

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:

Brezočnik, J., 2013. Lesene skeletne nosilne konstrukcije iz hlodov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Lopatič, J.): 55 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:

Brezočnik, J., 2013. Lesene skeletne nosilne konstrukcije iz hlodov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Lopatič, J.): 55 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

PRVOSTOPENJSKI

ŠTUDIJSKI PROGRAM  
GRADBENIŠTVO (UN)  
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat/-ka:

**JAKA BREZOČNIK**

## **LESENE SKELETNE NOSILNE KONSTRUKCIJE IZ HLODOV**

Diplomska naloga št.: 55/B-GR

## **TIMBER FRAME LOAD BEARING STRUCTURES MADE OF ROUNDWOOD**

Graduation thesis No.: 55/B-GR

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Lopatič

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 17. 07. 2013

## **IZJAVE**

Podpisani **Jaka Brezočnik** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom  
**»Lesene skeletne nosilne konstrukcije iz hlodov«.**

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

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

Ljubljana, avgust 2013

Jaka Brezočnik

**BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>624.011.1(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Jaka Brezočnik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Jože Lopatič</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Lesene skeletne nosilne konstrukcije iz hlodov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>25 str., 2 pregl., 39 sl., 7 en.,</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>obli les, stikovanja oblega lesa, vrste dreves, okrogli prečni prerez, nosilnost oblega lesa, tesarska orodja, uporaba lesa, sonaravna gradnja</b>

**Izveček**

V diplomski nalogi je podan splošen opis gradnje skeletnih konstrukcij iz hlodov. Gre za gradnjo iz v prečnem prerezu nerazžaganih hlodov, torej v njihovi obli obliki. Opisane so lesne vrste, njihove lastnosti ter možnosti uporabe. Prednosti uporabe oblega lesa pred žaganim je precej, denimo manjši vpliv na okolje, večja nosilnost, trajnost in estetika; med slabosti oblega lesa pa štejemo njegovo geometrijsko nepravilnost, pomanjkanje predpisov za projektiranje ter strah ljudi pred porušitvijo tovrstnih objektov. Podrobneje je opisana nosilnost oblega lesa v primerjavi z žaganim, tesarska orodja, ter gradnja sama. Kot primeri skeletne gradnje iz hlodov so predstavljeni trije objekti, prvi stoji na domačih tleh, druga dva pa v Angliji in na Škotskem. Namen diplomske naloge je osvetliti področje lesene gradnje, ki v Sloveniji po mnenju avtorja ni dovolj razvito. Viri raziskave vključujejo pogovore z graditelji, ki imajo izkušnje s to vrsto konstrukcij, avtorjevo lastno znanje, strokovne članke iz zbornikov in monografije.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 624.011.1(043.2)  
**Author:** Jaka Brezočnik  
**Supervisor:** Assoc. prof. Jože Lopatič, Ph.D.  
**Title:** Timber frame load bearing structures made of roundwood  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Scope and tools:** 25 p., 2 tab., 39 fig., 7 eq.,  
**Keywords:** roundwood, joining techniques of roundwood timber, tree species, round cross section, strength of roundwood, carpenter tools, use of wood, natural building

### **Abstract**

In this bachelor's thesis, a general description about the construction of skeletal structures out of roundwood is introduced. This method of construction involves buildings built from cross section uncut logs, as found in nature. Included in the thesis are types of wood, their characteristics, and ways of using them. Round wood has many advantages in comparison to sawn wood, such as a lower environmental impact, greater bearing strength, durability and aesthetics. The weaknesses of round wood include its geometrical irregularity, lack of planning regulations and also people's fear of such buildings collapsing. Further description includes the capacity of round wood in comparison to the sawn type, description of carpenter tools and the construction itself. Three buildings are described as examples of log skeletal constructions, one located in Slovenia and two in England and Scotland. The main intention of this research is to highlight this field of wood construction which, in Slovenia, isn't sufficiently developed, according to author's opinion. Among the sources used were interviews with builders, experienced in these types of constructions, as well as the author's own knowledge of the subject, technical articles in journals and monographs.

**ZAHVALA**

Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomskega dela ter celotnem študijskem procesu se iskreno zahvaljujem svoji mami Maji ter očetu Branetu. Brez njiju bi bilo moje izobraževanje neprimerno težje. Vedno sta mi bila pripravljena pomagati, nekatere stvari pa sta vzela kot samoumevne. Prav tako bi se rad zahvalil vsem prijateljem, sošolcem in profesorjem, ki so me spremljali skozi vsa leta študija ter z mano delili ta zanimiv in ploden del mojega življenja. Pohvalil bi rad tudi prijazno osebje knjižnice za njihovo pomoč ter dobro voljo.

Nazadnje bi se rad zahvalil mentorju pričujoče diplome, izr. prof. dr. Jožetu Lopatiču, za njegov doprinos k mojemu delu.

Hvala!

## KAZALO VSEBINE

IZJAVE .....	I
BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....	II
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....	III
ZAHVALA.....	IV
KAZALO SLIK.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC.....	VIII
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivacija.....	1
1.2 Cilj.....	2
<b>2. LESENE SKELETNE NOSILNE KONSTRUKCIJE IZ HLODOV .....</b>	<b>3</b>
2.1 O skeletnih konstrukcijah iz hlodov .....	3
2.2 Drevesne vrste in njihovo izkoriščanje .....	4
2.2.1 Panjski gozd.....	4
2.2.2 Plantažno gozdarstvo .....	4
2.2.3 Drevesne vrste .....	5
2.3 Orodja .....	6
2.4 Stikovanja .....	9
2.4.1 Stikovanja brez kovinskih vmesnih elementov.....	9
2.4.1.1. Spoj na čep in utor .....	10
2.4.1.2 Poševne diagonale .....	10
2.4.1.3 Ostali.....	11
2.4.2 Stikovanje s kovinskimi vmesnimi elementi .....	12
2.5. Nosilnost.....	13
2.5.1 Spreminjanje elastičnega modula in tlačne trdnosti po prečnem prerezu .....	17
2.5.2 Primerjava geometrijskih količin okroglih debel in pravokotnih tramov, izrezanih iz njih.....	16
2.6 Postopki gradnje .....	18
<b>3 OBSTOJEČI OBJEKTI.....</b>	<b>20</b>
3.1 Nadstrešek v Iškem Vintgarju.....	20
3.2 »Kids in Need and Distress« Children’s Centre .....	22
3.3 The Woodland House .....	24
<b>4 ZAKLJUČEK.....</b>	<b>26</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>28</b>

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Panjsko gozdarjenje .....	4
Slika 2: Plantaža .....	4
Slika 3 Verižna električna žaga in japonska ročna žaga .....	7
Slika 4: Nož za lupljenje.....	7
Slika 5: Šilčki .....	7
Slika 6: Motorna žaga za izdelovanje utorov .....	8
Slika 7: Tesarska dleta.....	8
Slika 8: Ben Law med vrtnjem lukenj z motornim vrtalnikom .....	8
Slika 9: Vrvi .....	8
Slika 10: Voziček za prevažanje hlodov .....	8
Slika 11: Šestilo.....	8
Slika 12 : Stikovanje dveh hlodov.....	9
Slika 13: Čep .....	10
Slika 14: Utor .....	10
Slika 15: Stik poševne diagonale in stebra .....	10
Slika 16: Različni stiki gred .....	11
Slika 17: Primer povezovanja z jeklenimi cevmi .....	12
Slika 18: Upogibne napetosti in povos .....	15
Slika 19: Povezava med trdnostjo in togostjo .....	15
Slika 20: Točkovna obtežba na hlod.....	15
Slika 21: Pravokotnik z očrtanim krogom, ki ponazarja tram, izrezan iz hloda.....	16
Slika 22: Potek vrednosti elastičnega modula in natezne trdnosti po prerezu.....	17
Slika 23: Skica temeljenja .....	19
Slika 24: Skeletni okvir iz oblega lesa ter angleške oznake njegovih delov .....	19
Slika 25: Točkovno temeljenje.....	19
Slika 26: Temeljenje.....	21
Slika 27: Stik stebra in nosilca ter povezava med njima .....	21
Slika 28: Stik stebra in diagonalne ojačitve.....	21



Slika 29: Slemenska povezava vseh špirovcev .....	21
Slika 30: Nadstrešek v Iškem Vintgarju.....	21
Slika 31: »Kids in Need and Distress« Children's Centre .....	23
Slika 32: Enota za prebivanje učiteljev .....	23
Slika 33: Med gradnjo.....	23
Slika 34: Notranjost objekta.....	23
Slika 35: Skelet brez fasade .....	23
Slika 36: Arhitekturna zasnova Benove hiše.....	25
Slika 37: Zgrajena hiša v svoji končni podobi .....	25
Slika 38: Lesena okenska polica .....	27
Slika 39: Skelet med gradnjo .....	27

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Vrste dreves ter njihove lastnosti.....	5
Preglednica 2: Rezultati preizkušanja.....	15
Preglednica 3: Primerjava geometrijskih količin.....	16

## **1. UVOD**

### **1.1 Motivacija**

V Sloveniji je izkoriščanje naravnih virov eden izmed primarnih ciljev razvoja v naslednjih letih (Popit, S., Petek, M., Arnuš, M. 2009). Vse bolj se vračamo nazaj k naravi, ker se v današnjih modernih, odtujenih objektih bitje, ki je tisočletja živelo in se razvijalo v neposrednem stiku z njo, ne počuti več dobro. Na vsakem koraku nas mediji zasipajo z informacijami o zdravi prehrani, ločevanju odpadkov, podnebnih spremembah ter seveda tudi o naravni gradnji objektov. V to zadnjo rubriko sodi tudi gradnja lesenih objektov.

Zdi se mi, da se vse bolj odmikamo od naravnih oblik in materialov. Prebivalstvo se, nasprotno kot pred stoletjem, zdaj seli iz mesta na podeželje. Tam si želijo stika z naravo, ki ga lahko dobijo tudi preko življenja v hiši iz naravnih materialov. Gradnja take hiše pa je vse prej kot enostavna. Potrebno je poznavanje zakonov narave ter njihovo implementiranje.

