

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Visokošolski strokovni študij  
gradbeništva, Konstrukcijska smer

Kandidatka:

**Mojca Mohorič**

# **NOSILNI SISTEMI SODOBNIH LESENIH OSTREŠIJ**

**Diplomska naloga št.: 410**

**Mentor:**  
doc. dr. Jože Lopatič

Ljubljana, 2010

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **MOJCA MOHORIČ** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:  
**»NOSILNI SISTEMI SODOBNIH LESENIH OSTREŠIJ«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske  
separatoteke Fakultete za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 7.12.2010

---

(podpis)

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK: 624.011.1(043.2)**

**Avtor: Mojca Mohorič**

**Mentor: doc. dr. Jože Lopatič**

**Naslov: Nosilni sistemi sodobnih lesenih ostrešij**

**Obseg in oprema: 94 str.**

**Ključne besede: lastnosti lesa, streha, vrste in lastnosti nosilnih sistemov lesenih ostrešij**

### **Izvleček**

Diplomska naloga obravnava nosilne sisteme sodobnih lesenih ostrešij. Podaja splošen opis lastnosti lesa, strehe, nosilnega sistema lesenega ostrešja. Podana je primerjava med tradicionalnimi in sodobnimi lesenimi ostrešji in njihovo uporabo danes.

Uvodni del zajema namen in cilj naloge. Drugo poglavje govori o lesu na splošno, kjer so opisane lastnosti lesa in proizvodov za izdelavo lesenih konstrukcij. V tretjem in četrtem poglavju so na splošno opisane lastnosti strehe in njene nosilne konstrukcije, kjer so podrobneje opisani posamezni nosilni sistemi ostrešja, ki se najbolj pogosto uporabljajo. Zadnji del naloge govori o razliki med tradicionalnimi in sodobnimi nosilnimi sistemi ostrešja in o dejavnikih, ki vplivajo na izbiro in načrtovanje nosilnega sistema ostrešja.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC: 624.011.1(043.2)**

**Author: Mojca Mohorič**

**Supervisor: Assist. Prof. Ph. D. Jože Lopatič**

**Title: The structural systems of modern wooden roofs**

**Notes: 94 str.**

**Key words: wood properties, roof, types and characteristics of the structural systems of wooden roofs**

### **Abstract**

The subject of this Graduation Thesis are structural systems of modern wooden roofs. It provides general description of wood properties, roof properties and structural systems of wooden roofs properties. Comparison between traditional and modern wooden roofs is made. The Graduation Thesis also provides comparison about frequency of use of traditional and modern wooden roofs.

The introduction part captures purposes and objectives of the Graduation Thesis. The second chapter describes general properties of wood and wooden products that are implemented in wooden constructions. The third and the fourth chapter provides general description of roofs and their structural systems. Detailed description of most frequently used structural systems of wooden roofs is provided. The enclosure of the Graduation Thesis describes differences between structural systems of traditional and modern wooden roofs. Discussion of factors that affect the choice and planning of structural systems of wooden roofs is provided.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju, doc. dr. Jožetu Lopatiču.

Aleš, Nika, mama, ati, in Matej hvala vam za neizmerno potrpljenje ter pomoč in spodbudo pri študiju.

## KAZALO VSEBINE

<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Namen in cilj naloge	1
<b>2 LES KOT ZDRAVO IN SODOBNO GRADIVO</b>	<b>4</b>
2.1 Slovenija je dežela bogata z gozdom	4
2.2 Les kot izvorno gradivo slovenskega stavbarstva	4
2.3 Les je okolju prijazno gradivo	5
2.4 Les kot gradbeni material	6
2.4.1 Fizikalne in mehanske lastnosti lesa	6
2.4.2 Trajnost lesa	9
2.4.3 Klasifikacija lesa	9
2.5 Materiali in proizvodi za izvedbo lesenih konstrukcij	9
2.5.1 Masiven les	10
2.5.2 Lepljen lameliran les	11
2.5.3 Linijski prefabricirani elementi	11
2.5.4 Ploščasti prefabricirani elementi	11
2.5.5 Kovinski materiali	12
2.5.6 Lepila	12
2.6 Spoji in vezna sredstva v lesenih konstrukcijah	13
2.6.1 Spoji	13
2.6.2 Vezna sredstva	14
2.6.2.1 Razvrstitev veznih sredstev glede na material	14
2.6.2.2 Razvrstitev veznih sredstev glede na obliko	15
2.6.2.3 Razvrstitev veznih sredstev glede na podajnost oziroma togost	15
2.7 Dimenzioniranje lesenih konstrukcij	15
2.7.1 Mejna stanja nosilnosti	16
2.7.2 Mejna stanja uporabnosti	18
2.8 Stabilnost lesenih konstrukcij	20
2.8.1 Zavarovalne konstrukcije	20
<b>3 STREHA</b>	<b>21</b>
3.1 Oblika strehe	22
3.2 Obtežba strehe	25

<b>3.3 Sestavni deli strehe</b>	<b>26</b>
<b>3.4 Nosilna konstrukcija strehe – ostrešje</b>	<b>27</b>
<b>3.4.1 Zaščita lesenega ostrešja</b>	<b>28</b>
<b>3.4.2 Konstrukcijski elementi lesenega ostrešja</b>	<b>29</b>
<b>4 NOSILNI SISTEMI LESENIM OSTREŠIJ</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Splošno</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Zgodovinski razvoj nosilnih sistemov lesenih ostrešij</b>	<b>36</b>
<b>4.3 Najbolj pogosto uporabljeni nosilni sistemi lesenih ostrešij</b>	<b>40</b>
<b>4.4 Nosilni sistem ostrešja brez leg</b>	<b>41</b>
<b>4.4.1 Škarjasto povezje</b>	<b>41</b>
<b>4.4.2 Goltniško povezje</b>	<b>45</b>
<b>4.5 Gredne strehe</b>	<b>47</b>
<b>4.5.1 Povezje s trikotnim vešalom</b>	<b>48</b>
<b>4.5.2 Povezje s trapeznim vešalom ali polno povezje</b>	<b>52</b>
<b>4.5.3 Povezje z eno podprto lego (Povezje s podprto slemensko lego)</b>	<b>54</b>
<b>4.5.4 Povezje z dvema podprtima legama (Povezje s podprtima vmesnima legama)</b>	<b>57</b>
<b>4.5.5 Povezje s podprtimi legami na prečnih zidovih</b>	<b>59</b>
<b>4.5.6 Mansardno ostrešje</b>	<b>60</b>
<b>4.6 Palične konstrukcije</b>	<b>61</b>
<b>4.7 Lepljene lamelirane konstrukcije</b>	<b>65</b>
<b>5 RAZLIKA MED TRADICIONALNIMI IN SODOBNIMI LESENIMI OSTREŠJI</b>	<b>72</b>
<b>5.1 Primerjava posameznih povezij in njihova uporaba danes</b>	<b>73</b>
<b>5.2 Izbira nosilnega sistema ostrešja</b>	<b>84</b>
<b>5.3 Načrtovanje nosilnega sistema ostrešja</b>	<b>86</b>
<b>6 ZAKLJUČEK</b>	<b>89</b>
<b>VIRI</b>	<b>91</b>

## **1 UVOD**

### **1.1 Namen in cilj naloge**

Namen diplomske naloge je analizirati pogosteje uporabljene nosilne sisteme lesenih ostrešij pri nas in v svetu, opraviti medsebojno primerjavo posameznih sistemov in ugotoviti primernost uporabe. Podrobneje bom opisala tradicionalne lesene strešne konstrukcije, saj so pri nas in v večjem delu Evrope še vedno najbolj pogost nosilni sistem ostrešja. Dotaknila pa se bom tudi lepljenih lameliranih konstrukcij, saj se danes vedno bolj uveljavljajo tudi v individualni gradnji.

Razvoj gradnje je danes tako hiter, da se niti ne zavedamo, kako malo upoštevamo naravo in njene prednosti. Veliko objektov je nesmotrno zasnovanih in energijsko potratnih. Sodobna gradnja in materiali, ki jih uporabljamo, že s svojim procesom pridelave močno onesnažujejo in bremenijo okolje in črpajo neobnovljive naravne vire. Novi objekti so pogosto oblikovani enostransko in po trenutni modi ter zelo grobo posegajo v naraven urbani prostor. Pogosto so energijsko potratni in neekološki. Zadnje čase les spet pridobiva na vrednosti, zaradi svojih na novo odkritih lastnosti in kakovosti. Uporaba lesa temelji na uveljavljanju ekoloških načel. Les je obnovljiv naravni vir, je lahko razgradljiv, ima dolgo življenjsko dobo, je zdrav in lep material. Proizvodnja lesenega gradiva je okolju prijazna. Gradnja lesenih konstrukcij bi morala postati cilj prihodnjega razvoja. Danes imamo veliko znanja, kako se les obdeluje ter pripravi za izgradnjo neke konstrukcije. Z ostalimi gradivi se enakovredno kosa predvsem zaradi izboljšane obdelave in zaščite lesa ter hitrega razvoja industrije lepil.

Glede na to, da je streha zgornji zaščitni del zgradbe, mora, podobno kot fasada, varovati objekt pred zunanjimi vplivi atmosfere, predvsem padavin v vseh oblikah. V celotni življenjski dobi zgradbe je voda zaradi svojega stalnega vpliva izrazito nezaželena na ali v objektu. Naloga strehe je, da vodo po najkrajši poti odvaja z zgradbe ter da njena površina prevzame vse njene škodljive vplive. Ker voda ne sme priti v notranjost zgradbe, ima streha, za razliko od nekaterih drugih delov stavbnega ovoja, nekatere posebne značilnosti, kot so



poševna, nepropustna in trajna površina. Poleg tega ima streha še druge naloge. Premostiti mora običajno večje razpone in nositi določeno koristno obtežbo. Če pa ima streha še vlogo stropa, mora ustrezati še ostalim gradbeno fizikalnim zahtevam, ki veljajo za obodno lupino zgradbe, kot so toplotna izolacija, zvočna izolacija, regulacija prehoda vodne pare in primerna finalna površina. V večini primerov je streha sestavljena iz dveh delov, torej nosilne konstrukcije, ki prenaša obtežbe in premošča razpetino med podporami ter kritine, ki varuje zgradbo pred vodo. Kritina torej predstavlja zgornjo površino strehe, ki prekriva nosilno konstrukcijo. V redkih primerih sta nosilna konstrukcija in kritina eno, na primer kupole v krajih s suho klimo in armiranobetonska plošča nad manjšimi stranskimi prostori. Nosilna konstrukcija strehe je običajno samostojna, precej simetrična ali geometrično pravilna struktura, ki ima svojo notranjo logiko, dostikrat neodvisno od ostalega objekta. Pojavlja se težnja, da se teža strehe prenese na zunanje podpore, ker tako ni odvisna od razporeditve nosilnih zidov ali stebrov spodaj in obratno, razporeditev spodnjih prostorov je svobodnejša, ker ni odvisna od podpiranja strehe. Naklon, oblika in material strehe so ponavadi odvisni od regionalne tradicije in arhitekturne zasnove, nastalih v stoletjih logičnega razvoja gradbene tehnike in arhitekturnih stilov. Zato je zgradba z izstopajočo streho v nekem obstoječem grajenem okolju ena od največjih napak, grob poseg v kulturno krajino in znak brezobzirnega individualizma (Brezar, 1995).

Za strešno nosilno konstrukcijo so primerni materiali z ustrežno kombinacijo tlačne in natezne trdnosti. To so les, beton in jeklo. V nalogi bom podrobneje opisala nosilne sisteme lesenega ostrešja. Leseno ostrešje je najbolj običajno in uporabno za vse naklone streh ter vse vrste kritin. Osnovni princip lesenega ostrešja obsega lege, špirovce ter letve ali opaž za podpiranje kritine. Osnovni elementi lesenega ostrešja so večinoma iz iglavcev (smreka, jelka, bor) ter redkeje iz listavcev (hrast).

Današnje potrebe od projektanta zahtevajo uporabo vnaprej določenega materiala, popolno izkoriščanje nosilnosti tega materiala, popolno varnost konstrukcije in najboljšo ekonomičnost. Zato je tako zelo pomembno, kakšna bo izvedba same strešne konstrukcije. Predvsem se mora projektant odločiti, kako bo to konstrukcijo podprl, ali samo z

zunanjsimi ali tudi z notranjsimi zidovi. Od tega je največkrat odvisna ekonomična uporaba raznih nosilnih sistemov strešnih konstrukcij.

## **2 LES KOT ZDRAVO IN SODOBNO GRADIVO**

### **2.1 Slovenija je dežela bogata z gozdom**

Prostor v Sloveniji je bil v preteklosti bogat z gozdovi. Naravna krajina se je v nespremenjeni obliki ohranila vse do obdobja pojava človeštva, v katerem se je delež gozdov na našem ozemlju občutno zmanjšal. Prvi so v gozdnato pokrajino posegli Iliri in Kelti, sledili so jim Rimljani in Slovani in po letu 800, ko so Slovenci izgubili svobodo, njihovi rimsko-nemški oblastniki, ki so vse do 18. stoletja korenito in obsežno krčili bogate gozdove, ker je naraščanje prebivalstva, razvoj trgovine z lesom, rudarstvo in steklarstvo zahtevalo trajno preskrbovanje z lesom.

Krčenje in pustošenje gozdov so v 18. stoletju omejili z zakoni in gozdno gospodarskimi predpisi. Poleg predpisov, ki so določali urejeno in do okolja prijazno izkoriščanje gozdov, so bili v sestavi katastrov izdelani tudi natančnejši popisi gozdov. Z razvojem naravoslovnih znanosti se je postopoma tudi pri nas razvilo izobraževanje, vpeljane so bile gozdarske službe, v gospodarjenje z gozdovi, ki prekrivajo še 50 odstotkov vseh površin našega ozemlja, pa je v današnjem času vključena tudi znanost (Deu Ž., Gradbenik 10/2007).

### **2.2 Les kot izvorno gradivo slovenskega stavbarstva**

Arheološke izkopanine in najdnine nam govorijo, da je bil les osnovno gradivo staroselcev. Saj je človek vedno gradil iz gradiva, ki ga je našel v neposredni bližini naselitve.

Tudi drugi, predvsem etnološki pisni viri nam govorijo, da je bil v slovenskem stavbarstvu vse do 19. stoletja les temeljno gradivo. Izjema so bile le pokrajine obalnega pasu, kjer je bila zaradi vpliva Romanov in predvsem zaradi malo gozdov uveljavljena kamnita gradnja. Nadaljnji razvoj stavbne kulture v lesu je bil prekinjen v 19. stoletju, ker je država z državnimi dokumenti in odredbami gradnjo v lesu omejila, na nekaterih območjih celo

prepovedala, zaradi pogostih in uničujočih požarov. Les so graditelji nato nadomestili z ognjevarnimi gradivi, vendar ne v celoti. Lesene masivne stene so zamenjali zidovi iz kamna in opeke, medtem ko so za ostrešja, stropne konstrukcije, tlak in stavbno pohištvo še vedno uporabljali izbran avtohton les: smrekov, jelov, hrastov in macesnov.

Zaradi industrijske proizvodnje novih sodobnih gradiv, predvsem betona in jekla ter široke palete sintetičnih proizvodov se je uporaba lesa v gradbeništvu resnično zmanjšala v 20. stoletju. Vendar zaradi tradicije ni nikoli zamrla.

Že v 70. letih prejšnjega stoletja, še posebej pa v začetku tega stoletja to lepo, zdravo in okolju prijazno gradivo pridobiva vrednost zaradi svojih na novo spoznanih in ugotovljenih kakovosti (Deu Ž., Gradbenik 10/2007).

### **2.3 Les je okolju prijazno gradivo**

Širša uporaba lesa prav gotovo temelji na uveljavljanju ekoloških načel, s katerimi mednarodna skupnost postopno preusmerja razvoj od sedanjega, ki okolje uničuje, k takemu, ki je okolju prijazen.

