

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez ANDOLJŠEK

**INŽENIRSKÉ KONSTRUKCIJE IZ LEPLJENEGA
LAMELIRANEGA LESA V SLOVENIJI**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**ENGINEERING CONSTRUCTIONS FROM GLUED
LAMINATED TIMBER IN SLOVENIA**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za management in ekonomiko lesnih podjetij ter razvoj izdelkov na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval viš. pred. dr. Srečka Vratušo, univ. dipl. ing. grad, za somentorico dr. Manjo Kitek Kuzman, univ.dipl.ing.arh. in recenzentaizr. prof. dr. Milana Šerneka.

Mentor: viš. pred. dr. Srečko Vratuša, univ. dipl. ing. grad.

Somentorica: dr. Manja Kitek Kuzman, univ.dipl.ing.arh.

Recenzent: izr.prof. dr. Milan Šernek

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Janez Andoljšek

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs
DK UDK 630*862:624.07
KG lameliran les/lepljeni nosilci/konstrukcije
AV ANDOLJŠEK, Janez
SA VRATUŠA, Srečko (mentor)/KITEK KUZMAN, Manja (somentorica)/ŠERNEK, Milan (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2010
IN INŽINERSKE KONTRUKCIJE IZ LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA V SLOVENIJI
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP XIII, 108 str., 17 pregl., 171 sl., 23 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Po pregledu zgodovine razvoja in uporabe lepljenega lesa ter po opisu prvih poskusov vgradnje lepljenih lameliranih nosilcev v različne objekte smo se osredotočili na inženirske konstrukcije iz lepljenega lameliranega lesa podjetja Hoja. Ugotavljali smo namembnost in uporabo lepljenih lameliranih nosilcev. Na osnovi opravljene analize izbranih objektov smo ugotovili, da se najpogosteje uporabljajo prostoležeči nosilci konstantne višine, ki se večinoma vgrajujejo v športne objekte. V sodelovanju s podjetjem Ledinek Engineering smo želeli poiskati možnosti izboljšav v proizvodnem procesu. Napravili smo kontrolo nosilnosti strešnih nosilcev za 2 športna objekta po novih evropskih standardih (SIST EN 1991-1-3:2004) za projektiranje lesenih nosilnih konstrukcij. Menimo, da je uporaba lepljenih lameliranih nosilcev v porastu, saj odlično zadostijo vsem konstrukcijskim, estetskim, cenovnim in okoljevarstvenim zahtevam.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Vs
DC UDC 630*862:624.07
CX laminated timber/glued laminated beams/constructions
AU ANDOLJŠEK, Janez
AA VRATUŠA, Srečko (supervisor)/KITEK KUZMAN, Manja (co-supervisor)/
ŠERNEK, Milan (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science
and Technology
PY 2010
TI ENGINEERING CONSTRUCTIONS FROM GLUED LAMINATED TIMBER IN
SLOVENIA
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO XIII, 106 p., 17 tab., 171 fig., 23 ref.
LA sl
AL sl/en
AB After having reviewed the history of the development and use of laminated timber, and studied the first attempts of installation of glued laminated beams in various buildings, we focused on the engineering design of glued laminated timber of Hoja Company. The application and use of glued laminated beams were researched. Based on the analysis of selected buildings it was found that simply supported beams with constant height, mainly installed in sports buildings, are most frequently used. In cooperation with Ledinek Engineering we wanted to find possibilities for improvement in manufacturing process. The control of bearing of roof beams for 2 sports buildings was made by new European standards (SIST EN 1991-1-3:2004) for the design of timber bearing construction. We believe that the use of glued laminated beams is on the rise as they excellently meet design, aesthetics, price and environmental requirements.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija.....	III
Key words documentation.....	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic.....	VIII
Kazalo slik	IX
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 LES KOT GRADBENI MATERIAL.....	2
2.2 ZGODOVINSKI PREGLED – PREDHODNIKI GRADNJE Z LEPLJENIM LESOM	3
2.2.1 Philibert de l'Orme	3
2.2.2 Otto Hetzer – razvoj elementov iz lepljenega lesa.....	6
2.2.3 Švica.....	8
2.2.4 Skandinavija.....	9
2.2.5 Severna Amerika	9
2.2.6 Primeri lepljenih konstrukcij.....	9
3 LAMELIRAN LEPLJEN LES	12
3.1 PREDNOSTI IN SLABOSTI LEPLENIH LAMELIRANIH KONSTRUKCIJ ..	12
3.2 LESENI LEPLJENI KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI IN SISTEMI	13
3.3 VEZNA SREDSTVA	14
3.4 LEPILA	15
3.4.1 Melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF)	16
3.4.2 Poliuretanska lepila (PUR)	16
3.5 PROIZVODNJA LAMELIRANEGA LEPLJENEGA LESA V EVROPI IN SLOVENIJI	17
3.6 SODOBNA PROIZVODNJA LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA (LEDINEK, D. O. O.)	18
3.6.1 Sodobni stroji in naprave za izdelavo lepljenih lameliranih nosilcev podjetja Ledinek Engineering, d. o. o.	18

3.7	PODJETJE HOJA, D. D.	26
3.7.1	Predstavitev podjetja.....	26
3.7.2	Proizvodnja in tehnologija	27
4	NOSILNOST ELEMENTOV IZ MASIVNEGA LEPLJENEGA LESA	34
4.1	UVOD	34
4.2	UPOGIB	38
4.3	STRIG	41
5	MATERIALI IN METODE.....	42
5.1	MATERIAL	42
5.2	NAJPOGOSTEJI UPORABLJENI TIPI LEPLJENIH LAMELIRANIH NOSILCEV V PODJETJU HOJA.....	43
5.2.1	Prostoležeči nosilec z zakrivljeno osjo	43
5.2.2	Tročlenski okvirni nosilec	43
5.2.3	Tročlenski nosilec z vezjo	44
5.2.4	Tročlenski ločni nosilec z vezjo	45
5.2.5	Prostoležeči nosilec konstantne višine	45
5.2.6	Prostoležeči nosilec z naklonom	46
6	REZULTATI	47
6.1	IZBRANE INŽENIRSKÉ KONSTRUKCIJE IZ LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA V SLOVENIJI	47
6.2	ŠPORTNI OBJEKT	48
6.3	SAKRALNI OBJEKTI	70
6.4	JAVNI OBJEKTI.....	74
6.5	PREMOSTITVENI OBJEKTI	80
6.6	INDUSTRIJSKI OBJEKTI.....	86
6.7	OBJEKTI RAZDELJENI PO NAMEMBNOSTI IN KONSTRUKCIJSKI TIPIH.....	88
6.8	RAČUNSKI PRIMERI	89
6.8.1	Izračun statike za nosilce Športne dvorane Kočevje.....	89
6.8.2	Izračun statike za nosilce Športne dvorane Škofljica	93
7	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	99
7.1	RAZPRAVA.....	99

7.2	SKLEPI	101
8	POVZETEK	103
9	VIRI	104
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tehnični podatki linije Kontizinka za dolžinsko spajanje desk	20
Preglednica 2: Tehnični podatki linije Eurozinka za izdelavo čepov in dolžinsko spajanje	20
Preglednica 3: Tehnični podatki stiskalnice Rotopress.....	22
Preglednica 4: Tehnični podatki stiskalnice Hyperpress	22
Preglednica 5: Tehnični podatki stiskalnice Flexipess	23
Preglednica 6: Tehnični podatki za skobeljni stroj Superles.....	24
Preglednica 7: Podatki prostoležečega nosilca z zakrivljeno osjo.....	43
Preglednica 8: Podatki tročlenskega okvirnega nosilca	44
Preglednica 9: Podatki tročlenskega nosilca z vezjo	44
Preglednica 10: Podatki tročlenskega ločni nosilca z vezjo	45
Preglednica 11: Podatki prostoležečega nosilca konstantne višine	45
Preglednica 12: Podatki prostoležečega nosilca z naklonom.....	46

KAZALO SLIK

Slika 1: Prva lesna obočna konstrukcija, most čez reko Cismone l. 1570 (Müller, 2000). ...	3
Slika 2: Philibert de l'Orme (Müller, 2000).	4
Slika 3: Halle au blé v Parizu l. 1783 (Müller, 2000).	4
Slika 4: Most čez reko Delaware v ZDA l. 1806 (Müller, 2000).	5
Slika 5: Preizkusi obremenitev krožnih obokov 1847 (Müller, 2000).	6
Slika 6: Prva lepljena konstrukcija iz slojnatega lesa l. 1860 je bila hala kralja Edwarda Edwarda (Müller, 2000).	6
Slika 7: Otto Hetzer (Müller, 2000).	7
Slika 8: Patent številka 63018 (Müller, 2000).	7
Slika 9: Patent številka 125895 (Müller, 2000).	8
Slika 10: Patent številka 163144 (Müller, 2000).	8
Slika 11: Patent številka 225687 (Müller, 2000).	8
Slika 12: Patent številka 197773 (Müller, 2000).	8
Slika 13: Bencinska črpalka v Gladbecku (Müller, 2000).	10
Slika 14: Stadion Steigerwald v Erfurtu (Müller, 2000).	10
Slika 15: Ledena dvorana v Lillehammerju (Julebyen. 2010).	11
Slika 16: Proizvodnja in poraba lameliranega lepljenega lesa v vzhodni in zahodni Evropi	17
Slika 17: Vzдолžni odmikač	18
Slika 18: Vakuumski razkladalnik	18
Slika 19: Prekucna miza	19
Slika 20: Prečni transporter	19
Slika 21: Vzдолžni transporter	19
Slika 22: Skica linije Kontizinka za dolžinsko spajanje desk	20
Slika 23: Skica linije Eurozinka za izdelavo čepov in dolžinsko spajanje	21
Slika 24: Eurozink 11/6 300kN	21
Slika 25: Izdelava čepov	21
Slika 26: Štiristranska stiskalnica Rotopress	22
Slika 27: Napolnjena stiskalnica Hyperpress	22
Slika 28: Naprava za nastavitev pozicije stiskalnice	23
Slika 29: Naprava za stiskanje obdelovanca	23
Slika 30: Stiskalnica Flexipess	23
Slika 31: Slika skobeljnega stroja Superles	24
Slika 32: Celotna linija izdelovanja lepljenih lameliranih nosilcev	25
Slika 33: Skladišče desk in plohov	28
Slika 34: Skladišče suhih desk in plohov v proizvodnji	29
Slika 35: Vizualno sortiranje desk in izrez napak	29
Slika 36: Stroj za izdelovanje zobatih spojev	30

Slika 37: Zlepljen zobati spoj in obremenitveni utor.....	30
Slika 38: Deske so dolžinsko spojene v lamele.....	30
Slika 39: Lamelni skobeljnik.....	31
Slika 40: Stroj za nanašanje lepila.....	31
Slika 41: Horizontalna stiskalnica.....	31
Slika 42: Štiristranski skobeljni stroj.....	32
Slika 43: Ploskovno obdelan nosilec.....	32
Slika 44: Posebni transport nosilcev.....	33
Slika 45: Vgradnja nosilcev na terenu.....	33
Slika 46: (a) Ravni dvokapni nosilec, (b) ukrivljeni nosilec, (c) dvokapni nosilec z ukrivljenim spodnjim.....	36
Slika 47: Potek upogibnih momentov in maksimalnih napetosti vzdolž nosilca.....	37
Slika 48: Potek upogibnih momentov pri prosto ležečem nosilcu in prečni prerez nosilca.....	38
Slika 49: Prostoležeči nosilec z zakrivljeno osjo (naklon nosilca 12°).....	43
Slika 50: Tročlenski okvirni nosilec.....	43
Slika 51: Tročlenski nosilec z vezjo (naklon nosilca 15°).....	44
Slika 52: Tročlenski ločni nosilec z vezjo.....	45
Slika 53: Prostoležeči nosilci konstantne višine.....	45
Slika 54: Prostoležeči nosilec z naklonom.....	46
Slika 55: Banex tenis dvorana.....	49
Slika 56: Tročlenska konstrukcija dvorane.....	49
Slika 57: Nosilec s podaljški in stebrički.....	49
Slika 58: Detajl pritrditve zavetrovanja.....	49
Slika 59: Floris objekta.....	49
Slika 60: Načrt nosilca s podaljški in stebrički.....	49
Slika 61: Teniš dvorana Breskvar.....	51
Slika 62: Konstrukcija in zavetrovanje.....	51
Slika 63: Montaža nosilcev na terenu.....	51
Slika 64: Dokončana notranjost objekta.....	51
Slika 65: Prečni prerez objekta.....	51
Slika 66: Postavljanje Športne dvorane Gruda.....	53
Slika 67: Dvigovanje 36,7 m dolgega nosilca.....	53
Slika 68: Sestavljanje strešne konstrukcije.....	53
Slika 69: Strešna konstrukcija.....	53
Slika 70: Floris objekta.....	53
Slika 71: Zavetrovanje med nosilci.....	53
Slika 72: Športna dvorana Makole iz severne strani.....	55
Slika 73: Dvorana iz severozahodne strani.....	55
Slika 74: Strešna konstrukcija.....	55
Slika 75: Strešna konstrukcija s prezračevanjem.....	55
Slika 76: Tročlenski nosilec z vezjo.....	55

Slika 77: Športna dvorana Nedelište	57
Slika 78: Postavljanje lesene konstrukcije	57
Slika 79: Stik konstrukcij	57
Slika 80: Dokončevanje objekta	57
Slika 81: Tloris objekta	57
Slika 82: Štiričlenski nosilec z detajlom v stičišču	57
Slika 83: Športna dvorana Kočevje	59
Slika 84: Ravni lepljeni lamelirani nosilci	59
Slika 85: Ležišče nosilcev	59
Slika 86: Notranjost dvorane	59
Slika 87: Tloris nosilcev	59
Slika 88: Prikaz zavetrovanja	59
Slika 89: Športna dvorana Škofljica	61
Slika 90: Nosilec	61
Slika 91: Inštalacije na ostrešju	61
Slika 92: Nosilec z izvrtinami za prezračevanje	61
Slika 93: Tloris nosilcev	61
Slika 94: Prostoležeči nosilec z naklonom	61
Slika 95: Športna dvorana Franca Rozmana Staneta	63
Slika 96: Dvigovanje tročlenskega nosilca	63
Slika 97: Montaža lesenih lepljenih nosilcev	63
Slika 98: Notranjost športne dvorane	63
Slika 99: Tloris nosilcev	63
Slika 100: Tročlenaski nosilec z vezjo	63
Slika 101: Jahalnica CUDV Draga	65
Slika 102: Sestavljanje zavetrovanja med nosilci	65
Slika 103: Postavljanje nosilcev	65
Slika 104: Notranjost jahalnice	65
Slika 105: Prečni prerez prvotnega loka nosilca	65
Slika 106: Prečni prerez izvedenega loka nosilca	65
Slika 107: Terme Čatež III	67
Slika 108: Postavljanje objekta	67
Slika 109: Sestavljanje nosilcev	67
Slika 110: Postavitev nosilcev	67
Slika 111: Tloris nosilcev	67
Slika 112: Prostoležeči nosilec z zakrivljeno osjo	67
Slika 113: Terme Snovik	69
Slika 114: Objekt v gradnji	69
Slika 115: Pogled na streho	69
Slika 116: Notranjost objekta	69
Slika 117: Tloris nosilcev	69

Slika 118: Tročlenski okvirni nosilec	69
Slika 119: Župnijski center s cerkvijo sv. Jožefa	71
Slika 120: Notranjost cerkve	71
Slika 121: Ležišče nosilca	71
Slika 122: Spajanje lepljenih nosilcev	71
Slika 123: Tloris nosilcev	71
Slika 124: 3D pogled na ostrešje	71
Slika 125: Kapela na Rogli	73
Slika 126: Spoj jeklene in lesene konstrukcije	73
Slika 127: Pogled na kapelo iz zahodne strani	73
Slika 128: Spoj nosilcev v slemenu	73
Slika 129: Tloris ostrešja	73
Slika 130: Tloris nosilcev	73
Slika 131: Osnovna šola Slovenska Bistrica	75
Slika 132: Pogled na objekt iz severne strani	75
Slika 133: Prikaz napušča	75
Slika 134: Prikaz tramov	75
Slika 135: Pogled na objekt iz vzhodne strani	75
Slika 136: Trgovinski obrat Tuš	77
Slika 137: Notranjost trgovinskega obrata	77
Slika 138: Detajl nosilcev	77
Slika 139: Pritrditev zavetrovalne zatege	77
Slika 140: Tloris nosilcev	77
Slika 141: Prostoležeča nosilca s paralelnimi pasovi	77
Slika 142: Trgovinski center Centromerkur	79
Slika 143: Del ostrešja	79
Slika 144: Spoj med nosilci	79
Slika 145: Ostrešje v izdelavi	79
Slika 146: Tloris nosilcev	79
Slika 147: 3D pogled na ostrešje	79
Slika 148: Most Gaj Kočevje	81
Slika 149: Vrhnji del mostu	81
Slika 150: Jekleni spoj med nosilcema	81
Slika 151: Ležišče nosilca	81
Slika 152: Naris mostu	81
Slika 153: Naris tročlenskega nosilca z vezjo	81
Slika 154: Mostička Habakuk	83
Slika 155: Tloris, naris in stranski ris mostu	83
Slika 156: Most Šmartinsko jezero	85
Slika 157: Stopnice z ograjo	85
Slika 158: Most od zgoraj	85

Slika 159: Detajl kovinske in lesene ograje	85
Slika 160: Stranski prerez mostu	85
Slika 161: Prečni prerez mostu	85
Slika 162: Žaga Cugmajster	87
Slika 163: Razpoznavni znak žage	87
Slika 164: Čelni lepljeni lamelirani nosilci	87
Slika 165: Notranjost objekta	87
Slika 166: Tloris nosilcev	87
Slika 167: Prostoležeč nosilec z naklonom	87
Slika 168: Leseni lepljeni nosilec športne dvorane Kočevje	89
Slika 169: Medosna razdalja med nosilci	89
Slika 170: Leseni lepljeni nosilec športne dvorane Škofljica	93
Slika 171: Medosna razdalja med nosilci	93

1 UVOD

V času soočanja s podnebnimi spremembami je za trajnostni razvoj in trajnostno gospodarstvo pomembna sonaravna nizkoogljična gradnja. Uporaba sonaravnega materiala – lesa za stavbe lahko znatno prispeva k znižanju emisij CO₂ v fazi uporabe in gradnje ter k trajnostnemu gospodarjenju z gozdovi v kontekstu klimatskih sprememb. Ob ustrezni in natančni vgradnji je les zaščiten pred spremenljivimi zunanji vplivi, kar mu zagotavlja dolgo obstojnost. Slovenija je približno 60 % pokrita z gozdovi, v katerih prevladujejo bukev, smreka in jelka. Gozd je zakladnica kisika in naravni ščit pred plazovi. Les je cenjen zaradi svoje kakovosti, vsestranske uporabnosti, velike nosilnosti, zvočne in toplotne izolativnosti ter energetske varčnosti. Ima ugodno razmerje med lastno težo in nosilnostjo, zato je uporaben tudi na področjih z manjšo nosilnostjo tal.

V diplomski nalogi smo želeli predstaviti lesene lepljene lamelirane konstrukcije od začetkov njihove uporabe do danes, ko postajajo zaradi svoje vsestranskosti, odličnih mehanskih lastnosti, estetskega videza in ostalih prednosti zopet vse bolj uporabljane. Osredotočili smo se na inženirske konstrukcije podjetja Hoja.

Z nalogo smo želeli ugotoviti uporabo in namembnost inženirskih konstrukcij iz lepljenega lesa. Poudarili smo pomen slovenskega podjetja Hoja in izpostavili vsestransko uporabo lepljenih lameliranih nosilcev.

V času diplomske naloge smo delali v proizvodnji podjetja Hoja, izbrane objekte smo dokumentirali, v sodelovanju s podjetjem Ledinek Engineering, d. o. o., smo proučili možnosti izboljšav tehnologije podjetja Hoja in pri dveh objektih smo preverili nosilnost strešnih nosilcev po novih evropskih standardih (SIST EN 1991-3:2004) za projektiranje lesenih konstrukcij.

Podrobno smo analizirali 20 inženirskih konstrukcij podjetja Hoja. Predvidevamo, da se tudi v Sloveniji podobno kot v svetu lepljeni lamelirani nosilci uporabljajo večinoma pri gradnji športnih objektov.

2 PREGLED OBJAV

2.1 LES KOT GRADBENI MATERIAL

Les je naravni material, ki se že tisočletja intenzivno uporablja pri gradnji objektov. Sprva, ko še ni bilo tako široke izbire umetnih materialov za gradnjo, je bila njegova uporaba predvsem posledica njegove dostopnosti. Danes je les v gradnji cenjen predvsem zaradi svojih pozitivnih lastnosti, in sicer zaradi zmožnosti »dihanja«, uravnavanja vlage, odsotnosti elektrostatičnega naboja, sorazmerno dobre izolativnosti, prijetnosti na dotik in številnih drugih, zato je dragocen in nepogrešljiv v gradnji. Ena glavnih prednosti, ki jih ima les pred betonom, je hitrejša, čistejša in bolj suha gradnja.

Danes so prisotni naslednji predsodki na področju uporabe lesa, in sicer konstrukcije so slabo zvočno in toplotno izolativne, hitro preperevajo, so lahko gorljive in potresno niso varne. Sodobne lesene konstrukcije ovržejo vse te predsodke, saj celo presegajo sodobne zahteve protipožarne zaščite ter zaščite pred vlago in hrupom. Pri gradnji daje les kot konstrukcijski material skoraj neomejene možnosti in pri tem po svoji stabilnosti in obstojnosti proti vremenskim vplivom in ognju prav nič ne zaostaja za drugimi gradbenimi materiali.

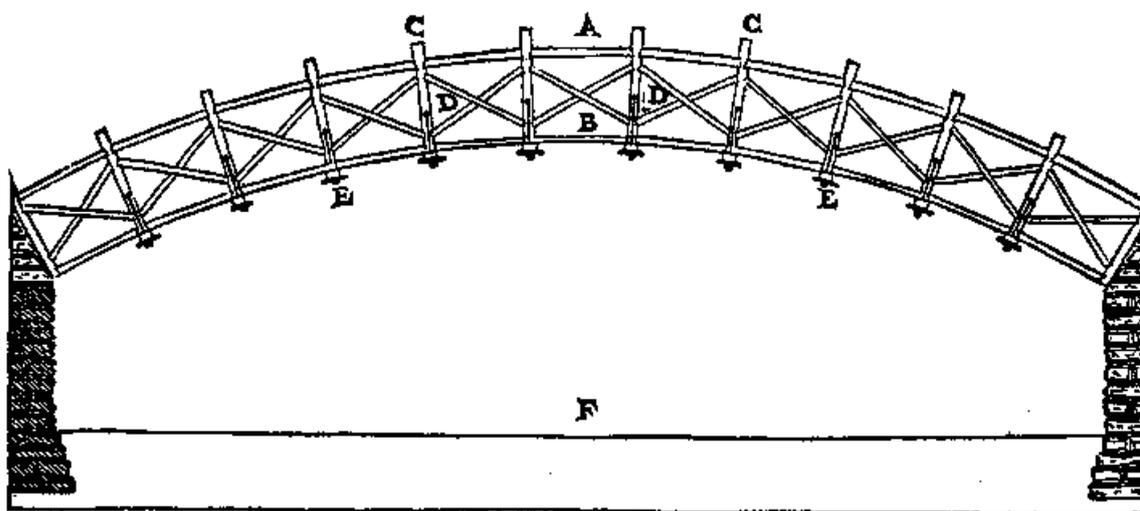
Skladno s časom je človek les izkoriščal na različne načine. Les je priljubljen material tudi v sodobni arhitekturi. Oblikovne možnosti, gospodarnost in dobra nosilnost so glavne prednosti uporabe lesa.

Pri izdelavi izdelkov je pomembno, da dobro poznamo zgradbo ter fizikalne in mehanske lastnosti lesa, predvsem pa se moramo zavedati, da je les žilav. Les je elastičen in trden material, ki ima majhno težo in se ga lahko obdeluje. Temperaturne razlike mu ne škodujejo, hkrati pa je odličen regulator zračne vlage in trajen tudi v drugih zahtevnih klimatskih okoljih (Purkat, 2003).

Slovenija je bogata z gozdovi, kar je vodilo k razvoju lesne industrije. Gozdovi pokrivajo 58,5 % površine Slovenije. Iglavci zavzemajo 60 %, listavci pa 40 % površine. Izkoriščamo le 40 % letnega prirastka, zato se zaloga lesa iz leta v leto kopiči in je leta 2008 znašala 322,2 mil. m³ (Zavod za gozdove Slovenije).

2.2 ZGODOVINSKI PREGLED – PREDHODNIKI GRADNJE Z LEPLJENIM LESOM

Do 18. Stoletja so gradili večinoma iz lesa, kamena ali ilovice, šele potem so začeli uporabljati beton in železo. Les dobro prenaša tlačne, natezne in upogibne obremenitve, zato je uporaben za različne nosilne elemente. Najenostavnejši gradbeni element – tram, ki je upogibno obremenjen, lahko uporabljamo za različne razpone in obremenitve, saj lahko prilagajamo medsebojno razdaljo med elementi in velikost prečnega prereza. Konstruktiven spoj dveh lesenih delov v skupen učinkovit prečni prerez pomeni prvi razvojni korak k optimiranju nosilnih lastnosti in sočasno zmanjševanje materialnih vložkov. Glavno šibko točko pri lesenih konstrukcijah predstavlja trdnost lesnih spojev. Velika prožnost pri krčenju in vpliv vlage pogosto škodita. Nosilni elementi iz lesa so se do 18. stoletja razvijali na podlagi tradicionalne obrtne prakse in poskusov, kot je sistematično prikazano v knjigi o gradnji mostov avtorja Jacoba Leupolda (1647–1727). Že zelo zgodaj so nastale prve lesene ločne konstrukcije, na primer most čez reko Cismone (Slika 1), ki ga je Andrea Palladio objavil leta 1570 v svoji knjigi »Štiri knjige o arhitekturi.« V njej iz ravnega predalčnega nosilca razvija ločni most z dvojnimi diagonalnimi in vertikalnimi elementi. Računsko so bile vse te nosilne konstrukcije preverjene šele z razvojem statike v 19. stoletju, pri čemer je postal Louis Marie Henri Navier (1785–1836) na podlagi del Coulomba, Bernoullija in Eulerja njen utemeljitelj (Müller, 2000).



Slika 1: Prva lesna obočna konstrukcija, most čez reko Cismone l. 1570 (Müller, 2000).

2.2.1 Philibert de l'Orme

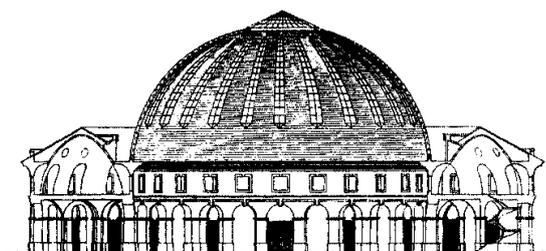
Že leta 1561 je francoski arhitekt Philibert de l'Orme (Slika 2) v svoji knjigi »*Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*« objavil iznajdbo lesenega ločnega povezja iz desk, ki je bilo sestavljeno iz navpično stoječih, 1,3 metra dolgih desk, ki so bile na koncih

radialno odžagane in dve- ali trislojno povezane z lesenimi žebli. Po potrebi so bile vzdolžne strani desk rezane. Posamična povezja iz desk so bila na medsebojni razdalji približno enega metra. De l'Orme je poročal o bistveno zmanjšani porabi materiala v primerjavi z običajnimi strešnimi konstrukcijami. Pri izgradnji strehe gradu Limours je poraba znašala samo eno četrtno običajne.



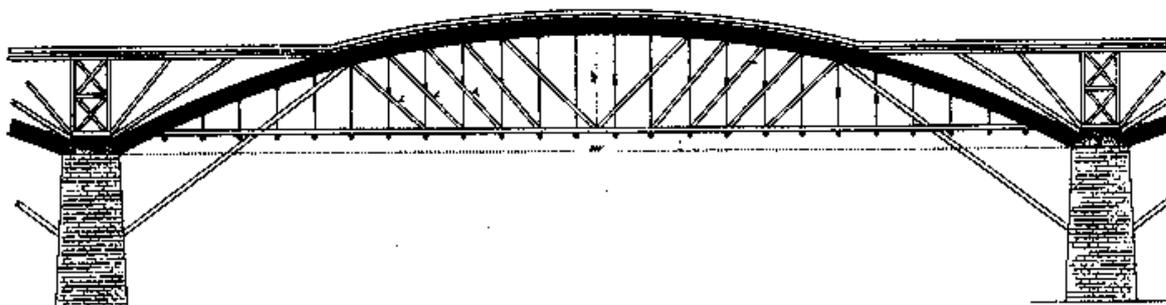
Slika 2: Philibert de l'Orme (Müller, 2000).