Slovenija je znano ena izmed najbolj gozdnatih držav na svetu z ogromnim potencialom na tem področju. V izobraževalnem procesu posvečamo premalo pozornosti leseni gradnji. Na prvi stopnji univerzitetnega študija gradbeništva v Ljubljani je za lesene konstrukcije predviden en predmet s štirimi kreditnimi točkami.

Moja želja je osvetliti področje lesene gradnje in pokazati možne potenciale, ki se skrivajo v tej panogi. Ta diploma temelji na znanju ljudi, ki so znali izkoristiti les kot dobrino, s katero so si zgradili domove ter druge objekte, ki jim lajšajo vsakodnevno življenje.

Moja motivacija je pridobiti dovolj teoretičnega in praktičnega znanja, da si bom zmožen zgraditi hišo z vrsto nosilne konstrukcije, ki je opisana v tem diplomskem delu.

## 1.2 Cilj

V prvem delu se diplomska naloga ukvarja s predstavitvijo gradnje lesenih skeletnih konstrukcij iz hlodov. Povzet je celoten cikel gradnje, torej: priprava, gradnja, vzdrževanje in odstranjevanje konstrukcije.

Surovina za gradnjo so hlodi. Opisane so drevesne vrste, ki dajejo hlode, primerne za ta način gradnje. Na kratko je predstavljeno usmerjeno gozdarjenje, ki daje kakovostne rezultate.

Bistvo gradnje je stikovanje elementov. Stiki morajo biti primerno oblikovani, dimenzionirani, izvedeni in zaščiteni. Poznamo veliko vrst stikov. Opisani so nekateri najbolj pogosti tipi, ki jih srečamo pri stavbah. Podane so pregledne skice, s katerimi si bralec lahko lažje predstavlja stikovanje dveh oblih elementov.

V poglavju o nosilnosti je predstavljena osnovna prednost uporabe oblega lesa. Njegova vlakna so nedotaknjena, niso poškodovana zaradi rezanja, kar se odraža v večji nosilnosti kot pri tesanem lesu pri istem prečnem prerezu. Podane so preglednice, ki so izdelane na podlagi rezultatov eksperimentalnih preizkusov. Ti podatki pričajo o do 50 % boljši nosilnosti pri upogibnem preizkusu. Natezna trdnost in elastični modul lesnih vlaken sta odvisna od njihovega položaja v hlodu. Vlakna v zunanem delu, t.i. beljavi, imajo višjo natezno trdnost in večji elastični modul kot vlakna v notranjem delu, t.i. jedrovini. Obli elementi imajo torej v primerjavi s tramovi, pri katerih ta vlakna odrežemo, boljše trdnostne in togostne karakteristike (Law, B. 2010).

Gradnja tovrstne konstrukcije zahteva več faz. Potrebno je izbrati primerna drevesa, ki se jih poseka ob pravem času ter skrbno pregleda zaradi morebitnih napak. Temeljenje je specifično, saj je tovrstna konstrukcija praviloma lažja od drugih vrst konstrukcij, ki se trenutno uporabljajo. Izdelava zahteva veliko ročnega dela, za kar potrebujemo kopico orodij, ki so se skozi čas uveljavila kot zaupanja vredna. Dvigovanje konstrukcije je svojevrsten projekt znotraj projekta gradnje, saj zahteva sočasno delo velikega števila ljudi ali pa uporabo mehanizacije.

V zaključku so povzete prednosti in slabosti skeletnih konstrukcij iz hlodov. Podanih je še nekaj idej za možnost uporabe take vrste konstrukcij v Sloveniji.

## **2. LESENE SKELETNE NOSILNE KONSTRUKCIJE IZ HLODOV**

### **2.1 O skeletnih konstrukcijah iz hlodov**

Skeletne konstrukcije iz hlodov so hibrid kladne gradnje iz Kanade in Severne Amerike ter klasičnih okvirnih konstrukcij iz hrasta v Veliki Britaniji (Law, B. 2010). So ena izmed okolju prijaznejših oblik v gradbeni industriji, ki je ena najbolj energijsko požrešnih panog na našem planetu. Skeletne konstrukcije iz hlodov temu fenomenu nasprotujejo, saj so surovine za gradnjo lokalno pridobljene in s tem ni potreben transport materialov, ki lahko zahteva tudi več tisoč kilometrov poti. Estetika teh konstrukcij je neprimerljiva z modularno gradnjo, ki trenutno kraljuje v večini urbanih naselij, ker upošteva naravne linije, ki so človeku prijetnejše tako na pogled kot tudi na otip. Zanje je potrebno veliko manj lesa kot za kladno gradnjo (Law, B. 2010).

Les za gradnjo iz hlodov se praviloma pridobiva iz vsakoletnega redčenja lesa. (Chrisp, T.M., Cairns, J., Gulland, C. 2003). Za posek so primerna mlajša drevesa, saj ne potrebujemo velikih prečnih prereзов, ker ni izgub pri žaganju tramov (Law, B. 2010). Ker so drevesa manjših prečnih prereзов že v naravni obliki uporabljena kot nosilci, je logično, da lahko razmišljamo o njihovi uporabi v konstrukcijske namene. Edino delo, ki ga imamo, je, da hlod olupimo ter ga posušimo, v veliki večini primerov pa še to ni potrebno - za razliko od rezanega lesa, kjer moramo hlode transportirati do žage, predelati žagovino, ki nastane ob rezanju, razrezan les skladiščiti, ga posušiti, ga razvrstiti v razrede itd. Tudi pri sušenju je med postopkoma velika razlika. Žagan les se pri sušenju bolj deformira od oblega. V prid oblemu lesu govori tudi večja povprečna nosilnost ter manjša variabilnost fizikalnih lastnosti (Wolfe, R., Murphy, J. 2005). Tlačna trdnost hlodov macesna (Law, B. 2010) je pri 5% fraktili pri preizkusu znašala  $3.8 \text{ KN/cm}^2$ .

Tako pridobljen les predstavlja cenovno ugoden vir, ki je bil prvotno namenjen izdelovanju papirja, lesenih plošč ter lesa za kurjavo, v zadnjem desetletju pa opažamo porast uporabe tega materiala v konstrukcijske namene. Glavni cilj razvoja tovrstne gradnje je izgradnja enonadstropnih hiš, namenjenih bivanju, izobraževanju in druženju, ter lokalna samooskrba, pri kateri si bodo prebivalci nekega področja zmožni sami zgraditi omenjene objekte (Chrisp, T.M., Cairns, J., Gulland, C. 2003).

## 2.2 Drevesne vrste in njihovo izkoriščanje

Cilj usmerjenega gozdarjenja je pridobiti čim bolj ravne hlode, ki so zrasli v relativno kratkem času. Pri tem prevladujeta dve vrsti gozdarjenja: panjsko in plantažno.

### 2.2.1 Panjski gozd

Panjsko gozdarjenje je tradicionalen način upravljanja z gozdovi. Gre za goste nasade dreves s trdim lesom, kjer več hlodov raste iz enega štora. Ko dosežejo primerno višino in premer, se jih poseka. Sečnja poteka v zimskem času, ko je v drevju najmanj soka. Spomladi se na sveže posekanih območjih gozdna podrast kopa v izobilju svetlobe, ki spodbudi rast novih poganjkov. Ti poganjki bodo čez 20-25 let primerni za sečnjo in tako se krog ponovi. Za to vrsto gozdarjenja je najbolj primerno drevo kostanj, ki hitro raste, ima malo beljave ter je zelo odporen (Law, B. 2010).



Slika 1: Panjsko gozdarjenje

<http://www.arbortectreecare.co.uk/tree-pruning-and-trimming> (Pridobljeno 10.8.2013.)

### 2.2.2 Plantažno gozdarstvo

Plantažno gozdarstvo je pojem, ki se nanaša na nasade dreves z mehkim lesom. Drevesa rastejo blizu skupaj, zato v iskanju svetlobe rastejo naravnost v nebo. Posledica so ravni hlodi z malo stranskimi vejami. Najdemo lahko tudi do 13 m dolge in 25 cm debele hlode. Kot takšni so idealni za skeletno gradnjo. V gostem sestoju je rast počasna, zato je les gostejši in tako bolj primeren za gradnjo. Na ta način se pridobivajo hlodi izključno mehkih vrst lesa (Law, B. 2010).



Slika 2: Plantaža

<http://2.bp.blogspot.com/-CCNd7AOhUOY/UMgKKBtqul/AAAAAAAAAOk/G35v7MpiOkU/s1600/5992670-plantation-rubber-trees-in-vietnam.jpg> (Pridobljeno 10.8.2013.)

### 2.2.3 Drevesne vrste

Preglednica 1 : Drevesne vrste ter njihove lastnosti. (Povzeto po Law, 2010)

Ime	Rastišče	Rastne značilnosti	Lastnosti lesa	Trdnost, trdota	Odpornost na zunanje vplive	Gostota	Obdelava in uporaba
<i>Pinus sylvestris</i> <b>Rdeči bor</b>	Celotna Evropa (raste od Španije do Norveške) in Severna Azija. Izvira iz Škotske.	Zraste do 30 m. Nezahteven glede zemlje. Hitro se zasaadi, raste pa počasi.	Jedrovina je rumeno-rjava do rdeče-rjava. Smolnat.	Trden in relativno trd les.	Neodporen.	510 kg/m <sup>3</sup>	Obdeluje se z lahkoto. Problem so smolnata mesta. Grče rade izpadajo. Se hitro suši. Uporablja se za nosilce, predelne stene, tla.
<i>Larix decidua</i> <b>Navadni macesen</b>	Naravno domuje v višavah evropskih gora. Danes ga najdemo povsod po Evropi.	Zraste do 45 m. Raste hitro. Najbolj kvaliteten les je na višjih rastiščih.	Rdeč ali rdeče-rjav. Izjemno smolnat.	Trden in trd les. Dober za upogibno obremenitev. Najboljši izmed mehkih vrst.	Srednje odporen.	540 kg/m <sup>3</sup>	Potrebno je predhodno izvrtavanje. Grče izpadajo. Najbolj uporaben mehki les. Uporaben za nosilne elemente, streho, tla, špirovce, opaževanje.
<i>Fraxinus excelsior</i> <b>Beli jesen</b>	Evropa, Severna Amerika, Zahodna Azija.	Zraste do 40 m. Nezahteven glede zemlje. Pozno ozeleni. Uspeva kot panjski gozd.	Ni razlike med jedrovino in belino. Rumenkaste barve.	Trden in trd. Podobno kot hrast. Dober za hipne obremenitve. Je prožen in elastičen.	Neodporen.	710 kg/m <sup>3</sup>	Zelo primeren za obdelavo in za elemente, ki so zaščiteni pred dežjem. Uporaben za diagonalne podpore ter tla.
<i>Castanea sativa</i> <b>Pravi kostanj</b>	Jugozahodna Evropa, Avstralija, Severna Afrika in Azija.	30 m in več. Topla peščena tla. Uspeva kot panjski gozd.	Rumeno-rjavkast. Malo beljave.	Trd, podobno nosilen kot hrast, vendar manj.	Zelo odporen.	560 kg/m <sup>3</sup>	Starejša drevesa izkazujejo spiralno rast. Potrebno predhodno izvrtavanje. Zaradi odpornosti je vsestranski. Skeletne konstrukcije iz hlodov.
<i>Quercus robur</i> <b>Hrast dob</b>	Celotna Evropa, Severna Afrika in Azija.	Zraste do 30 m. Raste počasi.	Rumenkasto rjav z izrazito belino.	Zelo trden in trd.	Zelo odporen.	720 kg/m <sup>3</sup>	Zmerno primeren za obdelavo. Obdeluje se svežega. Zaradi velikega deleža beline neprimeren za konstrukcijske elemente. Uporablja se za tla in moznike.

