requirements

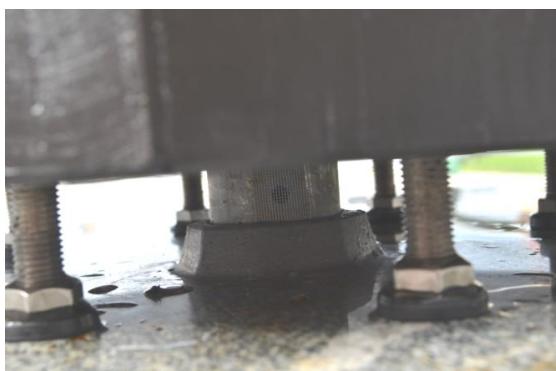
Nosilni vijaki saniranega spodnjega dela spomenika so snemljivi in nastavljni, kar omogoča kontrolo nastavitev (slika 70).



Slika 70: Nosilni elementi (levo) so vgrajeni po obodu saniranega spodnjega dela spomenika (desno)

Figure 70: Load-bearing elements (left) are installed around the perimeter of the renovated lower part of the monument (right)

Na nastavljljive vijke smo namestili Novilon gumijaste podložke premera 40 mm in debeline 8 mm. S poglobljenim delom se regulira pozicija, 5 mm podloga preprečuje direkten stik med vijaki in kamnom. Novilon je poliamid, ki spada med inženirske plastike, je odporen na velike pritiske, obrabo in kemikalije (slika 71).

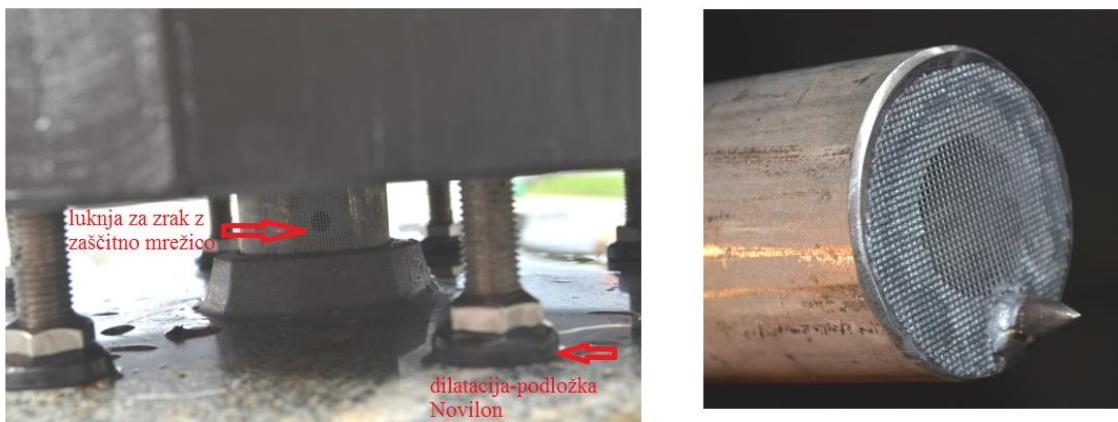


Slika 71: Prevzem nosilnosti z nastavljljivimi vijke po obodu spomenika in dilatacija med kamnito bazo in vijke s podložko Novilon

Figure 71: The load is taken by adjustable screws around the perimeter of the monument and dilatation between the stone base and screws with a Novilon washer

Ker izvrtina v lesu ni bila v centralni poziciji in je odstopala za približno 1 cm na 1 m, smo jo morali korigirati in centrirati, pri čemer smo obdali cev s folijo in jo vstavili v izvrtino. Nato smo režo med lesom in cevjo zalili z epoksidno smolo. Po strditvi smole smo najprej odstranili folijo in nato izvlekli cev. Tako je bila izvrtina centrirana in spomenik nared za postavitev.

Novo inox cev smo vstavili 600 mm globoko v staro cev podstavka, jo centrirali in zalili z epoksidno smolo. Tik nad podstavkom in nivojem zalitja, smo izvrtali 8 mm luknjico in jo zaščitili z nerjavečo mrežico. Na zgornji rob cevi smo privarili distančnik, cev pa prekrili z mrežico in tako omogočili drenažo in zračenje izvrtine po cevi (slika 72).



Slika 72: Dilatacija med podstavkom in vijaki (levo) ter zračenje cevi (desno)

Figure 72: Dilatation between the base and screws (left), ventilation of tube (right)

Po namestitvi spomenika na podstavek smo vijke nastavili in privili, da je bil spomenik trdo podprt z vsemi obodnimi vijaki in natančno centriran (slika 73).



Slika 73: Izvirna, sedanja postavitev spomenika leta 2013

Figure 73: The original, current erection of the monument in 2013

Podana rešitev z daljšo cevjo v poglobljeni izvrtini ter dvigom spomenika za 5 cm od podlage na nastavljevne vijke, omogoča odtekanje vode, zračenje, čiščenje, nastavljanje in kontrolo bazičnega, najbolj obremenjenega dela spomenika. Zaradi dimenzijske nestabilnosti lesa in vpliva sile vetra, smo v okviru kontrole spomenika predvideli letno spremljanje nastavitev in pravilnost vijakov ter kontrolo premazov, dilatacij, mrežic in vrhnjega pokrova.

4.2 SPOMENIK FRANCETU BALANTIČU V KAMNIKU - PORTAL

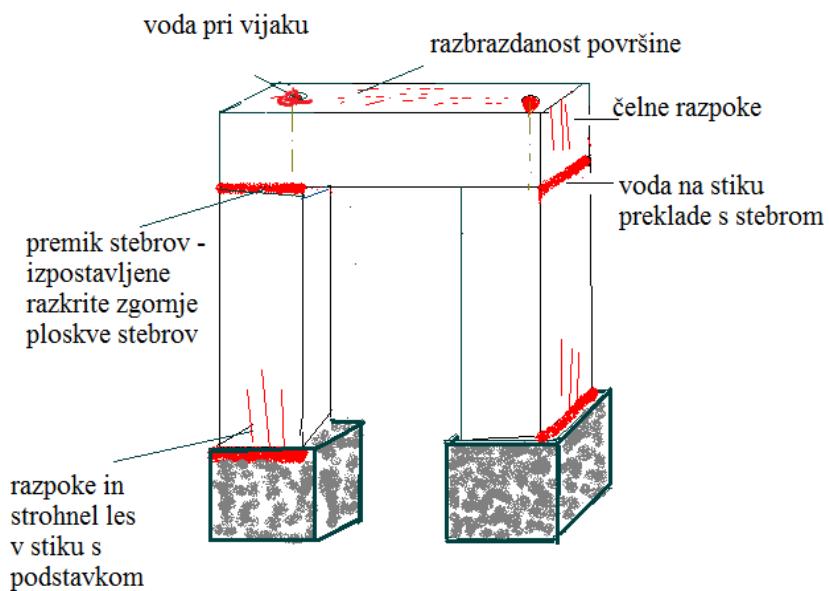
4.2.1 Vzroki degradacije portalna

Bistveni vzrok za propad hrastovega portala, po dobrih dveh desetletjih, je v napačni konstrukciji. Pritrdilni sistem je bil vgrajen v sredico vertikal stebrov in je bil z vrha močno

izpostavljen padavinam. Najbolj je problematično mesto pritrditve preklade s stebroma. Valjani gladki palici s privarjenim navojem (rjav Železo) v zgornjem delu, sta osno vgrajeni v granitna podstavka. Stebra s preklado sta nataknjena na palici.

Mesto vijačenja na zgornjem izpostavljenem delu preklade je bilo že v začetku namensko poglobljeno, da bi matico s podložko zakrili. Mesto vijačenja ni bilo zavarovano pred zatekanjem in zadrževanjem vode. V poglobljenem delu lesa in na površini preklade se ob padavinah nabira in zadržuje voda, ki pronica v les in ga intenzivno vlaži.

Izpostavljena zgornja ploskev preklade je vodoravna, robovi so ostri, neposneti. Na površini zastaja voda in zateka skozi razpoke v notranjost preklade. Pri izdelavi je bil izbran del hrasta s srčiko, kar je napaka. Srčiki bi se morali izogniti. Preklada je tudi zato bolj razpokana, kot bi bila sicer (slika 74).



Slika 74: Skica kritičnih točk poškodb portalna

Figure 74: Sketch of critical points of damage to the portal

Zaradi intenzivnega zadrževanja vode v poglobljenem delu preklade in zaradi napetostnega delovanja lesa, je ob matici in podložki les strohnel. Stik podložke z lesom in celoten spoj preklade s stebroma, je postal ohlapen in majav ter se je ob vetru premikal v vse smeri.

Zaradi trohnenja ter vremenskih vplivov je površina prečke postajala razbrazdana, razpokana, fotodegradirana in tako še bolj dovetna za vpijanje vode, ki se je dolgo zadrževala v razkrojeni lesni masi.

Stebra portalna sta spodaj v tesnem stiku z granitnima podstavkoma, kar omogoča škropenje in vpoj vode s podstavka ter onemogoča hitro sušenje lesa.

Hitrejšemu propadanju lesa so prispevale tudi oblikovne značilnosti portalna. Stranice portalna so bile najprej strojno rezane in potem ročno mestoma obtesane. Tako so hrapave obtesane površine obrnjene navzgor ter omogočajo zadrževanje in vpijanje vode.

Našteti dejavniki so povzročili tudi površinsko korozijo kovinskih elementov predvsem rjavenje, saj so za pritrjevanje izbrali železo. Prav tako se voda ob padavinah zadržuje na stiku lesa s stiliziranimi bakrenimi plameni. Stiki so povrhu še zatesnjeni, kar onemogoča odtekanje vode ter sušenje.

Zaradi sunkov vetra in postopnega popuščanja pritrilnega elementa, je prišlo tudi do premika stebrov z ležišča za več kot 3 cm. Tako sta bili močenju izpostavljeni še zgornji razkriti ploskvi stebrov.

4.2.2 **Ukrepi konstrukcijske zaščite portalna**

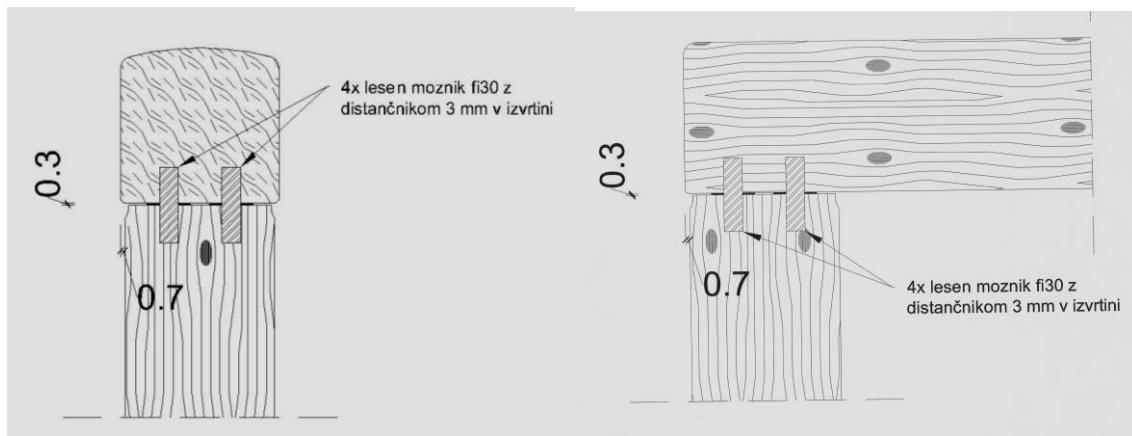
Zaradi obsežnih poškodb lesa je portal nemogoče obnoviti, zato predlagamo, da se ga nadomesti oziroma izdela na novo, pri tem pa predlagamo smiselne konstrukcijske rešitve zaščite lesa, ki bodo omogočile trajnost in ne bodo vplivale na izgled portalna.

Za postavitev portalna smo izdelali dve izvirni varianti in les konstrukcijsko zaščitili. Za obe varianti postavitve portalna je bil izdelan statični račun (priloga B).

Pri varianti 1 sta stebra portalna nasajena na jekleno palico s prirobnico, preklada pa se pritrdi z mozniki. Pri varianti 2 se stebra nasadita na jekleno palico brez prirobnice, pritrditve preklade pa se izvede z lesno zvezo na pero in utor. Stebra se pri obeh variantah

nasadita na jekleno palico brez uporabe lepil. Lepilo se uporabi le za fiksiranje palice v granitni podstavek.

Značilnosti konstrukcijske rešitve variante 1 so, da voda z vseh površin portala nemoteno lahko odteka, stiki lesenih elementov portala kot tudi stiki kovinskih elementov z lesom pa se zračijo in sušijo. Stik med preklado in stebroma je zračen, kar smo dosegli z lesenimi mozniki z distančnikom v izvrtini. Razmik preklade od stebrov pri varianti 1 je minimalen in je reguliran z distančniki. Hrastovi mozniki povezujejo lesne elemente in obenem preprečujejo premike. Stebra smo pri vrhu, tik pod preklado, posneli in omogočili neoviran odtok vode. Ker rob preklade prekriva posneto površino stebrov, voda ne moči stika preklade s stebroma (slika 75).

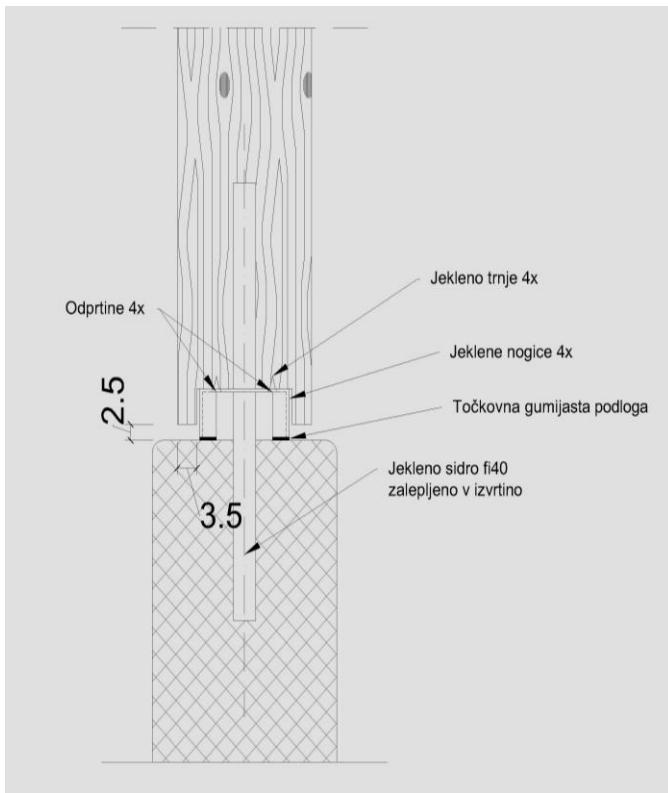


Slika 75: Konveksna preklada (levo), preprečeno močenje stika (desno)

Figure 75: Convex crossbeam (left), prevention of wetting of the contact (right)

Pri varianti 1 se jeklena palica \varnothing 40 mm (nerjaveče jeklo S 235) zalepi v minimalno 30 cm globoko izvrtino v granitnem podstavku. Na jekleno palico se privari jeklena prirobnica dimenzij $160 \times 160 \times 8$ mm. Stebra z izvrtino globine 40 cm, se preprosto nasadita na palico in rahlo upreta na trne prirobnice. Za zagotavljanje zračenja sta stebra dvignjena od granitnega podstavka za 2,5 cm, saj ima prirobnica vogalno privarjene jeklene nogice višine 5 cm. Prirobnica je poglobljeno vdelana v les in se od zunaj ne vidi. Vidne so le vogalne nogice, ki omogočajo razmik med stebrom in podstavkom, da se spodnji del stebra lahko zrači. Jeklene nogice se upirajo na kamniti podstavek, ob straneh se ne dotikajo lesa

in z razmikom 5 mm omogočajo njegovo zračenje. Podložene so s kislinsko odporo šivano gumo, ki preprečuje nastanek galvanskega člena med granitom in kovino. Obenem guma deluje kot točkovni blažilec in dušilec napetosti. Na vogalih z zgornje strani ima prirobnica privarjene trne višine 1 cm, med trni pa so zračne odprtine Ø 10 mm. Privarjeni trni preprečujejo premike stebra, tako rotacijo kot upogib in skupaj z odprtinami omogočajo cirkulacijo zraka med lesom in prirobnico (slika 76).

