

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма:
Ниво студија:
Предмет:
Број индекса:

Урбано инжењерство
Основне академске студије
Металне и дрвене конструкције
925/2014

Јована Р. Михајловић
Употреба дрвета као конструкцијског
материјала
Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Весна Марјановић, ванредни професор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Рад треба да садржи:

- Основна својства и карактеристике дрвета као грађевинског материјала,
- Осврт на начине примене дрвета кроз историју,
- Опис примене монолитног и лепљеног ламелираног дрвета,
- Еколошки аспект употребе дрвета,
- Пример прорачуна према најновијим Еврокод стандардима.

Препоручена литература:

[1] Марјановић В., Металне и дрвене конструкције, скрипта у електронском облику, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2018, Крагујевац.

[4] Гојковић М, Дрвене конструкције, Грађевински факултет у Београду, март 1983, Београд.

[14] EN 1995-1-1:2004, Еврокод 5, Прорачун дрвених конструкција, Део 1-1: Општа правила и правила за зграде, Новембар 2009, Београд

Крагујевац, новембар 2018.

Ментор:

Др Весна Марјановић, ванредни професор

Садржај:

Рад треба да садржи:	3
Резиме:	5
Кључне речи:	5
Abstract:	5
Key words:	5
1. Увод	6
2. Дрво у природи	7
2.1. Ботаничка подела	7
2.2. Пресек кроз дебло	8
2.3. Естетска структура	9
2.4. Грешке дрвета	11
2.5. Остале особине	12
2.6. Заштита дрвета	13
2.7. Класификација дрвета	13
3. Дрво у грађевинарству	15
3.1. Зидови	19
3.2. Степенице	20
3.3. Кровови	22
3.4. Мостови	23
3.5. Спајање	24
4. Решеткасте конструкције	29
5. Лепљене ламелиране конструкције	31
6. Еколошки аспект	34
7. Еврокод 5	36
7.1. Област примене Еврокода 5	36
7.2. Прорачун конструкцијских елемената од монолитног дрвета	38
8. Закључак	44
9. Литература	45

Резиме:

У овом раду анализиране су основне карактеристике дрвета, његова основна подела у природи, структура и особине. Приказани су неки од главних проблема којима је дрво изложено као природан материјал али и неки од могућности заштите дрвета.

Дрво се употребљава у многим сегментима грађевинарства те су у овом раду приказани неки од тих сегмената, укључујући како објекте високоградње тако и неке од објеката нискоградње.

Поред монолитног дрвета који се често користи у грађевинским конструкцијама описане су и могућности употребе дрвета као лепљене ламелиране конструкције (ЛЛД).

Веома су важне и еколошке карактеристике дрвета с обзиром да је природан и потпуно употребљив материјал, а поред тога и апсолутно обновљив. Сматра се веома погодним материјалом за градњу, а развој нових техника градње дрветом омогућава много ширу примену овог материјала него што је то било до сад. Додатна погодност је што се овим новим техникама повећава трајност дрвених конструкција.

На крају дати су неки примери прорачуна дрвених конструкција употребом тренутно важећег стандарда Еврокода 5.

Кључне речи:

Шума, дрво, дрвене конструкције, конструкције, екологија, Еврокод 5.

Abstract:

In this work, the basic characteristics of wood, its basic division in nature, structure and properties are analyzed. Some of the main problems with which the wood is exposed as a natural material, but also some of the possibilities of wood protection are shown.

Wood is used in many segments of construction, and some of these segments are presented in this paper, including both building construction and some of the civil engineering objects.

In addition to monolithic wood, which is often used in construction structures, the possibilities of using wood as glued laminated construction (LLD) are described.

The ecological characteristics of the wood are also very important, since it is a natural and fully usable material, and in addition it is absolutely renewable. It is considered to be a very suitable building material, and the development of new wood-building techniques allows much wider application of this material than it was before. An additional advantage is that with these new techniques the durability of wooden structures increases.

Finally, some examples of the calculation of timber structures are given using the currently valid Eurocode 5 standard.

Key words:

Forest, wood, timber structures, construction, ecology, Eurocode 5.

1. Увод

Наша култура има близак однос са дрветом. У словенској митолошкој традицији врховно божанство је Перун, чије име изворно значи храст, који је уједно и један од облика његовог појављивања. Важност оваквог односа почива на симболици и протеже се кроз целокупну историју културе. Специфичан однос који имамо према дрвету условљен је тиме што смо симболично и физички окружени дрвећем. Долазимо из краја који се зове Шумадија и чије је име директно изведено из речи шума. То нам даје легитимитет који почива на уверењу да је дрво дубоко укоренено у наш менталитет [6].

Први писани подаци о шумама Србије датирају још од 1884. до 1885. године, говоре о важности шума не само за развој земље, већ и за верско, културно и естетско наслеђе. Однос Срба према шуми током бурних историјских догађаја често се мењао, али је на овим просторима шума била део живота и опстајања. Однос човека и друштва према шуми условљен је њеним природним законитостима, а управо те карактеристике шуме указују на потребу и могућност одрживог коришћења, трајног постојања и релативно успореног унапређивања.

Схватајући потребу радикалне промене односа према шуми и потребу институционалног уређења нове српске државе, 1891. године Народна скупштина доноси први Закон о шумама, чиме практично започиње организовано газдовање и брига о шумама у Србији.

Шума је суштински важна за економски развој и очување свих облика живота, представља најважнији извор биолошке разноврсности и има кључну улогу у одржавању еколошких процеса и еколошке равнотеже, штити осетљиве екосистеме, сликове и изворишта вода и представља „складиште“ биолошких ресурса. Шума као комплексан екосистем, способан да знатно побољша опште услове живота, заузима најважније место у глобалном концепту заштите и унапређења животне средине. Однос човека према шуми мора бити међусобно усклађен и у хармонији, стално унапређиван и пун уважавања [2].

У овом раду биће речи о самом дрвету, главној ботаничкој подели дрвета али и деловима стабла што је део дрвета који се употребљава у грађевинским конструкцијама. Поред тога биће речи о грешкама дрвета које су веома честа појава у природи али и класификација дрвета и дрвене грађе према потребама конструкције.

Дрво у грађевинарству примењује се у многим сегментима како у објектима високоградње тако и у нискоградњи. Употребљава се као монолитно дрво за зидове, степенице, кровове, мостове и слично, а све чешће као лепљено ламелирано дрво. Лепљено ламелирано дрво има много боље карактеристике од монолитног дрвета и већу област примене.

У даљем тексту говори се о стандардима за прорачун дрвених конструкција. Део Еврокод стандарда - Еурокод 5 који се наводи под називом „EN 1995“ се примењује у земљама Европске уније али је прихваћен и све више се употребљава и у нашој земљи. Користи се за пројектовање дрвених конструкција.

2. Дрво у природи

Под дрветом се сматра вишегодишња дрвенаста биљка чија је висина изнад земље најмање 5 m. Дебло је централни носач стабла, код неких врста дрвета оно пролази кроз крошњу до самог врха а код неких се завршава на месту где почиње крошња. Крошња је разгранати део дрвета који се развија на одређеној висини дебла. Облик крошње као и висина дрвета зависи од врсте дрвета и услова у којима је расло. Када је у питању висина стабала код нас јеле и смреке расту до 60 m, буква и храст до 50 m. Старост дрвета могуће је проценити по висини дрвета што је приказано у табели 2.1. као и по дебљини стабла што је приказано у табели 2.2.

Табела 2.1. Оријентациона старост дрвета у односу на врсту и висину [16]

Врста дрвета	Старост дрвета у годинама				
	40	60	80	100	120
Храст	7 - 18	11 - 24	15 - 28	17 - 31	20 - 33
Буква	5 - 17	9 - 24	12 - 30	15 - 35	17 - 38
Јела	3 - 13	8 - 25	13 - 28	15 - 32	13 - 34
Бор	6 - 18	8 - 22	10 - 26	11 - 29	21 - 31

Табела 2.2. Оријентациона старост дрвета у односу на врсту и дебљину [3]

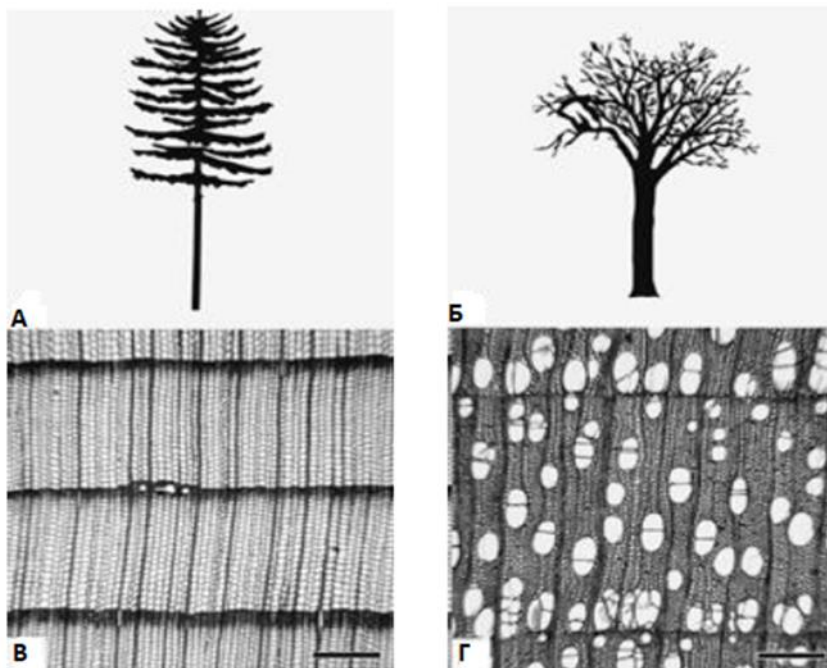
Врста дрвета	Старост дрвета у годинама				
	40	60	80	100	120
Храст	6 - 16	13 - 25	20 - 23	27 - 40	32 - 47
Буква	4 - 14	11 - 23	14 - 29	18 - 36	21 - 43
Јела	2 - 12	7 - 24	13 - 34	18 - 41	23 - 46
Бор	8 - 16	11 - 23	15 - 33	18 - 43	25 - 49

Што се тиче висине дрвета у свету највише стабло има аустралијски еукалиптус (156 m), а затим калифорнијски мамутовац (110 m) [3].

Дрво је природан, хетероген, анизотропан, хидроскопан композитни материјал са високом специфичном чврстоћом и специфичном крутошћу. Да би се уочили предности и недостаци дрвета неопходно је пре свега упознати његову структуру.

2.1. Ботаничка подела

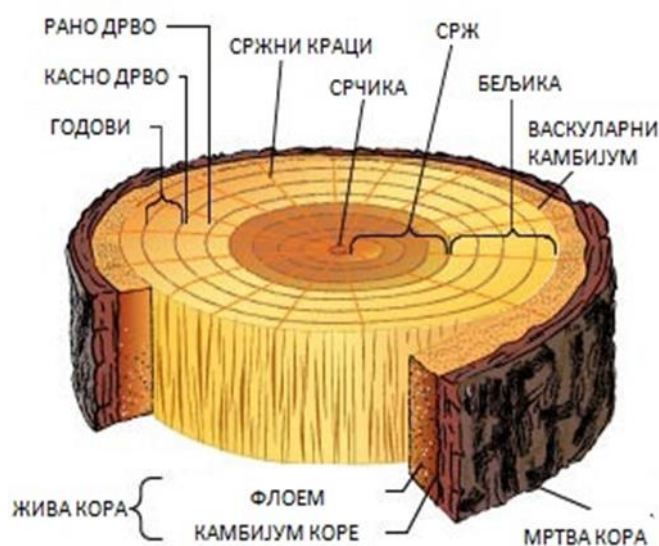
Најосновнија подела дрвета је на лишћаре (тврдо дрво) и на четинаре (меко дрво). Међу четинарима нема много различитих врста, док код лишћара има око 2000 различитих врста. Четинари углавном успевају на северној хемисфери и претежно су зимзелени (не губе лишће током зимског периода). Код нас су најпознатије јела, смрека и бор. Лишћарима у јесен опада лишће а типични представници су буква, храст, бреза, јавор и други. На слици 2.1. види се разлика између ове две врсте како у облику стабла тако и у попречном пресеку.



Слика 2.1. Облик стабла четинара (А) и лишћара (Б), попречни пресек кроз део дебла четинара (В) и лишћара (Г) [17]

2.2. Пресек кроз дебло

Због начина раста и настајања дрвета, по својој унутрашњој грађи дрво је слично низу танких и шупљих цилиндара који су постављени један на други [3]. На слици 2.2. приказан је попречни пресек дрвета са елементима стабла. Гледајући од споља па ка центру јасно се виде слојеви и делови стабла. Тако видимо мртву кору, живу кору, камбијум, касно дрво, рано дрво и срж. Поред тога виде се годови и сржни краци.