## 2.3 Orodja

Človeštvo je skozi zgodovino iznašlo številna orodja, ki nam pomagajo pri vsakodnevnih opravilih. Tudi pri gradnji lesenih konstrukcij smo si delo olajšali z različnimi ročnimi in strojnimi orodji. Z njihovo uporabo skrajšamo čas, potreben za izvedbo določenega dela. Pri gradnji iz oblega lesa potrebujemo veliko znanja za uporabo ustreznih pripomočkov.

Kraljica vseh orodij v tej panogi je motorna žaga (glej sliko 3). Z njo lahko razžagamo ogromne količine lesa v relativno kratkem času. Uporablja se za prečno žaganje hlodov, izdelovanje sedel, naležnih ploskev itd. Je zanesljiva, močna in nevarna. Z njo lahko delajo le izkušeni delavci, opremljeni s primernimi zaščitnimi sredstvi.

Japonska ročna žaga (glej sliko 3) je ena izmed bolj natančnih ročnih žag na svetu. Deluje na principu potega, zato je rezilo vedno popolnoma ravno, saj ne prihaja do njegovega uklona. Rezi so gladki, včasih so videti kot poskobljani. Uporabljamo jo pri stikih, kjer je potrebna velika natančnost.

Za lupljenje hlodov uporabljamo različne nože (glej sliko 4), ki so bodisi pritrdjeni na dolg lesen ročaj ali pa so oblikovani tako, da imajo na vsaki strani ročaj, ki ga uporabnik lahko prime v dlan ter tako lupi deblo.

V obli gradnji uporabljamo okrogle lesene moznike, na voljo pa sta dve možnosti: moznike lahko kupimo v trgovini ali pa jih naredimo sami. Če smo se odločili za drugo možnost, potem potrebujemo šilček (glej sliko 5) za šiljenje lesa. Kos lesa pritrdimo v primež in ga nato s krožnimi gibi ošilimo, da dobimo popolnoma okrogel moznik poljubne dolžine. Navadno potrebujemo moznike v dolžini okrog 20 cm.

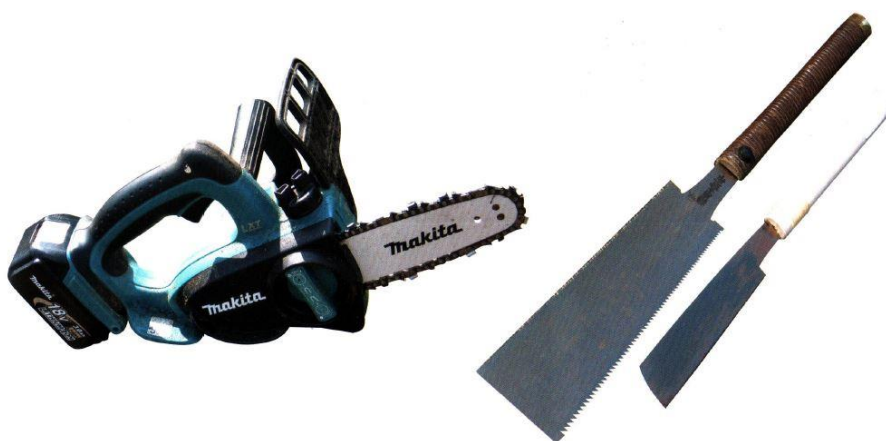
Za izdelovanje utorov obstaja posebna motorna žaga (glej sliko 6), ki se jo fiksira na element, v katerega želimo narediti luknjo. Žago nastavimo ter jo potopimo v obdelovanec.

Če nimamo tega stroja, potem smo obsojeni na tradicionalno metodo izdelave utorov z dletom in tesarskim kladivom. Poznamo več vrst dlet (glej sliko 7): ravna, zaobljena, mornarska itd. V uporabi so tudi sekire različnih oblik in velikosti. Za vrtnanje lukenj se pogosto uporablja bencinski vrtnalnik (glej sliko 8), ki je za razliko od električnega sposoben proizvesti dovolj moči za lahkotno vrtnanje skozi trše vrste lesa. Pri delu na višini pa lahko uporabimo tudi baterijskega. Ko je potrebno hlod dvigniti na višino, uporabljamo škripce, verige, dvigala in vrvi (glej sliko 9). Na gradbišču se večkrat postavi trinožnik, ki nam pomaga pri dvigovanju. Pomemben del orodjarskega repertoarja so tudi vozički za prevažanje hlodov (glej sliko 10). Ti so narejeni tako, da lahko voziček, ko je hlod natovorjen nanj upravlja ena oseba. Služijo za horizontalen transport hlodov po gradbišču.



Pomembno je tudi, da smo sposobni dva elementa povezati, še preden med njima vzpostavimo permanentno zvezo. To naredimo s kovinskimi mozniki, zateznimi vrvmi, kovinskimi spojkami in primeži.

Za merjenje razdalj uporabljamo različna merila. Kot zanimivost naj dodam, da se v določenih primerih uporabi tudi laserski merilec, predvsem za niveliranje. Pri delu z oblim lesom se za zarisovanje predvidene linije reza uporablja šestilo (glej sliko 11) z vgrajeno vodno tehtnico, ki skrbi, da lahko uporabnik drži šestilo v vodoravni legi skozi celoten proces risanja krivulje.



Slika 3: Verižna električna žaga in japonska ročna žaga (Law, 2010: str. 39)



Slika 4: Nož za lupljenje (Law, 2010: str. 40)



Slika 5: Šilčki (Law, 2010: str. 41)



Slika 6: Motorna žaga za izdelovanje utorov  
(Law, 2010: str. 42)



Slika 7: Tesarska dleta (Law, 2010: str. 44)



Slika 8: Ben Law med vrtnjem lukenj z motornim  
vrtalnikom (Law, 2010: str. 45)



Slika 9: Vrvi (Law, 2010: str. 48)



Slika 10: Voziček za prevažanje hlodov (Law, 2010: str. 47)



Slika 11: Šestilo (Law, 2010: str. 55)

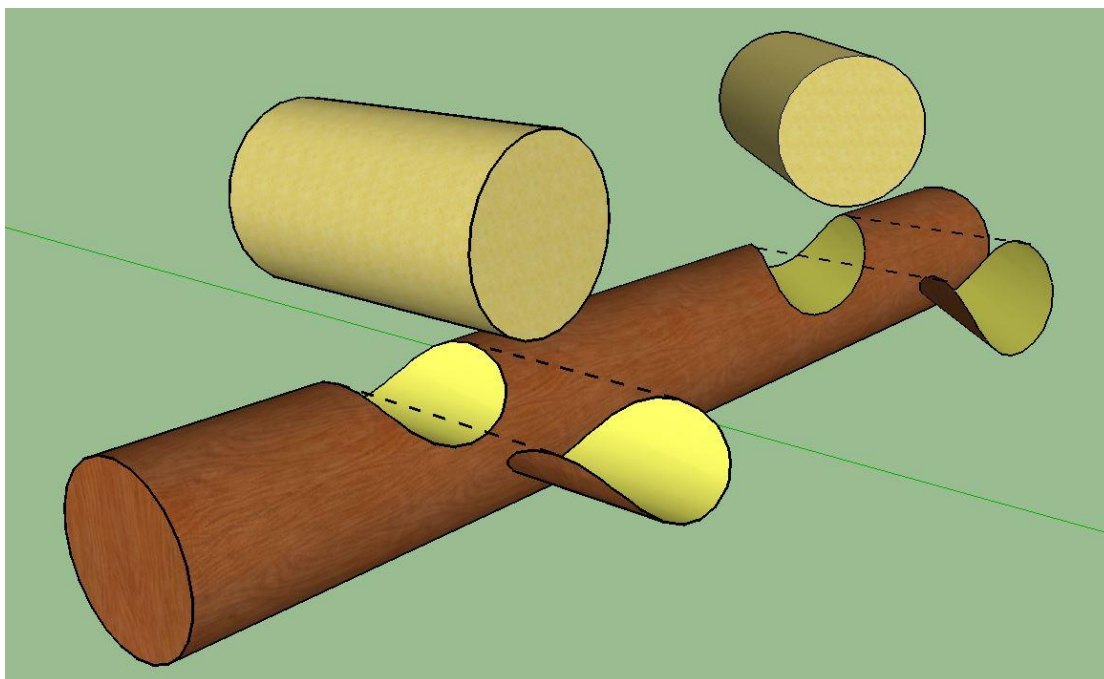


## 2.4 Stikovanja

Stikovanje oblih elementov lahko v grobem ločimo na dve skupini. V prvo spadajo stiki, pri katerih je stik izveden brez kovinskih vmesnih elementov; v drugo pa stiki, pri katerih je za prenos obremenitve potreben kovinski vmesnik, brez katerega stik ne bi bil nosilen.