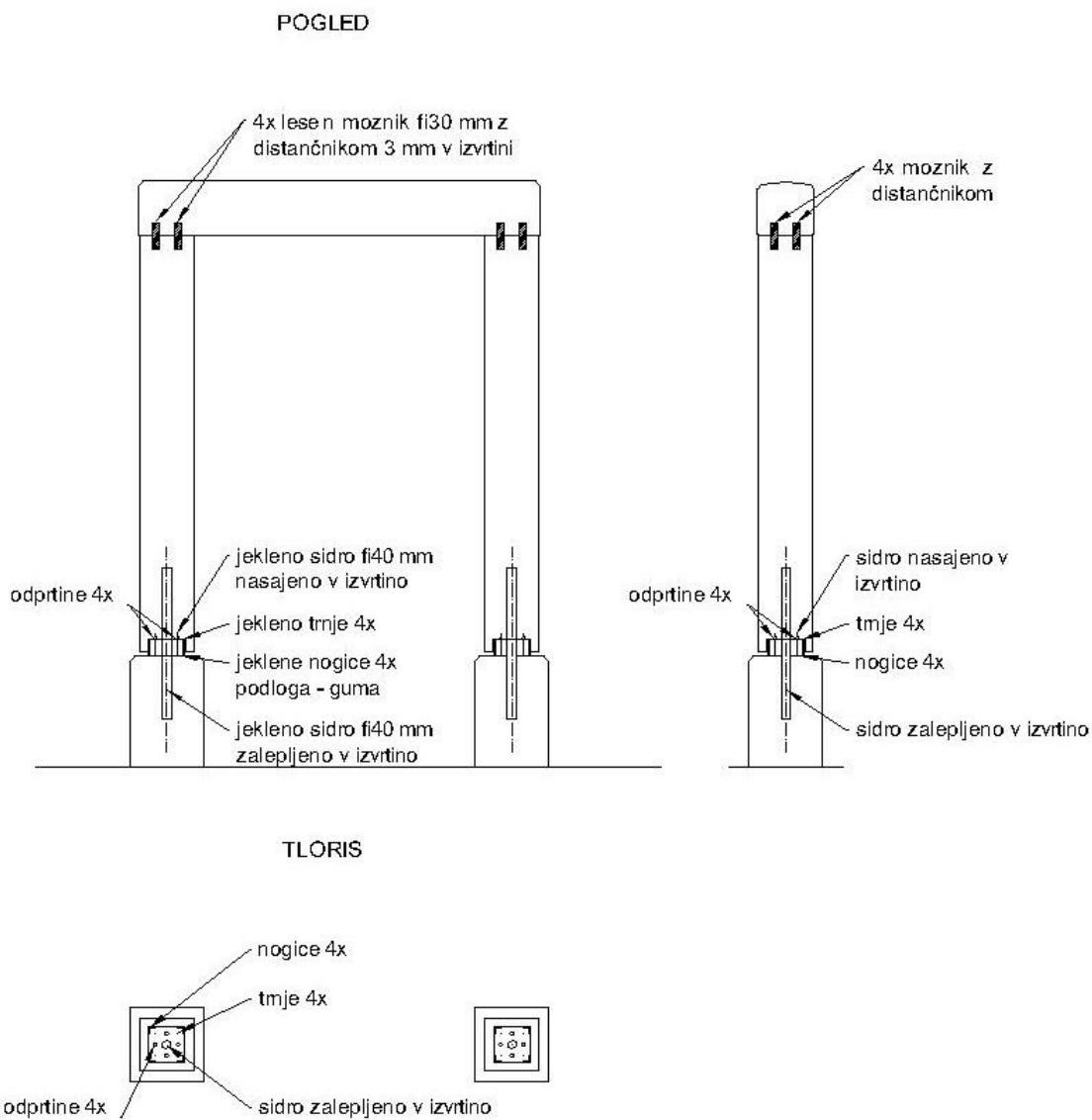


Slika 76: Varianta 1- detalj postavitve stebra na jekleno palico s prirobnico

Figure 76: Variant 1 - detail of pillar erection on a steel rod with flange

Na portalu smo izvedli še druge pomembne ukrepe konstrukcijske zaščite. Rekonstrukcijo smo izvedli iz naravno posušenega hrastovega lesa, ki je bil brez večjih napak. Pri izrezu lesa za izdelavo sestavnih delov smo se izognili srčiki in beljavi. Zgornjo površino preklade smo oblikovali blago konveksno in robove posneli. Površine so bile dodatno strukturirane s tesanjem pri čemer smo rezne površine obrnili navzdol. Stilizirane bakrene plamene smo postavili na distančnike z majhnim odmikom od lesa, da voda lahko odteka ter se les zrači in hitro posuši. Zgornjo površino in robove kamnitega podstavka smo posneli v naklonu, da voda lahko hitro odteče.

Varianta 1 postavitve portala je izvirna, upošteva osnovne principe konstrukcijske zaščite ter omogoča varnost portala, kar je potrdil tudi statični izračun (priloga B). Portal je možno razstaviti, stiki in pritrdilno mesto so zračni, voda odteka z vseh površin (slika 77).



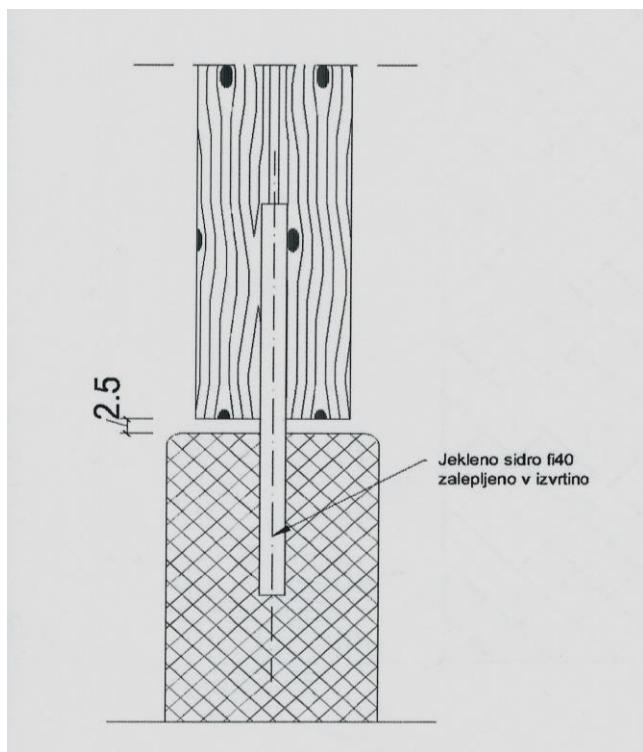
Slika 77: Varianta 1 - prikaz predlagane postavitve portala

Figure 77: Variant 1 - view of the proposed erection of the portal

Pri varianti 1 smo predvideli videz ožganega portala, kar smo dosegli z obžiganjem (do zažaritve). Zaradi avtentičnosti in simbolnega pomena smo se ponovno odločili za masiven hrastov les, ne pa za lepljen kompozit, saj bi se lepljenc v primeru ožiganja spremenil. Za

dolgotrajno rešitev in zaščito pred močenjem bi bilo možno preklado pokriti z lahko pločevino. Med pločevino in preklado bi v tem primeru uredili potrebno zračenje. Postavlja se tudi vprašanje nadaljnega vzdrževanja in vprašanje originalnosti spomenika, zato pokrivanje spomenika ostaja predmet diskusije. Z ozirom na to, da je površina lesa obdelana z obžiganjem, je vprašanje ali še dodatno in s čim tretirati zgornjo površino preklade.

Pri varianti 2, ki je enostavnejša, smo predlagali postavitev stebrov na jekleno palico brez prirobnice. V zgornjem delu smo uporabili tesarsko zvezo na pero in utor ter polni stik (slika 78).

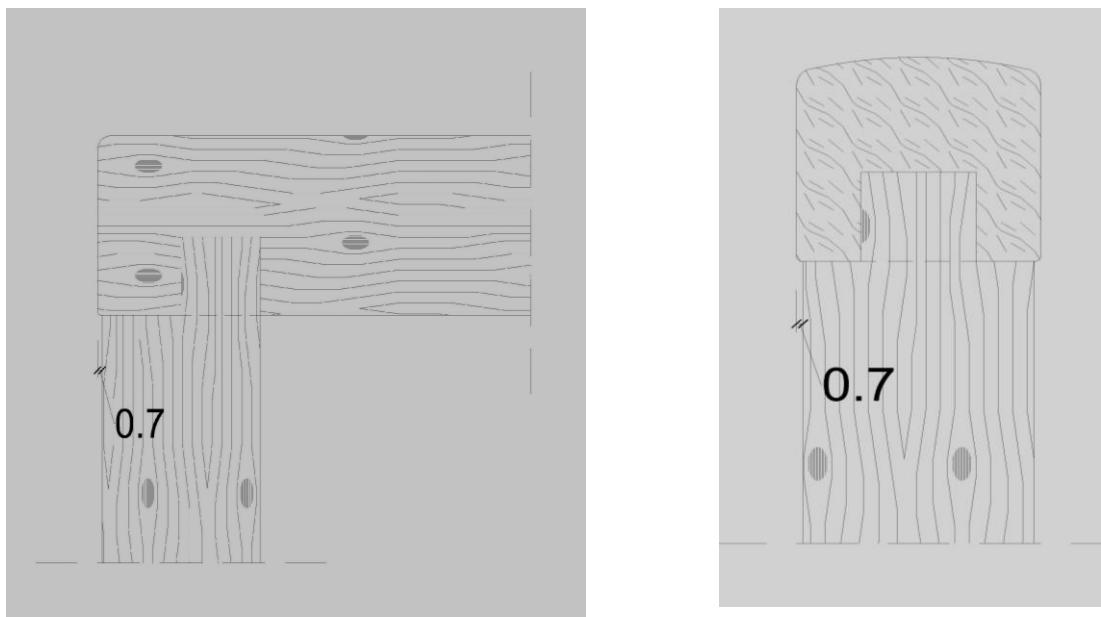


Slika 78: Varianta 2 - postavitev portala na sidro brez prirobnice

Figure 78: Variant 2 - erection of portal on an anchor without flanges

Enostavna tesarska zveza na pero in utor je arhitekturno najbolj čista, tehnično najmanj zahtevna in finančno najugodnejša. Lesna zveza temelji na čvrstem in natančnem spoju dveh elementov, pri katerih ima prvi element pero, drugi pa utor. V primeru portala je pero na vrhu stebra, utor pa je vdelan v spodnji del preklade. Pri portalu se srečata podporni in

podprt element, ki z zvezo prenašata silo drug na drugega. Tudi pri varianti 2 sega preklada čez stebra, ki sta pri vrhu posneta in omogočata odvod vode ter preprečujeta zatekanje vode v stik med preklado in stebroma (slika 79).



Slika 79: Varianta 2:- lesna zveza na pero in utor

Figure 79: Variant 2: - wood joint with tongue and groove

Les smo tesarsko strukturirali in ga pustili, da dobi z časom patino oziroma želeno sivo barvo, ki simbolizira pepel.

4.3 RUSKA KAPELICA NA VRŠIČU

4.3.1 Vzroki za degradacijo kapelice

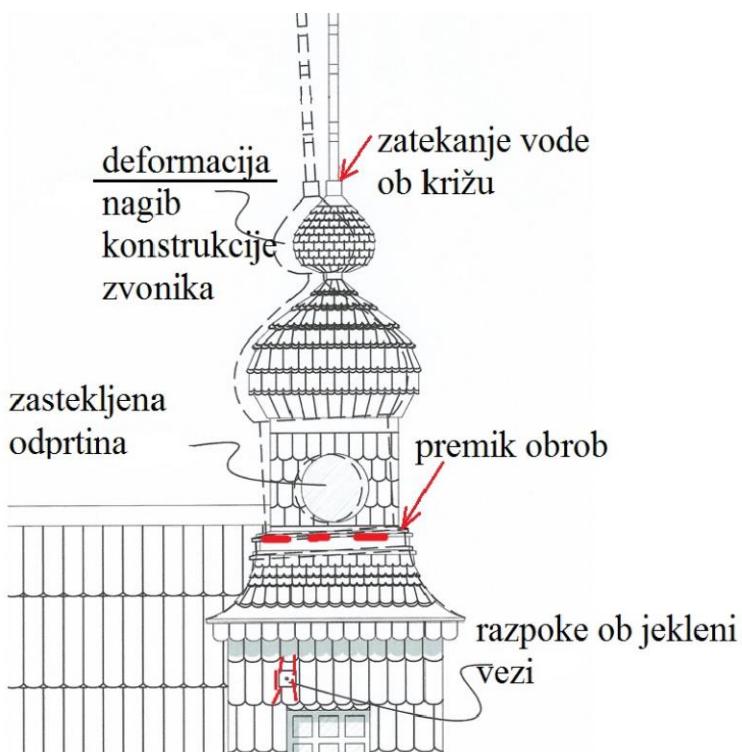
S skromnimi občasnimi finančnimi vlaganji v vzdrževanje objekta, se je pred letom 2005 bolj ali manj zasilno vzdrževalo le zunanjost podobo, medtem ko se konstrukcije ni odpiralo. Konstrukcijske napake iz preteklosti so ostale dolgo časa skrite in je nanje opozoril šele potres 1998. leta.

Ob sanaciji objekta leta 2005, smo pri demontaži fasadnih desk ugotovili razpad spodnjega dela nosilne konstrukcije na stičnih površinah z betonskim zidom.

Vzrok za razkroj lesa je več in so medseboj povezani. Izjemno neugodne klimatske razmere, zlasti visoka zračna vlažnost, so pospešile biološki razkroj lesa. Zaradi izjemno velike vlažnosti v območju in zaradi zatekanja in zastajanja vode v konstrukciji, se les ni sušil. K temu je pripomoglo tudi to, da je bila kapelica zaprta in ni bilo omogočeno zračenje. Zaradi nepravilnih in nestrokovnih tehničnih posegov, je bilo vzpostavljeno stanje konstrukcije, ki je omogočalo zatekanje vode in navlaževanje lesa. Dosedanje tehnične rešitve in ukrepi so se izkazali za napačne in nezadostne saj niso preprečili navlaževanja in prav tako niso ustrezno zagotovili prezračevanja objekta.

Ker je bila pločevinasta obroba le prislonjena h križu, je voda zatekala direktno v konstrukcijo. Stik pločevine s križem je bil tesnjen s prosojnim silikonskim kitom. Kit je zaradi temperaturnih nihanj ter premikov konstrukcije izgubil lepilne lastnosti in odstopil. Odzivi lesa, pločevine in kita niso sinhroni, vsak material ima svoje lastnosti in se na klimatske razmere odziva drugače.

