

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Sitar, A. 2012. Nosilni sistemi sodobnih lesenih konstrukcij. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Lopatič, J.): 30 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Sitar, A. 2012. Nosilni sistemi sodobnih lesenih konstrukcij. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Lopatič, J.): 30 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVA**

Kandidat:

ALJAŽ SITAR

**NOSILNI SISTEMI SODOBNIH LESENIH
KONSTRUKCIJ**

Diplomska naloga št.: 8/B-GR

**STRUCTURAL SYSTEMS OF MODERN TIMBER
STRUCTURES**

Graduation thesis No.: 8/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Lopatič

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Član komisije:

doc. dr. Drago Saje

Ljubljana, 21. 09. 2012

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Aljaž Sitar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Nosilni sistemi sodobnih lesenih konstrukcij«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Bistrica, 28.8.2012

Aljaž Sitar

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.011.1(043.2)
Avtor:	Aljaž Sitar
Mentor:	izr. prof. dr. Jože Lopatič
Naslov:	Nosilni sistemi sodobnih lesenih konstrukcij
Tip dokumenta:	Diplomska naloga - univerzitetni študij
Obseg in oprema:	30 str., 34 sl.
Ključne besede:	lesena konstrukcija, kladna nosilna konstrukcija, predalčna nosilna konstrukcija, stebrna nosilna konstrukcija, panelna nosilna konstrukcija, okvirna nosilna konstrukcija, masivna nosilna konstrukcija

Izveček

V diplomskem delu je narejen pregled nosilnih sistemov sodobnih lesenih konstrukcij. Zajema kratek pregled zgodovine razvoja gradnje z lesom in gradnjo v današnjem obdobju. Opisani so prevladujoči nosilni sistemi v gradnji z lesom in glavne značilnosti samih sistemov. Podrobneje so opisani prevladujoči sodobni nosilni sistemi lesenih stavb v svetu in Sloveniji, sestavni elementi konstrukcije in vezna sredstva. V diplomskem delu sem se dotaknil tudi nekaterih novejših konstrukcijskih elementov, ki so omogočili napredek v gradnji z lesom. Ti elementi so križno lepljeni nosilci, lamelirani lepljen les, ter elementi dezintegriranega lesa, kot so LVL (slojnat furnirni les), PSL (nosilci iz usmerjenih trakov luščenega furnirja) in LSL (plošče iz dolgih ploščatih usmerjenih iveri).

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.011.1(043.2)
Author: Aljaž Sitar
Supervisor: Assoc. Prof. Jože Lopatič Ph.D.
Title: Structural systems of modern timber structures
Document type: Graduation thesis –University studies
Scope and tools: 30 p., 34 fig.
Keywords: wooden structure, log construction, timber-frame construction, ballon and platform frame construction, panel construction, frame construction, solid timber construction

Abstract

This thesis studies structural systems of modern wooden constructions. It contains a brief review of constructing methods using wood in the past and the present. The dominant structural systems in wood construction and their main characteristics are also described. Modern structural systems of wooden buildings common in Slovenia and the world, construction parts and connectors are explained in detail. The thesis also describes some of the recent construction parts, which have enabled the progress in construction with wood. These components include cross-laminated timber frames, glued laminated timber and disintegrated wood, such as laminated veneer lumber, parallel strand lumber and laminated strand lumber.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem izr. prof. dr. Jožetu Lopatiču za mentorstvo, pomoč in nasvete pri premagovanju različnih ovir na poti k izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi staršem, ki so mi omogočili študij in vsem bližnjim, ki so mi pri študiju stali ob strani.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA	V
	str.
1 UVOD	1
2 PREGLED NOSILNIH SISTEMOV.....	3
3 Kladna oziroma brunasta nosilna konstrukcija.....	4
4 PREDALČNA NOSILNA KONSTRUKCIJA.....	6
5 STEBRNA NOSILNA KONSTRUKCIJA	8
6 PANELNA NOSILNA KONSTRUKCIJA.....	9
6.1 Opis glavnih nosilnih elementov.....	10
6.1.1 Montažni stropni elementi	10
6.1.2 Montažni stenski elementi	10
6.2 Vezna sredstva	12
7 OKVIRNA (SKELETNA) NOSILNA KONSTRUKCIJA	13
7.1 Stikovanja konstrukcijskih elementov	13
7.2 Lepljeni lamelirani nosilci.....	16
7.3 Konstrukcijski kompozitni les.....	17
8 MASIVNA NOSILNA KONSTRUKCIJA.....	19
8.1 Konstrukcijski elementi pri sistemih z masivno nosilno konstrukcijo.....	20
8.2 Vezna sredstva	21
9 PRIMERJAVA POSAMEZNIH NOSILNIH SISTEMOV LESENIH KONSTRUKCIJ	24
10 NOVEJŠI RAZVOJ LESENIH KONSTRUKCIJ	25
10.1 Uvod.....	25
10.2 Sovprežne lesene konstrukcije	25
11 ZAKLJUČEK	27
VIRI.....	28

KAZALO SLIK

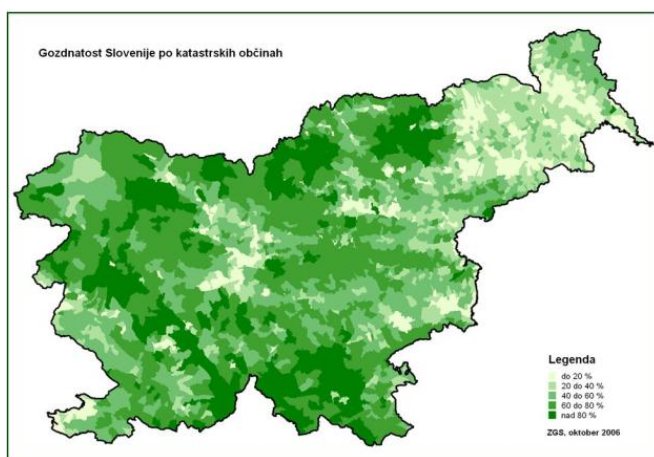
str.

Slika 1: Pokritost Slovenje z gozdovi (Zavod za gozdove Slovenije).....	1
Slika 2: Primer stare lesene hiše iz Destrnika, ki je grajena iz kamna, gline in lesa (Občina Destrnik). 2	
Slika 3: Tradicionalne tesarske vezi (Žarnič, 2009) in primeri vzdolžnega stikovanja lesa (Prieser, 1980).....	2
Slika 4: Nosili sistemi lesenih konstrukcija (a-kladna oz. brunasta konstrukcija, b-predalčna konstrukcija, c-steburna konstrukcija, d-okvirna konstrukcija, e-panelna konstrukcija, f-masivna konstrukcija) (Lopatič, 2008).	3
Slika 5: A- polkrožna rustikalna vogalna vez (Prieser, 1980); B- križni četrtinski uleg (Phleps, 1941); C-zapolnjeni stiki med brunami (Belaj, 2009).	4
Slika 6: Primer »cimprače« v Prekmurju (Cimprače).	5
Slika 7: A.-Sistem lesene kladna gradnja iz hlodov (Erevija); B-Primer sodobne masivne kladne gradnje iz lepljenih brun (Montažne hiše) ; C-lepljena bruna iz vzdolžno lepljenih lamel (Černivšek). 5	
Slika 8: Primera stavbe s predalčno nosilno konstrukcijo (Fachwerk).....	6
Slika 9: Lesne zveze pri predalčni nosilni konstrukciji (Kolb, 2008).	7
Slika 10: Polnila predalčne nosilne konstrukcije; a) prepletano trsje ;b) deske; c) lomljeni kamen; c) opeka (Fachwerk).....	7
Slika 11: Primer predalčne nosilne konstrukcije hiše na Dolenjskem (foto: Aljaž Sitar).	7
Slika 12 A-»Balloon frame«; B-»Platform frame« (Flickr).	8
Slika 13: Tipska sestav stropnega elementa (Premrov, 2008).....	10
Slika 14: A-Tipska sestava stenskega elementa (Premrov, 2008); B-Prikaz horizontalne nosilnosti stenskega elementa z mavčno vlakneno ploščo in OSB obloženo ploščo v odvisnosti od razmika vertikalnih stebričkov (Kitek Kuzman, 2012).	11
Slika 15: Različni konstrukcijski sklopi prefabriciranega elementa stene pri panelni gradnji (Kolb, 2008).....	11
Slika 16: A-Primer stikovanja stene in nadstropne plošče s kotnikom in lesnimi vijaki; B- Primer vezi pri kateri se vijači stena v nadstropno ploščo, ki je privijačena na spodnjo steno (Kolb, 2008).	12
Slika 17: Različni načini stikovanja sidranja stene s temeljno ploščo (Kolb, 2008).	12
Slika 18: Okvirna nosilna konstrukcija šole v Švici (Kolb, 2008); Teniš dvorana Banex- Slovenske Konjice (Lesena gradnja).	13
Slika 19: Enostaven način povezovanja nosilnih elementov pri skeletni nosilni konstrukciji (Kuzman, 2012).....	14
Slika 20: A- Stikovanja stebra in nosilca (Montažne hiše); B- Stikovanje stebra in nosilca s pomočjo kovinskih navojnih palic (Ber, 2008).; C- Stik s stebrom, ki objema nosilec (Ber, 2008).	14
Slika 21: Različni načini stikovanja stebra in nosilcev s kovinskimi jeklenimi vezmi skeletne nosilne konstrukcije (Kolb, 2008).....	15
Slika 22: Izvedba odcepov s posebnimi pločevinami in vijaki (Saje,1997).	15
Slika 23: A-Primer lameliranega lepljenega nosilca; B-Hala iz lepljenih lameliranih nosilcev (Haas-dom).....	17
Slika 24: Najbolj pogosto uporabljene oblike nosilne konstrukcije lamelirano lepljenih nosilcev (Haas-dom).	17
Slika 25: Shematska predstavitev konstrukcijskega kompozitnega lesa (Šernjak, 2009).	18
Slika 26: A-Nadgradnja hotela Terme v Termah Čatež z dvema etažama iz križno lepljenih plošč; B- Večnadstropni stanovanjski objekt na Dunaju (CBD).	19

Slika 27: A-8 nadstropna montažna hiša-Murray Grove Tower v Londonu iz križno lameliranega lesa; B- nosilna konstrukcija iz križno lepljenega lameliranega lesa (e-architect).	20
Slika 28: Križno zlepljene lamele v konstrukcijski element – leseno vezano ploščo (Dujčič, 2008)	20
Slika 29: Raznos vertikalne obtežbe v ravnini stene (levo) in raznos vertikalne obtežbe v ravnini plošče (desno) (Kuzman, 2012).	21
Slika 30: A-Kotnik za stikovanje križno lepljenih elementov; B-Detajl stikovanja zunanje nosilne stene in temeljne plošče (Kolb, 2008).	22
Slika 31: Detajl stikovanja zunanje in nosilne stene, stikovanje nosilne stene in medetažne plošče, ter stikovanje zunanjih sten v vogalu objekta (Kolb, 2008).	23
Slika 32: A-Palična konstrukcija dvorane Tacoma Dome v Tacomi (ZDA), katerega premer znaša 160 m (Westernwood structures); B-Nosilna konstrukcija bazena Terme Čatež iz lepljenega lameliranega lesa (Terme Čatež).	25
Slika 33: A-navzkrižno uvijačeni leseni vijaki; B-Pribite prepognjene pločevine (Saje F.,1997).	26
Slika 34: Finska izvedba stropne plošč (Saje F., 1997).	26

1 UVOD

Pri gradnji z lesom se gradbenik srečuje z obnovljivim gradbenim materialom, ki nas v Sloveniji spremlja na vsakem koraku. Gozdovi namreč pokrivajo 58,5% Slovenije, kar jo uvršča na tretje mesto po pokritosti z gozdovi v Evropski uniji, za Švedsko in Finsko (Slika 1).



Slika 1: Pokritost Slovenije z gozdovi (Zavod za gozdove Slovenije).

Prva bivališča, ki jih je človek gradil za zavarovanje pred naravnimi nesrečami (mraz, padavine in vročina) in pred sovražnikom, so bila iz materialov, ki so mu bila dostopna v okolici. Eden prvih gradbenih materialov, poleg kamna, trsja in gline, je bil tudi les. Ta se je uporabljal v konstrukcijske namene od najstarejših časov. To je bil material, ki so ga mojstri znali obdelovati s takratnim razpoložljivim orodjem. Ker ima odlične konstrukcijske lastnosti, natezno trdnost približno enako tlačni, se je že od nekdaj uporabljal za prevzem predvsem upogibnih obremenitev (Premrov, 2008).

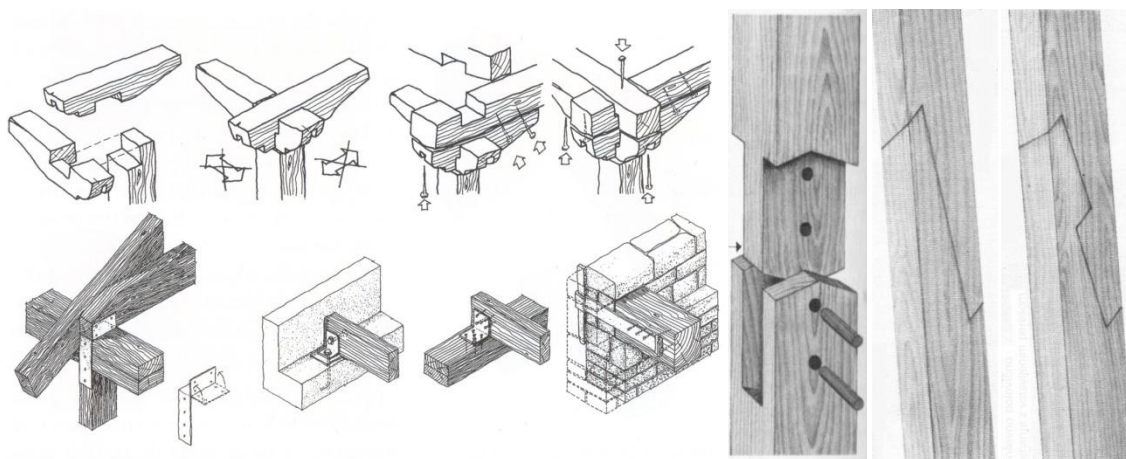
Takratni mojstri so uporabljeni gradbeni material vgradili v konstrukcijo na mesto, na katerem je najbolje služil, glede na karakteristične lastnosti in trajnost materiala. Tako so kamen vgradili na vlažno področje v stiku z zemljo, les so uporabili za primarno nosilno konstrukcijo, glino pa za kritino. Glino so uporabili tudi za zaščito lesa pred atmosferskimi vplivi iz zraka in zatesnitev špranje med lesenimi tramovi oz. brunami, narejenimi iz lesa krožnega prereza (Slika 2). Zavedali so se namreč, da je lesena konstrukcija trajna le ob primerni vgradnji elementa.