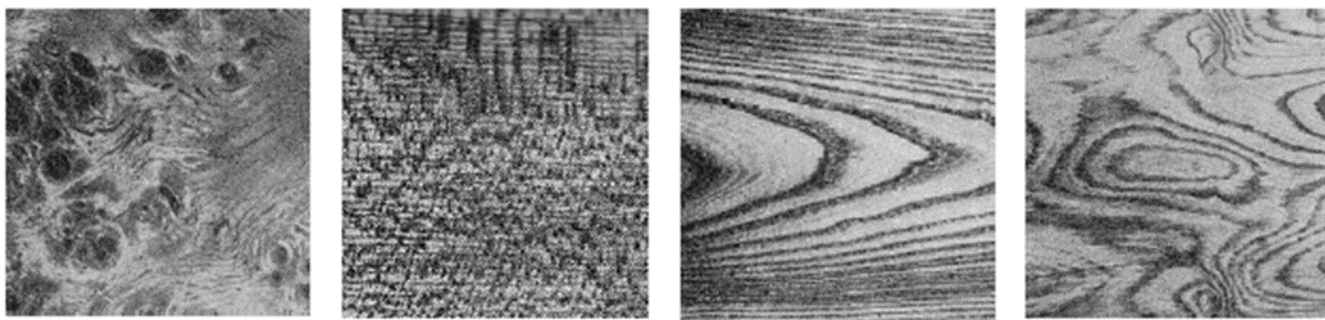
Слика 2.2. Приказ слојева стабла [16]

Мртва кора (спољна кора) штити унутрашњу кору и цело стабло од исушивања. Испод ње налази се унутрашња кора (флоем) кроз коју се транспортују продукти фотосинтезе¹. Влакнасти камбијум служи да сваког пролећа креће са растом нови слој дрвета ка унутрашњој страни а ка спољашњој унутрашње коре. Бељика је живи слој дрвета којим се транспортује вода и минералне материје. У сржи су наталожене биохемијске материје због којих је онемогућено кретање воде и минералних материја. Од количине ових хемијских материја зависе физичке и хемијске особине дрвета као и боја (која је у овом делу тамнија). У самом средишту налази се срчика што је остатак ткива из ране фазе раста стабла док дебло још није формирано.

Стабло током свог живота расте у висину и дебљину. Раст у висину је примарни док је у дебљину секундарни раст. Раст у ширину последица је протицања воде кроз камбијум, сваки год почиње да се формира са смењивањем годишњег доба. Стабла која расту у влажној тропској клими немају исте године као и она која расту у континенталној клими.

2.3. Естетска структура

Структура дрвета је важна особина, зависи од начина сечења стабла, па разликујемо фронталну, радијалну, тангенцијалну и спиралну структуру што је приказано на слици 2.3.



Слика 2.3. Структура дрвета: фронтална, радијална, тангенцијална и спирална структура [16]

У фронталној структури се виде годови и има велики значај при распознавању дрвета.

Радијална структура има велики значај за даске које се секу у смеру распростирања влакана.

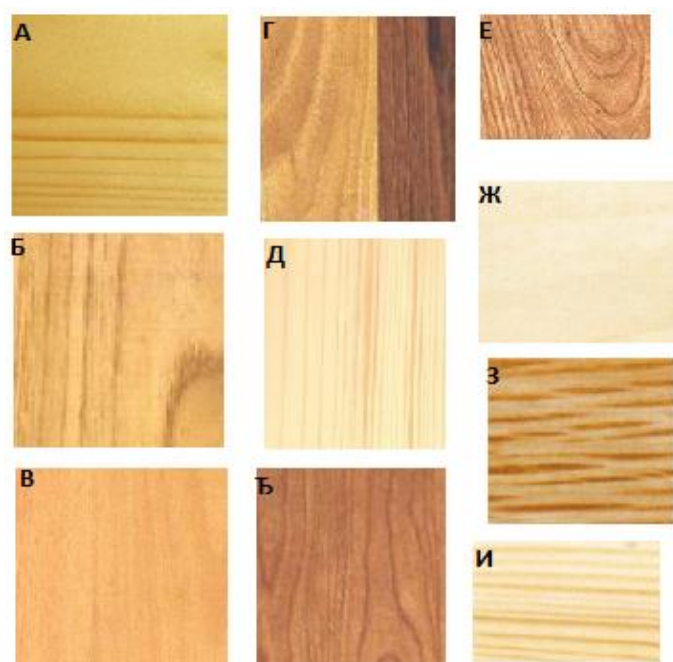
Тангенцијална структура је карактеристична за даске које се сечу на бочним деловима стабла.

Спирална структура се налази на ободу трупаца.

С обзиром на грађу текстура може бити правилна или неправилна, неправилна структура је последица неправилности у расту дрвета.

Боја је, поред структуре, један од најважнијих особина дрвета. Боје дрвета разликују се по врсти и интензитету. Код нас боје нису толико изражене и разлика је веома мала док се код неких тропских биљака јављају изузетно живе боје. Међутим, неке промене боја сматрају се недостатком дрвета, многи недостаци се јављају током самог раста. По сјају дрво може бити без природног сјаја, са slabим сјајем и јачег сјаја. Живи сјај имају неке егзотичне биљке. На слици 2.4. приказане су неке боје и текстуре у зависности од врте дрвета које успевају код нас, а на слици 2.5. боје и текстуре дрвета које успевају у свету.

¹ Фотосинтеза - је процес претварања светлосне енергије у хемијску и њено чување у виду молекула шећера. Процес фотосинтезе се одвија у биљкама, те у неким бактеријама и алгама, које у својим ћелијама имају хлорофил.



Слика 2.4. А – јела, Б – кестен, В – буква, Г – орах, Д – смрека, Ђ – Дивља трешиња, Е – брест, Ж – липа, З – храст, И – бор [16]



Слика 2.5. А – Канадски јавор, Б – Афрички падаук, В – Афрормосиа Елата, Г – „Dousse“, Д – Афричка Ебоновина, Ђ – „Bubinga“, Е – „muirapiranga“, Ж – „Iroko“, З – „Morando“, И – „Sapelli“, Ј – „bukote“, К – „Zingana“, Л – „Mutenye“, Љ – „Wenge“, М – „Popple“, Н – „Tananeo“ [16]

На боју дрвета утичу: анатомска грађа дрвета, хемијске промене, физиолошке и патолошке промене на дрвету. Дрво под различитим утицајима може да промени боју – да посиви, поцрни или пожути. Осим наведеног на боју дрвета утичу и влажност и промена притиска. Према боји утврђују се врста дрвета али и степен здравља дрвета. [3].

Свако дрво, а нарочито оно свеже обрађено има карактеристичан мирис. Мирис дрвета варира од врсте до врсте дрвета, његовог хемијског састава и степена здравља. Мирис изазивају и испаравања смола, танина, етеричних уља и др [4].

Финоћу дрвета карактерише крупнија или ситнија текстура. Дрво је финије што је његова грађа хомогенија, тј. што се мање разликују елементи његове грађе по величини, боји, форми и тврдоћи [3].

2.4. Грешке дрвета

Дрво је материјал који настаје природним биолошким процесом, па су при том расту могуће и грешке. Грешке су она места која неповољно утичу на жељене квалитете.

Грешке дрвета се могу разврстати на:

- Грешке грађе дрвета,
- Грешке које потичу од физичке повреде,
- Грешке боје и конзистенције дрвета,
- Грешке које потичу од инсеката.

На слици 2.6. приказане су грешке дрвета:

- А – Грешке од остатака грана,
Б – Трулеж је последица деловања неких врста гљива,
В – Распуклине дрвета настају од зиме и од сушења,
Г – Бубрење је последица влаге у дрвету,
Д – Флексибилност влакана је последица простирања влакана око неке квргице,
Ђ – Смолне ћелије су међупростори испуњени смолом,
Е – Сржне мрље су црвене или смеђе на попречном пресеку или спољним деловима стабла
Ж – Пиравост је последица деловања гљива на стаблу. Дрво у почетку мења боју, а процес траје 4-5 месеци после чега је неупотребљиво. Буква је наручено подложно оваквим гљивама.
З – Модрење је такође последица деловања гљива, оно не мења техничке карактеристике већ је само естетска грешка,
И – Грешке од инсеката су рупе (ходници) које буше инсекти и ларве и тако умањују техничку употребљивост.



Слика 2.6. Грешке дрвета: А – грешке од остатака грана, Б – трулеж, В – распуклине, Г – бубрење, Д – флексибилност влакана, Ђ – смољне ћелије, Е – сржне мрље, Ж – пиравост, З – модрење, И – грешке од инсеката [16]

Грешке дрвета су честа појава и неке од њих је могуће занемарити јер не мењају његове карактеристике, док друге чине дрво неупотребљивим.

2.5. Остале особине

За одређивање квалитета површине неопходно је да дебло испуни одређене услове који су приказани у табели 2.3.

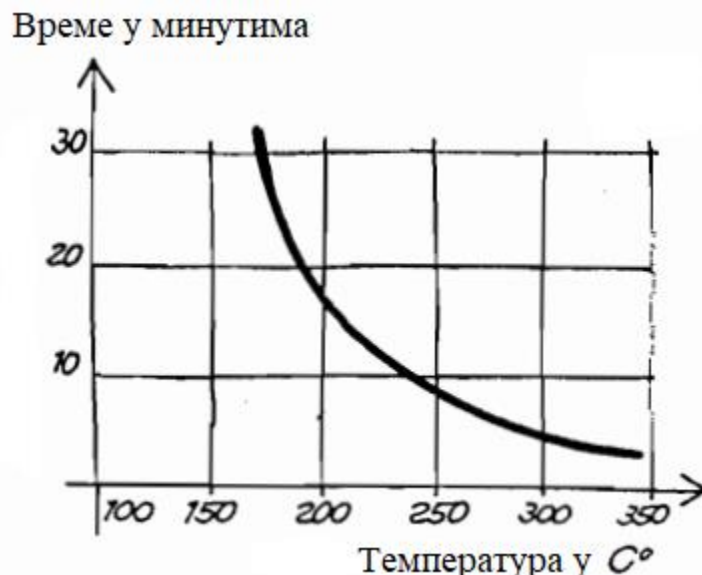
Табела 2.3. Својства према којима се одређује квалитет дрвета [18]

Група својства	Својства
Физичка	Густина, распоред густине, оптичке, топлотне, електричне и акустичне константе, апсорпција, рефлексија
Механичка	Чврстоћа, тврдоћа, еластичност, отпорност на хабање, способност прераде, обраде и обликовање, величина, правац и карактеристике напрезања после обраде
Хемијска, Физичко-хемијска	Реаговање површине на утицај ваздуха, воде, уља, хемикалија, температуре, светлосних зрака и др.
Естетска	Боја, сјај, текстура, једноличност и општи појам лепоте
Геометријско стање површине	Сви облици неравнина и одступања

2.6. Заштита дрвета

Уколико су дрвене конструкције изложене повишеним температурама, влази, дејству гљива и инсеката морају се адекватно заштитити.

Дрво је запаљив материјал. Време потребно да се дрво запали зависи од температуре, влажности, запреминске тежине, грађе дрвета и величине површине која је изложена пламену. На основу истраживања време паљења зависи од температуре што је приказано на слици 2.7.



Слика 2.7. Време паљења дрвета зависно од температуре [3]

У зависности од температуре мења се чврстоћа дрвета као и модул еластичности. При температури од 100°C чврстоћа на притисак и савијање се смањује за 50%, док се чврстоћа на затезање смањује за око 10%.

Противпожарна средства у условима пожара су углавном хемијска средства која успоравају паљење дрвета или ширење пламена. Израђују се од негоривих материјала који слабо проводе топлоту. Ово средство мора да је такво да на температури од 800°C не гори, не шири ватру нити испушта отровне гасове. Противпожарна заштита се може извести и бојењем ако се оно изводи редовно и по прописима [3].

2.7. Класификација дрвета

Дрвена грађа за носеће конструкцијске елементе се разврстава у три класе:

I класа – грађа високе носивости и употребљава се за лепљене конструкције. Углавном се користи на местима која подносе велика оптерећења.

II класа – грађа нормалне носивости која се употребљава за све класичне конструкције.

III класа – грађа мале носивости, употребљава се у случајевима када се не тражи посебан квалитет. Углавном се користи за помоћне и привремене конструкције као и на местима где је то економски оправдано.

Дрво које се користи за конструкције мора да испуњава све важеће прописе, зато се морају извршити одређене контроле квалитета [3].

Да би се дрво употребљавало за конструисање оно мора бити обрађено па стога постоји:

- Обла грађа,
- Полу обла грађа,
- Четвртача,
- Тесана грађа,
- Резана грађа.

Под облом грађом подразумева се дрво без икакве обраде али без коре.

Полу обла грађа је у ствари обла грађа пререзана по половини.

Тесана грађа се добија из дебла тесањем, углавном је правоугаоног или квадратног облика.