Zaradi navedenega in zaradi premikov konstrukcije ob potresu, je ob križu nastala reža skozi katero je voda zatekala v konstrukcijo zvonika in vlažila les. Posledica navlažitve je bila okužba z glivami in razkroj lesa. Zaradi nagiba obeh zvonikov, je prišlo do odmika obrob in intenzivnega zatekanja vode ob vogalnih nosilnih stebrih vse do betonskega podnožja (slika 80).

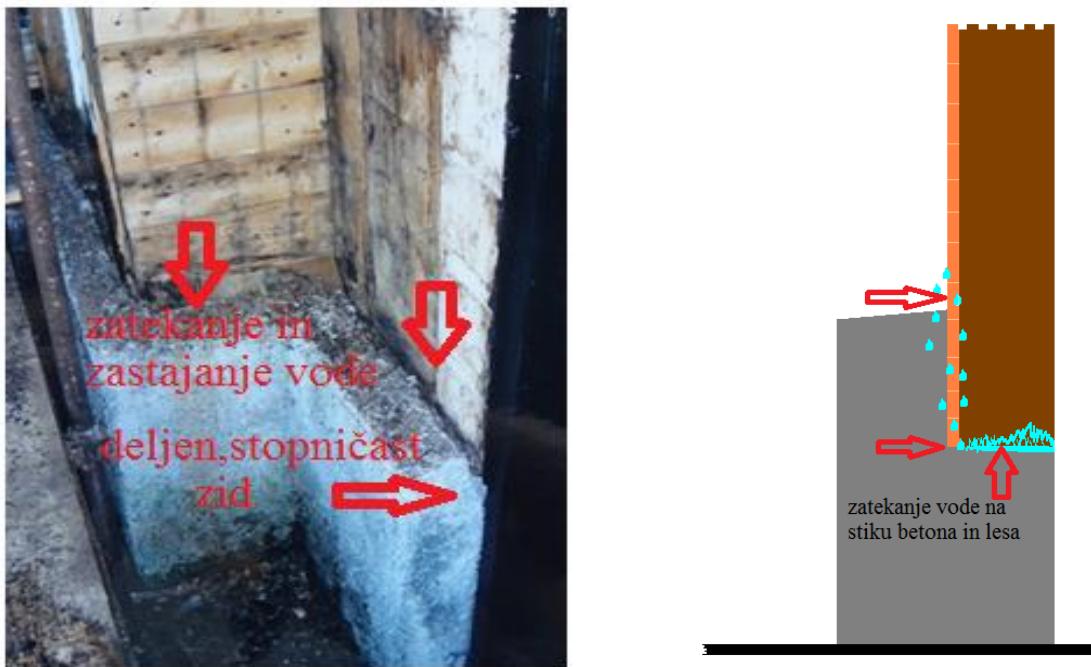


Slika 80: Pogled na kritične točke in poškodbe zvonika zaradi zatekanja vode ob križu, za obrobami in skozi razpokane.

Figure 80: View of the critical points and belfry damage due to water entering at the joint, behind the edgings and through the cracks.

Kapelica je bila pokrita z macesnovimi deskami (dvojno kritje). Ugotovili smo, da je med zgornjim in spodnjim slojem kritine položena hidroizolacija (lepenka), kar v tradiciji pokrivanja z deskami ni običajno. Lepenka je preprečevala sušenje, ob temperaturnih razlikah pa je na spodnjem sloju nastajal kondenz, zaradi česar je kritina trohnela. Zaradi potresa so postali problematični vsi spoji, lesne zveze in stiki, ker je prihajalo do zatekanja vode v konstrukcijo.

Do trohnobe konstrukcijskega lesa in opaža, do višine približno 80 cm nad betonskim podnožjem, je prišlo zaradi zatekanja vode v stik betona z lesenim opažem. V vrhnjem, horizontalnem delu, zid ni ravna ploskev temveč je stopničast in je zunaj višji, znoter pa nižji. Na notranji, nižji del betonskega zidu, ki deluje kot polica, so uprti stebri z opažnimi deskami in so v tesnem stiku z betonom (slika 81).

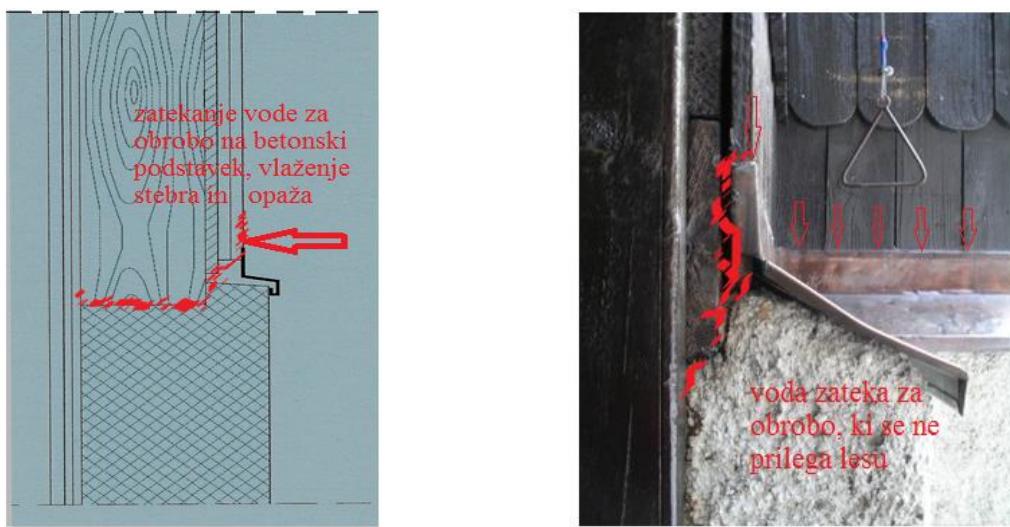


Slika 81: Pogled na kritična mesta zatekanja vode na stiku obložnih desk z betonskim zidom (levo). Voda zateka ob zunanjem horizontalnem opažu, se nabira med zidom in opažem in na spodnji polici, kjer vlaži stebre in opažne deske (skica desno)

Figure 81: View of the critical points of inflow of water at the contact of the cladding with the concrete wall (left). Water flows along the outer horizontal cladding, accumulates between the wall and the cladding and on the lower shelf, where it dampens the pillars and cladding (sketch right)

Ob padavinah je voda zatekala v konstrukcijo skozi fasadne razpoke in ob križu. Problem so bile tudi obrobe, ki se niso prilegale lesu, stiki pa niso tesnili. Kit je bil nanesen le vzdolžno po robu, kontaktne površine med lesom in pločevino pa ni zajel. Ko je sneg presegel višino obrobe, je voda zatekala v stik med obrobo in lesom. Po potresu so se spoji še bolj odprli. Voda je s strehe, zaradi številnih razpok in špranj med deskami, zatekala v notranjost konstrukcije, se izcejala po vogalnih stebrih in opažu direktno v betonski rob, kjer je vlažila notranjo oblogo in lege.

Obroba na betonskem zidu ni bila nameščena za fasadnimi deskami, temveč je bila z zunanje strani s silikonskim kitom pritrjena na opaž. Obroba s kitom se ni dobro prilegal lesu, zato je voda za obrobo zatekala v konstrukcijo, se zadrževala na betonskem podstavku in v stiku vlažila lege, opaž in stebre (slika 82).



Slika 82: Za obrobo, ki se ni prilegala opažu, je voda zatekala na betonski podstavek, se tam nabirala in vlažila stebre in steno kapelice.

Figure 82: Behind the metal flashing, which did not fit the cladding, the water has run onto the concrete base, accumulating there and dampening the columns and the wall of the chapel.

Vogalni leseni stebri kapelice so bili v direktnem stiku z betonsko podlago, ki se je ob padavinah navlaževala in vlažila les. Zaradi razpok na fasadnih deščicah, ki so na zunanjih strani nastale tudi zaradi pribijanja žebljev, je voda tekla za fasadnimi deščicami po opažu v betonski rob, kjer je voda zastajala in daljše obdobje navlaževala stebre in opažne deske, ki so bile zaradi tega tudi najbolj prepojene z vodo. Horizontalno orientiran opaž je pri betonskem zidu zapiral konstrukcijo, kar je preprečevalo zračenje oziroma kroženje zraka in sušenje lesa.

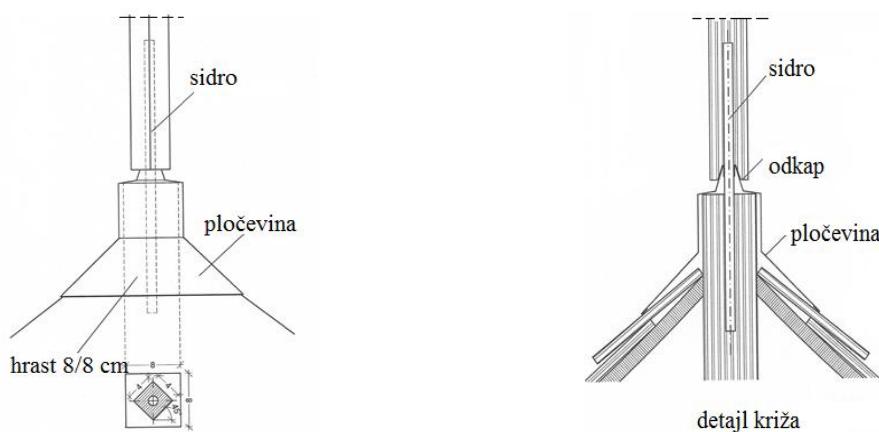
Okolica kapelice je zelo poraščena in ima bolj ali manj skozi vse leto visoko relativno zračno vlažnost, kar omogoča razvoj alg, mahov in glivno okužbo ter zelo počasno sušenje lesa. Macesnov les s katerim je obložena kapelica je smolnat, naravno odporen in je okoljsko prilagojen podnebju. Zato menimo, da so površinski premazi nepotrebni ali celo škodljivi, zato je bila v preteklosti storjena napaka, predvsem pa so uporabili napačen debeloslojni (paronepropustni) površinski premaz. Napako so ponovili tudi pri zadnji obnovi, ko so uporabili tungovo olje. Glive bele trohnobe so najbolj razkrojile smrekov konstrukcijski les. Leta 1998 je potres oslabelo in propadlo konstrukcijo razrahljal in povzročil posedanje konstrukcijskih elementov.

4.3.2 Ukrepi konstrukcijske in kemične zaščite

Ves strohneli nosilni konstrukcijski in tudi nenosilni les smo zamenjali z lesom iste vrste. Kjer je les nalegal na betonsko površino, smo ga s hrastovimi podložkami dvignili od podlage in podložili in s tem preprečili navlaževanje.

Zaradi izjemno slabih klimatskih pogojev in doveznosti lesa za okužbo z glivami, smo les preventivno impregnirali s fungicidno insekticidnim pripravkom Silvanolin. Nepoškodovan les, ki je ostal na spomeniku, je bil pred ponovno uporabo pregledan, očiščen in prav tako prepojen s Silvanolinom.

Z dilatacijo obeh križev, ki sta bila prej konstrukcijsko sestavni del ostrešja, smo preprečili zatekanje vode v zvonik in omogočili vzgonsko zračenje konstrukcije. Nosilec križa in križ smo povezali z centralno vgrajenim 40 cm nerjavečim sidrom. Med nosilcem in križem je 2 cm razmik, kjer smo spodnji del križa pirezali proti centralni izvrtini in uredili odkap ter namestili pločevino. Pločevina na mestu dilatacije sledi pirezu lesa v izvrtino, obdaja spodnji nosilec in se zaključi na čebulasti strehi. Voda tako s križa odteka na pločevino in po njej na čebulasto streho (slika 83).



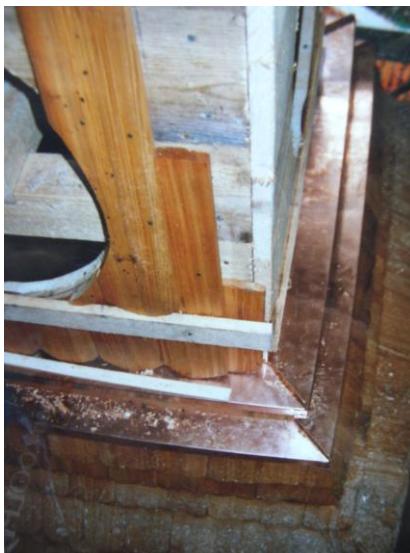
Slika 83: Detajl dilatiranega križa z vgrajenim sidrom in nameščeno bakreno pločevino, ki ne dovoljuje zatekanje vode v konstrukcijo zvonika (levo). Pirez lesa v izvrtino, ureditv odkapa in namestitev pločevine čez nosilec križa na čebulasto streho zvonika (detajl desno)

Figure 83: Detail of dilated cross with a built-in anchor and installed copper sheet, which prevents water from penetrating into the construction of the belfry (left). Cross section of wood in the hole and placing of the sheet metal over the support for the cross on the onion-shaped roof of the belfry (detail right)

Odstranili smo lepenko, ki je bila med slojema kritne na delu ladje in s tem preprečili nastajanje kondenza na notranji strani slepega opaža strehe.

Fasadne macesnove deščice so pritrjene tako, da so žebliji zakriti, kar smo dosegli tako, da zgornja deščica prekrije mesto pribijanja spodnje. Uporabili smo pocinkane žebelje. Na delu strehe na ladji so deske pritrjene s kromovimi nerjavečimi žebelji.

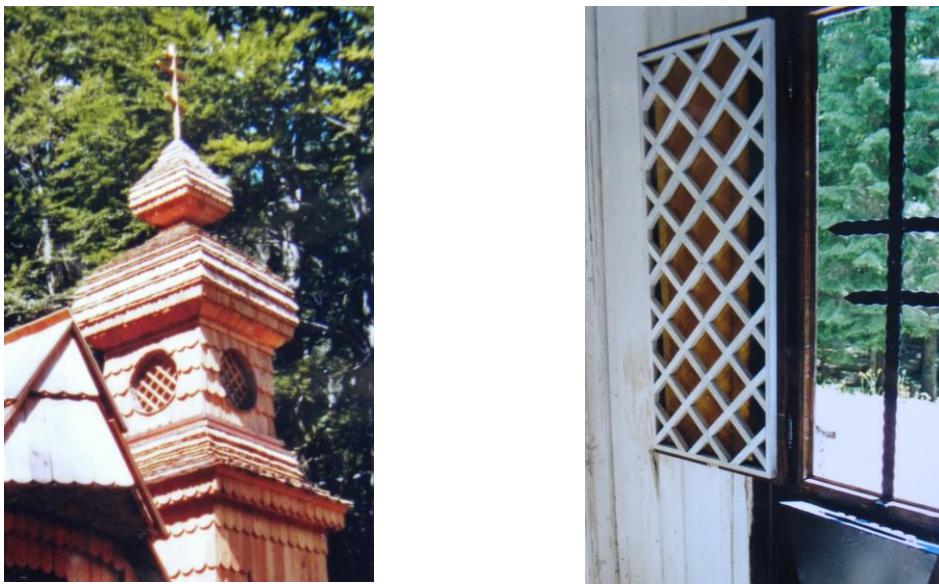
Namestili smo nove bakrene obrobe v žlotah med ladjo in zvonikoma ter na delu betonskega podnožja. Obroba iz bakrene pločevine v naklonu prekriva betonski zid in je povsod vstavljena pod macesnove deske in z bakrenimi žebeljički pritrjena za slepi opaž. Voda tako odteka po opažu na obrobo do odkopalnega robu in proč (slika 84).