Tudi v današnjem času velja pravilo, da mora biti les za konstrukcijske namene do določene mere suh. Razlika vlažnosti lesa v času gradnje in normalne uporabe naj ne bo večja od 6%, po možnosti pa ne več kot 3% (Lopatič, 2012).



Slika 2: Primer stare lesene hiše iz Destrnika, ki je grajena iz kamna, gline in lesa (Občina Destriška).

Tehnologija gradnje z lesom se je razvijala od preprostih konstrukcij do današnjih dni, ko se iz lesa gradijo zelo kompleksni in obsežni gradbeni objekti. Nekdaj so si pri sestavljanju posameznih lesenih delov pomagali z vezmi, spahi in klini (leseni trni). Pri spajanju lesa, ki je dimenzijsko omejen, so si pomagali z lesenimi vezmi (Slika 3). Te zveze so naredili tako, da se je les na enem delu ulegel v drugega. Zveze na pero in utor so se uporabljale za dolžinsko spajanje (čelne vezi) in kotno spajanje. Te so izdelali z lesenimi mozniki, ali pa brez njih, velikokrat s pomočjo lesenih trnov. Kotne elemente so povezovali z zaseki, ki omogočajo prenos sile in s tem preprečujejo zdrse med stikovanimi elementi v posameznih smereh. Z dodatnimi veznimi sredstvi (kovinski kotniki) se le prepreči razmik povezanih elementov v primeru nezgodne obtežbe. Kovinski elementi preprečujejo zdrse elementov v vozniških in s tem porušitev konstrukcije. Tako so takratni mojstri s preprostimi tesarskimi orodji (lisičji rep, prosta žaga, napeta žaga, skobljčiči, svedri, dleti in tesli), izoblikovali prve zahtevne nosilne konstrukcije, ki so kljubovale atmosferskim vplivom.



Slika 3: Tradicionalne tesarske vezi (Žarnič, 2009) in primeri vzdolžnega stikovanja lesa (Prieser, 1980).

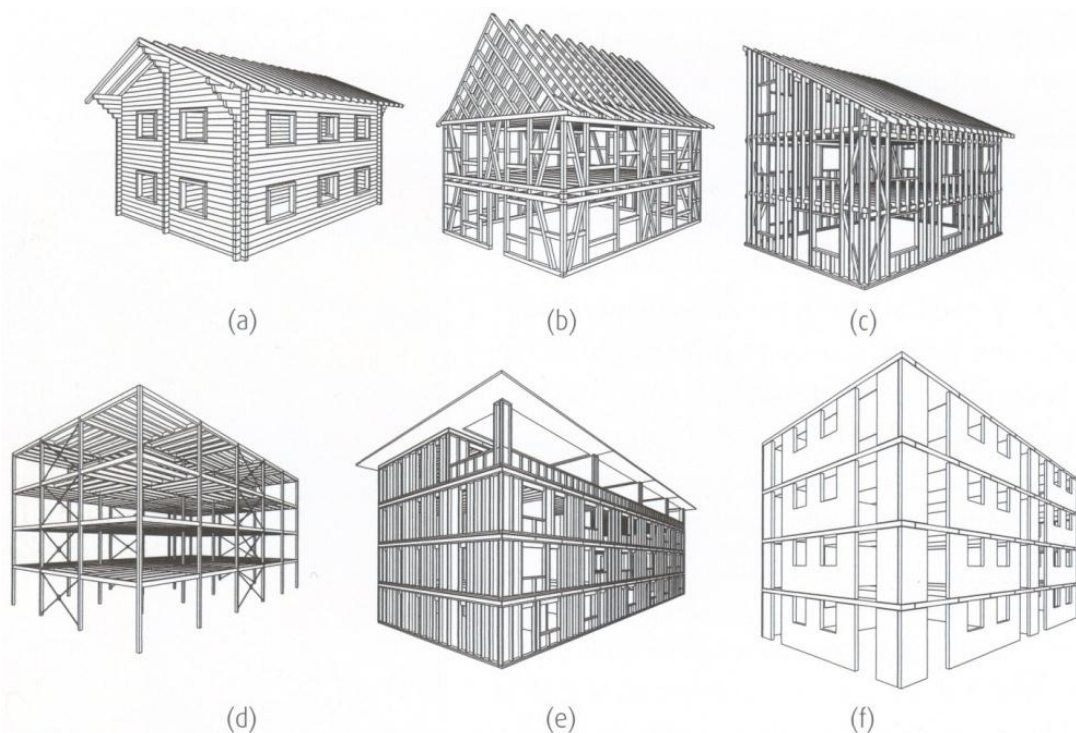
2 PREGLED NOSILNIH SISTEMOV

S tehnološkim razvojem lesno obdelovalnih sredstev in z novimi različnimi možnostmi spajanja lesenih nosilnih elementov v leseno konstrukcijo, so se razvile tudi nove in ugodne arhitekturno-gradbene rešitve. V tehničnem smislu so se pojavili tudi novi nosilni sistemi lesa in s tem nove možnosti oblikovanja. Pri tem poznamo nekaj osnovnih sistemov lesenih nosilnih konstrukcij, ki so trenutno aktualne v gradnji z lesom (Kolb, 2008).

Osnovni sistemi nosilnih konstrukcij so:

- kladna oziroma brunasta nosilna konstrukcija,
- predalčna nosilna konstrukcija,
- steburna nosilna konstrukcija,
- panelna nosilna konstrukcija,
- okvirna nosilna konstrukcija in
- masivna nosilna konstrukcija.

V sodobnem gradbeništvu se zaradi nove gradbene tehnike, tehnoloških znanj in modernih smernic v gradbeništvu ter arhitekturi, uporabljajo sodobnejši nosilni sistemi. Panelna, skeletna in masivna gradnja so sistemi, ki lahko ob primerni tehnologiji in načinu vgradnje lesa zagotovijo primerno izkoriščenost tega gradbenega materiala. Navedeni nosilni sistemi so tudi prevladujoči nosilni sistemi lesenih konstrukcij v Sloveniji (Lopatič, 2008)

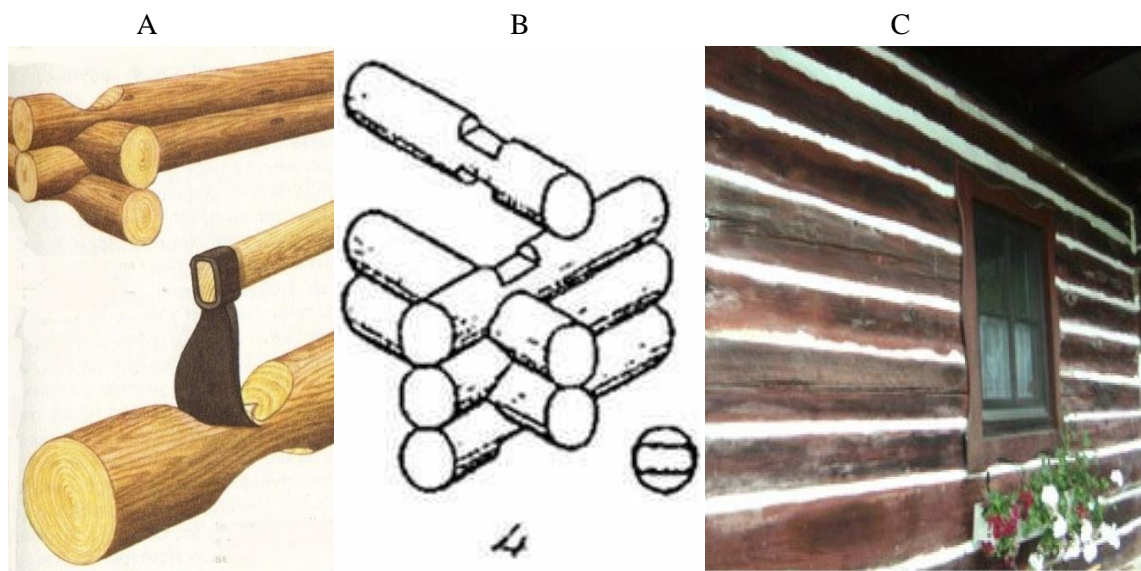


Slika 4: Nosilni sistemi lesenih konstrukcij (a-kladna oz. brunasta konstrukcija, b-predalčna konstrukcija, c-steburna konstrukcija, d-okvirna konstrukcija, e-panelna konstrukcija, f-masivna konstrukcija) (Lopatič, 2008).

3 Kladna oziroma brunasta nosilna konstrukcija

Kladna gradnja ima zelo dolgo tradicijo v številnih državah sveta. Značilna je predvsem za celinski del Evrope. Iz klad so nekoč izdelovali hiše, cerkve, stolpe in palače. Stavbe, grajene iz klad, so služile za bivanje ljudi, v preteklosti pa tudi za zavetje živali in hrambo najrazličnejših kmetijskih pridelkov. Ta tip gradnje je še vedno močno razširjen v alpskem predelu, Skandinaviji in Rusiji, kjer je tovrsten način gradnje del bogate tradicije. Tesarsko znanje tradicionalne kladne gradnje se je na teh področjih prenašalo iz roda v rod. Tovrstno znanje pa je prisotno tudi v modernih stavbah in ga novejši standard življenja ni izpodrinil (Kolb, 2008).

Princip kladne gradnje temelji na tehnološkem postopku, pri katerem so ravno raščena valjasta bruna (hlodi in klade) v horizontalni smeri položena drug na drugega (Slika 5B). Z njimi tvorimo vertikalne stene, ki daje brunarici tako stabilnost, kot tudi izolativnost. V vzdolžni smeri se z minimalno prilagoditvijo neravnin debla izvede dober naležni stik debla na deblo, ki se ga zapolni z malto, blatom ali ilovico (Slika 5C). V vogalih so debla stikovanja na polkrožni uleg, ki preprečuje pomike brun in zagotavlja kvaliteten stik (polkrožni vogalni stik). Vogalne zveze so bile obremenjene le na tlak in za stikovanja niso potrebovali dodatnih žebeljev ali lesenih klinov. Najstarejše izvedbe vogalnih stikov so izvedene s polovičnimi izdolbenimi ulegi (Slika 5A), ki so jih izdoblili z zakrivljenimi tesli. Kasneje pa se je z razvojem ročnega orodja začel uporabljati tudi križni četrtinski uleg (Slika 5B).



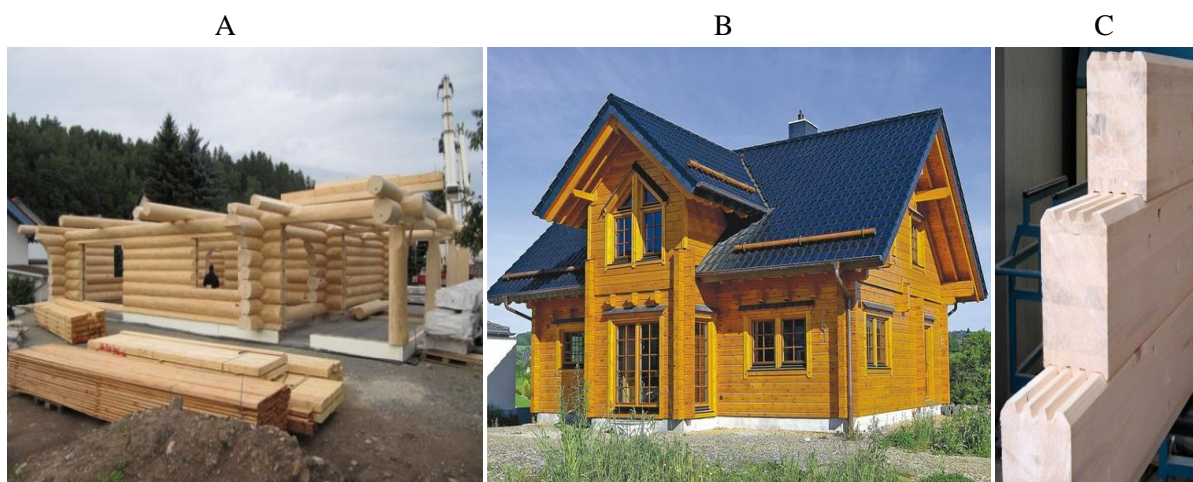
Slika 5: A- polkrožna rustikalna vogalna vez (Prieser, 1980); B- križni četrtinski uleg (Phleps, 1941); C-zapolnjeni stiki med brunami (Belaj, 2009).

V preteklosti se je v nižinskih predelih Slovenije razvila gradnja iz tesanih brun, tramov, oziroma kasneje iz žaganih plohov. Te zgradbe so izdelovali tesarji, ki so jim rekli tudi »cimermani«, zato so tem zgradbam rekli »cimprače« (Slika 6). Plohe so na vogalih prekrizali s preprosto križno vezjo ali pa so jih na vogalih in na sredini daljših sten ujeli v pokončne kvadratne stebre (Deu, 2005).



Slika 6: Primer »cimprače« v Prekmurju (Cimprače).