Резана грађа зове се још и оштроивична грађа која се добија стругањем у пиламама. Израђују се различитог попречног пресека па се разликују:

- Танке даске
- Летве
- Даске
- Талпе
- Грее
- Гредице

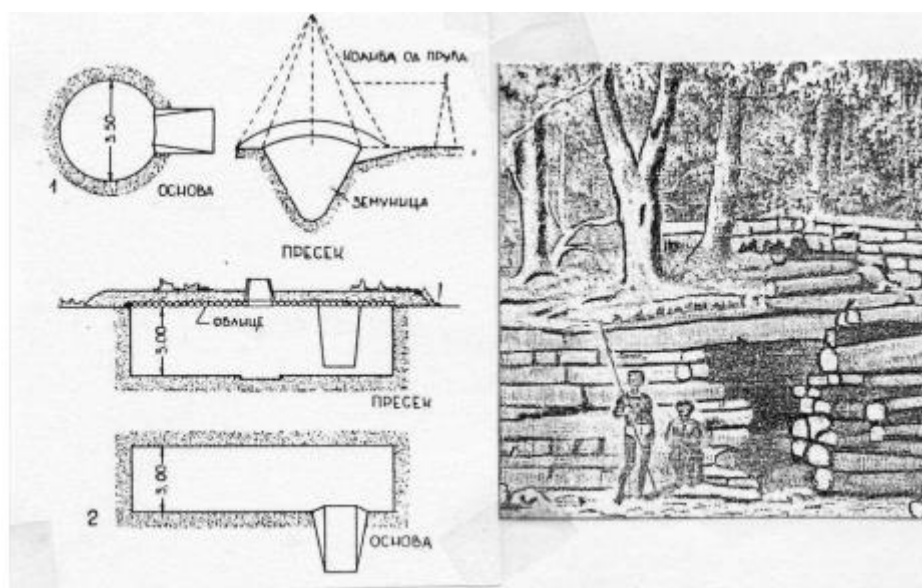
Поред наведене грађе употребљава се и лепљено ламеларно дрво различитих облика као и плочасти производи, фурнирске плоче, лесонит плоче и др [1].

3. Дрво у грађевинарству

Дрво је као природни материјал нашао велику примену у многим областима. Једна од њих је и градња склоништа – кућа, с обзиром да је лако доступно и обрадиво. Први забележени објекти су земунице (слика 3.1.), то су рупе у земљи или стени које су са једне стране затворене шибљем или дрветом. Основа и пресек земунице приказане су на слици 3.2.



Слика 3.1. Изглед земунице [19]



Слика 3.2. Основа и попречни пресек земунице [20]

Нема поузданих података о томе какве су куће градили јужни Словени при насељавању Балканског Полуострва, али се претпоставља да су подизали једноделне куће и колибе.

Међутим, зна се да је једноделна кућа од брвана веома заступљена у свим селима у доба Турака. Најпримитивнији облик куће који се некада правио је кућа која се зове сибара. Сибара је купастог облика, унутра са једном округлом просторијом на чијој средини гори ватра. Нема отвора за прозоре, као ни тавана и пода. Основа је кружна, пречника не више од 2 метра. Прављена је тако што се пободу облице и нагну тако да се горњим врховима купасто приближе али не и састану. Отвор на крову предвиђен је да кроз њега излази дим. Преко облица се наслаже буквино лишће или слама. Овакве куће имају изузетно ниска врата. Сибара се и до данас одржала у планинским крајевима и служи првенствено као пастирска колиба. Може се видети на подручју Мучња и Голије као и у околини Шар-планине. Овакве куће јављају се и у Шумадији али се називају шиља, кривача и кривуља. Илустрација облика кућа приказана је на слици 3.3 [6].



Слика 3.3. Илустрација облика кућа [20]

Временом људи су усавршавали своја знања и почели са градњом објеката изнад површине земље. Тада у шумским пределима граде колибе (слика 3.4.) и брвнаре. А у мочварним пределима сојенице.

Код колиба често се види разлика у материјалу зидова и крова.



Слика 3.4. Изглед колибе [20]

Брвнара (слика 3.5.) је несумњиво нарочити тип куће на балканском полуострву. Постала је најзаступљенији тип куће у шумским пределима и на крчевинама. Преовладала је у Србији дуго наручито у пределима великих река (Дунава и Саве), као и на деловима окренутим Јадранском мору. Постоје извесне обласне разлике у типовима брвнара, али оне нису од великог значаја. Може се рећи да су брвнаре, осим исте грађе, имале и исту унутрашњост као и покућство. Ишчезле су по равницама и побрђу, док су у планинским крајевима изузетно заступљене.

Брвнаре су сталне куће, састоје се од једне просторије у којој се ложи ватра. Најпростије врсте брвнаре су оне без темеља где се постављају греде темељњаче које се полажу на земљу. Код других врста постоји темељ од камена. Обично и до пола метра изнад површине земље и тек се на њега полажу темељњаче. Уколико је терен нагнут, онда је под доњим делом куће доста висок зид и он затвара подрум. На брвнарама се исецају један или више малих прореза који се даље затварају даскама, то представља примитивне прозоре који служе да дим излази кроз њих. Тавана нема али понекад постоји део за сушење кукуруза изнад огњишта. Изнад греда тавана постављене су облице на којима се суши месо. Кров је по правилу стрм и висок, наручито у планинским крајевима, а нижи и блажих нагиба у деловима Шумадије. Кров се претежно израђивао од дасака или шиндре. На слемени постоје један или више отвора који су наткривени, и зову се баце (Слика 3.6.), представљају ошак, који је наткривен дрвеном капом. Код праве брвнаре ретко пред вратима постоји трем или доклат. Полазећи од основног облика брвнара се развијала како у хоризонталном тако и у вертикалном правцу. Старе типске брвнаре су врло ретке док овакве, са додацима веома честе. Први додатак брвнарама јесте мрачна просторија без прозора, која је представљала оставу. Временом су уз кућу додаване и собе, прво без огњишта. Ове собе су покривене даском и називају се вајати, зграде, стаје, стасине, као и клет.

Са појавом собе брвнаре махом постају полу брвнаре. Тиме кућа постаје дводелна.

Осим обичне брвнаре јављају се и куће са једним спратом [4].

Захваљујући добрим термичким својствима дрвета боравак у брвнарама је пријатан лети, а зими је потребан мали утрошак горива. За саму израду брвнара није потребна велика стручност али је веома лоше што се троши велика количина дрвета, остаје много отпада на градилишту, дуг је рок изградње, запаљиве су и подложне труљењу. У току експлоатације у шупљинама се гнезде инсекти и глодари [7].



Слика 3.5. Изглед брвнаре [20]



Слика 3.6. Брвнара са баџом [20]

Сојенице (слика 3.7.) су куће или насеља у поплавним и мочварним крајевима или на плићацима уз обале река, језера или мора, подигнуте на деблима ради заштите од поплава, непријатеља, дивљих звери и сл.



Слика 3.7. Изглед сојенице [20]

Дрво се још примењује код израде зидова, међуспратних конструкција, степеница, кровова и др.

3.1. Зидови

За израду зидова или целих зграда од дрвета користи се техничко дрво – листопадно и четинарско, као и разне врсте егзотичног дрвета. За градитељске потребе значајне су механичка и физичка својства дрвета. После сече, стаблу се отклањају гране, кора и гранчице, тако да се добије дебло или балван. Тесањем или резањем балвана добија се грађа у облику греда, стубова, гредица, дасака, летви, летвица, и др. Дрвена грађа се употребљава за израду конструктивних елемената и склоповима на објектима, за израду столарије и подова, сталних и привремених конструкција.

Дрво се користи за израду мањих индивидуалних и викенд-зграда, туристичких објеката у шуми или планини, ловачке куће и др.

Талпе су дрвене дебеле даске. Зграде изграђене од талпи називају се талпаре. Правац простирања талпи је углавном хоризонталан. Прве талпе постављају се преко слоја за изолацију на темељима. Један од два зида која се сучељавају почиње полуталпом, а други пуном талпом. Међусобни спојеви врше се двоструким косим плитким преклопом. За унутрашње зидове користе се тање талпе него за спољашње. Зидови од талпи се не обрађују са спољне стране па се комплетна грађа види. Унутрашње стране зидова се остављају да се виде или се облажу термоизолацијом.

Скелетни зидови од талпи користе се за израду индивидуалних стамбених зграда у подручјима која обилују дрветом. Конструкција зидова је од вертикално постављених талпи [6].

Бондрук је дрвена скелетна конструкција (слика 3.8.). Главни носачи су стубови, хоризонталне и косе греде. Бондрук-зидови се израђују тако што се после завршене израде скелета од дрвених греда које се повезују тесарским везама, поља између греда попуњавају опеком, дурисолом или неким другим материјалом. По потреби ове зграде се могу демонтирати и поставити на другом месту [6,7].

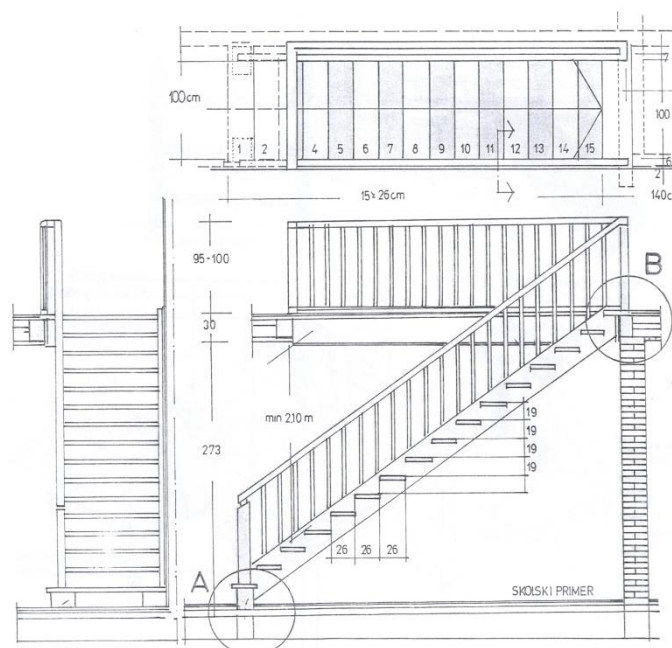


Слика 3.8. Приземна бондрук кућа [20]

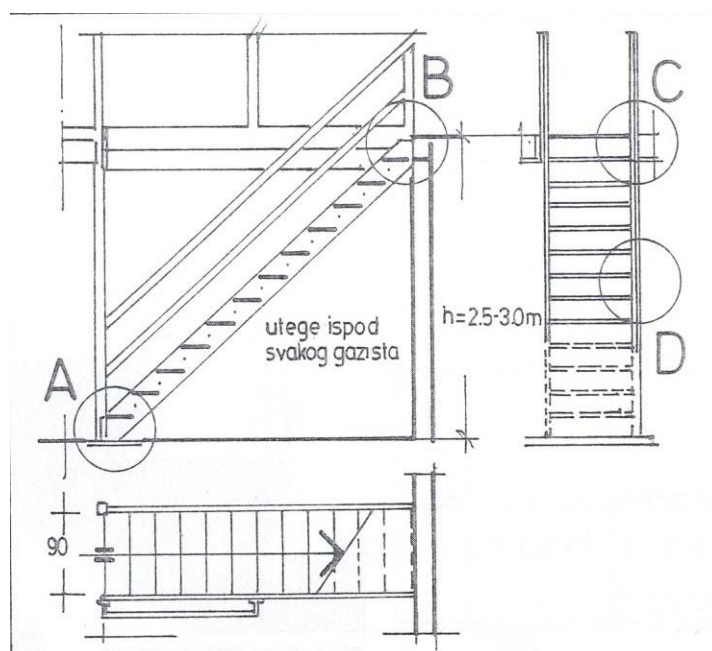
3.2. Степенице

За пројектовање степеница од дрвета одлучују више добре него лоше стране дрвета као грађевинског материјала. У добре стране убрајају се лака обрада, израда свих облика степенишних кракова као и декоративна обрада ограда. Монтажа степеништа је веома једноставна и сува, и по маси спада у лаке конструкције. Дрво ствара угодан и топао амбијент простора у коме се налази. У лоше стране дрвета улази несигурност за време пожара, ограничен век трајања и хабање као и непостојаност на влагу. Основна конструкција степеница од дрвета су образни носачи, или образине, ослоњени на подесне носаче. Сваки степенишни крак има по два образна носача. Носач поред зида назива се зидна образина, а на слободном крају – слободна образина, између њих постављају се степенице. Начин постављања одређује тип степеница, па се разликују:

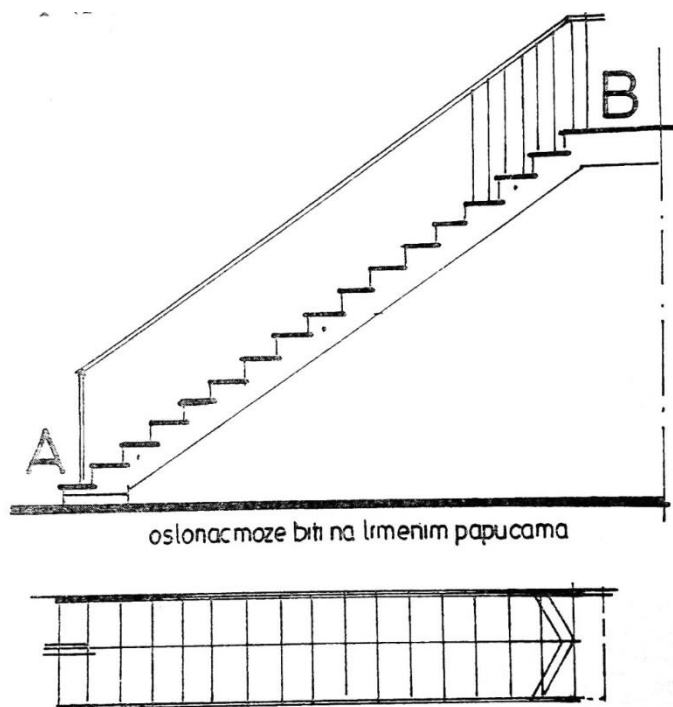
- Нажлебљене степенице приказане су на слици 3.9,
- Ужлебљене степенице приказане су на слици 3.10,
- Належуће степенице приказане су на слици 3.11 [8].