Philibert de l'Orme je pri ostrejših in skednjih uporabil razpon do 15 metrov. Zasnoval je baziliko z razponom 48,75 metrov. Za obnovo samostana redovnic v Parizu je narisal zgradbo s kupolo s približno 60 metri razpona, ki naj bi bila 200 let kasneje zgled za ostrejšje *Halle au blé* v Parizu (Slika 3), katere kupola je bila zaradi povezja iz desk radialno prednapeta. Menil je, da je mogoče tako graditi tudi mostove z razponom od 200 do 400 metrov. Leta 1783 so za ostrejšje žitne hale (*Halle au blé*) v Parizu konkurirali arhitekta Legrand in Molinos z leseno kupolo, ki je bila narisana po de l'Ormejevem principu, Le Camus de Mézières, J.-D. Antoine in Rondolet z osnutkom kamene kupole ter Bélanger z litoželezno kupolo. Lesena kupola je bila sestavljena iz de l'Ormejevega povezja z razponom 41 metrov. Štiriindvajset radialno potekajočih oken v nizu je predstavljalo posebnost, saj niso bile samo naložene na kupolo, temveč so prekinile radialno nosilnost kupole. Kupola je pogorela leta 1802 in je bila nadomeščena z litoželezno kupolo Bélangerja. Gradnja te kupole s povezjem iz desk leta 1783 je vodila k poznejšim projektom tudi v Nemčiji.



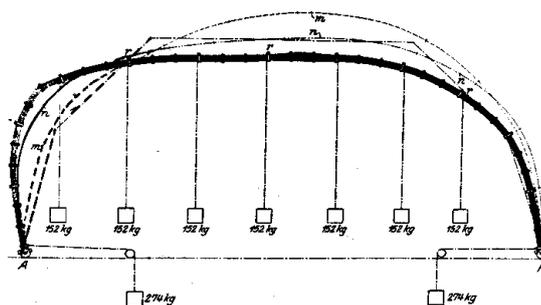
Slika 3: Halle au blé v Parizu l. 1783 (Müller, 2000).

Že med letoma 1787 in 1789 je Carl Gotthard Langhans za kraljevsko živinorejsko šolo v Berlinu zgradil leseno kupolo z razponom 16 metrov. David Gilly (1748–1808) je bil velik zagovornik te izvedbe v Prusiji in je leta 1797 v svojem spisu *Ueber Erfindung, Construction und Vortheile der Bohlendächer* opisal do takrat nastale zgradbe. Navdahnjen s temi zgradbami je leta 1802 dvorni inšpektor za gradnjo Heinrich Gentz iz Berlina napravil načrt za Lauchstädt gledališče, v katerem je uporabil dvoplastno povezje iz desk z razponom 16,5 metrov. Ta dandanes še ohranjena zgradba jasno kaže pomanjkljivosti de l'Ormejeve konstrukcije: velika deformabilnost in velike sile v ležiščih. Potrebna je bila ojačitev opornika ter leta 1906 prenova podpornika in okrepitev oboka na treh legah. Pomanjkljivosti teh konstrukcij so bile: dolgotrajna izdelava desk in za polovico oslABLJENA upogibna nosilnost v spojih na koncih lesa, ki so pri nenehni upogibni obremenitvi še posebej opazni. Nekoč največjo kupolo v Nemčiji z razponom 33,5 metra je skiciral Georg Moller med letoma 1822 in 1827 v Darmstadtu za Ludwigskirche. V nasprotju s *Halle au blé* je uporabil preproste dvojne radialne hrastove tramove za sprejemanje obročaste tlačne in natezne sile, s čimer je omogočil prostorske nosilne lastnosti. Nadaljnji razvoj predstavlja delo Fritza Zollingerja (1880–1945), ki je dvoplastno povezje iz desk razširil v rombasto oblikovano in zakrivljeno ploskovno konstrukcijo. Posamezna lamela se je z zgornjim robom prilegala krivini. Potrebni bi bili togi priključki, ki pa jih ni bilo mogoče doseči, zato vodi ta konstrukcija pri velikih razponih do velikih deformacij. Poleg navpično stoječega in večkratno spojenega povezja iz desk, so prvi horizontalno ležeči nezlepljeni nosilci sestavljeni iz desk, kar ilustrirajo mostovi čez reko Delaware (Slika 4) pri Wetingenu v Švici. Tesar Hans Ulrich Grubenmann (1709–1783) je zgradil te mostove med letoma 1764 in 1766 skupaj s svojim sinom. Dva paralelna sedemplastna ločna nosilca, med katerima je vozišče delno postavljeno na podpore, deloma poteka viseče, sta imela razpon 61 metrov. Posebnost teh mostov so bili močno medsebojno spojeni tramovi, ki so kot skupni nosilci dajali trdnost loku.



Slika 4: Most čez reko Delaware v ZDA l. 1806 (Müller, 2000).

Paul Joseph Ardant je leta 1847 objavil natančno znanstveno raziskavo o ločnih nosilnih konstrukcijah. V obremenilnih preizkusih l'Ormejevih in Emyjevih konstrukcij (Slika 5) je z različnimi primeri obremenitev primerjal nastale deformacije nosilnih elementov do zloma.



Slika 5: Preizkusi obremenitev krožnih obokov 1847 (Müller, 2000).

Stephanovo povezje iz desk (1902) je predstavljalo nadaljnji razvoj de l'Ormejevega povezja. Zaradi doseganja večje togosti v zgornjem in spodnjem nosilcu je bilo sestavljeno iz povezanih diagonal iz lamel (primer: postajna hala v Kopenhagenu iz leta 1906). Slabost teh konstrukcij je bila draga izdelava in veliko število stičišč. Pri razvoju lesenih konstrukcij predstavljajo problem sorazmerno mala nosilna sredstva za spajanje in s tem velika deformabilnost spojev. Na področju jeklenih konstrukcij so lahko ta problem dobro in zanesljivo obvladovali s kovicami, dokler se niso uveljavili varjeni spoji.

2.2.2 Otto Hetzer – razvoj elementov iz lepljenega lesa

Kot prva lepljena konstrukcija iz slojnega lesa velja hala kralja Edwarda Collegeja v Southamptonu iz leta 1860 (Slika 6).



Slika 6: Prva lepljena konstrukcija iz slojnatega lesa l. 1860 je bila hala kralja Edwarda (Müller, 2000).

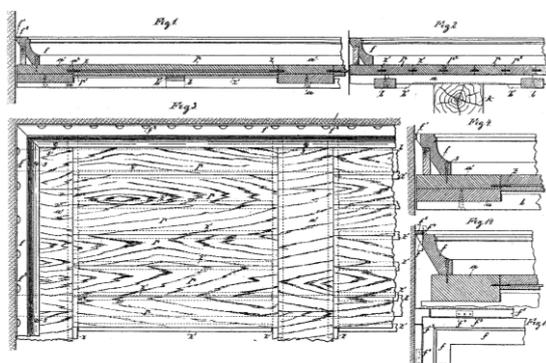
Iskanje primerne sredstva za spajanje je bilo izhodišče Karlu Friedrichu Ottu Hetzerju iz Weimarja (Slika 7), ki gradnje z lepljenim lesom sicer ni iznašel, vendar jo je razvil do zrele uporabe. Gospodarski razcvet mesta Weimar je v začetku nemškega cesarstva vodil do hitre širitve njegovih obratov (parne žage in tesarskega podjetja).



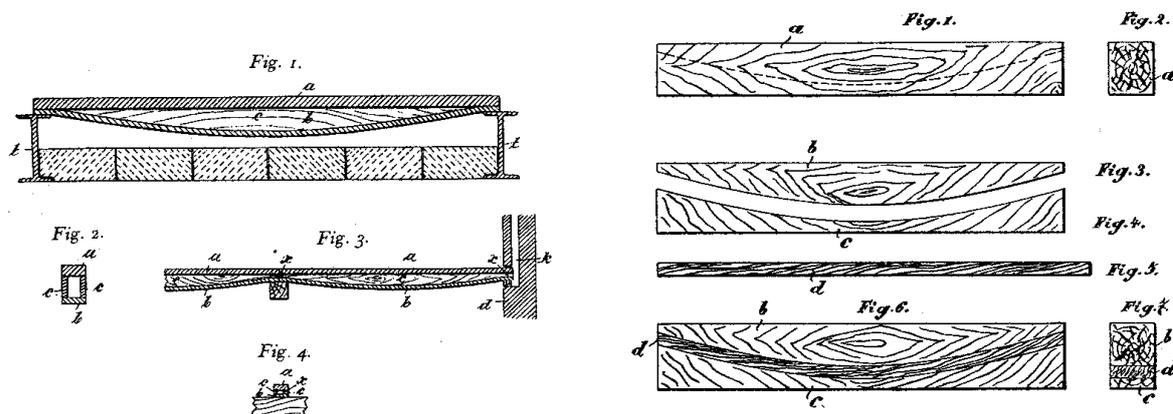
Slika 7: Otto Hetzer (Müller, 2000).

Leta 1891 je bil imenovan za nadvojvodskega dvornega tesarskega mojstra. V času med 1891 in 1910 je patentiral pet novosti. Prvi patent – DRP št. 63018 (Slika 8) je opisal konstrukcijo ladijskega poda, ki lahko v primeru skrčenja naknadno stisne letvice. Drugi patent (leta 1900) – DRP št. 125895 (Slika 9) predstavlja sestavljene lesene nosilce parabolične oblike. Posamični deli prečnega prereza – zgornji in spodnji nosilec ter prečke – so medsebojno zlepljeni z lepilom. V tretjem patentu (leta 1903) – DRP št. 163144 (Slika 10) je bila opisana izdelava tramu velikega prečnega preseka iz dolžinsko, parabolično razžaganega prečnega prereza. Deska se s pomočjo pritiska prilepi v režo. Četrti patent (leta 1906) – DRP št. 197773 (Slika 12) izpostavlja upognjeni, lepljeni slojni nosilec iz dveh ali več lamel. S tem se je Hetzerju posrečil nadaljnji razvoj de Emy'jevega povezja iz desk. Oblika nosilca je v največji meri sledila idealni oporni liniji in s tem je bila dosežena največja možna upogibna nosilnost. Peti patent (leta 1907) – DRP št. 225687 (Slika 11) obravnava predalčni nosilec.

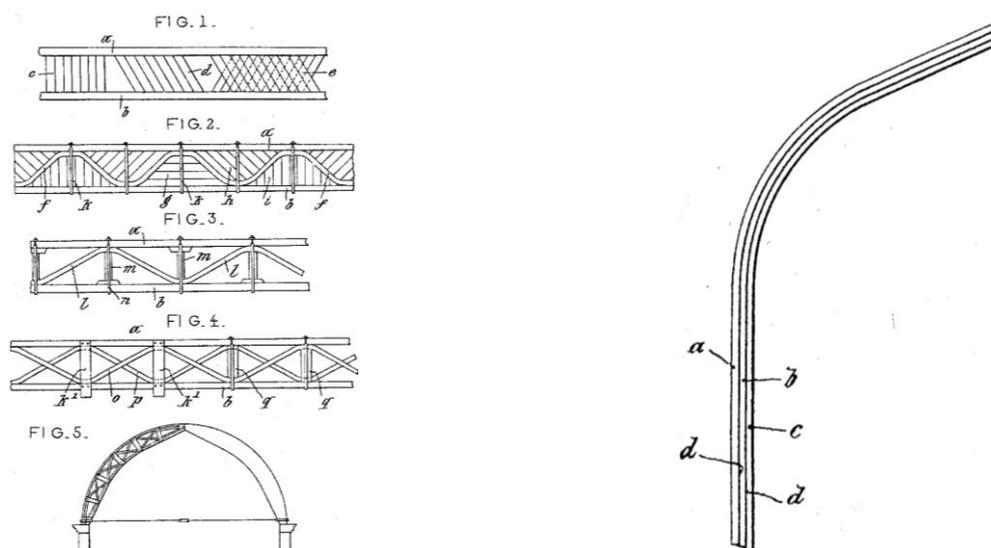
Tehnični prodor je Otto Hetzer doživel na svetovni razstavi v Bruslju leta 1910. Hala nemške državne železnice je imela razpon 43 metrov. Halo sta zgradila inženir Kügler in firma Steinbeis & Cons.



Slika 8: Patent številka 63018 (Müller, 2000).



Slika 9: Patent številka 125895 (Müller, 2000).
Slika 10: Patent številka 163144 (Müller, 2000).



Slika 11: Patent številka 225687 (Müller, 2000).
Slika 12: Patent številka 197773 (Müller, 2000).

2.2.3 Švica

V Švici so se gradnje z lepljenim lesom razširile po zaslugi inženirske pisarne Terner & Chopard v Zürichu, ki si je pridobila Hetzerjeve patente. Njuno delo so predstavljale gradnje z lepljenim lesom in gradnje z armiranim betonom. Nastale so številne zgradbe in hale, na primer jahalnica v St. Moritzu, kupole univerze Zürich in različne hale za razstave in prireditve.

2.2.4 Skandinavija

Na Danskem je firma H. J. Kornerup-Koch od leta 1914 z licenco gradila konstrukcije iz lepljenega lesa (cestni most v Kopenhagnu leta 1929). Inženir Guttorm N. Brekke je prevzel pravice do patenta, kar je povzročilo razširitev na Švedskem in Norveškem. Leta 1918 je bilo ustanovljeno podjetje A/S Trækonstruktioner, ki je zgradilo tovarno v Mysnu na Norveškem, ki je do leta 1924 proizvajala nosilce iz lepljenega lesa. Spodbuda za ta razvoj je bila pomanjkanje jekla med prvo svetovno vojno. Leta 1919 je Brekke ustanovil AG Trägkonstrukton na Švedskem. Zaradi centralne lege je podjetje dobavljalo za Norveško in Švedsko.

2.2.5 Severna Amerika

Od leta 1920 dalje je bil evropski razvoj gradnje z lepljenim lesom v Severni Ameriki že dobro poznan in uveljavljen. Prvič so uporabili povezja iz lepljenega lesa leta 1934 pri gradnji dvorane gimnazije v Peshtigu. Proizvodnja je potekala skupaj s Thompson Boat Manufacturing Company v Peshtigu. Z izdelavo zgradb iz lepljenega lesa so lahko ekonomsko izravnali sezonska nihanja v gradnji čolnov. Iz tega skupnega dela je nastal prvi obrat gradnje z lepljenim lesom v Severni Ameriki – Unit Structures Inc. Uporabljali so pravokotne prečne preseke. Pozitivne izkušnje so vodile do zgrajenih cerkvenih streh, šolskih telovadnic, tovarniških hal in prireditvenih dvoran. Z vstopom Amerike v vojno (leta 1941) so zgradili vojaške objekte, na primer letalski hangar v severni Dakoti z razponom 46,7 m, kar je bila do takrat največja hala te vrste. Leta 1942 sta v St. Paulu sledila letalska hangarja z razponom 52,6 m. Od leta 1970 je podjetje začelo delovati pod imenom Sentinel Structures in še danes proizvaja strešne nosilce in nosilce za hale, mostove in upognjena rebra iz lepljenega lesa za gradnjo ladij. Čeprav pozno, se je proizvodnja in s tem gradnja z lepljenim lesom v Severni Ameriki hitro razširila.

2.2.6 Primeri lepljenih konstrukcij

Strešne konstrukcije

Lepljene lesene strešne konstrukcije so se morale najprej uveljaviti pred običajnimi lesenimi, jeklenimi in armirano betonskimi konstrukcijami. Prednosti v primerjavi s tradicionalnimi lesenimi konstrukcijami so bile: večja izkoriščenost materiala in boljša izraba strešnih prostorov zaradi zmanjšanja števila podpornih elementov. Zaradi enostavne izolirne obloge gradbenih elementov so dosegli učinkovito protipožarno zaščito. Hetzerjeve konstrukcije so z ugodnimi cenami, visoko stopnjo prefabrikacije in krajšim časom gradnje prednjačile pred jeklenimi in železobetonskimi.

Hale

Od začetka gradnje z lepljenim lesom so gradnje hal doživele silovit razvoj do začetka 60. let, ko so bili doseženi razponi čez 100 metrov. S tem so bile hkrati dosežene tehnične in ekonomske meje. Od takrat je takšna gradnja omejena predvsem na gospodarske in športne objekte z razponi do 60 metrov.

Konzolne strehe

Konzolne strehe se uporabljajo tam, kjer se hoče z veliko oblikovalsko gesto vzbuditi pozornost, ali kjer oporniki vodijo k omejitvam vidljivosti ali uporabe. Pri gradnji bencinske črpalke v Gladbecku (Slika 13) je 12 metrov široka streha pritegovala poglede voznikov. Vpeta konzola kot statičen sistem prinaša velike deformacije, zato so nujni veliki prečni prerezi na področju vpenjanja. Obe konzolni povezji sta bili umaknjeni v kritino, tako da oko skupno višino prečnega prereza komaj zazna. Ozek strešni rob podpira dinamiko zgradbe.

Pri nadstrešku tribune v Zandvoortu je bila dolžina konstrukcije 19 metrov daleč, tako da eno samo vpenjanje povezja ni več zadostovalo. Nujne so bile nihalne podpore, ki so ovirale vidno polje. Da bi zmanjšali oviranje vidnega polja, so smiselne viseče strešne konstrukcije, kot na primer pri prekritju tribune stadiona Steigerwald v Erfurtu (Slika 14). Da so podaljšali razdaljo povezja na 10 metrov, so izbrali tekstilno kritino, ki so jo napeli med povezji.



Slika 13: Bencinska črpalka v Gladbecku (Müller, 2000).
Slika 14: Stadion Steigerwald v Erfurtu (Müller, 2000).



Predalčni nosilec

Nujnost predalčnega nosilca za premostitev velikih razponov je bila že zgodaj ugotovljena, vendar se je njegova uporaba v gradnji z lepljenim lesom uveljavila šele v 50. letih 20. stoletja. Vrh razvoja masivnega ločnega povezja je bil dosežen v sredini 60. let s 100 metrskim razponom. Povezje je imelo velikost prečnega prereza več kot 1,5 metra. Ugotovljeno je bilo, da je bolje pri podobnih ali večjih razponih uporabiti predalčno-ločno povezje, kot npr. pri olimpijski hali v Lillehammerju (Slika 15) (Müller, 2000).



Slika 15: Ledena dvorana v Lillehammerju (Julebyen. 2010).

3 LAMELIRAN LEPLJEN LES

3.1 PREDNOSTI IN SLABOSTI LEPLENIH LAMELIRANIH KONSTRUKCIJ

Les je pri gradnji že od nekdaj nepogrešljiv. Njegovi prednosti sta enostavna obdelava in preprosto sestavljanje. Lamelirane lepljene konstrukcije imajo izredno veliko trdnost na obremenitev v smeri vlaken. Porušne napetosti so enake napetostim, ki nastanejo pri lomu betona.

Lamelirane lepljene konstrukcije nam dajejo možnost izbire najrazličnejših oblik in velikosti prečnega preseka ter statičnih sistemov. Z razvojem lepil se je rešil problem omejenosti dolžin. Lamelirani lepljeni elementi so lahki gradbeni elementi, saj pri istem volumnu predstavljajo le 20 % teže železobetonskih. V primerjavi z njimi ohranjajo lamelirani nosilci zaradi dobre nosilnosti, elastičnosti in majhne teže pri večjih razponih eleganco oblik, saj se preseki nosilcev zaradi majhne teže ne povečujejo tako kot pri armiranemu betonu.

Les je v izdelkih ekološko neoporečen, problematični so lahko le površinski materiali in lepila, za katere moramo biti ekološko osveščeni.

Predsodki ljudi do lesene gradnje se nanašajo predvsem na požarno in potresno varnost. Les je gorljiv, vendar v primerjavi z betonom in jeklom prevzema večje požarne obremenitve. Pri gorenju ustvarja les na svoji površini zогlenelo plast, ki služi kot samozaščita. Les se med požarom obnaša predvidljivo, kar olajša načrtovanje stavb. Glede potresne varnosti so dosedanje raziskave in posledice na objektih, ki so bili izpostavljeni potresnim sunkom, pokazale zelo dobro potresno odpornost lesenih stanovanjskih objektov. To dokazujejo leseni objekti, ki so bili postavljeni v Posočju in so brez bistvenih poškodb prestali kasnejše potrese.

Kot slabosti bi lahko navedli krajšo življenjsko dobo in gorljivost lesenih konstrukcij, čemur se lahko s pravilnim poznavanjem lesa v veliki meri izognemo. Da je lesena gradnja zelo trajna in odporna, dokazujejo lesne pagode na Japonskem, na primer najstarejša Horyu-ji iz 7. stoletja. Trajnost objekta je najbolj odvisna od tega, kako ga znamo zaščititi pred vlago, kar imenujemo konstrukcijske zaščite. Problem lahko predstavlja izliv vode, kajti les v objektu težko izsušimo. Po drugi strani lesena gradnja omogoča enostavno zamenjavo in sanacijo poškodovanih elementov. Majhna teža objekta pozitivno vpliva na njegovo potresno odpornost, toda negativno na odpornost na področjih z zelo močnim vetrom. Pri tehtanju odločitve, kateri način gradnje izbrati, je zelo pomembno, kje in na kakšnih temeljnih tleh se bo nahajal objekt. Zaradi nizkega modula elastičnosti, ki je približno trikrat nižji kot pri betonu, so leseni stropi v primerjavi z betonskimi precej podajni, posledično tudi močneje čutimo vse vibracije (Kitek Kuzman in Vratuša, 2009).

Cena osnovnega proizvoda lesenega lepljenega lameliranega konstrukcijskega elementa (LLLKE) je 2,5-krat večja (Haiman, 2005) od cene masivnega lesa. Približna cena m³ lepljenega nosilca je 600 €. Na končno ceno izdelka vplivajo: planiranje gradnje, hitrost izvedbe, enostavnost transporta in montaže, spojna sredstva in kvaliteta proizvoda. Cena zakrivljenih nosilcev je odvisna od sledečih dejavnikov: od radija zakrivljenosti, preseka nosilca in števila izdelanih konstrukcijskih elementov. Cena raste sorazmerno z večjo debelino lamele in manjšim radijem, kajti večji kot je radij, bolj se cena približuje ceni ravnih nosilcev. Trajnost lesenih konstrukcij je ocenjena na več kot 100 let v povprečno spremenljivih zunanjih pogojih (Pihlajavaara, 1980; Kitek Kuzman in sod., 2006; Vratuša in sod., 2005).

3.2 LESENI LEPLJENI KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI IN SISTEMI

LLLKE so industrijski gradbeni elementi z visoko stopnjo prefabrikacije. Spadajo med najlažje konstrukcijske materiale in se lahko zaradi svojih dobrih elastomehanskih lastnosti uporabljajo kot samostojni nosilci ali za ravninske in prostorske konstrukcije velikih razponov. Kušar (1999) je opredelil dimenzije nosilnih gradbenih elementov, ki so odvisne od statičnega sistema konstrukcije, nosilnosti gradiva, tehnologije proizvodnje in vgraditve ter pričakovanega učinka arhitektonske kompozicije zgradbe. Uporaba LLLKE omogoča sestavljanje konstrukcij različnih oblik in izbiro dimenzij prečnih prerezov elementov, pokrivanje velikih površin, velike razpone in enostavno prilagajanje sodobnim arhitektonskim zahtevam. Nosilni sistemi so lahko razdeljeni v naslednje skupine: nosilci, tročlenski loki, okvirji, ukrivljeni nosilci, konzole in viseči sistemi. V prostorske konstrukcije sodijo kupole, prostorske okvirne konstrukcije, prostorsko paličje, brane, lupine in drugo.

Lepila so vse bolj obstojna in odporna proti ognju, zato se je izbor različnih prečnih prerezov povečal. Prečne prezeze sestavljajo medsebojno zlepljene lamele. Na takšen način pridobimo različne prezeze: nosilce s konstantno višino, nosilce s spreminjajočo se višino, zakrivljene nosilce in drugo. Najpogostejši prerezi so: pravokotni prerez, prerez »I« oblike in sestavljeni škatlasti prerez. Prilagajanje geometrije prereza poteku napetosti temelji na načelu, da je potrebno čim več materiala namestiti tam, kjer največ prispeva k nosilnosti, to je na robovih, kjer so največje napetosti. Poraba lesa in upogibnih nosilnosti je odvisna od materiala in oblike prereza. Primerjava kombinacije prilagajanja geometrije in trdnosti lesenega prereza pokaže, kako je mogoče prihraniti material v primerjavi z nosilnostjo. Med LLLKE spadajo: enostranski poševni nosilec, dvostransko poševni nosilec, ukrivljeni nosilec s konstantno višino, ukrivljeni nosilec s spremenljivo višino, nosilci na več podporah, kontinuirni nosilci, dvotečajni ali trotečajni lomljeni okvir, dvočlenski ali tročlenski ločni okvir in tako dalje. Leseni lamelirani lepljeni elementi omogočajo fleksibilnost pri konstruiranju različnih dimenzij in oblik. Vzdržujejo estetski videz, saj ohranjajo eleganco pri večjih razponih, kajti preseki nosilcev se zaradi majhne teže ne

povečujejo kot pri armiranem betonu. Za strešne konstrukcije se uporabljajo, kadar so zahtevani veliki razponi in posebne oblike. Industrijska izdelava leseni lepljenih konstrukcij je hitra, lahka in enostavna, neodvisna od vremenskih vplivov. Tovarniška serijska izdelava LLLKE omogoča gradnjo z minimalnimi napakami in zmanjšanimi dejavniki tveganja, kar pomeni poceni in hitro gradnjo objekta. Leseni lamelirani lepljeni elementi imajo dobre trdnostne lastnosti in visoko nosilnost glede na prostorninsko maso ter so lahki gradbeni elementi. V primerjavi z masivnim lesom so bolj trdni in togi (Kitek Kuzman in Hrovatin, 2006).

Russell C. Moody (2004) je poudaril, da ima lameliran lepljen les v primerjavi z masivnim lesom številne prednosti, in sicer boljšo dimenzijsko stabilnost, možnosti različnih izvedb prečnega prereza in večje dimenzije, kot jih dopušča žagan les. Lameliran lepljen les ima visoko nosilnost glede na težo, dimenzijsko je bolj obstojen in ima manjše torzijske deformacije kot masivni les. Pri sušenju skoraj ni razpok in mogoče je oblikovati vzdolžno os nosilca. Količina ostanka pri masivnem in lepljenem lesu je odvisna od konstrukcije. Pri širšem nosilcu je izkoristek večji (Kitek Kuzman in sod., 2006).

3.3 VEZNA SREDSTVA

Vežna sredstva v lesenih konstrukcijah imajo nalogo, da povezujejo sestavne elemente v celoto, pri tem pa preprečujejo medsebojne zamike (zdrse) posameznih elementov v priključnih ravninah. Mehanska vežna sredstva v lesenih konstrukcijah v nasprotju z betonskimi in jeklenimi konstrukcijami ne zagotavljajo povsem toge povezave med posameznimi elementi, temveč prihaja v priključnih površinah zaradi njihove popustljivosti in podajnosti lesa do medsebojnih zamikov, ki bistveno spremenijo napetostno stanje v elementu.

Pri strižno obremenjenem elementu, ki je sestavljen iz dveh tramov, ki medsebojno v horizontalni smeri nista povezana, nastane v horizontalni strižni ravnini veliki medsebojni zamik, ki ga nekoliko preprečuje le trenje med obema tramovoma. Strižne napetosti in posledično strižne sile v priključni ravnini so zato skoraj enake nič. Takšne elemente običajno praktično uporabljamo le kot začasne nosilne elemente, togost in nosilnost pa jim lahko bistveno povečamo z vgraditvijo vežnih sredstev, ki zmanjšujejo zamike v priključni ravnini (Žarnić in Dujič, 2008).

Ker vežna sredstva zmanjšajo medsebojne zamike med sestavnima elementoma, je priključna intenziteta tista, ki neposredno določa razporeditev vežnih sredstev.

V primeru nekonstantnega razmika med veznimi sredstvi v vzdolžni smeri imamo dve možnosti:

- vezna sredstva postavimo v eno vzdolžno vrsto s spremenljivim medsebojnim razmikom,
- vezna sredstva postavimo v več vzporednih vrst s konstantnim dejanskim medsebojnim razmikom.

Bočna nosilnost veznega sredstva v zvezi les : jeklo

Pod to različico zveze obravnavamo spoje dveh ali več lesenih elementov, ki so medsebojno povezani s pomočjo ene ali več pločevin. Togost zveze je v tem primeru večja kot v zvezah brez pločevine, saj se moramo zavedati, da je vezno sredstvo v jeklenem elementu nedeformabilno. Posledično se v primerjavi z zvezami brez vgrajenih pločevin povečajo bočne nosilnosti veznega sredstva, razlika pa je odvisna predvsem od debeline vgrajene pločevine. V ta namen podaja SIST EN 1995-1-1:2005 različne izraze za zvezo s tanko pločevino in za zvezo z debelo pločevino (Premrov in Dobrila, 2008).

Vrste veznih sredstev:

- jeklena vezna sredstva (žebliji, sponke, vijaki, lesni vijaki, paličasti mozniki, ježaste jeklene plošče, jekleni mozniki),
- vezna sredstva iz lesa (mozniki),
- lepila.