Slika 84: Namestitev obrobe za macesnove deščice na zvoniku (levo) in betonskem zidu (desno)

Figure 84: Installation of flashing behind the larch shingles on the belfry (left) and concrete wall (right)

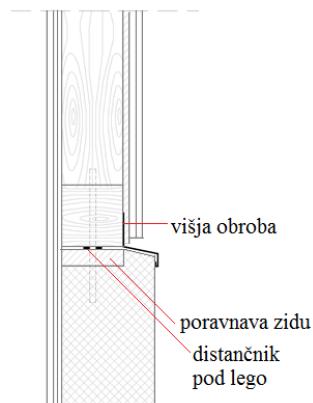
Namesto zasteklitve smo na okrogle odprtine zvonikov namestili lesene mreže, ki omogočajo zračenje. S preuređitvijo zastekljenih fiksnih mrež na odprtinah vhodnih vrat v fleksibilne, smo omogočili zračenje osrednjega dela kapele in s tem tudi kroženje zraka (slika 85).



Slika 85: Z namestitvijo mrež na okroglih oknih zvonika (levo) in s preureditvijo odprtin na vhodnih vratih iz fiksnih in zastekljenih v fleksibilne, je omogočeno kroženje zraka oziroma zračenje notranjosti zvonika in osrednjega dela kapel (desno).

Figure 85: Installing lattice on the windows of the belfry (left) and rearranging openings on the entrance door from fixed to flexible enables air circulation or ventilation inside the belfry and the central part of the chapel (right)

Zgornja površina betonskega podnožja ob izvedbi ni bila poravnana. Ker bi ob morebitnih ponovnih premikih konstrukcije lahko ponovno prišlo do zatekanja vode, smo predlagali, da se površina poravna, bakrena obroba namesti nekoliko višje za opažne deske ter pod lego namesti distančnik, da se bo dvignjena od podlage lahko zračila in sušila (slika 86).



Slika 86: Predlog izravnave poravnave vrhnje ploskve betonskega zidu, dviga konstrukcijskega lesa na distančnike in namestitev obrobe višje za opažne deske (desno)

Figure 86: Proposal for leveling the top surface of the concrete wall, raising structural timber on the spacers and installing flashing higher behind the cladding boards (right)

Da smo v okolici kapelice znižali visoko relativno zračno vlago, smo razredčili gozdni sestoj in odprli koridor v smeri zračnih tokov. S tem, smo omogočili osončenje in prevetrovanje območja okoli kapelice (slika 87).



Slika 87: Razredčen gozd in odprt zračni koridor prispeva k boljšemu pretoku zraka in osončenju območja kapelice.

Figure 87: Thinned forest and open air corridor contributes to better air flow and more light in the area of the chapel.

S konstrukcijskimi ukrepi na samem objektu in ureditvijo njegove okolice so se izboljšali pogoji ohranjanja kapelice in posledično zmanjšani stroški vzdrževanja.

4.4 PARTIZANSKA BOLNIŠNICA KRTINA NA JEZERSKEM

Zgodovinski objekt nima urejenega rednega vzdrževanja in je prepuščen sam sebi. Redke akcije čiščenja nekoliko omilijo situacijo, toda te običajno stečejo takrat, ko je škoda že storjena.

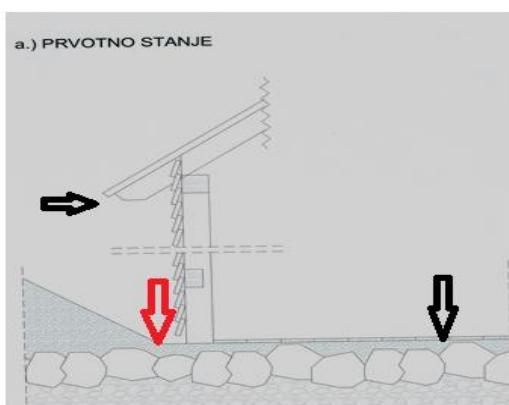
4.4.1 Vzroki za degradacijo objekta

Pogoji za biološki razkroj lesa rekonstruirane bolnišnice so bili vzpostavljeni že s samo postavitevijo objekta v gorskem gozdnatem območju z visoko relativno vlažnostjo zraka in nizkimi temperaturami. Prvo bolnišnico, zgrajeno za začasne namene, so že med vojno požgali. Repliko prvotne bolnišnice, ki se je ohranila do 1974. leta, so v povojnem obdobju ohranjali le z rednim vzdrževanjem in občasnimi zamenjavami lesa. Osnovna

pomanjkljivost tako pri gradnji prvotne kot pri gradnji replike je bila v tem, da niso bili upoštevani principi konstrukcijske zaščite lesa. Z načinom vgradnje je bil konstrukcijski in opažni les izpostavljen vlaženju, zato se je naravna odpornost vgrajenega lesa z časom zmanjševala.

V pogojih neugodne gorske klime je bolnišnica izpostavljena visoki koncentraciji zračne vlage in nizkim temperaturam. Zaradi gozda jo UV sončni žarki ne dosežejo v polni meri. Vzrok za slabo stanje objekta, posebej še razkroj lesa, je več in učinkujejo istočasno ter v sinergiji.

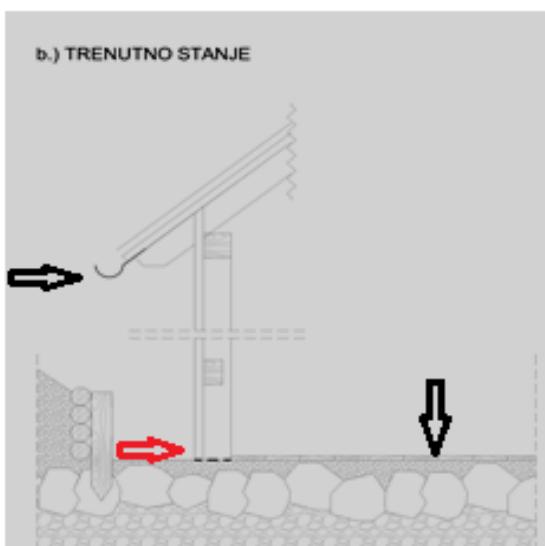
Vzrok za takšno stanje je več. Objekt je bil postavljen na manjšem utrjenem platoju ob strmem terenu. Za objektom je ozek pas poravnanega terena, kjer ni bilo ne mulde ne drenaže ali drugačnega odvodnjavanja. Streha z naklonom proti brežini je bila brez žleba in se je zato voda s strehe nabirala tik ob objektu, kjer je vlažila stebre in opaž. Poleg meteorne vode s strehe, se je zaradi strmine in prenizke ograde z brežine v objekt kotalil drobir in drug gozdni material, ki je preprečeval odtekanje vode, nakopičeno in namočeno blato pa je vlažilo les in onemogočalo njegovo sušenje. Podne in opažne deske ter nosilni leseni elementi so bili stalno v direktnem stiku z vlažno zemljo, zato se les na stičnih površinah z zemljo ni sušil (slika 88).



Slika 88: Prikaz (prerez) glavnih kritičnih točk pri repliki objekta do leta 1974. Streha brez žleba, stebri in podne deske na vlažnih tleh, strm teren in voda za objektom

Figure 88: View (section) of the main critical points in the replica facility up to 1974. The roof without a gutter, the pillars and floor boards on the wet ground, steep terrain and water behind the object

Trenutno stanje objekta, kljub nekaterim izboljšavam pri zadnji obnovi, ni zadovoljivo in ima pomanjkljivosti. Vertikalni opaž je pri tleh izpostavljen škropenuju in vlaženju s tal, podne deske ležijo na vlažnih tleh. Pod nosilnimi stebri je cementna prevleka z lepenko od katere se voda odbija v opaž in na neravnih mestih izpod opaža zateka v notranjost objekta, kjer zateka in se zadržuje pod deskami poda. Voda z lesenega žleba teče in se zadržuje ob fasadi objekta. Zaradi nezadostnega naklona terena in nakopičenega blata zastaja tik ob objektu, kjer vlaži stebre in opaž (slika 89).



Slika 89: Prikaz (prerez) kritičnih točk vlaženja lesa pri trenutni zasnovi objekta. Strm teren za objektom je zavarovan s prenizko ogrado, ki ne zadržuje gozdnega materiala, raven teren omogoča zatekanje vode v hrbtno steno, nosilni stebri na izolaciji, deske poda na vlažnih tleh

Figure 89: View (section) of critical points of wetting of wood in the current design of the building. The steep terrain behind the object is secured by too low a fence, which does not retain the forest material, the flat terrain allows water to flow onto the rear wall, supporting pillars on insulation, floor boards on the wet ground

Zgodovinski objekt partizanske bolnišnice Krtina nima urejenega rednega vzdrževanja. Redke akcije čiščenja nekoliko omilijo situacijo, toda te običajno stečejo takrat, ko je škoda že storjena.

Objekt leži na vlažnih tleh. Za objektom je ograda, ki precej zapira objekt in vpliva na slabše prezračevanje hrbtnne stene bolnišnice. Obenem se, zaradi prenizke ogarde in utesnjenosti, med ogrado in objektom nakopičeno blato slabše premika in tudi onemogoča zračenje in sušenje spodnjega dela hrbtnne stene (slika 90).



Slika 90: Izrazito vlaženje sten s tal in zapiranje nakopičenega blata za objektom

Figure 90: Pronounced wetting of the walls from the floor and trapping accumulated mud behind the object

Vzrok za propad lesa je v stalni izpostavljenosti le tega vlaženju in v nezmožnosti sušenja, ker je, kljub zračenju skozi reže opaža, zrak vlažen (slika 91).



Slika 91: Na posameznih mestih so reže med opažnimi deskami sten precej široke. Veter zanaša vodo v objekt in moči še notranji opaž in stebre

Figure 91: In some places the gaps between the cladding boards are quite wide. Wind carries water into the object and wets even the inner paneling and pillars

Razkroju lesa bistveno prispeva sama konstrukcija objekta. Vogalni nosilni stebri so položeni direktno na vlažna tla in je s tem omogočeno vlaženje stebrov na spodnjih reznih površinah. Tudi fasadne deske segajo do tal in vpijajo vodo iz tal. V objektu smo ugotovili plesen in belo trohnobo (slika 92).



Slika 92: Trohnoba lesa na stebrih in deskah pod pogradom

Figure 92: Rotting of wood on the pillars and boards under the bunk bed

Vlažne in strohnele deske so bile v spodnjem delu prepleskane z apnom, kar v tako vlažnem okolju ni učinkovita zaščita. Zaradi prepojenosti z vodo in razgradnje lesnih sestavin so madeži izbili na površino opleska (slika 93).



Slika 93: Apneni oplesk in madeži v podnožju zahodne fasade

Figure 93: Lime coating and staining at the foot of the western façade

V enem ob občasnih akcijah čiščenja so ob fasado položili desko, ki naj bi zaščitila podnožje fasade pred močenjem, vendar voda vseeno zahaja za desko, deska obenem zapira vlago in preprečuje tako zračenje kot sušenje navlaženega lesa. Vpliv talne vlage ni preprečen (slika 94).



Slika 94: Vertikalno prislonjena deska ob hrbtno steno ob objekta ni ustrezna zaščita pred vlaženjem

Figure 94: Vertical leaning board on the rear wall of object is not adequate protection against wetting

Sodeč po znakih vlaženja s tal, je najbolj dežju izpostavljena prednja fasada, ki jo napušč zaradi višine na tem delu objekta najmanj ščiti. Voda se po fasadi izceja direktno v stik med cementno plastjo vrh temelja in lesom. Prvotno je bil temelj narejen kot kamnita zložba brez veziva in je voda med kamni odtekala, sedaj pa ji to preprečuje cementirana površina. Razpokani in mestoma proti objektu nagnjeni deli cementne prevleke omogočajo zatekanje vode v notranjost objekta (slika 95).



Slika 95: Skozi reže med fasadnimi deskami in skozi odprtine na delu razpokane cementne prevleke temelja, voda zateka v notranjost objekta in vlaži spodnje dele desk in stebrov ter pod.

Figure 95: Water flows into the interior of object through gaps between the facade boards and through cracks in the cement coating of the foundation, and wets the lower parts of the boards and pillars, as well as the floor.

Iz opisa poškodb je razvidno, da so poleg neugodnih klimatskih pogojev za slabo stanje spomenika krivi tako neustrezna konstrukcija kot napake ob rekonstrukcijah oziroma vzdrževanju.

4.4.2 **Ukrepi konstrukcijske zaščite**

Zaradi slabega stanja objekta in ugotovljenih konstrukcijskih nepravilnosti, smo se odočili za rekonstrukcijo objekta na osnovi ohranjene fotografije. Pri rekonstrukciji smo sledili strokovni doktrini približevanja prvotni podobi objekta ter smo zato opaž položili horizontalno.

Streho smo dvoslojno prekrili z macesnovimi skodlami, na čela smo namestili zaščitno mrežico in namestili lesen žleb. S poglobljeno naravno muldo, smo v naklonu za objektom in ob stranskih fasadah uredili odvodnjavanje objekta. Druga rešitev s katero je bilo možno urediti odvodnjavanje, je bila izvedba drenaže, pri čem bi lahko prišlo do neželenega poseganja v grob padlega borca, ki je v bližini objekta. Odločili smo se za naravno muldo, ker sovpada z okoljem in je tehnično nezahtevna.

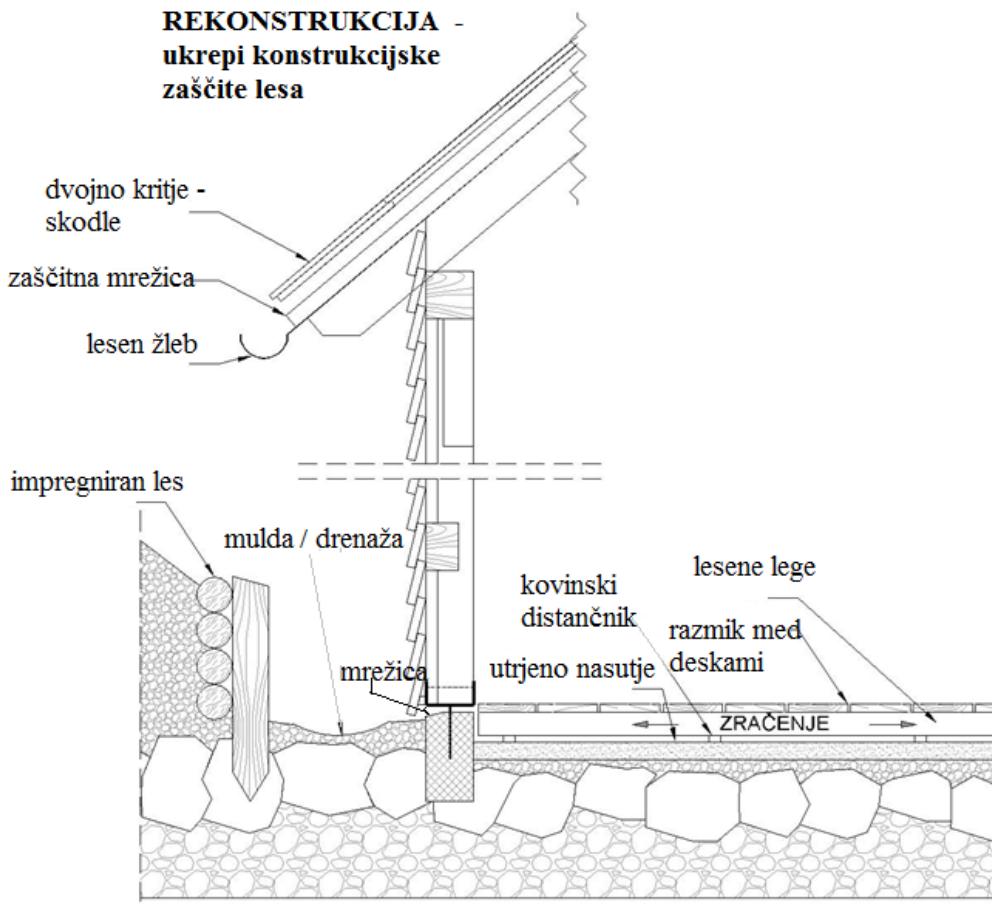
Pri rekonstrukciji smo upoštevali načela konstrukcijske zaščite in leseno konstrukcijo dvignili od tal, s čimer smo preprečili vlaženje lesa s tal ter omogočili kroženje zraka in sušenje lesa.