Слика 3.9. Скица нажлебљених степеница [21]



Слика 3.10. Скица узжлебљених степеница [21]



Слика 3.11. Скица належућих степеница [21]

3.3. Кровови

Кровови односно кровне конструкције чине завршни део сваке архитектонске и инжењерске грађевине. Кровна конструкција има задатак да заврши грађевину, штити је од атмосферских утицаја и изолира простор испод крова [3].

За израду кровне конструкције поред алуминијума, армиранобетонских и преднапреднутих носача употребљава се и дрво. Лако обрадиво и веома отпорно, користи се у облику греда, даски и летава што се назива кровна грађа. Елементи кровних конструкција међусобно се повезују разноврсним тесарским везама. Ова места се називају чворови и ојачавају се дрвеним спојним средствима. Исте врсте чворова примењују се код различитих типова кровних конструкција.

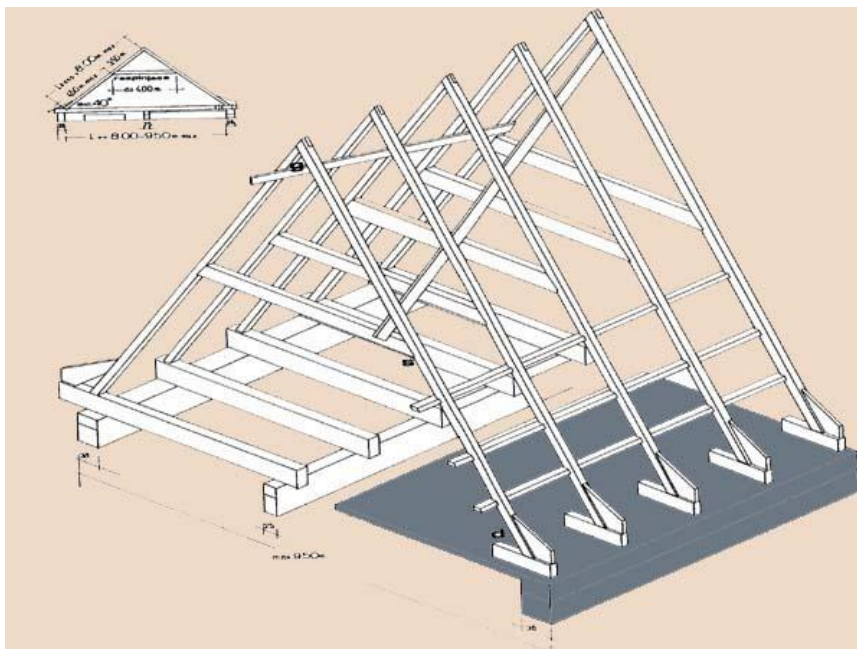
Према начину понашања терета крова на ослонце, дрвене кровне конструкције од резане грађе пуних профила израђује се по системима насталим искуством али са статички прорачунатим димензијама. Избор система по коме ће се изводити кровна конструкција односи се на избор и решавање кровног носача. Кровни носач је конструктивни склоп међусобно повезаних греда по одређеном систему у једној вертикалној равни. Преко кровних носача преносе се оптерећења крова на ниже конструктивне елементе. Према конструктивном склопу греда у кровном носачу и начину преношења оптерећења на ослонце, дрвене кровне конструкције израђују се са:

- Ослоњеним кровним носачима,
- Обешеним кровним носачима,
- Решеткастим и лучним носачима.

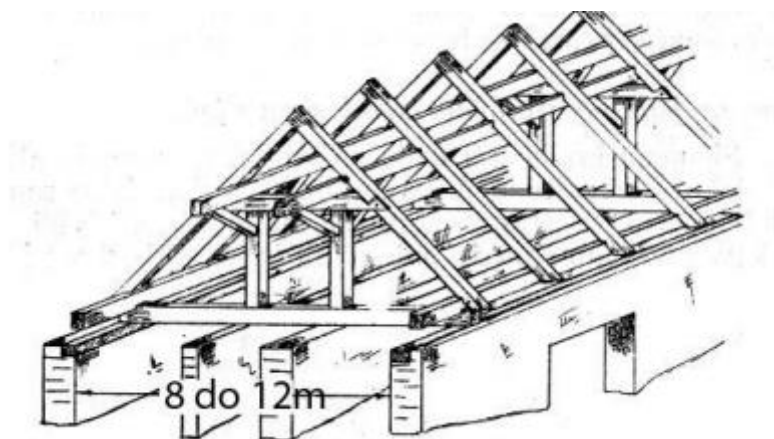
Кровови са ослоњеним кровним носачима су:

- Прости или кровови од рогова,
- Кровови са распињачама,
- Кровови са рожњачама.

Кровови са обешеним кровним носачима су вешалке као кровни носачи [8].



Слика 3.12. Изглед крова са распињачом [22]

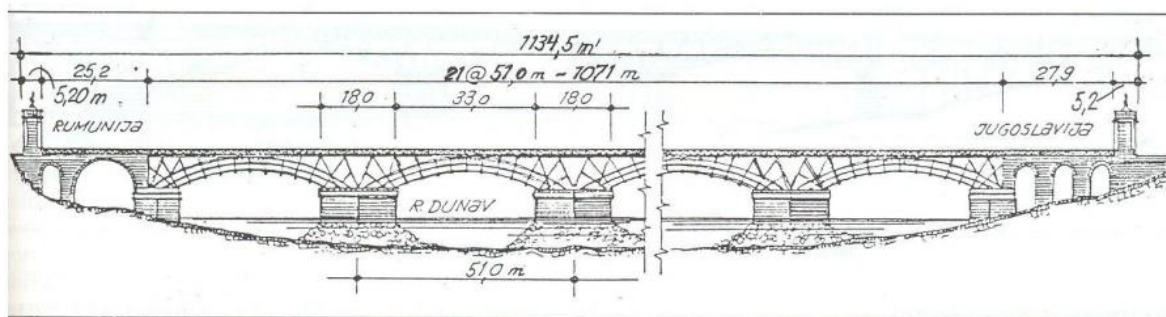


Слика 3.13. Изглед крова са распињачом [23]

3.4. Мостови

Мостови су конструкције које највише обележавају пејзаж. Њихово пројектовање је сложен и веома дуг процес који укључује разматрање различитих архитектонских решења, усаглашавање естетике мостова са захтевима локације, прорачун механичке стабилности конструкције и испуњавање захтева везаних за трајност [9].

Трајанов мост (слика 3.14.) био је први мост направљен на Дунаву и право грађевинско чудо тог доба. Мост је подигнут за свега две године од 103. до 105. Састојао се од класичних камених блокова и дрвених талпи и шипова. Лукове мостова носило је двадесет стубова високих око 35 а широких око 20 метара, на распону од око 50 метара. Трајанов мост је читавих хиљаду година важио за најдужи мост икада саграђен. Неколико година касније мост се урушио али су стубови остали па се и данас могу видети са обе стране обале [10].



Слика 3.14. Скица Трајановог моста [10]

Дрвени мостови нису реткост ни у данашње време али се они углавном праве као мањи пешачки мостови. Проблем је што веома брзо пропадају најчешће због атмосферских утицаја.

3.5. Спајање

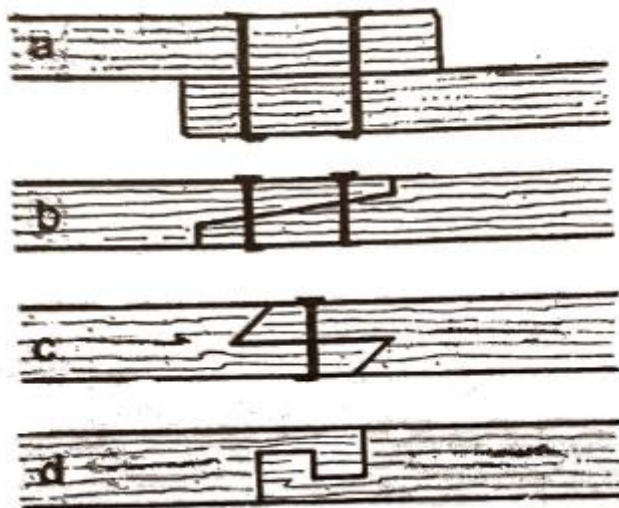
Куће које су људи раније градили од дрвета нису у себи садржале ни један ексер. Градња оваквих кућа изискивала је доста времена, стрпљења и умећа при спајању делова. Такве куће нам показују да дрвени делови могу тако да се саставе да чврсто належу једни на друге и при томе чврсто стоје. А ово се може применити и када се делови од дрвета састављају ексерима, завртњевима, трновима, туткалом, хладним лепком и др.

Закивање држи добро спој само када се обавља са два ексера (слика 3.15.) око једног ексера или завртња дрвени делови се могу окретати као око неке осовине.



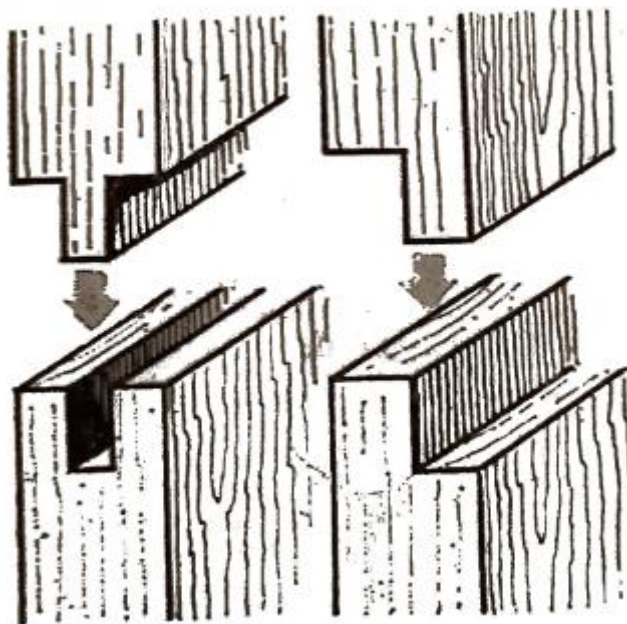
Слика 3.15. Закивање са два ексера [11]

Најједноставнији начин спајања дрвета је спајање на преклоп, када се два материјала преклопе један преко другог, а спој учврсти ексером или завртњем за дрво (слика 3.16а). Спој је издржљивији ако се са сваког дела косо скине по један слој тако да се добије искошени „Z“ спој (слика 3.16б). Ако ће спој бити изложен притиску у правцу споја, тада је боље да се са сваког дела скине по половина дебљине (слика 3.16ц), овај спој за разлику од претходна два може чврсто да држи само један завртањ, а клизање споја спречава усек. Зупчasti преклоп образује чврст спој на развлачење и без употребе завртњева (слика 3.16д).



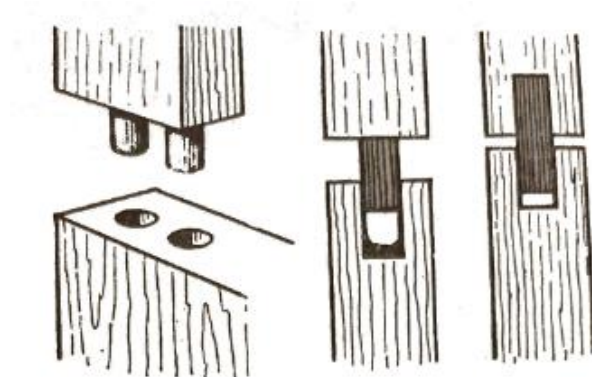
Слика 3.16. Спајање завртњевима [11]

Код већих комада сигурнији су спојеви ивичним засеком или на жлеб и перо (слика 3.17.). Да би се спој извео на једном комаду формира се перо, а на другом жлеб (овакви спојеви се јављају код паркета). Код ових спојева налагање мора бити тачно а делови се морају прецизно обрадити.

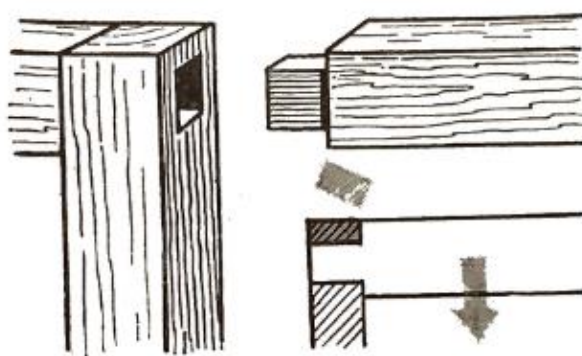


Слика 3.17. Састављање перо-жлеб [11]

Спој дрвеним чеповима (слика 3.18) изводи се помоћу округлих или четвртастих дрвених чепова. Овакви спојеви се могу видети код намештаја, најчешће столова и столица. За округле чепове се на другом делу споја буше отвори. Постоји и могућност да се на оба дела буше отвори а да се чепови засебно израђују од тврдог дрвета. Важно је да у споју буде бар два чеп, и да рупе буду дубље од дужине чепова. Четвртасти чеп (слика 3.19.) се теже израђује, као и отвор за њега, али је за спајање довољан само један чеп.