V današnjem času se z novimi tehnologijami gradnje in prefabrikacije lesa, ki omogoča boljši izkoristek same lesne surovine, kladna gradnja zopet uveljavlja v gradnji z lesom. V današnji gradbeni praksi poznamo dve vrsti kladnih zgradb. Prve so narejene iz debelega okroglega lesa (hlodi). Stene so pri tem načinu gradnje narejene iz hlodov, ki so zloženi eden na drugega. Hlodi imajo na eni strani izdolbljen ovalni zasek, ki se pri gradnji nalega na spodnji hlod. To pomeni, da so zunanje in notranje stene le iz hlodov, ki so v vogalih med seboj povezani s spahi. Stene iz hlodov zaradi svoje debeline ne potrebujejo dodatne toplotne izolacije, saj se ta zagotovi z debelino hloda (Slika 7A). Pri zahtevnejši izvedbi kladne konstrukcije so stene sestavljene iz večjih plasti (Slika 7B). Brune niso več v celoti iz masivnega lesa, ampak so lahko enoslojni ali večslojni, vzporedno ali križno lepljeni elementi, ki imajo po dolžini stika narejene utore za dodatno zatesnitev stika in povečanje kvalitete samega spoja (Slika 7C). Znotraj, zunaj ali v sredini je nameščena toplotna izolacija s stensko leseno oblogo. Posamični leseni elementi so žebljani, lepljeni ali mozničeni.



Slika 7: A.-Sistem lesene kladna gradnja iz hlodov (Erevija); B-Primer sodobne masivne kladne gradnje iz lepljenih brun (Montažne hiše) ; C-lepljena bruna iz vzdolžno lepljenih lamel (Černivšek).

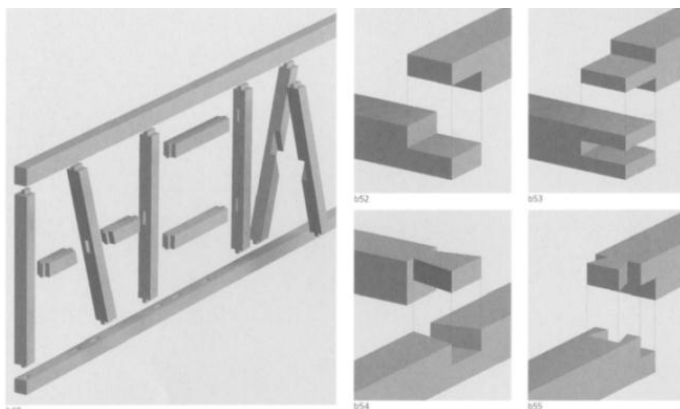
4 PREDALČNA NOSILNA KONSTRUKCIJA

Predalčna nosilna konstrukcija je ena izmed tradicionalnih sistemov gradnje z lesom, ki se pojavi v poznem srednjem veku v Srednji in Vzhodni Evropi, Angliji, Nemčiji, Nizozemski in na Danskem. V teh deželah so še danes ohranjena številna stara mestna jedra, z lesenimi objekti, visokimi 3 ali 4 etaže (Slika 8). Način gradnje je znan zlasti za srednjeveška mesta v 18. in v začetku 19. stoletja. Kasneje se omenjeni nosilni sistem gradnje za novogradnje ni uporabljal več v mestih in se je preselil na podeželje. V mestih se je začela uporabljati opečna gradnja, saj so meščani verjeli, da jim opečna gradnja nudi večjo varnost pred velikimi požari (Kolb, 2008).

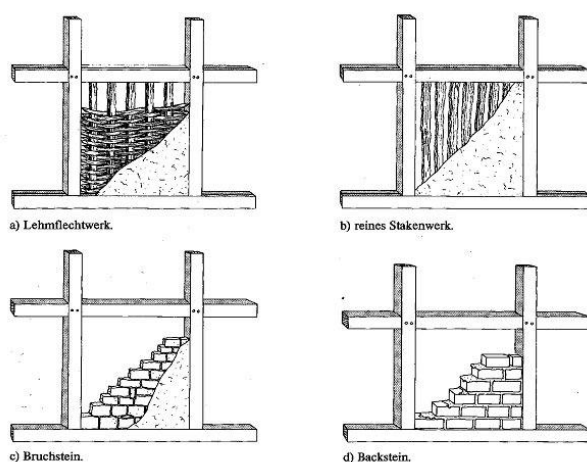
Za predalčno nosilno konstrukcijo je bilo značilno, da so tesarji zgradili primarno ogrodje stebrov in nosilcev, ki so bili med seboj povezani s tesarskimi spoji. Ogrodje je bilo sestavljeno iz krajših nosilnih lesenih elementov (Slika 9). To je predstavljalo nekakšen konstrukcijski skelet, zaradi česar se je začel les uporabljati bolj ekonomično, zlasti na področjih, ki niso bila bogato poraščena z gozdom. Stebre in nosilce so zavetrovali s polnili, ki so bila predvsem iz slame, opeke, blata, desk ali kamena (Slika 10). Leseni elementi konstrukcije so imeli prečni presek dimenzij od 10×10 pa do 18×18 cm. Med sabo so bili povezani s čepi, utori in nalegami, ter zavarovani z lesenimi klini, premera približno 2 cm. Poleg polnil za zavetrovanje konstrukcije so uporabljali še ročice pod kotom 45°.



Slika 8: Primera stavbe s predalčno nosilno konstrukcijo (Fachwerk).



Slika 9: Lesne zveze pri predalčni nosilni konstrukciji (Kolb, 2008).



Slika 10: Polnila predalčne nosilne konstrukcije; a) prepleteno trsje ;b) deske; c) lomljeni kamen; c) opeka (Fachwerk).

Tudi v Sloveniji, se je v določeni meri, uporabljala predalčna nosilna konstrukcija. Nekatere predelne stene starejših objektov, grajenih v začetku 20. st., so imele primarno konstrukcijo narejeno iz lesenih stebrov in leg. Stebri so imeli na koncu čepe, ki so nalegali v utore v legah, na zgornji in spodnji strani. Predali so bili zapolnjeni s kamenjem, ilovico in zemljo. Les je v sami steni imel nosilno funkcijo, s polnili pa je bil zapolnjen prostor med lesom. Zunanje nosilne stene so bile grajene v celoti iz kamnja.



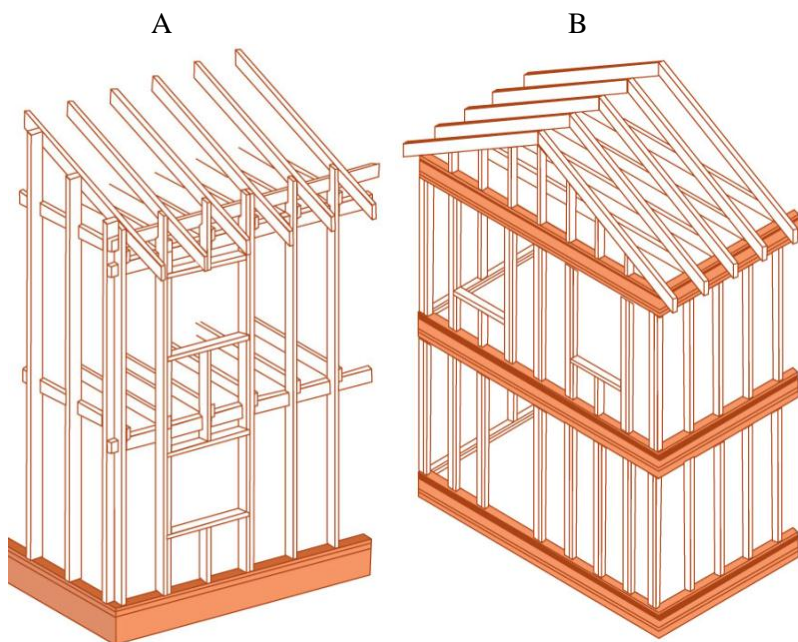
Slika 11: Primer predalčne nosilne konstrukcije hiše na Dolenjskem (foto: Aljaž Sitar).

5 STEBRNA NOSILNA KONSTRUKCIJA

Številni novi lesno obdelovalni stroji, ki so se razvili v sredini 19. stoletja, so izpodrinili klasične ročne tehnike obdelave v leseni gradnji. Z modernizacijo proizvodnje so lahko z lesom proizvedli nove konstrukcijske elemente, ki so bili do tedaj nepredstavljeni. Hitra proizvodnja in poceni transport sta zlasti v Ameriki, v času industrijske revolucije, privedla do pojava novega sistema gradnje imenovanega »Balloon frame« (Kolb, 2008). Pri nas jo imenujemo steburna nosilna konstrukcija.

Konstrukcijo sestavljajo tesno razporejena lesena rebra (stebri in stropniki), na katere so pritrjene deske ali plošče, ki zagotavljajo horizontalno togost konstrukcije. Pri tem sta se uveljavili dve različni obliki izvedbe steburne konstrukcije. Pri prvi različici nosilni stebri potekajo neprekinjeno preko dveh ali več etaž. Tloris konstrukcije je narejen iz stropnikov, ki so na koncih podprti na vodoravni legi. Lega je vpeta v stebre z zarezami in čepi (Slika 12A).

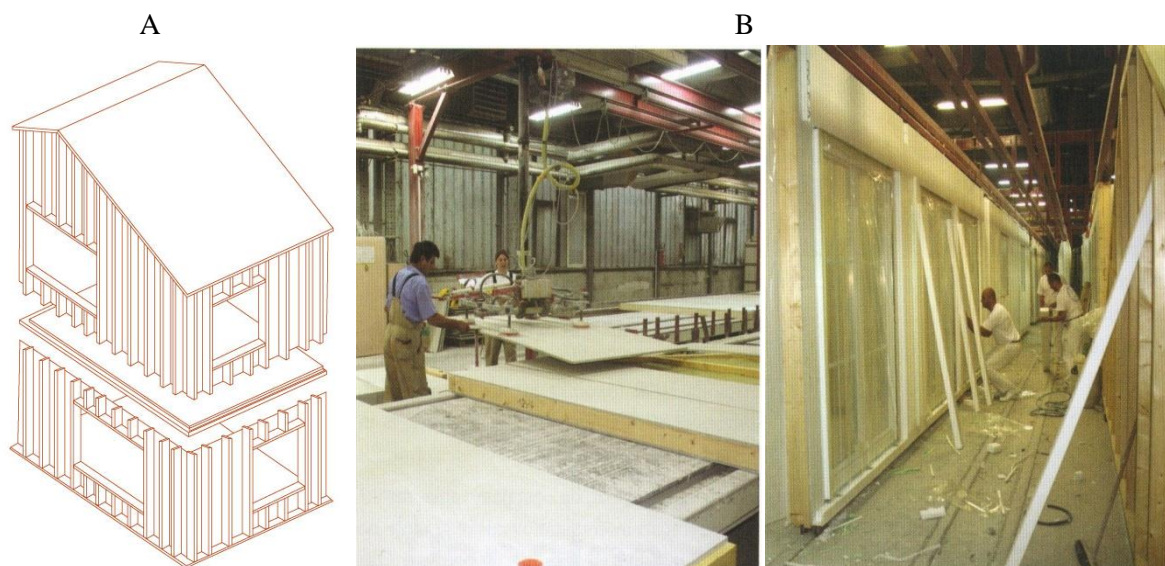
Pri drugi različici nosilne konstrukcije pa se gradijo nadstropja zaporedno po odsekih. Nosilne stene namreč ne potekajo neprekinjeno po celotni višini stavbe, ampak prekinjeno po etažah. Način gradnje je primeren za več nadstropne stavbe, saj nismo dimenzijsko omejeni z dolžino stebrov (Slika 12B) (Kolb, 2008).



Slika 12 A-»Balloon frame«; B-»Platform frame« (Flickr).

6 PANELNA NOSILNA KONSTRUKCIJA

Novejši razvoj lesenih nosilnih konstrukcij je pripeljal do sistemov gradnje z večjo stopnjo prefabrikacije. Panelna nosilna konstrukcija se je razvila na podlagi stebrne nosilne konstrukcije, ki je sestavljena iz lesenega okvirja, katerega tvorijo stebri in nosilci. Celoten okvir nato povežemo in stabiliziramo z mavčnimi, ivernimi, vezanimi ali pa z OSB (plošča z usmerjenimi vlakni) ploščami. Leseno ogrodje prenaša vertikalno obtežbo, obloge pa celotno konstrukcijo stabilizirajo in omejujejo (zavetrujejo) pomike konstrukcije pri horizontalnih obremenitvah (Lopatič J. 2008). Ta način gradnje se je začel uporabljati okoli leta 1985 in je svoj razcvet doživel v centralni Evropi. Prednost panelnih konstrukcij je v tipskih elementih, ki se jih proizvede v tovarni in krajšem času same montaže objekta. Na podlagi delavniških načrtov se vsi elementi lesene konstrukcije pripravijo v proizvodnem obratu in nato sestavijo v končne elemente na samem gradbišču. Tu se nato s pomočjo avtodvigal objekt »sestavi« vsega v nekaj dneh, etažo za etažo. Proizvajalci ob panelni gradnji uporabljajo tipske programe objektov, kar vsekakor še pospeši in poceni takšno gradnjo. S tem optimalno sprojektirajo nosilne konstrukcije objektov in zmanjšajo porabo materiala.



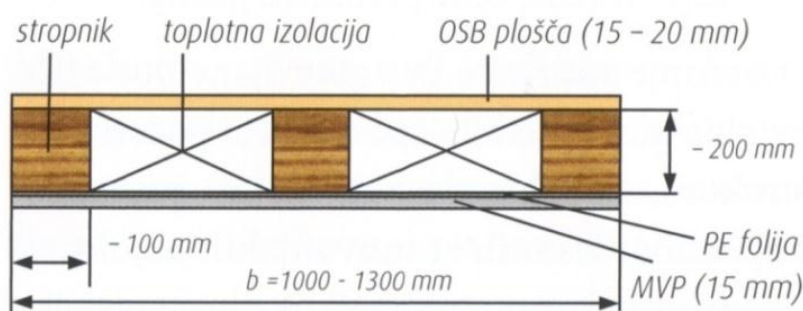
Slika 11: A-primer panelnega nosilnega sistema (Flickr); B-izdelava stenskih panelnih elementov v proizvodnem obratu (Premrov, 2008).