Temelje objekta smo izdelali s kamenjem, ki smo ga nabrali v okolici. V vogale in sredino zidanega temelja smo vgradili betonske podstavke z nerjavečimi kovinskimi nosilci za stebre, ki smo jih vanje privijačili.

Podne deske smo v medsebojnem razmiku in odmiku od sten položili na lesene lege, ki pa smo jih z distančniki dvignili od tal. Ker so distančniki nekoliko višji od utrjenega nasutja, zrak pod deskami in legami nemoteno kroži.

Les ograde za objektom je vkopan v zemljo, zato smo ga globinsko impregirali s Silvanolinom. Izpostavljene zgornje ploskve pilotov smo prirezali v naklonu proti muldi, da voda z njih hitro odteka in se ti sušijo.

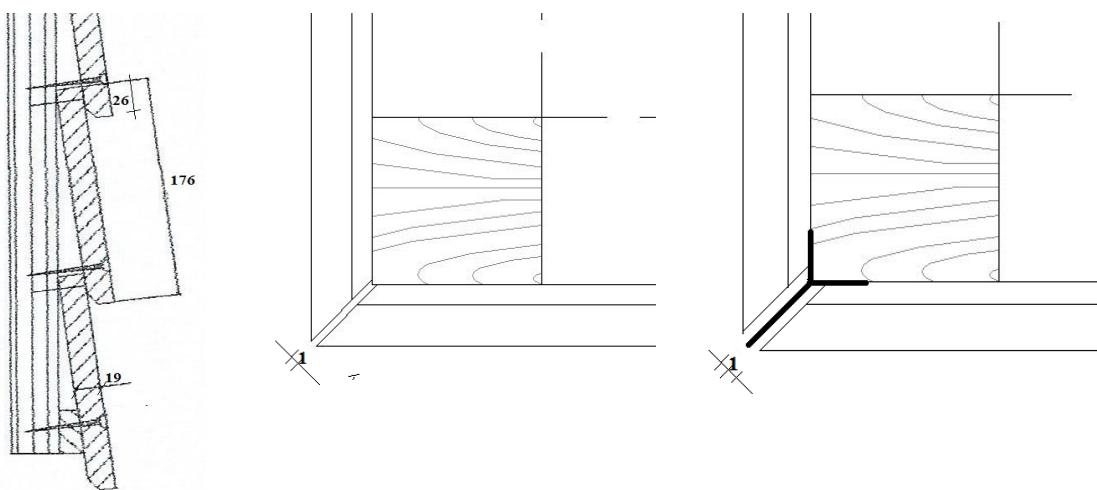
Predlagana konstrukcija omogoča, da se vgrajeni les zrači, saj je zagotovljeno kroženje zraka med legami, skozi reže v tleh in ob stenah ter najbolj nad kamnito podlogo izpod spodnje fasadne deske. Prav tako je omogočeno zračenje pod napuščem, kjer je nameščena pocinkana mrežica. Mrežica je nameščena tudi na hrbtno stran spodnje letve in seže do kamnitih temeljev, s čimer je preprečen dostop glodavcem (slika 96).



Slika 96: Z dvigom stebrov in talne konstrukcije na distančnike, je preprečeno vlaženje lesa s tal. Z namestitvijo žleba in poglobitvijo mulde v terenu, je speljana voda proč od objekta. Z ograjo je preprečeno rušenje zemlje v objekt, impregnacija pa podaljša trajnost v zemljo vgrajenega lesa. Z medsebojnim razmikom desk in odmikom od sten, je dosegno boljše prezračevanje podne konstrukcije. S horizontalno orientacijo opažnih desk smo vzpostavili podobo prvotnega spomenika.

Figure 96: Raising the pillars and floor structures on spacers prevents wetting of the wood from the ground. By installing a gutter and by deepening the gully in the ground, water is channeled away from the house. The fence prevents the earth from collapsing onto the building and impregnation improves the durability of the wood embedded in the ground. The mutual action of spacing the boards and distance from the walls achieves better ventilation of the floor structure. The horizontal orientation of the cladding boards recreates the original appearance of the monument.

Fasadne deske smo orientirali horizontalno in v naklonu tako, da zgornja deska prekriva vrh spodnje deske in žebelj na spodnji deski. Spodnji deli desk so bili prirezani v naklonu 15 °, da voda odteka in ne moči stika med deskama. Deske smo vijačili s pocinkanimi vijaki za les (slika 97).



Slika 97: Horizontalni fasadni opaž smo zabilo s pocinkanimi žebliji, v spodnje delu deske prekrivajo žebelj spodnje deske (levo). Opaž je na vogalu zaključen z razmikom med deskami za 1 cm in se zrači (v sredini). Vogal stebra je možno zaščiti s kovinskim elementom in razmikom desk za 1 cm (desno)

Figure 97: The horizontal facade cladding was nailed with galvanized nails, with the lower part of the boards overlapping the nail of the lower board (left). The cladding is completed at the corner with spacing boards to 1 cm and is ventilated (right). The corner pillar can be protected with a metal element and spacing the boards at 1 cm (right)

Objekt smo zaščitili z ukrepi konstrukcijske zaščite in detajle oblikovali tako, da voda odteka in se les zrači. Način vgradnje in konstrukcijski detajli omogočajo enostavno, vzdrževanje z menjavo lesa. Ker smo s konstrukcijo odpravili direktno navlaževanje, bo les dlje časa ohranjal naravno odpornost. Zaradi sistemskih ukrepov, bodo posegi omejeni bolj na redno vzdrževanje mulde in žleba ter občasno menjavo lesa. Kemične zaščite in površinskega premaza nismo predvideli, ker tudi prvotna bolnišnica ni bila tretirana s premazi.

V območju bolnišnice smo opravili potrebno redčenje gozda in s tem omogočili boljšo osončenost in prezračenost, kar bo pripomoglo večji prevetrenosti okolice spomenika.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Izvajanje ukrepov na objektih kulturne dediščine je posebej občutljivo področje. Da bi objektom kulturne dediščine zagotovili zaščito in jim podaljšali trajnost moramo posegati v njihovo strukturo. Poseg v dediščino je zaradi tega tvegano dejanje, saj s tem, ko jo hočemo zaščititi pred propadom lahko nehote povzročimo izgubo njene avtentičnosti. Kadar je ogrožen ali celo nepravilno izdelan detajl, ki je obenem varovan, vselej zahteva razmislek in odločitev na kakšen način in v kakšni meri posegati vanj. Na tej ravni se strokovna stališča pogosto razhajajo in dopuščajo različni kompromisi. Odpira se vprašanje kako istočasno posegati v detajl in obenem ohraniti njegovo podobo in kje je meja dopustnega?

Z izvedbo sanacijskih ukrepov in ukrepov konstrukcijske zaščite smo vzpostavili prvotno arhitekturo objektov, odpravili konstrukcijske napake in objekte razbremenili motečih elementov, ki so povzročali poškodbe in propad lesa. S tem smo zadostili zahtevam po statični varnosti, funkciji in lepoti arhitekture (Jokilehto, 1986). S konstrukcijsko zaščito smo izboljšali pogoje ohranjanja in omogočili enostavnejše ter cenejše sistemsko vzdrževanje in spremeljanje stanja.

S konstrukcijsko zaščito objektov kulturne dediščine nismo popolnoma preprečili navlaževanja lesa temveč smo z izvirnimi rešitvami prispevali k njegovi umiritvi. Tako na primer spomenika in portala nismo lepili na nosilno vertikalno cev, temveč smo potrebno statično stabilnost dosegli s podaljšanjem cevi in izvtine, dveh zakritih elementov, ki skupaj, čeprav nista togo povezana, opravljata nosilno funkcijo, kar je rezultat naših študij. Vseh premikov nismo zanesljivo preprečili, kot navaja Wallner (2004), ker bi s togim vpetjem povzročili nove nepredvidene odzive in napetosti v lesu. Izvedena statično potrjena nosilna sistema pri radomeljskem spomeniku in kamniškem portalu likovno sooblikujeta arhitekturno podobo in sta podrejena konstrukcijski zaščiti oziroma jo omogočata, obenem pa izboljšujeta statičnost in zunanjo podobo spomenikov, ki sta zaradi napačne konstrukcije in neustreznih rekonstrukcij izgubili prvotne lastnosti.

Predlagane in razvite konstrukcijske rešitve funkcionalno ščitijo izpostavljene dele spomenikov pred navlažitvijo, omogočajo odtekanje vode in zračenje kritičnih mest. Vzdrževanje in spremljanje stanja spomenika lahko sedaj poteka brez kakršnihkoli destrukcij. Toda država žal ni vzpostavila zadovoljivega sistema rednega monitoringa spomenikov.

Čeprav je spremljanje stanja pomembno za pravočasno načrtovanje potrebnih posegov, je pri dislociranih javnih spomenikih, zaradi stroškov, izvajanje pregledov preporedko in zato niso vzdrževani (Despot, 2001). V tem pogledu smo še daleč od rednih servisnih služb, kakšne so zahtevali že renesančni arhitekti (Jokilehto, 1986). Kljub vsemu smo predvideli občasne enostavne kontrole, ki bodo pokazale ali so bili predlagani konstrukcijski ukrepi učinkoviti in bodo bodoči vzdrževalni posegi nepotrebni oziroma enostavnejši.

Ob izvedeni obnovi se poraja vprašanje možne ponovitve restavratorskih postopkov in reverzibilnosti materialov, kot to zagovarja Smidt (2006). Za restavriranje smo predlagali nelesne materiale, katerih lastnosti so sicer testirane, ni pa znan njihov vpliv na delovanje lesa in kako se odzivajo na spremembe vlage in temperature na konkretnem spomeniku. Ob morebitni obnovi se postavlja vprašanje ali bi pri ponovnem restavriranju uporabili iste ali podobne površinske premaze, lepila in druge pomožne materiale. Čeprav so postopki obnove formalno tehnično ponovljivi, jih bo treba pri ponovnih postopkih prilagajati konkretnemu stanju in morda pri tem uporabiti materiale, ki ne bodo enaki prejšnjim.

Druga dilema se nanaša na pravilnost postopka in poznavanje vseh dejstev glede uporabljenih materialov (Russell, 2002). Spomenike smo med restavriranjem dobro spoznali, kot to predpostavlja Morris (2013). Izvedli smo vse načrtovane ukrepe konstrukcijske in kemične zaščite, katerih učinke bo treba praktično spremljati.

Razvite izvirne rešitve bodo pripomogle k boljšemu reševanju podobnih kulturno-zgodovinskih spomenikov, zato so primeri izvedene konstrukcijske zaščite bistveni za področje konservatorstva ter pomenijo strokovni napredek v dosedanjem pojmovanju ohranjanja kulturne dediščine.

5.2 SKLEPI

Predmet raziskave je bila konstrukcijska zaščita štirih lesenih zgodovinskih objektov kulturne dediščine na prostem, ki so bili v slabem stanju.

Za raziskavo smo izbrali:

- Lesen spomenik na grobišču borcev druge svetovne vojne v Radomljah
- Rusko kapelico na Vršiču
- Lesen portal spomenika Francetu Balantiču v Kamniku
- Partizansko bolnišnico Krtina na Jezerskem

V raziskavi smo objekte vsestransko analizirali in ugotavljali vzroke za poškodbe in trohnobo lesa. Ugotovili smo, da so izbrani objekti ogroženi zaradi napačne konstrukcije oziroma napačne vgradnje lesa, ki je omogočala navlaževanje lesa in zatekanje vode v konstrukcijo, kar je privedlo do razkroja lesa. K temu so prispevali še neugodni klimatski pogoji in slabo vzdrževanje.

Za vsak objekt posebej smo pripravili predlog ukrepov konstrukcijske zaščite lesa in tehnične rešitve, ki temeljijo na načelih konstrukcijske zaščite. S konstrukcijskimi ukrepi oziroma s pravilno vgradnjo lesa smo preprečili navlaževanje lesa in zatekanje vode v konstrukcijo. S konstrukcijo smo zagotovili hitro odtekanje vode, zračenje in sušenje lesa. Z ukrepi v okolini (mulda, drenaža, naklon terena) smo vodo odpeljali proč od objektov.

Na ruski kapelici na Vršiču in na lesenem spomeniku na grobišču borcev druge svetovne vojne v Radomljah smo konstrukcijsko zaščito izvedli, partizanska bolnišnica Krtina in spomenik Francetu Balantiču pa čakata na izvedbo.

Za oba javna spomenika, spomenik na grobišču borcev in lesen portal spomenika Francetu Balantiču, smo razvili izvirna sistema postavitve in ju tudi potrdili s statičnim računom.

Z novo, izvirno postavitvijo je bil spomenik v Radomljah dvignjen od podstavka in nameščen na podaljšano cev in nastavljive nogice. Z dvigom od podstavka smo preprečili,

da bi še naprej ležal v vodi, omogočili smo nemoteno odtekanje vode, zračenje in sušenje spodnjih površin, kontrolo nastavitev, nedestruktivno demontažo in lažje vzdrževanje. Razviti izvirni sistem postavitve je bistveno izboljšal likovno podobo spomenika, saj so nosilni deli spomenika skriti. Sistem postavitve preprečuje navlaževanje lesa iz podstavka ter omogoča, da voda hitro odteče ter se spodnji del spomenika zrači in suši.

Ker delovanja lesa in morebitih razpok ni mogoče popolnoma preprečiti, smo večje razpoke spomenika sanirali in drenirali ter skozi izvrtilne omogočili zračenje le teh. Pri dvigu spomenika od podstavka so bili materiali (kamen – kovina - les) medseboj dilatirani kar prispeva k blaženju vibracij ter preprečuje korozijo.

Z izvedenimi konstrukcijskimi ukrepi in izvirnimi tehničnimi rešitvami smo pri izbranih spomenikih preprečili zatekanje vode v konstrukcijo ali zadrževanje le te v njej. S sistemskimi konstrukcijskimi ukrepi in specifičnimi izvirnimi rešitvami smo izboljšali konstrukcijo in podaljšali trajnost lesa. S tehničnimi rešitvami smo omogočili kontrolo stanja, lažje vzdrževanje, zmanjšali smo stroške vzdrževanja ter objektom vrnili spomeniške lastnosti. Tako smo partizanski bolnišnici Krtina z rekonstrukcijo povrnili prvotni izgled, ki ga je bila izgubila zaradi napačnih posegov v preteklosti.

Namen konstrukcijske zaščite je bil odpraviti konstrukcijske napake iz preteklosti, preprečiti nadaljnji razkroj lesa in izboljšati pogoje ohranjanja dediščine. Zato je bilo treba najprej odpraviti vire navlaževanja in s konstrukcijo vzpostaviti pogoje v katerih bo les ostal zračno suh in bo čim dlje časa ohranil svoje lastnosti.

Predloge in tehnične rešitve smo temeljili na načelih konstrukcijske zaščite ter jih prilagajali tako ohranjanju kot ponovnem vzpostavljanju dediščinskih lastnosti posameznega objekta.