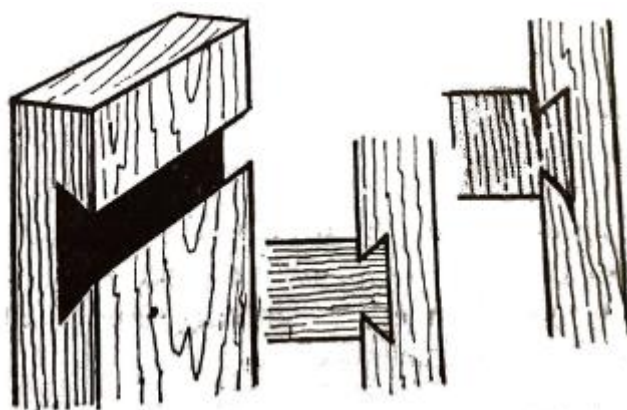


Слика 3.18. Спој округлим дрвеним чепом [11]



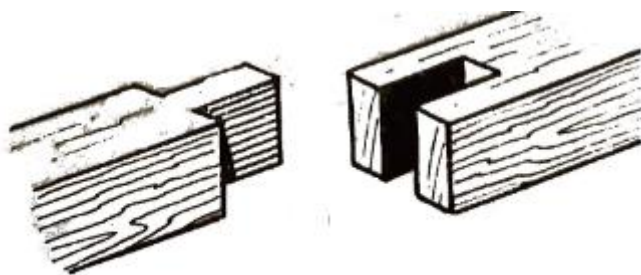
Слика 3.19. Спој четвртастим дрвеним чепом [11]

За везивање дужих комада примењује се трапезни спој (слика 3.20). За израду оваквог споја потребно је много стрпљења као и добар алат. Употребљава се при спајању полица.

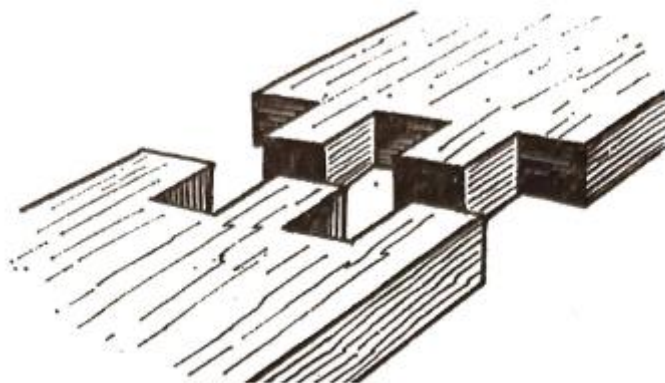


Слика 3.20. Трапезни спој [11]

Краћи комади спајају се на перо и жлеб (слика 3.21.), а модификовани облик овог споја за дуже комаде приказан је на слици 3.22.

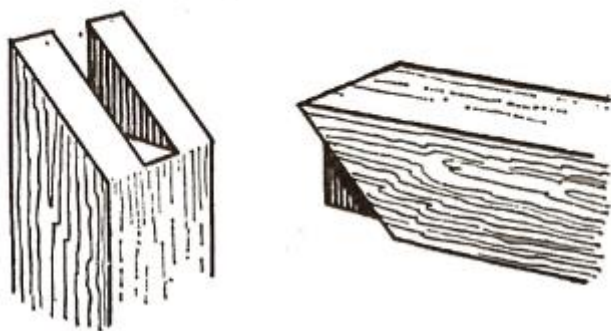


Слика 3.21. Споје перо – жлеб [11]



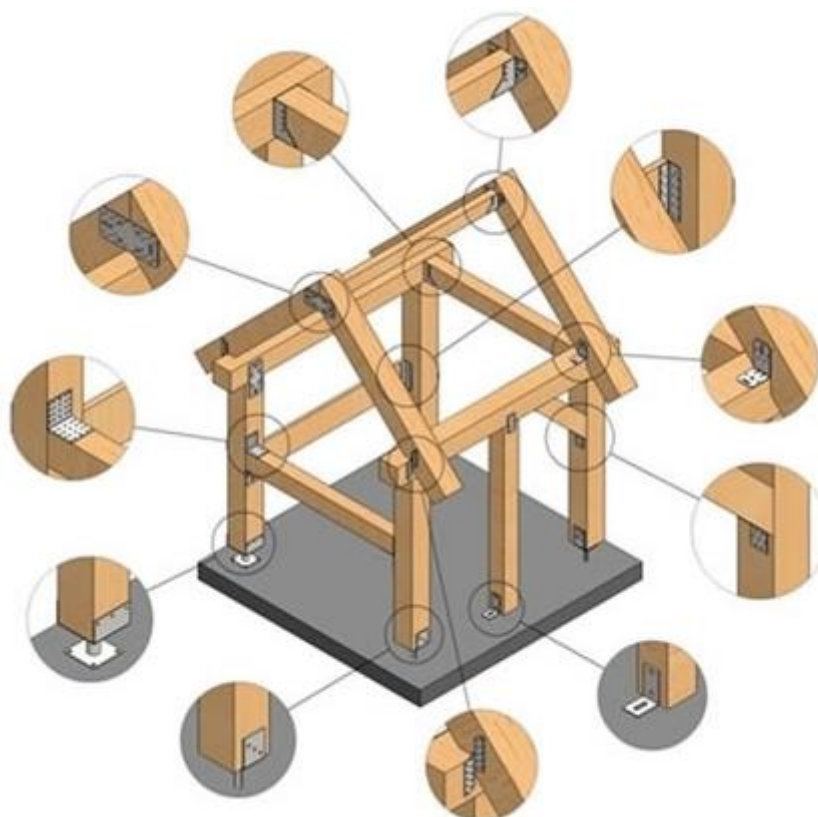
Слика 3.22. Модификовани облик споја перо – жлеб [11]

За угаоне спојеве примењује се коси облик споја перо – жлеб (слика 3.23.) [12].



Слика 3.23. Коси облик перо – жлеб [11]

Поред оваквих начина спајања данас се користе и метални окови. Неки од њих су приказани на слици 3.24.



Слика 3.24. Метални окови за спајање дрвених греда [11]

Завртњеви или вијци се често користе у дрвеним конструкцијама посебно код привремених објеката као и код војних мостова. Завртњеви су цилиндрична метална тела која на једном крају имају главу а на другом навојницу или матицу. Код дрвених конструкција завртњеви морају да имају подложне плочице које су квадратног или кружног облика. Ове плочице служе да спрече продирање главе или матице у дрво.

Трнови су пуна или шупља цилиндрична метална тела без навоја. Уграђују се у претходно избушене рупе.

Ексери су глатки жичани челични комади који са једне стране имају главу а са друге су зашиљени. Ексери се закупавају у дрво при чему се влакна размичу и потискују у страну. Претходно бушење рупа обавља се само код великих ексера, али и код примене сувог и тврдог дрвета.

Завртњеви без навлаке су цилиндрична тела која имају једну главу и она служи за лакше завртање у дрво, а на другом крају навојницу која се уграђује у дрво.

Можданици су елементи различитог облика који се уграђују у спојене равни. Уграђивањем можданика спречава се померање елемента.

Дрвене чивије се израђују од буковине, дреновине или храстовине. Пре употребе чивије морају бити лепо просушене. Забијају се у претходно избушене рупе [3].

4. Решеткасте конструкције

У савременим дрвеним конструкцијама велику примену имају решеткасти носачи најразличитијих облика и димензија. Решеткасти носачи се користе у скоро свим областима дрвених конструкција а најешће код кровних конструкција великих распона, код израде најразличитијих хала и слично. Такође, нашле су примену код дрвених мостова и конструкцијама скела.

Код решеткастих носача материјал је боље искоришћен него код пуних носача. Величина поља је код решеткастих носача од веома великог значаја. Треба је тако одредити да дужине извијања притиснутих штапова буду у дозвољеним границама. На величину поља утиче и распоред рожњача односно карактеристике кровне површине.

Ослањање решеткастих носача може да буде различито, на пример:

- На масивне зидове,
- На стубове од бетона или челика,
- На конструкције стубова од дрвета.

Доњи део решеткастих носача изводи се хоризонтално или са потребним проширењима. Колико треба проширити један решеткасти носач дефинишу важећи прописи за дрвене конструкције. Величина проширења ствар је искуства и зависи од влажности дрвета, степена накнадног исушивања и квалитета израде.

Као што је већ речено зависно од сврхе којој су намењени и функцији којој треба да служе решеткасти носачи могу имати најразличитије облике:

- Троугласти решеткасти носач,
- Трапезасти решеткасти носач,
- Мансардни решеткасти носач,
- Паралелни решеткасти носач,
- Параболични решеткасти носач,
- „Шед“ носач,
- Трозглобни и двозглобни решеткасти носач,
- Решеткасте лучне конструкције.

Троугласти решеткасти носачи се најчешће користе у кровним конструкцијама. Могу се конструисати од дасака и тада се називају „дашчани носачи“, али могу бити и пуних и сложених пресека. Величина поља варира од 1,00 m до 3,00 m код великих распона. Приликом избора испуне увек треба тежити да краћи штапови буду притиснути а дужи затегнути.

Трапезасти решеткасти носачи симетрични или асиметрични, они имају сличне карактеристике као троугласти носачи.

Мансардни решеткасти носачи имају горњи појас који се завршава испод ослонца. Горњи појас код кровних конструкција се редовно покрива стаклом.

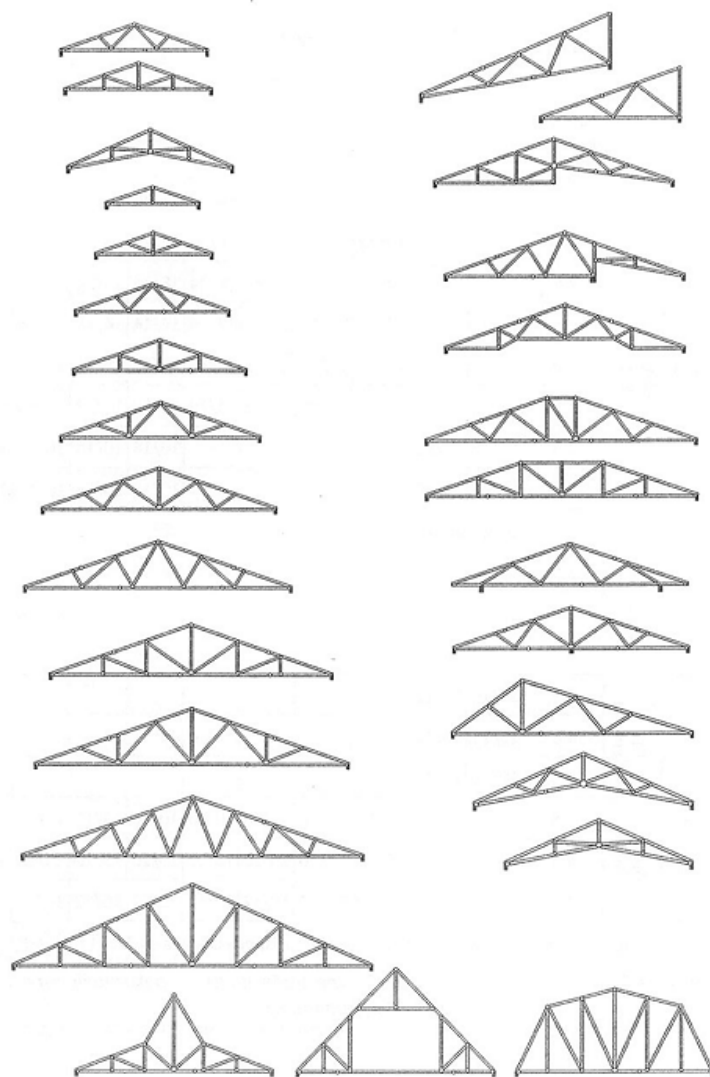
Паралелни решеткасти носачи имају велику примену у кровним конструкцијама када имају ослонце на различитим висинама. Користе се за конструкције рожњача, спрегова и укућења.

Параболични решеткасти носачи имају горњи појас у облику параболе. Горњи појас решетке има велики број прелома и на овим местима се изводе наставци горњег појаса.

„Шед“ носачи се називају и „тестерасте“ кровне конструкције које су уствари троугласте решетке у низу. Стрмији нагиб служи за покривање стаклом. Због релативно малих распона унутар хале мора да постоји систем стубова за ослањање носача.

Трозглобни и двозглобни решеткасти носачи могу имати различите облике зависно чему служе и какав простор обликују.

Решеткасте лучне конструкције налазе примену у конструкцијама хала великих распона, дрвених мостова и скела. Конструишу се са паралелним појасевима по кривини или кружног лука или параболе. Примери неких решеткастих конструкција дати су на слици 4.1.



Слика 4.1. Примери решеткастих конструкција [1]

5. Лепљене ламелиране конструкције

Лепљене ламелиране конструкције добијају се лепљењем дасака чиме се добија ламелирани елемент. Користе се све врсте дрвећа као и у класичним конструкцијама, али је врло важно да дрво буде I класе без грешака и суво.