### 2.4.1 Stikovanja brez kovinskih vmesnih elementov

Stikovanje pri oblih konstrukcijah brez kovinskih vmesnih elementov je geometrijsko zahtevnejše od konstrukcij z elementi s pravokotnim prečnim prerezom ter stikov oblih elementov s kovinskimi vmesniki. Predstavljajmo si, da imamo pred seboj dva valja, ki naj predstavljata debli dveh dreves. Zdaj ju poskusimo združiti tako, da sta vzdolžni osi med sabo pravokotni (glej sliko 12). Ko potapljamo zgornjega v spodnjega, je njun skupni prerez, gledano v vzdolžni smeri rumenega valja, v obliki dela krožnice. To je tudi glavna lastnost stikov iz oblega lesa brez kovinskih vmesnikov, torej stikovanje v oblikah stožničnih krivulj (krog, elipsa). Za izdelavo teh stikov je ključnega pomena, da ima izdelovalec dobro prostorsko predstavo. Potrebna je velika natančnost. Stiki pri hlodih, ki niso bili postruženi, da bi bili vsi istih premerov so unikatni in neponovljivi. Vsak stik je drugačen od prejšnjega, saj nobeno drevo ni čisto istih dimenzij. Tudi prečni prerez elementov ni pravilen krog, saj je lahko pri nekaterih drevesih bolj elipsaste oblike in ima izbokline ali vbokline. Če je drevo neprimerne oblike za gradnjo, ga seveda izločimo. Pri stikovanju igra pomembno vlogo prej omenjeno orodje, ki se mu v tesarskem žargonu reče kar šestilo. V nadaljevanju predstavljam nekaj primerov takih stikov.



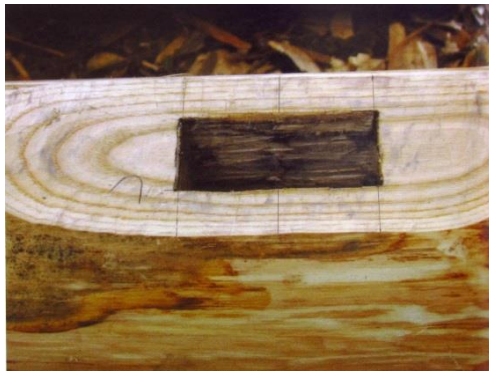
Slika 12: Stikovanje dveh hlodov

### 2.4.1.1. Spoj na čep in utor

To je klasična oblika lesenega stika, ki se uporablja v običajnih lesenih okvirnih konstrukcijah, le da tukaj stikujemo dva okrogla elementa. Stik se običajno uporabi na mestih, kjer steber podpira horizontalne elemente. V en element naredimo utor, konec drugega pa oblikujemo tako, da se tesno prilega v utor. Utor je velik približno 10 x 5 cm, globok pa 5 cm, odvisno od trdnosti lesa. Narejen je v predhodno izdelano »ramo« - to je ravnina, ki jo pripravimo na hlodu in na katero bo nalegalo pročelje stebra (glej sliko 13 in 14). Če na enem nosilcu izdelujemo več utorov, moramo paziti, da so vsi na istih višinah, saj je tako zagotovljena horizontalnost konstrukcije (Law, B. 2010).



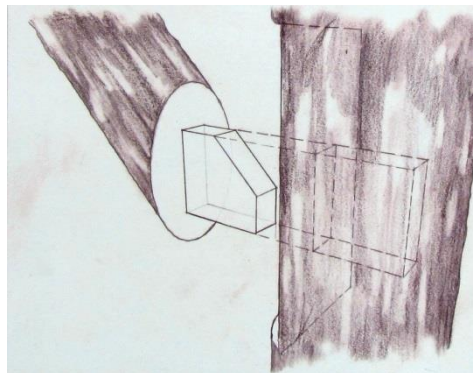
Slika 13: Čep (Law, 2010: str. 77)



Slika 14: Utor (Law, 2010: str. 76)

### 2.4.1.2 Poševne diagonale

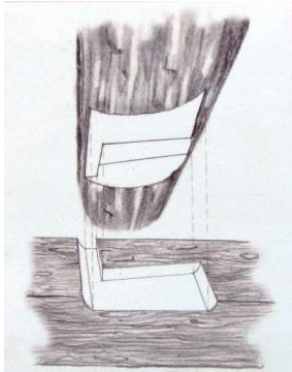
To so ojačitve, ki služijo kot povezava med dvema elementoma in predstavljajo elemente zavarovalne konstrukcije. Navadno so to elementi, ki povezujejo stebre in horizontalne elemente. V večini primerov so pod kotom 45°, saj je tako izdelava enostavnejša, ker so priključni koti simetrični. Služijo za prenos horizontalne obtežbe, ki je posledica vetra in potresa. Na obeh koncih imajo čep, ki sede v utor, izdelan na elementu, ki ga priključujejo. Poševne diagonale so pravzaprav spoj na pero in utor pod kotom.



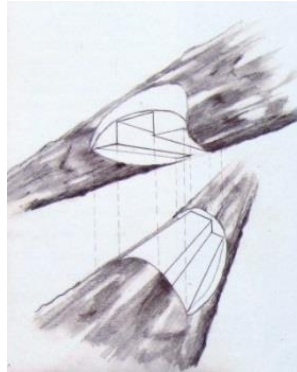
Slika 15: Stik poševne diagonale in stebra (Law, 2010: str. 78)

### 2.4.1.3 Ostali

Tukaj je še nekaj primerov tovrstnih stikov:



a) stik hloda in trama



b) stopničasti zasek



c) enojni zasek

Slika 16: Različni stiki gred (Law, 2010: str. 80, 81,82)

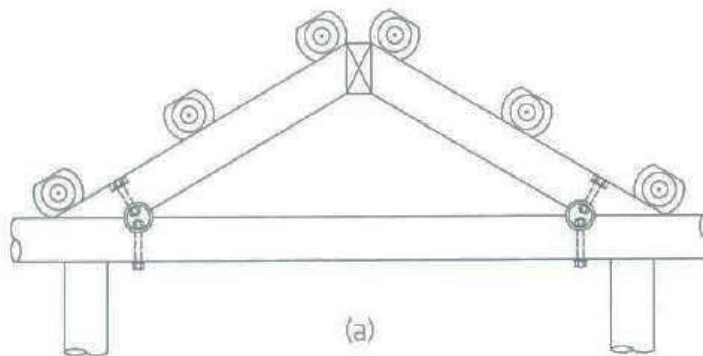
Stik hloda in trama se pojavlja pri stikovanju žaganega lesa z oblim. Stopničasti in enojni zasek se uporabljata pri stikovanju hlodov, ki ležijo v isti ravnini (talne, stropne konstrukcije). Ti stiki potrebujejo za izdelavo prej omenjeno šestilo.

### 2.4.2 Stikovanje s kovinskimi vmesnimi elementi

Za razliko od stikov, opisanih v prejšnjem poglavju, potrebujemo tukaj za stikovanje elementov nekakšen kovinski vmesnik. Na tem področju je še veliko neraziskanega. Kovina kot material, ki je zelo primeren za obdelavo, nudi neskončne možnosti izdelave kovinskih vmesnikov, ki lahko služijo povezovanju dveh ali več lesenih elementov. Mnoge take elemente lahko srečamo pri klasičnih tesarskih konstrukcijah v obliki kotnikov, spojok, perforiranih plošč, žebeljev, vijakov itd. Vse te elemente lahko uspešno vključimo tudi v konstrukcije iz oblega lesa.

Posebno poglavje stikovanja s kovinskimi vmesnimi elementi pa bi si zaslužili novi inovativni sistemi, ki bodo v prihodnosti olajšali stikovanje hlodov kot geometrijsko nepravilnih elementov. Po mnenju avtorjev Eckelman, C A., Haviarova, E., Erdil, Y. v svetu vlada potreba po takšnih stikih. Na enostaven in cenovno ugoden način bi služili za izdelavo lesenih povezij iz oblega lesa.

Avtorji so v svoji raziskavi raziskovali obnašanje lesenih strešnih nosilcev. Tip nosilca je bil škarjasto povezje. Skupaj so naredili 22 strešnih povezij, sestavljenih iz 66 hlodov. Za vsako povezje so uporabili dva škarnika in en poveznik. Hlode so povezali s kovinskimi cevmi (glej sliko 17). V hlode so izvrtali luknje pravokotno na njihovo vzdolžno os, tako da je sredina svedra bila na robu hloda. Tako so v hlod izvrtali pol valj. Vanj so vstavili okroglo cev ter na to formacijo postavili še drugi hlod, s čimer les po zunanji površini popolnoma objame cev. Stike so zavarovali z vijaki, ki so jih vstavili v vnaprej izvrtane luknje. Nosilce so obremenili s točkovno obtežbo v stičišču obeh škarnikov. Razpon nosilcev je bil približno 10 metrov, cevi so bile različnih premerov in debelin. V nekaj primerih so jih ojačali tudi tako, da so vanje vstavili podložke ali lesene diske, ki so pomagali preprečevati uklon cevi. Nosilce so obremenjevali do porušitve, pri tem pa opazovali tudi, ali je porušitev duktilna. Porušitve so se večinoma vršile v jeklenih ceveh, pri nekaterih preizkušancih pa je bila odločilna strižna odpornost lesa. Izkazalo se je, da je tak sistem vreden nadaljnjega raziskovanja, saj je bil zmožen prevzeti večje obremenitve, kot so pričakovali.



Slika 17: Primer povezovanja z jeklenimi cevmi (Eckelman, Senft, 1995: str. 40)

## 2.5. Nosilnost

“Obli hlod je močnejši od žaganega hloda z istim prečnim prerezom, saj lesena vlakna tečejo gladko okoli naravnih defektov in tako niso prekinjena kot pri žaganih tramovih”.

*Lionel Jayenetti (Law, B. 2010. Str. 7)*

Iz tega sledi, da lahko za isto obremenitev uporabimo manjši prečni prerez, zaradi česar je bolj smotno posekati mlajša drevesa. To pripomore tudi k bolj optimalnemu gozdarjenju, saj lahko za konstrukcijske namene uporabimo drevesa, ki jih drugače porabimo za papir, biomaso ipd.