Pri panelni gradnji lahko gradimo z malostenskimi ali velikostenskimi elementi. Malostenski elementi so manjši in se širina ujema z modularno mrežo. Višina stenskih elementov pri tem ustreza višini etaže, dolžina stropnih elementov pa razpetini polja, ki ga element premošča. Velikostenski elementi so bistveno večji. Širina stenskih elementov pri tem sistemu lahko ustreza širini posameznega prostora ali pa kar celotni širini objekta. V sam stenski element je lahko pri tem že vgrajeno stavbno pohištvo (okna in vrata) (Lopatič, 2008).

6.1 Opis glavnih nosilnih elementov

6.1.1 Montažni stropni elementi

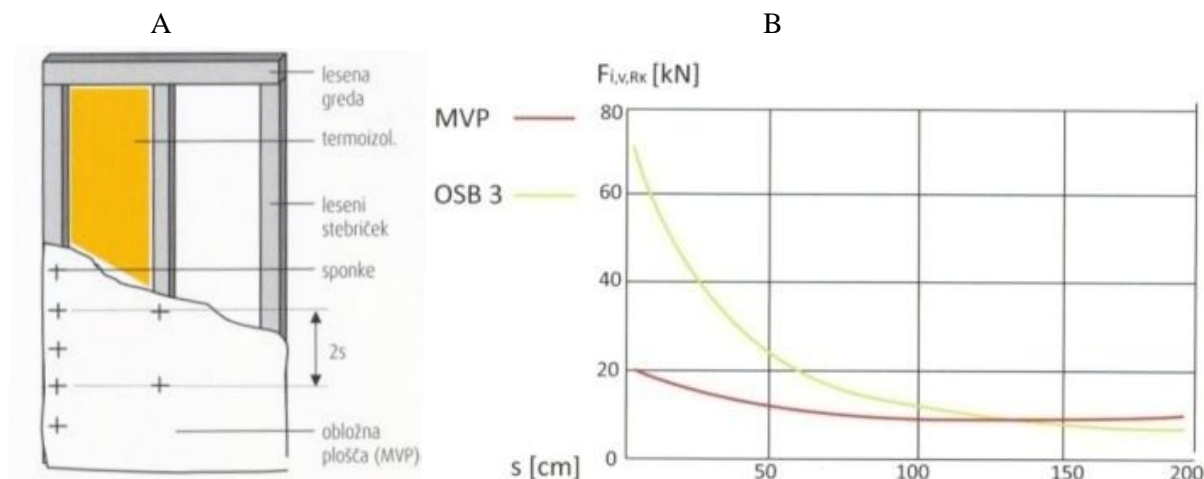
Montažne stropne elemente, običajnih tipskih dimenzij, širine 100 do 130 cm, sestavljajo trije stropniki, širine od 8 do 10 cm in višine 8 do 20 cm. Med njimi je položena toplotna izolacija, na zgornji pohodni strani je pritrjena (pribita) OSB plošča debeline od 15 do 20 mm, na spodnji strani pa je obloga iz mavčno kartonske plošče, debeline 12 do 15 mm (Slika 13). Stropniki v omenjenem elementu prevzamejo vse projektne obremenitve (upogibne momente), saj ploščam ne pripišemo nosilnosti pri izračunu odpornosti panela. S tem se sicer nekoliko predimenzionira elemente, vendar smo na varni strani (Premrov, 2008). Na stropnem elementu je možno izvesti tudi plavajočo talno konstrukcijo iz cementnega estriha, za boljšo zvočno zaščito (Kitek Kuzman, 2012).



Slika 13: Tipična sestava stropnega elementa (Premrov, 2008).

6.1.2 Montažni stenski elementi

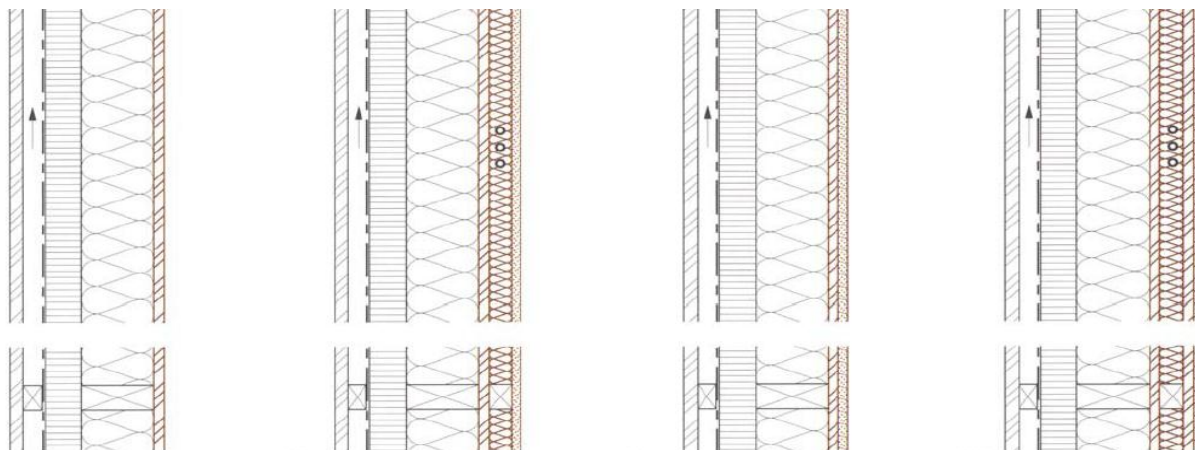
Stenske elemente sestavljajo medsebojno povezane panelne stene, ki so osnovni nosilni konstrukcijski elementi, in so običajnih tipskih širin 125 cm in višin 250 do 265 cm. Sestavljene so iz nosilnega okvirja, ki ga tvorijo stebrički tipskih dimenzij. Ti so povezani s tremi ali dvema gredami v horizontalni smeri. Okvir je z obeh strani obložen z obložnimi ploščami, ki so pritrjeni z veznimi sredstvi (žebliji, vijaki). Vezna sredstva so v medsebojnem razmiku 7-8 cm, na krajnih stebričkih, na srednjem stebričku pa je ta razmik večji, 14-15 cm (Slika 14A). Okvir prenaša vso vertikalno obremenitev, plošče pa služijo za prevzem horizontalnih obremenitev in omejujejo pomike v tej smeri (Premrov, 2008).



Slika 14: A-Tipska sestava stenskega elementa (Premrov, 2008); B-Prikaz horizontalne nosilnosti stenskega elementa z mavčno vlakneno ploščo in OSB obloženo ploščo v odvisnosti od razmika vertikalnih stebričkov (Kitek Kuzman, 2012).

Za nosilnost stenskega elementa v vodoravni smeri sta zelo pomembni izbira materiala in medsebojni razmik vertikalnih stebričkov. S pravilno izbiro obložnega materiala in s postavitvijo lesenih stebričkov na razdalji manjši od 50 cm, zagotovimo bistveno večjo horizontalno nosilnost stenskega elementa in s tem prevzem večjih obremenitev v primeru večje višine objekta. Pri uporabi mavčno vlaknenih plošč, lahko pride v natezni coni do tvorbe razpok, kar bistveno zmanjša vodoravno stabilnost stenskega elementa, ter posledično stabilnost celotnega objekta. (Kitek Kuzman, 2012).

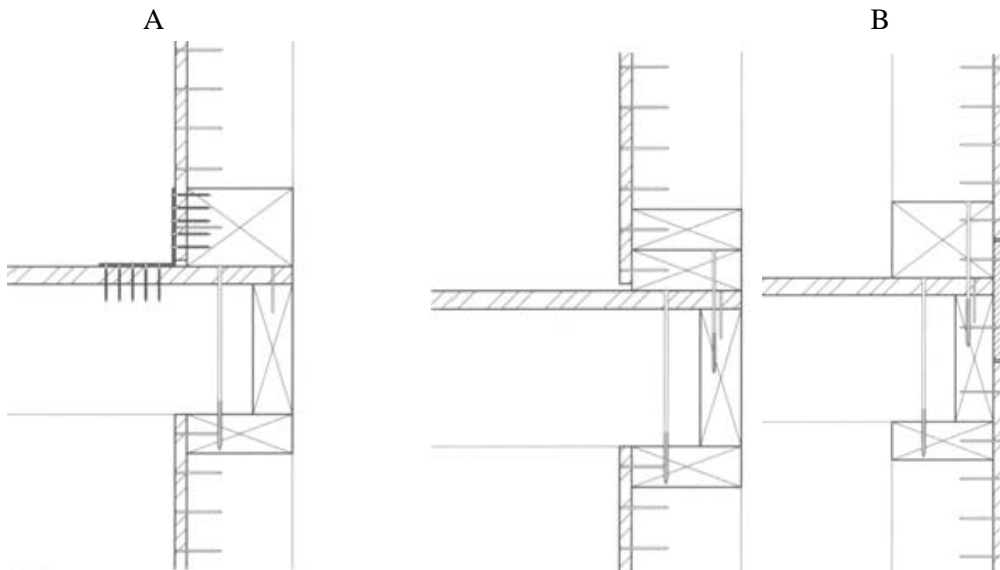
Sam konstrukcijski sklop stene je različen glede na potrebno energetske učinkovitost, oziroma področje, kjer se bo projektirana stavba nahajala. Stenski element lahko sestavimo različno. Kombinacije, toplotne in hidro izolacije ter nosilne konstrukcije, nam ponujajo različne konstrukcijske rešitve (Slika 15). Toplotna izolacija je lahko položena v enem ali več slojih. Primarna je položena v ravnini nosilne konstrukcije, sekundarna pa na »toplo stran« stene (notranja stran stene). S tem preprečimo nastanek toplotnih mostov, poleg tega pa nam omogoča razpeljavo različnih inštalacij, ki jih v objektu potrebujemo. Za toploto izolacijo lahko uporabimo mineralno, stekleno in kameno volno, v novejšem času pa pogosto tudi celulozo, volno, koks, konopljo in bombaž.



Slika 15: Različni konstrukcijski sklopi prefabriciranega elementa stene pri panelni gradnji (Kolb, 2008).

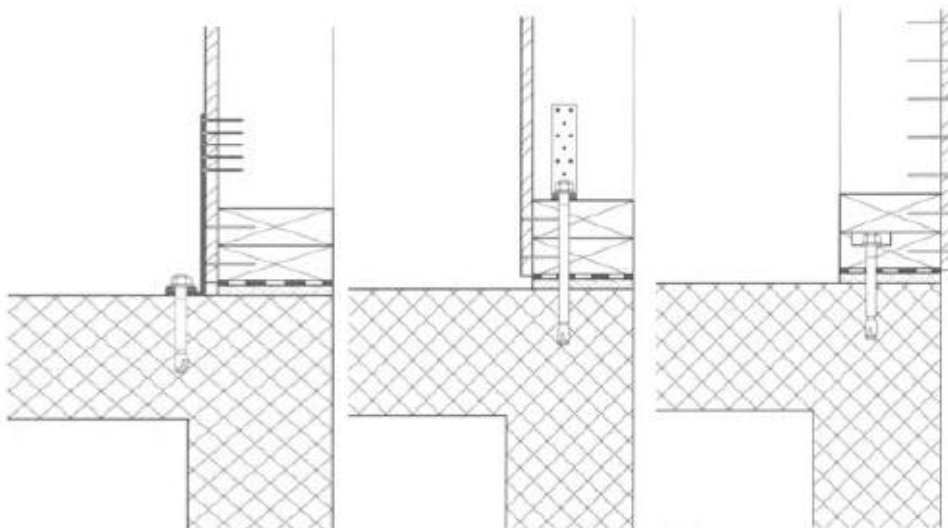
6.2 Vezna sredstva

Na gradbišču panelne elemente s pomočjo dvigala dvignejo in povežejo v konstrukcijo, ki zagotavlja nosilnost in trdnost. Elemente se enostavno spoji v konstrukcijo z veznimi sredstvi. Pri tem se uporabljajo žebliji, trni, sponke, vijaki, lesni vijaki, mozniki in krempljaste plošče. Nosilnost veznega sredstva je določena s standardom in se ugotavlja eksperimentalno z obremenjevanjem do porušitve ali pa računsko na podlagi analize napetostnega stanja v priključenih elementih in veznih sredstvih.



Slika 16: A-Primer stikovanja stene in nadstropne plošče s kotnikom in lesnimi vijaki; B- Primer vezi pri kateri se vijači stena v nadstropno ploščo, ki je privijačena na spodnjo steno (Kolb, 2008).

Tudi v temeljno (armirano betonsko) ploščo se stenske elemente enostavno privijači. Da preprečimo pomike stene v horizontalni smeri in morebitni dvig stene zaradi rotacije, sidramo steno v beton z jeklenimi sidri. Ta imajo na eni strani razcepno sidrno glavo, ki se zasidra v beton, ko se matica na navojni glavi vijaka privije. Sidra so lahko vijačena v lesen prečnik panela direktno v beton, ali pa preko jeklenega kotnika, ki je pritrjen na panelu (Slika 17).



Slika 17: Različni načini stikovanja sidranja stene s temeljno ploščo (Kolb, 2008).

7 OKVIRNA (SKELETNA) NOSILNA KONSTRUKCIJA

Z večanjem pomembnosti gradnje z lesom, številom etaž v samih zgradbah, z velikimi prostori, sodobnimi lesenimi okvirji, les pridobiva v gradbeništvu novo vlogo. Okvirna nosilna konstrukcija je zaradi možnosti velikih razponov med stebri idealna za eno ali dvo nadstropne zgradbe (Kolb, 2008). Primerna je za objekte z velikimi razponi, zlasti za strešne konstrukcije. Sodobna vezna sredstva, v kombinaciji z lameliranim lepljenim lesom in nekaterimi drugimi lesnimi proizvodi, so v zadnjem stoletju dokazali, da je lesena konstrukcija optimalna pri velikih razponih.