Бар седам дана пре лепљења дрво се преноси из сушаре у радионице где ће бити извршено лепљење. У радионици влажност и температура морају имати константну вредност. Пре лепљења површине се морају лепо очистити од прашине и сличних материја. Уколико се на ламелама уоче неке механичке грешке дрвета оне морају бити одстрањене. Ламеле морају да буду обрађене и веома глатке.

Израда једне лепљене конструкције изводи се на равном поду радионице у којој се ради. Лепљење се изводи тако што се даске постављају једна на другу и састављају лепком. И то тако да влакна сваке даске стоје попречно у односу на претходну. Лепљено ламелирано дрво има бројне предности у односу на монолитно. Може се употребљавати за израду скоро свих конструкција. С обзиром на могућност израде великих распона, праве се кровови спортских хала (слика 5.1.), затворених базена и многих других објеката али и конструкције мостова и бројне украсне конструкције. Дакле, из претходног текста може се закључити да су конструкције од ЛЛД отпорне на воду и водену пару (водоотпорне), као и на дејство пожара (ватроотпорне), много више него челичне конструкције. Још једна велика предност је могућност израде разних облика, као што су:

- Ламелирана греда константне висине,
- Једнострани трапезни ламелирани носач,
- Двострани трапезни ламелирани носач равног интрадоса,
- Двострани трапезни ламелирани носач равног екстрадоса,
- Ламелирани лепљени лукови,
- Ламелирани лепљени лукови са затегом,
- Седласти (коленасти) ламелирани носач,
- Трозглобни ламелирани оквир монолитне израде,
- Трозглобни ламелирани оквир са делтоидним уметком.

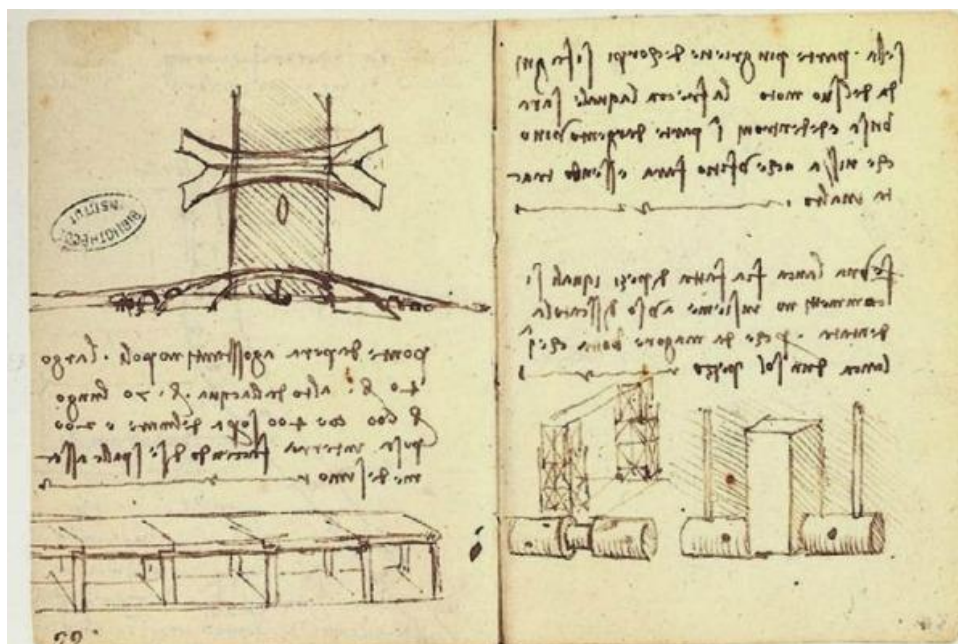
Негативна особина ЛЛД се односи на проблем транспорта дугачких елемената.

Иако се лепљено ламелирано дрво сматра новим производом, његово појављивање је везано за почетак XX века. Овај производ у то време није имао значајну примену, а један од најзначајнијих ограничавајућих фактора је била недовољно развијена технологија у производњи лепкова. Значајан искорак у производњи догодио се 1942. године када је у ову индустрију уведен фенол.



Слика 5.1. Кров од ЛЛД [24]

Леонардо да Винчи као и многи његови концепти су стотинама година испред свог времена, а мост под називом „*Golden Horn*“ је идеалан пример тога. Године 1501. он је направио скицу моста дугог 240 метара (слика 5.2). Мост је требало да има јединствен распон, и требало је да буде изграђен преко Златног рога – Босфорски мореуз који дели град Цариград, данашњи Истанбул. Први пут је предложен тако дуг распон моста. Грађевинске методе које су биле неопходне за изградњу такве структуре нису тада биле познате. Сходно томе, мост није могао бити изграђен. Све до 1996. године када је Норвешки уметник видео цртеж и преузео изградњу пројекта. У 2001. години мост засниван на Леонардовом цртежу саграђен је у Норвешкој. Као пешачки мост укупне дужине 108 метара (слика 5.3.). Према пројекту да Винчија турска влада је одлучила да изгради пуноправни мост Леонардовог дизајна заснован на оригиналном цртежу [12].



Слика 5.2. Цртеж моста Леонарда да Винчија [24]



Слика 5.3. Мост у Норвешкој по да Винчијевом цртежу [12]

Данас се дрвени мостови праве углавном као пешачки мостови од лепљеног ламелираног дрвета. Мада применом других материјала за градњу дрвених мостова је све мање.

6. Еколошки аспект

Еколошки исправни су они материјали који се, након анализе животног циклуса и утицаја на окружење, сматрају прихватљивим за употребу. То су материјали који не штете људском здрављу, у чијим се фазама циклуса емитује минимум отпада, рециклирани су или су материјали које је могуће рециклирати, природни и материјали добијени из лако доступних и обновљивих ресурса, као и дуготрајни материјали. Грађевинских материјала са оваквим карактеристикама је мало па се при селекцији морају поставити приоритети у складу са сваким појединачним пројектом. Еколошки исправни материјали нису само нови већ и неки традиционални материјали који поново постају актуални. Данас готово за сваки грађевински материјал постоји еколошки исправна алтернатива. Из године у годину на тржишту се појављује све више еколошки исправних грађевинских материјала. Међутим да би нека грађевина била еколошки исправна није довољан само правилан избор материјала већ и свођење на минимум употребе тих исправних материјала.

Природно дрво се сврстава у еколошки исправне материјале. То је материјал добијен из обновљивих и широко распрострањених ресурса. О добром квалитету треба да сведочи и сертификат о пореклу из контролисаних извора који се обнављају. Приоритет има дрво добијено из извора мање старости. Дрво које води порекло из шумских подручја веће старости као и неких тропских врста треба избегавати, јер је њихова распрострањеност све мања. Производња грађевинског дрвета је еколошки процес. Отпад који настаје при производњи се може искористити. Што се дрво мање третира заштитним премазима то је његова употреба безбеднија тј. биолошки исправнија. Са друге стране интензивно третирано дрво може садржати штетне органске супстанце. Трајност дрвета није велика као код неких вештачких материјала, и у зависности је од климатских услова средине којима је дрво изложено. Дрво са већом тврдоћом има и већу трајност, а животни век дрвета може да се продужи комбинацијом са неким другим трајнијим материјалима. Дрво је једини материјал који обезбеђује заштиту од радиоактивног зрачења, способно је да филтрира ваздух ентеријера и регулише његову влажност као и да апсорбује непријатне мирисе. Производња материјала на бази дрвета интензивнија је. У току производње овим материјалима се додају и штетне супстанце које се касније емитују у ваздух ентеријера и угрожавају здравље корисника зграде, али и радника који се баве производњом [14].

Са порастом еколошке свести оцењује се и еколошки потенцијал у грађевинским материјалима. Одређује се количина ослобођеног угљен диоксида као и уложена енергија која се ослободи при производњи јединице грађевинског материјала. У табели 6.1. је приказано поређење дрвене куће и куће од опеке, акценат је стављен на тежину, потрошњу енергије и емисији угљен-диоксида.

Табела 6.1. Поређење дрвене куће и куће од опеке у потрошњи [18]

1 m ² зиданог елемента	Дрвена кућа	Кућа од опеке
Тежина (kg)	71	273
Енергија (MJ)	271	876
Емисија CO ₂ (kg)	-50	58

Стога ће за постизање трајног развоја бити неопходно посветити више пажње уравнотеженој производњи као и потрошњи сировинских и енергетских извора. Предности дрвета се најлакше могу показати количином *сиве енергије* – енергије неопходне за добијање и припрему материјала са анализом века трајања. Морају се смањити емисије штетних гасова у индустрији, преусмеравањем грађевинске индустрије на природне материјале као што су дрво и камен. Обновљиве грађевинске материјале треба укључити већ у фази пројектовања зграде. За градњу дрвених грађевина данас постоје врло јаки разлози јер су захтевне еколошке и рационалне

конструкције. Најважније су промене и новитети који су уведени почетком осамдесетих година прошлог века [3].

7. Еврокод 5

Европска комисија је 1975. године покренула акциони програм у области грађевинарства. Циљ самог пројекта је уклањање техничких препрека за хармонизацију спецификација. У оквиру програма предузета је иницијатива за израду техничких правила која служе при прорачуну грађевинских конструкција. У почетку ова правила би се употребљавала као алтернатива важећим националним прописима, а касније би их у потпуности заменио. Комисија се петнаест година бавила развојем Еврокодова што је довело до првих европских прописа око 1980. године. Програм обухвата девет еврокодова који се састоје од великог броја делова.

Државе чланице сагласне су да се Еурокодови користе као погодни документи у следеће сврхе:

- За доказивање усаглашености зграда и других грађевинских објеката,
- Као основа за специфицирање уговора за грађевинске објекте и одговарајуће инжењерске услуге,
- Као оквир за израду хармонизованих техничких спецификација за грађевинске производе.

У Еврокод стандардима дата су уобичајна правила за свакодневни прорачун традиционалних и савремених конструкција и елемената. Неуобичајени начини грађења у Еврокодovima нису посебно обухваћени па пројектант у таквом случају мора да користи додатне анализе и експерименте.

За прорачун дрвених конструкција користи се Еурокод 5 или „EN 1995“. У овом делу Еврокода изложени су принципи и захтеви за сигурност, употребљивост и трајност дрвених конструкција. Заснива се на концепту граничних стања који се примењује са методом парцијалних коефицијената. За прорачун нових конструкција примењује се директно Еврокод 5, заједно са еурокодом 0 и еурокодом 1 у неким деловима.

Нумеричке вредности парцијалних коефицијената сигурности и других параметара поузданости препоручене су као основне вредности које обезбеђују прихватљив ниво поузданости. Оне су одабране уз претпоставку да је обезбеђен одговарајући ниво извођења и управљања квалитетом.

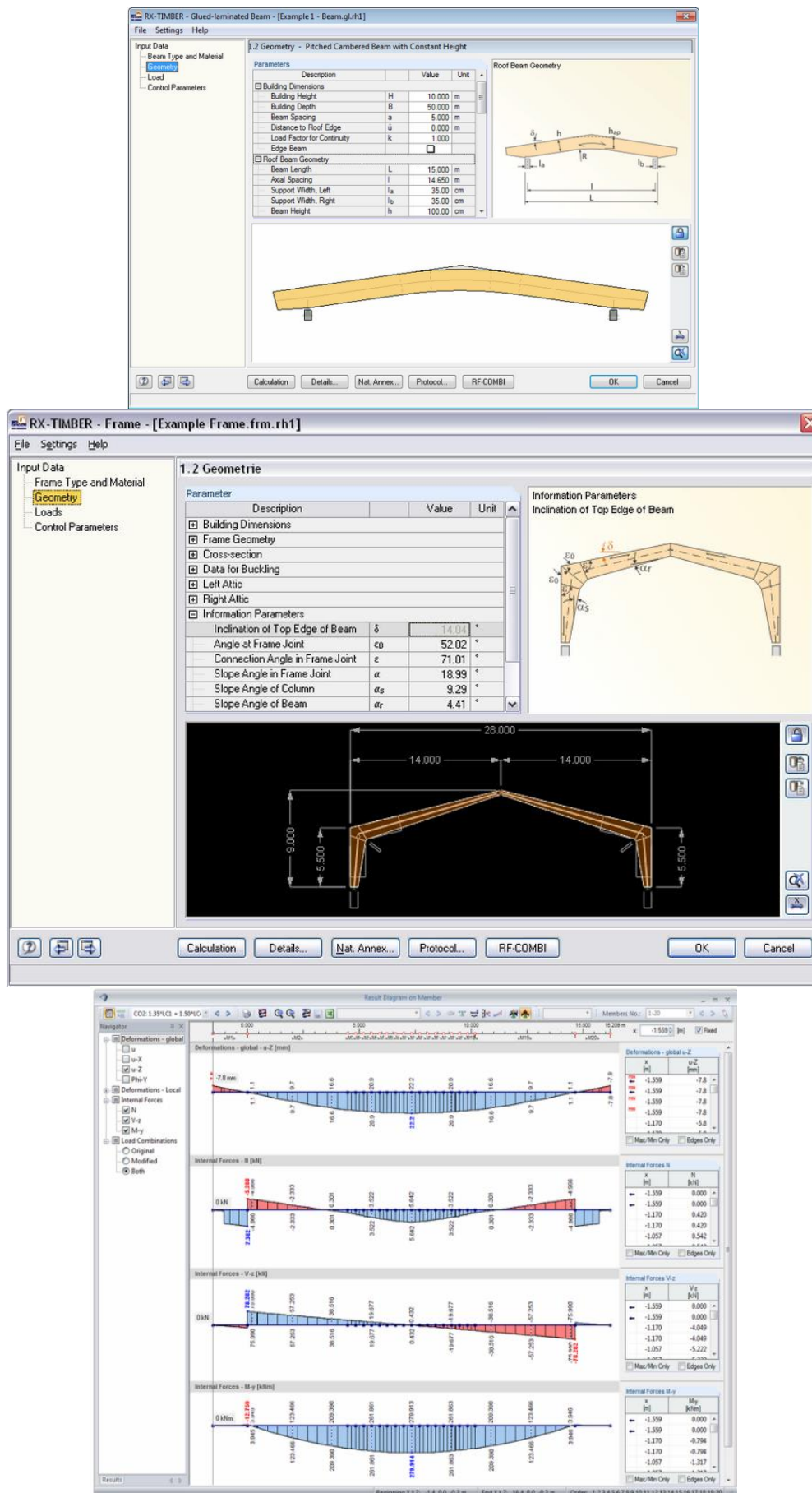
7.1. Област примене Еврокода 5

Еврокод 5 се примењује за прорачун зграда и других грађевинских објеката од дрвета или других производа на бази дрвета међусобно спојених лепком или неким другим спојним средством. Овај део Еврокода се односи на захтеве носивости, употребљивости, трајности и отпорности на пожар дрвених конструкција. Други захтеви, на пример они који се односе на термичку и звучну изолацију, нису обухваћени.