Na področju Evropske unije so že potekale raziskave, ki so preučevale nosilnost oblega lesa manjših prečnih prerezov. Ena izmed teh je tudi projekt, ki je potekal na Finskem, v Avstriji, na Nizozemskem ter v Veliki Britaniji, in sicer pod naslovom 'Small Diameter Round Timber for Construction'<sup>1</sup>, v okviru programa 'EU Fair Programme CT95-0091'.

Wolfe in Murphy ugotavljata, da je uporaba oblega lesa še vedno v senci tesanega, kljub temu, da ima obli les pred tesanim precej prednosti. V naravni obliki ostanejo vlakna nedotaknjena. Juvenilni<sup>2</sup> les je zaščiten. Potek napetosti okoli grč je boljši kot pri rezanem lesu. Lesni element v naravni obliki je po mnenju avtorjev pri upogibni obremenitvi od dva- do štirikrat močnejši od elementa, ki ga lahko iz njega izrežemo (Wolfe, R., Murphy, J. 2005). Dalje Wolfe navaja, da je les v naravni obliki - kot stoječe drevo - obremenjen kot steber in kot nosilec. Drevo ima na zunanji strani bolj močna in toga vlakna, kar naj bi izhajalo iz dejstva, da so pri upogibu napetosti tam največje. Vlakna sledijo poteku glavne osi, za razliko od rezanega lesa, kjer lahko pride do nezaželenih odmikov. Kljub temu, da so prednosti rezanega lesa jasno vidne v standardnih dimenzijah, manjši teži, bolj svobodnemu stikovanju elementov itd., je vredno razmišljati o uporabi oblega lesa (Wolfe, R. 2000).

V obsežnejši laboratorijski raziskavi sta Wolfe in Moseley testirala hlode pri upogibni in tlačni obremenitvi. Cilji preiskave so bili:

1. primerjava trdnosti in togosti, pridobljenih iz eksperimenta z vrednostmi, ki so podane v standardih;
2. preučevanje učinkovitosti uporabe neporušitvenih metod preizkušanja za ocenitev trdnosti in togosti elementov;
3. razvijanje smernic za testiranje hlodov.

---

<sup>1</sup> V prevodu 'obli les majhnega premera za konstrukcije'

<sup>2</sup> Juvenilno ali mladostno obdobje v rasti drevesa je v svojem trajanju odvisno od vrste drevesa, povprečno traja okrog 20 let, v širokem razponu pa celo med 5 in 60 leti.

Veljavne standarde na področju testiranja hlodov v Ameriki urejata dve agenciji, in sicer ASTM (American Society for Testing and Materials) ter ANSI (American National Standards Institute). Avtorja sta izvajala poskuse po navodilih standardov obeh agencij.

Kot neporušitveno metodo sta uporabila preizkus prehodnosti zvočnih valov skozi les. Zvok je dokazano uporaben za odkrivanje grč, razkroja, poškodbe kot posledice insektov itd. Hitrost valov, amplituda ter frekvenca so povezani z materialnimi lastnostmi. Najbolj reprezentativna je hitrost valov. V homogenih, izotropnih materialih je v neposredni povezavi z elastičnim modulom, kot kaže spodnja enačba, kjer je  $E$  elastični modul,  $\rho$  gostota,  $V$  pa hitrost valov.

$$E = \rho * V^2$$

Na žalost les ni niti homogen niti izotropen material, zato je ocenitev elastičnega modula po tej enačbi otežena.

Drevesa, uporabljena v preizkusu, so bila dolžine 3.4 - 4 m, maksimalnega premera med 102-330 mm ter minimalnega premera 76 mm na ožjem koncu. Bila so označena glede na vrsto in rastišče, ročno olupljena ter spravljena za pol leta. Po tem času so jih upogibno obremenili do porušitve, poskuse osne odpornosti pa so izvajali čez naslednjih šest mesecev, to je eno leto po poseku. Za poskus osne odpornosti niso uporabili celih hlodov, ampak so iz porušenih hlodov izrezali vzorce dolžine 3-4 kratnega povprečnega premera posameznega hloda.

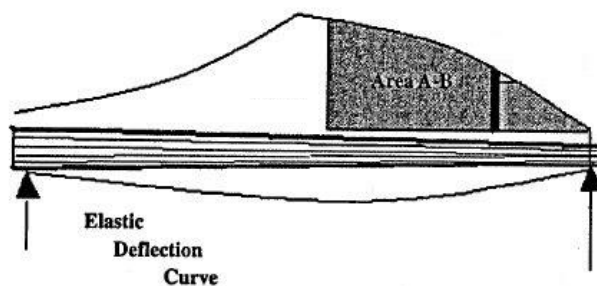
Hlode so pri upogibnem preizkušanju obremenili s točkovno obremenitvijo na sredini razpona, ki je znašal 2.4 m. Upogibna obremenitev hlodov je bila izračunana po spodnji enačbi:

$$\sigma = \frac{M}{I} * z = \frac{\frac{P * L}{4}}{\frac{\pi * D^4}{64}} * \frac{D}{2} = \frac{8 * P * L}{\pi * D^3}$$

V enačbi je  $\sigma$  upogibna napetost kot posledica točkovne obremenitve  $P$ , ki deluje na sredini razpona  $L$ .  $D$  je povprečni premer hloda oz. aritmetična sredina med tanjšim in debelejšim delom,  $I$  je vztrajnostni moment,  $z$  pa polovica premera okroglega prečnega prereza.

Kar se tiče vpliva oblike debel na njihovo nosilnost, sta Wolfe in Murphy raziskovala vpliv stožčaste oblike hloda v primerjavi z ravnim tramom. Ugotovila sta, da ima stožčast element boljše nosilnost od ravnega, ki je bil iz stožčastega izrezan, saj ima slednji v območju največjih momentov na razpolago več materiala za prevzem obremenitve. Položaj največjih napetosti je odvisen od obtežbe in nagnjenosti hloda. To pomeni, da ni vedno na sredini razpona (Wolfe, R., Murphy, J. 2005). Na spodnji sliki je viden potek upogibnih napetosti za preizkušanece med poskusom. Kot je razvidno s slike, je potek napetosti drugačen kot pri ravnih elementih.



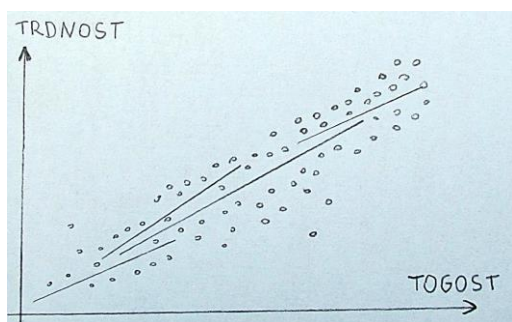


Slika 18: Potek upogibnih napetosti in poves (Povzeto po Wolfe, Moseley, 2000: str. 51)

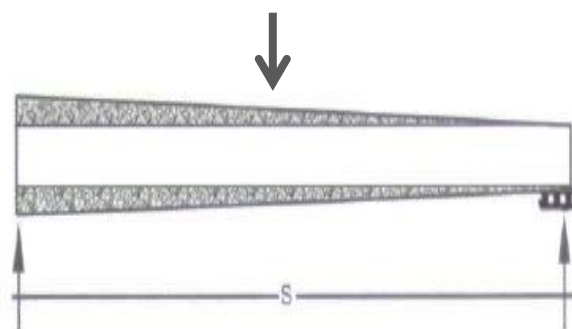
Rezultati kažejo, da je potreben nadaljnji razvoj na področju ocenjevanja lastnosti hlodov, saj so se v primeru tlačne obremenitve ter nedestruktivnih metod razlikovali od podanih v standardih. Avtorja sta prepričana, da je možno z nadaljnjimi preiskavami natančneje povezati elastični modul lesa z njegovo trdnostjo (Wolfe, R., Moseley, C. 2000). V spodnjih tabelah so podani rezultati raziskave:

Preglednica 2: Rezultati preizkušanja (Povzeto po Wolfe, R., Moseley, C. 2000: str. 55)

	95% zanesljivost	Pričakovane vrednosti
<b>Upogibna trdnost</b>	<b>[Kpa]</b>	
Duglazija	50800 - 65000	48000
Jelka	34000 - 48000	32000
Bor	32500 - 42000	32000
<b>Elastični modul</b>	<b>[Kpa * 10<sup>6</sup>]</b>	
Duglazija	10,48 - 11,58	11,03
Jelka	7,79 - 8,7	8,27
Bor	4,89 - 6,20	6,89
<b>Tlačna trdnost*</b>	<b>[Kpa]</b>	
Duglazija	33000 - 36000	45000
Jelka	25000 - 28000	36000
Bor	15000 - 19000	33000



Slika 19: Povezava med trdnostjo in togostjo (Povzeto po Wolfe, Moseley, 2000: str. 56)



Slika 20: Točkovna obtežba na hlod (Povzeto po Wolfe, R., Murphy, J. 2005: str. 51)

### 2.5.1 Primerjava geometrijskih količin okroglih debel in pravokotnih tramov, izrezanih iz njih

Preglednica 3: Primerjava geometrijskih količin

b [cm]	h [cm]	D [cm]	A [cm <sup>2</sup> ]	I [cm <sup>3</sup> ]	Ao [cm <sup>2</sup> ]	Io [cm <sup>3</sup> ]	Ao/A	Io/I
6	8	10,0	48,0	256,0	78,53982	490,8739	1,6	1,917476
10	12	15,6	120,0	1440,0	191,6372	2922,467	1,6	2,029491
12	14	18,4	168,0	2744,0	267,0354	5674,502	1,6	2,067967
16	18	24,1	288,0	7776,0	455,5309	16513	1,6	2,123585
20	24	31,2	480,0	23040,0	766,5486	46759,47	1,6	2,029491

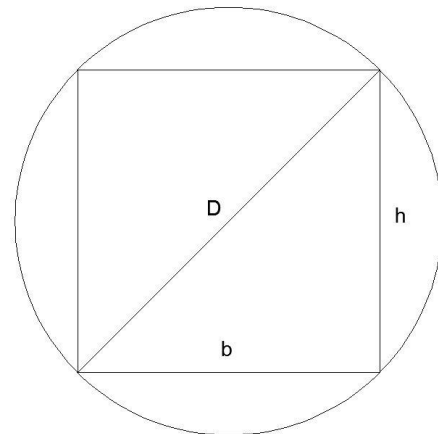
$$D = \sqrt{b^2 + h^2} \quad \text{Diagonala tramu oz. premer hloda}$$

$$A = b * h \quad \text{Ploščina pravokotnika}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad \text{Vztrajnostni moment pravokotnika}$$

$$Ao = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ploščina kroga}$$

$$Io = \frac{\pi * D^4}{64} \quad \text{Vztrajnostni moment kroga}$$



Slika 21: Pravokotnik z očitanim krogom, ki ponazarja tram, izrezan iz hloda

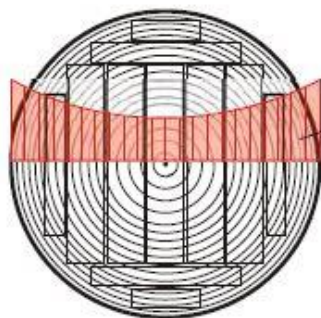
V preglednici 3 sem primerjal okrogle prečne prereze ter največje možne pravokotne prečne prereze, izrezane iz okroglih. Pogoj največjega pravokotnega prereza predstavlja premer kroga, ki pri transformaciji preide v diagonalo pravokotnika. V analizi sem pregledal nekaj najpogostejših pravokotnih prečnih profilov, ki se uporabljajo pri lesenih konstrukcijah.