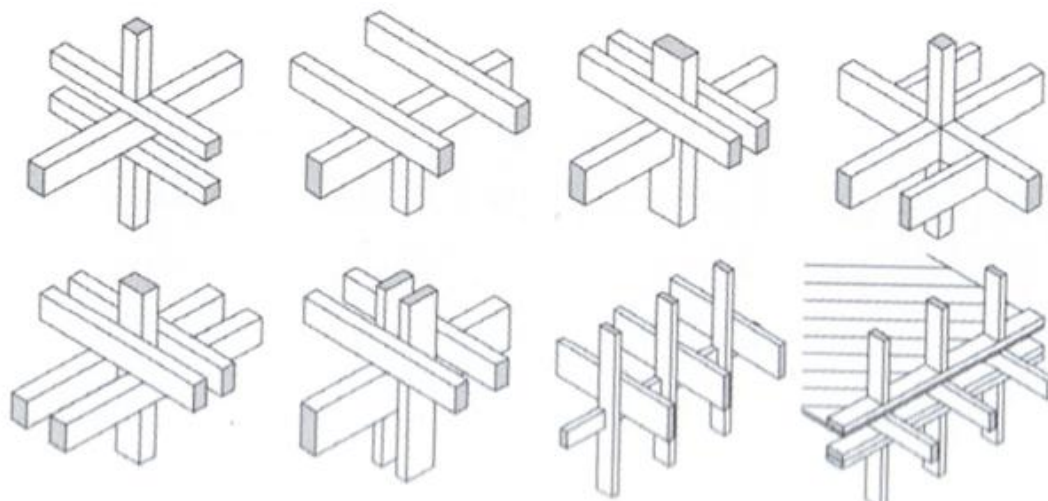


Slika 18: Okvirna nosilna konstrukcija šole v Švici (Kolb, 2008); Teniš dvorana Banex- Slovenske Konjice (Lesena gradnja).

Nosilno konstrukcijo lesenega skeletnega sistema predstavljajo stebri, ki so postavljeni na določenem rastru, ter nosilci oziroma grede. Za zavetrovanje (zagotavljanje horizontalne stabilnosti konstrukcije) se v praksi uporablja predvsem montažne panelne stene, lesene diagonale in jeklene vrvi. Stene pri omenjenemu sistemu ne prevzamejo funkcije nosilne konstrukcije v vertikalni smeri, zato lahko tlorisno obliko prilagajamo lastnim željam in potrebam. Poleg tega nam skeletna konstrukcija omogoča izvedbo velikih steklenih površin na fasadi. Prenos obremenitev preko nosilnih stebrov zahteva le točkovno temeljenje, kar pomeni prihranek in le manjši poseg v temeljna tla (Ber B., 2008). Okvirna nosilna konstrukcija se razlikuje od klasičnih montažnih sistemov zlasti po zahtevnosti priključevanja nosilnih elementov, ki zahtevajo veliko mero inženirskega znanja in razumevanja konstrukcije. Ker pri lesenih konstrukcijah ni mogoče zagotoviti absolutne togosti stikov, je načrtovanje in poznavanje priključkov za projektanta ključnega pomena.

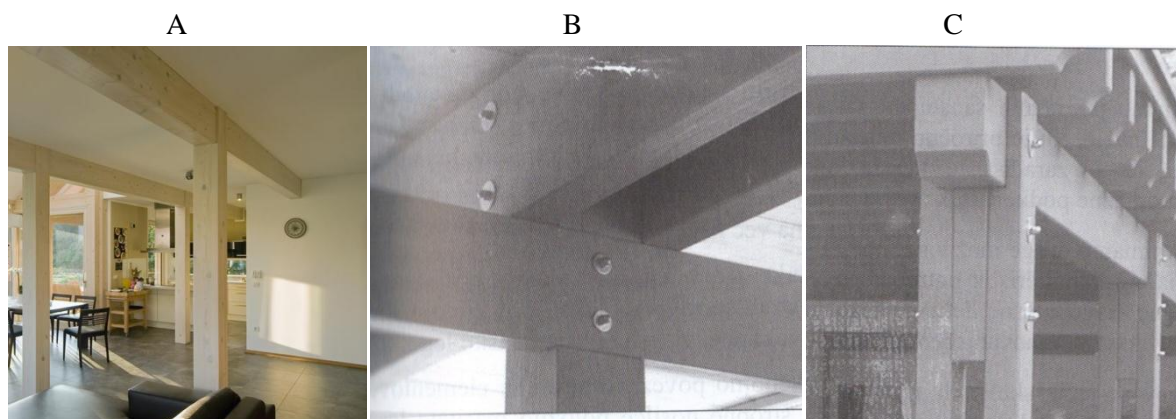
7.1 Stikovanje konstrukcijskih elementov

V preteklosti so izdelovali stike lesenih elementov večinoma brez uporabe kovinskih povezav (Slika 19). Elemente so praviloma nalegali eden na drugega. Stikovanje z naleganjem je primerno le, če je delovanje sil v eni smeri. Osnova oddaljenost med elementi je bila odvisna od obtežbe. Zlasti je bila pomembna razdalja med gredami, zaradi samega povesa elementov. Dolžina stebrov pa je pogostokrat omejena s kritično upogibno dolžino elementa in ne s samo tlačno nosilnostjo.



Slika 19: Enostaven način povezovanja nosilnih elementov pri skeletni nosilni konstrukciji (Kuzman, 2012).

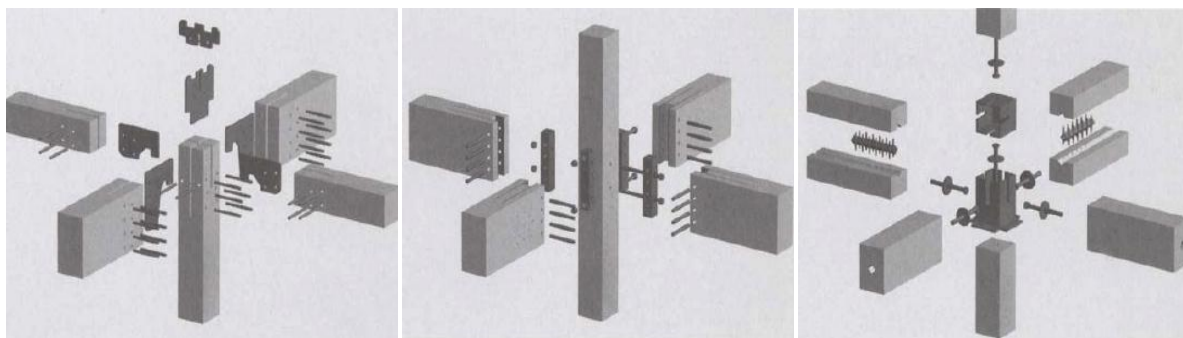
Tudi današnje vezi skeletne nosilne konstrukcije so podobne, vendar si pri nekaterih že pomagamo z jeklenimi navojnimi palicami, da je sama vez bolj toga. Tako je lahko v nosilni steber narejen zasek, v katerem nalega nosilec (Slika 20A). Pri tem lahko primarni nosilec podpremo z manjšim nosilcem, ki prevzame del nosilne funkcije. Ta podpira glavni nosilec s svojo kontaktno površino in s tem preprečuje vertikalne pomike primarnega nosilca (Slika 20B). Ker nosilci potujejo ob stebri, elemente stikujemo s kovinskimi navojnimi palicami. Pri tretjem načinu pa steber razdelimo na dva dela enakih dimenzij, ki objemata primarni nosilec s strani. Pri tem moramo zaradi razdelitve stebra v dva dela paziti na ukлон posameznih delov stebra (Slika 20C). Na primarni nosilec nato nalagamo sekundarne elemente nosilne konstrukcije.



Slika 20: A- Stikovanja stebra in nosilca (Montažne hiše); B- Stikovanje stebra in nosilca s pomočjo kovinskih navojnih palic (Ber, 2008).; C- Stik s stebrom, ki objema nosilec (Ber, 2008).

V modernem gradbeništvu se stiki skeletne nosilne konstrukcije izdelujejo z uporabo kovinskih povezav. Načeloma lahko stikujemo nosilce in stebre v skeletni nosilni sistem na različne načine. Dimenzije nosilca so lahko zaradi samega transporta omejene. Pri tem lahko nosilec tudi prekinemo in ga na steber priključujemo s pomočjo kovinskih veznih sredstev, ki se vstavijo v samo režo nosilca ali

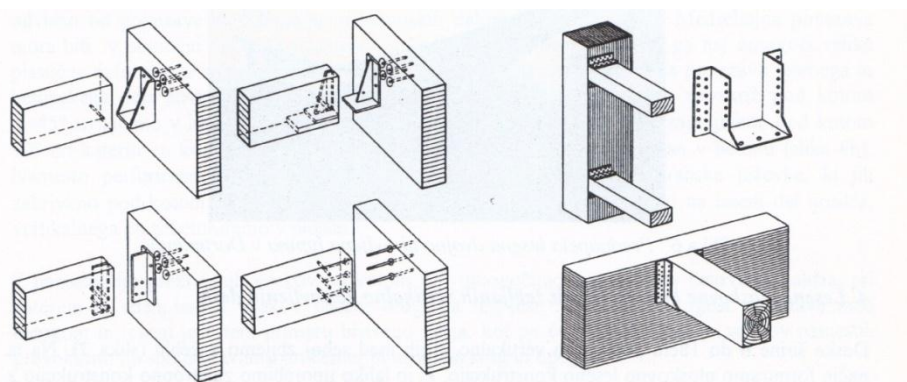
stebra ter primerno privijačijo z vijaki. Kovinska vezna sredstva uporabljamo tudi za podaljševanje stebrov in nosilcev. Stebre navadno stikujemo v nivoju stropa, saj tako zakrijemo območje stikovanja. Nosilce lahko priklapljamo tudi na neprekinjen steber. Nanj lahko priklapljamo prečke in grede s patentiranimi vezmi, ki se privijačijo na elemente. Pri montaži se elemente le stakne skupaj in pričvrsti s trni, ki se jih vstavi v že pripravljene luknje (Slika 21).



Slika 21: Različni načini stikovanja stebra in nosilcev s kovinskimi jeklenimi vezmi skeletne nosilne konstrukcije (Kolb, 2008).

Pri skeletni konstrukciji si torej lahko pomagamo s posebnimi veznimi sredstvi, ki preprosto podpirajo nosilce in stebre. Vezna sredstva morajo imeti veliko nosilnost in zadostno togost. Pri tem horizontalne nosilce povežemo s stebri v isti ravnini z enodelno povezavo na vse štiri strani ali pa nosilce priklapljamo na stebre na različnih mestih.

Nosilni sistem skeletne konstrukcije se nahaja na notranjosti ovoja stavbe. Nanj lahko z veznimi sredstvi, na zunanji strani okvirja, primerno pričvrstimo zunanje elemente (fasado, zasteklitev, balkoni,...). S tem preprečimo morebitne toplotne mostove, tako da ni nobenih toplotnih izgub, preko nosilnega elementa. Različne odcepe in priključke gred pogosto izvajamo s posebej oblikovanimi pločevinami in različnimi mozniki, trni in vijaki (Slika 22). Ustrezna vezna sredstva predstavljajo bistven pogoj konkurenčne uspešnosti, estetike in izvedljivosti lesenih konstrukcij. Oblikovana morajo biti tako, da ne motijo estetskega videza konstrukcije in ne smejo biti draga. Omogočiti morajo hitro in čim bolj enostavno izvedbo konstrukcije (Saje,1997)..



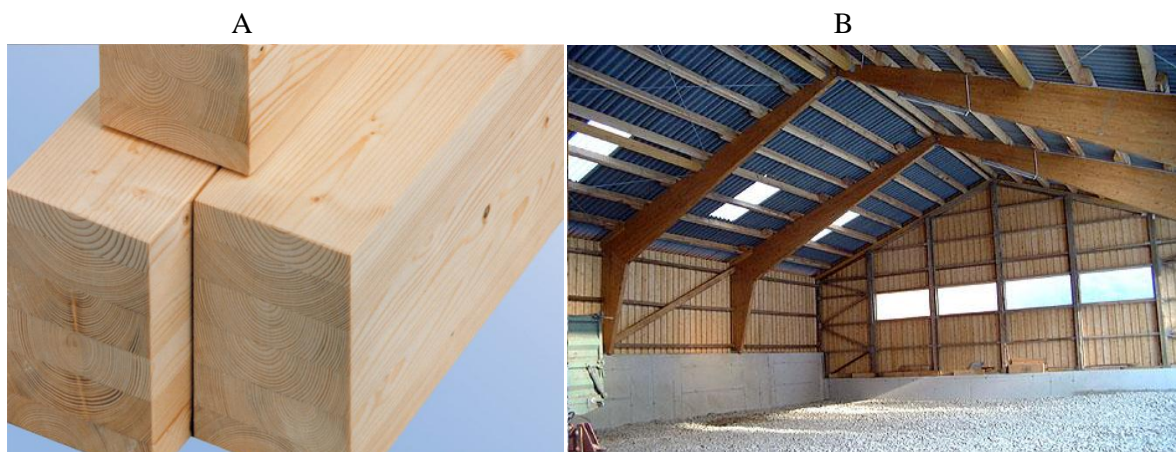
Slika 22: Izvedba odcepov s posebnimi pločevinami in vijaki (Saje,1997)..

7.2 Lepljeni lamelirani nosilci

V sodobnih lesenih konstrukcijah, zaradi lažjega izpolnjevanja številnih funkcij, ki jih morajo danes opravljati gradbeni elementi, klasičen masivni les vse pogosteje nadomeščajo prefabricirani lesni proizvodi. Ti imajo napram masivnemu lesu dodatne prednosti, ki se kažejo v izločitvi napak v lesu, ustreznim mehanskim lastnostim, boljši dimenzijski stabilnosti in oblikovni stabilnosti skozi celotno življenjsko dobo konstrukcije (Lopatič, 2012). Lesu lahko izboljšamo mehanske lastnosti tako, da zmanjšamo število napak ali pa napake povsem izločimo, nato pa krajše kose zlepimo skupaj v daljše. Hkrati lahko z uporabo osnovnih inženirskih principov priredimo strukturo, presek in obliko lepljenega lesa predvideni nosilni funkciji. Trdnostne lastnosti lepljenega lesa lahko v osnovi modificiramo s spreminjanjem gostote lesa, količine in vrste lepila ter z usmerjanjem njegovih osnovnih gradnikov (Marra, 1994).