Splošne okoljevarstvene lastnosti lesa so:

- leseno gradivo je izdelano iz obnovljivega naravnega vira,
- leseno gradivo je lahko razgradljivo,
- proizvodnja lesenega gradiva je okolju prijazna,
- les ima dolgo življenjsko dobo,
- les je zdrav in lep material.

Cilj prihodnjega razvoja lesenih grajenih struktur mora postati večja uporaba lesa v gradbeništvu, predvsem uporaba avtohtonega lesa. (Deu Ž., Gradbenik 10/2007).

## **2.4 Les kot gradbeni material**

Les se pri gradnji objektov uporablja že tisočletja. V času, ko še ni bilo široke izbire umetnih materialov za gradnjo, se ga je uporabljalo predvsem zaradi njegove dostopnosti. Danes pa se ga uporablja predvsem zaradi njegovih pozitivnih lastnosti na objekt in bivanje v njem. Obseg uporabe lesa in lesenih izdelkov za inženirske konstrukcije je odvisen od tradicije in sodobnih dosežkov v tehnologiji lesarstva ter pristopov in usmeritev v gradbeništvo. Z betonom in jeklom se enakovredno kosa predvsem zaradi izboljšane obdelave in zaščite lesa, hitrega razvoja industrije lepil ter nenazadnje vse višjih cen jekla na svetovnih trgih. Od klasičnih gradiv se les razlikuje predvsem po svoji organski sestavi in anizotropiji. Poleg nehomogene sestave je higroskopičen, anizotropen, vlaknast, porozen, razgradljiv in obnovljiv material, ker je sestavljen iz različnih celic, ga obravnavamo kot sestavljen material (Zorc A., Gradbenik 12/2004). Je eden najbolj zdravih gradbenih materialov. Njegovo uporabo v prihodnje mu zagotavljajo njegove pozitivne lastnosti, kot so zmožnost dihanja, uravnavanje vlage, čiščenje zraka, odsotnost elektrostaticnega naboja, dobra izolativnost, prijetnost na dotik in številne druge. Velika prednost lesa je, da je le-ta naraven material in ima ugoden psihološki vpliv na počutje uporabnikov, lahko ga obdelujemo, v primerjavi z nosilnostjo ima majhno lastno težo, zaradi preprostih veznih sredstev ga enostavno sestavljamo, ob primerni izvedbi detajlov je trajen ter ima relativno dobro požarno odpornost, kar dokazujejo številni stoletja in tisočletja stari objekti po svetu. Slabost lesa je v tem, da je organski material in je potrebna dodatna zaščita z impregnacijskimi sredstvi, leseni elementi so dimenzijsko omejeni, kar rešujemo z lepljenimi lameliranimi konstrukcijami, je dragocen in količinsko omejen material (Lopatič, 2010a).

### **2.4.1 Fizikalne in mehanske lastnosti lesa**

Kakovost lesa je odvisna od njegovih fizikalnih in mehanskih lastnosti. Fizikalne lastnosti so posledica anatomske in kemične zgradbe lesa in so odvisne od delovanja naravnih sil, kot so toplota, svetloba, pretok lesnega soka in masa. Mehanske lastnosti pa so odvisne od fizikalnih lastnosti, obravnavane smeri, kakovosti in nepravilnosti v strukturi.

Fizikalne lastnosti lesa so:

- estetske lastnosti lesa, kot so vonj, okus in izgled, ki ga določajo barva, tekstura, sijaj in finost;
- gostota: je masa na enoto volumna;
- poroznost: je razmerje med celotnim volumnom por in volumnom suhega lesa izražena v %, bistveno vpliva na gostoto, delovanje lesa kot sta krčenje in nabrekanje, higroskopičnost, vnetljivost lesa in možnost obdelave;
- vlažnost: je razmerje med maso vode v lesu in maso popolnoma suhega lesa, izražena v %, odvisna je od količine vode, ki je prisotna v lesni masi, se spreminja in vpliva na kakovost, mehanske lastnosti lesa in prostorninske spremembe lesa, možnost obdelave in normalno uporabo;
- sprememba prostornine: pri spremembi temperature, vpijanju vlage in sušenju les spreminja svojo prostornino, ko les oddaja vlago v okolico prihaja do krčenja, ko pa vpija vlago iz okolice prihaja do nabrekanja, ta pojav imenujemo delovanje lesa;
- prostorninska masa: je masa lesa s porami in votlimi deli, odvisna je od botanične vrste lesa in njegove poroznosti ter vlažnosti lesa;
- termične lastnosti lesa: odvisne so od strukture, vrste, prostorninske mase, smeri vlaken, temperature v okolici lesa in vlažnosti lesa, les je slab prevodnik toplote, pod vplivom temperaturnih sprememb se malo deformira in ima veliko kaloričnost;
- požarna odpornost lesa: pove koliko časa je les lahko izpostavljen visokim temperaturam in še ohrani nosilnost, poveča se s povečanjem izračunanih dimenzij prereza za določen odstotek in z uporabo različnih zaščitnih oblog in premazov;
- električne lastnosti: pomembne so pri predelavi in obdelavi lesa;
- akustične lastnosti: les je izredno akustičen material;
- optične lastnosti.

Mehanske lastnosti lesa so:

- deformabilnost: zavisi predvsem od vrste lesa, napak pri rasti, gostote, poroznosti, vlažnosti in smeri vlaken, zaradi reoloških pojavov s staranjem lesa upada; mehanska količina, s katero v inženirski praksi ponazorimo deformabilnost lesa, je modul elastičnosti in je pomembna lastnost pri dimenzioniranju in analizi lesenih konstrukcij; upoštevamo predpisane vrednosti modulov elastičnosti, različni so glede na smer vlaken in smer obremenjevanja; druga materialna karakteristika, ki označuje deformabilnost lesa, je strižni modul, ki pa je v primerjavi z modulom elastičnosti precej manjši kot pri drugih materialih, zato je pri izračunu pomikov lesenih konstrukcij smotno upoštevati tudi delež prečnih sil;
- trdnost: to je tista napetost v lesnem elementu, pri kateri se prične rušiti anatomsko struktura lesa in neposredno vpliva na dimenzioniranje lesenih prereзов; trdnosti so odvisne od smeri napram vlaknom, računamo s tlačno trdnostjo (centrični tlak vzporedno, pravokotno in poševno na vlakna), natezno trdnostjo (nateg v smeri vlaken, pravokotno na vlakna, poševno na vlakna), upogibno trdnostjo in strižno trdnostjo (strig v smeri vlaken, pravokotno na vlakna ter radialni in tangencialni strig), ki so odvisne predvsem od vrste obremenitve in različnih smeri delovanja napetosti ter od vrste lesa, strukture lesa, prostorninske teže, poroznosti, količine in vrste napak, vlažnosti ter od postopkov obdelave in shranjevanja lesa;
- duktilnost: duktilnost ponazarja sposobnost materiala, da absorbira določeno energijo, ta energija se pojavi v obliki plastičnih deformacij, preden nastopi porušitev;
- trdota: je lastnost, da se les upira prodiranju drugih teles v njegovo maso, razvrščamo ga v šest trdnostnih stopenj, to so zelo mehak, mehak, srednje trd, trd, zelo trd in koščeno trd les;
- odpornost na obrabo: je sposobnost lesa, da se upira površinskim mehanskim spremembam pri delovanju obtežbe in drugih zunanjih vplivov, odvisna je od vrste lesa, strukture, specifične mase, smeri vlaken, vlažnosti in načina uporabe;
- lezenje: to je napetostno odvisno povečevanje deformacij oziroma pomikov zaradi dolgotrajnega delovanja obtežbe, odvisno je od vlažnosti lesa (Lopatič, 2010a, Žarnić, 1999, Gradbeniški priročnik, 2008, Premrov in Dobrila, 2008).

### **2.4.2 Trajnost lesa**

Pomembna lastnost je tudi trajnost lesa, časovno obdobje, v katerem les lahko obdrži nespremenjene mehanske lastnosti, strukturo in barvo. Odvisna je od vrste lesa, fizikalnih lastnosti ter izpostavljenosti vlagi, zraku in vodi. Trajnost lesa zmanjšuje delovanje agresivnega okolja, zato uporabljamo različna zaščitna sredstva. Les, ki je izpostavljen izmenljivim pogojem vlage, zelo hitro propade, če pa je primerno zaščiten ter v čistem in suhem zraku ali v vodi, je praktično neomejeno trajen. Dolgo bo ostal uporaben in nepoškodovan, če bo prezračevan in na svetlobi, če je v temi, je podvržen napadu gliv in plesni (Lopatič, 2010a in Žarnić, 1999).

### **2.4.3 Klasifikacija lesa**

Po zdaj veljavnih standardih EC 5 monolitni les klasificiramo v trdnostne razrede; za iglavce in topolovino uporabljamo oznako C, za listavce pa D, po prejšnjih standardih pa je bil les klasificiran po kakovostnih razredih z oznakami I, II in III (Gradbeniški priročnik, 2008).

## **2.5 Materiali in proizvodi za izvedbo lesenih konstrukcij**

Za izvedbo lesenih konstrukcij uporabljamo masiven les, lepljen lameliran les, furnirne plošče, vezane plošče in različne druge ploščaste elemente. Med običajni gradbeni les, ki ga uporabljamo za izdelavo nosilnih elementov in celotnih nosilnih konstrukcij sodijo, iglavci (smreka, jelka, bor in macesen) in listavci (hrast in bukev).



### 2.5.1 Masiven les

Med masiven les, ki se izkorišča za izgradnjo lesenih konstrukcij spadajo sledeči leseni elementi:

- obli les: to je deblo brez lubja in vej, pridobiva se ga s prečnim razrezom debel, uporabljamo ga lahko za neposredno ali za nadaljnjo uporabo, premeri oblega lesa so od 8 do 30 cm in dolžine do 16 m;
- tesani les: izdeluje se ga s tesanjem iz debel, v novejšem času tesanje zamenjuje žaganje, tesani les uporabljamo za izdelavo ostrešij predvsem za doseganje posebnih učinkov pri obnavljanju tehnične dediščine;
- rezani ali žagani les: največ se ga uporablja pri konstrukcijah pravokotnega ali kvadratnega prereza, razvrščamo ga po vrstah lesa, oblikah prečnega prereza, položaju v deblu, teksturi, vrsti in stopnji obdelave, izmerah ter kakovosti in namenu, glede na obliko prečnega prereza ga delimo na deske, plohe, letve, tramiče in trame (Žarnić, 1999 in Lopatič, 2010b).

Pri uporabi masivnega lesa, kadar gre za večje razpone, smo pogosto vezani na izvedbo sestavljenih prečnih prerezov elementov konstrukcije, ker so dimenzije prečnih prerezov omejene (Lopatič, 2009). Gradbeni elementi v sodobnih lesenih konstrukcijah morajo izpolnjevati številne funkcije, zato klasičen masivni les vedno bolj pogosto zamenjujejo prefabricirani lesni proizvodi. Prednosti prefabriciranih lesnih proizvodov se kažejo zlasti v izločitvi oziroma razpršitvi napak v lesu, imajo boljše mehanske lastnosti ter boljšo dimenzijsko in oblikovno stabilnost skozi celotno življenjsko dobo konstrukcije (Lopatič, 2010b).

### **2.5.2 Lepljen lameliran les**

Lepljen lameliran les (Glued laminated timber - glulam) je sodobno kompozitno gradivo, ki ga sestavljajo lesene lamele z vzporednimi vlakni in vodoodporno lepilo. Ima boljše mehanske lastnosti kot sam les, zaradi česar lahko izdelamo nosilne elemente poljubnih oblik in velikih razponov (Žarnić, 1999). Od ostalih vrst kompozitnega lesa se elementi lepljenega lameliranega lesa razlikujejo po tem, da imajo lahko tudi ukrivljeno vzdolžno os in spremenljivo višino. Pri nas je bolj uveljavljen lepljen lameliran les, medtem ko se v svetu pojavljajo tudi druge oblike konstrukcijskega kompozitnega lesa (Lopatič, 2010b).

### **2.5.3 Linijski prefabricirani elementi**

Pri linijskih prefabriciranih elementih gre za tako imenovani konstrukcijski kompozitni les (Structural composite lumber – SCL). To so proizvodi, ki jih pridobivajo s posebnimi tehnološkimi postopki. Z lepljenjem furnirjev dobimo slojnat furnirni les (Laminated veneer lumber – LVL), na pasove razrezane furnirje (Parallel strand lumber – PSL) ter dolge usmerjene iveri (Laminated strand lumber – LSL). Proizvodi se množično uporabljajo v Severni Ameriki, drugod po svetu in v Evropi pa malo manj. Med kompozitni konstrukcijski les uvrščamo tudi linijske elemente, dobljene z medsebojnim lepljenjem manjšega števila sestavnih delov (dveh, treh ali štirih delov – duo, trio in quattro nosilci) in tudi pri nas dobro uveljavljen lepljen lameliran les, pri katerem gre za lepljenje večjega števila razmeroma tankih lamel (Lopatič, 2010b).

### **2.5.4 Ploščasti prefabricirani elementi**

V gradbenih elementih se izmed tanjših ploščastih materialov uporabljajo predvsem vezane plošče (Plywood), panelne plošče (Blockboard) ter plošče z usmerjenim iverjem (Oriented strand boards – OSB). V teh primerih gre za elemente z nadzorovano oziroma vsiljeno orientacijo vlaken. Medtem ko so elementi z naključno razporeditvijo vlaken, kot so iverne in

vlaknaste plošče, manj uporabni za nosilne gradbene konstrukcije. Tanke ploščaste elemente uporabljamo pri panelnih montažnih sistemih ali za stojine lepljenih nosilcev, kot so »I« in »škatlasti« nosilci.

Debelejše ploščaste elemente, ki lahko samostojno opravljajo nosilno funkcijo in so bili razviti pred kratkim, srečamo pri naprednih sistemih masivne gradnje. V osnovi so uporabljene lamele iz masivnega lesa, ki so s pomočjo mehanskih veznih sredstev ali lepila povezane v ploskovne – masivne panelne elemente. Tipičen primer takšnih elementov so elementi iz križno lepljenega lameliranega lesa (Cross laminated timber – CLT). Tehnološki postopki omogočajo izdelavo elementov debeline do 50 cm, širine do 5 m ter dolžine, ki v odvisnosti od širine lahko znaša tudi preko 20 m. Za največje dimenzije panelov so večkrat merodajne omejitve zaradi možnosti transporta kot omejitve, ki izvirajo iz osnovnih tehnoloških procesov izdelave. Zaradi dobrih mehanskih, gradbeno-fizikalnih in požarnih lastnosti ter hitrega sestavljanja masivnih panelnih sistemov na gradbišču, število izvedenih objektov z masivno nosilno konstrukcijo v svetu hitro narašča (Lopatič, 2010b).

### **2.5.5 Kovinski materiali**

Pri izgradnji lesenih konstrukcij se uporabljajo različni elementi oziroma proizvodi iz kovin. Uporablja se jeklene palice krožnega prečnega prereza, jeklene pločevine, jeklene valjane in hladno stiskane profile ter jeklena in železna vezna sredstva (Muravljov in Stevanović, 1999).

### **2.5.6 Lepila**

V prvi vrsti se lepila uporabljajo za lepljene lamelirane konstrukcije in pri proizvodnji skoraj vseh lesenih ploščastih elementov. Lepila morajo imeti zelo dobre mehanske lastnosti, trajnost v vlažnem okolju ter odpornost na temperaturo (Muravljov in Stevanović, 1999).

## **2.6 Spoji in vezna sredstva v lesenih konstrukcijah**

Dimenzije lesenih konstrukcij iz masivnega lesa so omejene, zato so največkrat sestavljene iz večih sestavnih delov, ki so povezani v nosilne konstrukcijske sisteme. Glede na način prevzema in prenosa obremenitev med sestavnimi deli pri lesenih konstrukcijah ločimo strižne, natezne in tlačne priključke (Lopatič, 2010a).