Ob pregledu količnika med Ao in A sem prišel do ugotovitve, da je izguba pri rezanju tramov iz debel 60-odstotna. Še večja razlika se pojavi pri količniku med Io in I, kjer je vrednost približno 2. To pomeni 100 % razlike med vztrajnostnim momentom okroglega, glede na vztrajnostni moment največjega pravokotnega prereza, ki ga lahko izrežemo iz njega. Iz ugotovljenega sklepam, da je uporaba okroglih prečnih prerezov, kar se tiče nosilnosti, ugodna.

## 2.5.2 Spreminjanje elastičnega modula in tlačne trdnosti po prečnem prerezu

Znanstveniki so v okviru projekta »Leonardo da Vinci pilot Project CZ/06/B/F/PP/168007 Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures – TEMTIS« zapisali, da so natezna trdnost, elastični modul in gostota lesa odvisni od lege v prečnem prerezu. Navajajo, da so robna vlakna bolj toga (večji elastični modul), trdnejša in gostejša. Tramovi so (glej sliko 21 na prejšnji strani) zaradi tehnologije rezanja iz hlodov vedno izrezani tako, da pri rezanju izgubimo robni (krajni) del hloda. V krajnih deskah, ki tvorijo stranski produkt žaganja, so torej vlakna z največjo trdnostjo in največjim elastičnim modulom. To lastnost lesa bi bilo potrebno dodatno raziskati, saj se pojavljajo dvomi o njeni resničnosti.

Prednost konstrukcij iz oblega lesa je v tem, da za gradnjo uporabimo celoten prečni prerez hloda, v nasprotju s tramovi, kjer uporabimo le osrednji del. Prečni prerez oblega lesa je zmožen prevzeti večjo obremenitev kot pravokotni prerez iste površine, ker imajo vlakna (gledano v celoti) večjo trdnost. Če upoštevamo ob tem še zgoraj ugotovljeno dejstvo, da je razlika med vztrajnostnimi momenti prečnega prereza hloda in največjega trama, ki ga lahko iz njega izrežemo, približno 2, lahko sklepamo, da so upogibni momenti, ki jih lahko prenese hlod mnogo večji kot jih lahko prenese iz njega izrezan tram.



Slika 22: Potek vrednosti elastičnega modula in natezne trdnosti po prerezu  
[http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook1\\_final.pdf](http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook1_final.pdf) (Pridobljeno 6.9.2013)

## 2.6 Postopki gradnje

Projektiranje stavbe iz oblega lesa poteka podobno kot pri lesenih okvirnih stavbah. Upoštevati mora bivalne navade njenih prebivalcev, se prilagoditi finančnim zmožnostim investitorja, upoštevati naravne danosti parcele, na kateri bo stala stavba, se skladati z lokalno arhitekturno krajino ter upravnimi predpisi itd. Iz projektnega načrta mora biti razvidna kosovnica, ki nam pove, kakšna in kako velika drevesa bomo potrebovali za gradnjo.

Vse se začne v gozdu. Oseba, pooblaščen za posek dreves, opravi v sodelovanju z izvajalcem pomembno opravilo – izbere primerne hlode za gradnjo. Na primernost vpliva več dejavnikov. Drevo mora biti ustrezno ravno in brez napak, imeti zadosten prečni prerez, rasti počasi ter biti primerne vrste za predvideno uporabo. Za konstrukcijske namene je najprimernejša zimska sečnja. Tak les je namreč bolj suh od lesa, posekanega v drugih letnih časih, se manj zvija in poka ter je dimenzijsko stabilnejši. Ko je les posekan, sledi transport hlodov na mesto, kjer bo potekala gradnja. Sledi lupljenje lubja s prej omenjenimi orodji, kar je fizično zelo utrujajoče delo, zato je to odlična priložnost za vključitev prijateljev in svojcev. Ko so hlodi olupljeni, se jih razvrsti glede na njihovo namembnost. Gradnja vedno poteka s svežimi, neposušenimi hlodi, saj je na ta način zagotovljena tesnost lesenih stikov. Les ima namreč lastnost, da se med sušenjem krči, kar posledično dodatno utrdi lesena stikovanja, ki so zamozničena s suhimi lesenimi mozniki, ki se temu krčenju upirajo.

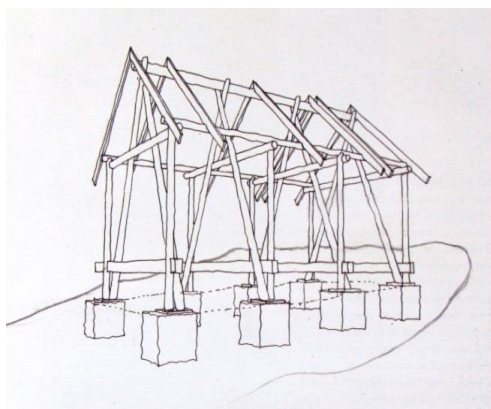
V tej fazi se lahko prične sestavljanje konstrukcije. V večini objektov, ki so že zgrajeni, se več elementov združi v zaključeno podceloto. Iz več podcelot se nato z njihovim spajanjem zgradi celotna nosilna konstrukcija (glej sliko 23 in 24). Kot opisuje Law (Law, B. 2010), se za to uporabi podkonstrukcija, zgrajena iz tramov, na kateri se sestavlja konstrukcija objekta. Taki podkonstrukciji se reče postelja. Na postelji so označene točke, ki nam povedo, kako naj bodo elementi poravnani. Ko zaključimo z izdelovanjem ene podcelote, jo dvignemo in začnemo na njej sestavljati novo. Tako so vse podcelote enakih dimenzij, kar je ključnega pomena za izgradnjo kvalitetnega skeleta. Na predvidene temelje se postavijo posamezne podcelote bodisi z avto-dvigalom ali pa s sistemom škripčevja. To je eden izmed trenutkov, ki zahteva veliko pozornosti, saj lahko imajo posamezne podcelote več sto kilogramov, stiki pa so obremenjeni v smeri, za katero niso primarno projektirani. Podcelote se začasno pritrdi z vrvmi, ki so sidrane v tla. Ko je osnovna konstrukcija primerno poravnana, lahko pričnemo z dodajanjem ostalih nosilnih in nenosilnih elementov. Važno je, da se čim prej pokrije konstrukcijo bodisi s streho ali pa z začasnimi ponjavami, saj dež in posledično nihanje vlage v lesu neugodno vpliva na kvaliteto izvedenega objekta.

V večini primerov se za stene uporabljajo slamnate bale, ki so znane kot dober gradbeni material. Omet je bodisi ilovnat ali pa apnen. Cementnega se uporablja bolj poredko. V prej pripravljene odprtine se vstavijo okna ter vrata (Lacinski, P., Bergeron, M. 2000). Večina ostalih opravil, ki

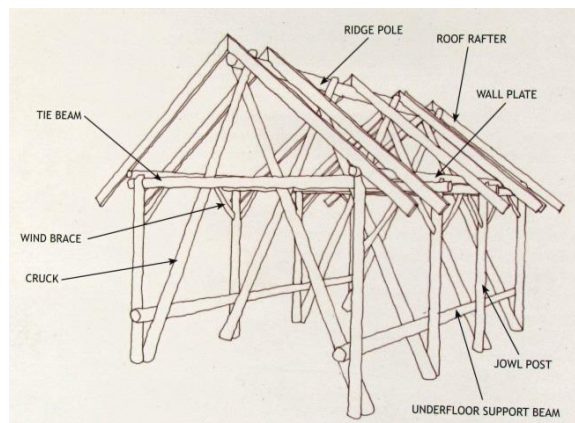
sledijo, je identičnih klasični gradnji. V to skupino štejemo elektroinstalacije, kanalizacijo, strešna dela, vlivanje estriha, polaganje ploščic in podobno.

Vzdrževanje same konstrukcije je odvisno od njene izpostavljenosti zunanjim vplivom. Lahko se zgodi, da je treba kakšen element, ki je v stiku z zemljo, zamenjati. Vendar je to zaradi relativno majhne teže skeletnega okvirja (ob predhodnem načrtovanju), neproblematično opravilo. Če smo izbrali pravi les, ga ni treba premazati z biocidi in UV-absorberji, saj ima dovolj veliko naravno odpornost.

Odstranjevanje je enostavno. Vse nenosilne elemente odstranimo z objekta in z njimi ravnamo po ustaljenih smernicah za odvoz odpadkov. Če je možno kaj reciklirati, še toliko bolje. Ostane nam okvir, ki se podre in les se lahko uporabi v lesno-predelovalni industriji kot surovina za papir, mavčno-kartonske plošče, kurjavo in podobno. V primeru slamnatih sten je večina volumna stavbe naravnega izvora. To pomeni, da bo material biodegradiral in tako prispeval k sklenjenem energijskem krogu.