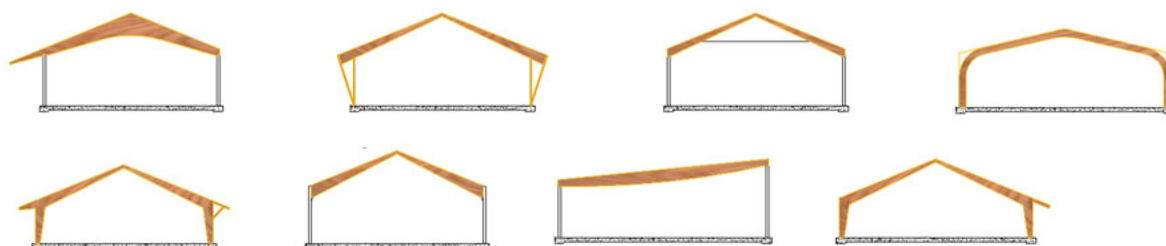
Lepljeni nosilci (Slika 23A) so sestavljeni iz dveh ali več lamel debeline 6-45 mm, ki so med seboj zlepljene vzporedno glede na vzdolžno os lamel. Orientacija vlaken je pri tem v vseh lamelah enaka, in sicer v smeri vzdolžne osi elementa (Lopatič, 2012). Lamele so običajno dolžinsko spajane z zobatim spojem. Za njihovo izdelavo uporabljamo predvsem les smreke, jelke, bora in duglazije. Pri tem mora imeti les primerne trdnostne lastnosti in vlažnost med 6% in 15%. Za lepljenje lameliranih nosilcev se uporabljajo konstrukcijska lepila na osnovi fenolov in aminoplastov.

Elementi iz lameliranega lepljenega lesa so lahko že kar celotni nosilni sistem (upogibni nosilci, lokovi), lahko pa predstavljajo sestavne dele kompleksnejših sistemov (stebri, grade okvirjev, elementi paličij, branaste konstrukcije in lokovi). Lepljeni lamelirani elementi so pogosto tudi osnovni gradniki rebrastih in mrežastih lupinastih konstrukcij, ki omogočajo premoščanje velikih razpetin (Lopatič, 2012). Izvedba ukrivljenih lameliranih konstrukcij omogoča svobodnejše arhitektonsko oblikovanje objektov. Vertikalne obremenitve prevzamejo v celoti stebri. Horizontalna stabilnost pa se lahko zagotavlja s celotnim okvirnim sistemom, lahko pa se jo zagotovi z vgradnjo zavarovalne konstrukcije v obliki diagonal ali panelnih sten (Lopatič, 2008).



Slika 23: A-Primer lameliranega lepljenega nosilca; B-Hala iz lepljenih lameliranih nosilcev (Haas-dom).

Lepljene lamelirane nosilce uporabljamo za najrazličnejše namene v gradbeništvu (ostrejša hiš, industrijske hale, bazene, športne objekte, mostove, ...) (Slika 23B). Pred ostalimi gradbenimi elementi imajo to prednost, da se zlahka oblikujejo in proizvajajo v poljubnih dimenzijah in oblikah, kar omogoča bogato arhitekturno oblikovanje prostora (Slika 24). Nosilno lamelirano konstrukcijo lahko uporabimo za estetsko oblikovanje prostora. Imajo veliko nosilnost glede na lastno težo ter visoke trdnostne vrednosti. Zaradi nizke gostote sta transport in gradnja bistveno manj zahtevni, kot pri betonskih in kovinskih nosilcih. Montaža je hitra, vzdrževanje pa relativno enostavno. Ustrezno zaščiteni nosilci imajo dobro odpornost proti ognju in se v primeru požara ne porušijo hipno. Pred masivnim lesom ima lepljen lamelirani les te prednosti, da je dimenzijsko bolj stabilen, omogoča izvedbo različnih oblik prečnih prerezov, izdelamo ga lahko v večjih dimenzijah, ter ima bolj enakomerne in boljše mehanske lastnosti. Pomembna prednost lameliranih lesenih konstrukcij je tudi v majhnem številu priključkov, ki praviloma predstavljajo šibka mesta in so dražji elementi konstrukcije.



Slika 24: Najbolj pogosto uporabljene oblike nosilne konstrukcije lamelirano lepljenih nosilcev (Haas-dom).

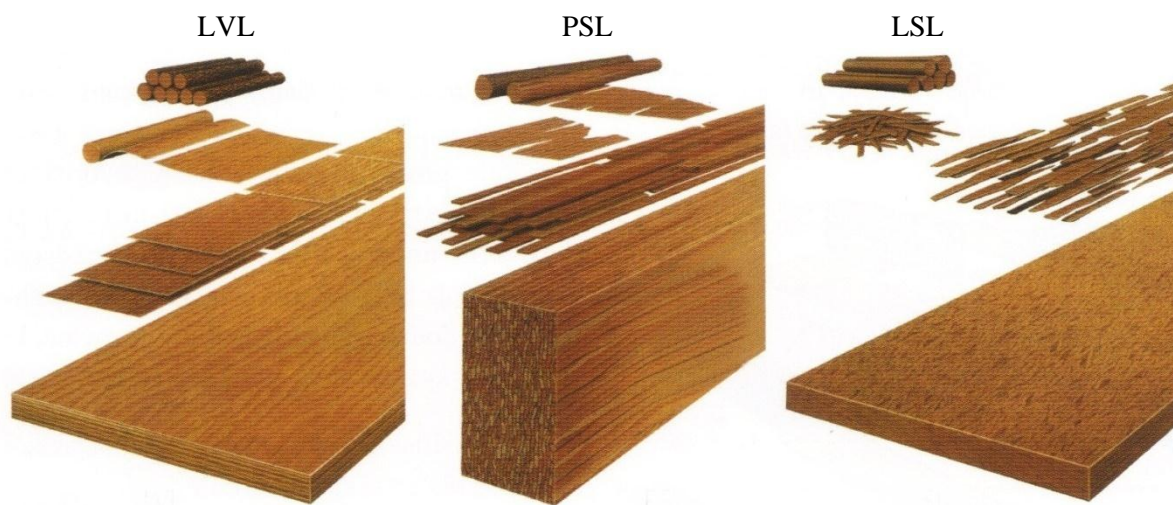
7.3 Konstrukcijski kompozitni les

Razvoj konstrukcijskih lesenih kompozitov oziroma lesenih kompozitov na splošno se je začel na začetku 20. stoletja. Komercialno so bile najprej razvite furnirne vezane plošče. Z razvojem sintetičnih lepil je močno napredoval razvoj plošč iz dezintegriranega lesa, kot so iverne in vlaknene plošče,

kasneje pa tudi drugi inženirski lesni proizvodi, kot so lepljeni nosilci iz masivnega lesa oz. lepljeni lamelirani les.

V nadaljevanju je bil razvit konstrukcijski kompozitni les (Šernjak, 2009), kamor spadajo proizvodi kot so:

- LVL (laminated veneer lumber) ali slojnat furnirni les,
- PSL (parallel strand lumber) ali nosilci iz usmerjenih trakov luščenega furnirja,
- LSL (laminated strand lumber) ali plošče iz dolgih ploščatih usmerjenih iveri



Slika 25: Shematska predstavitev konstrukcijskega kompozitnega lesa (Šernjak, 2009).

Konstrukcijski lepljeni elementi so lahko gradniki linijskih (nosilci), ploskovnih (plošče) in prostorskih (lupine) nosilnih sistemov. Proizvodi so zlepljeni z lepili za konstrukcijsko uporabo, pri čemer orientacija vlaken poteka vzporedno s smerjo dolžine proizvodnje. Izraba lesne surovine pri proizvodnji kompozitnega lesa je visoka, njihove lastnosti pa veliko manj variabilne v primerjavi z drugimi lesenimi konstrukcijskimi proizvodi (Šernjak, 2009).

8 MASIVNA NOSILNA KONSTRUKCIJA

Sodobna masivna nosilna konstrukcija ima korenine v kladni nosilni konstrukciji. Gre za montažno gradnjo segmentov masivnih križno lepljenih ali mozničenih sten in plošč, ki so lahko izdelani tudi v velikosti preko 50 m². V angleškem jeziku jih imenujejo »X-Lam«. Takšne velikosti panelov so ob veliki specifični nosilnosti in stabilnosti križno zlepljeni strukturi lesa prinesle preporod v gradbeništvo. Plošče imajo namreč izredno dobre mehanske lastnosti v obeh smereh za razliko od enosmerno lepljenega in masivnega lesa. Zaradi izboljšanih lastnosti se te plošče sedaj pogosto uporabljajo pred armiranim betonom in jeklom, ki sta bila včasih dominantna. Njihova uporaba narašča tako pri gradnji večnadstropnih stavb, kakor tudi pri gradnji objektov večjih dimenzij (Slika 26) (Dujčič, 2008).



Slika 26: A-Nadgradnja hotela Terme v Termah Čatež z dvema etažama iz križno lepljenih plošč; B-Večnadstropni stanovanjski objekt na Dunaju (CBD).

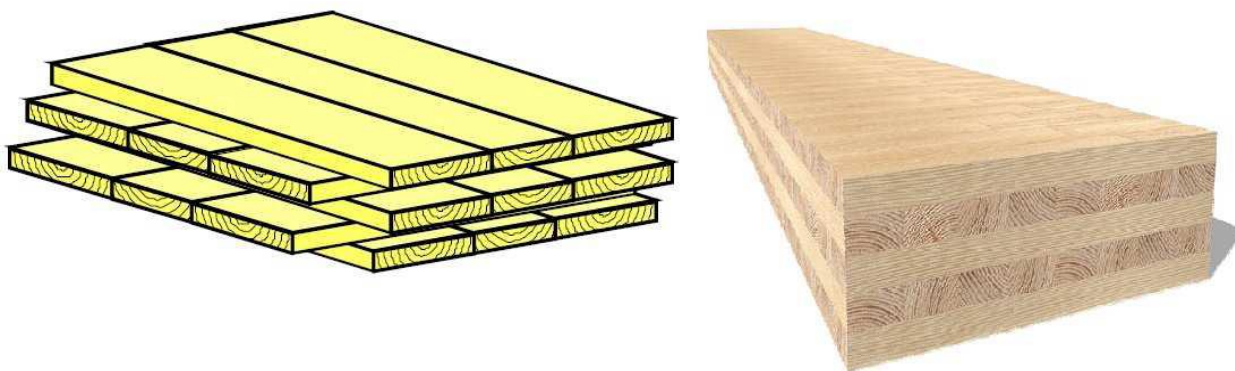
Križno lepljeni elementi se uporabljajo tudi za gradnjo večjih javnih objektov. Večje javne objekte lahko ločimo na višje in tiste, ki so večji po tlorisu. Les je primeren za oboje, še zlasti pa za tiste večje objekte, kjer je razvoj lesenih lepljenih konstrukcij v zadnjem stoletju dokazal, da je lesena konstrukcija optimalna pri večjih strešnih razponih. Lesena konstrukcija je še toliko primernejša pri večjih pritličnih javnih objektih, kot so vrtci, šole ali domovi za starejše občane, predvsem zaradi možnosti izredno hitre in čiste gradnje, ki je nemoteča za okolico. Razlogi so tudi v uporabi naravnih materialov, ki omogočajo mnogo boljše bivalne pogoje, ter boljšo izolativnost lesenega objekta, kjer ni toplotnih mostov, zgolj mesta z manjšo izolativnostjo, saj je les že sam po sebi izolacijski material. Poleg tega pa v sodobnem gradbeništvu ni nobena redkost več etažna stavba, pri kateri je nosilna konstrukcija v celoti iz lesa (Slika 27A).



Slika 27: A-8 nadstropna montažna hiša-Murray Grove Tower v Londonu iz križno lameliranega lesa; B- nosilna konstrukcija iz križno lepljenega lameliranega lesa (e-architect).

8.1 Konstrukcijski elementi pri sistemih z masivno nosilno konstrukcijo

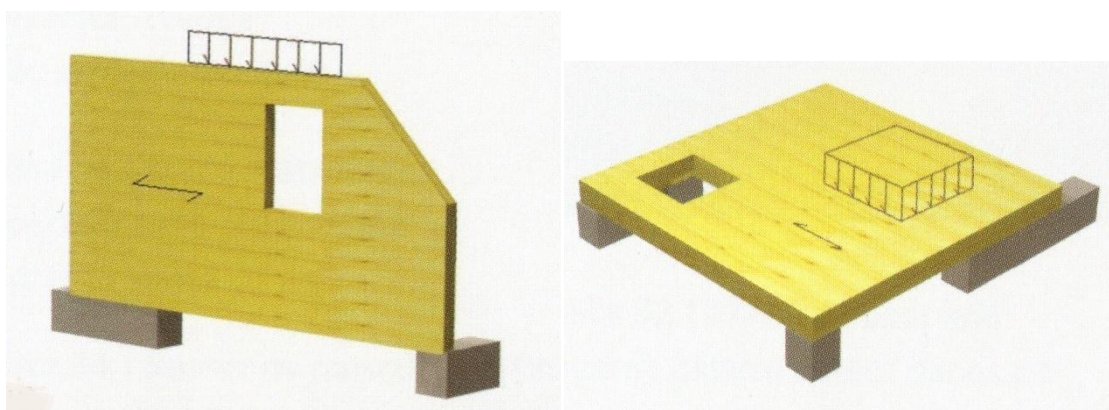
Konstrukcijski elementi iz križno lepljenega lesa so sodobno kompozitno gradivo, ki imajo bolj enakomerne in boljše mehanske ter deformacijske lastnosti, kot konstrukcijski elementi iz masivnega in enosmerno lepljenega lesa, predvsem v smeri pravokotno na vlakna lesa. Križno lepljene elemente sestavljajo križno zložene lesene lamele oziroma deske, ki so pod visokim pritiskom ploskovno zlepljene v večji masivni element. Za osnovno surovino se najpogosteje uporablja les iglavcev, ki je tehnično posušen do 12% ($\pm 2\%$) vlažnosti. S tem je omogočena naravna zaščita lesa pred škodljivci kot so glive, insekti in plesni. Odvisno od namena uporabe in zahtev po nosilnosti so plošče izdelane v lihem številu slojev – 3, 5, 7 ali več, vse do maksimalne debeline 60 cm. Običajna debelina lamel se giblje od 10 do 40 mm in so vzdolžno spojene z zobčastim spojem. Medsebojni zasuki osi lamel v posameznih slojih znašajo 90°, prečni prerez plošče pa je simetričen (Dujič, 2008).