Uporablja se različne spoje in vezna sredstva, v preteklosti so se večinoma uporabljali stiki brez kovinskih povezav. Elemente so tesarsko obdelali tako, da so se na mestu stika preklapljali na različne načine. Takšne tesarske povezave uporabljamo še danes, kar nam omogoča računalniško vodena tehnologija obdelave lesa. Takšni stiki so primerni le za konstantno obtežbo, zato se za prenos spremenljive obtežbe ter obtežbe vetra in potresa v spoje dodaja različna mehanska vezna sredstva, ki preprečijo izgubo kontakta in ležišča med lesenimi elementi (Saje, 2009).

### **2.6.1 Spoji**

Velik vpliv na izvedbo stikov in uporabo različnih vrst veznih sredstev imajo napetosti pravokotno na vlakna lesa, vlažnost in s tem povezana deformacijska sprememba dimenzij lesenih elementov v stiku, izpostavljenost atmosferskim vplivom ter ciklična ali spremenljiva obtežba v stiku. To lahko povzroči hude poškodbe, kar je potrebno preprečiti s pravilnim načrtovanjem in konstruiranjem spojev.

V lesenih konstrukcijah spoje razvrščamo med podajne oz. popustljive in toge oz. lepljene. Največkrat se uporabljajo mehanska vezna sredstva v kombinaciji s tesarskimi spoji. Tesarski spoji se natančno izvedejo že pri obdelavi lesenih elementov, to so čepi, utori, zaseki in lastovičji repi. Med mehanskimi spoji pa imamo širok nabor veznih sredstev, ki omogočajo zanimive rešitve povezav tako s statičnega kot tudi z arhitekturnega vidika. V primeru vidne konstrukcije lahko izdelamo stike, ki so zelo zanimivi na pogled (Saje, 2009).

## 2.6.2 Vezna sredstva

Konstrukcijski sistemi so povezani z veznimi sredstvi, katerih naloga je, da prenašajo natezne in strižne sile ter momentne obremenitve z enega konstrukcijskega elementa na drugega. Z zadostno varnostjo morajo prenašati sile in obremenitve pri še sprejemljivo velikih pomikih in zasukih. Z njimi povezujemo sestavne dele v nosilne elemente in nosilne elemente v sestavljene konstrukcije. Poleg tega, da morajo prevzeti priključne sile, morajo biti čimbolj enostavno vgradljiva, ne smejo kvariti videza konstrukcije ter ne smejo biti predraga. Parametri, ki vplivajo na ustrezno izbiro veznega sredstva, so cenovna konkurenčnost, estetski videz in izvedljivost lesenih konstrukcij. Uporabljena vezna sredstva so odvisna od tipa obravnavanega konstrukcijskega sistema in od dimenzij njegovih sestavnih delov (Lopatič, 2010a, Saje, 2009).

Vezna sredstva ločimo glede na:

- material;
- način vgrajevanja, ločimo takšna, ki jih vgrajujemo v naprej pripravljene utore, žlebove ali pa jih uvijamo, zabijamo in vtiskamo;
- smer sile, ki jo lahko prevzamejo;
- delež priključne ploskve, ki jo zavzamejo;
- podajnost.

### 2.6.2.1 Razvrstitev veznih sredstev glede na material

Ločimo:

- lesena vezna sredstva: klini, mozniki in vijaki;
- jeklena vezna sredstva: žebli, vijaki, trni, krempljaste plošče ali ježevke, paličasti in jekleni mozniki;
- vezna sredstva iz drugih materialov, kot so na primer lepila in polietilenski materiali (Lopatič, 2010a, Premrov in Dobrila, 2008).

### **2.6.2.2 Razvrstitev veznih sredstev glede na obliko**

Razdelimo jih na:

- klinasta vezna sredstva: žblji, sponke, vijaki, paličasti mozniki, ježevke;
- ploščata vezna sredstva: mozniki, jeklene strižne plošče (Premrov in Dobrila, 2008).

### **2.6.2.3 Razvrstitev veznih sredstev glede na podajnost oziroma togost**

Ločimo štiri kategorije:

- toga vezna sredstva: lepilo;
- elastična vezna sredstva: žblji, krempljaste plošče ali ježevke ter vsa vezna sredstva, ki so zabita ali vtisnjena;
- plastična vezna sredstva: mozniki, ki so vgrajeni v utore in žlebove, zobčanje, pričeljenje, stikovanje na čelni kontakt s čepom;
- mehka vezna sredstva: vijaki, skobe, spone, objemke in podobno (Lopatič, 2010a).

## **2.7 Dimenzioniranje lesenih konstrukcij**

Lesene konstrukcije računamo po standardu EVROKODU 5 (EC 5). Račun lesenih konstrukcij temelji na metodi mejnih stanj, konstrukcija oziroma vsak njen element mora izpolnjevati zahteve po nosilnosti in uporabnosti. Torej je konstrukcija primerna za uporabo, dokler ne preseže mejnega stanja, preko katerega niso več izpolnjeni kriteriji nosilnosti ali uporabnosti konstrukcijske komponente. Pomembno vlogo pri izražanju kriterijev za določanje mejnih stanj imajo varnostni faktorji, katerih določitev je načelno v pristojnosti posamezne države, ki sprejme svoje predpise zasnovane na EC 5, dejansko pa se po vsej Evropi uporablja priporočene vrednosti varnostnih faktorjev (Vratuša, 2009 in Žarnić, 1999).

### 2.7.1 Mejna stanja nosilnosti

Določitev potrebnih dimenzij prereza glede na mejna stanja nosilnosti (MSN) predstavlja v lesenih konstrukcijah edino metodo dimenzioniranja glede na napetostne pogoje. Projektna napetost v prerezu ( $\sigma_{ij,d}$ ) mora biti manjša od projektne trdnosti materiala ( $f_{ij,d}$ ). Naveden pogoj zapišemo v obliki:  $\sigma_{ij,d} \leq f_{ij,d}$ . Če dodatno upoštevamo še geometrijske vrednosti prereza, lahko pogoj MSN zapišemo v obliki:  $E_{d,i} \leq R_{d,i}$ , kjer je  $R_{d,i}$  projektna odpornost prereza,  $E_{d,i}$  pa projektna obremenitev:  $\{E\}_d^T = \{N_x, V_y, V_z, M_x, M_y, M_z\}_d$ .  $R_{d,i}$  je funkcija projektne trdnosti materiala in geometrijskih karakteristik prereza ( $a_d$ ), indeks  $i$  pa se nanaša na vrsto obremenitve (osna sila  $N_x$ , prečni sili  $V_y$  in  $V_z$ , upogibna momenta  $M_y$  in  $M_z$  in torzijski moment  $M_x$ ):  $R_{d,i} = R_{d,i}(f_{ij,d}, a_{d,i})$ . Enačbi  $\sigma_{ij,d} \leq f_{ij,d}$  in  $E_{d,i} \leq R_{d,i}$  predstavljata osnovni enačbi kriterija MSN, zapisanega v obliki napetosti oziroma s silami. Z ozirom na vrsto obremenitve moramo lesene elemente dimenzionirati na centrični nateg, centrični tlak z ali brez uklona, upogib, strig, torzijo, kombinacijo upogiba in osne sile, kombinacijo striga in torzije, temperaturne spremembe in delovanje lesa (krčenje in nabrekanje). Temperaturne spremembe ter krčenje in nabrekanje so odvisni od dolžine elementov, zato postanejo pomembni šele pri elementih večjih razponov  $L \geq 10$  m, kjer jih je potrebno posebej raziskati.

Izračun dejanskih notranjih statičnih količin, ki delujejo na lesene prereze, je predmet statične analize. Računsko vrednost obremenitve ( $F_{i,d}$ ) dobimo tako, da vrednost "dejanske" obremenitve ( $F_i$ ) pomnožimo s pripadajočim parcialnim varnostnim koeficientom ( $\gamma_{F,i}$ ):  $F_{i,d} = \gamma_{F,i} \cdot F_i$ .  $F_i$  je posledica neke obtežbe ( $q$ ), ki deluje na konstrukcijo, zato je koeficient  $\gamma_{F,i}$  odvisen predvsem od obtežbe in verjetnosti, da se obravnavana obtežba pojavi v času uporabnosti konstrukcije. Manjša ko je verjetnost, da maksimalno vrednost obravnavane obtežbe točno določimo, večji varnostni koeficient bomo upoštevali. Varnostni faktorji za spremenljivo obtežbo so večji kot za stalno, katere vrednosti običajno bolj natančno določimo iz specifičnih tež in dimenzij elementov. Pri projektiranju večjih objektov moramo paziti, da objekta ne predimenzioniramo. Zato moramo pri upoštevanju obtežb, za katere obstaja manjša verjetnost, da se bodo pojavile v času uporabnosti objekta (potres, incidentne situacije...), upoštevati manjše varnostne koeficiente kot za obtežbe, ki se bodo bolj verjetno pojavile s svojo polno vrednostjo (stalna, koristna obtežba...). Vrednosti upoštevanih

koeficientov varnosti so odvisne predvsem od vrste obtežbe in kombinacije obtežb, ki jih bomo pri projektiranju predvideli na obravnavani konstrukciji.

Kombinacije obtežnih primerov:

- a. Osnovne obtežne kombinacije:  $\sum_{j \in 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{j \in 2} \gamma_{Qi} \Psi_{0i} Q_{ki}$ , kjer predstavlja  $G_{kj}$  vrednost stalne,  $Q_{ki}$  pa vrednost spremenljive obremenitve v obravnavanem prerezu. Koeficienti  $\gamma_{Gj}$  so varnostni koeficienti pri stalni obremenitvi,  $\gamma_{Qi}$  pa pri spremenljivi obremenitvi. EC 0 predpisuje za neugodno delovanje obtežb:  $\gamma_{Gj} = 1,35$  in  $\gamma_{Qj} = 1,50$  in za ugodno delovanje obtežb:  $\gamma_{Gj} = 1,0$  in  $\gamma_{Qj} = 0$  (je ne upoštevamo). V izogib predimenzioniranja elementov pri hkratnem delovanju več spremenljivih obtežb njihove vrednosti računsko reduciramo s koeficienti  $\Psi_{0i}$ , ki so odvisni od vrste spremenljive obtežbe.
- b. Kombinacije z neugodnimi obtežbami:  $\sum_{j \in 1} \gamma_{GAj} G_{kj} + A_d + \Psi_{1,1} Q_{k1} + \sum_{j \in 2} \Psi_{2i} Q_{ki}$ . Priporočena vrednost za  $\gamma_{GAj} = 1,0$ , razen če ni drugače določeno v nacionalnih predpisih. Vrednosti redukcijskih koeficientov  $\Psi_{1i}$  in  $\Psi_{2i}$  so odvisne od vrste obtežbe.
- c. Kombinacije s potresno obtežbo:  $\sum_{j \in 1} G_{kj} + \gamma_1 A_{Ed} + \sum_{j \in 1} \Psi_{2i} Q_{ki}$ . Priporočena vrednost za  $\gamma_1$  je 1,0, razen če ni drugače določeno v nacionalnih predpisih.

Projektno nosilnost ( $R_d$ ) določimo glede na karakteristično nosilnost prereza ( $R_k$ ), ki jo iz varnostnih razlogov fiktivno zmanjšamo z varnostjo glede na obnašanje materiala. To upoštevamo z materialnim varnostnim koeficientom ( $\gamma_M$ ). Na trdnost, in posledično na nosilnost prereza, dodatno vpliva tudi vlažnost lesa in trajanje obtežbe, zato moramo dobljeno vrednost še dodatno reducirati s pomočjo modifikacijskega koeficienta  $k_{mod}$ . Če projektne napetosti primerjamo s projektnimi trdnostmi, zapišemo:  $f_d = k_{mod} f_k / \gamma_M$ , kjer je  $f_d$  projektna trdnost,  $f_k$  pa karakteristična trdnost lesa (upogibna, tlačna, natezna, strižna), podana glede na klasifikacijo materiala. Koeficient  $\gamma_M$  računsko upošteva določeno varnost glede na uporabljen material. Njegova vrednost je neposredno odvisna od vrste materiala. Za masivni les in druge materiale na osnovi lesa je  $\gamma_M$  enak 1,30. Ker pa je kontrola postopkov pri izdelavi lepljenega lameliranega lesa večja kot pri naravnem masivnem lesu, je upoštevana materialna varnost nekoliko manjša in sicer je enaka 1,25, za industrijsko izdelane elemente kot so furnirne in OSB plošče pa celo 1,20. Vrednost modifikacijskega faktorja ( $k_{mod}$ ) je odvisna od vlažnosti lesa in trajanja obtežbe, le-te so različne za različne vrste lesenih izdelkov. V primeru, da v

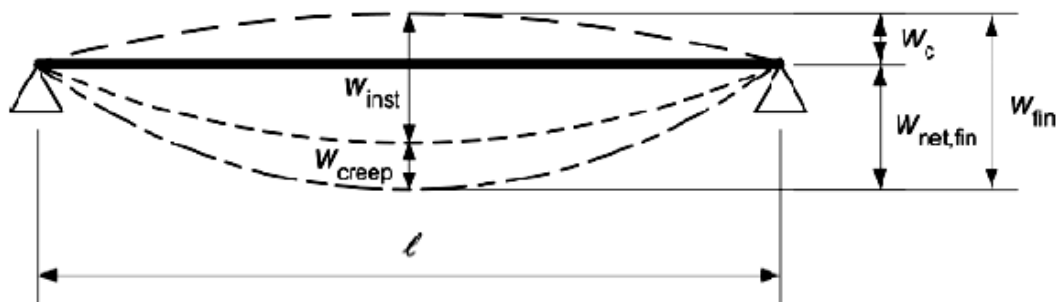


obtežni kombinaciji nastopajo obtežbe z različnimi vrednostmi za modifikacijski faktor, upoštevamo vrednost za najkrajšo delujočo obtežbo. Torej, kjer nastopajo obtežbe  $q1, q2, \dots, qn$ , upoštevamo  $k_{mod} = \max \{k_{mod,q1}, k_{mod,q,2}, \dots, k_{mod,qn}\}$ . Vrednosti  $k_{mod}$  s povečano vlažnostjo upadajo, saj povečanje vlažnosti do točke zasičenosti negativno vpliva na trdnost lesa.

### 2.7.2 Mejna stanja uporabnosti

Pri projektiranju lesenih konstrukcij je potrebno poleg napetostnih kriterijev, ki zagotavljajo varnost proti porušitvi, zadovoljiti tudi pogoje uporabnosti. Konstrukcijski element mora v času uporabe ohraniti možnost uporabe in dober izgled. Dimenzioniranje konstrukcijskih elementov z upoštevanjem kriterijev uporabnosti imenujemo mejno stanje uporabnosti (MSU). Uporabnostna kriterija, ki jih podaja standard sta: kriterij za deformacije oz. upogibi, ki vplivajo na uporabnost in izgled konstrukcijskega elementa ter kriterij za vibracije, ki povzročajo nelagodno počutje uporabnikov ali otežujejo obratovanje objekta (Premrov in Dobrila, 2008).

Deformacije, ki nastanejo zaradi dejanskih obtežb, ki delujejo na konstrukcijo, morajo ostati znotraj predpisanih vrednosti, da ne pride do poškodb na fasadi, stropu, predelnih stenah ali ometih ter da konstrukcija ohrani svojo osnovno funkcijo in primeren izgled. Na primer, prevelik upogib ravnega strešnega predalčnega nosilca, ki se sicer ne bi porušil, bi pa povzročil, da se bo na strehi prekomerno nabirala voda, vpliva na sam izgled strehe in spodnjo konstrukcijo. Podobnih primerov je še veliko, zato morajo upogibi pri dejanski obtežbi ostati znotraj točno določene meje. MSU kontroliramo z naslednjimi obtežnimi kombinacijami:  $\Sigma G_{k,j} + Q_{k,j} + \Sigma \Psi_{i,j} Q_{k,j}$  (Premrov in Dobrila, 2008). Pri računskih pomikih ločimo trenutne (začetne) pomike  $w_{inst}$ , ki nastopijo takoj po nanosu obtežbe, pomike zaradi lezenja lesa  $w_{creep}$  in pomike po končanem lezenju, končne pomike  $w_{fin}$ :  $w_{fin} = w_{inst} + w_{creep}$ . Da dosežemo vizualno manjše pomike, zaradi zunanjih obtežb, lahko pri nekaterih nosilnih elementih izvedemo predhodno nadvišanje  $w_c$ .