3.4 LEPILA

Vsestransko uporabo lesenih lepljenih konstrukcij je omogočil razvoj sintetičnih lepil. Zahteve, ki jih morajo konstrukcijska lepila izpolnjevati, podaja standard SIST EN 301. Uporaba lepil, ki se odlikujejo po odpornosti na temperaturo, klimatske spremembe, kemikalije in mikroorganizme, zagotavlja lesenim lepljenim elementom v določenih primerih prednost pred armiranobetonskimi in jeklenimi elementi. Lepilo poveže les v nov material. Imeti mora takšne mehanske lastnosti, da je lepilni spoj v večji meri nedeformabilen. Pogoji, ki jih morajo izpolnjevati lepila za izdelavo lameliranih lepljenih elementov, so: konstantna trdnost, ki se ne sme spreminjati s časom, odpornost na anorganske in organske snovi, odpornost na kemijske vplive, utrjevanje pri sobnih temperaturah ali visokofrekvenčno utrjevanje, ognjeodpornost, odpornost proti lezenju, hitrost lepljenja – ustrezni odprti čas lepila (Kitek Kuzman, 2008).

Lepila, ki se najpogosteje uporabljajo za lepljenje lameliranega lepljenega lesa, so:

- melamin-formaldehidna (MF),
- melamin-urea-formaldehidna (MUF),
- fenol-formaldehidna (FF),
- resorcinol-formaldehidna (RF),
- poliuretanska (PUR).

Dandanes uporabljajo predvsem MUF in PUR lepila.

3.4.1 Melamin-urea-formaldehidno lepilo (MUF)

MUF lepila utrjujejo po principu polikondenzacije in jih uvrščamo v skupino aminoplastov, ki so polimerni produkti reakcije aldehydov s snovmi, ki vsebujejo NH_2 in NH skupine. Pri aminoplastih so pomembne predvsem amidne skupine pri urei in melaminu. Uporabljeni aldehyd pri teh lepilih je večinoma formaldehyd (Resnik, 1989).

Sinteza MUF lepil je podobna sintezi UF lepil. Osnovna reakcija je metiolizacija melamina, ki ji sledi kondenzacija. Proizvodnja MUF lepil je mogoča s kondenzacijo melamina, urea in formaldehyda v večstopenjski reakciji. Poleg kondenzacije se lahko MUF lepila proizvedejo preprosto z mešanjem MF in UF lepil (delež posameznega lepila je odvisen od želene sestave lepila) ali z dodajanjem melamina v različnih oblikah (čisti melamin, MF/MUF praškasto lepilo, melaminski acetat) v UF lepila med tvorjenjem lepilne mešanice. Zaradi visoke cene melamina je glavno vodilo pri sintezi MUF lepil v industriji, da vedno uporabijo samo toliko melamina, kolikor je potrebno, vendar najmanj, kolikor je mogoče. Odstotek melamina v MUF lepilih večinoma variira med nekaj odstotki in 25 %. Že majhni deleži melamina UF lepilom izjemno izboljšajo strižno trdnost lepilnega spoja in njegovo odpornost proti vodi (Šernek in Kutnar, 2009).

3.4.2 Poliuretanska lepila (PUR)

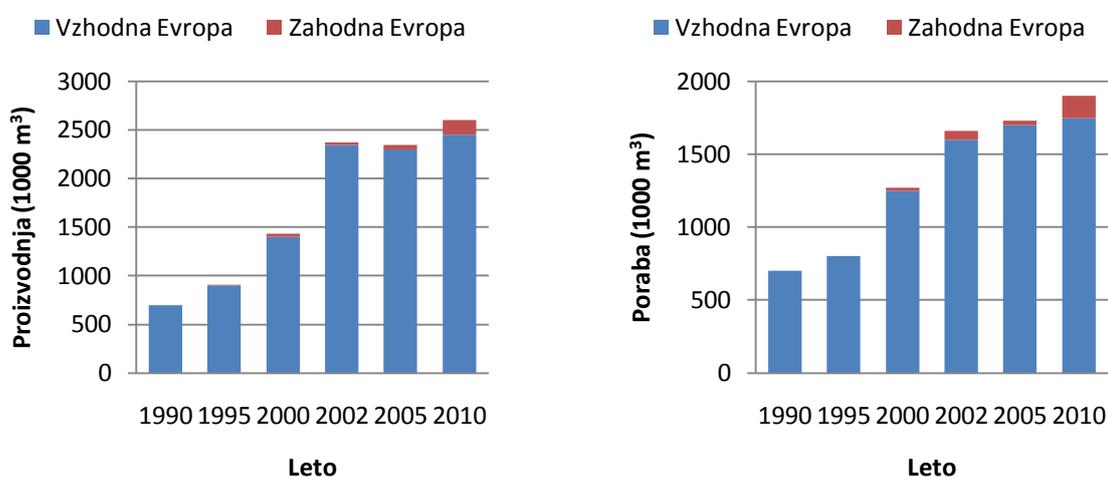
PU lepila utrjujejo na osnovi poliadicije. Za adicijsko reakcijo, ki poteka ob sproščanju toplotne energije, je potrebno pripraviti di- in poliizocianate ter jih adirati na glikoli, diamino, poliokso in poliamino spojine. Pri uporabi glikolov nastanejo linearni poliuretani, ki se talijo, pri uporabi triolov in poliolov srednje velike molekulske mase pa dobimo popolnoma zamrežene netaljive snovi.

Dvokomponentno lepilo nastane s poliadicijo izocianatnih polimerov in alkoholov z več hidroksilnimi skupinami. Enokomponentno lepilo deluje po principu, da poleg alkoholnih OH skupin tudi OH skupine vodnih molekul omogočajo zamreženje izocianatne komponente. Druga komponenta pri teh lepilih je torej voda. Da bi zagotovili ustrezno kvaliteto lepilnega spoja, uporabljajo v primeru enokomponentnih PUR lepil delno

zamrežen polimer, t. i. prepolimer. Utrjevanje takega lepila poteka izključno zaradi vpliva vlage v zraku in lesu, zato se zahteva minimalna relativna zračna vlaga 40 %. Pred uporabo moramo tem lepilom preprečiti stik z vlago (Resnik, 1989).

3.5 PROIZVODNJA LAMELIRANEGA LEPLJENEGA LESA V EVROPI IN SLOVENIJI

Države centralnozahodne Evrope so največji izvozniki lepljenega lesa, Japonska pa je najpomembnejši uvoznik. Pričakuje se povečana ponudba lepljenega lesa azijskih držav, vključno Rusije. Znotraj Evrope so mediteranske države glavni uvozniki. Podjetje Hoja je največji proizvajalec lameliranega lepljenega lesa v Sloveniji. Lameliran lepljen les proizvajata tudi podjetji Legoles in Svea. Med lepljen les sodijo predvsem lesne plošče (OSB, iverne, vlaknene, vezane) in konstrukcijski kompozitni les – LVL, PSL in LSL. Lameliran lepljen les omogoča formiranje zahtevnih arhitektonskih oblik, poljubno oblikovane konstrukcije in izdelovanje novih prostorskih konceptov. Poraba in proizvodnja lesenih lameliranih elementov je v svetu v porastu (Slika 16). Lameliran lepljen les je s stališča okoljevarstva konkurenčnejši od drugih materialov in cenjen zaradi svojih estetskih lastnosti. Z lepljenjem in s krojenjem je mogoče LLLKE oplemenititi, zato lahko uporabimo slabši, tudi recikliran les. S promocijo in z osveščanjem bi bilo mogoče pospešiti proizvodnjo in porabo LLLKE v Sloveniji (Kitek Kuzman in Hrovatin, 2006).



Slika 16: Proizvodnja in poraba lameliranega lepljenega lesa v vzhodni in zahodni Evropi
(CEI – Bois, Roadmap, 2004, 16 str.)

3.6 SODOBNA PROIZVODNJA LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA (LEDINEK, D. O. O.)

3.6.1 Sodobni stroji in naprave za izdelavo lepljenih lameliranih nosilcev podjetja Ledinek Engineering, d. o. o.

Podjetje Ledinek je že 100 let tesno povezano z obdelavo lesa. V kratkem času je postalo mednarodno priznано in uveljavljeno na področju projektiranja in izdelave lesnoobdelovalnih strojev in naprav. Tehnološki napredek se kaže v sodelovanju z raziskovalnimi inštituti in v vključevanju rezultatov sodelovanja v proizvodni proces. Podjetje Ledinek se lahko pohvali s postavitvijo in z zagonom strojev in tehnoloških linij v več kot 45 državah sveta. Sodobna izdelava, vgradnja komponent svetovno znanih proizvajalcev ter nizki stroški vzdrževanja so garancija za visoko kakovost in varnost njihovih strojev.

Razkladalne naprave

Razkladalne naprave so namenjene razkladanju zložajev desk in plohov.

Vrste razkladalnih naprav so:

- vakuumski razkladalniki (Slika 18),
- prekucne mize (Slika 19),
- vzdolžni odmikači (Slika 17),
- prečni odmikači,
- zbiralniki letvic.



Slika 17: Vzdolžni odmikač



Slika 18: Vakuumski razkladalnik



Slika 19: Prekucna miza

Transportne naprave

Transportne naprave služijo transportu desk med stroji.

Transporterji so:

- prečni transporterji (Slika 20),
- vzdolžni transporterji (Slika 21).



Slika 20: Prečni transporter



Slika 21: Vzdolžni transporter

Linija za dolžinsko spajanje

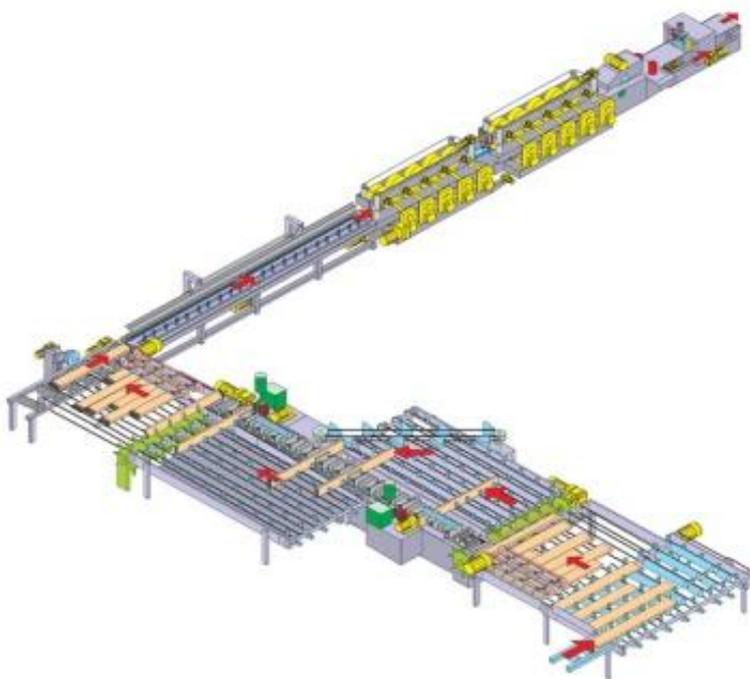
Linija za dolžinsko spajanje je namenjena spajanju lamel. Linija deluje v neprekinjenem procesu in je primerna za doseganje visoke kapacitete. Spoji so izdelani prečno na širšo stran čela obdelovanca. Hitrosti linije se gibljejo od 18 spojev na minuto do 40 spojev na minuto.

Liniji za dolžinsko spajanje sta:

- Kontizink K18 (Preglednica 1, Skica 22),
- Eurozink 11/6 300kN (Preglednica 2, Skica 23, Slika 24, Slika 25).

Preglednica 1: Tehnični podatki linije Kontizinka za dolžinsko spajanje desk

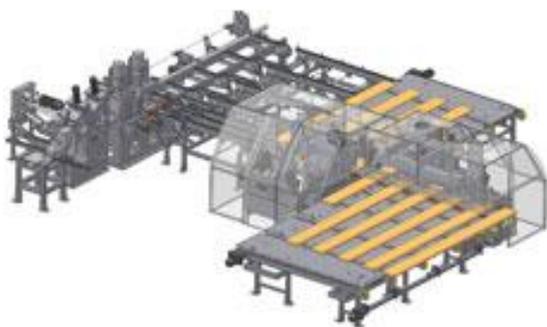
Tehnični podatki:	Enota:	Količina:
Presek obdelovanca	mm	300 X 65
Sila stiskanja	kN	Max. 110
Pomik	m/min	Max. 80



Slika 22: Skica linije Kontizinka za dolžinsko spajanje desk

Preglednica 2: Tehnični podatki linije Eurozinka za izdelavo čepov in dolžinsko spajanje

Tehnični podatki:	Enota:	Količina:
Presek obdelovanca	mm	160 X 23
Sila stiskanja	kN	Max. 300
Hitrost	spoj/min	10



Slika 23: Skica linije Eurozinka za izdelavo čepov in dolžinsko spajanje



Slika 24: Eurozinka 11/6 300kN



Slika 25: Izdelava čepov

Stiskalnica za lepljenje

Prilagodljive stiskalnice za lepljenje z uporabo hitro utrjujočih lepil s kratkimi časi stiskanje so dandanes največji izziv. Za ravne lepljence in tramove so razvili ROTOPRESS – rotacijsko (zvezdasto) stiskalnico s 4–6 polji, širine 1,2 m, dolžine do 18 m.

Za ukrivljene in daljše tramove ter za tramove z večjimi preseki je primerna HYPERPRESS CNC stiskalnica za pretežno ukrivljene nosilce, ki je uporabna tudi za druge tipe nosilcev.

Najnovejša FLEXIPRESS stiskalnica je namenjena prilagodljivi uporabi, tudi polnitvam z različnimi dolžinami. Enostavna nastavitvev omogoča učinkovito izrabo tudi pri majhnih količinah.

Rotopress

Stiskalnica Rotopress (Preglednica 3, Slika 26) je namenjena popolnoma avtomatiziranemu stiskanju nosilcev, lepljencev, stavnih elementov in profilov, opažnih nosilcev ter stropnih elementov in stropnih nosilcev.

Preglednica 3: Tehnični podatki stiskalnice Rotopress

Tehnični podatki:	Enota:	Količina:
Vpenjalna dolžina	m	5–18
Vpenjalna širina	cm	100–130
Vpenjalna višina	cm	8–30
Število vpenjalnih mest		4



Slika 26: Štiristranska stiskalnica Rotopress

Hyperpress

Stiskalnica Hyperpress (Preglednica 4, Slika 27, Slika 28, Slika 29) je namenjena avtomatizirani izdelavi ukrivljenih lepljenih elementov. Dovršena konstrukcija omogoča visoko natančnost in ponovljivost izdelave enakih elementov.

Preglednica 4: Tehnični podatki stiskalnice Hyperpress

Tehnični podatki:	Enota:	Količina:
Vpenjalna dolžina	m	15 <
Širina ležišča	m	5,5
Sila stiskanja	kN	240
Kot pozicioniranja	°	$\pm 85^\circ$

Slika 27: Napolnjena stiskalnica Hyperpress



Slika 28: Naprava za nastavitev pozicije stiskalnice



Slika 29: Naprava za stiskanje obdelovanca

Flexipress

Stiskalnica Flexipress (Preglednica 5, Slika 30) je namenjena prilagodljivi izdelavi ravnih lepljenih elementov. Posebna konstrukcija stiskalnice omogoča hitro nastavitev in prilagoditev različnim polnitvam in stopničastim zaključkom, s čimer je zagotovljena učinkovita izdelava majhnih količin.

Preglednica 5: Tehnični podatki stiskalnice Flexipress

Tehnični podatki:	Enota:	Količina:
Vpenjalna dolžina	m	18
Vpenjalna širina	m	2,3
Vpenjalna višina	cm	56



Slika 30: Stiskalnica Flexipress

Skobeljni stroji

Podjetje Ledinek Engineering, d. o. o. ima v svoji proizvodnji različne skobeljnike. Posebni predskobeljniki, skobeljniki za lamele in SUPERLES finalni skobeljniki s sistemom izmenljivih orodnih gredi proizvajajo izdelke z najboljšo kvaliteto površine.

Drugi univerzalni stroji, kot je EUROPLAN skobeljnik za gradbeni les, so večstransko uporabni in omogočajo izvajanje tudi zahtevnejših operacij, kot sta kopiranje in skobljanje ukrivljenih nosilcev. Njihov najnovejši izdelek na tem področju je stroj, ki omogoča konično skobljanje.

Superles

Stroj Superles (Preglednica 6, Slika 31) je težak večnamenski skobeljni stroj z inovativnim sistemom izmenljivih orodnih gredi. Namenjen je zahtevnemu skobljanju tramov in leplencev.

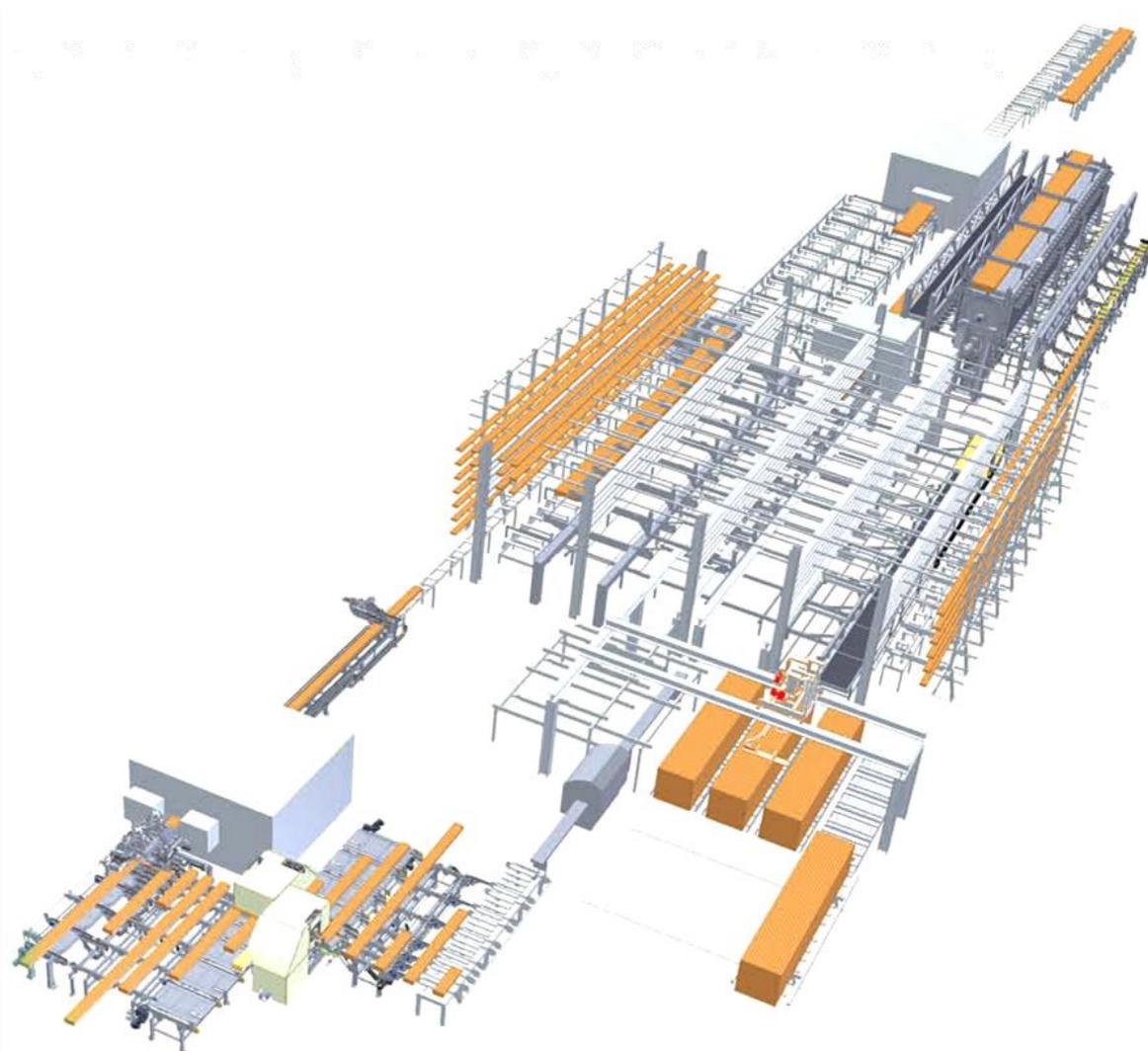
Preglednica 6: Tehnični podatki za skobeljni stroj Superles

Tehnični podatki:	Enota:	Količina:
Delovna širina	Mm	70–1300
Delovna višina	mm	19–320
Pomik	m/min	6–45



Slika 31: Slika skobeljnega stroja Superles

Linija za izdelovanje lepljenih nosilcev



Slika 32: Celotna linija izdelovanja lepljenih lameliranih nosilcev

3.7 PODJETJE HOJA, D. D.

3.7.1 Predstavitev podjetja

Hoja, lepljene konstrukcije in žaga, ima dolgoletne izkušnje v predelavi hlodovine in izdelavi lesenih lepljenih konstrukcij. Leta 1968 se je v proizvodnem obratu v Ljubljani pričela proizvodnja lepljenih konstrukcij. V sodelovanju s projektivnim birojem BLI je projektant Aleksander Marinko za novo konstrukcijsko halo izdelal prvi lepljeni nosilec s krivo osjo. Testiranje do porušitve so opravili na takratnem ZRMK Ljubljana. Zelo spodbudni rezultati testiranja in velik porast uporabe lesenih lepljenih konstrukcij v Evropi so pospešili nadaljevanje organiziranja proizvodnje in prodaje tega proizvoda na tržišče.

V 70-ih letih so se srečevali z dokaj velikimi težavami na tržišču. Tudi za organe nadzora (predvsem gradbene in požarne inšpektorje) je bila ta zvrst proizvodnje nekaj novega. Največ težav je bilo zaradi nedorečene zakonodaje z atesti in s prevzemi objektov. Požarna varnost in dejstvo, da objekti niso bili tipizirani, sta bila v razvitem svetu prednost, toda pri nas kamen spotike.

Dejavnost podjetja obsega predelavo hlodovine za lastne potrebe in potrebe zunanjih naročnikov, proizvodnjo dolžinsko spojenega lesa, lepljenih lameliranih nosilcev ter montažo na objektih. Na leto razžagajo od 10000 do 12000 m³ hlodovine, izdelajo pa za okoli 3500 m³ lepljenih nosilcev, ki so znani in uporabljeni povsod v Sloveniji, bivših jugoslovanskih državah ter v Italiji, Avstriji, Nemčiji in drugih zahodnoevropskih državah. V tesarski in žagarski proizvodnji je 45 zaposlenih delavcev. Podjetje sledi potrebam in zahtevam na trgu kakor tudi željam individualnih kupcev. Svoje poslovanje si prizadeva dvigniti na višji nivo, kamor sodi tudi skrb za kvaliteto proizvodov in posledično zadovoljstvo kupcev.

Podjetje Hoja, d. d. ima za svojo proizvodnjo pridobljeno licenco A Otto Graf inštituta iz Stuttgarta, ki zahteva uporabo tehnološke in kontrolne opreme, atestirane na tem inštitutu. Za dolžinsko spajanje uporabljajo tehnologijo podjetja Dimter, za skoblanje lamel in nosilcev pa uporabljajo stroje podjetja Kupfer Muhle. Oba proizvajalca izpolnjujeta pogoje za kvalitetno izdelavo lesenih lepljenih konstrukcij po evropskih standardih. Njihov glavni proizvod so lesene lepljene strešne konstrukcije za različne namene uporabe v športnih objektih, bazenih, nadstrešnicah, hotelih ... Čedalje več je individualnih kupcev, ki vgrajujejo lepljene nosilce kot strešne konstrukcije, stropnike, nadstreške za avtomobile, pergole idr. v svoje objekte. Razvoj podjetja je usmerjen v izdelavo strešnih konstrukcij kot celot v izvedbi panelnih sistemov za izgradnjo montažnih hal in individualnih objektov. Kot konkurenčen proizvod betonu in jeklu proizvajajo in stalno razvijajo tehnologijo za izdelavo lesenih mostov iz lepljenega lesa, ki so se v uporabi ob ustreznem vzdrževanju že izkazali kot cenovno in estetsko ustrezen proizvod.

Vizija podjetja

Razvoj podjetja je usmerjen v izdelavo strešnih konstrukcij kot celot ter v izvedbo panelnih sistemov za izgradnjo montažnih hal in individualnih objektov. Kot konkurenčen proizvod betonu in jeklu razvijajo tehnologijo za izdelavo lesenih mostov iz lepljenega lesa, ki so se ob ustreznem vzdrževanju izkazali kot cenovno in estetsko ustrezen proizvod. Sodobno oblikovanje, bivanjska kultura in okoljevarstvena osveščenost so vodilo razvoja široke palete lameliranih produktov, ki jih ponuja Hoja, d. d.

Kakovostna politika

Kakovost je eden od najpomembnejših elementov poslovanja družbe in predstavlja temeljni pogoj za nadaljnje poslovanje. Rezultat skupnega dela se mora odražati v zadovoljstvu kupca in kvaliteti, ki je sprejemljiva zanj.

Pogoja za doseg ciljev kakovosti sta poznavanje zakonskih predpisov ter upoštevanje zahtev projektantov in kupcev. Povečati je potrebno zaupanje in zadovoljstvo kupcev, zato je potrebno tesno sodelovati tako s projektanti kot s kupci.

S kakovostjo želijo doseči:

- izpolnjevanje zahtev kupcev in projektantov,
- zaupanje kupcev,
- znižati stroške poslovanja,
- izboljšati uspešnost in učinkovitost poslovanja.

3.7.2 Proizvodnja in tehnologija

Proizvodnji postopek je prilagojen izdelavi lepljenega lameliranega lesa – nosilcev, ki se uporabljajo za razne premostitvene nosilne konstrukcije v gradbeništvu. Izdelujejo jih iz dolžinsko spojenih lamel z zobato zvezo, iz smrekovega in jelovega lesa.

Dobava hlodovine in skladiščenje

Podjetje Hoja kupuje hlodovino izključno v Sloveniji. V bližini podjetja jo skladišči na asfaltiranem skladišču.

Razžaganje hlodovine v deske in plohe

V podjetju Hoja se vsa hlodovina razžaga na lastni žagi, in sicer na dveh linijah – na vertikalni tračni žagi Bratstvo ali polnojarmeniku Esterer. Količine in dimenzije se določijo

na podlagi obstoječih zalog žaganega lesa, odprtih ponudb in potreb že znanih delavnih nalogov. Pri žaganju se upošteva nadmera, in sicer na nazivni debelini 38 mm in 48 mm dodamo 2 mm ter na nazivno debelino 24 mm dodamo 1 mm. Pri širini desk je nazivna mera tudi žagana mera.

Grobo sortiranje lesa

Nažagan sveži les, ki pride iz žagalnice, se mora pripraviti za sušenje. Pri letvičenju lesa v zložaje se izloči les, ki ni ustrezen za nadaljnjo uporabo. Tu se izločijo napake, kot so kompresijski les; les, napaden z glivami in drugimi lesnimi škodljivci; razpokan les in ne ostrorobo žagan les. Upoštevajo se interna navodila za delo. Les z barvnimi napakami (modrikavost), ki ustreza drugim kriterijem, delavci na sortiranju zlagajo v posebne zložaje. Skladišče podjetja Hoja (Slika 33) je asfaltirano.



Slika 33: Skladišče desk in plohov

Sušenje lesa

Pravilno letvičen les se vstavi v sušilnico. Tu se glede na vrsto in debelino lesa izbere program sušenja in zabijejo kontrolne sonde v kontrolne deske ali plohe. Razporedijo se tako, da pokrijejo celotno površino in višino sušilnice. Les se suši na 10 ± 2 % vlage.

Razvrščanje suhega lesa

Suh žagan les se razletviči in sortira po internih navodilih za delo. Suh žagan les se razporeja v sortirne razrede tako, da se upoštevajo standardi. Vsak zložaj, ki je predhodno sortiran, mora imeti kontrolni list, iz katerega so razvidni: kdo in kdaj je sortiral, kvaliteta, dimenzije desk/plohov in število kosov v zložaju.

Postopek proizvodnje lepljenih lameliranih nosilcev

Postopek proizvodnje lepljenih lameliranih nosilcev se izvaja v notranjem, zaprtem prostoru. Celoten postopek poteka po liniji.

Skladiščenje suhega lesa in merjenje vlažnosti

Les se nekaj časa nahaja v skladišču (Slika 34) v notranjosti stavbe, kjer poteka proizvodnja. Vsaki deski se avtomatsko izmeri vlažnost, ki mora biti v mejah $10 \pm 2 \%$. Deske, ki imajo neustrezno vlažnost, odstranijo.



Slika 34: Skladišče suhih desk in plohov v proizvodnji

Izrez napak

V podjetjih vizualno določajo in ocenjujejo kvaliteto lesa (Slika 35). Na vsaki deski delavec označi napake, ki jih čelilnik samodejno izreže. Pri tej operaciji je še vedno potrebna prisotnost človeka, ki najboljše vizualno oceni desko.



Slika 35: Vizualno sortiranje desk in izrez napak

Izdelava zobatih spojev

Lamele spajajo z zobatimi spoji (Slika 37). Vsako desko se obojestransko zarezka. Stroj (Slika 36) v eni potezi zarezka štiri deske.



Slika 36: Stroj za izdelovanje zobatih spojev



Slika 37: Zlepljen zobati spoj in obremenitveni utor

Dolžinsko spajanje lesa v lamele

Dolžinsko spajanje (Slika 38) se vrši na spajalni liniji Dimter. Pri tem se morajo upoštevati navodila za delo. Pri dolžinskem spajanju lesa so natančno določene napake, ki so še dopustne. Upoštevajo se tudi zahteve, ki so podane v standardu SIST EN 385. Neustrezne deske ali plohi se izločijo, ostale se spojijo v predpisane dimenzije po zahtevah DN.