Slika 28: Križno zlepljene lamele v konstrukcijski element – leseno vezano ploščo (Dujič, 2008)

Nosilnost v poljubnih smereh in dimenzijska stabilnost lesenih elementov so značilnost elementov s križno strukturo lepljenih lamel. Krčenje in nabrekanje lesa ter mnogokrat slabše mehanske lastnosti v smeri pravokotno na vlakna, so glavni razlog za uporabo križno lepljenih lesenih ploskovnih nosilcev. Križna struktura lesenih ploskovnih elementov prepreči cepitev lesa v posameznih slojih, hkrati pa omogoča raznos obremenitve v obeh pravokotnih smereh. Nosilnost elementov je odvisna od debeline in števila slojev v posameznih smereh ter načina podpiranja plošče oz. stene.

Zaradi križno orientiranih lamel lahko elementi obtežbo prenašajo v dveh pravokotnih smereh. To omogoča njihovo uporabo tako za stenske kot stropne elemente, primarna smer prenosa obtežbe pa ustreza orientaciji vlaken zunanjih plasti desk. S križno lepljenimi lesenimi lamelami dosežemo, da imajo leseni elementi enakomernejše mehanske lastnosti ter se pri obremenitvah bolj homogeno obnašajo. Zaradi križno lepljenih lamel se prerezi tudi manj krivijo in ne pokajo. Paneli lahko dosegajo dimenzije, ki so primerne tudi za gradnjo etažnih sten v enem kosu, s predhodno izrezanimi odprtinami in pripravljenimi površinami za stikovanja, največje dolžine elementov pa so prilagojene transportu (Dujčič, 2008).



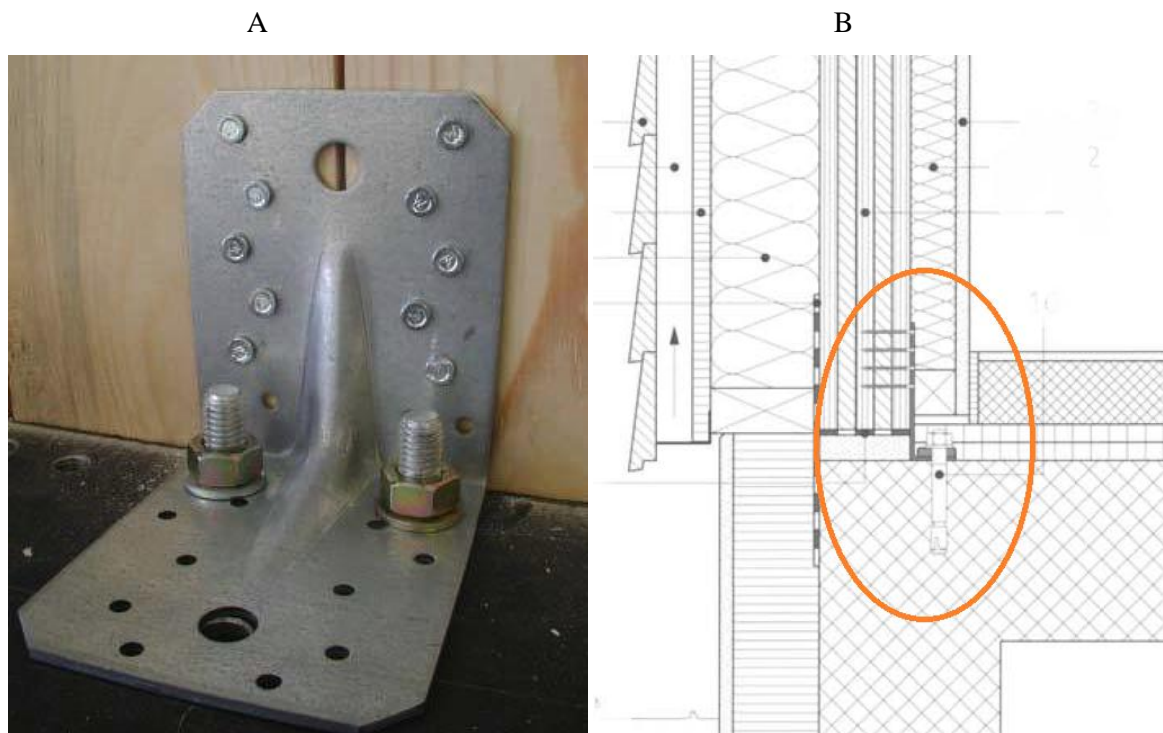
Slika 29: Raznos vertikalne obtežbe v ravnini stene (levo) in raznos vertikalne obtežbe v ravnini plošče (desno) (Kuzman, 2012).

Pomembna pozitivna lastnost uporabe križno zloženih lesenih ploskovnih elementov za medetažne konstrukcije je povezanost objekta na nivoju posameznih etaž, saj takšne plošče tvorijo skoraj togo diafragma, česar v objektih sestavljenih v lesenem okvirnem sistemu s stropniki kljub oploščitvi z OSB ploščami ni mogoče doseči (Jančar, 2011).

8.2 Vezna sredstva

Križno lepljeni stenski paneli se v talno oziroma temeljno konstrukcijo sidrajo s pomočjo kovinskih sider. Pri tem se za prevzem dvižne sile, ki nastane kot posledica rotacije stene v primeru vodoravne obremenitve, uporabljajo t.i. dvižna sidra, za prevzem strižnih sil, ki se pojavijo ob zdrsu stene, pa t.i. strižna sidra. V temeljno konstrukcijo so sidra vijačena oz. pritrjena s sidrnimi vijaki, v lesene plošče

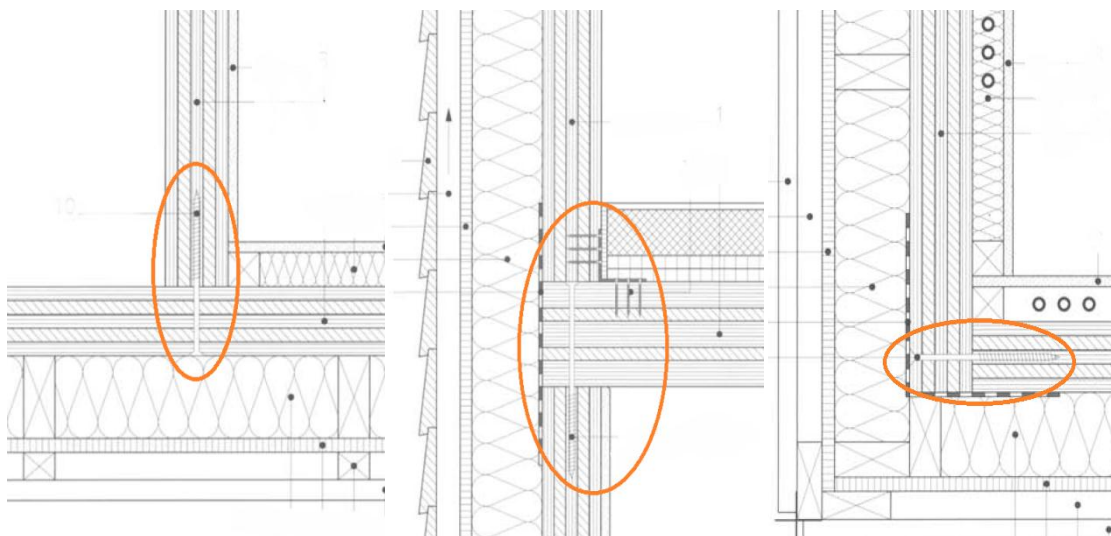
pa običajno z lesnimi vijaki ali obročastimi žebliji premera vsaj 4mm in dolžine med 40 in 60mm (Dujič, 2008). Pri tem se položi na temeljno ploščo hidroizolacija, ki preprečuje kapilarni dvig vode v les in tesni pred vlago. Panele se polaga na lesen venec, ki je položen na posteljico iz malte. Ta panele stabilizira in po potrebi izravna neravne temeljne plošče.



Slika 30: A-Kotnik za stikovanje križno lepljenih elementov; B-Detajl stikovanja zunanje nosilne stene in temeljne plošče (Kolb, 2008).

Stiki sten se vijačijo z lesnimi vijaki v predhodno zvrtnane luknje. Med stiki se položi tesnilni trak ali lepilo, da se popolnoma zatesnijo reže med ploščami. Za stikovanje medetažnih plošč s stenami se uporabljajo samo lesni vijaki ali obročasti žebliji, s katerimi kovinski kotnik pritrdimo tako na steno kot tudi na medetažno ploščo. Pri tem se dodatno vijači stik medetažne plošče in spodnje stene. S tem se medetažna plošča sidra na samo steno (Slika 31).

Računska nosilnost vijakov in žebeljev se določi v skladu z veljavnimi standardi za projektiranje mehanskih stikov v lesenih konstrukcijah in tehničnimi predpisi oziroma dovoljenji proizvajalcev mehanskih veznih sredstev. Vrste uporabljenih sider, dimenzije vijakov in žebeljev ter priporočila glede same konstrukcijske izvedbe se nekoliko razlikujejo med različnimi proizvajalci križno lepljenih plošč.



Slika 31: Detajl stikovanja zunanje in nosilne stene, stikovanje nosilne stene in medetažne plošče, ter stikovanje zunanjih sten v vogalu objekta (Kolb, 2008).

9 PRIMERJAVA POSAMEZNIH NOSILNIH SISTEMOV LESENIH KONSTRUKCIJ

V Sloveniji prevladujejo predvsem panelni, skeletni in masivni sistemi gradnje z lesom. Vsak izmed navedenih sistemov ima določene gradbene prednosti. Pri izbiri pravega nosilnega sistema, se moramo odločiti na podlagi različnih prednosti, ki jih dani sistem ponuja.

Skeletna gradnja nam omogoča poljubno sestavljanje konstrukcije iz stebrov in nosilcev. Stebri so postavljeni na določenem rastru, ki omogoča poljubno izvedbo fasad in notranjih predelnih sten. Stene namreč niso del nosilne konstrukcije, za prevzem vertikalne obtežbe, zato je snovanje nosilne konstrukcije prepuščeno svobodni izbiri. Pri panelnem načinu gradnje smo že omejeni na malostenske ali velikostenske elemente tipskih dimenzij, ki so narejeni v proizvodnji. Malostenski elementi so manjši in se dimenzijsko ujamejo v modularno mrežo. Velikostenski elementi so večji in je v samostenski element lahko že vgrajeno stavbno pohištvo (okna in vrata). Pri načrtovanju objekta s tovrstno nosilno konstrukcijo, smo torej do določene mere omejeni s samimi dimenzijami elementov. Pri masivnem sistemu nosilne konstrukcije, pa lahko izbiramo med nosilno konstrukcijo, ki je v celoti iz masivnih tramov-brun in nosilno konstrukcijo iz lepljenih elementov. Pri prvi je stopnja prefabrikacije lesa majhna, pri drugi pa so stene iz vzdolžno ali križno lepljenih lamel, ki zahteva veliko stopnjo prefabrikacije lesa in tehnološke obdelave lesa.

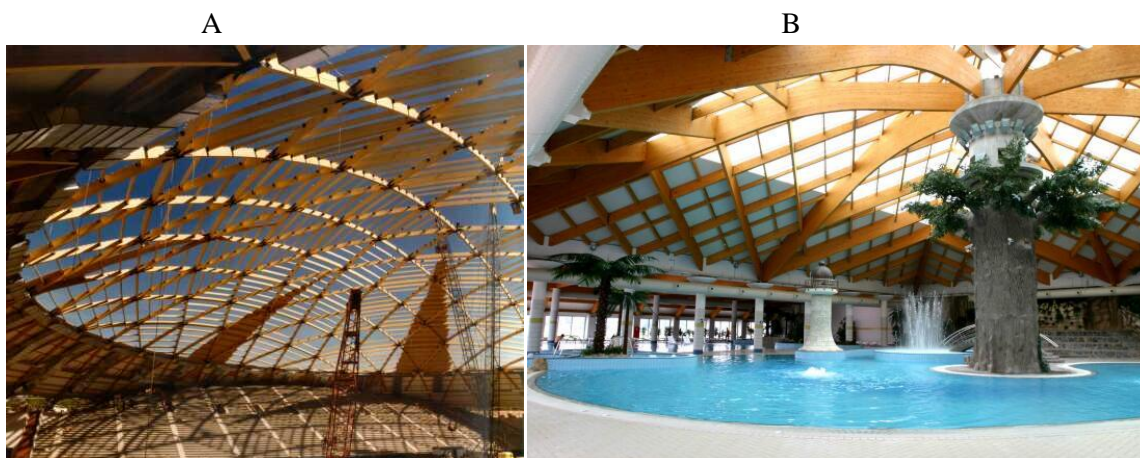
Samo spajanje elementov je najbolj zahtevno pri skeletni nosilni konstrukciji. Stiki med stebri in nosilci se večinoma izvajajo z uporabo kovinskih povezav. Projektiranje tovrstnih stikov zahteva veliko mero znanja, saj je težko zagotoviti popolno togost stika in s tem stabilnost konstrukcije. Potrebna so dodatna sredstva, ki konstrukcijo zavetrujejo (zagotavljanje horizontalne stabilnosti konstrukcije). Pogosto so izvedena zavetrovanja s pomočjo jeklenih diagonal. Pri panelni in masivni leseni gradnji, pa samo horizontalno stabilnost objekta zagotavljamo že s samimi stenami. Z njimi prenašamo vertikalno obtežbo, poleg tega so toge in se ne podajo, kljub horizontalnim obtežbam.