Raziskava je pokazala, da izvirni konstrukcijski ukrepi zaščite lesa predstavljajo nov pristop pri ohranjanju lesenih objektov kulturne dediščine in bistveno vplivajo na trajnost objektov.

Načrtovanje ukrepov konstrukcijske zaščite mora postati sestavni del projektov in konservatorskih načrtov prenove lesenih in drugih objektov kulturne dediščine, kjer je les uporabljen.

Razvite tehnične rešitve konstrukcijske zaščite izbranih spomenikov so lahko vzorčni model za urejanje podobnih spomenikov kjerkoli na svetu in lahko pripomorejo k usmeritvi stroke k sodobnim načelom v konservatorstvu, restavratorstvu in varovanju okolja.

6 POVZETEK / SUMMARY

6.1 POVZETEK

Lesene objekte kulturne dediščine, ki so izpostavljeni zunanjim klimatskim razmeram in s tem biotskim in abiotskim dejavnikom, ne moremo zaščititi pred propadanjem le s površinskimi premazi in kemičnimi pripravki, saj ti ne morejo preprečiti delovanja lesa. Zaradi dimenzijskih nestabilnosti nastajo napetosti, ki vodijo v razpoke in distorzije lesa. To še zlasti velja za področja z neugodnimi klimatskimi razmerami.

V raziskavi smo obdelali štiri zgodovinske spomenike, ki so z evidenčnimi številkami dediščine (EŠD) vpisani v register kulturne dediščine:

- EŠD 10715 Radomlje - Grobišče in spomenik padlim borcem NOB
- EŠD 12019 Kamnik - Spomenik Francetu Balantiču na Novem trgu
- EŠD 855 Vršič – Ruska kapelica
- EŠD 25278 Zgornje Jezersko – Partizanska bolnišnica Krtina

Ruska kapelica na Vršiču in partizanska bolnišnica Krtina na Jezerskem sta, zaradi neustrezne konstrukcije in izrazito neugodnih klimatskih razmer visokogorja z visoko relativno zračno vlažnostjo in veliko količino padavin, zelo ogroženi.

Hrastov spomenik na Grobišču borcev druge svetovne vojne v Radomljah in hrastov portal Spomenika Francetu Balantiču v Kamniku sta bila zaradi napačnih posegov in neustrezne konstrukcije statično ogrožena in močno poškodovana. Spomenika sta vzorčna primera urejanja konstrukcijske zaščite lesenih javnih spomenikov v urbanem okolju.

Namen naše raziskave je bil s sodobnimi, izvirnimi pristopi konstrukcijske zaščite preprečiti njihov propad in hkrati ohraniti njihovo značilno podobo. Zaradi napačne konstrukcije je prišlo do navlaževanja, zatekanja in zadrževanja vode v konstrukcijo, kar je privedlo do poškodb in razgradnje lesa, kar so pospešile še neugodne klimatske razmere.

V raziskavi izbranih objektov smo izvedli:

- detajlni vizualni pregled, dokumentacijo in analizo poškodb;
- meritve in načrtovanje ukrepov konstrukcijske zaščite;
- konstrukcijsko zaščito Ruske kapelice na Vršiču in spomenika na grobišču borcev druge svetovne vojne v Radomljah;
- statični račun za postavitev hrastovega spomenika v Radomljah;
- statični račun za postavitev portala Balantičevega spomenika v Kamniku;
- laboratorijsko preiskavo zaščitnega sredstva na Partizanski bolnišnici Krtina na Jezerskem;
- gozdno gospodarske ukrepe za boljšo osončenost in prevetrenost območja Ruske kapelice na Vršiču in območja Partizanske bolnišnice na Jezerskem

V fazi načrtovanja in urejanja konstrukcijske zaščite smo na vseh objektih opravili detajlni pregled konstrukcije, analizirali vlogo, lego in obliko vsakega detajla konstrukcije z vidika konstrukcijske zaščite. S projektno tehničnimi rešitvami smo zagotovili, da voda hitro odteka ter se les zrači in suši. S konstrukcijo smo peprečili zatekanje vode v konstrukcijo ali zadrževanje le te v njej. Detajle na spomenikih smo izvedli nevpadljivo in sledili doktrini ohranjanja še zdrave materialne substance in njihove izvirne oblike.

Pri spomeniku na grobišču borcev NOB v Radomljah in pri spomeniku Francetu Balantiču v Kamniku, ki imata močan simbolni pomen, smo ugotovili, da so nastale poškodbe posledice dosedanjih napačnih načinov pritrditve. Ob urejanju konstrukcijske zaščite smo zato odstranili stara pritrnilna elementa in za ponovno postavitev spomenikov razvili izvirni rešitvi, ki poleg statične varnosti in kontrole nastavitev omogočata hiter odtok vode, zračenje in sušenje lesa.

Za ponovno postavitev spomenikov smo izdelali statični račun v skladu z veljavnimi tehničnimi predpisi in tako zagotovili zanesljivo stabilizacijo obeh spomenikov. Pri obeh spomenikih sta pritrnilna sistema podrejena konstrukcijski zaščiti in sooblikujeta izvirno spomeniško podobo.

Izvedeni ukrepi konstrukcijske zaščite (dvig lesa od tal, dilatacije in nakloni, drenaže in prierezi lesa, namestitev obrob in nosilnih nerjavečih elementov, uporaba preizkušenih kemičnih pripravkov) so tehnično nezahtevni in ponovljivi ter omogočajo nedestruktivno zaščito in ohranitev dediščinskih lastnosti spomenikov.

V nalogi smo si zadali cilj konstrukcijsko zaščititi objekte in s tem preprečiti njihov propad, saj smo pri vseh odkrili konstrukcijske napake in troh nobo lesa. Zaradi izvedenih konstrukcijskih ukrepov so se izboljšale lastnosti konstrukcije, ki omogočajo, da voda z lesa odteka hitro ter se les zrači in suši. Preprečitev navlaževanja lesa in zatekanja vode v konstrukcijo, vpliva na trajnost lesa.

Zaradi boljših konstrukcijskih rešitev, ni potrebno pogosto posegati v spomenike in se zaradi tega zmanjšajo finančna vlaganja v obnove spomenikov.

Pri ruski kapelici smo z dvigom leg od betonskega zidu omogočili zračenje leg in sten. Oba križa smo tik nad čebulastima stehama zvonikov dilatirali. Z obrobami na dilatiranih mestih smo preprečili zatekanje vode v konstrukcijo in dosegli vzgonsko gibanje zraka v zvonikih, kar prispeva k zračenju zvonikov. Z namestivijo obrob na stiku fasade z betonskem zidom smo preprečili zatekanje vode v konstrukcijo. Prezračevanje smo izboljšali tudi s predelavo prej zastekljenih vratnih odprtin in odprtin zvonika. Stekla vrat smo vgradili v posebni okvir, ki se odpre, na odprtine zvonika pa smo namestili mreže.

Za obnovo spomeniško varovanih objektov po načelih konstrukcijske zaščite, smo se odločili, ker imajo tovrstni zgodovinski objekti posebni kulturni status in povsod še nimajo ustrezeno urejenega sistemskega upravljanja in vzdrževanja. Ker so objekti dediščine izpostavljeni neugodnim klimatskim razmeram, smo preprečili njihov propad z ustrezeno konstrukcijo. Temu smo podredili vse ukrepe konstrukcijske zaščite in tudi ukrepe prezračevanja neposredne okolice. Tako smo v območju Ruske kapelice izvedli ukrepe izboljšanja osončenja in prevetritve z redčenjem gozdnega sestoja in odpiranjem koridorja v smeri zračnih tokov.

Nov spomeniškovarstveni pristop sovpada z načeli trajnostnega razvoja, saj upošteva načela konstrukcijske zaščite, saj je prav konstrukcijska zaščita najbolj naravna in okoljsko neškodljiva zaščita lesene kulturne dediščine. Z upoštevanjem načel konstrukcijske zaščite se uporaba kemičnih sredstev pri ohranjanju lesenih objektov kulturne dediščine bistveno zmanjša in je zreducirana na minimum oziroma na uporabo le v primerih, kjer je nujno potrebna.

Vse izvedene ukrepe smo dokumentirali, kar bo podlaga za spremljanje stanja in načrtovanje vzdrževalnih posegov.

Na podlagi izvedenih konstrukcijskih rešitev sklepamo, da se bo življenska doba raziskanih lesenih objektov podaljšala. Načrtovani in izvedeni primeri konstrukcije zaščite lahko pomembno prispevajo k načrtovanju zaščite podobnih objektov kulturne dediščine.

6.2 SUMMARY

Wooden objects of the cultural heritage that are exposed to outside climatic conditions and thus biotic and abiotic factors cannot be protected merely by surface coating and chemical preparations since these cannot prevent the functioning of the wood. Tensions are created by dimensional instability, which lead to cracks and distortion of the wood. This applies in particular in areas with unfavourable climatic conditions.

The research dealt with four historical monuments, which are entered in the register of the cultural heritage with recorded heritage numbers (RHN):

RHN 10715 Radomlje – Cemetery and Monument to fallen combatants of the National Liberation Struggle (NLS)

RHN 12019 Kamnik – Monument to France Balantič in Novi trg

RHN 855 Vršič – Russian Chapel

RHN 25278 Zgornje Jezersko – Partisan Hospital Krtina

The Russian Chapel on Vršič and Krtina Partisan Hospital in Jezersko are very much threatened because of unsuitable construction and explicitly unfavourable high mountain climatic conditions, with high relative air humidity and high rainfall.

The oak monument in the Cemetery of Combatants of the Second World War in Radomlje and the oak portal of the Monument to France Balantič in Kamnik are statically at risk and greatly damaged because of mistaken interventions and unsuitable construction. The monuments are exemplary cases of arranging construction protection of wooden public monuments in an urban environment.

The purpose of the research was to prevent their decay and, at the same time, to preserve their characteristic appearance using contemporary, original approaches of construction protection. Because of poor construction, wetting, inflow and retention of water in the constructions had occurred, which had led to damage and decay of the wood, which had been further accelerated by the unfavourable climatic conditions.

In the research of the selected objects, we carried out:

- detailed visual examination, documentation and analysis of damage;
- measurements and planning measures of construction protection;
- construction protection of the Russian Chapel on Vršič and the monument in the Cemetery of Combatants and Monument to the NLS in Radomlje;
- static calculation for erection of the oak monument in Radomlje;
- static calculation for erection of the portal of the Balantič monument;
- laboratory investigations of protection means on Krtina Partisan Hospital in Jezersko;
- forest management measures for better solar access and ventilation in the vicinity of the Russian Chapel on Vršič and the vicinity of Krtina Partisan Hospital in Jezersko

In the phase of planning and arranging construction protection, on all objects we carried out a detailed inspection of the construction, analysing the role, location and shape of each detail of the construction from the point of view of construction protection. We established that the planned technical solutions allowed the water to flow off quickly and the wood to be aired and to dry. By means of the construction, we prevented the inflow of water into the construction or its retention in it. We executed details on the monuments non-intrusively and followed the doctrine of preservation of still healthy materials and their original shapes.

In the case of the monument in the Cemetery of Combatants of the NLS in Radomlje and the monument to France Balentič in Kamnik, which have powerful symbolic significance, we found that damage had occurred as a result of the wrong methods of attachment used to date. During the arrangement of construction protection, we therefore removed the old attachment elements and developed original solutions for the re-erection of the monuments, which, in addition to static safety and monitoring of the placement, enable the fast flow off of water, and airing and drying of the wood.

For the re-erection of the monuments, we made static calculations in accordance with applicable technical regulations and thus ensured reliable stabilisation of the two

monuments. With both monuments, the attachment systems are subordinated to construction protection and help recreate the original appearance of the monuments.

The measures of construction protection applied (raising the wood from the ground, dilatation and inclination, drainage and trimming of the wood, installation of surrounds, use of stainless steel bearing elements, use of tested chemical preparations) are technically undemanding and repeatable and enable non-destructive protection and preservation of the heritage attributes of the monuments.

We set ourselves the aim of construction protection of the objects and thus preventing their decay, since we found construction mistakes and rotten wood with all of them. Because of the construction measures carried out, the properties of the constructions have been improved, enabling water to flow off the wood quickly, the wood to be aired and for it to dry. Preventing the wetting of wood and the inflow of water into the construction improves the durability of the wood.

Because of better construction solutions, it is not necessary to intervene so often in the monuments and the financial investment in renovation of monuments is thus reduced.

We decided on the renovation of objects under monument protection according to principles of construction protection because such historical objects have special cultural status and do not yet all have a suitably arranged system of management and maintenance. Because objects of heritage are exposed to unfavourable climatic conditions, we prevented their decay with suitable construction. We subordinated all measures of construction protection to this and also measures of ventilating the immediate surroundings. In the vicinity of the Russian Chapel, we thus carried out measures of improving solar access and ventilation by thinning the forest stands and opening corridors in the direction of air flows. The new monument protection approach concurs with the principle of sustainable development, since proper construction protection is the most natural and environmentally undamaging protection of the wooden cultural heritage. Respecting the principle of construction protection essentially reduces interventions to a minimum or only in cases in which it is absolutely necessary.

We documented all the measures carried out, which will provide the basis for monitoring the condition and planning maintenance measures.

On the basis of the construction solutions applied, we conclude that the life span of the researched wooden objects will be extended. The planned and implemented examples of construction protection can significantly contribute to planning the protection of similar objects of the cultural heritage.

7 VIRI

Allegretti O., Raffaelli F. 2009. External resistance to water vapour transfer of varnishes on wood. V: Wood Science for Conservation of Cultural Heritage. Proceedings of the international conference held by Cost Action IE0601, Florence (Italy) 8-10. November 2007. Firenze University Press, Proceedings e report 57: 93-99

Almeida G., Hernandez R. E. 2007. Influence of the pore structure of wood on moisture desorption at high relative humidities. Wood Material Science and Engineering, 2: 33-44

Beech I. B. 2004. Corrosion of technical materials in the presence of biofilms –current understanding and state-of-the art methods of study. International Biodeterioration & Biodegradation, 53: 177-183

Bertolini-Cestari C. 2005. Ricerca Italiana – PRIN – Politecnico di Torino. Programmi, progetti e risultati »I progetti PRIN – Programmi di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale. Unita di ricerca. Impiego di nanotecnologie nei beni culturali per l'efficienza di sistemi manutentivi del costruito in legno: Tecnologie innovative di recupero. http://www.ricercaitaliana.it/prin/unita_op-2005084402_001.htm (12.3.2008)

Bešlagić P. 2013. Zgornje Jezersko - Partizanska bolnišnica Krtina EŠD 25278. Poročilo naravoslovnih preiskav. Ljubljana. Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Restavratorski center: 12 str.

Biocidal Products Directive (98/8/EC). 1998. Official Journal of the European Communities L 123: 1-63

Brandstätter M., Buchgraber M., Grüll., Neumüller A., Scheibenreiter J., Schober K. P., Spatt M., Tscheme R. 2007. Holzfassaden. Holz Forschung Austria: 93 str.

Brezović M., Jambrešković V., Pervan S. 2003. Bending properties of carbon fiber reinforced plywood. Wood research, 48, 4: 13-24

Brischke C., Meyer L., Alfredsen G., Humar M., Francis L., Flæte P. O., Larson – Breis P. 2013. Natural durability of timber exposed above ground – a survey. Drvna industrija, 2: 113-129

Brock T., Groteklaes M., Mischke P. 2000. European Coatings Handbook. Hannover, Vincentz Verlag,: 410 str.

Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.