Slika 23: Skica temeljenja (Law, 2010: str. 61)



Slika 24: Skeletni okvir iz oblega lesa ter oznake njegovih delov v angl. jeziku (Law, 2010: str. 6)



Slika 25: Točkovno temeljenje (Chrisp, T.M., Cairns, J., Gulland, C., 2003: str. 278)

### 3 OBSTOJEČI OBJEKTI

#### 3.1 Nadstrešek v Iškem Vintgarju

V porečju reke Iške, nedaleč stran od Iga, se nahaja Iški Vintgar. To je globoka soteska, ki jo turisti in domačini obiskujejo za rekreacijo ter sprostitvev v nedotaknjeni naravi. Ob vstopu vanjo se nahaja gostilna, ki jo krasi terasa, pokrita z lesenim nadstreškom, zgrajenim iz oblega lesa. Tloris strehe je pravilni osemkotnik s stranico 5 m. Za konstrukcijo je bil uporabljen les smreke. Površina, ki jo streha pokrije, znaša približno 100 m<sup>2</sup>, kar je dovolj za pogostitev več kot sto gostov.

Konstrukcijo je leta 2002 postavil Tone Cimperman. Za izdelavo je potreboval 1 mesec, sama montaža pa je trajala teden dni ob pomoči šestih ljudi ter avto-dvigala.

Temelji so enostavni, kot je razvidno iz slike 26. Sestavlja jih nearmiran beton z visokim deležem večjega agregata, ki je viden na površini. Streho podpira osem stebrov višine 3,5 m in premera 25 cm. Na vrhu so med seboj povezani z nosilci premera 20 cm, ki med sabo oklepajo kot 135°. Med nosilci in stebri so v vsakem stikovanju izvedene diagonale, ki služijo kot dodatna ojačitev konstrukcije. Stiki med nosilci in stebri so izvedeni s kovinskim vložkom, ki je viden na sliki 27. Vložek obojestransko objema steber. Skozi steber je izvrtana luknja, v katero je vstavljen vijak M22 z navojem. Na oba konca vijaka je privita matica. Na vrhu vložka je velika kovinska plošča premera 30 cm, na katero nalegata nosilca iz obeh sosednjih stebrov. Nosilca sta privijačena na kovinsko ploščo z istim vijakom kot steber na vložek. Diagonale so izvedene klasično na izsek (glej sliko 28). V steber oziroma nosilec se izdolbe luknja, v katero vstavimo diagonalo. Stik se po pravilih dobre prakse dodatno ojača z enim ali dvema žebeljema. V stičiščih stebrov in nosilcev se začne proti skupni slemenski točki vzpenjati 8 špirovcev premera 16 cm. Na sredini razpona nosilcev so postavljeni dodatni špirovci, tako da njihovo skupno število znaša 16. V središču osemkotnika je velik podporni steber premera 60 cm, ki daje konstrukciji občutek masivnosti. Steber podpira vseh 16 špirovcev, ki se stekajo proti skupni točki na vrhu strehe. Na vrhu osrednjega stebra, je podobno kot pri obodnih stebrih, kovinski vložek premera 70 cm, na katerega so privijačeni špirovci (glej sliko 29). Obodni stebri so z osrednjim povezani s štirimi povezniki oz. pasniki. Vsak drugi steber je s svojim nasprotnim parom povezan z dvema poveznikoma ter na sredini še z osrednjim stebrom. Vsi stiki so izvedeni s kovinskimi vijaki M22. To je tudi primarna nosilna konstrukcija strehe, na katero so pribite deske, ki služijo kot površina za pritrditev kritine. Na kontra in vzdolžne letve so pribiti macesnovi strešniki širine 10 cm in dolžine 1m s trislojnim preklpom po dolžini.

Les za konstrukcijo ni bil obdelan s kakršnimkoli zaščitnim sredstvom, so se pa tesarji potrudili in izbrali drevesa višje kvalitete ter počasnejše rasti iz gozdov višjih nadmorskih višin. Les počasi sivi, kar je posledica sončnega sevanja in s tem povezanih UV žarkov, ki spreminjajo barvo elementov.





Slika 26: Temeljenje



Slika 27: Stik stebra in nosilca ter povezava med njima



Slika 28: Stik stebra in diagonalne ojačitve



Slika 29: Slemenska povezava vseh špirovcev



Slika 30: Nadstrešek Iški Vintgar

### 3.2 »Kids in Need and Distress« Children's Centre

Kids in Need and Distress (KIND) Children's Centre, Balbeg House, je eden izmed večjih objektov, zgrajenih po tej metodi. Postavljen je v Straiton, Ayrshire na Škotskem. Stavba je namenjena otrokom s posebnimi potrebami. V njej se lahko v stiku z naravo izražajo na sproščen način, ki ga potrebujejo.

Cilj gradnje je bil ustvariti stavbo, ki bo zgrajena iz naravnih materialov, pridobljenih v lokalnih gozdovih ter z lokalnimi znanji. Stavba upošteva nacionalno arhitekturno zasnovo, ki, kot pravijo avtorji, v večini sodobni gradnji ni upoštevana. Projektiranje je trajalo šest mesecev, prav tako tudi gradnja. Postavljena je bila leta 2001 in ima po navedbah avtorjev Chrisp, Cairns in Gulland 350 m<sup>2</sup> veliko koristno površino. V njej lahko prebiva 30 otrok ter 4 učitelji. Predvidena življenjska doba objekta je vsaj 60 let (Chrisp, T.M., Cairns, J., Gulland, C. 2003).

Temeljenje je izvedeno s kratkimi stebri, ki so pritrjeni na kovinske podstavke. Ti so zabetonirani v zbita peščena tla. Osnovna enota stavbe je lok, sestavljen iz dveh ukrivljenih špirovcev, povezanih na koncih. Vznožja špirovcev so povezana s povezniki, stik poveznika in špirovca pa je dodatno ojačan, kot je vidno na sliki 31. Povezniki so premera 25 cm in služijo kot talna konstrukcija, na katero so pritrjeni ravni tramovi, ki tvorijo podkonstrukcijo za ladijski pod. Špirovci so tanjši, njihov premer znaša 10 cm. Posebnost konstrukcije so ukrivljeni špirovci, ki se krivijo takoj po poseku, saj je tedaj les najbolj elastičen, kar izhaja iz višje vsebnosti vlage. Ukrivljena površina stavbe daje občutek večjega prostora. Slemenska višina je 3,6 m, širina stavbe pa 5,2 m. Problem horizontalne obtežbe vetra in potresa so rešili tako, da se sosednji loki stikajo na vrhu. To pomeni, da so namerno nagnjeni izven svoje ravnine, kot se vidi na slikah 34 in 35. Tako zasnovan lok so Chrisp, Cairns in Gulland preverili tudi v laboratoriju. Preizkusili so različne obtežne kombinacije. Kar se tiče nosilnosti, ni bilo problemov, ti pa so se pojavili v obliki prevelikega povesa na sredini razpona. To so rešili tako, da so za nekaj centimetrov povečali premer špirovcev in s tem znatno povečali njihovo togost.

Stavbni ovoj je sestavljen od znotraj navzven iz mavčno-kartonskih plošč, 100 mm steklene volne, dvoslojne vodo-nepropustne folije ter desk, ki tvorijo leseno fasado.

Avtorji so dokazali, da je mogoče na ta način zgraditi stavbo, ki je zgrajena po predhodno testiranem prototipu. To se mi zdi pomembno, ker je trenutna zakonodaja skopa, kar se tiče gradnje iz oblega lesa. Konec koncev je objekt dosegel ceno, ki se zlahka kosa z ostalimi načini gradnje.





Slika 31: »Kids in Need and Distress« Children's Centre  
(Chrip, Cairns, Gulland, 2003: 270 str.)



Slika 32: Enota za prebivanje učiteljev  
(Chrip, Cairns, Gulland, 2003: 276 str.)



Slika 33: Med gradnjo  
(Chrip, Cairns, Gulland, 2003: 277 str.)



Slika 34: Notranjost objekta  
(Chrip, Cairns, Gulland, 2003: 276 str.)



Slika 35: Skelet brez fasade  
(Chrip, Cairns, Gulland, 2003: 271 str.)

### 3.3 The Woodland House

V Veliki Britaniji, natančneje na jugu Anglije v kraju Lodswoth, stoji na samem v objemu gozda hiša, imenovana The Woodland House, po slovensko kar Gozdna hiša. Idejni vodja in samograditelj Ben Law si je tukaj ustvaril svoje domovanje. Hišo je zgradil iz hlodov, ki prihajajo iz njegovega gozda, kjer izvaja prej opisano panjsko gozdarjenje. V hiši živi s svojo ženo ter tremi otroki. Stavba je samooskrbna, nima povezave z električnim omrežjem ter kanalizacijo. Električno proizvajajo sončne celice, fekalije pa predelajo v kompost, s katerim gnojijo sadno drevje okoli hiše.

Kot zanimivost velja poudariti, da Ben med snovanjem načrtov za svojo hišo ni uporabil metričnih enot, to pa zato, ker je njegova hiša sestavljena iz bal sena in bi bilo nesmiselno navajati dolžine sten naprimer v metrih. Njegove stene se merijo v dolžinah po 5, 6, 8 bal sena. To se sklada z naravnim pristopom gradnje objektov, pri katerih centimetri ne igrajo odločilne vloge, tako kot recimo pri gradnji kovinskih konstrukcij, kjer se centimetrsko odstopanje izkaže za neizvedljivo. Seveda to ne pomeni, da se gradi, kot se po domače reče, »čez prst«, ampak se na podlagi izkušenj lahko marsikaj poenostavi.

Ben je na upravni enoti, kar se tiče videza stavbe, dobil dovoljenja za gradnjo, manjkali pa so še inženirski izračuni, ki bi dokazali statično odpornost stavbe. Kot pravi Ben, sta njegovo znanje in zgodovina gradnje lesenih stavb dovolj veliko zagotovilo, da bo njegova hiša stala, vendar to ne zadostuje za pridobitev gradbenega dovoljenja. Zato se je obrnil na inženirja, ki mu je izračunal statiko. Problem je bil v tem, da je Ben že pozimi posekal drevesa za svojo hišo. Inženir je na podlagi podanih premerov hlodov iz njih navidezno izrezal kvadratne tramove, da je lahko izračunal odpornost elementov za obtežbe, ki bodo delovale na hišo. Izkazalo se je, da sta dva hloda premajhna za nekaj centimetrov. To je gradnjo hiše zaustavilo za štiri mesece. Toda inženir je na podlagi dejstva, da eksperimenti kažejo večjo nosilnost, ko gre za okrogli les, odobril uporabo obeh. Gradnja je nato zacvetela s pomočjo več kot 90 prostovoljcev.