Prikaz začetnih in končnih pomikov (Lopatič J., 2010b, str. 52)

Največji pomik je neto končni pomik  $w_{net,fin}$ :  $w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c$ . Neto začetni pomik pa je  $w_{net,inst}$ :  $w_{net,inst} = w_{inst} - w_c$ . Vpliv reologije (lezenja) upoštevamo s pomočjo koeficienta lezenja  $k_{def}$ , ki je odvisen od vrste materiala in razreda uporabe. Pri stalnih vplivih upoštevamo celotno vrednost  $k_{def}$  in če je  $w_{creep} = k_{def} \cdot w_{inst}$ , potem velja:  $w_{fin,G} = w_{inst,G} + w_{creep,G} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G}$ . Pri spremenljivih vplivih, pa upoštevamo korigirano vrednost  $k_{def}$  in če je  $w_{creep,Q} = (\Psi_2 k_{def}) \cdot w_{inst,Q}$  potem velja:  $w_{fin,Q} = w_{inst,Q} + w_{creep,Q} = (1 + \Psi_2 k_{def}) \cdot w_{inst,Q}$ . V splošnem morata biti izpolnjena naslednja pogoja:  $w_{inst} \leq w_{inst,lim}$  in  $w_{fin} \leq w_{fin,lim}$ , kjer je  $w_{inst,lim}$  mejna vrednost pomikov v začetnem času in  $w_{fin,lim}$  mejna vrednost pomikov v končnem času (Lopatič, 2010b).

Vibracije, ki se lahko pojavijo na objektu v času uporabe, morajo ostati v takšnih mejah, da ne zmanjšajo funkcionalnosti objekta ter da ne vplivajo na počutje uporabnikov in varnost. Pri tem je potrebno upoštevati najbolj neugodne pozicije stalne in spremenljive obtežbe (Premrov in Dobriča, 2008).

## **2.8 Stabilnost lesenih konstrukcij**

Pri projektiranju in izvajanju lesenih konstrukcij moramo, poleg kontrole napetosti in deformacij oz. pomikov, posebno pozornost nameniti tudi njihovi prostorski stabilnosti. Stabilnost konstrukcije je lahko ogrožena zaradi nestabilnosti posameznih elementov ali zaradi nestabilnosti konstrukcije kot celote v vzdolžni in prečni smeri. Elementi konstrukcije se lahko deformirajo ali bočno premaknejo zaradi delovanja normalnih sil in upogibnih momentov. To še zlasti velja pri pravokotnih prerezih z veliko višino, ki so obremenjeni na upogib, kar je pogost pojav pri lepljenem lameliranem lesu (Muravljov in Stevanović, 1999).

### **2.8.1 Zavarovalne konstrukcije**

Pretirane pomike preprečujemo z zavarovalnimi konstrukcijami, s katerimi zagotavljamo lokalno stabilnost posameznih elementov in globalno stabilnost konstrukcije kot celote, takrat kadar z drugimi ukrepi ni zagotovljena zadostna horizontalna togost in odpornost konstrukcije. Naloga zavarovalnih konstrukcij je, da prevzamejo horizontalne obtežbe in jih prenesejo na temelje. Horizontalne obtežbe, ki delujejo na konstrukcijo, so lahko zunanje, kot sta na primer veter in potres ter notranje, ki nastajajo pri izbočenju nosilcev, deformiranju tlačanih elementov izven ravnine obremenitve ali kot posledica začetnih ukrivljenosti elementov in napak pri izvajanju. Poznamo več vrst zavarovalnih konstrukcij; to so na primer paličja, ročice, Andrejevi križi, bočne opore ter opaž pod kotom (Lopatič, 2010a in Muravljov in Stevanović, 1999).

### 3 STREHA

Streha sooblikuje videz stavbe, naselja in kulturne krajine. Je zgornji del ovoja hiše, imenovan tudi "peta fasada". Naloga strehe je, da zaščiti zgradbo pred vremenskimi vplivi, kot so padavine (sneg, dež in toča), sonce, veter, mraz in vročina, v zadnjem času pa tudi pred hrupom. Njeni izvedbi je potrebno nameniti dovolj pozornosti že v začetku od samega načrtovanja dalje, ker le-ta bistveno vpliva na zunanjo obliko in značaj samega objekta. Določa jo več parametrov, kot so estetski videz, arhitekturna usklajenost z objektom, okolico in pokrajinskimi značilnostmi gradnje, trdnost in odpornost proti potresu, ognju in vremenskimi vplivom ter s tem povezana trajnost, toplotna izolativnost in ekonomičnost. Razmišljati je potrebno o uporabi ekoloških materialov, ki so naravni in pri lastni proizvodnji ne porabijo veliko energije. Pomembno pa je tudi, da je vzdrževanje strehe čim bolj preprosto in enostavno.

Pred padavinami lahko streha zaščiti stavbo, če je strešna površina pravilno izvedena. Tako, da ne prepušča deževnice, temveč jo spravi v kanalizacijo zunaj objekta. To pomeni, da moramo narediti nepropustno površino strehe v nagibu, da lahko deževnica hitro odteče preko zunanjih zidov objekta oziroma preko žlebov skozi odvodne cevi v meteorno kanalizacijo. Če želimo preprečiti kopičenje snega na strehi moramo narediti dovolj strmo streho, da se sneg na njej ne zadržuje, pri tem pa moramo biti pozorni na varnost v okolici strehe. Kritina mora biti iz takega materiala, ki se lahko upira udarcem toče, nosilna konstrukcija ostrešja pa mora biti tako trdna, da se upira vetru. Vlogo zaščite pred mrazom in vročino največkrat prevzame kar strop spodaj pod streho. Pred ognjem pa jo zaščitimo s pokrivanjem strešnih površin z ognjeodpornim materialom in odmikanjem vnetljivih elementov od izvora ognja (Peulić, 2002).

Del zgradbe, ki ga gradbeni inženirji poimenujejo streha, se deli na dva dela. Sestavljen je iz strešne nosilne konstrukcije – ostrešja in krova. Nosilna konstrukcija je običajno vidna samo na podstrešju, medtem ko je krov zunanja oziroma zgornja obloga ostrešja, vidna na zunaj oziroma od zgoraj in v nekaterih primerih tudi s podstrešja. Strešni krov je sestavljen iz kritine, letev ali opaža in špirovcev. Nosilni sistem ostrešja pa sestavljajo strešne lege in

povezja, ki nosijo lege. Izjema so sistemi, ki so brez leg in povezij. Tukaj so špirovci v nosilni konstrukciji, saj so edini nosilni element ostrešja.

Streha je različno oblikovana. Oblika strehe vpliva na videz stavbe in vidno podobo naselja, s tem sta pogojeni tudi raznolikost in razpoznavnost kulturnih krajin sveta. V različnih kulturnih krajinah sta se oblika in izgled strehe razvijala v skladu s funkcionalnostjo. Na to so vplivale naravne danosti in kultura sama v okolju gradnje. Na obliko je tako, poleg vremenskih vplivov in avtohtonega gradiva, vplivala tudi kultura, razvita tehnika gradnje in sprejeta merila lepega. Raznovidna oblika streh po svetu je torej posledica različnih naravnih danosti in različno razvitih kultur bivanja, gradnje in umetnosti. Tako kot širše v svetu so tudi v Sloveniji naselja z značilno oblikovanimi strehami. Strehe so se v povezavi z drugimi sestavnimi deli izoblikovale v danes identitetne podobe v dolgem zgodovinskem razvoju. Oblike streh so zaradi različnih naravnih danosti, tehničnih in umetnostnih vplivov, ki so pogojevali gradnjo in vplivali nanjo, različne. Oblika je določena s številom strešin, njihovim naklonom in kritino (Tematski priročniki Gradnja&oprema, Streha&podstrešno stanovanje, 2007).

### **3.1 Oblika strehe**

Oblika strehe je odvisna od geografskih značilnosti kraja, ki so se skozi stoletja izoblikovale na različnih področjih zaradi naravnih danosti, vremenskih pogojev, uporabe lokalnih gradiv ter ostalih gradbenih značilnosti samega objekta. Tako so v hribovitejših krajih, zaradi veliko padavin, strehe bolj strme, medtem ko so na področjih, kjer je bolj vetrovno in manj padavin bolj položne. Alpske dežele imajo običajno bolj strme strehe z zelo velikimi napušči, medtem ko so bolj položne strehe običajno značilne za Severnoevropske obalne regije. K obliki strehe prispevajo tudi različne funkcije, ki jim mora zadovoljiti stavba. Na primer, notranja igrišča za tenis imajo lupinaste oblike streh, medtem ko imajo ostale dvorane lahko ravne strehe za lažje prilagajanje raznoliki uporabi. Kombiniramo lahko različne oblike streh, vendar s tem velikokrat pride do napak pri detajlih. Da se temu izognemo uporabljamo bolj preproste oblike streh (Brotrück, 2007).

Najbolj pogosto nagib strešine označujemo ali izražamo s stopinjami kota med nagnjeno strešino in horizontalno ravnino. Drugi način je, da nagib strešine označimo z razmerjem med višino in spodnjo stranico pravokotnega trikotnika, kot je razvidno iz prečnega preseka ostrešja, pri čemer se višino trikotnika vzame kot enoto. To razmerje je torej tangens kota naklona. Tretji način pa je, da nagib strešine označujemo s procenti njenega padca ali vzpona proti horizontalni ravnini. Drugi in tretji način sta manj običajna. Glede na nagib strešin torej razlikujemo:

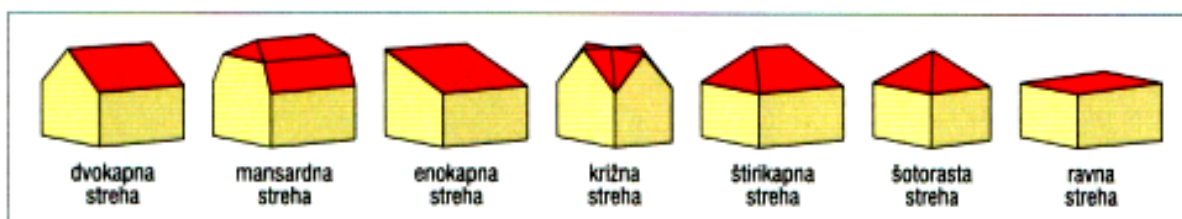
- ravne strehe z nagibom do  $5^\circ$ ,
- položne strehe z nagibom od  $5^\circ$  do  $25^\circ$ ,
- strme strehe z nagibom od  $25^\circ$  do  $40^\circ$  ter
- zelo strme strehe z nagibom od  $40^\circ$  do  $60^\circ$ .

Bolj je streha strma, tem hitreje voda odteče z nje, kar preprečuje zamakanje in poškodbe konstrukcije. Nagib strešine je odvisen od vrste kritine, arhitektonskega oblikovanja strehe in celega objekta ter od potrebe po izkoriščanju podstrešja.

Po tipu in velikosti posamezne zgradbe, njeni tlorisni obliki in položaju, ob upoštevanju praktičnih potreb in estetskih zahtev, izdelujemo različne vrste streh oziroma nosilnih sistemov ostrešij. Razlike so najbolj očitne pri tlorisnih oblikah zgradb, lahko gre za bolj preprosto ali bolj zahtevno tlorisno obliko zgradbe. Oblika zgradbe pogojuje število strešin in njihovo razčlenjenost. Iz osnovnih oblik lahko izdelujemo tudi strehe oziroma ostrešja posebnih oblik.

Glede na število strešin razlikujemo:

- enokapna streha z eno strešino; voda teče v eno smer ter ima samo en kap; ločimo enokapnice brez čopa s čelnimi stenami, z delnimi čopi in polnimi čopi;
- dvokapna ali sedlasta streha ima dve strešini; voda odteka v obeh smereh proti kapoma; lahko so simetrične ali nesimetrične, možne so izvedbe z izzidanim čelom, z delnim in polnim čopom ter lomljena streha s čopom;
- štirikapna ali čopasta streha je streha iz štirih strešin nad pravokotnim tlorisom, sleme je vzporedno daljši zunanji strani;
- šotorasta streha je streha iz štirih strešin nad kvadratnim tlorisom, vsi štirje kapi so v isti višini, slemena ni, ker se vsi štirje grebeni stikajo v eni točki;
- križna streha je streha nad kvadratnim tlorisom iz dveh pravokotnih slemen v isti višini, kapu ni, voda odteka po štirih žlotah in nato po štirih vertikalnih žlebovih;
- mansardna streha je streha z lomljenima strešinama, ki imata različna naklona, spodnji del od kapu proti lomu je bolj strm, zgornji del od loma proti slemenu pa bolj položen;
- ravna streha je streha brez ali z minimalnim naklonom, pogosto služi za terase, balkone ali zelene strehe (Tematski priročniki Gradnja&oprema, Streha&podstrešno stanovanje, 2007).



Oblike streh (Tematski priročniki Gradnja&oprema, Streha&podstrešno stanovanje, str. 17)

Poznamo tudi žagasto ali šedasto streho na industrijskih objektih, stolpno streho, lupine in kupole. Nad štirikotno osnovno ploskvijo stavbe se gradijo enokapne, dvokapne in štirikapne strehe. Če je osnovna ploskev sestavljena iz več štirikotnikov, imenujemo take strehe sestavljene ali večkapne strehe. Strehe nad kvadratno osnovno ploskvijo imenujemo šotoraste strehe, nad večkotno ploskvijo piramidaste ter nad krožno osnovno ploskvijo kupole (Muravljov in Stevanović, 1999).

### 3.2 Obtežba strehe

Obtežba na strehi je sestavljena iz obtežbe kritine, lastne teže ter obtežbe snega in vetra. Odvisna je od velikosti strehe in od vremenskih razmer v posamezni regiji. Pri določanju obtežb konstrukcij se moramo držati predpisov, standardov, pravilnikov in druge tehnične literature.

Nosilna konstrukcija ostrešja mora poleg strešnega krova nositi tudi:

- obtežbo kritine: računamo jo na  $m^2$  tlorisa strehe; podatke za to obtežbo dobimo iz veljavnih tehničnih predpisov ali jo poda proizvajalec strešne kritine; tukaj upoštevamo težo kritine, letev in špirovcev;
- lastno težo konstrukcije: to so nosilci, lege, ojačitve in podpore, preračunamo jo na  $m^2$  tlorisa strehe in je odvisna od vrste nosilca, bremena letev in opaža ter teže špirovcev;
- obtežbo s snegom: računamo jo na  $m^2$  tlorisa na projekciji strehe, določa jo slovenski standard SIST EN 1991-1-3 po enačbi  $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$ , kjer pomeni  $\mu_i$  koeficient obtežbe snega, ki je določen z obliko strešine,  $C_e$  koeficient izpostavljenosti,  $C_t$  temperaturni koeficient,  $s_k$  karakteristično obtežbo snega na tleh v  $kN/m^2$  v odvisnosti od nadmorske višine;
- vpliv vetra: splošne enačbe za obtežbo z vetrom daje slovenski standard SIST EN 1991-1-4; glavna značilnost standarda so vetrni razredi in kategorizacija terena;
- posamezne sile v najneugodnejši legi: to je teža ljudi, ki delajo in se zadržujejo na strehi, montaža škripcev itd.;
- koristna obtežba: če je prisotna (npr. ravne pohodne strehe) (Muravljov in Stevanović, 1999).