Slika 38: Deske so dolžinsko spojene v lamele

Izžagovanje razbremenitvenih utorov

Postopek se izvaja takoj za operacijo dolžinskega spajanja. Tako se v vse deske naredi utor in se jih s transporterjem odpelje do vmesnega skladišča.

Čeljenje lamel (izrez na potrebno dolžino)

Neskončne lamele čelijo na zahtevano dolžino lepljenega nosilca, ki je omejena na maksimalno dolžino stiskalnice oziroma oblikovalnika. Lamela mora po čeljenju mirovati toliko časa, da lepilo utrdi, čas mirovanja pa je podan s strani proizvajalca lepila.

Ploskovno lepljenje lamel v nosilce (skoblanje, nanos lepila, stiskanje)

Pred pričetkom lepljenja morajo dolžinsko spojene lamele odležati vsaj 6 ur, da lepilo utrdi. Predhodno je potrebno pripraviti »oblikovnik« (Slika 41), kjer se lepijo in stiskajo nosilci. Dolžinsko spojene lamele se skobljajo v lamelnem skobeljniku (Slika 39) na potrebno debelino in širino pred nanosom lepila. Komponenti lepila (trdilec in smola) se nanašata ločeno. Nanos je prilagojen razmerju 20 : 100 utežnih delov in pomiku skobljanja 70 m/min, kar zagotavlja nanašalna naprava (Slika 40). Lamele se zložijo v »oblikovnik« in stisnejo z vijačnimi svorami, ki ustvarjajo potreben tlak stiskanja.



Slika 39: Lamelni skobeljnik
Slika 40: Stroj za nanašanje lepila



Slika 41: Horizontalna stiskalnica

Skobljanje nosilcev

Nadaljnja obdelava nosilcev (skobljanje) je dovoljena po končanem času stiskanja. V podjetju Hoja traja približno 20 ur. Skobljanje se vrši na skobeljnem stroju Kupfermuhler (Slika 42). Predpisana dimenzija nosilcev se doseže s štiristranskim skobljanjem v enem ali dveh prehodih skozi stroj. Pri tem je potrebno paziti na dimenzijsko ustreznost in na videz nosilca.



Slika 42: Štiristranski skobeljni stroj

Končna obdelava lepljenih nosilcev

Končna obdelava nosilcev (Slika 43) je odvisna od zahtev. V vsakem primeru obsega krojenje na predpisano dolžino, sanacijo naravnih napak lesa (grč, smolnih kanalov) in rezkanje robov pod kotom 45°. Te operacije se izvajajo z ročnim električnim orodjem, tako da se izvrti/ izrezka napaka in v luknjo vstavi krpa (»grča«, smolika), ki se nato poskoblja. Ostala dela lahko obsegajo izdelavo utorov, lukenj, razrez pod določenimi koti, montažo raznega okovja, barvanje ...



Slika 43: Ploskovno obdelan nosilec

Odprema in prevoz nosilcev na gradbišče

Zadnja faza zajema odpremo, prevoz in montažo na gradbišču. Za prevoz nosilcev do gradbišča se v podjetju skoraj vedno poslužujejo posebnih prevozov (Slika 44). Tako se večina izdelkov odvaža ponoči s posebnimi tovari.



Slika 44: Posebni transport nosilcev

Montaža nosilcev

Montaža nosilcev poteka s pomočjo avtodvigal (Slika 45) in dvižnih košar, za večje in zahtevnejše konstrukcije pa je potrebno večje število dvigal in dvižnih košar. Trajanje montaže je odvisno od velikosti in zahtevnosti objekta. Montaža objekta v nekaterih primerih vključuje tudi postavitve strehe.



Slika 45: Vgradnja nosilcev na terenu

4 NOSILNOST ELEMENTOV IZ MASIVNEGA LEPLJENEGA LESA

Les je bil že od nekdaj material, ki se je uporabljal predvsem za prevzem upogibnih obremenitev. Pomanjkljivo je le dejstvo, da je modul elastičnosti lesa sorazmerno nizek, kar pomeni, da bi morali biti leseni nosilci za premagovanje večjih razponov zelo visoki. Ker je masivni les zaradi močno omejenih maksimalnih dimenzij debela to onemogočal, sta beton in predvsem jeklo postala nepogrešljiva za premagovanje večjih razponov. S proizvodnjo lepljenih lameliranih elementov, ki omogoča izdelavo poljubno visokih lesenih elementov, se je to spremenilo. Danes se množično izdelujejo lamelirani elementi s spremenljivo višino in celo ločni elementi, ki omogočajo premagovanje razponov preko 100 metrov.

Dolgo se je za kontrolo nosilnosti uporabljala metoda dopustnih napetosti, ki predstavlja klasični način dimenzioniranja lesenih elementov. Princip temelji na kriteriju izkoriščenosti napetosti v prerezu glede na dopustno podano vrednost (σ_{dop}), ki predstavlja reducirano vrednost glede na napetost pri poružitvi materiala.

4.1 UVOD

Z letom 2008 je v Sloveniji obvezna uporaba sodobnih standardov (Evrokodi 1 do 9) za projektiranje nosilnih konstrukcij. Projektiranju stavb in gradbenih inženirskih objektov v lesu je namenjen Evrokod 5 (SIST EN 1995). Razdeljen je na dva dela. Prvi del obsega SIST EN 1995-1-1 (Splošna pravila in pravila za stavbe) in SIST EN 1995-1-2 (Splošna pravila – Projektiranje požarnih konstrukcij), drugi del pa je SIST EN 1995-2 za mostove. Vplivi na konstrukcije in njihove elemente so podani v Evrokodu 1 (SIST 1991:2004). V splošnem izvedemo kontrolo nosilnosti in uporabnosti elementov v kritičnih prerezih.

Stalne obtežbe:

Pod stalno obtežbo se upošteva teža konstrukcije (nosilca), lastna teža sekundarne konstrukcije in teža kritine.

$$g_N = \gamma_{les} \cdot A \quad \dots (1)$$

kjer so:

g_Nlastna teža nosilca

γ_{les}lastna teža nosilca na m³

Apovršina prečnega prereza (b x h)

bširina nosilca

hvišina nosilca

$$g_{1N} = g_1 \cdot e_n \quad \dots (2)$$

kjer so:

g_{1N}obtežbe na nosilec

g_1obtežba na m^2

e_nrazmik med nosilci

Koristne obtežbe:

Sneg:

$$S_N = (\mu_i \cdot C_T \cdot C_E \cdot S_k) \cdot e_N \quad \dots (3)$$

$$S_k = (0,642 \cdot z + 0,009) \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad \dots (4)$$

Veter:

$$w_N = w \cdot e_n \quad \dots (5)$$

kjer so:

S_Nobtežba snega na nosilec

μ_ioblikovni koeficient obtežbe snega

C_Ttermični koeficient, običajno kar vrednost 1

C_Ekoeficient izpostavljenosti, običajno kar vrednost 1

S_kkarakteristična vrednost obtežbe snega na tla glede na klimatsko cono in nadmorsko višino, podajajo jo nacionalni predpisi

e_nrazmik med nosilci

zcona

Anadmorska višina

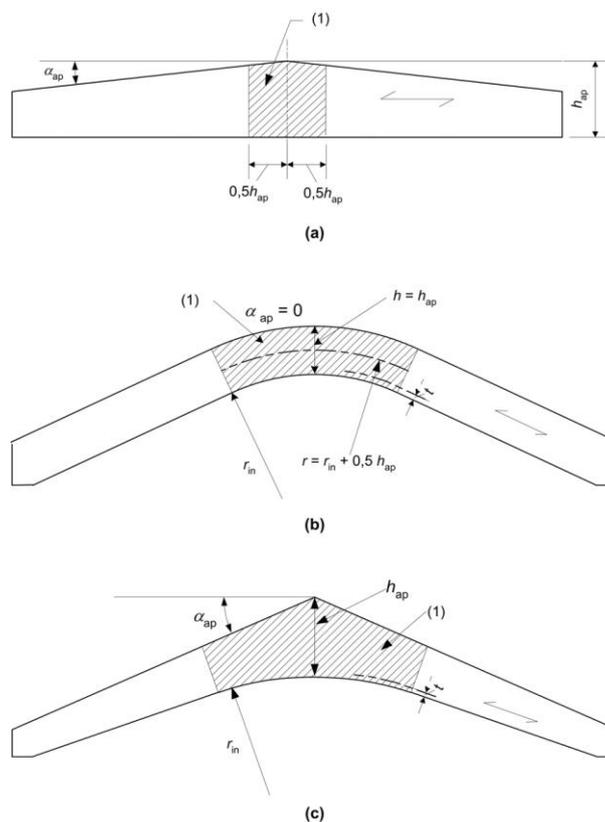
w_Nobtežba vetra

wobtežba vetra na m^2

Nosilec s spremenljivo višino in ukrivljeni nosilci:

Nosilci s spremenljivo višino in ukrivljeni nosilci so praviloma iz lepljenega lameliranega lesa ali slojnatega furnirnega lesa (LVL). Pri kontroli mejnega stanja nosilnosti moramo upoštevati vse splošne zahteve, ki veljajo pri osno upogibni in strižni obremenitvi. Nosilce lahko razvrstimo v 3 tipe (Slika 46).

Pri teh nosilcih moramo preveriti napetostno stanje v kritičnem prerezu – v prerezu, kjer so največje normalne napetosti – ter v temenskem območju (sredina nosilca – šrafirano področje (Slika 46)).

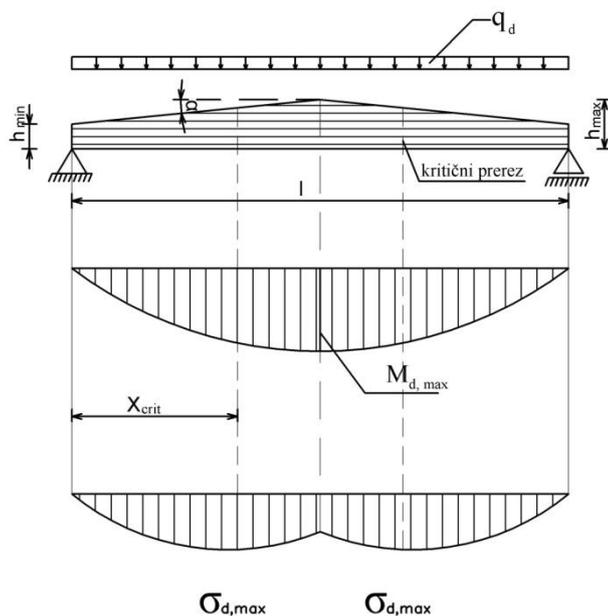


Slika 46: (a) Ravni dvokapni nosilec, (b) ukrivljeni nosilec, (c) dvokapni nosilec z ukrivljenim spodnjim robom (EN 1995-1-1:2004)

Določitev kritičnega prereza:

S spreminjanjem višine nosilcev želimo kar najbolj slediti poteku momentne linije in doseči, da so normalne napetosti čim bolj enakomerno porazdeljene po dolžini elementa. Iz navedenega sledi, da ni nujno, da se največje normalne napetosti pojavijo na mestu največjega upogibnega momenta, temveč so lahko na drugi lokaciji po vzdolžni osi. Ta prečni presek imenujemo kritični presek.

Normalne napetosti določimo po klasični teoriji nosilca. Dodatno je potrebno upoštevati spremenljivo višino nosilca, kar pomeni, da odpornostni moment (W) po vzdolžni osi elementa ni konstanten. Iz navedenega sledi, da normalne napetosti po vzdolžni osi funkcijsko ne sledijo momentni funkciji, torej niso največje na mestu največjega momenta. Normalne napetosti so bolj enakomerno porazdeljene po vzdolžni osi, kar izboljša izkoriščenost elementa in zmanjša porabo materiala. Shematski prikaz poteka normalnih napetosti po vzdolžni osi za dvokapni nosilec prikazuje Slika 47.



Slika 47: Potek upogibnih momentov in maksimalnih napetosti vzdolž nosilca

Za prostopodprti simetrični dvokapni nosilec z enakomerno zvezno obtežbo velja:

$$x_{crit} = \frac{h_{min}}{h_{max}} \cdot \frac{l}{2} \quad \dots (6)$$

kjer je:

x_{crit}razdalja kritičnega prereza

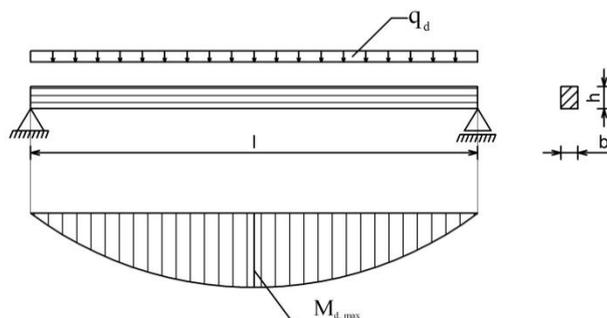
h_{min}minimalna višina nosilca

h_{max}maksimalna višina nosilca

ldolžina nosilca

4.2 UPOGIB

Pri kontroli nosilnosti se bomo omejili na prosto ležeč strešni nosilec iz lepljenega lameliranega lesa, obremenjenega z enakomerno zvezno obtežbo (Slika 48).



Slika 48: Potek upogibnih momentov pri prosto ležečem nosilcu in prečni prerez nosilca

Projektna obtežba q_d je pri strehah odvisna od stalne obtežbe (lastne teže nosilca, letev, izolacije, kritine ...) in koristne obtežbe (sneg, veter ...). V našem primeru pa smo še dodatno upoštevali težo inštalacij kot dolgotrajno stalno obtežbo.

$$q_d = \gamma_G \cdot (g_N + g_{1N}) + \gamma_Q \cdot (s_N + \psi \cdot \omega_n) \quad \dots (7)$$

kjer je:

- γ_Gdelni varnostni faktor za stalne obtežbe
- γ_Qdelni varnostni faktor za koristne obtežbe
- g_nlastna teža nosilca
- g_{1n}teža kritine, letev, izolacije
- s_nobtežba snega
- ψfaktor za kombinacijo koristnih obtežb
- w_npritisk vetra

Maximalni upogibni moment:

$M_{d,max}$ je za prosto ležeče nosilce enak:

$$M_{d,max} = \frac{q_d \cdot l^2}{8} \quad \dots (8)$$

kjer je:

- $M_{d,max}$maksimalni upogibni moment
- q_dprojektna obtežba
- lrazdalja nosilca

Projektne napetosti pri upogibu $\sigma_{m,d}$ določimo z izrazom:

- na ravnem robu:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} \leq f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad \dots (9)$$

Pri čemer je W odpornostni moment, ki je za pravokotne prereze enak:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad \dots (10)$$

$f_{m,d}$računska upogibna trdnost lesa

$f_{m,k}$karakteristična upogibna trdnost lesa

k_{mod}modifikacijski faktor, odvisen od vlažnosti lesa in časa trajanja obtežbe

γ_Mvarnostni faktor materiala za lesene lepljene nosilce je 1,25

- na poševnem robu:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d(xcrit)}}{W_{crit}} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} \quad \dots (11)$$

kjer je:

$\sigma_{m,d}$ projektna upogibna napetost pod kotom glede vlakna

$f_{m,d}$ računska upogibna trdnost lesa

$k_{m,\alpha}$ tlačna napetost na poševnem robu

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5f_{v,d}} \tan \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha\right)^2}} \quad \dots (12)$$

Napetosti v temenskem območju:

Pri dimenzioniranju prereza v območju temena je potrebno najprej določiti področje in izračunati njegov volumen V , ki je odvisen od oblike nosilca.

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{M_{d,max}}{W} \leq f_{m,d} \quad \dots (13)$$

kjer je vrednost faktorja k_l odvisna od naklona roba pri slemenu (α_{ap}):

$$k_l = k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap} \quad \dots (14)$$

V temenskem območju se dodatno pojavijo tudi radialne natezne napetosti ($\sigma_{t,0,d}$), ki potekajo nelinearno po prečnem prerezu ter so odvisne od naklona (α_{ap}). Pri dimenzioniranju elementa je potrebno zadostiti napetostnemu pogoju, ki je po EC-5 definiran v obliki:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{f,90,d} \quad \dots (15)$$

kjer je:

$$k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} \quad \dots (16)$$

S faktorjem prostornine k_{vol} upoštevamo velikost temenskega območja V , ki računsko ne sme biti večja od $2V_b/3$, kjer je V_b prostornina celega nosilca. V_0 je referenčni volumen, za katerega se privzame vrednost $0,01 \text{ m}^3$:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} \quad \dots (17)$$

S faktorjem k_{dis} upoštevamo učinek porazdelitve napetosti v temenskem območju, ki je za dvokapne nosilce enak (k_{dis}) 1,4.

4.3 STRIG

Maksimalne projektne strižne napetosti ($\tau_{d,max}$) zaradi prečne sile (V_d) pri upogibu za simetrične prereze izračunamo po splošni enačbi:

$$\tau_{d,max} = 1,5 \cdot \frac{V_{d,max}}{\frac{2}{3} \cdot b \cdot h} \leq f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \quad \dots (18)$$

kjer je:

$f_{v,k}$karakteristična strižna trdnost lesa

γ_Mvarnostni faktor materiala za lesene lepljene nosilce je 1,25

$f_{v,d}$računska strižna trdnost lesa

k_{mod}modifikacijski faktor, odvisen od lažnosti lesa in časa trajanja obtežbe

Maksimalno prečno silo v našem primeru izračunamo:

$$V_{d,max} = \frac{q_d \cdot l}{2} \quad \dots (19)$$

Tlačna napetost pravokotno na vlakna:

Pritisk pravokotno na vlakna lesa nastane v prerezih, ko obremenilna sila deluje pod pravim kotom glede na vlakna lesa, na primer pri stiku med nosilcem in stebrom. Projektna tlačna napetost na kontaktni površini pravokotno na vlakna ($\sigma_{c,90cd}$), ki nastane zaradi delovanja projektne sile (R_d), je enaka:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{b \cdot l_{podpore}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad \dots (20)$$

$$k_{c,90} = 1 \quad \dots (21)$$

$$R_d = \frac{q_d \cdot l}{2} \quad \dots (22)$$

kjer je:

R_dsila na podporo

$\sigma_{c,90,d}$ projektna upogibna napetost pravokotno na vlakna

$f_{c,90,d}$ projektna upogibna trdnost pravokotno na vlakna

$k_{c,90}$ tlačna trdnost pravokotno na vlakna

$l_{podpore}$dolžina podpore

5 MATERIALI IN METODE

5.1 MATERIAL

Uporaba lesa kot gradbenega materiala se je skozi časovna obdobja spreminjala. Pred industrializacijo je prevladovala gradnja lesenih hiš, z nastopom modernizacije pa so les zamenjali beton in kovine. V zadnjem obdobju se povečuje uporaba lesa za gradbene namene, saj je les kvaliteten, estetski in cenovno ugoden. Lepila in različni dodatki so les prilagodili modernemu trgu, saj ga je mogoče oblikovati za različne namene. Les je naravni material, zato je v današnjem, ekološko vse bolj ozavešenem času priljubljen in iskan.

Uporaba lepljenih lameliranih nosilcev se v zadnjih letih (predvsem v ekološko ozavešenih državah) povečuje, saj so požarno varni in imajo dobre mehanske lastnosti. Pravilna in natančna vgradnja zagotavlja dolgo obstojnost lesa. Nosilce je mogoče vgraditi v različne objekte, na primer v večnamenske dvorane, industrijske obrate, mostove, stanovanjske hiše ...

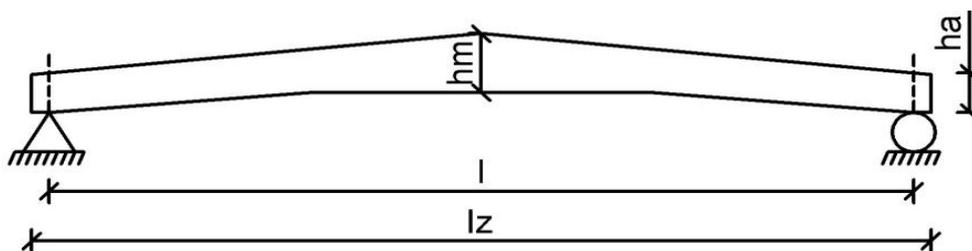
Za izdelavo diplomske naloge smo izbrali celoten postopek izdelave lepljenih lameliranih nosilcev, njihovo uporabo in namembnost ter tipe konstrukcij. Osredotočili smo se na proizvodnjo podjetja Hoja. Diplomska naloga je bila praktično zastavljena, saj smo aktivno delali v proizvodnji podjetja Hoja, kasneje smo se lotili terenskega dela, kajti izbrane objekte smo poiskali, jih fotografirali in opisali. Konstrukcije smo izbrali na podlagi treh kriterijev: aktualnosti (novozgrajeni objekti), velikosti (večji objekti) in zanimivosti (posebni, raznoliki objekti). Pri ogledu objekta sem se osredotočil tako na zunanost (lega, velikost, kritina, zunanji videz, umestitev v okolico ...) kot na notranost (tip konstrukcije, razpon ...). Na eni izmed konstrukcij smo opravili statične izračune. Obiskali smo podjetje Ledinek Engineering, d. o. o., ki je eno izmed vodilnih na področju izdelave strojev in linij za lepljene lamelirane nosilce. Podjetje Ledinek ima bogato in dolgo tradicijo na področju izdelave lesnoobdelovalnih strojev, ki jih večinoma izvažajo v tujino.

Želeli smo se seznaniti z zgodovinskim razvojem inženirskih konstrukcij iz lepljenega lameliranega lesa ter s tehnologijo in proizvodnjo v Sloveniji (podjetja Hoja) in z možnostmi izboljšav (primerjave s tujino in s podjetjem Ledinek). Želeli smo narediti pregled in primerjalno analizo realiziranih Hojinih konstrukcij ter jih sistematično prikazati po namembnosti in konstrukcijskih tipih. Iskali in širili smo možnosti večje uporabe lesenih lepljenih elementov v Sloveniji. Napravili smo kontrolo nosilnosti strešnih nosilcev za Športno dvorano Kočevje in Športno dvorano Škofljica po novih evropskih standardih za projektiranje lesenih nosilnih konstrukcij.

5.2 NAJPOGOSTEJI UPORABLJENI TIPI LEPLJENIH LAMELIRANIH NOSILCEV V PODJETJU HOJA

5.2.1 Prostoležeči nosilec z zakrivljeno osjo

Naklon nosilca je 12° .

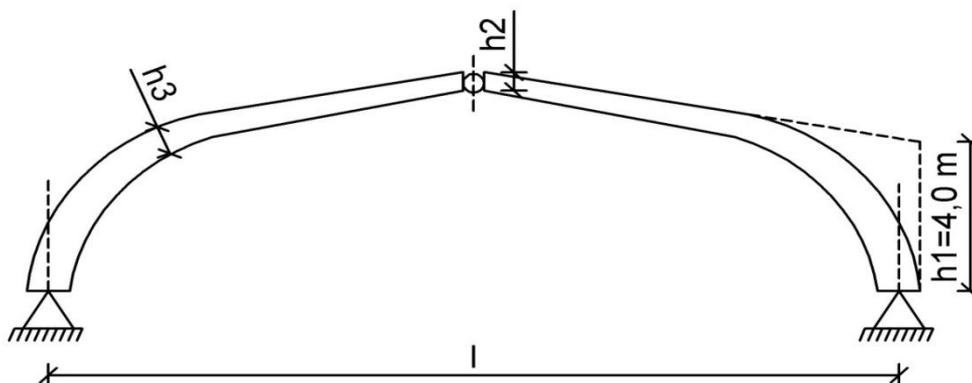


Slika 49: Prostoležeči nosilec z zakrivljeno osjo (naklon nosilca 12°)

Preglednica 7: Podatki prostoležečega nosilca z zakrivljeno osjo

	Zunanja mera (I_z)	Razpon (I)	Širina nosilca (h)	Višina v podpori (h_a)	Višina v sredini (h_m)	Volumen (V)
1.	13,00	12,50	0,12	0,60	0,90	1,20
2.	15,50	15,00	0,14	0,70	1,00	1,85
3.	18,00	17,50	0,14	0,80	1,16	2,55
4.	20,50	20,00	0,16	0,80	1,30	3,50
5.	23,00	22,50	0,16	0,90	1,46	4,40
6.	25,50	25,00	0,18	0,90	1,60	5,80
7.	28,00	27,50	0,18	1,00	1,76	7,10
8.	30,50	30,00	0,20	1,00	1,90	9,00

5.2.2 Tročlenski okvirni nosilec



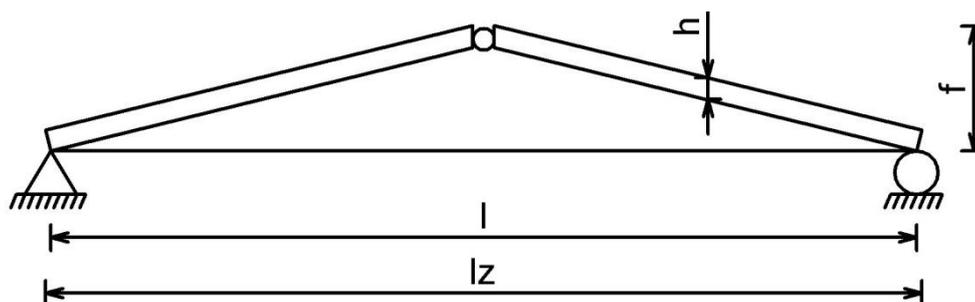
Slika 50: Tročlenski okvirni nosilec

Preglednica 8: Podatki tročlenskega okvirnega nosilca

	Razpon (I)	Širina (b)	Višina v podpori (h1)	Višina v kapu (h2)	Višina v sredini (h3)	Volumen (V)
1.	15,00	0,16	0,40	0,70	0,25	1,90
2.	17,50	0,16	0,45	0,75	0,30	3,20
3.	20,00	0,18	0,50	0,80	0,35	3,10
4.	22,50	0,19	0,55	0,85	0,40	3,70
5.	25,50	0,20	0,60	0,90	0,45	4,70
6.	27,50	0,20	0,65	0,95	0,50	5,50
7.	30,00	0,22	0,70	1,05	0,60	7,10
8.	33,50	0,22	0,75	1,15	0,65	8,00

5.2.3 Tročlenski nosilec z vezjo

Naklon nosilca je 15°.