Čufar K., Zupančič M. 1999. Determinacija lesa predmetov kulturne dediščine. V: Les v restavratorstvu (4/1999). Wood in the process of restoration. Dela – Papers, RES. Restavratorski center Republike Slovenije. Ljubljana: 48-52

Despot R. 2001. Perivoj Maksimir – Obnova paviljona Jeke. Zagreb, Javna ustanova Maksimir: 18-29

Deu Ž. 2004. Obnova stanovanjskih stavb na slovenskem podeželju. Ljubljana, ČZD Kmečki glas, d.o.o., Ljubljana: 277 str.

Deu Ž. 2005. Razvojno varstvo pastirskih bivališč. Les, 57, 10: 274-286

Dujič B., Žarnič R. 2009. Potresna in požarna odpornost lesene gradnje. V: Inovativna lesena gradnja / Manja Kitek Kuzman (ur). Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo in Fakulteta za arhitekturo: 53-54

Eaton R.A., Hale M.D.C. 1993. Wood-decay, pests and protection. London, Chapman and Hall: 250 str.

Eckhard M., Ehrmann W., Hammerl D., Nestle H., Nutsch T., Nutsch W., Schulz P., Willgerodt F. 2008. Lesarski priročnik. Ljubljana, DZS: 615 str.

Feist W.C., Hon D.N.S. 1984. Chemistry of Weathering and Protection. V: The chemistry of solid wood. Advances in chemistry series 207. Rowell R.M. (ur.). Washington, DC, American Chemical Society: 401-451

Finch G., Wang J., Ricketts D. 2013. Guide for Designing, Energy - Efficient Building Enclosures for Wood-Frame Multi-Unit Residential Buildings in Marine to Cold Climate Zones in North America. Canada, FPInnovations, Special Publication 53: 248 str.

Fister P. 1979. Obnova in varstvo arhitekturne dediščine. Ljubljana. Oddelek za arhitekturo Univerze: 174 str.

Gockel H. 1996. Konstruktiver Holzschutz. Bauen mit Holz ohne Chemie. Düsseldorf, Beuth Verlag, Werner – Verlag: 87 str.

Gorišek Ž., Geršak M., Velušček V., Čop T., Mrak C. 1994. Sušenje lesa. 1. izdaja. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov lesarstva Slovenije, Lesarska založba: 235 str.

Gorišek Ž. 2009. Les - Zgradba in lastnosti, njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 178 str.

Grosser D. 1977. Die Hölzer Mitteleuropas. Ein mikrophotographischer Lehratlas. Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag: 208 str.

Hansman C., Gindl W., Wimmer R., Teischinger A. 2002. Permeability of wood – a review. Wood research, 47, 4: 1-16

Hazler V. 2002. Interdisciplinarnost spomeniškega varstva. V: Zbornik III. Simpozija etnologov konservatorjev Slovenije in Hrvaške, Brežice, 12-14.juni 2002,
http://www.zvkds.si/media/sek-v/html_web/18_vito_hazler.htm, (20.2.2014)

Hazler V. 2008. Lesene kašče na Slovenskem. Les, 60, 2: 53-57

Hazler V. 2008. Les v gradbenem izročilu Slovenije. Les, 60: 229-237

Heating Ventilating Air Conditioning Guide. 1959. New York, American Society of Heating and Air- Conditionig Engineers, Inc, 37: 146-147

Hoadley R. B. 1990. Identifying Wood, Accurate results with simple tools. Newtown, The Taunton Press: 223 str.

Hon D. N .S., Chang S. T. 1984. Protection of wood surface against photooxidation. Journal of applied polymer science, 30: 1429-1448

Hon D.N.S. 1991. Photochemistry of Wood. V: Wood and Cellulosic Chemistry. Hon DNS, Shiraishi N (ur.). New York, Marcel Dekker: 525-555

Hrastnik D., Tišler V. 2006. Razgradnja lesa zaradi delovanja svetlobe in gama žarkov. Les, 58, 7-8: 233-236

Hrovatin J., Jeram G., Kuzman M., Pohleven F. 2009. Influence of construction on wetting of wooden fences. Wood research, 54, 1: 113-124

Humar M., Pohleven F. 2000. Značilnosti razkroja lesa z rjavim trohnobo. Les, 52, 7-8: 229-235

Humar M. 2003. Biocidi za zaščito lesa. Ljubljana. Gospodarska zbornica Slovenije,
<http://www.gzs.si/default.asp?ID=8575>.
www.gzs.si (1.3.2007)

Humar M., Bokan M., Amartey S. A., Šentjurc M., Kalan P., Pohleven F. 2004. Fungal bioremediation of copper, chromium and boron treated wood as studied by electron paramagnetic resonance. International Biodeterioration&Biodegradation, 53: 25-32

Humar M. 2004. Zaščita lesa danes – jutri. Les, 56: 184 -189

Humar M., Pohleven F. 2005. Bakrovi pripravki in zaščita lesa. Les, 57, 3: 57-62

Humar M. 2006. Protipožarna zaščita lesa.

[http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/mhumar/gradiva_\(6.2.2014\)](http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/mhumar/gradiva_(6.2.2014))

Humar M., Pohleven F. 2007. Izpiranje bakrovih učinkovin iz lesa. II. Del: Vpliv časa in temperature med fiksacijo baker – etanolaminskih pripravkov. Les, 59, 1-2: 33-36

Humar M. 2008. Tramovka- najbolj kozmopolitanska lesna gliva. Les, 60, 4: 159

Humar M., Fabčič B., Zupančič M., Pohleven F., Oven P. 2008. Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. International Biodeterioration and Biodegradation, doi:101016/j.ibiod.2008.03.010: 4

Icomos. 2004. International charters for conservation and restoration. Monuments and sites I. Second edition with an introduction by Michael Petzet: 184 str.
[http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments and Sites 1 Charters.pdf](http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf), (4.2.2014).

Jirouš - Rajković V., Grbac I., Tkalec S. 1997. An investigation into the protection of wood from UV – radiation and water. Drvna industrija, 48, 4: 205-211

Jirouš - Rajković V., Turkulin H. 2002. Svojstva drva i prevlake, koja utječu na trajnost izloženog drva. Drvna industrija, 53, 1: 9-22

Jirouš - Rajković V. 2004. Surface pH and colour change of a wood exposed to eathering. Wood research, 49, 2: 9-15

Jokilehto J. 1986. A History of Architectural Conservation. D. Phil Thesis. The University of York, England. Institute of Advanced Architectural Studies: 15-24
<http://www.iccrom.org/pdf/ICCROM05HistoryofConservation00en.pdf;>, (2.5.2013).

Kerr J. S. 2013. Conservation plan. The seventh edition, Australia ICOMOS. International Council on Monuments and Sites: 1- 29.

Kitek Kuzman M., Grošelj P., Ayrilmis N., Zbašnik - Senegačnik M. 2013. Comparison of passive house construction types using analytic hierarchy process. Energy and buildings, 64: 258-263

Kervina - Hamović Lj. 1990. Zaščita lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Katedra za zaščito lesa: 68 str.

Kervina - Hamović Lj. 1989. Patologija lesa. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, VDO Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo, Katedra za zaščito lesa: 174 str.

Koestler R. J. 1992. Practical application of nitrogen and argon fumigation procedures for insect control in museums objects, in preprints of the 2nd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property, Yokohama, Yapan: 96-98

Koestler R. J. 1993. Insect eradication using controlled atmospheres and FTIR measurement for insect activity. ICOM Committee for Conservation 10th Triennial Meetings, Washington, D.C: 882-885

Koestler R. J. 1999. Anoxi metoda za nadzorovanje biološkega razkroja predmetov likovne umetnosti. Anoxic method for controlling biodeterioration in fine art. V: Les v restavratorstvu (4/1999). Wood in the process of restoration. Dela – Papers, Ljubljana, Restavratorski center Republike Slovenije: 14-24

Kregar R. 1952. Naš les. Naravno in umetno lesno gradivo. I. knjiga. Ljubljana, Mladinska knjiga: 371 str.

Kunič R. 2009. Mehanizem prehoda vlage skozi konstrukcijske sklope v stavbah (1. del).

Gradbenik, 11: 46-47

http://www.fragmat.si/download/clanki/Gradbenik%20Prehod%20vlage_1.pdf,

(8.2.2014)

Lesar B., Humar M. 2007. Borove spojine za zaščito lesa. Les, 59, 7-8: 177-180

Lesar B., Humar M. 2007. Borove spojine za zaščito lesa. II. Del: Vezava v les ter fungicidne in insekticidne lastnosti. Les, 59, 9-10: 216-222

Lesar B., Zupančič M., Pohleven F. 2010. Vpliv širine branik hrastovine in deleža ekstraktivov na naravno odpornost proti glivam razkrojevalkam lesa. Les, 62, 3-4: 107-112

Lesar B., Humar M., Oven P. 2010. Dejavniki naravne odpornosti lesa in njegova trajnost. Les, 62, 11-12: 408-414

Lopatič J. 2009. Napredni konstrukcijski sistemi lesenih konstrukcij. V: Inovativna lesena gradnja / Manja Kitek Kuzman (ur). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo in Fakulteta za arhitekturo: 43-48

Mikuž M. 1967. Oris partizanske sanitete na Slovenskem. Ljubljana, Zavod »Borec« v Ljubljani: 332 str.

Morris P. I. 2013: Understanding Biodeterioration of Wood in Structures FP Innovations.

Forintek Canada Corp: 1-23.

<http://www.woodworks.org/whywood/durability-adaptability/> (15.12.2013).

Novak M. 2008. Sušenje lesa. Ljubljana, Lesarska šola Maribor: 136 str.

- Pajek L. 2008. Pasivna požarna zaščita v stavbah kulturne dediščine.
http://www.promat.si/str_pris/Pasivna%20po%C5%BEarna%20za%C5%A1%C4%8Dita%20v%20stavbah%20kulturne%20dedi%C5%A1%C4%8Dine.pdf, (26.2.2008)
- Pavlič M., Mihevc V. 2001. Zaščita lesa pred vremenskimi vplivi. Les, 53, 1-2: 15-20
- Pečenko G. 1987. Lazurni premazi za les. Les, 39, 11-12: 335-337
- Petrović M., Zaštita drva II. Trulež i obojenost drveta. Beograd, Naučna knjiga: 372.str.
- Piazza M., Tomasi R., Modena R. 2005. Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee. Milano, Biblioteca Tecnica Hoepli: 711 str.
- Pohleven F., Petrič M. 1992. Ekološke perspektive zaščite lesa pred škodljivci. Nova proizvodnja, 43, 3: 94-98
- Pohleven F. 1994: Okolje, Revija za ekološka vprašanja, Slovenski ekološki glasnik 3/4, letnik II, september: 28-29.
- Pohleven F., Petrič M. 1995. Biološka učinkovitost kovinskih karboksilatov. V: Maček, Jože (ur.). Zbornik predavanj in referatov z 2. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin v Radencih od 21. - 22. februarja 1995 = Lectures and papers presented at the 2nd Slovenian Conference on Plant Protection in Radenci, 21. - 22. February 1995. Ljubljana: Društvo za varstvo rastlin Slovenije: 305-310.
- Pohleven F. 1998. The current status of use of wood preservatives in some European countries – summary of the answers to the questionnaire – the last correction in February 1998. Bruselj. COST E2: str. 2.
- Pohleven F., Petrič M. 1999. Kovinski karboksilati za zaščito lesa pred insekti. Les, 51, 3: 45-48

Pohleven F., Resnik J., Kobe A. 1998. Eradication of wood decay fungi by means of radio frequency. IRG/WP 98 -10292: 1-6

Pohleven F. 1999. Ogroženost lesenih predmetov kulturne dediščine z glivami. V: Les v restavratorstvu (4/1999). Wood in the process of restoration. Dela – Papers, Ljubljana, Restavratorski center Republike Slovenije. Ljubljana: 25-30

Pohleven F., Tavzes Č., Koestler R. J. 2004. Wood protection in monasteries. V: Radonjić, Veselin B. (ur.). Proceedings of 4th International symposium on biocides in public health and environment [and] the 4th International symposium on antisepsis, disinfection and sterilization [and] 7th Belgrade conference on vector control in urban environments, October 04-08. 2004, Belgrade, Serbia and Montenegro. Belgrade: Institute for disinfection and vector control: 150-154

Pohleven F. 2008. Siva hišna goba ali hišni lesomor (*Serpula lacrymans*). Les, 60, 5:214

Pohleven F. 2009. Zaščita lesene etnološke dediščine pred škodljivci. Glasnik SED, 49, 1-2: 80-81

Pohleven F. 2009. Konstrukcijska in kemična zaščita lesa. V: Inovativna lesena gradnja / Manja Kitek Kuzman (ur). Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo in Fakulteta za arhitekturo: 33-37

Pohleven F., Tavzes Č., Koestler R. J. 2009. Zaštita drvene građe u manastirima – novi pristup očuvanju drvenog nasljeđa. V: Šiljegović, S. (ur.) Zbornik druge i treće konferencije o integrativnoj zaštiti. Banja Luka: Republički zavod za zaštitu kulturno-istorijskog i prirodnog nasljeđa Republike Srpske: 125-136

Pohleven F. 2012. Ogroženost in zaščita lesnih predmetov in objektov etnološke dediščine. V: Konservator-Restavrator. Povzetki strokovnega srečanja 2012. Skupnost muzejev Slovenije, Slovenski etnografski muzej, Društvo restavratorjev Slovenije. (maj 2012). Ljubljana: 70-74

Richardson B. A. 1993. Wood preservation. Second edition. London, Glasgow, E & FN Spon: 226 str.

Ridout B. 2000. Timber decay in buildings –The conservation approaches to treatment. English Heritage, Historical Scotland. London and New York, E& FN SPON Taylor and Francis Group: 23-31

Russell J. 2002. The Conservation of War Memorials. The Building Conservation Directory: 1-3.
<http://buildingconservation.com/articles/warmemorials/warme> (27.11.2013).

Schmidt O. 2006. Wood and tree fungi. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag: 334 str.

Schober K. P., Auer C., Grüll G. 2006. Balkone und Terrassenbeläge aus Holz. Holzforschung Austria: 152 str.

SIST EN 335-1/2. 1992. Trajnost lesa in lesnih materialov - definicija razredov ogroženosti zaradi biološkega napada; 1. del; splošno. Durability of wood and derived materials; definitions of hazard classes of biological attack: part 1; general: 4 str.

SIST EN 350-1. 1995. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 1. del: Navodila za osnove preskušanja in klasifikacije naravne trajnosti lesa. Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood: 20 str.

SIST EN 350-2. 1995. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa - 2. del: Naravna trajnost in možnost impregnacije izbranih, v Evropi pomembnih vrst lesa. Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe: 42 str.

SIST EN 460. 1995. Trajnost lesa in lesnih izdelkov - Naravna trajnost masivnega lesa – Zahteve po trajnosti lesa, ki se uporablja v posameznih razredih ogroženosti: 9.

SIST EN 1194. 2000. Lesene konstrukcije - Lepljeni lamelirani les - Trdnostni razredi in ugotavljanje značilnih vrednosti. Timber structures - Glued laminated timber - Strength classes and determination of characteristic values: 13 str.

SIST EN 13501-1. 2007. Požarna klasifikacija gradbenih proizvodov in elementov stavb - 1. del: Klasifikacija po podatkih iz preskusov odziva na ogenj – Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests.

SIST EN 338. 2010. Konstrukcijski les – Trdnostni razredi – Structural timber- Strength classes: 9 str.

SIST EN 335. 2013. Trajnost lesa in lesnih proizvodov - Razredi uporabe: definicije, uporaba pri masivnem lesu in lesnih ploščah. Durability of wood and wood- based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.