### 3.3 Sestavni deli strehe

Streha je konstrukcijski sklop, ki predstavlja zaključni del neke zgradbe. Prevzema obtežbo, ki deluje na streho in jo prenaša na nosilne zidove, stebre in nosilce. Sestavljena je iz različnih plasti, ki vsaka zase opravlja različno funkcijo. Zgornji del strehe je kritina, ki je najbolj vremensko izpostavljen. Pod njo je toplotno izolativni sloj, ki je nameščen nad, med ali pod špirovce. Na spodnji strani strehe pa je konstrukcija finalno obdelana z lesnim opažem ali z različnimi gradivi. Streha je sestavljena iz različnih elementov in konstrukcijskih detajlov. Sestavne dele strehe tvorijo tudi elementi za odvodnjavanje, prezračevanje, strešna okna in dimniki (Tematski priročniki Gradnja&oprema, Streha&podstrešno stanovanje, 2007).

Elementi strehe so:

- ostrešje – nosilna konstrukcija iz leg, špirovcev in letev;
- strešine – običajno ravne ali nagnjene ploskve;
- sleme – najvišji del strehe ter vodoravni zaključek strehe;
- kap – najnižji del strehe;
- greben – presečišče dveh strešin od slemena do kapu na zunanjem obodu;
- žlota ali globel – presečišče dveh strešin od slemena do kapu po notranjem obodu;
- stečišče – točka, kjer se stikata po dve, tri ali več strešnih ploskev ali presečišč posameznih robov: sleme, greben in žlota;
- delni greben – povezava dveh različno visokih slemen;
- napušč – del strehe od zunanje stene do roba strešne ploskve;
- kritina – krovni material;
- sekundarna kritina – zaščitni, vodotesni sloj pod kritino, ki preprečuje vdor vode v konstrukcijo;
- čop – s poševnino prirezana čelna stran strehe;
- frčada ali mansardno okno – dvignjen del strehe, ki služi za osvetljevanje podstrešnega prostora;
- kolenčni zid – zid od plošče do spodnje, kapne lege;
- zatrep (pročelje) – trikotni vertikalni zaključek strehe na čelni strani fasade.

Prostor v stavbi med streho in stropom najvišje etaže imenujemo podstrešje. Pri enokapnicah in dvokapnicah je ta prostor na čelni strani fasade omejen z vertikalnim trikotnim zidom, ki ga imenujemo zatrep ali pročelje. Zid, ki zapira podstrešje od plošče do kapne lege, imenujemo kolenčni zid. Dvokapne in štirikapne strehe so konstruktivno najenostavnejše in najbolj ekonomične, četudi so štirikapnice bolj kompleksne in potrebujejo več pozornosti pri načrtovanju. Enokapnice niso tako ekonomične, ker imajo večje površine kolenčnega zidu in zatropa kot dvokapnice (Muravljov in Stevanović, 1999, Tematski priročniki Gradnja&oprema, Streha&podstrešno stanovanje, 2007).

### **3.4 Nosilna konstrukcija strehe – ostrešje**

Namen nosilne konstrukcije strehe je prenašati obtežbe strehe, ki jih je potrebno upoštevati pri statičnemu računu. Obtežba je odvisna od površine strešine in od vremenskih razmer v posamezni regiji. Sile teže se morajo preko različnih povezav nosilnih elementov, povezij prenašati brez deformacij na vertikalne dele objekta (zidove, stebre, temelje) in temeljna tla. Večina povezij sile obtežbe prenaša na zunanje obodne zidove, nekatera povezja pa na nosilni strop v podstrešju. Vsak nosilni sistem ostrešja mora biti izdelan tudi tako, da je na pogled estetski ter mora omogočiti čim boljše in hitrejše odtekanje vode s strehe.

V gradbeništvu se vrste ostrešij razlikujejo tudi glede na konstrukcijsko gradivo, ki sestavlja ostrešje. To so les, kovina in beton. Lesene strešne konstrukcije so še vedno najpogostejša izvedba ostrešij. Pri nas je najbolj razširjeno ostrešje iz masivnega lesa. Les se zaradi lastnosti, ki jih ima, zelo veliko uporablja. Najpomembnejše prednosti lesa pred drugimi gradivi so:

- je nosilen in trden, kar dopušča izdelavo nosilnih konstrukcij;
- ima ugodno razmerje med težo in trdnostjo;
- "diha" in "regulira" vlažnost v prostoru;
- ne vsebuje strupenih snovi;
- duši zvok;
- lesene površine niso elektrostatične.

V Sloveniji je med stanovanjskimi objekti kar 70% enodružinskih. Večina hiš je narejena na samograditeljski način. Izvedba lesenega ostrešja je lahka in enostavna, zato posebna gradbena mehanizacija ni potrebna. Je cenejša od izvedbe modernih masivnih ostrešij. Za lesena ostrešja so primerne vse vrste tradicionalnih kritin, kot tudi kritina iz pločevine ter ravne in valovite lepenke. Kritino izbiramo glede na vrsto in pomembnost objekta. Nosilni sistem ostrešja pa projektiramo glede na vrsto kritine oziroma glede na potrebne nagibe strešin. Kovinsko ostrešje se najpogosteje pojavlja pri industrijskih ali javnih objektih z večjimi razponi. Pri stanovanjskih objektih se običajno uporablja le za konstrukcije zimskih vrtov. Betonska ostrešja pa se v zadnjem času pojavljajo predvsem pri večstanovanjski gradnji. Ker je gradnja le-teh bolj zahtevna, se potrebuje več mehanizacije. Zato je bolj upravičena pri večstanovanjski gradnji (Tematski priročniki Gradnja&oprema, Streha&podstrešno stanovanje, 2007).

### **3.4.1 Zaščita lesenega ostrešja**

Les je izpostavljen različnim vplivom, ki povzročajo različne poškodbe. Ti vplivi so predvsem padavine, visoke in nizke temperature, sončna svetloba, lesene glive in insekti. Najboljša zaščita ostrešij je vgradnja kakovostnega, zdravega, zračno suhega lesa in preprečevanje zamakanja z ustreznim nagibom strehe, napuščem in ustrezno kritino. Tako se lahko zavarujemo pred okužbo konstrukcijskega lesa z glivami in insekti. Pred insekti lahko les zavarujemo tako, da v ostrešje ne vgrajujemo beljave oziroma lesa, ki se ga lubje še drži. Kadar je les že vgrajen, ne vemo, v kakšnem stanju je. Če gre za bivalni prostor, se izogibamo uporabi premazov na organski osnovi in uporabljamo pripravke na vodni osnovi. V Sloveniji dobimo različne pripravke. Zelo učinkoviti sta klasični zaščitni sredstvi na osnovi kroma in bakra ter novejša na osnovi bakra in amina. Primerna sta za dele ostrešja, ki so večkrat izpostavljeni vlaženju. Za ostrešja, ki niso tako zelo izpostavljena vlaženju in insektom, je bolj primerno zaščitno sredstvo na osnovi bora, ki zavira okužbo z glivami, deluje insekticidno in zavira gorenje zaščitnega lesa. Njegova slaba lastnost je v tem, da se iz lesa izpira in je brez kombinacije s površinskimi premazi manj primeren za zunanjo uporabo. (Tematski priročniki, Gradnja&oprema, Streha&podstrešno stanovanje, 2007).

### 3.4.2 Konstrukcijski elementi lesenega ostrešja

Dimenzije prerezov v ostrešju so odvisne od vrste nosilnega sistema ostrešja, vrste lesnih zvez, obremenitve ter od naklona strešin. Povezje ali prečni sistem imenujemo ves konstrukcijski les, ki leži v navpični smeri pod špirovci in v prečni ravnini ostrešja ter prevzame navpične sile strehe. Sklop konstrukcijskega lesa, ki povezuje streho v vzdolžni ravnini in nosi krov, imenujemo vzdolžni sistem. Vzdolžni in prečni sistem sestavljata ostrešje.

Ostrešje je nosilna konstrukcija, ki je sestavljena iz špirovcev in leg ter opaža ali letev. Povezje je sestavljeno iz poveznikov, stebrov, opirač, razpirač in klešč. Vzdolžni sistem pa je sestavljen iz leg, ročic, pozidnice, vrhnjaka in pomožnih nosilcev (podvlak).

Letve so leseni elementi z majhnim prečnim prerezom. Prenašajo obtežbo kritine, snega in vetra na špirovce. Njihove dimenzije in medsebojni razmak so odvisni od lastnosti kritine, zato jih največkrat poda kar sam proizvajalec kritine. Računamo jih kot prostoležeče nosilce razpona  $l$ , kjer je  $l$  razmak med špirovci.

Opaž se dimenzionira na enak način kot letve. Potrebne dimenzije opaža običajno poda že sam izdelovalec kritine.

Špirovci so neposredni nosilni del kritine in dajejo obliko strehi od kapa do slemena. So konstrukcijski elementi, ki prejemajo, preko opaža ali letev, obtežbo kritine in jo prenašajo na nosilni sistem ostrešja. V literaturi se zanj pojavlja več imen kot so šperovec, škarnik, škarnica in roženica. Nahajajo se neposredno pod letvami oziroma opažem in prenašajo obtežbo na strešne lege. Pri klasičnih ostrešjih je razmak med špirovci običajno od 0,60 m do 1,0 m, največkrat okoli 0,80 m. Kadar se za kritino uporablja samonosne strešne plošče, ki se naslanjajo direktno na strešne lege, špirovcev ni v konstrukciji. Razmak med legami je istočasno dolžina špirovca, ki jo uporabimo pri računu dimenzij špirovca. Čeprav se špirovce velikokrat postavi preko več polj kot kontinuiran nosilec, jih največkrat računamo kot prostoležeč nosilec od lege do lege in smo še vedno na varni strani ter tako omogočimo

zamenjavo le teh, če pride do kakšnih poškodb. Obtežbo špirovcev delimo na dve komponenti, na pravokotno in vzporedno komponento obtežbe, ki deluje na strešno ravnino. Notranji sili, ki se pojavita v prečnem prerezu špirovca, sta poleg upogibnega momenta tudi prečna sila in tlačna oziroma natezna osna sila. Običajno je, da se glede na izkušnje predpostavi dimenzije špirovca in šele potem naredimo kontrole napetosti in povosov v špirovcu.

Goltniki ali razpirniki krajšajo statično razpetino špirovcem. Če jih uporabljamo kot stropnike, so obremenjeni tudi na upogib. Dimenzije so enake kot dimenzije špirovcev.

Strešne lege so konstrukcijski elementi ostrešja, ki prenašajo obtežbo na glavni nosilni sistem ostrešja. Njihova naloga je tudi, da v paličnih konstrukcijah preprečujejo uklon tlačnega pasu glavnega strešnega nosilca ali v lepljenih lameliranih konstrukcijah preprečujejo bočno zvrnitev nosilca. Postavljamo jih v konstantnem razmaku, ki je odvisen od vrste kritine ali od same konstrukcije ostrešja. Običajno je njihov razmak od 2 m do 4 m. Statični sistem leg je običajno prostoležeč nosilec z dolžino, ki je enaka razmaku glavnih nosilcev oz. podpor ostrešja. Pri izračunu strešnih leg uporabljamo tudi druge statične sisteme, kot so kontinuiran nosilec, Gerberjev nosilec, prostoležeč nosilec s previsom idr. Izbira statičnega sistema je odvisna od konstrukcije strehe oziroma od njene dispozicije. Pri stavbah z velikim razponom in z velikimi razdaljami glavnih povezij se uporablja kot lege lepljene lamelirane nosilce ali paličja. Pri zgradbah s klasičnim ostrešjem pa imenujemo strešne lege glede na to, kje v ostrešju se nahajajo. Kapna lega je tram ostrešja, ki nosi in povezuje spodnji del špirovcev ter po vsej dolžini leži na kolenčnem zidu. V kapni legi ni osnih sil. Njen prerez je običajno kvadratne oblike. Stranica je pogosto enaka višini špirovca. Slemenska lega nosi zgornji del špirovcev, ter se nahaja v slemenu strehe. Podprta je s stebri v povezjih. Pri strehah enokapnicah in pri dvokapnicah jo uporabimo le takrat, kadar moramo špirovce podpreti na slemenu zaradi prevelike dolžine. Vmesna lega nosi srednji del špirovcev ter se nahaja med slemenom in kolenčnim zidom. Podprta je s stebri v povezjih. Vmesnih leg mora biti toliko, da vmesna dolžina špirovcev ne bo krajša od 3,00 m in daljša od 4,00 m. Lege so obremenjene na upogib, zato jih vgradimo z daljšo stranico prereza navzgor. Nosilno razpetino leg lahko skrajšamo z ročicami, ki se opirajo na stebre.

Ročice pritrdimo pod kotom  $45^\circ$  v stebre ali lege, na 1,00 m do 1,50 m vodoravne razpetine. Imajo take dimenzije kot špirovci. Ročice skrajšajo statično dolžino lege, učvrstijo strešno konstrukcijo v vzdolžni smeri in prenašajo sile na stebre.

Pozidnica je vodoravni tram, ki leži na zunanjem nosilnem zidu pod glavami poveznikov. Pritisk povezij enakomerno porazdeli na podporni zid. Namesto pozidnice lahko napravimo armiranobetonsko vez.

Vrh najk je lega, ki podpira goltnike in prenaša obtežbo preko stebrov na poveznike in od teh na notranje in zunanje nosilne zidove.

Podvlaka je pomožni nosilni tram ostrešja, obešen na poveznike. Nosi stropnike, kjer nimamo srednjega nosilnega zidu.

Poveznik je lesena strešna greda, ki povezuje ostrešje v celoto in sega po celi širini stavbe. Konca poveznika ležita na zunanjem nosilnem zidu, na pozidnici ali kolenčnem zidu, če leži kapna lega višje od tal na podstrešju. Stropnikov ne smemo uporabljati kot poveznike, izjemoma je to dovoljeno le pri manjših individualnih hišah in nekaterih industrijskih objektih. Dimenzije poveznikov so odvisne od dimenzij stebrov in opirač, ki so z njimi povezani na različne načine. Obremenjeni so na upogib pri stoječih ostrešjih ter na nateg, upogib in strig pri ostrešjih z vešalom. Na zunanje in vmesne nosilne zidove lahko prenašajo samo vertikalno obtežbo. Namesto lesenih poveznikov se danes v večini stavb izdeluje armiranobetonska plošča.

Stebri imajo običajno kvadratni prerez, ki je odvisen od debeline opirače in lege, ki je nad njim. Obremenjeni so na tlak v povezavi z uklonom, pri povezjih z vešalom pa na nateg. Ker poveznika ne sme dodatno obremenjevati na upogib, izdelujemo konstrukcije z vešali, ki prenesejo vse obremenitve na ležišča poveznika, pri čemer se uporabljajo opirače ali opore, razpiranje in klešče.

Opirače so poševno postavljeni tramiči, ki prevzemajo vso obtežbo srednjega dela ostrešja in jo prenesejo preko poveznika na zunanje nosilne zidove. Obremenjene so na tlak ali uklon. Dimenzije so odvisne od obtežbe in njihove dolžine.

Razpirača je vodoravni tramič med stebri, ki je obremenjena na tlak, pri tem obstaja nevarnost uklona. Njene dimenzije so ponavadi enake dimenzijam opirač. V povezju mora biti tako visoko, da je omogočen prehod pod njo, to je vsaj 1,80 m do 2 m nad poveznikom. Razpirača z lege prenaša obtežbo na steber, ki jo razdeli na dve komponenti. Prva pritiska v opirači, druga v razpirači. V opirači nastali tlak se zopet razdeli v povezavi s poveznikom na dve komponenti in sicer na vertikalno komponento, ki se prenese na zunanji nosilni zid, horizontalno komponento pa prevzame lesna zveza med opiračo in poveznikom, to je tlak in strig. Kadar so povezniki podprti, jih postavljamo samo zaradi večje togosti in stabilnosti konstrukcije. Takrat so lahko dimenzije opirač in razpirač manjše.

Klešče povezujejo ostrešje in so ponavadi dvojne. Včasih tudi prevzemajo funkcijo razpirač (Muravljov in Stevanović, 1999, Gradbene konstrukcije 8, 1951).