Еврокод намењен је за употребу заједно са:

- Еврокодом 0 који садржи основе прорачуна конструкција,
- Еврокодом 1 који садржи дејства на конструкције,
- Еврокодом 8 који садржи прорачун сеизмички отпорних конструкција када се дрвене конструкције граде у сеизмичким подручјима,
- Као и све делове еврокодова који садрже податке релевантне за дрвене конструкције [13].

Данас се за прорачун сложених дрвених конструкција према препорукама Еврокод стандарда раде у највећој мери употребом одговарајућих софтвера за структурну анализу конструкција (слика 7.1).



Слика 7.1 Анализа дрвених конструкција помоћу савремених софтвера [1]

7.2. Прорачун конструкцијских елемената од монолитног дрвета

Када на дрвене елементе делује аксијална сила затезања (слика 7.2.) мора да буде задовољен следећи услов:

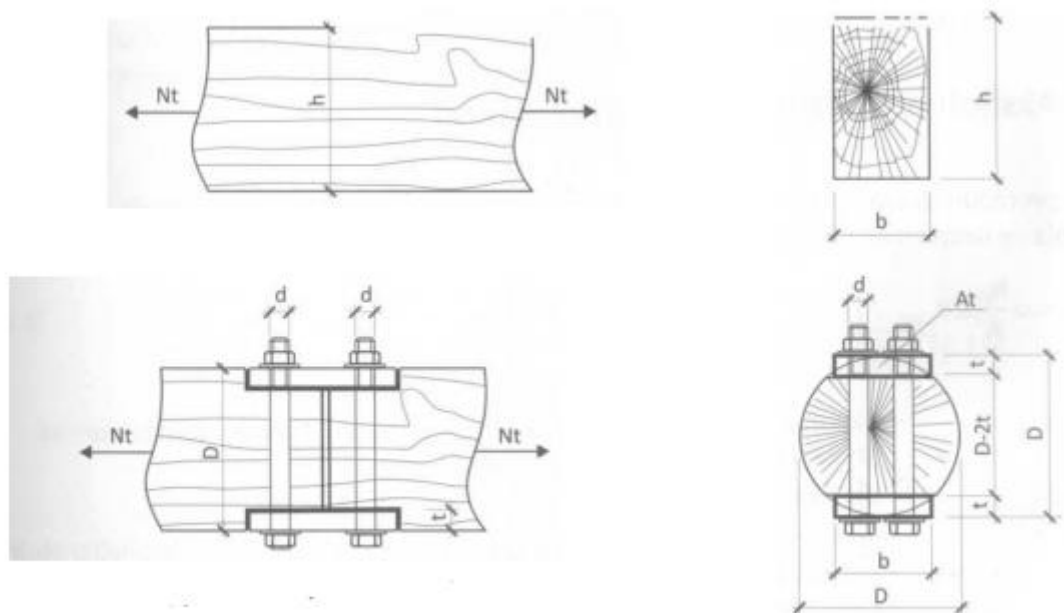
$$\sigma_{tII} = \frac{N_t}{A_o} \leq \sigma_{tII,dop}$$

Где је:

σ_{tII} – Напон затезања у правцу паралелном са пружањем влакана,

N_t – Сила затезања,

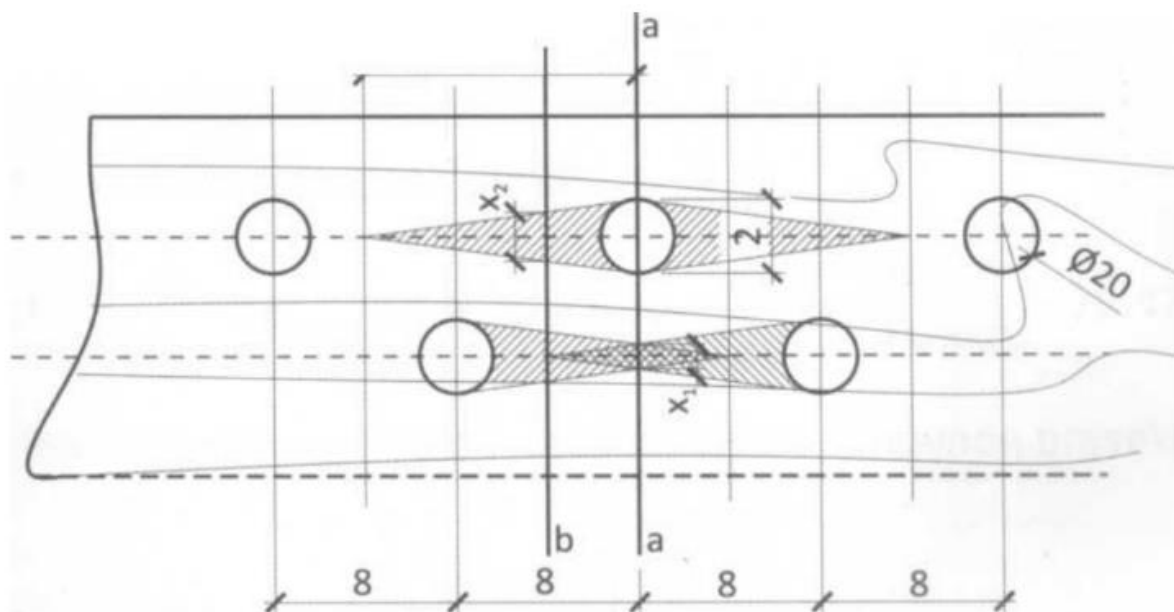
A_o – Нето површина попречног пресека, узимајући у обзир сва слабљења основног дрвеног елемента до којих долази када се примене различита спојна средства.



Слика 7.2. Приказ силе затезања која делује на дрвени елемент [15]

$$A_o = A = b \cdot h$$

При израчунавању нето површине мора се узети у обзир и експериментално утврђена чињеница да се свако слабљење пресека (слика 7.3.) у правцу деловања силе затезања N_t распростире на дужини која је једнака петоструком слабљењу, односно осовински на дужини $e = 6 \cdot d$.



Слика 7.3. Слабљење пресека отворима [15]

Ако усвојимо да је сила затезања $N_t = 60N$, а при томе димензије греде $b = 10cm$ и $h = 20cm$ можемо израчунати силу затезања елемента:

$$A_o = A = b \cdot h = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02m^2$$

$$\sigma_{tII} = \frac{N_t}{A_o} = \frac{60N}{0,02m^2} = 3000Pa = 0,003MPa \leq \sigma_{tII,dop}$$

Допуштени напони $\sigma_{tII,dop}$ узимају се из табела за одговарајућу врсту и класу дрвета али зависе и од случајева оптерећења коју разматрамо. У табели 7.1. дати су допуштени напони за неке врсте масивног дрвета према Еврокоду 5 у МПа.

Табела 7.1. Дозвољени напони за масивно дрво у МПа [25]

Vrsta naprezanja	Označavanje	Tip opterećenja	Masivno drvo, vlažnosti 18%				
			Četinari (smreka, jela, bor)			Liščari (hrast, bukva)	
			klasa				
			I	II	III	I	II
savijanje	σ_{md}	I	13.00	10.00	7.00	14.00	12.00
		II	14.95	11.50	8.05	16.10	13.80
		III	19.50	15.00	10.50	21.00	18.00
podužno zatezanje	σ_{tld}	I	10.50	8.50	0.00	11.50	10.00
		II	12.08	9.78	0.00	13.23	11.50
		III	15.75	12.75	0.00	17.25	15.00
poprečno zatezanje	σ_{tld}	I	0.25	0.25	0.00	0.35	0.35
		II	0.29	0.29	0.00	0.40	0.40
		III	0.38	0.38	0.00	0.53	0.53
pritisk	σ_{cld}	I	11.00	8.50	6.00	12.00	10.00
		II	12.65	9.78	6.90	13.80	11.50
		III	16.50	12.75	9.00	18.00	15.00
pritisk upravno na vlakna - bez gnječenja vlakana	σ_{cld}	I	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00
		II	2.30	2.30	2.30	3.45	3.45
		III	3.00	3.00	3.00	4.50	4.50
pritisk upravno na vlakna - sa malim gnječenjem vlakana	σ_{cld}	I	2.50	2.50	2.50	4.00	4.00
		II	2.88	2.88	2.88	4.60	4.60
		III	3.75	3.75	3.75	6.00	6.00
smicanje od poprečne sile	τ_{mld}	I	0.90	0.90	0.90	1.20	1.20
		II	1.04	1.04	1.04	1.38	1.38
		III	1.35	1.35	1.35	1.80	1.80
presecanje vlakana	σ_{ld}	I	3.50	3.00	2.50	4.00	3.50
		II	4.03	3.45	2.88	4.60	4.03
		III	5.25	4.50	3.75	6.00	5.25

За прорачун аксијално притиснутих елемената мора се узети у обзир њихова виткост која се прорачунава преко коефицијента ω .

$$\sigma_{cII} = \omega \frac{N_c}{A} \leq \sigma_{cIId}$$

Где је:

σ_{cIId} – Напон притиска у правцу паралелном са пружањем влакана,

N_c – Сила притиска,

A – Бруто површина попречног пресека, не узимајући у обзир сва слабљења основног дрвеног елемента до којих долази када се примене различита спојна средства,

ω – Коефицијент завистан од виткости елемента λ и који се израчунава на следећи начин:

1. За $\lambda \leq 75$

$$\omega = \frac{1}{1 - 0.8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2}$$

2. За $\lambda \geq 75$

$$\omega = \frac{\lambda^2}{3100}$$

Виткост елемента λ се дефинише на основу следећег израза:

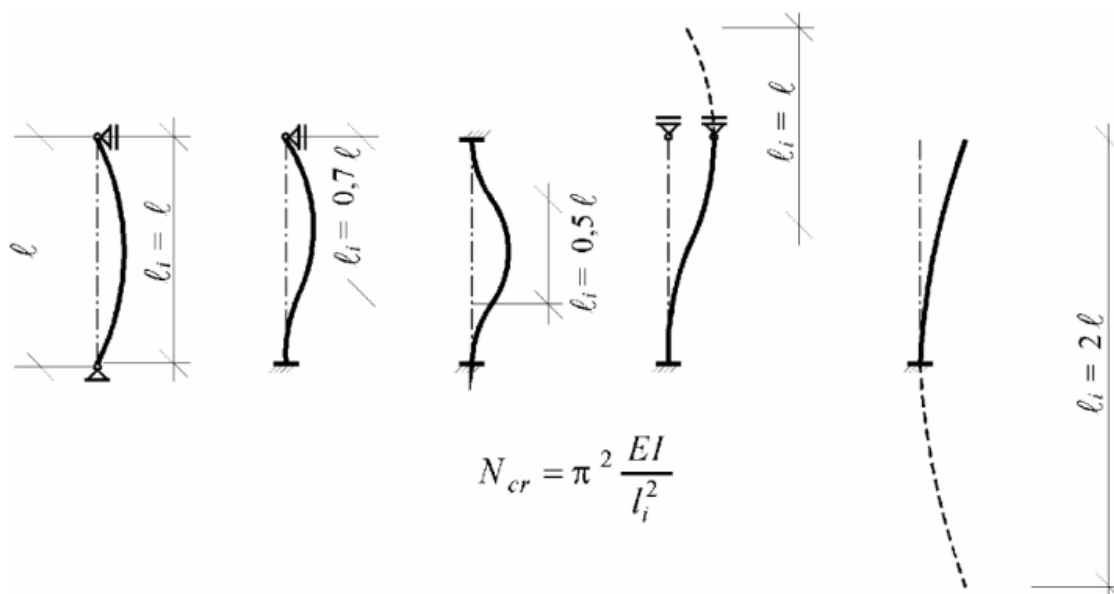
$$\lambda = \frac{l_i}{\sqrt{\frac{I_{min}}{A}}}$$

Где треба дефинисати још дужину извијања притиснутог елемента l_i .