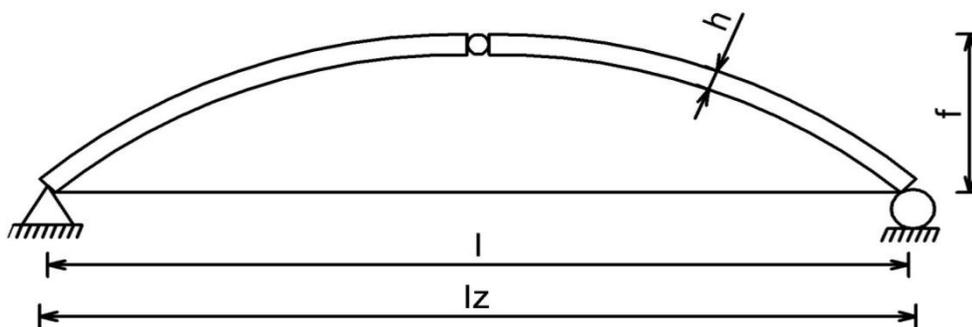


Slika 51: Tročlenski nosilec z vezjo (naklon nosilca 15°)

Preglednica 9: Podatki tročlenskega nosilca z vezjo

	Zunanja mera (Iz)	Razpon (I)	Višina (f)	Višina nosilca (h)	Volumen (V)	Radij nosilca (r)
1.	20,50	20,00	3,00	0,50	2,10	18,20
2.	23,00	22,50	3,38	0,56	2,60	20,40
3.	25,50	25,00	3,75	0,60	3,50	22,70
4.	28,00	27,50	4,13	0,66	4,10	25,00
5.	30,50	30,00	4,50	0,70	5,30	27,30
6.	33,00	32,50	4,88	0,76	6,20	29,50
7.	35,50	35,00	5,25	0,80	7,60	31,80
8.	38,00	37,50	5,63	0,86	8,70	34,00

5.2.4 Tročlenski ločni nosilec z vezjo

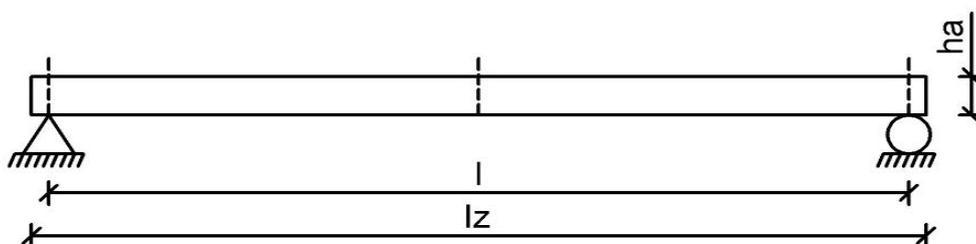


Slika 52: Tročlenski ločni nosilec z vezjo

Preglednica 10: Podatki tročlenskega ločni nosilca z vezjo

	Zunanja mera (l_z)	Razpon (l)	Širina nosilca (b)	Višina nosilca (h)	Višina (f)	Volumen (V)
1.	15,50	15,00	0,16	0,54	2,01	1,40
2.	18,00	17,50	0,16	0,54	2,34	1,65
3.	20,50	20,00	0,18	0,66	2,68	2,55
4.	23,00	22,50	0,18	0,66	3,02	2,85
5.	25,50	25,00	0,20	0,78	3,35	4,10
6.	28,00	27,50	0,20	0,78	3,69	4,50
7.	30,50	30,00	0,22	0,90	4,02	6,20
8.	33,00	32,50	0,22	0,90	4,36	6,70

5.2.5 Prostoležeči nosilec konstantne višine

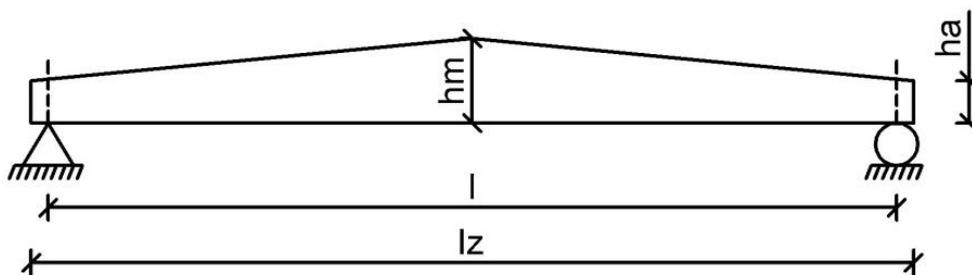


Slika 53: Prostoležeči nosilci konstantne višine

Preglednica 11: Podatki prostoležečega nosilca konstantne višine

	Zunanja mera (l_z)	Razpon (l)	Širina nosilca (h)	Višina v podpori (h_a)	Višina v sredini (h_m)	Volumen (V)
1.	10,50	10,00	0,12	0,46	0,70	0,75
2.	13,00	12,50	0,12	0,54	0,85	1,05
3.	15,50	15,00	0,14	0,56	0,94	1,50
4.	18,00	17,50	0,14	0,64	1,08	2,15
5.	20,50	20,00	0,16	0,68	1,18	3,10
6.	23,00	22,50	0,16	0,76	1,32	3,85
7.	25,50	25,00	0,18	0,80	1,42	5,10
8.	28,00	27,50	0,18	0,84	1,54	6,00

5.2.6 Prostoležeči nosilec z naklonom



Slika 54: Prostoležeči nosilec z naklonom

Preglednica 12: Podatki prostoležečega nosilca z naklonom

	Zunanja mera (l_z)	Razpon (l)	Širina nosilca (h)	Višina v podpori (h_a)	Višina v sredini (h_m)	Volumen (V)
1.	08,00	7,50	0,10	0,50	0,50	0,40
2.	10,50	10,00	0,12	0,62	0,62	0,90
3.	13,00	12,50	0,12	0,78	0,78	1,20
4.	15,50	15,00	0,14	0,86	0,86	1,90
5.	18,00	17,50	0,14	1,00	1,00	2,55
6.	20,50	20,00	0,16	1,08	1,08	3,55
7.	23,00	22,50	0,16	1,20	1,20	4,45
8.	23,50	25,00	0,18	1,28	1,28	5,90

6 REZULTATI

6.1 IZBRANE INŽENIRSKÉ KONSTRUKCIJE IZ LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA V SLOVENIJI



6.2 ŠPORTNI OBJEKT

Podatki o objektu: Tenis dvorana Banex	
Tip objekta (namembnost)	Športni objekt
Tip konstrukcije	Tročlenski okvirni nosilci
Naročnik	Banex, d. o. o., proizvodno trgovsko podjetje Slovenija, Delavska 10/B, Slovenske Konjice
Arhitekt (avtor)	Vlado Pijavž, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	PRODING Inženiring, d. o. o., Stritarjeva 11, Grosuplje
Statika gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Slovenske Konjice
Neto kvadratura	2200 m ²
Leto izgradnje	2006
Čas izgradnje	13 dni
Opis objekta	<p>Tenis dvorana Banex (Slika 55) se nahaja na obrobju Slovenskih Konjic, ob cesti, ki vodi iz centra Slovenskih Konjic proti Poljčanam. Objekt je umeščen v industrijsko cono, nasproti podjetja Prenova, delno je obdan s kmetijskimi površinami. Vhod objekta je orientiran na jugozahod. Kritina in fasada sta pločevinasti. Del objekta je zidan. Dve tretjini objekta sestavljata tenis igrišči, eno tretjino pa skladišče in lokal. Tenis dvorana je razdeljena na tri dele, ki jih medsebojno ločujejo pregradne mreže. Celotna lesena konstrukcija je zaščiten s protipožarnimi premazi.</p>
Opis konstrukcije	<p>Skupna dolžina dvorane je 51,8 m, širina pa 38 m (Slika 59). Najvišji del meri 10,3 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz devetih tročlenskih okvirnih nosilnih elementov (Slika 56, Slika 59). Okvirni nosilci so na enakih medsebojnih razdaljah 6,45 m (Slika 59). Na ukrivljenem delu nosilca so dodatni podaljški z navpičnimi podpornimi stebri (Slika 57, Slika 60). Prečne dimenzije ukrivljenih elementov so: širina 20 cm, višina med 71 cm in 135 cm. Najmanjša višina je v slemenu in se povečuje do ležišča nosilca. Notranji radij ločnih nosilcev je 6,09 m. Na okvirno konstrukcijo so pritrjeni špirovci, dimenzije 16/28, v razmaku 1,93 m, ki služijo kot podkonstrukcija za pokrivanje s trapezno pločvino. Naklon strehe znaša 12,18°. Okvirna konstrukcija je postavljena na jeklene podstavke, ki so pritrjeni v temeljno ploščo. Ukrivljeni nosilci so iz dveh delov, v temenu so povezani s členkastim jeklenim spojnim elementom. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami (Slika 58). Leseni lepljeni nosilci so premazani z lazurnim premazom. Pri montaži objekta sta bili potrebni dve avtodvigali, nosilnosti 40 t.</p>



Slika 55: Banex tenis dvorana



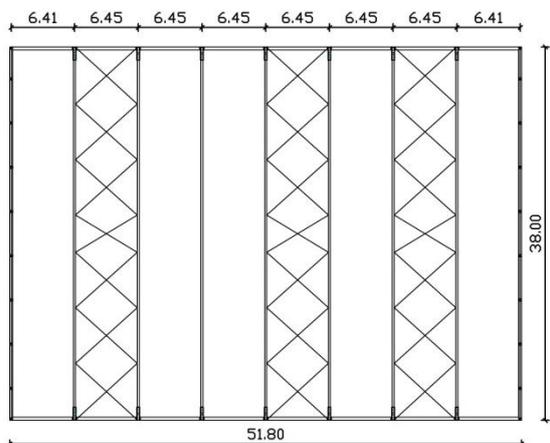
Slika 56: Tročlenska konstrukcija dvorane



Slika 57: Nosilec s podaljški in stebrički



Slika 58: Detajl pritrditve zavetrovanja



Slika 59: Tloris objekta

Slika 60: Načrt nosilca s podaljški in stebrički

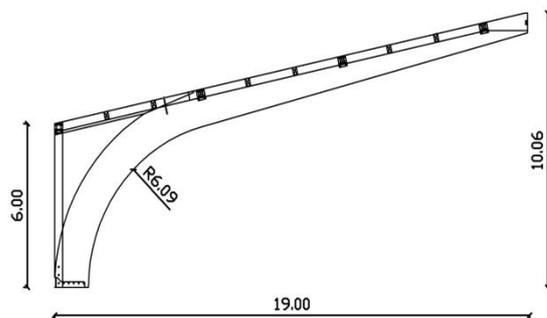


Foto: Janez Andoljšek

Podatki o objektu: Tenis dvorana Breskvar	
Tip objekta (namembnost)	Športni objekt
Tip konstrukcije	Tročlenski okvirni nosilci
Naročnik	Tenis dvorana Breskvar
Arhitekt (avtor)	Ivana Radenovič, dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	GIVO, d. o. o., Dvorec Sela, Zaloška 69, Ljubljana
Statika gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Ljubljana, Črnuče
Neto kvadratura	2700 m ²
Leto izgradnje	2006
Čas izgradnje	15 dni
Opis objekta Tenis dvorana Breskvar (Slika 61) se nahaja na obrobju Ljubljane v Črnučah. Objekt je umeščen na konec naselja. Vhod objekta je postavljen na jug. Kritina in fasada sta pločevinasti. Fasada je pritrjena na kovinsko podkonstrukcijo. Del objekta, kjer je lokal, je zidan. Objekt sestavljajo tri tenis igrišča (Slika 64), štiri badminton igrišča in lokal. Poleg dvorane je tenis igrišče z napihljivo konstrukcijo. V okolici objekta se nahajajo dodatna štiri igrišča.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina dvorane je 71,5 m, širina pa 38 m. Najvišji del meri 10,7 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz enajstih tročlenskih okvirnih nosilnih elementov (Slika 65). Okvirni nosilci so na enakih medsebojnih razdaljah 6,70 m. Prečne dimenzije ukrivljenih elementov so: širina 20 cm, višina med 46 cm in 145 cm. Najmanjša višina je v slemenu in se povečuje do ležišča nosilca. Na okvirno konstrukcijo so pritrjeni špirovci, dimenzije 14/24, v razmaku 1,99–2,25 m, ki služijo kot podkonstrukcija za pokrivanje s trapezno pločevino. Naklon strehe znaša 10° in 26°. Tročlenski okvirni nosilci so postavljeni na jeklene stebre (Slika 62, Slika 63), ki so visoki 4,7 m. Podstavki so pritrjeni v temeljno ploščo. Ukrivljeni nosilci so iz dveh delov, v temenu so povezani s členkastim jeklenim spojnim elementom. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami. Leseni lepljeni nosilci so premazani z lazurnim premazom.	



Slika 61: Tenis dvorana Breskvar



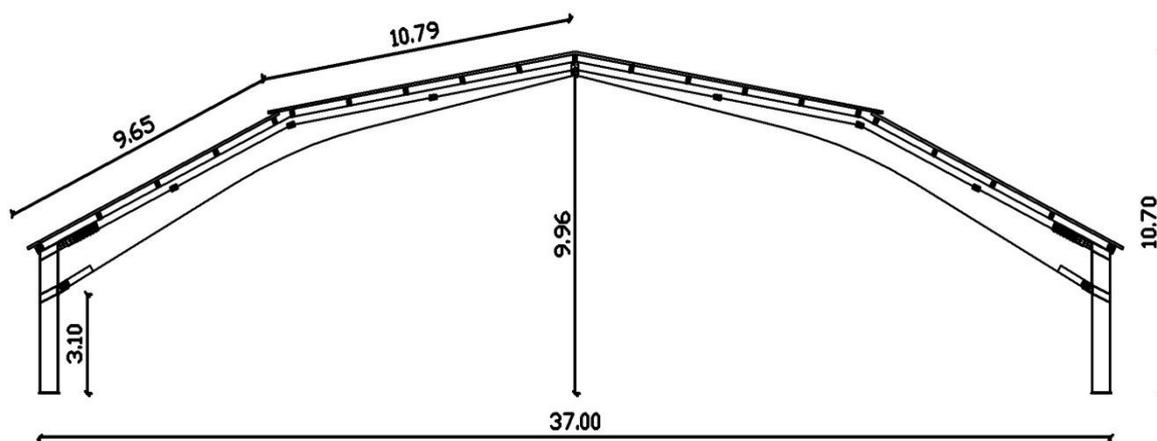
Slika 62: Konstrukcija in zavetrovanje



Slika 63: Montaža nosilcev na terenu



Slika 64: Dokončana notranjost objekta



Slika 65: Prečni prerez objekta

Foto: Janez Andoljšek

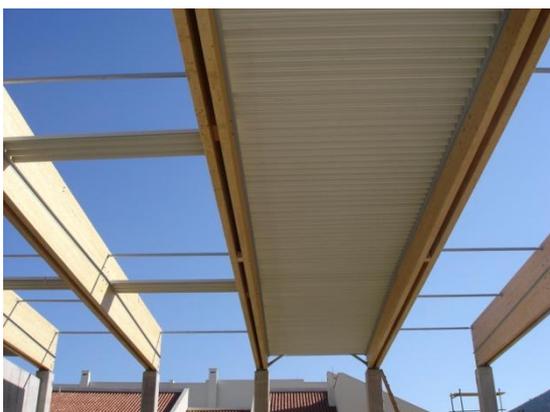
Podatki o objektu: Športna dvorana Gruda	
Tip objekta (namembnost)	Večnamenska športna dvorana
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	Osnovna šola Gruda
Arhitekt (avtor)	Igor Franić, dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	Arhingtrade, d. o. o. Gajeva 47, Zagreb
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Velimir Kazić, dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Gruda, Dubrovnik
Neto kvadratura	1850 m ²
Leto izgradnje	2006
Čas izgradnje	20 dni
Opis objekta Športna dvorana Gruda (Slika 66) se nahaja v občini Dubrovnik na Hrvaškem. Dvorana je del osnovne šole. Glavni deli objekta so: igrišče, slačilnica, tribuna, fitnes in sejna soba. Kritina je pločevinasta. Dvorana je zasnovana kot večnamenska, v njej potekajo športna vzgoja, rekreacija in kulturne prireditve. Podjetje Hoja se je soočilo z dvema težavama – izdelati je bilo potrebno nosilce izjemne dolžine (36,7 m) (Slika 70) in organizirati prevoz do precej oddaljenega objekta. Zaradi velike teže nosilcev so pri montaži potrebovali močnejše dvigalo.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina dvorane je 50,7 m, širina pa 36,7 m (Slika 70). Najvišji del meri 11 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz enajstih dvojnih prostoležečih nosilcev, ki so na enakih medsebojnih razdaljah 5 m (Slika 70). Prečne dimenzije prostoležečih nosilcev so: širina 18 cm, višina 2 m. Na prostoležeče nosilce so pritrjeni profili, ki služijo nameščanju strehe z aluminijastimi ploščami. Naklon jeklenih nosilcev znaša 2° (Slika 69). Postavljeni so na betonske stebre, v ležišču pa so pritrjeni na jeklene čevlje. Prostoležeči nosilci so iz dveh delov, medsebojno so povezani s 16 cm debelimi distančniki, ki so v razdalji 9 m. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami (Slika 68, Slika 71). Leseni lepljeni nosilci so premazani z lazurnim premazom (3X). Pri montaži objekta sta bila potrebna dva avtodvigala, nosilnosti 40 t (Slika 67). Zaradi velike dolžine nosilcev in oddaljenosti kraja, v katerem je potekala montaža, je bil prevoz otežen.	



Slika 66: Postavljanje Športne dvorane Gruda



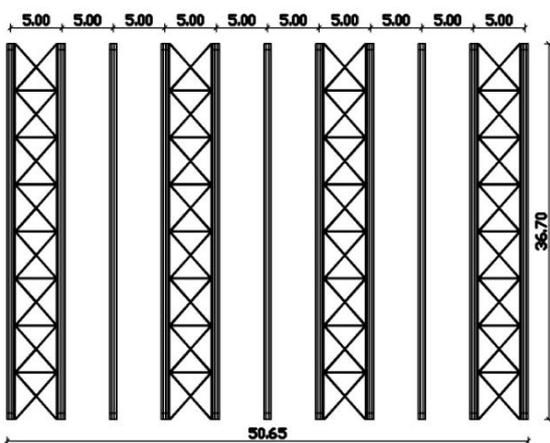
Slika 67: Dvigovanje 36,7 m dolgega nosilca



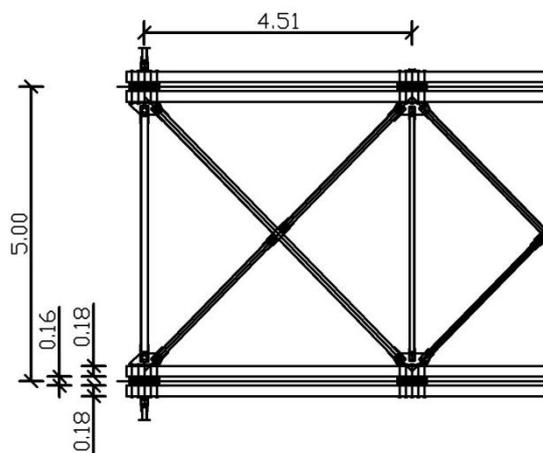
Slika 68: Sestavljanje strešne konstrukcije



Slika 69: Strešna konstrukcija



Slika 70: Tloris objekta



Slika 71: Zavetrovanje med nosilci

Foto: Arhiv podjetja Hoja

Podatki o objektu: Športna dvorana Makole	
Tip objekta (namembnost)	Športna dvorana
Tip konstrukcije	Tročlenski okvirni nosilci z vezjo
Naročnik	Občina Makole
Arhitekt (avtor)	Vlado Pijavž, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	PRODING Inženiring, d. o. o., Stritarjeva 11, Grosuplje
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Makole
Neto kvadratura	480 m ²
Leto izgradnje	2009
Čas izgradnje	16 dni
Opis objekta Športna dvorana Makole (Slika 72, Slika 73) je bila zgrajena kot prizidek Osnovne šole Makole, umeščena je v brežino pod šolo in se nahaja v centru Makol. V bližini dvorane je zunanje asfaltirano igrišče, poleg so travnate površine. Vhod objekta je lociran na zahod in je v pritličju z novo vhodno avlo povezan s šolo. Športno dvorano sestavljajo: igrišče, zložljiva tribuna, pomožni vadbeni prostori, shramba za orodja, predprostor in sanitarije. Celotno ostrešje je leseno, saj je med lesenimi lepljenimi nosilci pritrjen lesen opaž. Streha ima obliko štirikapnice, kritina je opečnata. V objektu je z gasilnimi aparati in s stenskimi hidranti poskrbljeno za požarno varnost.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina dvorane je 27,4 m, širina pa 17 m. Najvišji del meri 16,2 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz sedmih tročlenskih okvirnih nosilnih elementov z vezjo (Slika 76), ki so na enakih medsebojnih razdaljah 3,84 m. Prečne dimenzije ravnih elementov so: širina 16 cm, višina 60 cm. Na okvirno konstrukcijo so pritrjeni špirovci, dimenzije 18/20, v razmaku 2 m. Na lege je pritrjen lesen opaž, debeline 2,4 cm. Naklon strehe znaša 30°. Jekleno ležišče je postavljeno na betonski zid. Tročlenski okvirni nosilci z vezjo so iz dveh delov, v temenu so povezani s členkastim jeklenim spojnim elementom (Slika 74, Slika 75), ležišča pa povezuje jeklena vrv. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami. Leseni lepljeni nosilci so premazani z lazurnim premazom. Na južni strani sta izdelani dve frčadi.	



Slika 72: Športna dvorana Makole iz severne strani



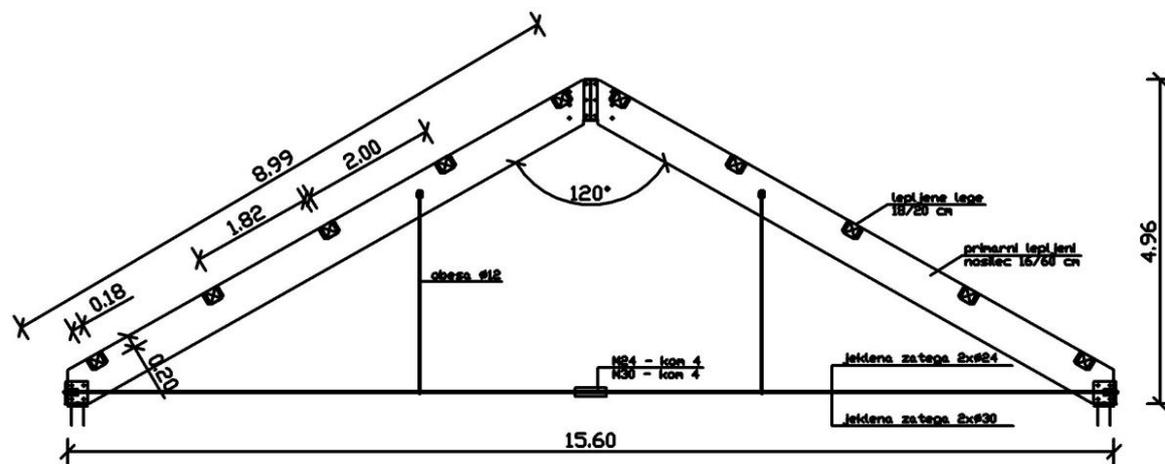
Slika 73: Dvorana iz severozahodne strani



Slika 74: Strešna konstrukcija



Slika 75: Strešna konstrukcija s prezračevanjem



Slika 76: Tročlenski nosilec z vezjo

Foto: Janez Andoljšek

Podatki o objektu: Športna dvorana Nedelište	
Tip objekta (namembnost)	Športni objekt
Tip konstrukcije	Okvirni nosilci
Naročnik	ATON, Zavod G. G. A. V. Hubadova 8, Ljubljana
Arhitekt (avtor)	Milan Jakšič, dipl. ing. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	TENDER, d. o. o., arhitektura, dizajn, inženjering i konzalting
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Miljenko Haiman, dipl. ing. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Nedelište, Čakovac
Neto kvadratura	3800 m ²
Leto izgradnje	2007
Čas izgradnje	20 dni
Opis objekta Gimnastična dvorana Aton (Slika 77) se nahaja v Nedelištu blizu Čakovca. Objekt je umeščen v industrijsko cono in narejen iz štiričlenskih okvirnih nosilcev, ki imajo ležišče v temeljni plošči. Prostor med nosilci in čelnimi stenami je zidan (Slika 80). Zidan je tudi objekt, ki je povezan z dvorano. Kritina je sestavljena iz pločevine in ponjave. Pločevina služi za podkonstrukcijo ponjave. V dvorani je poskrbljeno za prezračevanje in požarno varnost. Celotna lesena konstrukcija (Slika 78) je zaščiten s protipožarnimi premazi. Pri montaži objekta sta bili potrebni dve avtodvigali, nosilnosti 40 t, in dve dvižni košari.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina dvorane je 86 m, širina pa 38,6 m (Slika 81). Najvišji del meri 12 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz sedemnajstih okvirnih nosilnih elementov (Slika 82), ki so na enakih medsebojnih razdaljah 6 m. Prečne dimenzije ukrivljenih elementov so: širina 16 cm, višina 1,3 m. Višina je enaka po celotnem nosilcu. Notranji radij ločnih nosilcev je 7,03 m. Na okvirno konstrukcijo so pritrjeni špirovci, dimenzije 20/20, v razmaku 4,9 m, ki služijo kot podkonstrukcija za pokrivanje s trapezno pločevino. Streha nima konstantnega naklona. Okvirna konstrukcija je postavljena na jeklene podstavke, ki so pritrjeni v temeljno ploščo. Ukrivljeni nosilci so iz treh delov, med seboj so povezani z jeklenimi spojnimi elementi. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami. Za povezavo med obema deloma objekta so uporabili dodatne nosilce (Slika 79).	



Slika 77: Športna dvorana Nedelišče



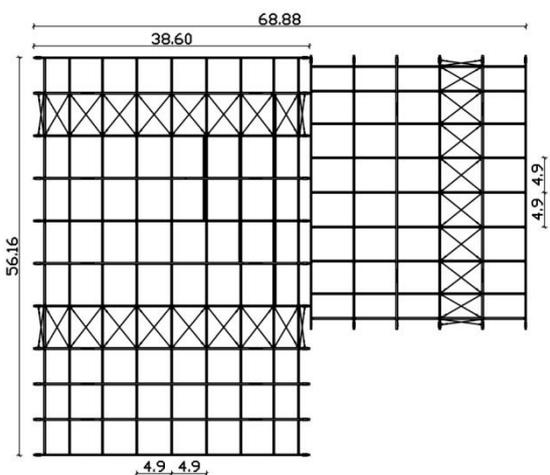
Slika 78: Postavljanje lesene konstrukcije



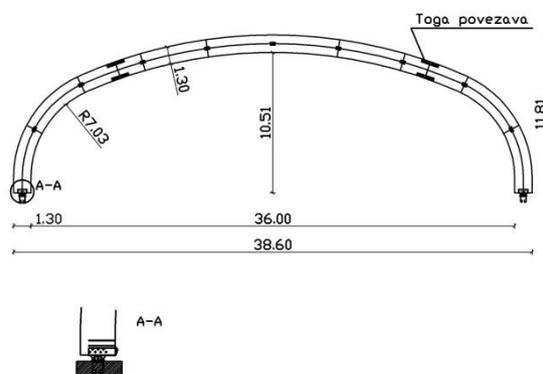
Slika 79: Stik konstrukcij



Slika 80: Dokončevanje objekta



Slika 81: Tloris objekta



Slika 82: Štiričlenski nosilec z detajlom v stičišču

Foto: Arhiv podjetja Hoja

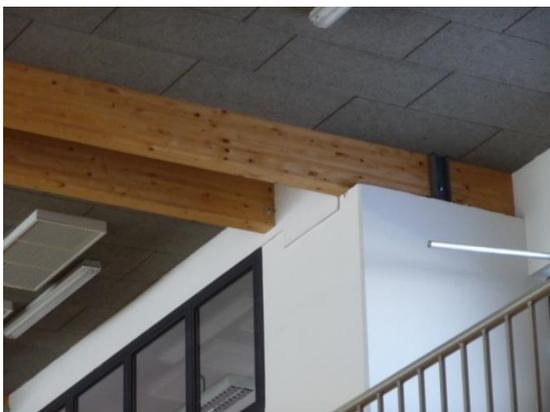
Podatki o objektu: Športna dvorana Kočevje	
Tip objekta (namembnost)	Večnamenska športna dvorana
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	Občina Kočevje Ljubljanska cesta 23, Kočevje
Arhitekt (avtor)	Branko Čepič, dipl. ing. arh
Projektivno podjetje (arhitektura)	ELAN INVENTA, d. o. o. Begunje na Gorenjskem
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Trg zbora odposlancev 30, Kočevje
Neto kvadratura	1850 m ²
Leto izgradnje	2007
Čas izgradnje	14 dni
Opis objekta Športna dvorana Kočevje (Slika 83) se nahaja na obrobju Kočevja. Vhod objekta je lociran na sever. Kritina je pločevinasta. Fasada je deloma pločevinasta in deloma klasična opečnata. Objekt sestavljajo roketno igrišče, fitnes ter prostori za rekreacijo in ples. Leseno ostrešje je sestavljeno iz dvanajstih lepljenih nosilcev, na katere je pritrjena športna oprema. Ostrešje je požarno odporno. Leseni lepljeni nosilci so izdelani iz lepljenega lesa I. klase (Slika 84). Pri načrtovanju nosilcev se je pojavilo vprašanje, ali naj ima nosilec izvrtine za zračenje ali ne. Po pogovorih s projektantom so sklenili, da se prezračevanje izpelje drugje.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina dvorane je 46 m, širina pa 44 m (Slika 87). Najvišji del meri 12,4 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz dvanajstih prostoležečih nosilcev (Slika 86), ki so v dveh različnih razdaljah, in sicer 4,8 m in 1 m. Prečne dimenzije prostoležečih nosilcev so: širina 22 cm, višina 2 m. Na prostoležeče nosilce so pritrjeni špirovci, dimenzije 16/22, v razmaku 3,73 m, ki služijo kot podkonstrukcija za pokrivanje s trapezno pločevino. Naklon strehe znaša 1,3° in je izveden z zamikom lepljenih nosilcev, saj niso v isti ravnini. Celotna konstrukcija je postavljena na armirano betonske stebre (Slika 85). Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami (Slika 88).	