## 4 NOSILNI SISTEMI LESENIH OSTREŠIJ

### 4.1 Splošno

Strešne nosilne konstrukcije, ki jih uporabljamo v gradbeništvu, so različne. Uporabljamo tiste najbolj preproste za individualne hiše ter tiste z večjimi razponi in sestavljenimi konstrukcijskimi sistemi za večje objekte. V odvisnosti od velikosti in lastnosti osnovne ploskve, ki jo moramo pokriti s strešno nosilno konstrukcijo, vrste kritine oziroma strešnega nagiba ter od drugih posebnih funkcij, ki jim mora zadovoljiti streha znotraj celotne gradnje, se ostrešja delijo na več skupin. Vsaka skupina ima določene statično – konstrukcijske značilnosti, pri tem sestavljenost sistema ene strešne konstrukcije zaznamujejo številni različni konstrukcijski elementi, njihova struktura in odnos do celote ter velikost razpona konstrukcije (Peulić, 2002). Da streha lahko v celoti izpolni svoje funkcije, potrebuje ustrezni nosilni sistem ostrešja, ki ima nalogo, da nosi sekundarno strešno konstrukcijo ter obtežbo snega in vetra. Poleg omenjenih temeljnih nalog pa mora streha izpolnjevati tudi arhitekturne vidike v zvezi z notranjostjo stavbe ter vključevanje konstrukcije v krajino in okolico grajenega okolja, kjer pa igra pomembno vlogo oblika strehe (Kolb, 2008).

Glede na konstrukcijo povezja oziroma nosilcev jih delimo na naslednje vrste nosilnih sistemov:

- povezja brez leg (škarjasto povezje in goltniško povezje),
- gredne strehe in polna povezja (strešna stojala in vešala),
- palične konstrukcije,
- lepljene lamelirane konstrukcije (Muravljov in Stevanović, 1999, Peulić, 2002).

Parametri, ki vplivajo na to, kako se bo objekt vključeval v okolico, so velikost in oblika strehe ter vrsta in barva kritine. Osnovne oblike streh v večini kultur so dvokapnica, čopaste strehe in strehe na zatrep, izhajajoča iz osnovnega tlorisa objekta, ki je kvadraten, pravokoten ali okrogel. Tradicionalne poševne strehe ločimo glede na prečni prerez na enokapnice, dvokapnice in mansardne strehe, glede na vzdolžni prerez pa na strehe z zidanima pročeljema,



čopaste strehe, strehe na zatrep in šotoraste strehe. Pri nas je najpogostejša oblika strehe dvokapnica, ki je zaradi možnosti izrabe podstrešja tudi najbolj ekonomična oblika strehe. Enokapnice se najbolj uporabljajo pri prizidkih. Običajne so poševne strehe z nagibom strešin med 5° in 40°, pod tem nagibom strehe označujemo kot ravne, nad tem nagibom pa kot strme strehe (Lesene strešne konstrukcije: koliko različnih možnih oblik!, Gradbenik 1/2003).

Dvokapne strehe so najbolj pogosta vrsta oblike strehe z leseno nosilno konstrukcijo ostrešja. Oblikujemo jih nad pravokotnim in kvadratnim tlorisom objekta, največkrat imajo enak nagib strešine in jih takrat imenujemo tudi simetrične dvokapne strehe. Nesimetrične oblike dvokapnic izdelujemo na več načinov, z različnimi nagibi, kapa nista nujno v isti ravnini, sleme je lahko tudi izven razpolovne širine. Zaradi dobrih tehničnih lastnosti je to najbolj pogosta oblika streh. Taki sistemi odgovarjajo tudi različnim funkcionalnim zahtevam, ki jih mora ostrešje izpolniti. Nosilne sisteme ostrešja izbiramo glede na pomembnost in vrsto objekta ter na vrsto kritine. Za strme strehe manjših razponov so smiselna škarjasta in goltniška povezja. Za normalne razpone se izdeluje gredne strehe in polna povezja. To so različne oblike stojal in vešal. Za večje razpone pa se izdeluje različna kombinirana ostrešja, ostrešja s paličnimi in polnostenskim nosilci ter okvirne in ločne konstrukcije (Muravljov in Stevanović, 1999, Peulić, 2002).

Mansardne strehe so dobile ime po francoskem arhitektu Jules-Hardouinu Mansartu (1598-1666). Mansart je gradil dvokapnice, pri katerih se strešina spremeni iz spodnjega strmejšega v zgornji položnejši del, kar daje tem straham značilno obliko. Taka oblika omogoča, da je podstrešni prostor bolje izkoriščen.

Naslednja osnovna oblika poševnih streh so tudi enokapnice, ki se izdelujejo nad kvadratnim ali pravokotnim tlorisom. Imajo samo eno strešino, s katere voda odteka v eno smer. V glavnem jih uporabljamo za stavbe, pri katerih je glavni vzdolžni zid na meji s sosednjo stavbo ter na prizidanih delih nižjih delov stavb, pri katerih je ena vzdolžna stran ob steni glavne višje stavbe. Poleg tega se enokapnice uporablja tudi na samostojnih stavbah majhnih razponov, kadar je taka oblika strehe ugodna zaradi enostavne in cenejše gradnje ali zaradi samega izgleda stavbe. V teh primerih pridejo v upoštevanje majhni ali zanemarljivi nagibi strešin (Peulić, 2002).

Ravna streha je že tisočletja razširjena v nekaterih regijah, na primer ob Sredozemskem morju, medtem ko je bila precej neobičajna oblika na primer v Srednji in Severni Evropi. Drugod po Evropi je bila izražena želja po preprostejših oblikah streh in fasad šele na začetku moderne dobe. V 18. stoletju je bila ravna streha uporabljena le na bolj prestižnih objektih, kot so terase in vrtni paviljoni. To se je spremenilo v času industrializacije, v 19. stoletju, ko so se začele pojavljati tudi na običajnih objektih. Danes so ravne strehe zelo pogoste. Znanje glede izbire materialov in metod izračunavanja ter znanje iz gradbene fizike je pripomoglo k temu, da so mogoče optimalne in trajne rešitve lesenih ravnih streh, ki v celoti izpolnjujejo vse estetske in tehnične zahteve. Prenašati morajo največje obremenitve, zato za gradnjo ravnih streh veljajo posebne zahteve pri izbiri nosilnega sistema in potrebnih materialov (Kolb, 2008).

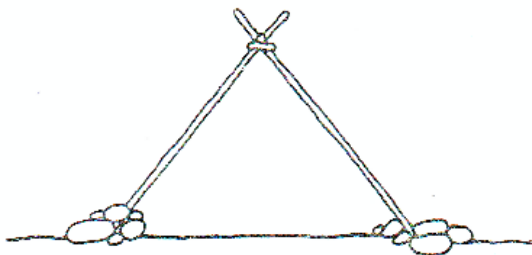
Štirikapnice izvajamo nad pravokotnim ali kvadratnim tlorisom objekta. Značilno zanje je, da imajo štiri strešine, največkrat enakega nagiba. Štirikapnice sestavljata dve dvokapnici, z uvedbo dveh novih strešin brez kolenčnih zidov. Dve strešini sta trapezne oblike, dve trikotni ali pa so vse štiri trikotne. Stičišče trikotne in trapezne strešine je greben. Točka, v kateri se spajata linija grebena in linija slemena, pa se imenuje vogal strehe. Tipi nosilnih sistemov ostrešja pri taki strehi se ne razlikujejo od nosilnih sistemov, uporabljenih pri dvokapnicah, vendar je njihov položaj natančno definiran s pogojem povezovanja vmesnih leg bočnih in vzdolžnih strani, povezave grebena in slemena v vogalu ter s pogojem prostorske stabilnosti celotne strešne konstrukcije. Najbolj pogosto se uporablja nosilni sistem ostrešja s stojali s poševnimi ali ravnimi stebri kot tudi povezja s podprtimi vmesnimi legami in vešali.

Pri nepravilnih oblikah tlorisa ali oblikah, nastalih iz več pravokotnih oblik tlorisa, se postavljajo sestavljena ostrešja. Le-ta imajo vedno več kot štiri strešine. Pojavita se dva nova elementa strehe in to sta greben in globel ali žlota. Tukaj uporabljamo enaka povezja kot pri štirikapnicah oziroma dvokapnicah (Muravljov in Stevanović, 1999).

## 4.2 Zgodovinski razvoj nosilnih sistemov lesenih ostrešij

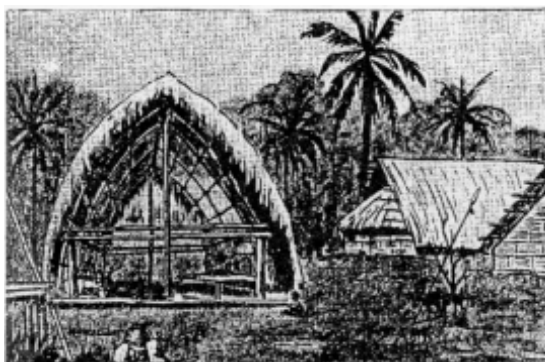
Gradbeniki so za lesene konstrukcijske sisteme skozi zgodovino uporabljali empirične metode in načine gradnje, ker niso imeli na voljo znanstvenih spoznanj, definiranih tehničnih postopkov, oblikovanja, gradnje in preverjanja stabilnosti, temveč so gradili in ustvarjali na podlagi podedovanih in pridobljenih izkušenj. Pri vseh civilizacijah, v vseh zgodovinskih obdobjih, v vseh podnebjih so se gradbeniki soočali z različnimi in specifičnimi problemi, ki so skozi čas ponudile različne globalne rešitve. Taka metodologija je postopoma pripeljala do definiranja in urejanja postopkov gradnje. Vse te rešitve so rezultat vpliva lokalnih razmer, vremena, klimatskih razmer, razpoložljivega materiala, psiho-socialnih in verskih vplivov. Med vsemi tipi tradicionalnih sistemov lesenih konstrukcij, ki so se razvijale skozi čas, so oblike streh najbolj napredovale. Razlogi za to so zelo močni. Objekt brez strehe ne obstaja, zato je njihova izvedba posledica širokega ustvarjalnega duha in svobodnega kreativnega izražanja graditelja, z zelo globokim simbolnim pomenom (Kujundžić, 1989).

Že arheološke najdbe govorijo o raznoliki in razširjeni uporabi lesa nekoč. Lahko se ga je obdelovalo z najenostavnejšimi orodji in je bil s tem vedno lahko dostopen človeku. Takratna bivališča so bila zgrajena glede na potrebe človeka in lokalne razmere, v katerih je živel. Strehe predstavljajo prvo konstrukcijo, ki jo je naredil človek. Vedno je predstavljala zaščito pred dežjem, snegom in vetrom. Najbolj primitivna je trikotna oblika, z dvema palicama, nagnjenima navzdol, s katerih voda lahko odteče in ki ščitita notranjost bivališča. Po drugi strani pa je taka oblika zelo stabilna, brez posebnih in kompliciranih medsebojnih povezav lesenih palic (Kujundžić, 1989).



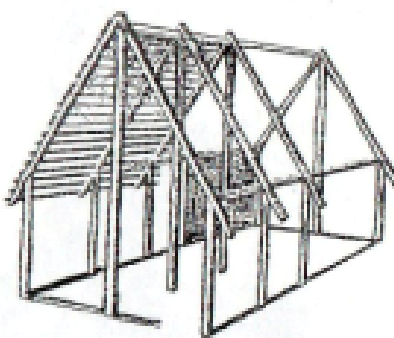
Praoblake strešne konstrukcije (Kujundžić V., 1989, str. 3)

Malo bolj zapletene lesene konstrukcije, na osnovi katerih lahko govorimo o prvih lesenih nosilnih sistemih, je najti na Novi Gvineji v zgornji meji kamene dobe. Strešno konstrukcijo in hkrati edino konstrukcijo, sestavlja niz pravokotnih in zakrivljenih palic na majhni medsebojni razdalji, prekritih s snopi trave ali z vejami z listjem v smeri odtekanja vode. To predstavlja praobliko strešne konstrukcije, ki je sposobna prenašati klimatske vplive in težo kritine.



Lesene hiše na Novi Gvineji (Muravljov M. in Stevanović B., 1999, str. 119)

Že v bronasti dobi se pojavijo bolj zapletene oblike lesenih hiš, kjer se jasno vidi razlika med krovno konstrukcijo in zidovi. Koče so zgrajene iz kamna in lesa z lesenimi ostrešji ter so pokrite s travo in listjem.

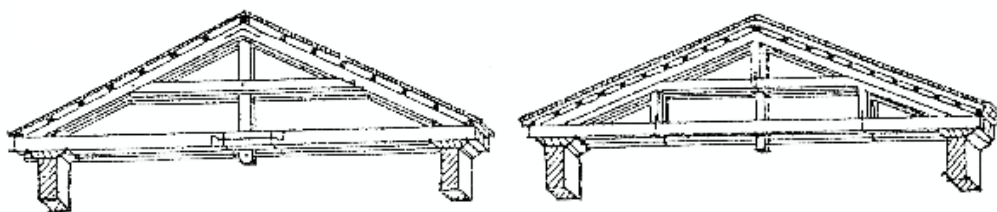


Konstrukcija koč (Muravljov M. in Stevanović B., 1999, str. 119)

Na obliko in izgled lesenih objektov so vedno vplivale lokalne razmere, čas njihovega nastanka, religija idr. Tako se je na Daljnem Vzhodu, na Kitajskem in v Indiji v začetku našega štetja naglo razvijala memorialna in sakralna arhitektura, gradnja pagod. Grajene so iz

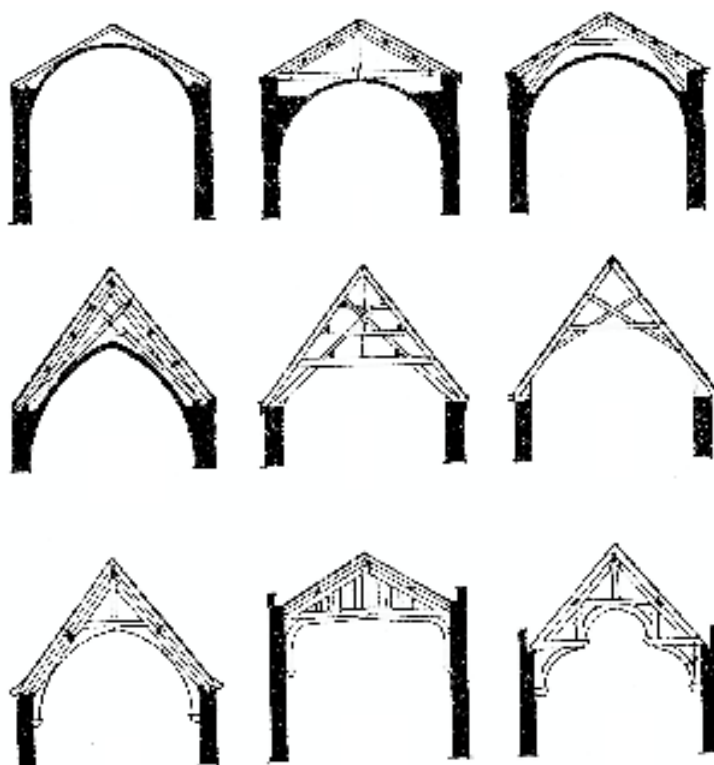
različnih materialov, najpogosteje iz lesa, ostrešja pa so skoraj vedno lesena. Kitajsko gradbeništvo doživlja svoj razcvet v času dinastije Sung (960 – 1279). Ostrešja imajo karakteristične oblike kot del arhitekture tega sveta.

V času vzpona rimskega cesarstva se les sorazmerno malo uporablja, še vedno pa je v uporabi za gradnjo strešnih konstrukcij individualnih hiš enostavnih oblik, kot tudi za enostavne oblike strešnih konstrukcij bazilik. Iz tega in tudi kasnejšega obdobja do konca 10. stoletja ni veliko podatkov o uporabi lesa v gradbeništvu, čeprav je treba poudariti, da do pojava renesanse in gotike, tudi niso bili zgrajeni kakšni pomembni objekti.