Temeljenje je točkovno. Na mestu temelja so izkopali približno meter globoko luknjo ter vanjo vsuli recikliran beton, ki so ga zgostili z motornim vibracijskim nabijačem. Na ta beton so potem položili kamnite plošče velikosti 50 x 50 cm. Tako so ustvarili več kot 40 točkovnih temeljev, ki podpirajo hlode nad njimi. Ker so gradili na rahlem hribu, so bili temelji na različnih višinah. Te razlike so zmerili s teodolitom. Tako so vedeli, kakšne dolžine hlodov potrebujejo na določeni lokaciji za zagotovitev vodoravnosti ležečih elementov. Najprej so izdelali štiri osnovne A okvirje. Dvignili so jih s pomočjo žice, ki jo je vlekel traktor. Ko so jih poravnali v njihov končni položaj, so jih povezali z uporabo začasnih diagonalnih povezav. Nato so začeli dodajati ostale elemente.

Ker so stene iz slame, so morali pred njihovo izgradnjo postaviti streho. Gre za obratni vrstni red kot pri klasični zidani gradnji. Špirovci so bili iz žaganih tramov, s čimer so izkoristili njihovo pozitivno lastnost, to je geometrijsko pravilnost, da je bila streha ravna in v pravih kotih. Kritina za streho je lesena, zanjo so uporabili so kstanjeve skodle. Na zunanji strani slamnatih sten se nahaja vodonepropustna folija, ki jo ščiti lesena fasada, na notranji strani pa apnen omet.

Hiša letos praznuje deseto obletnico in kot pravi Ben, je bivanje v njej enkratna izkušnja. Po gradnji hiše je Ben odprl svoje podjetje Roundwood Timber Framing CO LTD, kjer nadaljuje tradicijo gradnje nosilnih skeletnih konstrukcij iz hlodov.



Slika 36: Arhitekturna zasnova Benove hiše (Law, 2009: 94 str.)



Slika 37: Zgrajena hiša v svoji končni podobi (Law, 2009: 65 str.)

#### 4 ZAKLJUČEK

V svoji diplomski nalogi sem ugotovil, da lesene skeletne konstrukcije iz hlodov s seboj prinašajo veliko število prednosti, pa tudi nekaj slabosti, ki jim bo v prihodnosti potrebno posvetiti več pozornosti.

Ena izmed večjih prednosti konstrukcij iz hlodov je dosegljivost surovine na gozdnatih območjih, kar lahko s pridom izkoristimo v pokrajinah, ki še nimajo razvitih cestnih povezav. Naslednja prednost je ta, da lahko hlode za gradnjo posekamo kar v bližini gradbišča, s čimer se znebimo stroškov transporta. Poleg tega lahko danes, ko vsi govorijo o podnebnih spremembah zaradi prevelikega vnosa CO<sub>2</sub> v ozračje, s tako gradnjo izpuste omilimo.

Danes se drevesa iz t.i. redčenja lesa oziroma sečnje, ki je potrebna za zdravo rast gozda, uporabljajo za predelavo v papir, karton, škatle itd. Med njimi je veliko hlodov, ki bi jih lahko uporabili za gradnjo objektov. Poleg tega je nosilnost oblega lesa v primerjavi z žaganim neprimerno večja.

Ob primernem planiranju posekov in učinkoviti gradnji bi lahko cena takih konstrukcij padla v nižji cenovni razred kot ostale lesene konstrukcije. To je posebej zanimivo za samograditelje, ki nimajo dovolj denarja za najem gradbenega podjetja, imajo pa čas, voljo in smisel za postavljanje lesenih objektov.

Nadzor nad samograditeljsko gradnjo je ključnega pomena, saj morajo biti objekti zgrajeni v skladu s predpisi. Pozornost je potrebno nameniti nosilni odpornosti, saj je v veliki meri odvisna od kvaliteten stikov, ki so občutljivi na površno izvedbo. Če se bo v Sloveniji gradilo tovrstne konstrukcije, je treba vzpostaviti vsaj osnovna načela oblikovanja stikov in konstrukcij nasploh, da bodo graditelji imeli izhodišča za dimenzioniranje elementov.

V Sloveniji je skopa je tudi zakonska podlaga za gradnjo iz hlodov. V standardu za lesene konstrukcije (EC5) ni nikjer posebej omenjena gradnja iz hlodov. Projektanti tako nimajo pravne podlage za projektiranje tovrstnih konstrukcij, zato se jim tudi izogibajo. Formule v standardih so izpeljane na modelih, kjer nastopajo ravne ploskve, za skeletne konstrukcije pa je značilno konveksno in konkavno prileganje, zato je potek napetosti drugačen kot npr. pri enojnem zaseku. Pojavi se vprašanje: Ali so stiki členkasti, delno togi ali togi? Projektirati bi morali na podlagi lastnih izkušenj, ki pa jih v Sloveniji nimamo.

Dodatno bi bilo potrebno raziskati odpornost skeletnih konstrukcij iz hlodov na potresno obremenitev. Slovenija namreč stoji na potresno aktivnem območju, zaradi česar morajo biti stavbe sposobne prenesti razmeroma močne potrese.

Največja prednost uporabe skeletnih konstrukcij iz hlodov pa je zagotovo njihov videz. Izgled okroglega lesa je neprimerljiv z modularnimi merami pravokotnih tramov. Konstrukcija iz okroglega lesa je videti, kot bi dihala z okolico, saj so drevesa za skelet uporabljena v njihovi naravni – gozdni obliki. Tudi na otip je ukrivljena ploskev prijetnejša kot poskobljan rob trama.

Res pa je, da izdelovanje skeletnih konstrukcij iz hlodov zahteva veliko znanja in spretnosti. Večina slovenskih tesarjev še nikoli ni prišla v stik s konstrukcijo iz hlodov ali pa so iz njih izdelovali le ograje, vrtno garniture, stojala ipd. Tudi primerov tovrstne gradnje je v Sloveniji malo. Ugotavljam, da trenutno pri nas ni javnosti znanega podjetja, ki bi se ukvarjalo s skeletno gradnjo iz hlodov.

Večina ljudi se sploh ne zaveda, da lahko zgradijo konstrukcijo iz hlodov. Ko se ljudje odločajo npr. za izgradnjo lesenega nadstreška za avtomobil, se odločajo le med lepljenim in masivnim žaganim lesom. Problem vidim v pomanjkanju ponudnikov. Nekaj podjetij ter samostojnih podjetnikov se ukvarja s kladno gradnjo, v okviru katere gradijo brunarice. Tudi tam se uporabljajo hlodi v obliki linijskih elementov, npr. strešna konstrukcija, torej neka osnova v praksi vseeno obstaja.

Sam zaenkrat možnost uporabe lesenih konstrukcij v Sloveniji vidim v gradnji enostavnejših konstrukcij, kot so nadstreški, balkoni, začasni mostovi, brvi, pomoli in manjše stanovanjske hiše. Če se bo v prihodnosti ta način gradnje razvijal, pa se lahko lotimo tudi večjih in bolj kompleksnih objektov.



Slika 38: Lesena okenska polica  
(Law, 2010: str. 72)



Slika 39: Skelet med gradnjo (Law, 2010: str. 43)

**VIRI**

Chrisp, T.M., Cairns, J., Gulland, C. 2003. The development of roundwood timber pole structures for use on rural community technology projects. *Construction & Building Materials*. 17, 4: 269-279.

Cimperman, T. 2013. Nadstrešek v Iškem Vintgarju. Osebna komunikacija. (20. 7. 2013.)

Eckelman, C A., Senft, J F. 1995. Truss system for developing countries using small diameter roundwood and dowel nut construction. *Forest Products Journal* 45, 10: 77-81.

Eckelman, C A., Haviarova, E., Erdil, Y. 2007. Exploratory study of small timber trusses constructed with through-bolt and cross-pipe heel connectors. *Forest Products Journal*. 57, 3: 39-47.

Kitek Kuzman, M. 2009. 2.izd. Gradnja z lesom - izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 309 str.

Lacinski, P., Bergeron, M. 2000. Serious straw bale. A Home Construction Guide for All Climates. Vermont, Chelsea Green Publishing: 371 str.

Law, B. 2009. The Woodland House, 2. izdaja. Hampshire, Permanent Publications: 110 str.

Law, B. 2010. Roundwood timber framing. Building Naturally using Local Resources. Hampshire, Permanent Publications: 159 str.

Popit, S., Petek, M., Arnuš, M. 2009. Geografske značilnosti Slovenije, pripr. na maturo, učbenik za geografijo za 4. letnik gimnazijskega in srednjega tehniškega oz. strokovnega izobraževanja. Ljubljana, Mladinska knjiga Založba: 80 str.

Wolfe, R. 2000. Research challenges for structural use of small-diameter round timbers. *Forest Product Journal*. 50, 2: 21-29.

Wolfe, R., Moseley, C. 2000. Small-diameter log evaluation for value-added structural applications. *Forest Products Journal*. 50, 10: 48-58.

Wolfe, R., Murphy, J. 2005. Strength of small-diameter round and tapered members. *Forest Products Journal*. 55, 3: 50-55.

Elektronski viri:

Leonardo da Vinci Pilot Project. 2008. »Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures«, Handbook 1 - Timber structures. Leonardo da Vinci Pilot Project.

[http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook1\\_final.pdf](http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook1_final.pdf) (Pridobljeno 6.9.2013)

Juvenilni les pri jelki (*Abies alba* Mill.) in smreki (*Picea abies* Karst.)

<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-YGEEFR1V/> (Pridobljeno 6.9.2013)

Učni načrt predmetov

[http://www3.fgg.uni-lj.si/uploads/media/Ucni\\_nacrt\\_predmetov\\_B-UNI-GR\\_1.pdf](http://www3.fgg.uni-lj.si/uploads/media/Ucni_nacrt_predmetov_B-UNI-GR_1.pdf) (Pridobljeno 5.9.2013)