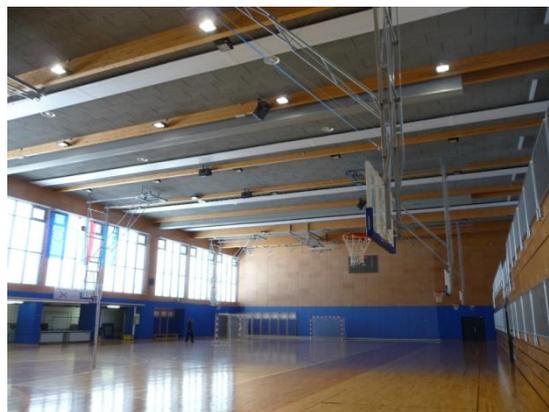
Slika 83: Športna dvorana Kočevje



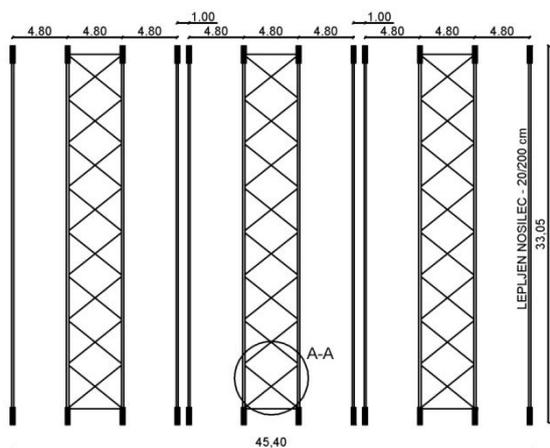
Slika 84: Ravni lepljeni lamelirani nosilci



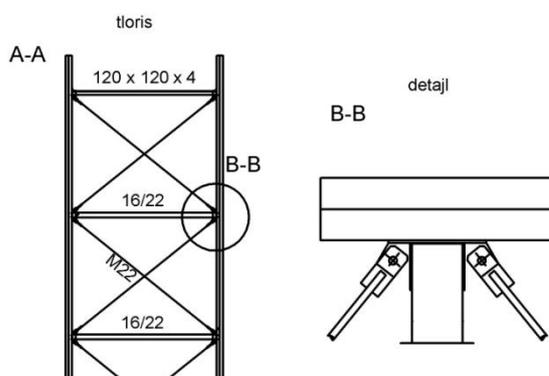
Slika 85: Ležišče nosilcev



Slika 86: Notranjost dvorane



Slika 87: Tloris nosilcev



Slika 88: Prikaz zavetrovanja

Foto: Janez Andoljšek

Podatki o objektu: Športna dvorana Škofljica	
Tip objekta (namembnost)	Večnamenska športna dvorana
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci z naklonom
Naročnik	Občina Škofljica, Šmartinska cesta 3, Škofljica
Arhitekt (avtor)	Branko Čepič, dipl. ing. arh
Projektivno podjetje (arhitektura)	ELAN INVENTA, D. O. O. Begunje na Gorenjskem
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Slovenske Konjice
Neto kvadratura	1130 m ²
Leto izgradnje	2007
Čas izgradnje	7 dni
Opis objekta Športna dvorana Škofljica (Slika 89) se nahaja v občini Škofljica. Dvorana je povezana z osnovno šolo in vrtcem. Pred dvorano je veliko in urejeno asfaltirano parkirišče, ki je namenjeno uporabnikom dvorane ter zaposlenim v osnovni šoli in vrtcu. Glavni vhod je na zahodni strani objekta, vstop pa je mogoč tudi skozi poseben hodnik osnovne šole, ki povezuje šolo z dvorano. Kritina je pločevinasta. Dvorana je večnamenska, saj služi za osnovnošolsko športno vzgojo (Slika 91), rekreacijo in kulturne prireditve. Prvotno si je arhitekt zamislil jekleno strešno konstrukcijo, vendar se je izkazalo, da bi bila konstrukcija iz lesenih lepljenih nosilcev zaradi estetike, ugodnejše cene in drugih dejavnikov primernejša rešitev. Odločili so se, da ostrešje dvorane, ki ima dolžino 45 m in širino 32 m, izdelajo s pomočjo prostoležečih nosilcev z naklonom (Slika 94).	
Opis konstrukcije Skupna dolžina dvorane je 44,7 m, širina pa 32,22 m (Slika 93). Najvišji del nosilca meri 2,4 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz petih prostoležečih nosilcev z naklonom, ki so na enakih medsebojnih razdaljah 7,4 m. Prečne dimenzije prostoležečih nosilcev so: širina 20 cm, višina pa med 1,77 m in 2,4 m. Naklon strehe znaša 2,42°. Postavljeni so na betonske stebre, v ležišču pa so pritrjeni na jeklene čevlje. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami. V nosilce so napravljene štiri izvrtine, premera 40 cm, pri vseh izvrtinah je privijačena plošča, dimenzije 90/90, debeline 25 mm. Izvrtine služijo prezračevalnemu sistemu (Slika 90, Slika 92).	



Slika 89: Športna dvorana Škofljica



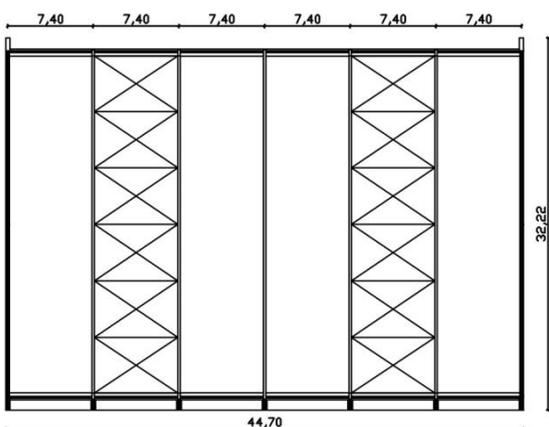
Slika 90: Nosilec



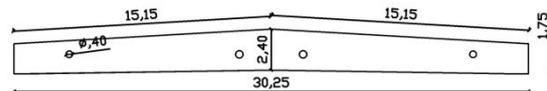
Slika 91: Inštalacije na ostrešju



Slika 92: Nosilec z izvrtinami za prezračevanje



Slika 93: Tloris nosilcev



Slika 94: Prostoležeči nosilec z naklonom

Foto: Janez Andoljšek

Podatki o objektu: Športna dvorana Franca Rozmana Staneta Ljubljana	
Tip objekta (namembnost)	Vojaški objekt – športna dvorana
Tip konstrukcije	Tročlenski nosilci z vezjo
Naročnik	Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo, Kardeljeva Ploščad 25, Ljubljana
Arhitekt (avtor)	V. Daič, univ. dipl. ing. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	PIN, Projektiranje Inženiring Nadzor, d. o. o., Mlinska 22, Maribor
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Jože Glavnik, univ. dipl. ing. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Ljubljana BTC
Neto kvadratura	2200 m ²
Leto izgradnje	2005
Čas izgradnje	35 dni
Opis objekta Športna dvorana (Slika 95), ki spada v vojaški kompleks, se nahaja na severovzhodnem delu Ljubljane, na obrobju kompleksa BTC, ob obvoznici. Glavni vhod objekta je lociran na zahod. Kritina objekta je pločevinasta.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina dvorane je 71 m, širina pa 31 m (Slika 99). Najvišji del meri 16,5 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavljajo tročlenski nosilci z vezjo (Slika 97, Slika 100), ki so na enakih medsebojnih razdaljah 5 m. Prečne dimenzije ukrivljenih elementov so: širina 20 cm, višina 1,2 m. Na nosilno konstrukcijo so pritrjeni špirovci, dimenzije 16/25, v razmaku 4,62 m, ki služijo kot podkonstrukcija za pokrivanje s trapezno pločevino. Naklon strehe znaša 15°. Tročlenski nosilci z vezjo so postavljeni na betonske stebre (Slika 96, Slika 97), spoj med betonskimi stebri in lesenimi nosilci predstavlja jeklen čevelj. Tročlenski nosilci z vezjo so iz dveh delov, v temenu so povezani s členkastim jeklenim spojnim elementom. Ležišči sta povezani z jekleno vrvjo. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami (Slika 98). Leseni lepljeni nosilci so premazani z lazurnim premazom.	



Slika 95: Športna dvorana Franca Rozmana Staneta



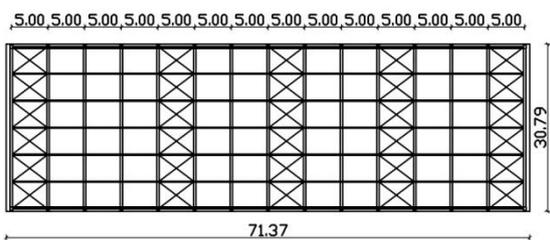
Slika 96: Dvigovanje tročlenskega nosilca



Slika 97: Montaža lesenih lepljenih nosilcev



Slika 98: Notranjost športne dvorane



Slika 99: Tloris nosilcev

Slika 100: Tročlenaski nosilec z vezjo

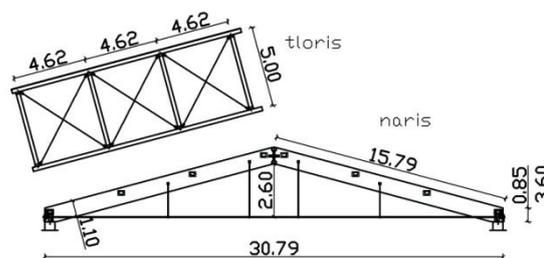


Foto: Janez Andoljšek in arhiv podjetja Hoja

Podatki o objektu: Jahalnica CUDV Draga	
Tip objekta (namembnost)	Športni objekt – jahalni poligon
Tip konstrukcije	Tročlenski okvirni nosilci
Naročnik	Center za usposabljanje, delo in varstvo Draga Janez Mehlin, s. p., Tesarstvo in krovstvo Škofljica
Arhitekt (avtor)	Andraž Černič, univ. dipl. ing. arh
Projektivno podjetje (arhitektura)	Arhé Inziniring, consulting, zunanja trgovina, d. o. o.
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Draga, Ig
Neto kvadratura	1700 m ²
Leto izgradnje	2008
Čas izgradnje	10 dni
Opis objekta	
<p>Jahalnica (Slika 101) se nahaja v občini Ig, v vasici Draga. Jahalnica je umeščena v bližini Centra Dolfke Boštjančič. Vhod jahalnice je lociran na severovzhod. Na zahodni strani jahalnice stoji lesen kozolec, ki je povezan z jahalnico. Na levi strani jahalnice so zagrajene površine za pašo konj, zadaj se razprostira gozd. Jahalnica je pokrita s salonitnimi ploščami, na slemenu pa je dvometrski svetlobni kanal. Spodnji del objekta je v celoti odprt (Slika 104). Jahalnico sestavlja velik jahalni poligon, ki je zagrajen s posebno leseno ograjo. Celotna lesena konstrukcija je zaščiten s protipožarnimi premazi. Projektant si je jahalnico prvotno zamislil nekoliko drugače, saj bi bili loki strehe manjši (radij loka nosilca je meril zgolj 3,6 m) (Načrt 105). Kasneje so se s podjetjem Hoja dogovorili za drugačno rešitev, saj tehnologija ne bi dopuščala prve projektantske zamisli zaradi premajhnega loka nosilca, zato so predlagali povečanje loka nosilca na šestmetrski radij (Načrt 106) in ureditev strehe objekta s podaljški nosilca in stebrički.</p>	
Opis konstrukcije	
<p>Skupna dolžina objekta je 42,75 m, širina pa 24 m. Najvišji del meri 10,8 m. Glavni del nosilne konstrukcije objekta predstavlja niz desetih tročlenskih okvirnih nosilcev v obliki oboka, sestavljenega iz dveh ukrivljenih lepljenih lameliranih elementov. Okvirni nosilci so na enakih medsebojnih razdaljah 4,75 m. Postavljeni so na jeklene podstavke, ki so pritrjeni v temeljno ploščo. Prečne dimenzije ukrivljenih elementov so: širina 18 cm, višina med 50 in 95 cm. Najmanjša višina je v slemenu in se povečuje do mesta ukrivljenosti ($R = 6$ m) elementa (Slika 103). Na okvirno konstrukcijo so pritrjeni špirovci, dimenzije 12/18, v razmaku 99 cm, ki so podeskani s smrekovim opažem, debeline 20 mm. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami (Slika 102) v polju stranske fasade.</p>	



Slika 101: Jahalnica CUDV Draga



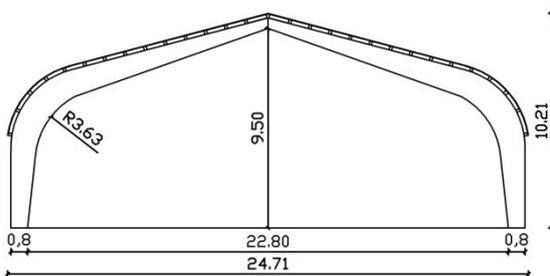
Slika 102: Sestavljanje zavetrovanja med nosilci



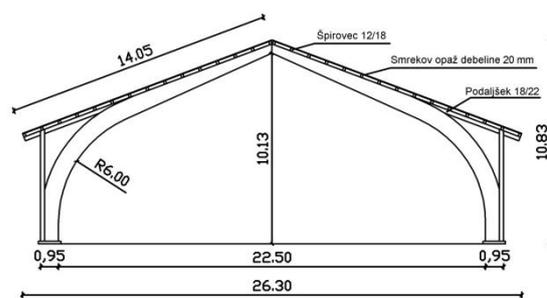
Slika 103: Postavljanje nosilcev



Slika 104: Notranjost jahalnice



Slika 105: Prečni prerez prvotnega loka nosilca



Slika 106: Prečni prerez izvedenega loka nosilca

Foto: Janez Andoljšek in arhiv podjetja Hoja

Podatki o objektu: Terme Čatež III	
Tip objekta (namembnost)	Športni objekt
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci z zakrivljeno osjo
Naročnik	Terme Čatež, d. d., Topliška cesta 35, Čatež ob Savi
Arhitekt (avtor)	Igor Šuštaršič, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	Savaprojekt, razvoj, projektiranje, konzalting, inženiring, d. d., Krško
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Aleš Plestenjak, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Čatež
Neto kvadratura	2025 m ²
Leto izgradnje	2008
Čas izgradnje	25 dni
Opis objekta	<p>Terme Čatež (Slika 107, Slika 108) so velik kopališki kompleks, ki ga sestavljajo notranji in zunanji bazeni, savne, hoteli, apartmajska naselja, kamp, golf igrišča, gostinski obrati, trgovine, zdravilišče in drugo. V termah je zaradi raznolike kopališke ponudbe turizem zelo razvit in poskrbljeno je za sprejem velike kapacitete ljudi. Zunaj objekta je več kopališč, ki so medsebojno ločena s travnatimi površinami in z drevesi. Notranjost objekta sestavljajo tri kupole (vse je izdelalo podjetje Hoja), zadnja je bila zgrajena leta 2008. Kritina objekta je sestavljena iz prosojnih elementov, na stropu so vidni leseni nosilci.</p>
Opis konstrukcije	<p>Skupna dolžina term je 45 m, širina pa 45 m (Slika 111). Najvišji del meri 17 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz osmih prostoležečih nosilcev z zakrivljeno osjo (Slika 110). Na ukrivljenem delu nosilca je dodaten podaljšek (Slika 112). Prečne dimenzije ukrivljenih elementov so: širina 18 cm, višina 1,1 m. Višina je enaka po celem nosilcu. Notranji radij ločnih nosilcev je 15 m. Naklon strehe znaša 30°. Postavljeni so na betonsko konstrukcijo. V slemenu so nosilci postavljeni na betonski steber. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami.</p>



Slika 107: Terme Čatež III



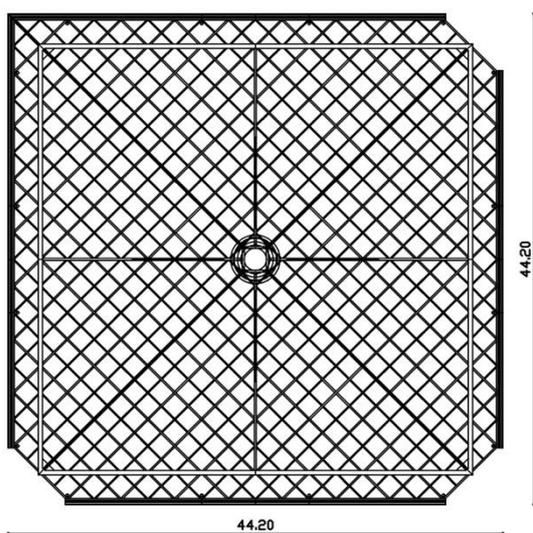
Slika 108: Postavljanje objekta



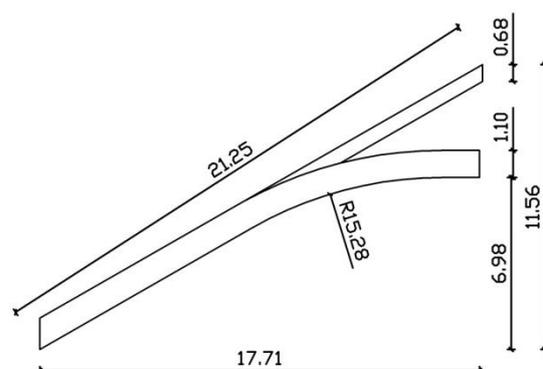
Slika 109: Sestavljanje nosilcev



Slika 110: Postavitev nosilcev



Slika 111: Tloris nosilcev



Slika 112: Prostoležeči nosilec z zakrivljeno osjo

Foto: Arhiv podjetja Hoja

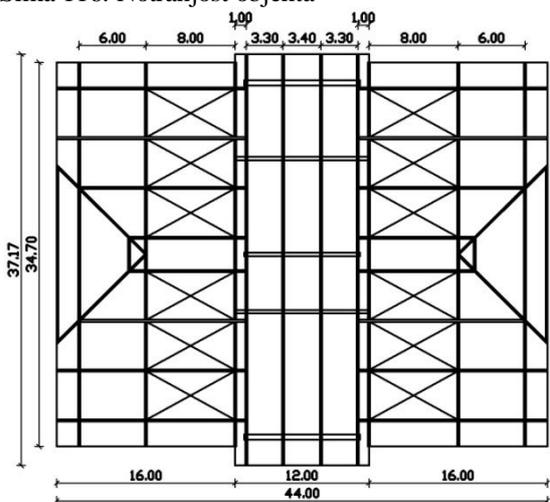
Podatki o objektu: Terme Snovik	
Tip objekta (namembnost)	Športni objekt – terme
Tip konstrukcije	Tročlenski okvirni nosilci, prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	Terme Snovik – Kamnik, d. o. o. Malkava pot 5, Kamnik
Arhitekt (avtor)	Igor Šilc, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	ELEA IC, d. o. o. 1000 Ljubljana
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Stupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Tuhinjska dolina, Kamnik
Neto kvadratura	500 m ²
Leto izgradnje	2001
Čas izgradnje	10 dni
Opis objekta Terme Snovik (Slika 113) se nahajajo v Tuhinjski dolini v bližini Kamnika. So najvišje ležeče in okolju prijazne terme v Sloveniji. Kritina objekta je opečnata (Slika 115). Večino objekta predstavljajo steklene površine, strop pa je sestavljen iz lesenih lepljenih nosilcev (Slika 114, Slika 116). Terme se razprostirajo na 1400 m ² površine. Objekt je bil postavljen leta 2001, leta 2003 pa je podjetje Hoja izdelalo dodatno razširitev nad glavnim vhodom.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina term je 44 m, širina pa 37 m (Slika 117). Najvišji del meri 17 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavljajo trije nizi: prvi in tretji niz sta sestavljena iz tročlenskih okvirnih nosilcev (Slika 118), ki so na medsebojni razdalji 6 in 8 m, drugi niz pa je sestavljen iz prostoležečih nosilcev, ki so na medsebojni razdalji 3,4 m. Najmanjša višina je v slemenu in se povečuje do ležišča nosilca. Notranji radij ločnih nosilcev je 70,23 m. Naklon strehe znaša 11,37°. Postavljeni so na jeklene podstavke, ki so nekoliko dvignjeni od tal in pritrjeni v temeljno ploščo. Ukrivljeni nosilci so iz dveh delov, v temenu so povezani s členkastim jeklenim spojnim elementom. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami. Nosilci so v srednjem delu oprti na kovinsko konstrukcijo (Slika 116).	



Slika 113: Terme Snovik
 Slika 114: Objekt v gradnji



Slika 115: Pogled na streho
 Slika 116: Notranjost objekta



Slika 117: Tloris nosilcev
 Slika 118: Tročlenski okvirni nosilec

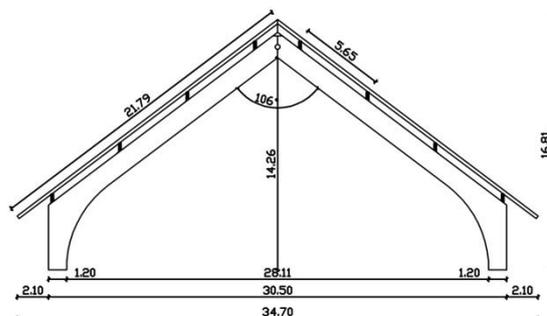


Foto: Arhiv podjetja Hoja

6.3 SAKRALNI OBJEKTI

Podatki o objektu: Župnijski center s cerkvijo svetega Jožefa	
Tip objekta (namembnost)	Sakralni objekt
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	Župnija Vir, Bukovčeva 35, Vir
Arhitekt (avtor)	Feliks Hribernik, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	PRODING Inženiring, d. o. o., Stritarjeva 11, Grosuplje
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Vir pri Domžalah
Neto kvadratura	900 m ²
Leto izgradnje	2006
Čas izgradnje	5 dni
Opis objekta Cerkev (Slika 119) se nahaja v Viru pri Domžalah. Vhod objekta je lociran na zahod. Med župniščem in cerkvijo je ploščad. Kritina cerkve je opečnata, kritina nadstreška in zvonika pa bakrena. Pri vhodu v cerkev je veliko okroglo okno. Na levi strani objekta so trije nizi oken. Pod cerkvijo so večnamenski prostori.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina cerkve je 28 m, širina pa 28 m (Slika 123). Najvišji del meri 17 m. Skupna dolžina zvonika je 5 m, širina 5 m. Najvišji del meri 30 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavljajo štirje glavni nosilci (Slika 124). Prečne dimenzije elementov so: širina 30 cm, višina med 60 cm in 1 m. Višina nosilca je na celotnem nosilcu enaka. Na slemenu se glavni nosilci stikajo v eni točki (Slika 120), v kateri so spojeni z jeklenim elementom. Štirikapna streha s križnim tlorisom ima različne naklone, in sicer 23° in 41°. Postavljeni so na betonsko konstrukcijo (Slika 121). Med strešne nosilce je pritrjena OSB plošča na utor in pero (Slika 122). Konstrukcija je premazana z zaključnim premazom, ki vključuje zelen barvni odtenek.	



Slika 119: Župnijski center s cerkvijo sv. Jožefa



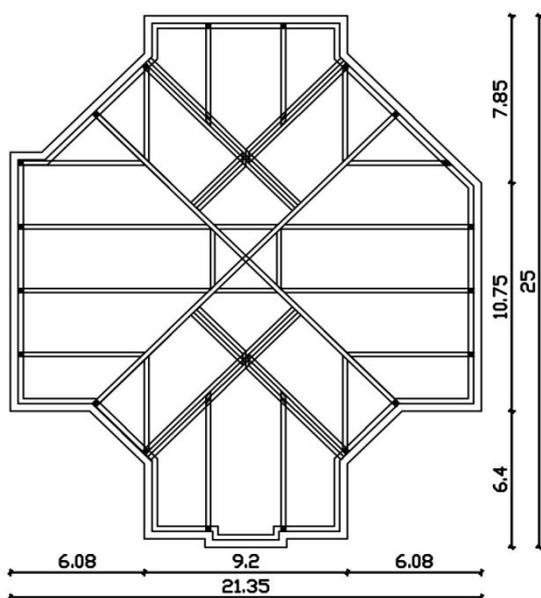
Slika 120: Notranjost cerkve



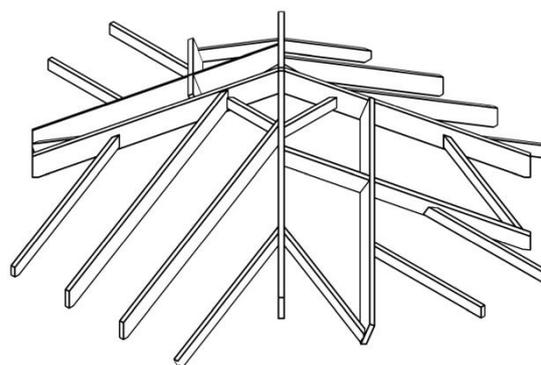
Slika 121: Ležišče nosilca



Slika 122: Spajanje lepljenih nosilcev



Slika 123: Tloris nosilcev



Slika 124: 3D pogled na ostrešje

Foto: Janez Andoljšek

Podatki o objektu: Kapela na Rogli	
Tip objekta (namembnost)	Sakralni objekt
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	Unior, d. d., Kovaška industrija 10, Zreče
Arhitekt (avtor)	Vera Klepej Turnšek, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	PRODING Inženiring, d. o. o. Stritarjeva 11, Grosuplje
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Rogla
Neto kvadratura	360 m ²
Leto izgradnje	2007
Čas izgradnje	17 dni
Opis objekta Kapela (Slika 125, Slika 127) se nahaja poleg smučišča na Rogli. Trenutno je kapela zaprta zaradi gradbenih del. Na levi strani objekta so: pozimi smučišča, poleti pa nogometni stadion. Vhod objekta je orientiran na vzhod. V kapeli sta dve polžasto ukrivljeni steni (Slika 129, Slika 130), ločeni s stožčasto obliko zvonika. Sleme kapele interpretira šotorsko konstrukcijo. Šest jeklenih nosilcev se stožčasto vzpenja k strehi zvonika. Na konstrukcijo zvonika je vpeta nosilna konstrukcija lepljenih lesenih nosilcev. Spodnji obodni del lesene nosilne konstrukcije je pokrit s skrili, nad njim je pas oken, nad katerim je strešina krita s skodlami.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina kapele je 24 m, širina pa 15 m. Najvišji del meri 22,4 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja triindvajset lesenih elementov, ki so v ležišču na razdalji 2 m, v slemenu pa nalegajo na jekleno lego (Slika 126, Slika 128). Prečne dimenzije ukrivljenih elementov so: širina 20 cm, višina 75 cm. Postavljeni so na jeklene podstavke, ki so pritrjeni v temeljno ploščo. Naklon strehe znaša 64,80°.	



Slika 125: Kapela na Rogli



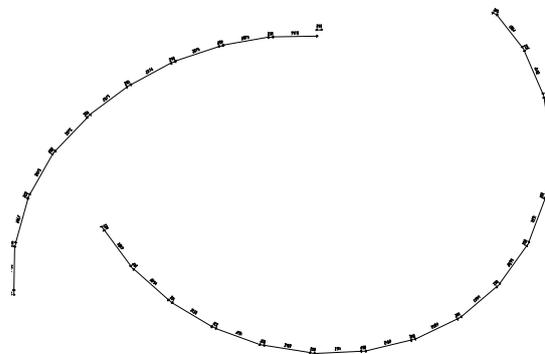
Slika 126: Spoj jeklene in lesene konstrukcije



Slika 127: Pogled na kapelo iz zahodne strani



Slika 128: Spoj nosilcev v slemenu



Slika 129: Tloris ostrešja
Slika 130: Tloris nosilcev

Foto: Janez Andoljšek ter arhiv Arhitekturnega ateljeja Vere Torenšek Klepej in Jožeta Lopatiča

6.4 JAVNI OBJKTI

Podatki o objektu: Osnovna šola Slovenska Bistrica s športno dvorano	
Tip objekta (namembnost)	Javna ustanova
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	Občina Slovenska Bistrica Granit, d. d. Ljubljanska cesta 69, Slovenska Bistrica
Arhitekt (avtor)	Matija Suhadolc, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	LIZ INŽINIRING, Podjetje za pripravo in izvedbo investicij, Vurnikova ulica 2, Ljubljana
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Slovenska Bistrica
Neto kvadratura	3000 m ²
Leto izgradnje	2007
Čas izgradnje	5 dni
Opis objekta Osnovna šola Slovenska Bistrica (Slika 131, Slika 132) se nahaja na obrobju Slovenske Bistrice poleg blokovskega naselja in vrtca. Za šolo so športna igrišča. Vhod objekta je lociran na zahod. Fasadni ovoj sestavljajo različni materiali: pločevina, steklo in opečni zidaki. Kritina je pločevinasta. Šola je dvonadstropna. Ostrešje (Načrt 135) je zgrajeno iz petih delov in sestavljeno iz lepljenih nosilcev (tramov). Konstrukcija tehnično ni bila zahtevna, rok postavitve in podeskanja je bil le 5 delovnih dni.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina osnovne šole je 72,5 m, širina pa 25 m in 132 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavljajo lepljeni lamelirani nosilci (Slika 133), ki so na razdalji 80 cm (Slika 134). Prečne dimenzije elementov so: širina 20 cm, višina med 26 cm in 100 cm. Postavljeni so na betonske zidove. Naklon strehe znaša 12°. Vezi celotnega ostrešja so izdelane strojno.	



Slika 131: Osnovna šola Slovenska Bistrica



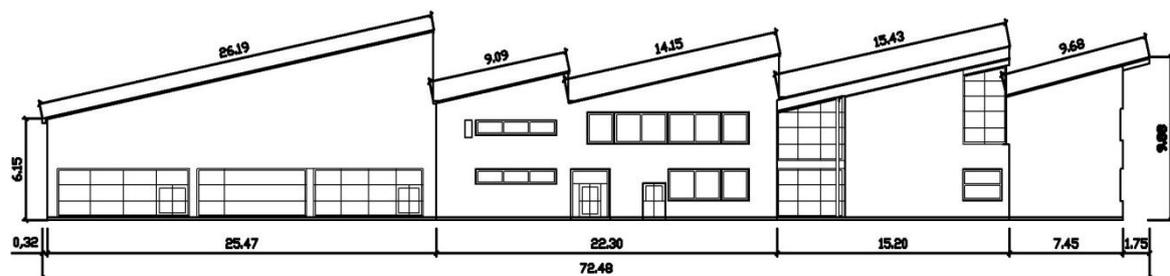
Slika 132: Pogled na objekt iz severne strani



Slika 133: Prikaz napušča



Slika 134: Prikaz tramov



Slika 135: Pogled na objekt iz vzhodne strani

Foto: Janez Andoljšek

Podatki o objektu: Trgovinski center Tuš	
Tip objekta (namembnost)	Javni objekt – trgovski center
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	GM INVEST, d. o. o., Ljubljanska cesta 87, Celje
Arhitekt (avtor)	Tomaž Jelovšek, univ. dipl. ing. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	ATELJE VILLA, d. o. o. Slovenska cesta 11, Ljubljana
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Brezovica
Neto kvadratura	1635 m ²
Leto izgradnje	2010
Čas izgradnje	5 dni
Opis objekta Trgovski center Tuš (Slika 136, Slika 137) se nahaja v občini Brezovica, lociran je na začetek vasi Notranje Gorice. Kritina objekta je sestavljena iz več plasti: prva plast, ki je položena na lepljene nosilce, je valovita pločevina, nanjo je položena plast izolacije, zadnja plast kritine je varjena ponjava, ki je položena na izolacijo. Fasadni ovoj trgovskega objekta je sestavljen iz pločevine in stekla. V trgovskem centru so prostori za trgovino in gostinski obrat.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina trgovskega centra je 68,30 m, širina pa 31,30 m (Slika 140). Najvišji del meri 7,20 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz enaindvajsetih prostoležečih nosilcev (Slika 141), ki so na enakih medsebojnih razdaljah 7 m. Prečne dimenzije elementov so: širina 16 cm, višina 1,05 m. Postavljeni so na betonske stebre, na katere so pritrjena železna ležišča (Slika 138). Ravni nosilci so iz dveh delov. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami (Slika 139). V tri najdaljše smrekove nosilce sta napravljeni dve izvrtini, premera 45 cm, pri obeh izvrtinah je privijačena plošča, dimenzije 90/90, debeline 25 mm. Izvrtine služijo prezračevalnemu sistemu. Kritino predstavlja valovita pločevina, na katero je položena izolacija.	