10 NOVEJŠI RAZVOJ LESENIH KONSTRUKCIJ

10.1 Uvod

Zaradi ugodnih mehanskih in drugih fizikalnih lastnosti ter prijetnega psihološko-estetskega učinka lesa, so lesene gradbene konstrukcije v novejšem času zopet pridobile mesto, ki jim po objektivnih kriterijih pripada. Lesene konstrukcije se pospešeno uporabljajo tako v stanovanjski gradnji, kot tudi pri gradnji poslovnih in industrijskih ter monumentalnih objektov. Uporaba učinkovitih zaščitnih sredstev pa omogoča ponovno širšo uporabo lesenih konstrukcij tudi v mostogradnji, kar je značilno predvsem za Kanado. Zaradi elektromagnetne nevtralnosti, odpornosti na različne kemične vplive, ugodnih izolacijskih sposobnosti in nizke radioaktivnosti, je les zelo primeren za objekte radiodifuzije, dvorane, cerkve, vrtnice in šole, zimska kopališča ter industrijske objekte v kemijsko agresivnem okolju (Saje F., 1997).

Nadaljnji razvoj lesenih konstrukcij temelji na razvoju in uporabi modernih veznih sredstev, uporabi lameliranih lepljenih lesenih konstrukcij in kombiniranih konstrukcij iz lesa in jekla ter na razvoju sovprežnih konstrukcij iz lesa in betona. Vse te novosti so omogočile preporod v gradnji z lesom in s tem omogočile gradnjo objektov velikih razsežnosti.



Slika 32: A-Palična konstrukcija dvorane Tacoma Dome v Tacomi (ZDA), katerega premer znaša 160 m (Westernwood structures); B-Nosilna konstrukcija bazena Terme Čatež iz lepljenega lameliranega lesa (Terme Čatež).

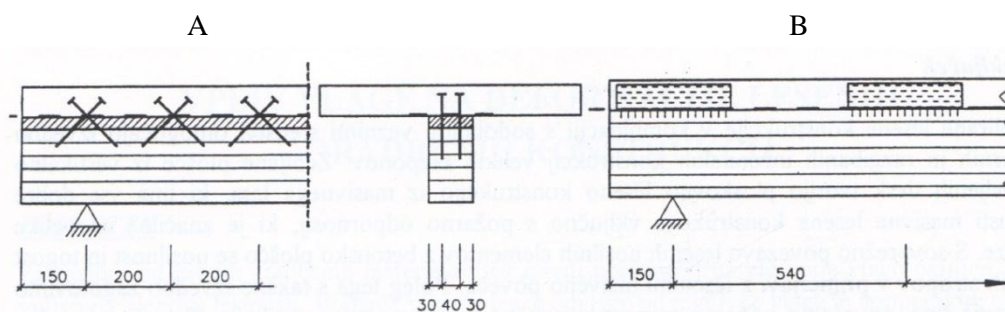
10.2 Sovprežne lesene konstrukcije

Sovprežne konstrukcije iz lesa in betona se uporabljajo zlasti kot upogibni elementi stropnih konstrukcij. Pri tem sestavljen konstrukcijski element izvedemo tako, da natezne napetosti prevzame leseni, tlačne pa betonski del sestavljenega prečnega prereza. Povezava med lesom in betonskim delom konstrukcije mora biti dovolj nosilna in toga ter čim bolj enostavna za izvedbo. Sovprežne lesene konstrukcije imajo v primerjavi z običajnimi stropovi več prednosti, med katerimi so pomembne zlasti naslednje:

- bistveno večja nosilnost in togost sovprežnih stropov v primerjavi z lesenimi,
- boljša zvočna izolativnost,
- večja požarna odpornost,
- sovprega betona in lesa omogoča enostavno ojačitev obstoječih lesenih stropov, ter
- bistveno boljši raznos koncentriranih in linijskih obtežb (Saje F., 1997).

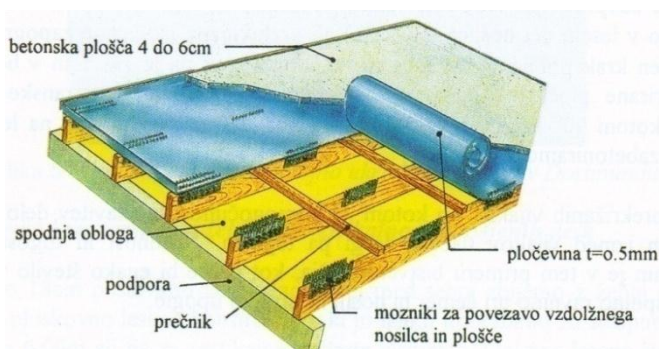
Obnašanje sovprežnih lesenih konstrukcij v povezavi z betonom pod vplivom obtežbe je močno odvisno od povezave med lesnim in betonskim delom konstrukcije. Medsebojna povezava mora biti v območju delovnih napetosti čim bolj toga, v bližini porušitve pa naj omogoči velike plastične deformacije, s čimer dosežemo ustrezno duktilnost konstrukcije. Za povezavo lesenega in betonskega dela sovprežnega elementa lahko uporabimo vijake, ki jih navzkriž pod kotom 45° uvijamo v leseni del nosilca (Slika 33A) ali preluknjane pločevine zapognjene pod kotom 90° , od katerih en krak pribijemo z žebli za les, drug krak pa je zasidran v beton (Slika 33B).

Z namestitvijo prekrizanih vijakov pod kotom 45° omogočimo vzpostavitev delovanja paličja, pri katerem je eden izmed vijakov tlačjen, drug pa tegnjen. Nosilnost in togost povezave med betonom in lesom je v tem primeru bistveno večja, kot če bi enako število vijakov namestili pravokotno na spojno ravnino, pri čemer bi nosili na strig in upogib (Saje F., 1997).



Slika 33: A-navzkrižno uvijačeni leseni vijaki; B-Pribite prepognjene pločevine (Saje F.,1997).

Na Finskem serijsko v velikem obsegu uporabljajo sovprežne stropne plošče z lesenimi nosilci in betonsko ploščo na kovinski pločevini, ki je vložena med nosilce in betonsko ploščo (Slika 34).



Slika 34: Finska izvedba stropne plošče (Saje F., 1997).

11 ZAKLJUČEK

Gradnja z lesom je najboljši način izkoriščanja lesa. Les, kot obnovljiv material, nas obdaja na vsakem koraku, zato je njegova uporaba v gradbene namene izjemnega pomena. Tudi razvoj in tehnološki napredek lesno predelovalne industrije, sta pripomogla k izdatnejši uporabi lesa v gradbeništvu. Razvoj sodobnih nosilnih sistemov v gradbeništvu je neizpodbitno povezan z razvojem lesenih polizdelkov in proizvodov. Zlasti lamelirano lepljeni in križno lepljeni elementi so polizdelki, brez katerih si sodobne lesene nosilne konstrukcije ne moremo več predstavljati. Novi lesni proizvodi tako še dodatno izkoristijo dobre mehanske lastnosti lesa, saj zmanjšajo število vraslih napak, ali pa napake povsem izločimo iz lesenega elementa. Zaradi tega so se lahko razvile nove, sodobne konstrukcije v gradnji z lesom, kot so panelna, okvirna in masivna nosilna konstrukcija. Te sicer temeljijo na tradicionalnih načinih gradnje z lesom, vendar so zlasti zaradi izboljšav in boljše izkoriščenosti lesa omogočile preporod lesenih konstrukcij v sodobnem gradbeništvu.

Les, kot naraven kompozitni material, sestavljen iz organskih snovi, je bil zaradi slabe zaščite proti škodljivcem, v preteklosti pogostokrat potisnjen na rob gradbeništva. Z dobrim razumevanjem mehanskih in anizotropnih lastnosti lesa, razvojem zaščitnih sredstev proti lesnim škodljivcem, ter primernimi konstruktivnimi ukrepi, lahko les zopet uporabljamo v gradbeništvu. Tako ga sedaj v sodobnem gradbeništvu zopet uporabljamo za konstrukcijske namene, za katere smo v preteklosti primarno uporabljali jeklo in armirani beton. Les tako zopet pridobiva na veljavi v samem gradbeništvu za nosilno konstrukcijo in ne več kot le estetski element (obloge, opaži, talne obloge, itd.).

Les tako danes vse pogosteje srečujemo v stanovanjski gradnji, kot tudi pri gradnji poslovnih in industrijskih ter monumentalnih objektov. V gradbeništvu ga vse pogosteje uporabljamo zaradi ugodnih mehanskih in fizikalnih lastnosti ter prijetnega psihološko-estetskega učinka. Tudi laično mišljenje, da je les gorljiv material, se z novimi metodami zaščite in same relativno dobre odpornosti lesa, spreminja. Les zlahka konkurira jeklenim in armirano betonskim konstrukcijam v sodobnem gradbeništvu.

Les je gradivo prihodnosti, možnosti industrijske uporabe lesa za gradnjo pa so še vedno odprte in porajajo vedno več inovacij in novih idej.

VIRI

- Belaj, J. 2009. Masivne lesene hiše, Diplomaska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, (samozaložba J. Belaj): 102 str.
- Ber, B., Kager, F., 2008. Lesena skeletna gradnja, V: Saje, F. in Lopatič, J. (ur.). Zbornik 30. zborovanja gradbenih konstrukterjev Slovenije. Bled, 9. in 10. oktober 2008. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstrukterjev: str. 131-136.
- Dujič, B. 2008. Konstrukcije iz križno lepljenih lesenih panelov-prava pot sodobnega gradbeništva. LesWood, 55, 1/2:17-18
- Deu, Ž. 2005. Tipologija lesenih sten v večinski arhitekturi slovenskih kulturnih krajin. Les 57. št. 6, str: 184-194.
- Jančar J., Dujič B., 2011. Primerjava lesenih masivnih panelov sestavljenih iz različno križno spojenih lesenih struktur, V: Saje, F. in Lopatič, J. (ur.). Zbornik 33. zborovanja gradbenih konstrukterjev Slovenije, Bled, 16. in 17. oktober 2011. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstrukterjev: str. 285-292.
- Kolb J., 2008. Systems in Timber Engineering. Basel, Birkhäuser: 317 str.
- Kitek, Kuzman, M. 2012. Lesene konstrukcije v stanovanjski in javni gradnji : Slovenija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 145 str.
- Lopatič, J. 2008. Konstrukcijski sistemi naprednih lesenih konstrukcij. V: Kuzman, M. K. (ur.). Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: str. 132-137.
- Lopatič, J. 2012. Lesene konstrukcije B-UNI. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. prosojnice.
- Marra, A. A. 1992. Tehnology of wood bonding: Principles and practice. New York: Van Nostrand Reinhold: str. 201-204.
- Premrov, M., Dobrila, P. 2008. Lesene konstrukcije. Maribor, Fakulteta za gradbeništvo: 347 str.

Prieser, W. 1980. Lesne zveze in notranje lesene konstrukcije. Priročnik. Ljubljana Tehniška založba Slovenije: 92 str.

Premrov, M., Dobrila, P. 2008. Panelna gradnja lesenih stanovanjskih stavb V: Kuzman, M. K. (ur.). Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta. Oddelek za lesarstvo: str. 152-156.

Phleps, H. 1942. Holzbaukunst der Blokbau: ein Fachbuch zur Reziejung Werkgerechten gestaltens in Holz. Bundesverlag, Karlsruhe: 324 str.

Saje, F. 1997. Novejši razvoj lesenih konstrukcij. V: Saje, F. in Lopatič, J. (ur.). Zbornik 33. zborovanja gradbenih konstrukterjev Slovenije, Bled, 16. in 17. oktober 1997. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstrukterjev: str. 177-184.

Šernjak, M. 2009. Konstrukcijski kompozitni les. V: Kuzman, M. K. (ur.). Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: str. 84-88.

Žarnič, R. 2009. Vezna sredstva. V: Kuzman, M. K. (ur.). Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: str. 182-187.

Elektronski viri:

CBD. 2012.

http://www.cbd.si/index.php?option=com_content&view=article&id=83:nadgradnja-hotela-terme-catez&catid=46:nadgradnje-objektov&Itemid=105 (Pridobljeno 18.8.2012.)

Cimprače. 2012.

<http://prekmurje.si/galerija/cimprace/> (Pridobljeno 28.4.2012.)

Černivšek. 2012.

http://www.cernivsek.com/galerija_aktualno.html (Pridobljeno 1.9.2012.)

Hass-dom. 2012.

<http://www.haas-dom.si> (Pridobljeno 15.5.2012.)

E-architect. 2012.

<http://www.e-architect.co.uk> (Pridobljeno 5.5.2012.)

Erevija. 2012.

<http://www.erevija.com/clanek/1355/Brunarica-najboljsi-nacin-za-gradnjo> (Pridobljeno 20.8.2012.)

Flickr. 2012.

<http://www.flickr.com> (Pridobljen 15.3.2012.)

Fachwerk. 2012.

<http://www.fachwerk.de> (Pridobljen 15.3.2012.)

Lesena gradnja. 2012.

<http://www.lesena-gradnja.si> (Pridobljen 18.3.2012.)

<http://www.lesena-gradnja.si/html/pages/si-clanki-konstrukcije-kladne-konstrukcije-potres.htm>

(Pridobljeno 15.5.2012.)

Montažne hiše. 2012.

<http://www.montazne-hise.net> (Pridobljeno 5.5.2012.)

Občina Destričnik. 2012.

<http://www.destriknik.si/Default.aspx?action=Vinicarija&id=4&idd=42&idt=121>

(Pridobljeno 16.8.2012.)

Terme Čatež. 2012.

<http://www.esperanza-travel.net/default.aspx?sifrastranica=95> (Pridobljeno 5.5.2012.)

Zavod za gozdove Slovenije. 2012.

<http://www.zgs.gov.si/slo/gozdovi-slovenije/index.html> (Pridobljeno 5.5.2012.)

Westernwood structures. 2012.

http://www.westernwoodstructures.com/domes_files/TacomaDome.htm (Pridobljeno 21.8.2012.)