Гранична вредност виткости је

- $\lambda_{max} = 150$, за главне носеће елементе,
- $\lambda_{max} = 120$, за главне носеће елементе за које се не може поуздано одредити тачна величина дужине извијања,
- $\lambda_{max} = 175$, за секундарне конструкцијске елементе.

Дужина извијања елемената за различите услове ослањања има различите вредности које су приказане на слици 7.4.



Слика 7.4. Вредности извијања различитих елемената [15]

За штапове решетке дужине извијања су следеће:

1. У равни решетке:

$l_i = l$, за појасне штапове,

$l_i = 0.8l$, за штапове испуне, ако се исти везују екстремима, односно,

$l_i = l$, за штапове који се везују везом на засек, можданицима или завртњевима,

2. Изван равни решетке:

Дужина зависи од размака укрућења притиснутог појаса.

Вредност коефицијента ω у зависности од виткости λ дат је у табели 7.2.

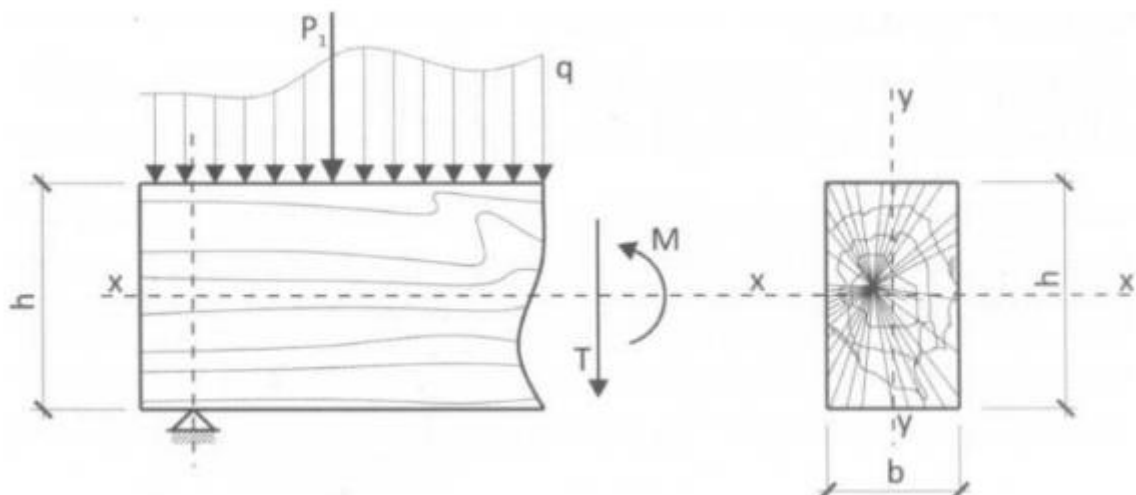
Табела 7.2. Коефицијент ω у зависности од λ [15]

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
20	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07
30	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13
40	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23
50	1,24	1,25	1,26	1,28	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40
60	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,61
70	1,64	1,67	1,70	1,74	1,78	1,82	1,87	1,92	1,97	2,02
80	2,07	2,12	2,17	2,22	2,27	2,33	2,39	2,45	2,50	2,56
90	2,62	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10	3,16
100	3,22	3,29	3,36	3,42	3,48	3,55	3,62	3,69	3,76	3,83
110	3,90	3,97	4,04	4,12	4,19	4,26	4,33	4,41	4,48	4,56
120	4,64	4,72	4,80	4,87	4,95	5,03	5,11	5,20	5,28	5,37
130	5,45	5,53	5,62	5,70	5,79	5,87	5,96	6,05	6,13	6,22
140	6,31	6,40	6,50	6,59	6,69	6,78	6,88	6,97	7,08	7,15
150	7,25	7,35	7,45	7,55	7,65	7,75	7,85	7,95	8,05	8,15
160	8,25	8,35	8,47	8,57	8,67	8,78	8,88	9,00	9,12	9,22
170	9,32	9,43	9,55	9,66	9,78	9,88	—	—	—	—

$$\omega = \frac{\lambda^2}{3100} = \frac{120^2}{3100} = 4,65$$

$$\sigma_{cII} = \omega \frac{N_c}{A} = 4,65 \frac{60}{0,02} = 13950 Pa = 0,013950 MPa \leq \sigma_{cII d}$$

Елементи који су изложени савијању називају се гредни носачи или само носачи. На слици 7.5. приказан је носач изложен правом савијању.



Слика 7.5. Носач изложен правом савијању [15]

Услед дејства момента савијања M и трансверзалних сила T јавиће се нормални напони и напони смицања према изразима:

$$\sigma_m = \frac{M_{max}}{W} \leq \sigma_{md}$$

$$\tau_{mII} = 1,5 \frac{T_{max} S_x}{b \cdot l} \leq \tau_{mII d}$$

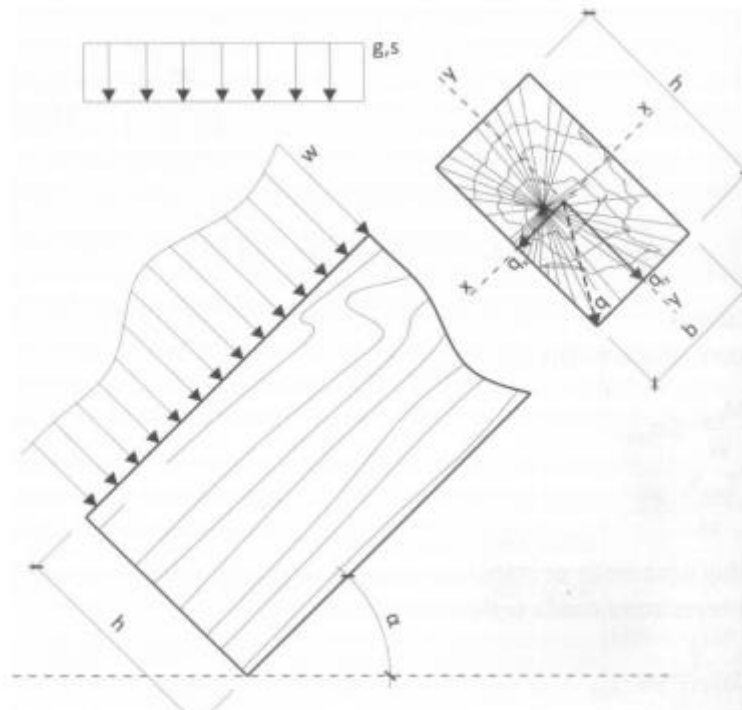
Последњи израз може се трансформисати под условом да се ради о правоугаоним попречним пресецима носача у следећу једначину:

$$\tau_{mII} = 1,5 \frac{T_{max}}{A} \leq \tau_{mII d}$$

$$\sigma_m = \frac{M_{max}}{W} = \frac{6000}{0.00067} = 9000000 Pa = 9 MPa \leq \sigma_{md}$$

$$\tau_{mII} = 1,5 \frac{T_{max}}{A} = 1,5 \frac{60}{0.02} = 4500 Pa = 0,0045 MPa \leq \tau_{mII d}$$

На слици 7.6. приказан је носач изложен косом савијању. Овај облик савијања се у дрвеним конструкцијама кровова често јавља као оптерећење рожњача [15].



Слика 7.6. Носач изложен косом савијању [15]

$$\sigma_m = \frac{M_{max,x}}{W_x} + \frac{M_{max,y}}{W_y} \leq \sigma_{md}$$

$$\tau_{mII} = \sqrt{\tau_{mII,x}^2 + \tau_{mII,y}^2} \leq \tau_{mII d}$$

$$f_{max} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq f_{dop}$$

8. Закључак

Дрво је конструкцијски материјал и поседује веома добре карактеристике када се упореди са другим материјалима. Оно је анизотропно, а као конструкцијски материјал користи се у грађевинарству и индустрији намештаја, у бродоградњи, индустрији возила, пољопривреди и рударству.

Израдом куће од дрвета добијамо природан, здрав, кисеоником пун и квалитетно влажан простор за добар и здрав живот. Температура дрвета је увек једнака температури ваздуха па нам то даје осећај топлоте те се дрво сматра „топлим“ грађевинским материјалом.

Правилном употребом дрвета могу се остварити велике уштеде приликом градње или реконструкције објеката. Поред тога што је природан материјал дрво је у потпуности искористиво али и обновљив материјал. Углавном се може наћи свуда у природи.

Неки од недостатака монолитног дрвета превазиђени су употребом лепљеног ламелираног дрвета (ЛЛД). Конструктивни елементи од лепљеног ламелираног дрвета имају све чешћу примену захваљујући својим изузетним карактеристикама. Премошћавање великих распона, велика механичка чврстоћа, отпорност на пожар, изузетна естетска својства су само неки од квалитета које поменути елементи поседују.

Данас се прорачуни сложених дрвених конструкција, према препорукама Еврокод 5 стандарда, раде у највећој мери употребом многобројних савремених софтвера за структурну анализу конструкција.

Због свих ових добрих карактеристика дрво је и данас неопходан материјал за градњу. Иако нам новије време намеће нове материјале како природне тако и вештачке, дрво је било и остало незамењив материјал у свим сегментима градње.

9. Литература

- [1] Марјановић В., Металне и дрвене конструкције, скрипта у електронском облику, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2018, Крагујевац.
- [2] Предојевић М., Јовић Д. и Орловић С., Лепе шуме Србије – научни часопис, 2010. - Нови Сад
- [3] Гојковић М, Дрвене конструкције, Грађевински факултет у Београду, март 1983, Београд.
- [4] Китек Кузман М., Биотехнички факултет у Љубљани, Словенија, 28.05.2009., Љубљана.
- [5] <http://www.gir.rs/sr/drvo/> Приступљено: 08.06.2018.
- [6] <https://prvisvetskirat.rs/prolog/balkan-i-juznoslovenske-zemlje/tipovi-kuca-brvnare/?script=lat>, Приступљено: 16.05.2018.
- [7] Благојевић Б., Грађевинске конструкције – уџбеник за I и II разред грађевинске школе, Завод за уџбенике Београд, 2010. Београд
- [8] Благојевић Б., Грађевинске конструкције – уџбеник за III разред грађевинске школе, Завод за уџбенике Београд, 2008. Београд
- [9] Ковачевић Д., Бјелановић А., Анализа лучног дрвеног моста посебне конструкције, Грађевински факултет у Ријеци, 2008. Ријека
- [10] Јовановић Т., Трајанов Мост, 22.април 2010. <https://www.vreme.com/cms/view.php?id=927146>, Приступљено: 12.06.2018
- [11] <https://www.savokusic.com/blog/basta-kuca-stan/stolar-u-ku%C4%87i/tehnika-spajanja-drвета> Приступљено: 16.06.2018.
- [12] <https://www.mojenterijer.rs/gradnja/most-prema-projektu-leonarda-da-vinciја> Приступљено: 08.06.2018
- [13] EN 1995-1-1:2004, Еврокод 5, Прорачун дрвених конструкција, Део 1-1: Општа правила и правила за зграде, Новембар 2009, Београд
- [14] Косановић С., Еколошки исправне зграде – увод у планирање и пројектовање, Библиотека Академија, Задужбина Андрејевић, 2009. Београд
- [15] <http://www.vpts.edu.rs/nastavni-materijali/djordjedjuricic/Metalne%20i%20drvene%20konstrukcije/Drvene%20konstrukcije/Proracun%20drvenih%20konstrukcija%20-konacno.pdf> Прорачун конструкцијских елемената, Приступљено 15.11.2018.
- [16] ДУГОРОЧНИ И СРЕДЊОРОЧНИ ПЛАН ПОСЛОВНЕ СТРАТЕГИЈЕ И РАЗВОЈА 2017 – 2026, ЈАВНО ПРЕДУЗЕЋЕ ЗА ГАЗДОВАЊЕ ШУМАМА „СРБИЈАШУМЕ“
- [17] Рече В., Дрво – технички материјал, Универзитет у Загребу 2009. Загреб
- [18] Јајић М., Живановић-Трбојевић Р., Површинска обрада дрвета, Београд 2000.
- [19] <http://tehnickoana.weebly.com/105910741086107610911072108810931080109010771082109010911881091108010751088107211061077107410801085107210881089109010741086.html>, Приступљено: 09.06.2018.
- [20] Кочетов Мишулић Т., Дрвене конструкције, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за грађевинарство, 2010. Нови Сад
- [21] Николић Д., Дубочанин Н., Вукелић Д., Дрвене стенице, УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊА ЛУЦИ АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ БАЊА ЛУКА, 2013. Бања Лука
- [22] Кирјаковић М., кровови са распињачама, 2005. Шабац
- [23] Костић Д., Коси кровови 2 - класичне дрвене конструкције, Грађевински Факултет у Београду, 2017. Београд
- [24] <http://old.lkvcentar.com/lld-lepljeno-lamelirano-drvo/lld-na-prostoru-bivse-sfrj#.WyOhmKczbIV>, Приступљено: 08.06.2018
- [25] <http://www.vpts.edu.rs/nastavni-materijali/djordjedjuricic/Metalne%20i%20drvene%20konstrukcije/Drvene%20konstrukcije/drvo-dopusteni%20naponi.pdf>, допуштени напони за дрво за носеће конструкције, Приступљено 15.11.2018.