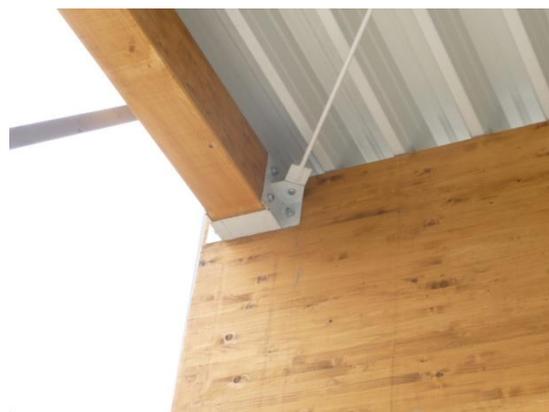
Slika 136: Trgovinski obrat Tuš



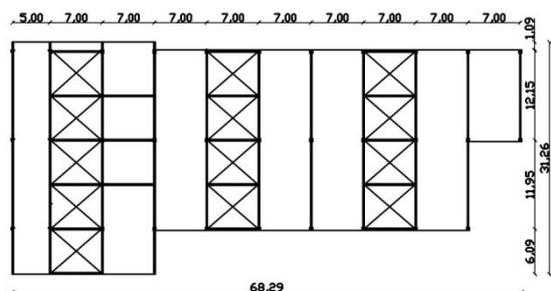
Slika 137: Notranjost trgovinskega obrata



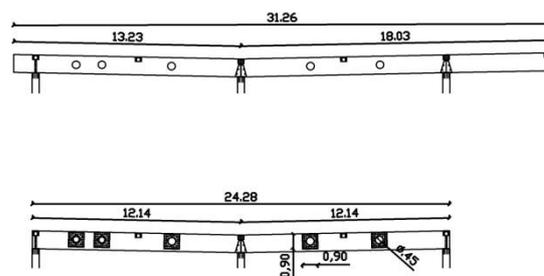
Slika 138: Detajl nosilcev



Slika 139: Pritrditev zavetrovalne zatege



Slika 140: Tloris nosilcev



Slika 141: Prostoležeča nosilca s paralelnimi pasovi

Foto: Janez Andoljšek

Podatki o objektu: Trgovinski center Centromerkur	
Tip objekta (namembnost)	Javni objekt – trgovski center
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	Centromerkur Emporium
Arhitekt (avtor)	Matjaž Pangerc, univ. dipl. ing. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	Energoplan, Slovenija projekt, d. o. o. Pod hribom 55, Ljubljana
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Roman Štebe, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Ljubljana, Prešernov trg
Neto kvadratura	625 m ²
Leto izgradnje	2010
Čas izgradnje	20 dni
Opis objekta Trgovski obrat Centromerkur (Slika 142) se nahaja v centru Ljubljane na Prešernovem trgu. Objekt je bil zgrajen že leta 1903 in se šteje kot ena prvih veleblagovnic v Ljubljani. Objekt je bil restavriran, fasadni ovoj prenovljen in izdelano je bilo novo ostrešje (Slika 143, Slika 145, Slika 147). Objekt je petnadstropen. Viden bo le del ostrešja z lesenimi nosilci. Vidni nosilci so iz javorovega, ostali pa iz smrekovega lesa. Kritina je opečnata. Stavba nima posebnega parkirišča, saj je center mesta zaprt za promet.	
Opis konstrukcije Skupna dolžina trgovskega centra je 26,5 m, širina pa 24 m (Slika 146). Del strehe ima obliko dvokapnice, drugi del pa je raven. Osrednji ravni del ostrešja je oprt na lesene lepljene nosilce. Postavljeni so na betonski zid (Slika 144). Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami. Vezi so izdelane strojno.	



Slika 142: Trgovinski center Centromerkur



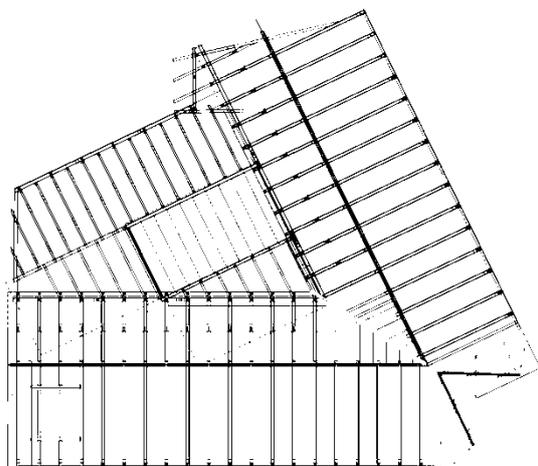
Slika 143: Del ostrešja



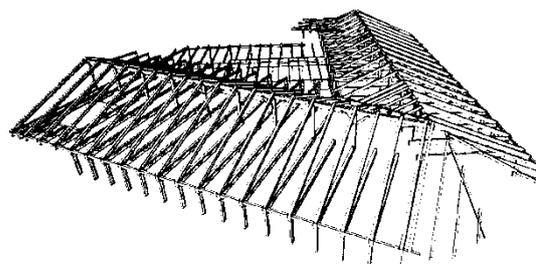
Slika 144: Spoj med nosilci



Slika 145: Ostrešje v izdelavi



Slika 146: Tloris nosilcev



Slika 147: 3D pogled na ostrešje

Foto: Janez Andoljšek

6.5 PREMOSTITVENI OBJEKTI

Podatki o objektu: Most Gaj Kočevje	
Tip objekta (namembnost)	Premostitveni objekt – most
Tip konstrukcije	Tročlenski nosilec z vezjo
Naročnik	Občina Kočevje Ljubljanska cesta 23, Kočevje
Arhitekt (avtor)	Miran Osterman, dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	PROJEKTIVNI BIRO OSTERMAN Opekarska 6, Kočevje
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Gaj Kočevje
Neto kvadratura	50 m ²
Leto izgradnje	2000
Čas izgradnje	6 dni
Opis objekta	<p>Most (Slika 148) je postavljen preko reke Rinže v občini Kočevje, v Gaju. Nahaja se na poti do stadiona in športno rekreativnega parka. Smrekovi leseni elementi so v celoti zaščiteni s sistemskimi premazi za zunanje izpostavljene površine. Dodatno so zaščiteni zgornji deli lepljenih nosilcev, saj jih prekriva bitumenski trak. Most je lepo umeščen v okolico in služi svojemu namenu.</p>
Opis konstrukcije	<p>Most je dolg 25 m in širok 2 m. Zasnovan je kot tročlenski lok. Nosilno konstrukcijo predstavljata dva lesena lepljena tročlenska loka (Slika 153), ki se naslanjata na toga armiranobetonska obrečna opornika (Slika 152, Slika 151). Med lepljenima lesenima nosilcema so nameščeni prečniki, na katere so pritrjene podnice (Slika 149). Členkast spoj (Slika 150) na sredini mostu je pritrjen z vijaki in je po površini zaščiten s silikonom, ki deluje kot izolacijsko sredstvo, saj preprečuje zatekanje vode za členkast spoj in v notranjost nosilnega elementa. Del členkastega okovja je vložen v utor. Na vse prečnike je privarjen bitumenski trak, ki ima hidroizolacijsko sredstvo. Prečniki so tako zaščiteni pred neposrednim stikom z vodo. Bitumenski trakovi so nekoliko širši od prečnikov. Zaradi večje širine voda ne odteka po stranski površini prečnikov. Zavetrovanje je sestavljeno iz jeklenih palic in napenjalcev. Jeklena palica ima na eni strani narejen nastavek za pritrditev na jekleni čevelj, na drugi strani pa ima narejen navoj, ki se prilagaja napenjalcu.</p>



Slika 148: Most Gaj Kočevje



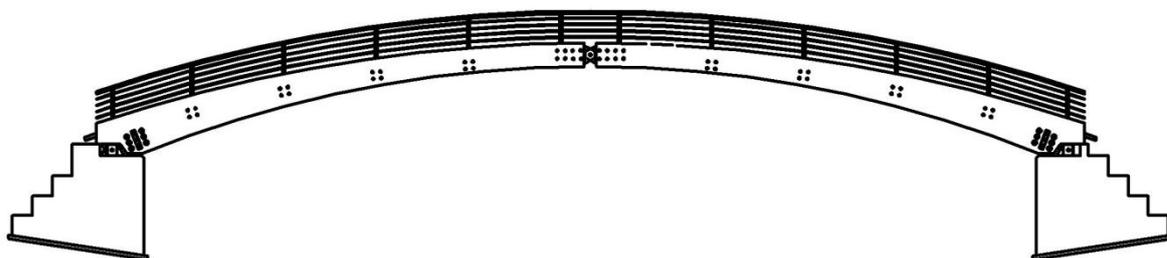
Slika 149: Vrhnji del mostu



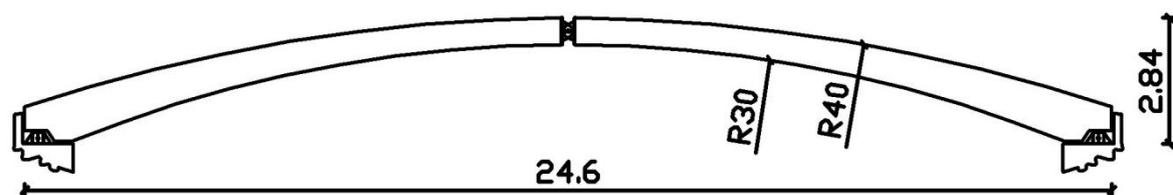
Slika 150: Jekleni spoj med nosilcema



Slika 151: Ležišče nosilca



Slika 152: Naris mostu



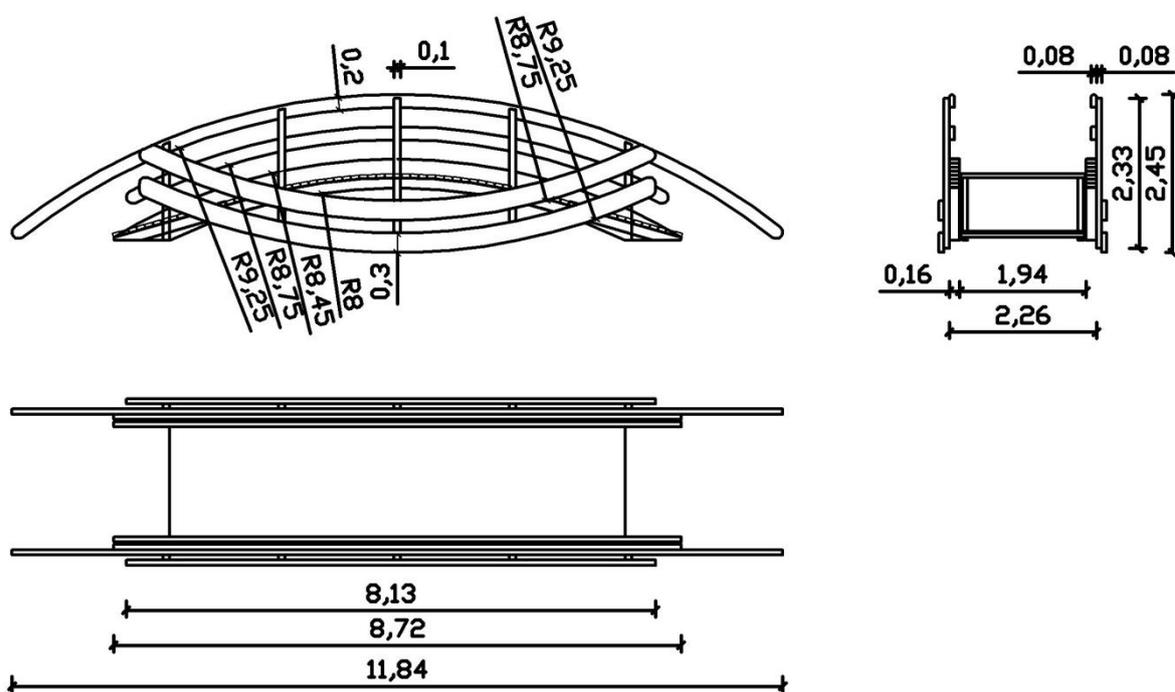
Slika 153: Naris tročlenskega nosilca z vezjo

Foto: Janez Andoljšek

Podatki o objektu: Mostička Habakuk	
Tip objekta (namembnost)	Premostitveni objekt – most
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilec z zakrivljeno osjo
Naročnik	Hotel Habakuk, Pohorska ulica 59, Maribor
Arhitekt (avtor)	Vlado Pijavž, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	PRODING Inženiring, d. o. o., Stritarjeva 11, Grosuplje
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Maribor
Neto kvadratura	28 m ²
Leto izgradnje	2000
Čas izgradnje	3 dni
Opis objekta Mostička (Slika 151, Slika 155) se nahajata v neposredni bližini luksuznega hotela Habakuk na obrobju gozdov Pohorja. Mostička iz macesnovega lesa sta postavljena čez manjši potok in povezujeta hotel s površinami za sprehajalce. Pohodna površina mostu je izdelana iz lokov dveh lepljenih nosilcev, med katerima so položene pohodne deske. Tako je izdelana tudi ograja mostičkov. Most je zaščiten s sistemskimi premazi na vodni osnovi za zunanje izpostavljene površine. Most lepo sovпада z okolico in odlično služi svojemu namenu.	
Opis konstrukcije Mostička sta dolga 8,72 m, ograja mostu je dolga 11,84 m, širina mostičkov je 2,26 m (Slika 155). Mostička sta sestavljena iz lepljenih lameliranih nosilcev. Glavna dela mostička – loka, na katera je pritrjena pohodna ploskev, sta dolžine 8,72 m, širine 16 cm in višine 45 cm. Loka imata radij 8 m. Razdalja med nosilcema je 1,94 m. Pohodna površina je široka 1,94 m in je izdelana iz niza letvic, 10/6 cm, ki so položene ena ob drugi v obliki loka. Ograja mostičkov je izdelana iz dveh lesenih lokov, ki imata radij 9,25 m in 8,75 m. Dolžina daljšega loka je 11,84 m, krajšega 8,13 m, širina je 8 cm in višina 20 cm. Glavna nosilca in loke ograj povezuje niz petih letev, 10/8 cm. Most sestavljata še dva loka, katerih radij je 9,25 m in 8,75 m, dolžina 8 m, širina 8 cm in višina 30 cm. Mostička sta postavljena na železobetonske temelje.	



Slika 154: Mostička Habakuk



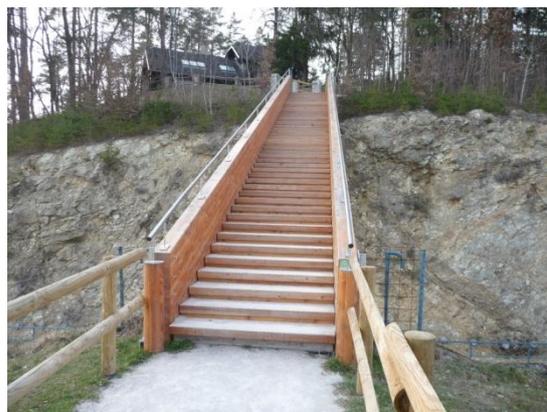
Slika 155: Tloris, naris in stranski ris mostu

Foto: Arhiv podjetja Hoja

Podatki o objektu: Most Šmartinsko jezero	
Tip objekta (namembnost)	Premostitveni objekt – most
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Naročnik	Mestna občina Celje Trg celjskih knezov 9, Celje
Arhitekt (avtor)	Rado Romih, univ. dipl. ing. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	RC PLAN M Podjetje za projektiranje in inženiring, d. o. o. Ulica XIV, Celje
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Mitja Pangeršič, univ. dipl. ing. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Celje, Šmartinsko jezero
Neto kvadratura	70 m ²
Leto izgradnje	2008
Čas izgradnje	3 dni
Opis objekta Most (Slika 156, Slika 158, Slika 160, Slika 161) se nahaja v bližini Celja – v Ločah, ob Šmartinskem jezeru. Pot k mostu za pešce vodi mimo kmetije in se nadaljuje po pešpoti, ki je zaščiten z leseno ograjo. Most ima obliko stopnišča in z vzponom premagamo 7 m višinske razlike. Izdelan je iz macesnovega lesa, kovinski so le ročaj ograje (Slika 159) in podstavki mostu. Celoten most je zaščiten s sistemskimi premazi na vodni osnovi za zunanje izpostavljene površine.	
Opis konstrukcije Most je dolg 18,55 m in širok 2 m. Most je sestavljen iz dveh lepljenih lameliranih nosilcev (Slika 161), širine 20 cm in višine 1 m. Razdalja med nosilcema je 1,74 m. Most ima obliko stopnišča (Slika 157, Slika 159) in je sestavljen iz 48 stopnic, višine 14 cm in globine 40 cm. Most je v ležiščih postavljen na jeklene I profile. Pohodne ploskve in nosilni stebri so izdelani iz macesnovega lesa. Pohodne ploskve so vgrajene v pokončni nosilec in so od spodnjega roba nosilca odmaknjene 7 cm. Po celotni spodnji in stranski površini so pritrjeni štirje zavetrni jekleni T profili. Naklon mostu je 22°.	



Slika 156: Most Šmartinsko jezero



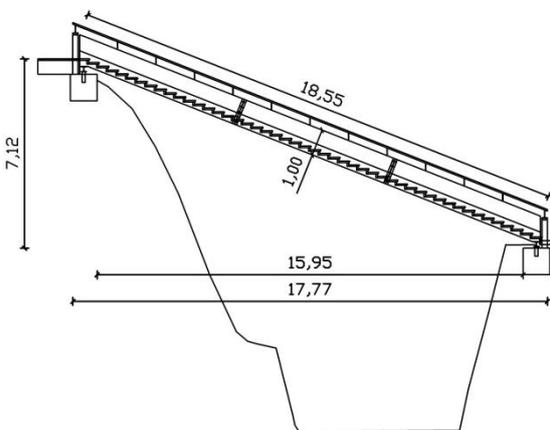
Slika 157: Stopnice z ograjo



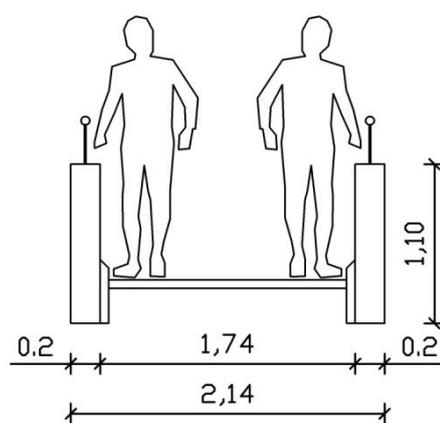
Slika 158: Most od zgoraj



Slika 159: Detajl kovinske in lesene ograje



Slika 160: Stranski prerez mostu



Slika 161: Prečni prerez mostu

Foto: Janez Andoljšek

6.6 INDUSTRISKI OBJEKTI

Podatki o objektu: Žaga Cugmajster	
Tip objekta (namembnost)	Industrijski objekt – skladišče
Tip konstrukcije	Prostoležeči nosilci z naklonom
Naročnik	Žaga Cugmajster
Arhitekt (avtor)	Vlado Pijavž, univ. dipl. inž. arh.
Projektivno podjetje (arhitektura)	PRODING Inženiring, d. o. o., Stritarjeva 11, Grosuplje
Statika- gradbene konstrukcije (projektant)	Janez Štupnik, univ. dipl. inž. grad.
Izvajalec lesene konstrukcije	Hoja, Lepljene konstrukcije in žaga, d. d., Škofljica
Lokacija	Slovenske Konjice – Loče
Neto kvadratura	1620 m ²
Leto izgradnje	2009
Čas izgradnje	5 dni
Opis objekta	<p>Žaga Cugmajster (Slika 162, Slika 163) se nahaja izven centra Loč. Proizvodne enote obrata so ločeno razporejene po zemljišču. Ena stran skladišča je odprta, ostale tri strani so zaprte. Skladišče za žagane deske je asfaltirano. Vertikalni nosilci skladišča in stene med njimi so betonski. Skladišče je montažni objekt. Strešni nosilci so iz lepljenega lameliranega smrekovega lesa. Vhod objekta je lociran na zahod. Kritina je pločevinasta. Ovoj objekta predstavljajo v spodnjem delu betonski stebri s fasadnimi paneli. Zaradi dolžine nosilca, ki je meril 31,5 m, so nastopile oteževalne okoliščine pri prevozu.</p>
Opis konstrukcije	<p>Skupna dolžina objekta je 60,2 m, širina pa 21 m in 31,5 m (Slika 166). Najvišji del meri 10,6 m. Nosilno konstrukcijo objekta predstavlja niz šestnajstih različno dolgih prostoležečih nosilcev (Slika 167), ki so na enakih medsebojnih razdaljah 3,82 m. Prečne dimenzije ukrivljenih elementov so: širina 18 cm, višina med 1,1 m in 1,8 m. Največja višina je v slemenu in se zmanjšuje do ležišča nosilca. Notranji radij ločnih nosilcev je 20 m. Postavljeni so na betonske stebre (Slika 165). Na okvirno konstrukcijo so pritrjeni špirovci, dimenzije 14/18, v razmaku 0,95 m, ki služijo kot podkonstrukcija za pokrivanje s trapezno pločevino. Naklon strehe znaša 8°. Stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri je zagotovljena z jeklenimi diagonalami. Objekt ima obliko trapeza. Čelni steni sta sestavljeni iz enajstih navpičnih in treh vodoravnih leg, dimenzije 16/18 (Slika 164).</p>



Slika 162: Žaga Cugmajster



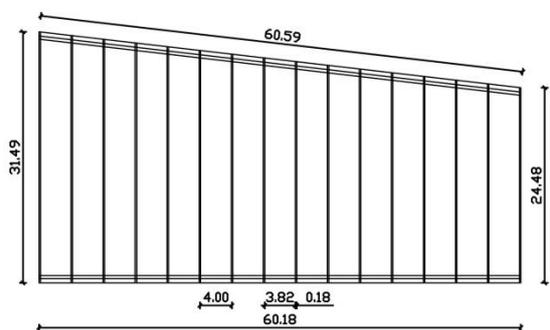
Slika 163: Razpoznavni znak žage



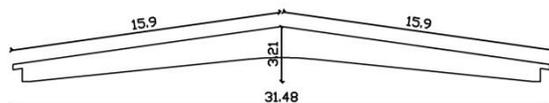
Slika 164: Čelni lepljeni lamelirani nosilci



Slika 165: Notranjost objekta



Slika 166: Tloris nosilcev



Slika 167: Prostoležeč nosilec z naklonom

Foto: Janez Andoljšek

6.7 OBJEKTI RAZDELJENI PO NAMEMBNOSTI IN KONSTRUKCIJSKI TIPIH

Športni objekti

Objekt:	Konstruktivski tip:
Športna dvorana Gruda	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Športna dvorana Kočevje	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Športna dvorana Škofljica	Prostoležeči nosilci z naklonom
Športna dvorana Makole	Tročlenski okvirni nosilci
Tenis dvorana Banex	Tročlenski okvirni nosilci
Tenis Dvorana Breskvar	Tročlenski okvirni nosilci
Jahalnica CUDV Draga	Tročlenski okvirni nosilci
Športna dvorana FRS Ljubljana	Tročlenski nosilci z vezjo
Športna dvorana Nedelišče	Okvirni nosilci
Terme Čatež III	Prostoležeči nosilci z zakrivljeno osjo
Terme Snovik	Tročlenski okvirni nosilci, prostoležeči nosilec konstantne višine

Javni objekti

Objekt:	Konstruktivski tip:
Osnovna šola Slovenska Bistrica s ŠD	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Trgovinski center Centromerkur	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Trgovinski obrat Tuš	Prostoležeči nosilci konstantne višine

Sakralni objekti

Objekt:	Konstruktivski tip:
Župnijski center s cerkvijo svetega Jožefa	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Kapela na Rogli	Prostoležeči nosilci konstantne višine

Premostitveni objekti

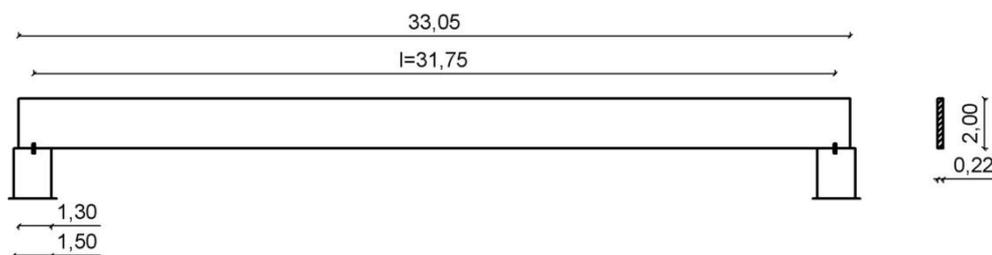
Objekt:	Konstruktivski tip:
Pešpot Šmartinsko jezero	Prostoležeči nosilci konstantne višine
Mostički Habakuk	Prostoležeči nosilci z zakrivljeno osjo
Most Gaj Kočevje	Tročlenski nosilci z vezjo

Industrijski objekti

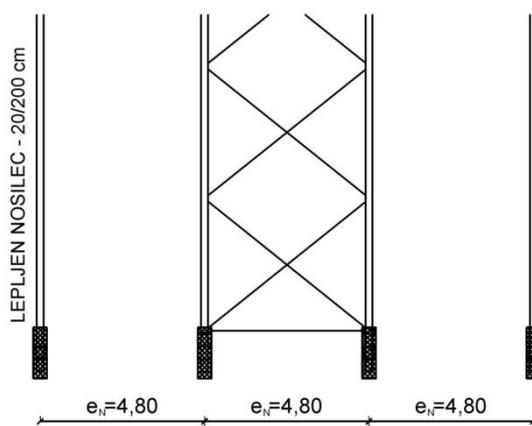
Objekt:	Konstruktivski tip:
Žaga Cugmajster	Prostoležeči nosilci z naklonom

6.8 RAČUNSKI PRIMERI

6.8.1 Izračun statike za nosilce Športne dvorane Kočevje



Slika 168: Leseni lepljeni nosilec športne dvorane Kočevje



Slika 169: Medosna razdalja med nosilci

Karakteristične trdnosti in togostne lastnosti lepljenega lesa GL28c (po SIST EN 1194:1999)

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2 \text{ (karakteristična upogibna trdnost lesa)}$$

$$f_{v,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (karakteristična strižna trdnost lesa)}$$

$$f_{c,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (karakteristična tlačna trdnost lesa)}$$

$$\gamma_m = 1,25 \text{ (varnostni faktor materiala)}$$

$$l = 31,75 \text{ m (razpon)}$$

$$e_n = 4,8 \text{ m (razmik med nosilci)}$$

$$b = 22 \text{ cm (širina nosilca)}$$

$$h = 200 \text{ cm (višina nosilca)}$$

$$\gamma_{les} = 4,56 \text{ kN/m}^3 \text{ (lastna teža nosilca)}$$

$$g_1 = 0,65 \text{ kN/m}^2 \text{ (obtežba na m}^2\text{)}$$

$$A = 466 \text{ m (nadmorska višina)}$$

$$\mu_i = 0,8 \text{ (oblikovni koeficient obtežbe snega)}$$

$$w = 0,3 \text{ kN/m}^2 \text{ (ocenjena vrednost vetra)}$$

$$q_1 = 0,15 \text{ kN/m}^2 \text{ (teža inštalacije)}$$

Projektne vrednosti lepljenega lesa:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 2,016 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 0,194 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 0,194 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Analiza obtežb:

Izračun stalnih obtežb:

Lastna teža nosilca

$$g_N = \gamma_L \cdot b \cdot h = 4,56 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 0,22 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} = 2,006 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Teža kritine, obloge, leg, izolacije, inštalacij

$$g_{1N} = g_1 \cdot e_n = 0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 4,8 \text{ m} = 3,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Izračun koristnih obtežb:

Sneg

$$s_k = (0,642 \cdot z + 0,009) \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] = (0,642 \cdot 2 + 0,009) \left[1 + \left(\frac{466}{728} \right)^2 \right] = 1,823 \frac{kN}{m^2}$$

$$s = \mu_i \cdot C_i \cdot C_{i'} \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,823 \frac{kN}{m^2} = 1,458 \frac{kN}{m^2}$$

$$s_n = s \cdot e_n = 1,458 \frac{kN}{m^2} \cdot 4,8 m = 7,00 \frac{kN}{m}$$

Veter

$$w_N = w \cdot e_n = 0,3 \cdot 4,8 m = 1,44 \frac{kN}{m}$$

Projektna obtežba

$$q_d = \gamma_G \cdot (g_N + g_{1N}) + \gamma_Q \cdot (s_N + \Psi \cdot \omega_n + \Psi \cdot \omega_i) = 1,35 \cdot \left(2,006 \frac{kN}{m} + 3,12 \frac{kN}{m} \right) + 1,5 \cdot \left(7 \frac{kN}{m} + 0,6 \cdot 1,44 \frac{kN}{m} + 1 \cdot 0,15 \frac{kN}{m} \right) = 20,445 \frac{kN}{m}$$

Upogibni moment

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{20,445 \frac{kN}{m} \cdot (31,75 m)^2}{8} = 2576,22 kNm$$

Prerez

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,22 m \cdot (2 m)^2}{6} = 0,147 m^3 = 147000 cm^3$$

$$\sigma = \frac{257622 kNm}{147000 cm^3} = 1,75 \frac{kN}{cm^2} \leq f_{m,d} = 2,016 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,75 \frac{kN}{cm^2}}{2,016 \frac{kN}{cm^2}} = 0,87 = 87\%$$

Strig

Prečne sile

$$V_{d,max} = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{20,445 \frac{kN}{m} \cdot 31,75 m}{2} = 296,78 kN$$

Maksimalna prečna strižna napetost

$$\tau_{max} = 1,5 \cdot \frac{V_{d,max}}{\frac{2}{3} \cdot b \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{296,78 kN}{\frac{2}{3} \cdot 0,22 m \cdot 2 m} = 0,152 \frac{kN}{cm^2} \leq f_{v,d} = 0,194 \frac{kN}{cm^2}$$

Ležišče

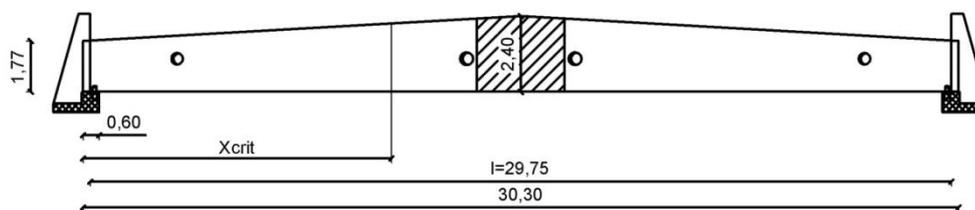
Sile na podporo

$$R_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{20,445 \frac{kN}{m} \cdot 33,05 m}{2} = 337,85 kN$$

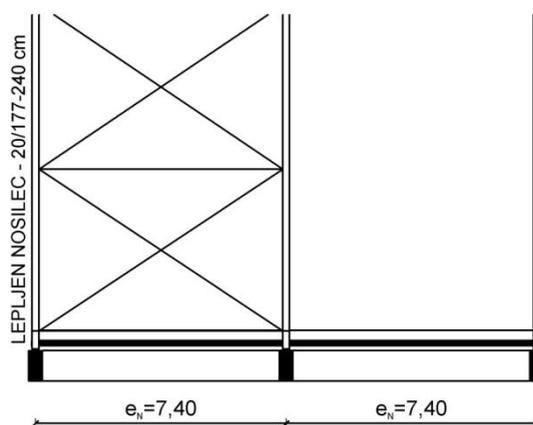
$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{b \cdot l_{pod}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad k_{c,90} = 1$$

$$l_{pod} = \frac{R_d}{b \cdot f_{c,90,d}} = \frac{337,85 kN}{0,22 cm \cdot 0,194 \frac{kN}{cm^2}} = 79,16 cm \leq l_{pod,dej} = 1,30 m$$

6.8.2 Izračun statike za nosilce Športne dvorane Škofljica



Slika 170: Leseni lepljeni nosilec športne dvorane Škofljica



Slika 171: Medosna razdalja med nosilci

Karakteristične trdnosti in togostne lastnosti lepljenega lesa GL28c (po SIST EN 1194:1999)

$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$ (karakteristična upogibna trdnost lesa)

$f_{v,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$ (karakteristična strižna trdnost lesa)

$f_{c,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$ (karakteristična tlačna trdnost lesa)

$\gamma_m = 1,25$ (varnostni faktor materiala)

$l = 29,75 \text{ m}$ (razpon)

$e_n = 7,4 \text{ m}$ (razmik med nsilci)

$b = 20 \text{ cm}$ (širina nosilca)

$h = 177\text{-}240 \text{ cm}$ (višina nosilca)

$\alpha = 2,42^\circ$ (naklon nosilca)

$\gamma_{les} = 4,56 \text{ kN/m}^3$ (lastna teža nosilca)

$g_l = 0,65 \text{ kN/m}^2$ (obtežba na m^2)

$A = 305 \text{ m}$ (nadmorska višina)

$\mu_i = 0,8$ (oblikovni koeficient obtežbe snega)

$$w = 0,3 \text{ kN/m}^2 \text{ (ocenjena vrednost vetra)}$$
$$q_I = 0,15 \text{ kN/m}^2 \text{ (teža inštalacije)}$$

Projektne vrednosti

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{2,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 2,016 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 0,194 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{0,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 0,194 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Analiza obtežb

Izračun stalnih obtežb:

Lastna teža nosilca

$$g_N = \gamma_L \cdot b \cdot \frac{2}{3} \cdot h_{\max} = 4,56 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2,4 \text{ m} = 1,459 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Teža kritine, obloge, leg, izolacije, inštalacij

$$g_{1N} = g_1 \cdot e_n = 0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 7,4 \text{ m} = 4,81 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Izračun koristnih obtežb:

Sneg

$$s_k = (0,642 \cdot z + 0,009) \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] = (0,642 \cdot 2 + 0,009) \left[1 + \left(\frac{305}{728} \right)^2 \right] = 1,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s = \mu_i \cdot C_i \cdot C_{i'} \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,215 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s_n = s \cdot e_n = 1,215 \frac{kN}{m^2} \cdot 7,4 m = 8,998 \frac{kN}{m}$$

Veter

$$w_N = w \cdot e_n = 0,3 \cdot 4,8 m = 1,44 \frac{kN}{m}$$

Projektna obtežba

$$q_d = \delta_G \cdot (g_N \cdot g_{1N}) + \delta_Q \cdot (s_N + \Psi \cdot \omega_n + \Psi \cdot \omega_i) = 1,35 \cdot \left(1,459 \frac{kN}{m} \cdot 4,81 \frac{kN}{m} \right) + 1,5 \cdot \left(8,998 \frac{kN}{m} + 0,6 \cdot 2,22 \frac{kN}{m} + 1 \cdot 0,15 \frac{kN}{m} \right) = 24,18 \frac{kN}{m}$$

Napetosti v kritičnem prerezu

$$R_A = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{24,18 \frac{kN}{m} \cdot 29,75 m}{2} = 359,67 kN$$

$$x_{crit} = \frac{h_{min}}{h_{max}} \cdot \frac{l}{2} = \frac{1,77 m}{2,40 m} \cdot \frac{29,75 m}{2} = 10,97 m$$

$$M_{d(x_{crit})} = R_A \cdot x_{crit} - \frac{q_d \cdot x_{crit}^2}{2} = 359,67 kN \cdot 10,97 m - \frac{24,18 \frac{kN}{m} \cdot (10,97 m)^2}{2} = 2490,6 kNm$$

$$h_{crit} = h_{min} + \tan \alpha \cdot x_{crit} = 1,77 m + \tan 2,42 \cdot 10,97 m = 2,233 m$$

$$W_{crit} = \frac{b \cdot h_{crit}^2}{6} = \frac{0,2 m \cdot (2,233 m)^2}{6} = 0,166 m^3$$

$$\begin{aligned}k_{m,\alpha} &= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \tan \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{v,90,d}} \cdot \tan^2 \alpha\right)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,016 \frac{kN}{cm^2}}{1,5 \cdot 0,194 \frac{kN}{cm^2}} \cdot \tan 2,42\right)^2 + \left(\frac{2,016 \frac{kN}{cm^2}}{0,194 \frac{kN}{cm^2}} \cdot \tan^2 2,42\right)^2}} \\ &= 0,96\end{aligned}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d(xcrit)}}{W_{crit}} = \frac{2490,6 \text{ kNm} \cdot 100}{166000} = 1,50 \frac{kN}{cm^2} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} = 1,935 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}} = \frac{1,50 \frac{kN}{cm^2}}{1,935 \frac{kN}{cm^2}} = 0,78 = 78\%$$

Napetosti v temenskem območju

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{24,18 \frac{kN}{m} \cdot (29,75 \text{ m})^2}{8} = 2675 \text{ kNm}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,2 \text{ m} \cdot (2,4 \text{ m})^2}{6} = 0,192 \text{ m}^3$$

$$k_l = k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \tan 2,42 + 5,4 \tan^2 2,42 = 1,068$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{M_{d,max}}{W} = 1,068 \cdot \frac{2675 \text{ kNm} \cdot 100}{192000} = 1,489 \frac{kN}{cm^2} \leq f_{m,d} = 2,016 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,489 \frac{kN}{cm^2}}{2,016 \frac{kN}{cm^2}} = 74\%$$

Radialne natezne napetosti

$$k_p = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,2 \cdot \tan 2,42 = 0,0084$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{f,90,d}$$

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{V_0}{b \cdot h_{max}}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01 \text{ m}^3}{0,2 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m}}\right)^{0,2} = 0,46$$

$$\begin{aligned} \sigma_{t,90,d} &= k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W} = 0,0084 \cdot \frac{2675 \text{ kNm} \cdot 100}{192000} = 0,0117 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{f,90,d} \\ &= 1,4 \cdot 0,46 \cdot 0,194 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,125 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

Strig

Prečne sile:

$$V_{d,max} = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{24,18 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 29,75 \text{ m}}{2} = 359,7 \text{ kN}$$

Maksimalna prečna strižna napetost:

$$\begin{aligned} \tau_{d,max} &= 1,5 \cdot \frac{V_{d,max}}{\frac{2}{3} b \cdot h} = 1,5 \cdot \frac{359,7 \text{ kN}}{\frac{2}{3} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m}} = 1686 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,1686 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq f_{v,d} \\ &= 0,194 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

Ležišče

Sile na podporo:

$$R_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{24,18 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 30,25 \text{ m}}{2} = 39985 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,,90,d} = \frac{R_d}{b \cdot f_{c,90,d}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$k_{c,90} \dots 1$

$$l_{pod} = \frac{R_d}{b \cdot f_{c,90,d}} = \frac{399,5 \text{ kN}}{0,2 \text{ cm} \cdot 0,194 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 102,9 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{b \cdot f_{c,90,d}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$k_{c,90} \dots 1,5$

$$l_{pod} = \frac{R_d}{b \cdot f_{c,90,d} \cdot f_{c,90}} = \frac{399,5 \text{ kN}}{0,2 \text{ cm} \cdot 0,194 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1,5} = 68,6 \text{ cm}$$

7 RAZPRAVA IN SKLEPI

7.1 RAZPRAVA

Z diplomsko nalogo smo skušali ugotoviti, kakšno je stanje inženirskih konstrukcij iz lameliranega lepljenega lesa v Sloveniji, pri čemer smo se osredotočili na konstrukcije podjetja Hoja. Dejstvo je, da uporaba konstrukcij iz lepljenega lameliranega lesa narašča. Strokovnjakom je z ustreznimi lepili, ki so odporna proti temperaturi, klimatskim spremembam, kemikalijam in mikroorganizmom, in natančno vgradnjo uspelo izboljšati lastnosti lesa, k priljubljenosti lesenih konstrukcij prispeva tudi ekološka ozaveščenost, ki spodbuja uporabo naravnih materialov s čim manjšim izpustom CO₂. Z opisom in analizo konstrukcij podjetja Hoja smo ugotovili, da je mogoče lepljene konstrukcije uporabiti v različnih objektih, in sicer v javnih (športne dvorane, trgovski centri ...), premostitvenih (mostovi ...), sakralnih (cerkve, kapele ...) in industrijskih (proizvodni obrati ...) objektih. Lepljeni lamelirani nosilci ob pravilni in natančni vgradnji premagujejo velike razpone in zdržijo spremenljive zunanje okoliščine. Pravilne konstrukcijske rešitve povečajo njihovo trajnost.

Včasih so gradili večinoma z lesom, saj jim je bil najlažje dostopen in je imel dobre mehanske lastnosti. Les so nato za nekaj časa zamenjali drugi gradbeni materiali, in sicer jeklo in beton, s katerimi so lažje premagovali večje razpone. Slabosti lesa so bile, da je zaradi spremenljivih zunanjih vplivov pokal, se krčil in krivil, bil dovzeten za škodljivce ter propadal s starostjo. Negativne strani so bile tudi: nizek modul elastičnosti, trdnost lesenih spojev, prožnost pri krčenju in vpliv vlage. V današnjem času je poraba lesa zopet narasla, saj so pretehtale njegove dobre lastnosti, ki jih strokovnjaki še izboljšujejo. Les so zaščitili pred vlago, z ustreznimi lepili so dosegli možnost poljubnih dolžin. Les je primeren za tlačno, natezno ali upogibno obremenjene elemente konstrukcij. Kljub gorljivosti so leseni lepljeni nosilci odporni pred ognjem, saj zgorijo oziroma zoglejijo do globine od 10 do 20 mm, za kolikor so predimenzionirani, zato se ne porušijo. Ob gorenju se ne raztezajo in ne spreminjajo svojih oblik.

Lesene lepljene konstrukcije imajo sledeče prednosti: hitra gradnja, dobra nosilnost, elastičnost, dobra izolacija, manjša lastna teža konstrukcije, fleksibilnost pri konstruiranju različnih oblik in dimenzij, premostitev večjih razponov, možnost odličnega oblikovanja, tehnična natančnost in možnost ukrivljanja oblike nosilnih elementov. Prednosti lesenih strešnih konstrukcij sta večja izkoriščenost materiala in boljša izraba strešnih prostorov zaradi zmanjšanja števila podpornih elementov. Lepljene lamelirane konstrukcije so primerne tudi za objekte z velikim razponom. V Sloveniji ima največji razpon lepljen lameliran nosilec v Športni dvorani Zreče (preko 35 m). Najpogosteje se uporabljajo naslednji tipi lepljenih konstrukcij: prostoležeči nosilec z zakrivljeno osjo, tročlenski

okvirni nosilec, tročlenski nosilec z vezjo, ravni prostoležeči nosilec in prostoležeči nosilec z naklonom.

V času diplomske naloge smo aktivno delali v podjetju Hoja in se seznanili z njihovo proizvodnjo. V sodelovanju s podjetjem Ledinek Engineering, d. o. o., smo našli možnosti izboljšav za podjetje Hoja. Za izboljšano in hitrejšo proizvodnjo bi bilo potrebno zamenjati in posodobiti del linije (skobeljni stroj, nanašalec lepila, stiskalnico, štiristranski skobeljni stroj in transporterje med napravami).

Analizirali smo dvajset inženirskih konstrukcij podjetja Hoja, ki so ustrezale naslednjim kriterijem: izdelane so bile v zadnjem desetletju, njihova izgradnja je vključevala posebne konstrukcijske rešitve in prilagoditve ter večinoma so bile večjih dimenzij. Prizadevali smo si, da smo izbrali raznolike objekte, saj smo želeli prikazati splošno uporabnost konstrukcij iz lepljenega lameliranega lesa. Terensko delo je obsegalo naslednje dejavnosti: ogled zunanosti in notranosti (konstrukcije) objekta ter njegove umeščenosti v okolico. Objekti so bili dokumentirani in analizirani. V opisu objekta smo izpostavil naslednje značilnosti: umeščenost v okolje, kritino in fasadni ovoj. V opisu konstrukcije smo v ospredje postavili: dimenzije objekta, nosilno konstrukcijo, izdelavo ostrešja, ležišča lepljenih lameliranih nosilcev, zavetrovanje ter posebnosti pri izdelavi in vgradnji konstrukcije.

Naredili smo kontrolo nosilnosti strešnih nosilcev za Športno dvorano Kočevje in Športno dvorano Škofljica po novih evropskih standardih za projektiranje lesenih nosilnih konstrukcij (Evrokod 5). Pri izračunu smo upoštevali stalno obtežbo (lastno težo nosilcev in težo strehe) in koristno obtežbo (sneg, veter in ocenjeno težo inštalacij). Preverili smo napetosti v kritičnem prerezu, napetosti v temenskem območju, radialne natezne napetosti, strižne napetosti ob podpori ter kontaktne napetosti v ležišču. Ugotovili smo, da nosilec ustreza izbranim kriterijem nosilnosti.

7.2 SKLEPI

Rezultati analize dvajsetih inženirskih konstrukcij podjetja Hoja so pokazali, da je bilo največ konstrukcij vgrajenih v športne objekte, predvsem v športne dvorane, v katere se največkrat umestijo tročlenski okvirni nosilci in ravni prostoležeči nosilci konstantne višine. Lepljeni lamelirani nosilci so vgrajeni tudi v javne (kopališča, trgovski centri ...), sakralne (cerkve, kapele ...), premostitvene (mostovi ...) in industrijske (žage ...) objekte, za katere se uporabljajo naslednji nosilci: prostoležeči nosilci z zakrivljeno osjo, tročlenski okvirni nosilci, prostoležeči nosilci konstantne višine, tročlenski nosilci z vezjo in dvokapni nosilci. V konstrukcijah se najpogosteje pojavljajo prostoležeči nosilci konstantne višine, ki so najpreprostejši za izdelavo in vgradnjo. Težava lahko nastane pri prevozu nosilcev na gradbišče, saj lahko dosežajo izjemne dolžine, na primer nosilci, ki so jih vgradili v Športno dvorano Gruda (Hrvaška), so bili dolgi 36,7 m. Za vgradnjo prostoležečih nosilcev je še vedno potrebna betonska ali jeklena podkonstrukcija. Prvotnih zamisli projektantov vedno ni bilo mogoče uresničiti, zato je podjetje Hoja poiskalo tehnično ustrežnejše rešitve, na primer po prvotnem načrtu je radij lokov nosilcev v Jahalnici CUDV Draga znašal le 3,6 m, vendar tehnologija podjetja Hoja ni dopuščala te zamisli, zato so povečali radij lokov nosilcev na 6 m in uredili streho objekta s podaljški nosilca in stebrički.

Za doseganje boljših rezultatov poslovanja podjetja je ključnega pomena proizvodnja, ki bi jo lahko v podjetju Hoja izboljšali in posodobili. Dvostranski skobeljni stroj in nanašalec lepila bi lahko zamenjali s sodobnim skobeljnikom za lamele in nanašalcem lepila podjetja Ledinek. Stiskalnico, ki jo sedaj uporabljajo v podjetju Hoja, bi lahko zamenjali s stiskalnico Hyperpress 35 podjetja Ledinek, ki je namenjena avtomatizirani izdelavi ukrivljenih lepljenih elementov ter natančnemu in ponovljivemu izdelovanju enakih elementov. Valjčne transporterje bi lahko zamenjali z valjčnimi transporterji s prečnimi verižnimi izmetali podjetja Ledinek, s čimer bi bila dosežena večja hitrost pomika (okoli 120 m/min). Skobeljni stroj Kupfermuhler bi lahko zamenjali s skobeljnim strojem Superles podjetja Ledinek, ki je namenjen zahtevnemu skobljanju tramov in lepljencev. Novi stroji bi izboljšali kvaliteto lepljencev in povečali kapaciteto izdelkov, kar bi prispevalo k večji konkurenčnosti.

Naredili smo kontrolo nosilnosti strešnih nosilcev za Športno dvorano Kočevje in Športno dvorano Škofljica po novih evropskih standardih za projektiranje lesenih nosilnih konstrukcij (SIST EN 1995-1-1:2004). Pri izračunu smo upoštevali stalno obtežbo (lastno težo nosilcev in težo strehe) in koristno obtežbo (sneg, veter in ocenjeno težo inštalacij). Preverili smo napetosti v kritičnem prerezu, napetosti v temenskem območju, radialne natezne napetosti, strižne napetosti ob podpori ter kontaktne napetosti v ležišču. Pri statičnem izračunu za Športno dvorano Kočevje smo ugotovili razliko pri koristni obtežbi v primeru snega. Po novem standardu (SIST EN 1991-1-3: 2004) moramo na tem območju

upoštevati večjo obtežbo s snegom kot do sedaj. Pri izračunu smo upoštevali tudi obtežbo z vetrom, ki v osnovnem projektu ni bila zajeta. Izračuni so pokazali, da obravnavani nosilci ustrezajo kriterijem nosilnosti tudi po novih predpisih.

8 POVZETEK

Namen diplomske naloge je bil predstaviti inženirske konstrukcije iz lepljenega lameliranega lesa od začetkov njihove uporabe do danes, ko postajajo zaradi svoje vsestranskosti, odličnih mehanskih lastnosti, vrhunskega videza in ostalih prednosti zopet vse bolj priljubljene.

V prvem delu diplomske naloge smo opravili zgodovinski pregled razvoja in uporabe lepljenih lameliranih nosilcev. Opisali smo prve poskuse vgradnje lepljenih nosilcev in izboljšave njihovih lastnosti. Lameliran les se že več kot 100 let uporablja pri gradbenih objektih kot material za nosilne gradbene konstrukcije. Lepljenje lesa je starejše kakor lepljenje kovin, betona in sintetičnih materialov. Lepljen lameliran les dosega boljše mehanske lastnosti kakor masiven les, in sicer višjo tlačno in natezno trdnost, možnost večjih razponov zaradi manjših premerov, poljubno višino lesenih elementov in drugo. Inženirske konstrukcije iz lameliranega lepljenega lesa odlično zadostijo visokim vizualno-arhitektonskim in statičnim zahtevam. Lepljen lameliran les je odgovor na želje po eleganci, udobju in gospodarnosti, zato je njegova uporaba dandanes v porastu. Okoljevarstvena dejavnost spodbuja uporabo lesa, ki je naraven in obnovljiv gradbeni material. Ustrezna in natančna vgradnja les zaščiti pred zunanjimi vplivi. Les je cenjen zaradi svoje kakovosti, vsestranske uporabnosti, velike nosilnosti, zvočne in toplotne izolacije, požarne in potresne varnosti ter energetske varčnosti.

V drugem delu diplomske naloge smo se osredotočili na uporabo in namembnost inženirskih konstrukcij podjetja Hoja. Analiza inženirskih konstrukcij podjetja Hoja je pokazala vsestransko uporabo lepljenega lameliranega lesa, saj je vgrajen v javne objekte (kopališča, športne dvorane in trgovske centre), industrijske objekte (proizvodni obrati), sakralne objekte (cerkve, kapele) in premostitvene objekte (mostove). Največkrat se vgrajujejo prostoležeči nosilci konstantne višine. Kot vezna sredstva se uporabljajo jekleni elementi, ki se jih najpogosteje vgradi v ležišče, pri tročlenskih nosilcih pa tudi med člene. Za zavetrovanje se uporabljajo jeklene vrvi in distančniki. Proizvodni proces v podjetju Hoja poteka linijsko. Vsaka konstrukcija je unikatna, saj se prilagajajo željam naročnikov.

V tretjem delu diplomske naloge smo v sodelovanju s podjetjem Ledinek Engineering, ki proizvaja stroje za izdelavo lepljenih lameliranih nosilcev, iskali možnosti izboljšav v proizvodnem procesu podjetja Hoja.

V četrtem delu diplomske naloge smo opravili kontrolo nosilnosti strešnih nosilcev za Športno dvorano Kočevje in Športno dvorano Škofljica po novih evropskih standardih (SIST EN 1991-1-3: 2004) za projektiranje lesenih nosilnih konstrukcij.

9 VIRI

Bjelanović A. Rajčić V. 2007. Drvene konstrukcije prema europskim normama (*Timber Structures according Eurocode*). Zagreb, Hrvatska sveučilišna naklada i Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu: 458 str.

CEI – Bois, Roadmap. 2004. 16 str.

Gradnja z lesom. 2008. Izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 309 str.

Haiman M. 2005. Zašto lepljene lamelirane drvene konstrukcije? *Drvo*, 45: 85 str.

Imura Y., Kurita S., Ohtsuka T. 2006: Reticulated Timber Dome Structural System Using Glulam with a Low Specific Gravity and its Scalability. Proceedings of WCTE 2006 - 9th World Conference on Timber Engineering - Portland, OR, USA - August 6-10, 2006.
http://www.ewpa.com/Archive/2006/aug/Paper_009.pdf (5. sep. 2010)

Julebyen. 2010. Ledena dvorana v Lillehammerju.
http://www.julebyen.com/cms/images/stories/for_jul/hakonshall_lillehammer_norway_stor1.jpg (10. apr. 2010)

Kitek Kuzman M., Hrovatin J., Kušar J. 2006. Leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi. *Les*, 58, 4: 106–114

Kitek Kuzman M., Hrovatin J., Kušar J. 2006. Lesene lepljene konstrukcije v arhitekturi. Ljubljana, AR Arhitektura, 1: 44–49

Kitek Kuzman M., Vratuša S. 2008. Lesene lepljene konstrukcije v arhitekturi. V: *Gradnja z lesom*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 144–151 str.

Müller C. 2000. *Holzleimbau. Laminated Timber Construction*. Basel, Berlin, Boston, Birkhäuser: 208 str.

Natterer J., Herzog T., Volz M. 1996. *Holzbau Atlas*. Köln Müller, Rudolf: 101–103

Premrov M., Dobrila P. 2008. Lesene konstrukcije. Maribor, Fakulteta za gradbeništvo: 347 str.

- Purkat E. 2003. Leseni mostovi na Slovenskem. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 96 str.
- Resnik J. 1989. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo: 103 str.
- Resnik J., Berčič S., Cikač B. 1995. Visokofrekvenčno segrevanje in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 109 str.
- SIST EN 1991-1-3:2004. Vpliv na konstrukcije -1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega, 2004
- SIST EN 1995-1-1:2005. Projektiranje lesnih konstrukcij -1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe, 2005
- SIST EN 1995-1-1:2005. Projektiranje lesnih konstrukcij -1-2. del: Splošna pravila Projektiranje požarnih konstrukcij, 2005
- SIST EN 386:2002. Lepljeni lamelirani les – Zahteve za uporabo in minimalne zahteve za proizvodnjo, 2002: 15 str.
- SIST EN 387:2002. Lepljeni lamelirani les – Polni zobati spoji – zahteve za uporabo in minimalne zahteve za proizvodnjo, 2002: 14 str.
- SIST EN 14080:2005. Lesene konstrukcije – Lepljen lameliran les – zahteve.
- Ščernjavič D. 2008. Lepljen les za konstrukcijske namene. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 87 str.
- Šernek M., Jošt M. 2004. Konstrukcijski kompozitni les, *Les*, 56, 4: 230–235
- Šernek M., Resnik J. Kamke F.A. 1999. Penetration of liquid urea-formaldehyde adhesive into beech wood. *Wood and fiber science*, 31, 1: 41–48
- Vratuša S. 2000. Evropski predstandard EC 5 – ENV 1995 – Lesene konstrukcije. *Gradbeni vestnik* 49, 12: 281–289

Vratuša S. 2008. Evropski standardi za projektiranje evropskih konstrukcij. V: Gradnja z lesom. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 164–168

Vratuša S., Premrov M. 2009. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij. V: Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 5.1 – 5.117

Zavod za gozdove Slovenije
<http://www.zgs.gov.si> (8. jun. 2010)

Žarnić R., Dujič B. 2008. Vezna sredstva. V: Gradnja z lesom. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 182–187

ZAHVALA

Zahvaljujem se somentorici dr. Manji Kitek Kuzman, univ. dipl. ing. arh. in mentorju viš. predav. dr. Srečko Vratušu, univ. dipl. ing. grad. za strokovno in potrpežljivo vodenje pri pisanju diplomskega dela, za prijazno svetovanje in posredovanje povratnih informacij v zelo kratkem času.

Zahvaljujem se podjetju Hoja, ki mi je omogočilo, da se spoznal njihovo proizvodnjo. V času pisanja diplomskega dela so mi zaposleni pomagali s svojim znanjem in strokovnim gradivom. Zahvaljujem se tudi podjetju Ledinek Engineering, ki me je prijazno sprejelo, mi razkazalo proizvodnjo, odgovorilo na vsa vprašanja in dalo strokovno gradivo.

Posebna zahvala je namenjena moji družini, ki me je podpirala in spodbujala vsa leta mojega šolanja.

Zahvaljujem se dekletu Veroniki za njeno pomoč, ki je bila tako motivacijska kot strokovna.

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez ANDOLJŠEK

**INŽENIRSKÉ KONSTRUKCIJE IZ
LEPLJENEGA LAMELIRANEGA LESA V
SLOVENIJI**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2010