Srpčič J. 1997. Vpliv vlage na deformacije lesenih gradbenih konstrukcij. V: Zbornik 19. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, 16. – 17. oktober 1997. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev: 185 -192

Srpčič J. 2009. LG Lesena gradnja v Sloveniji: 1-6,
http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Les_za_gradbene_konstrukcije.pdf
(8.2.2014).

Stušek P., Pohleven F., Capl D. 2000. Detection of wood boring insects by measurement of oxygen consumption. International Biodeterioration & Biodegradation, 46: 293-298

Sveti pismo. 1981. Noetova ladja. (Genesis 6,13-22). Beograd, Ekumenska izdaja. Britanska biblična družba. Svetopisemska društvo Beograd: 15

Sveti pismo. 1981. Gobe na hišah (Genesis 14: 33-54). Beograd, Ekumenska izdaja. Britanska biblična družba. Svetopisemska društvo Beograd: 118

Šega B. 2010. Vizualno razvrščanje konstrukcijskega žaganega lesa. Les, 62, 3-4: 96-104

Tišler V. 1986. Kemija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Učno gradivo: 1 zv. (loč. pag.)

Tišler V., Lipušček I. 2001. Toksične snovi v lesovih. Les, 53, 5: 148-158

Tišler V. 2002. pH vrednosti lesa. Les, 54, 10: 320-324

Tišler V. 2002. Utekočinjen les in njegova uporaba. Les, 54, 9: 281-284

Torelli N., Čufar K. 1983. Sorpcija in stabilnost lesa. Les, 35, 5-6:101-106

Torelli N. 1991. Makroskopska in mikroskopska identifikacija lesa (Ključi). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 121 str.

Turkulin H., Jirouš-Rajković V. 2004. Faktorji obstojnosti lesenih fasad. Les, 56, 6: 189-197

Unger A. 1988. Schutz und Festigung von Kulturgut aus Holz. Leipzig, Veb Fachbuchverlag: 220 str.

Unger A., Unger W. 1995. Detection methods for biological damage in wooden cultural property – a review. V: Biodeterioration of Cultural Property 3, 3rd International Conference, 4-7 July, Bangkok, Thailand: 181-186

Unger A., Schniewind A. P., Unger W. 2001. Conservation of wood artifacts. A Handbook. Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag: 578 str.

Vasić K. 1971. Zaštita drva I.deo (Ksilofagni insekti). Beograd, Univerzitet u Beogradu, Naučna knjiga: 335 str.

Wallner E. 2004: Detajli konstrukcijskih spojev. Details of structural joints. Strokovni članek. AR 2004/2: 38-43

Weissenfeld P., Konig H. 2001. Holzschutz ohne Gift. Staufen bei Freiburg, Okobuch Verlag: 79-94

Welzbacher C. R., Brischke C., Rapp A.O., Koch S., Hofer S. 2009. Performance of thermally modified timber (TMT) in outdoor application –durability, abrasion and optical appearance. Drvna industrija 60, 2: 75-82

Werning H., Schober K. P. 2004. Fenstersysteme, Marktübersicht, Konstruktion und Einbau in vorgefertigte Auswände aus Holz. Holzforschung Austria: 98 str.

Willeitner H., Peek R. D. 1994. Holzschutz. Informationen für Bauherren, Architekten und Ingenieure. Stuttgart, Wirtschaftsministerium Baden-Würtemberg: 73 str.

Zabel R. A., Morrell J. J. 1992. Wood microbiology. Decay and its prevention. San Diego, California, Academic Press, INC: 476 str.

Zelinka S. L. 2013. Guide for materials selection and design for metals used in contact with copper-treated wood. General Technical Report FPL-GTR-227. Madison, WI: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory: 1-12

Zupančič M., Kavčič M., Deanovič B. 2007. Enotna metodologija za izdelavo konservatorskega načrta. Ljubljana, ZVKDS, Restavratorski center: 26 str.

Zupanič S. Z., Testen P. 2007. Ruska kapelica pod Vršičem: ob 15-letnici slovensko-ruskih srečanj (1992-2006). Ljubljana. Unireal – Znanstveno društvo za zgodovino zdravstvene kulture Slovenije: 327 str.

ZAHVALA

Najprej bi se najlepše zahvalila mentorju prof. dr. Francu Pohlevnu, ki me je ves čas študija podpiral in spremljal, mi svetoval ter strokovno vodil in tako pripomogel k nastanku tega dela. Prav tako hvala recenzentoma prof. dr. Marku Petriču in prof. dr. Vitu Hazlerju za opravljeno recenzijsko delo.

Zahvaljujem se Zavodu za varstvo kulturne dediščine Slovenije, ki je podprl moja strokovna prizadevanja in raziskovalno delo na terenu. Za opravljene naravoslovne laboratorijske preiskave vzorcev lesa se zahvaljujem Petri Bešlagić, za restavratorske nasvete in dokumentacijsko podporo pa Jaki Grmeku.

Za tehnično podporo pri pripravi risb se zahvaljujem Ateljeju Repše iz Kranja in Inženiringu Gea Consult iz Škofje Loke. Posebej hvala gospe Diani Fonda za statično preveritev podanih izvirnih projektnih rešitev.

Posebna hvala gospe prof. Ivanka Zupančič za nesebično podporo. Hvala vsem, ki so na kakršenkoli način pripomogli k nastanku tega dela.

PRILOGA A

Statični račun za postavitev hrastovega spomenika na grobišču borcev druge svetovne
vojne v Radomljah

STATIČNI RAČUN

Objekt: **LESENI SPOMENIK NA GROBIŠČU BORCEV NOB V RADOMLJAH**

PRITRDITEV SPOMENIKA

VPLIVI

STALNI VPLIVI:

teža obeliska $G_1 = 9,42 \text{ kN}$

SPREMENLJIVI VPLIVI:

snek: zaradi majhne površine ne upoštevam

veter:

cona: 1 $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$

II. kategorija terena

odmik nad vpetjem $z_g = 0,00 \text{ m}$

višina: $h = 6,00 \text{ m}$

povprečna širina: $b = 0,50 \text{ m}$

referenčna višina: $z_e = z_g + h/2 = 3,00 \text{ m}$

referenčna površina: $A_{ref} = b * h = 3,00 \text{ m}^2$

osnovni tlak vetra $q_b = \rho/2*v_{b,0}^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$

največji tlak ob sunkih vetra $q_p(z) = q_b * c_e = 0,41 \text{ kN/m}^2$
faktor izpostavljenosti $c_e = 1,65$

korekcijski faktor	$c_s c_d = 1,00$
koeficient sile	$c_f = 1,80$
sila vetra	$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z) * A_{ref} = 2,23 \text{ kN}$

konstrukcijska ekscentričnost:

odmik v težišču: $e_z = 0,1 \text{ m}$

UČINEK VPLIVA

VERTIKALNA	osna sila	$N_{sd} = 1,35 * G_1 = 12,71 \text{ kN}$
------------	-----------	--

HORIZONTALNA	prečna sila	$Q_{sd} = 1,5 * F_w = 3,34 \text{ kN}$
	moment vetra	$M_{sdw} = 1,5 * z_e * F_w = 10,02 \text{ kNm}$
	moment ekscentričnosti	$M_{sde} = 1,35 * G * e_z = 0,94 \text{ kNm}$
	moment	$M_{sd} = 1,5 * z_e * F_w + 1,35 * G * e_z = 10,97 \text{ kNm}$

DIMENZIONIRANJE

Ies D30 - hrast	upogibna trdnost	$f_{m,d} = 2,077 \text{ kN/cm}^2$
	tlačna trdnost - vzporedno z vlakni	$f_{c,0,d} = 1,415 \text{ kN/cm}^2$
	tlačna trdnost - pravokotno na vlakna	$f_{c,90,d} = 0,492 \text{ kN/cm}^2$
	natezna trdnost - pravokotno na vlakna	$f_{t,90,d} = 0,037 \text{ kN/cm}^2$

konstrukcijsko jeklo S235

meja plastičnosti	$f_y = 23,50 \text{ kN/cm}^2$
natezna trdnost	$f_u = 36,00 \text{ kN/cm}^2$
$E = 210000000 \text{ kN/m}^2$	$E = 21000 \text{ kNcm}$
$\gamma_{M0} = 1,10$	
potrebni odpornostni moment:	$W_{pot} = M_{max} * \gamma_{M0} / f_y = 46,92 \text{ cm}^3$

votla palica zunanji premer $D = 7,50 \text{ cm}$ $\varepsilon = 0,53$
 notranji premer $d = 4,00 \text{ cm}$

$$W_{dej} = 38,0 \text{ cm}^3 \quad A_{dej} = 31,6 \text{ cm}^2$$
$$I_{dej} = 142,7 \text{ cm}^4$$

kontrola napetosti - iteracija: $M_{sd}/W*f_y + N_{sd}/A*f_y*k_c = 1,25 > 1$

Samo jeklena palica ne zadostuje, potrebno je delno naleganje po obodu z vijaki M20, ki bo prevzelo 40% obremenitve.

Izberem vijke M20 v kombinaciji s tulcem z notranjim navojem.

oddaljenost vijakov od osi: $x = 0,20 \text{ m}$

število tlačno obremenjenih vijakov: $n = 3$

zunanji premer tulca z notranjim navojem: $D_1 = 3,00 \text{ cm}$

površina naleganja tulca: $A_1 = 7,1 \text{ cm}^2$

40% momenta: $M_{1,sd} = 0,4 * M_{sd} = 4,39 \text{ kNm}$

tlačna sila na 1 tulec: $N_{1,sd} = M_{1,sd}/(x * n) + 0,4 * N_{sd}/8 = 7,95 \text{ kN}$

tlačna napetost tulca na les: $N_{1,sd} / A_1 = 1,12 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,0,d}$

tlačna napetost cevi na les: $N_{sd} / A = 0,40 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,0,d}$

kontrola napetosti v lesu od jeklene palice

globina nasaditve jeklene cevi $g_c = 1,30 \text{ m}$

efektivna globina nasaditve jeklene cevi $g = g_c - h = 1,10 \text{ m}$

zunanji premer votle palice $D = 7,50 \text{ cm}$

stična višina na robu: $h = 20,00 \text{ cm}$

stična površina cev - les: $A_2 = D * h = 150,0 \text{ cm}^2$

neto površina lesa: $A_3 = (55 - D) * h = 950,0 \text{ cm}^2$

tlačna sila na stik: $N_{2sd} = 0,6 * M_{sd} / g = 5,98 \text{ kN}$

tlačna napetost cevi pravokotno na les: $N_{2sd} / A_2 = 0,04 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,90,d}$

natezna napetost v lesu pravokotno na les: $N_{2sd} / A_3 = 0,01 \text{ kN/cm}^2 < f_{t,90,d}$

kontrola napetosti v jekleni palici

60% momenta prevzame votla cev: $M_{2sd} = 0,6 * M_{sd} = 6,58 \text{ kNm}$

kontrola napetosti - iteracija: $M_{2sd}/W*f_y + N_{sd}/A*f_y*k_c = 0,76 < 1$

PRILOGA B

Statični račun za postavitev hrastovega portala spomenika Francetu Balantiču v Kamniku

STATIČNI RAČUN

Objekt: **SPOMENIK FRANCETU BALANTIČU V KAMNIKU - PORTAL**

VPLIVI

STALNI VPLIVI:

teža lesa: $G = 1,86 \text{ kN}$

SPREMENLJIVI VPLIVI:

sneg: zaradi majhne površine ne upoštevam

veter:

con: 1 $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$

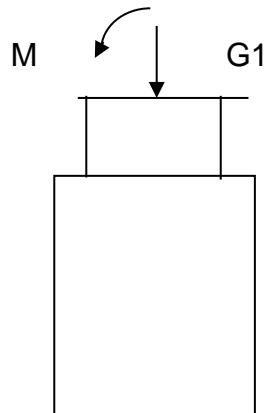
II. kategorija terena

odmak nad podstavkom:	$z_{gv} = 0,00 \text{ m}$	$z_{gh} = 1,80 \text{ m}$
višina:	$h_v = 1,80 \text{ m}$	$h_h = 0,24 \text{ m}$
širina:	$b_v = 0,24 \text{ m}$	$b_h = 1,78 \text{ m}$
referenčna višina:	$z_e = z_{gv} + h_v/2 = 0,90 \text{ m}$	$z_e = z_{gh} + h_h/2 = 1,92 \text{ m}$
referenčna površina:	$A_{refv} = b_v * h_v = 0,43 \text{ m}^2$	$A_{reh} = b_h * h_h = 0,43 \text{ m}^2$
osnovni tlak vetra	$q_b = \rho/2 * v_{b,0}^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$	
največji tlak ob sunkih vetra	$q_p(z) = q_b * c_e = 0,41 \text{ kN/m}^2$	
faktor izpostavljenosti	$c_e = 1,65$	
korekcijski faktor	$c_s c_d = 1,00$	
koeficient sile	$c_f = 1,80$	
sila vetra na steber	$F_{wv} = c_s c_d * c_f * q_p(z) * A_{refv} = 0,32 \text{ kN}$	
na prečko	$F_{wh} = c_s c_d * c_f * q_p(z) * A_{reh} = 0,32 \text{ kN}$	

OBREMENITVE NA PODSTAVEK

VERTIKALNA na en steber $G1 = G / 2 = 1,86 \text{ kN}$

HORIZONTALNA na en steber
sila vetra $F_w = F_{vv} + 0,5 * F_{wh} = 0,48 \text{ kN}$
moment vetra $M_w = 2 * z_{ev} * F_{vv} + z_{eh} * F_{wh} = 0,59 \text{ kNm}$



faktorirana osna sila na en steber $N_{sd} = 1,35 * G1 = 2,51 \text{ kN}$

faktorirana sila vetra $F_{sd} = 1,5 * F_w = 0,72 \text{ kN}$

faktoriran moment vetra $M_{sd} = 1,5 * M_w = 0,89 \text{ kNm}$

PRITRDITEV NA PODSTAVEK

jeklen trn

jeklen trn

konstrukcijsko jeklo S235

meja plastičnosti

$f_y = 23,50 \text{ kN/cm}^2$

natezna trdnost

$f_u = 36,00 \text{ kN/cm}^2$

$E = 210000000 \text{ kN/m}^2$

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_{M0} = 1,10$

potrebnii odpornostni moment:

$$W_{pot} = M_{max} * \gamma_{M0} / f_y = 4,16 \text{ cm}^3$$

premer jeklenega trna

$\phi 40$

$$W_{dej} = 6,28 \text{ cm}^3$$

$$I_{dej} = 12,56 \text{ cm}^4$$

$$A_{dej} = 12,56 \text{ cm}^2$$

kontrola napetosti - iteracija:

$$M_{sd}/W*f_y + N_{sd}/A*f_y*k_c = 0,61 \leq 1$$

OBREMENITVE NA LEŽIŠČE PREČKE

VERTIKALNA teža prečke $G_p = 0,31 \text{ kN}$

HORIZONTALNA sila vetra $F_{w1} = 0,5 * F_{wh} = 0,16 \text{ kN}$

faktorirana osna sila na en steber $N_{sd} = 1,35 * G_p = 0,42 \text{ kN}$
faktorirana sila vetra $F_{sd} = 1,5 * F_{w1} = 0,24 \text{ kN}$

LESEN MOZNIK $f_{c,90,d} = 0,431 \text{ kN/cm}^2$
 $A_{pot} = F_{sd} / f_{c,90,d} = 0,6 \text{ cm}^2$

kontaktna površina:

premer moznika: $d = 3 \text{ cm}$ $A_{dej} = d * L = 18 \text{ cm}^2 > A_{pot}$

globina moznika: $L = 6 \text{ cm}$

Zaradi relativno majhnih obremenitev izberem konstrukcijske dimenzijs.