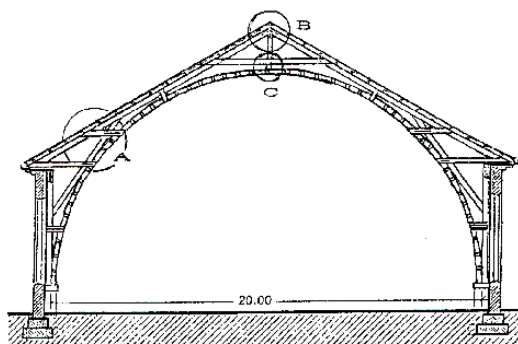
Strešna konstrukcija bazilike Sv. Petra (levo) in Sv. Pavla (desno) v Rimu (Muravljov M. in Stevanović B., 1999, str. 122)

Obdobje renesanse in gotike je vplivalo tudi na razvoj gradbeništva. Lesena strešna konstrukcija enostavne oblike je bila postavljena na masivno zidano konstrukcijo objekta.



Karakteristične oblike lesenih strešnih konstrukcij iz časov romantike in gotike (Muravljov M. in Stevanović B., 1999, str. 122)

V 15. in 16. stoletju je bil narejen napredek v tehniki grajenja ter pripadajočem arhitekturnem in gradbenem pristopu. Teoretično delo in ideje Leonarda da Vincija in izvedeni objekti Andrea Palladija so zastavili smeri razvoja paličnih lesenih nosilcev. To je pripeljalo do pojava novih sistemov lesenih ostrešij za premostitev večjih razponov. Konec 18. stoletja razvoj paličnih sistemov doseže vrhunec. Pojav jeklenih spojnih sredstev je omogočil izvedbe bolj elegantne povezave in ekonomične prečne prereze elementov strešnih konstrukcij. Vzporedno z razvojem paličnih konstrukcij so se razvijali tudi drugi sistemi lesenih konstrukcij. Philibert Delorme je izvedel v 16. stoletju ločne nosilce velikih razponov. Prečni prerezi teh lokov so bili sestavljeni iz več posebnih podprerezov, katerih čelni spoji so se prekrivali vzdolž osi loka. Podprerezi so bili med seboj povezani s kovinskimi vijaki in hrastovimi klini. V tehnični literaturi se lok Philiberta Delormea iz leta 1561 šteje za pramoderni današnjih lepljenih lameliranih konstrukcij.



Philibert Delormeov lok iz leta 1561 (Muravljov M. in Stevanović B., 1999, str. 124)

V začetku 20. stoletja je Nemeč Otto Hetzer obogatil idejo polnega prereza in izvedel prvo lepljeno lamelirano konstrukcijo, po vseh pravilih, ki veljajo danes, za to sodobno obliko lesenih konstrukcij.

Palični sistemi strešnih konstrukcij, za njimi tudi pojav lameliranih lesenih konstrukcij, prostorskih sistemov lesenih ostrešij in sistemov strešnih konstrukcij s polnim prečnim prerezom so rezultat razvoja in tehničnega napredka v gradnji z lesom. Vsi ti sistemi imajo za sabo dolgo razvojno dobo. Razvoj lesenih konstrukcij je potekal vzporedno s človeškim razvojem in nosi pečat časa, v katerem se je razvijal človeški duh ter arhitekturno in ustvarjalno delo (Muravljov in Stevanović, 1999).

#### 4.3 Najbolj pogosto uporabljeni nosilni sistemi lesenih ostrešij

Na individualnih hišah, javnih administrativnih zgradbah in drugih zgradbah, se lesena strešna konstrukcija pogosto izvaja nad konstrukcijo iz nekega drugega materiala, na primer nad zidanimi ali armiranobetonskimi elementi, kot so zidovi, stene, stebri, grede ali plošče. Taka vrsta strešne konstrukcije spada k tradicionalnemu tipu nosilnih sistemov lesenih ostrešij (škarjasto povezje, goltniško povezje, vešala in stojala, mansardna ostrešja, idr.). Medtem ko leseno konstrukcijo strehe v kombinaciji z zidanimi, betonskimi ali jeklenimi konstrukcijami, tudi lesenimi, uporabljajo na industrijskih, kmetijskih, športnih in drugih objektih, ki imajo velike razpone. V takih primerih največkrat uporabljamo sodobne nosilne sisteme lesenih konstrukcij, kot so palični nosilci ali nosilci iz lepljenega lameliranega lesa (Muravljov in

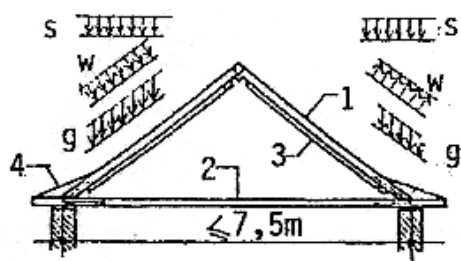
Stevanović, 1999). Elementi so med seboj povezani z različnimi tesarskimi zvezami, kot so spah, utor, čep, zasek, idr. Vezna sredstva, ki preprečujejo pomik posameznih delov v stiku, so žebliji, vijaki, leseni vijaki, skobe, obloge v spojih, leseni in jekleni mozniki ter lepila. Vezna sredstva, ki preprečujejo pomik, so konstrukcijska, tista, ki prevzemajo sile, pa so statična. Njihova nosilnost je odvisna od vrste in dimenzij veznega sredstva in elementov, ki jih vežejo (Gradbeniški priročnik, 2008).

#### 4.4 Nosilni sistem ostrešja brez leg

Najpogostejši povezji brez leg, ki sta danes v uporabi, sta škarjasto in goltniško povezje.

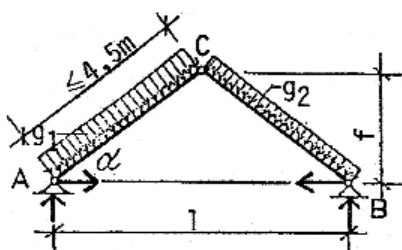
##### 4.4.1 Škarjasto povezje

Škarjasto povezje imenujemo tudi špirovčno ali prazno povezje. Sestavljeno je iz špirovcev in strešnega poveznika. Vsak par špirovcev imenujemo prazno povezje. Poleg špirovcev in poveznikov imajo ta ostrešja tudi ojačitve in kotnike. Špirovce in poveznike lahko prekinjamo. Velika prednost tega povezja je, da omogoča uporabo podstrešja tudi v bivalne namene. Uporabljamo jih lahko za enokapne, dvokapne, trokapne, štirikapne strehe ali kot del sestavljenega ostrešja. Lahko so na leseni ali armiranobetonski konstrukciji, takrat so lahko narejeni tudi s kolenčnimi zidovi. Kritine so lahko različne.



Prečni prerez škarjastega povezja (Muravljov in Stevanović, str. 217)





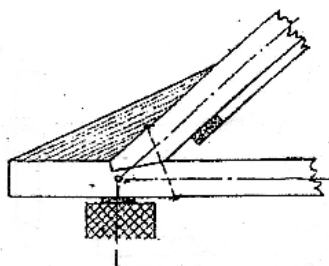
Statični sistem škarjastega povezja (Muravljov in Stevanović, str.217)

To je najenostavnejša oblika ostrešja za majhne razpone zgradbe. Nosilni sistem je trikotne oblike, sestavljen iz špirovcev (1) in strešnega poveznika (2), namesto lesenega poveznika lahko izvedemo tudi armiranobetonsko ploščo, katero uporabljamo pri novejših objektih ali rekonstrukcijah. V prečni smeri sistem deluje zelo togo, medtem ko je v vzdolžni smeri zelo nestabilen, zato se v ravnini strešine postavlja vetrne vezi – vetrnice (3) iz diagonalnih desk, ki služijo za prevzem horizontalnih sil. Da bi se izognili nenadni prekinitvi strešne ravnine, na špirovce pritrdimo kotnike (4), ki pripeljejo kritino do roba strehe. Kotniki so lahko iz desk ali tramičev, dimenzij 5/8 cm in so ustrezno pribiti z enim žebljem v poveznik in drugim v špirovec. Sodobne strehe s škarjastim povezjem pa lahko s pomočjo kotnika na podaljšku armiranobetonskega stropnega nosilca izvedemo celo brez preloma strešine.

Škarjasta povezja uporabljamo za razpone do 7,5 m in naklone od  $40^\circ$  do  $60^\circ$ , ker je pri večjih razponih dolžina špirovca večja od 4,5 m. Špirovec naj ne bo širši od poveznika, niti ožji od 8 cm. Razmik med špirovci je od 60 cm do 80 cm, največ 100 cm, odvisen je od vrste kritine. Pri težjih kritinah so špirovci bolj skupaj, pri lažjih pa bolj narazen. Razmik med špirovci in povezniki mora biti enak.

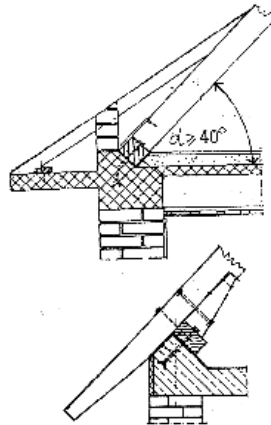
Lastno težo in težo obremenitve nase prevzamejo špirovci in jo prenesejo na vertikalne nosilne elemente objekta, horizontalne obremenitve pa prevzame lesen poveznik ali armiranobetonska plošča. Vsi drugi konstrukcijski deli so v ostrešju zato, da pomagajo špirovcem opraviti to nalogo. Špirovce in poveznike računamo kot prostoležeče nosilce z nepomičnimi členkastimi podporami. Povezavo špirovcev in strešnega poveznika oziroma armiranobetonske plošče lahko izvedemo na več načinov, odvisno od velikosti obtežbe in nagiba strešine.

Povezavo špirovca z lesnim poveznikom lahko izdelujemo s čepom in z zasekom z ali brez čepa. Kadar kotnik ni potreben in se špirovec kar nadaljuje, povezavo izvedemo s preklapljanjem. Take povezave delamo tudi pri ostalih ostrešjih.



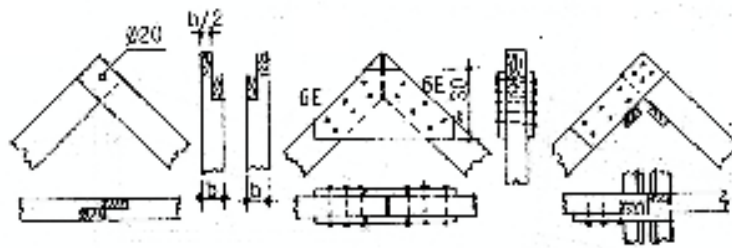
Detajl stika špirovca in lesenega poveznika (Muravljov in Stevanović, str. 217)

Pri izvedbi povezja z armiranobetonsko ploščo lahko povezavo med špirovcem in ploščo izvedemo na več načinov. Najboljši način je, da se špirovec s čepom naslanja na horizontalno gredo, ki je sidrana v armiranobetonski venec. Povezavo utrdimo s primernimi veznimi sredstvi. Pri tej povezavi so obvezni kotniki. Če želimo, da se špirovec nadaljuje in s tem nadomesti kotnike, potem povezavo izvedemo z leseno gredno podlogo dolžine 80 – 100 cm, ki jo z vijaki sidramo v armiranobetonski venec. Na gredo s plitvim zasekom in z vijaki pritrdimo špirovce po celi dolžini lesene grede. Tukaj dodatna vezna sredstva za utrditev povezave niso potrebna. Špirovce pa lahko naslanjamo tudi na lesene gredne podloge z zasekom z ali brez čepa, tako kot na lesen poveznik. Lesena gredna podloga je dolžine 80 – 100 cm in širine, odvisne od globine zaseka, vendar minimalne širine špirovca, to je 8 cm. Gredo sidramo v ploščo z minimalno tremi vijaki. Tako povezavo uporabljamo tam, kjer ni mogoča izvedba armiranobetonskega venca in pri ostrešjih brez kolenčnega zidu. Poleg teh osnovnih načinov povezovanja so možne še druge izvedbe, odvisno od situacije in kot je prikazano v detajlnih skicah. Take povezave izdelujemo pri vseh povezjih z armiranobetonsko ploščo.



Detajl stika špirovca in armiranobetonske plošče (Muravljov in Stevanović, str. 217)

Pogosto pri škarjastih, goltniških ter povezjih z legami v slemenu ni slemenske lege. V takih primerih povezujemo špirovce v slemenu na različne načine. Najenostavnejši način je čelni stik z različni veznimi sredstvi za zavarovanje povezave. Povezavo lahko naredimo s preklpom do polovice širine špirovca ter jo zavarujemo z lesenimi klini. Lahko pa jo naredimo z enostavnim slemenskim čepom, čepom z naslonom ali čepom na topi stik ter s čepom na eni strani in zasekom na drugi strani. Špirovce v slemenu lahko povezujemo s poševnimi stiki na spah, ki jih na obeh straneh okrepimo z deskami, ki so pribite z žebli. Pogosta je varianta, kjer špirovce vzdolžno povežemo s pomočjo letev in jih pritrdimo z leseno desko in žebli (Ilič, 1987, Muravljov in Stevanović, 1999).

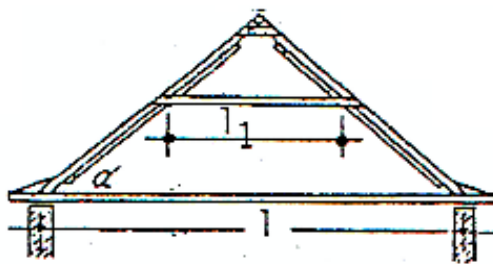


Povezave špirovcev v slemenu (Muravljov in Stevanović, str. 213)

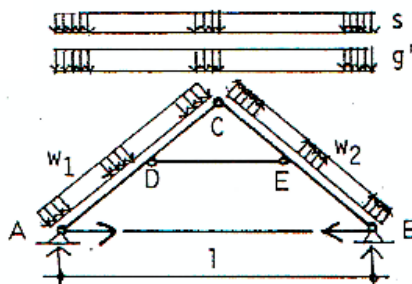
#### 4.4.2 Goltniško povezje

Velike razpetine stavb privedejo do negospodarnih prerezov špirovcev, zato moramo v takih primerih predvideti vmesne podpore v goltniku. Veliko večje razpone stavb lahko dosežemo s sodobnimi nosilnimi konstrukcijami, kot so palični nosilci, polnostenski nosilci ali montažni nosilci.

Goltniško povezje je načeloma škarjasto povezje, ki ima vodoravno vgrajen goltnik ali razpirmnik, dolžine do 4 m. Vgradimo jih, kadar je razpon zgradbe večji od 7,5 m, ampak ne večji od 12 m, zato so špirovci posledično daljši od 4,5 m, vendar ne daljši od 8 m. Na zgornjem delu povezujejo po par špirovcev in s tem utrjujejo slemensko vez ter jih podpirajo proti povesu. Razpon špirovcev razdelijo na dva dela in s tem zmanjšujejo statične vplive v špirovcih in njihove dimenzije. Izvedemo lahko tudi nosilni sistem ostrešja, kjer je goltnik podprt z enim, dvema ali tremi stebri. Stebri podpirajo ostrešje v vzdolžni smeri in preprečujejo ukrivljanje obteženega goltnika. Ojačitve proti vetru so obvezne tako kot pri škarjastem povezju, pri povezju brez ali z enim stebrom v zgornjem in spodnjem pasu, medtem ko pri ostalih samo v spodnjem pasu.



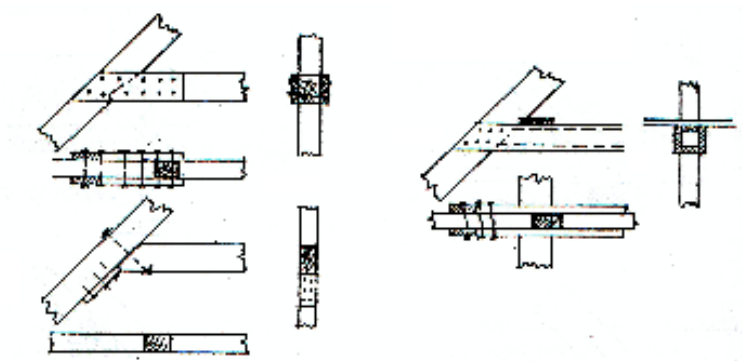
Prečni prerez goltniškega povezja (Muravljov in Stevanović, str. 218)



Statični sistem goltniškega povezja (Muravljov in Stevanović, str. 218)

Dimenzije špirovcev so odvisne od velikosti obtežbe, razmaka med osmi špirovcev, vrste in trdnostnega razreda lesa, razpona in nagiba strehe. Goltnika zaradi dimnika ne smemo prekinjati. Vetrno vez lahko v goltniški strešni konstrukciji zamenjamo z vetrnimi trami, diagonalno notranjo oblogo ali z lesenimi ploščami (Nekrep, 2005).

Špirovci so obremenjeni na tlak in upogib, ki ga povzročajo obtežba kritine, snega in vetra. Računamo jih kot kontinuirane nosilce. Goltnik je pretežno obremenjen na tlak in ga računamo kot prostoležeč nosilec, dolžina goltnika ne sme biti večja od 4,5 m. Poveznik je prvenstveno obremenjen na nateg, računamo pa ga kot prostoležeč nosilec. Povezavo goltnika s špirovcem lahko izvedemo na različne načine, odvisno od dimenzij goltnika in obremenitve. Če sta špirovec in goltnik enakih dimenzij, ju povežemo z zasekom brez čepa. Povezavo zavarujemo z različnimi veznimi sredstvi (sponami, ježastimi ploščami), najbolj pogosto z lesenimi deskami in žebli ali vijaki. Če je špirovec širine 10 cm in goltnik 8 cm, povezavo izvedemo z zasekom in lesenimi deskami na obeh straneh stika. Pri širini 10 cm obeh elementov povezavo izvedemo z zasekom globine 3 cm in čepom. Če sta elementa enakih dimenzij, to je širine 8 cm in višine 14 – 16 cm, povezavo izvedemo s sklopom na lastovičji rep in ga povežemo z vijaki ali žebli.



Detajli stika špirovca in goltnika (Muravljov in Stevanović, str. 218)

Goltniška povezja so zelo ekonomične konstrukcije, ker je poraba lesa relativno majhna, sploh pa, če za horizontalni natezni element uporabimo armiranobetonsko gredo ali ploščo namesto lesenega strešnega poveznika. Izvajamo jih pri dvokapnih ali štirikapnih ostrešjih z različno obdelavo in materialom stropne konstrukcije ter stropa. Za ta ostrešja lahko uporabljamo različno kritino (Muravljov in Stevanović, 1999, Ilić, 1987).

#### 4.5 Gredne strehe

Nosilni sistem gredne strehe je ena izmed najbolj enostavnih oblik povezja pri nagnjenih strehah. Špirovce postavimo na lege, ki so položene na zidove ali stebre. Lahko izdelamo tako imenovani strešni stol, to je strešna konstrukcija z vmesno lego in podporami, ki omogočajo prenos obtežbe. Pri manjših objektih je zadostna postavitev enostavnega strešnega stola v sredini strehe, pri večjih širinah stavb in daljših špirovcih pa uporabimo dva ali več podpornih stebrov. Pri objektih z večjo tlorisno površino in posledično z večjimi strešinami in dolžinami špirovcev, je potrebno skrajšati dolžine špirovcev. Zato vzdolž osi špirovca postavimo medsebojne opore in s tem skrajšamo dolžine špirovcev. To dosežemo s postavljanjem različnih povezij, kot so na primer vešala in razpirala.

Stojala, vešala in razpirala so tradicionalne in kakovostne strešne konstrukcije. Do nedavnega so bile najbolj pogost nosilni sistem lesenega ostrešja, ker zahtevajo veliko lesa in dajejo neuporabno podstrešje jih danes opuščamo. Najdemo jih na zgradbah z leseno ali armiranobetonsko stropno konstrukcijo. Lahko imajo nadzidek, ki je nosilen ali samo zaščitni.

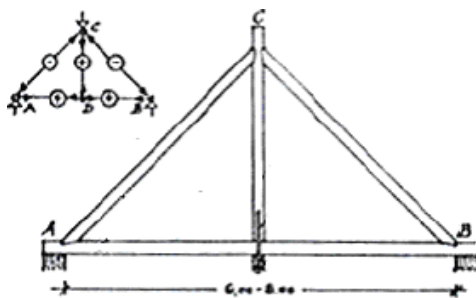
Uporabljamo jih pri enokapnih, dvokapnih in večkapnih strehah ali kot del sestavljenih ostrešij. Stojala so navadne strešne konstrukcije, ki so podprte s srednjimi nosilnimi zidovi. Povezje je sestavljeno iz poveznika, špirovcev in iz enega ali več stebrov. Za trdno povezavo povezja dodamo klešče in opore, posebej pri ležečem in kolenčastem ostrešju. Vsi špirovci ležijo na strešnih legah, ki povezujejo ostrešje v vzdolžni smeri. Za škarjasta in goltniška povezja je značilno, da se špirovci s spodnjim delom naslanjajo na stropne grede. Povezanost stropa in strehe ni vedno upravičena, zato se največkrat dela ostrešja, ki so ločena od stropa. V takih ostrešjih se špirovci naslanjajo na kapne lege, ki neposredno ali posredno preko stebrov prenašajo obtežbo na poveznike, le-ti pa na nosilne zidove ali stebre stavbe. Lege ojačamo z ročicami (Peulić, 2002). Ostrešja z vešali se uporabljajo pri objektih, ki nimajo vmesnih nosilnih zidov. Ker iz različnih razlogov postavitve notranjih sten ni pomembna, se ostrešje naslanja na zunanje nosilne zidove, na katere se preko povezja prenaša vsa vertikalna obtežba (Muravljov in Stevanović, 1999). Ločimo enojno ali trikotno, dvojno ali trapezno in trojno vešalo. Poleg vešal uporabljamo tudi razpirala in kombinacije obeh nosilnih konstrukcij. Take konstrukcije so redke pri visokih zgradbah, pogoste pa pri mostovih (strešne konstrukcije).

Obstajajo različni tipi strešnih povezij, katerih konstrukcije so odvisne od števila, položaja in karakteristik opor ali razporeda nosilnih zidov v osnovni konstrukciji objekta. Njihove vrste in tipi, ki se izvedejo nad leseno ali armiranobetonsko stropno konstrukcijo, so odvisni tudi od funkcije objekta in podstrešja. Glede na to, da je veliko različnih sistemov, bodo prikazani samo najbolj reprezentativni, ozirajoč se na karakteristike v svoji skupini (Nekrep, 2005, Ilić, 2003 in Muravljov in Stevanović, 1999).

#### **4.5.1 Povezje s trikotnim vešalom**

Statični sistem trikotnega vešala je sestavljen iz spodnje vodoravne (AB) palice in dveh poševnih (AC in BC) palic, ki sestavljajo trikotnik ABC. Dodamo četrto navpično (CD) palico, ki spaja spodnjo stranico trikotnika z njegovim vrhom. Če te palice z zgornje strani obtežimo v točkah A, B in C in če obtežena palica AB na sredini visi na palici CD, potem vse te obtežbe povzročajo v vodoravni in navpični palici natege, v poševnih pa tlake. Skupna obtežba pa se prenese preko točk A in B na zunanja ležišča konstrukcije. V lesenih

konstrukcijah je AB vezna greda ali poveznik z ležišči na zunanjih nosilnih zidovih, AC in BC sta poševni podpori ali opirači, CD pa je steber. Poveznik, ki lahko nosi podvlako in strop nad zadnjo etažo, visi na stebru, zaradi tega tak sistem imenujemo vešalo. Vsa obtežba strehe in stropa se prenese na ležišča poveznika, ki se v tem sistemu imenujejo tudi natezne lege oziroma zatege.

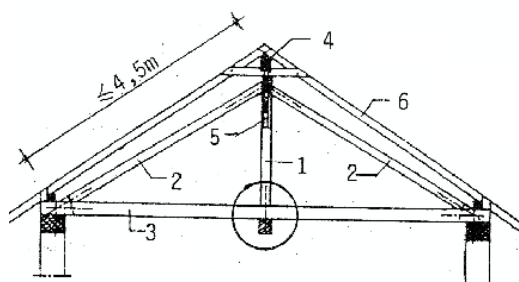


Konstrukcija trikotnega vešala (Peulić, str. 525)

To je najenostavnejša oblika vešala in zahteva veliko lesa. Uporabljamo ga tam, kjer nimamo vmesnih podpor ali vmesnih nosilnih zidov, na primer nad dvoranami. Povezje sestavljajo natezno obremenjen steber ali soha (1), dve opirači ali poševni opori (2), ki sta tlačno obremenjeni in glavni konstrukcijski element strešni poveznik ali natezna lega (zatega) (3). Steber in opirači ustvarijo skupaj s poveznikom trdno trikotno povezavo. Špirovci (6) se računajo kot prostoležeči nosilci ali kot prostoležeči nosilci s previsom, ki s svojimi reakcijami vplivajo na kapno in slemensko lego. Slemensko lego računamo kot prostoležeč nosilec razpona  $l = l_s - 2 \cdot c/2$ , kjer je  $l_s$  razmak med stebri in  $c$  razdalja podporne ročice od stebra do mesta, kjer je povezana s slemensko lego, ne glede na število stebrov, na katere se lega naslanja. Obremenitev se preko slemenske lege (4) in ročice (5) prenese na steber oziroma na opirače, ki prevzameta obtežbo in jo prenese na zunanji zid. Stebre in ročice samo dimenzioniramo in kontroliramo napetosti, ki se pri obremenitvi pojavijo. Horizontalne obremenitve prevzame poveznik, ki je na stiku z opiračo obremenjen na tlak in strig. Opomniti je potrebno, da je steber vedno natezno obremenjen element, ker nosi del poveznika. Strešni poveznik je lahko poleg natezne sile obremenjen tudi s stropno konstrukcijo, ki jo nosi; takrat se računa kot ekscentrično obremenjen natezni element. Stropna konstrukcija ali podvlaka podpira stropnike. Poveznik računamo kot kontinuirni nosilec preko dveh polj. Pri povezavi z opiračo je potrebno preveriti njegove dimenzije.

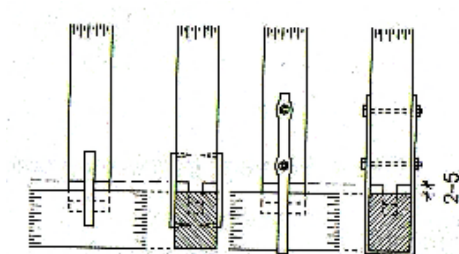


Razpon trikotnega vešala se po priporočilih giblje nekje od 5 m do 7,5 m, razmik med posameznimi vešali je kot pri ostalih tipih od 3,5 m do 4,5 m. Dolžina špirovcev je maksimalno 4,5 m, minimalni naklon pa je 30°.



Trikotno vešalo: prerez in elementi ostrešja (Muravljov in Stevanović, str. 223)

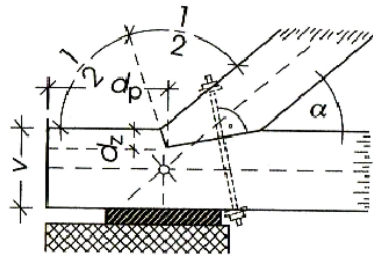
Povezavo opirače s stebrom in poveznikom naredimo z zasekom globine 3 cm z ali brez čepa. Utrdimo jo s sponami ali ježevkami. Steber s slemensko lego vežemo s čepom. Čep napravimo na stebri, utor pa na legi, če gre lega preko stebra. Če se lega konča na stebri in se ne nadaljuje, povezavo utrdimo s sponami in ježevkami. Če pa se slemenska lega nadaljuje nad stebrom, se veže steber s čepom, povezavo pa utrdimo s sponami. Povezavo ročice s stebrom in slemensko lego naredimo z zasekom z ali brez čepa. Lahko pa vežemo tudi samo s čepom. Utrdimo jo lahko s sponami, sponkami, ježevkami ali z lesenimi deskami in žebli. Take povezave delamo tudi pri grednih strehah. Povezavo stebra in lesenega poveznika – natezne lege delamo z vešalnim železom, ježevkami, sponami ali sestavljenimi stremeni, odvisno od obtežbe.



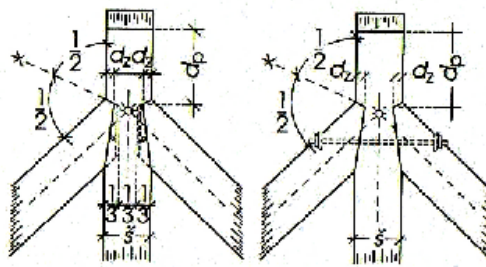
Detajl stika stebra in grede (Muravljov in Stevanović, str. 223)

Pomembni sta povezavi opirače in poveznika ter stebra in opirače. Obe povezavi vežemo z zasekom, ki ga moramo natančno določiti z izračunom. Pri velikih silah lahko delamo tudi

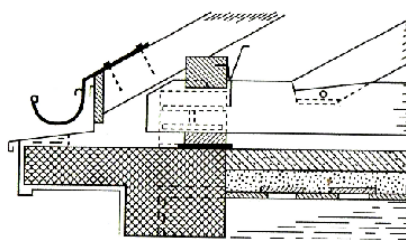
dvojne zaseke in zaseke, podprte s podloškami, vedno pa povezave utrdimo z veznimi sredstvi, kot so vijaki, mozniki idr. Pri armiranobetonski plošči se opirača lahko naslanja na gredne podloge, horizontalne grede ali poševne dele betonskega poveznika glede na podane detajle (Ilić, 2003, Muravljov in Stevanović, 1999).



Detajl stika opirače in poveznika (Gradbeniški priročnik, str. 242)



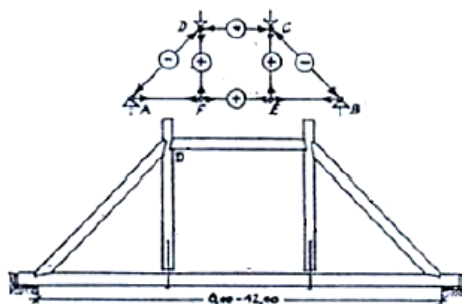
Detajl stika opirače in stebra (Gradbeniški priročnik, str. 242)



Detajl izvedbe trikotnega vešala ob kapu (Gradbeniški priročnik, str. 242)

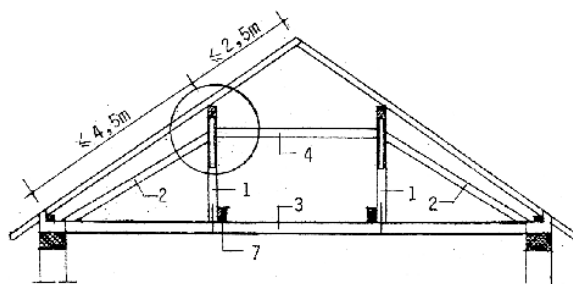
#### 4.5.2 Povezje s trapeznim vešalom ali polno povezje

Trapezno vešalo ima v srednjem območju dva navpična stebra, enega na prvi in drugega na drugi tretjini razpona. Od prvega in drugega konca spodnje vodoravne palice potekata dve poševni palici do zgornjih koncev navpičnih palic, vmes pa dodamo še eno vodoravno palico. Vse palice skupaj tvorijo trapez ABCD. Pri trapeznem vešalu dodamo en element, to je zgornja vodoravna palica, ki jo imenujemo razpirača. Opirači in razpirača so obremenjene na tlak, stebra in poveznik pa na nateg. Oba stebra s poveznikom povežemo z jeklenimi stremeni tako, da stebri ne pritiskajo na poveznik, temveč le-ta visi na stebrih. Vsa obtežba poveznika, skupaj z obtežbo vmesnih gred, se prenaša preko razpirače in opirač na ležišča poveznika. Pri gradnji trapeznega vešala je pomembno, kako so narejene tesarske povezave posameznih elementov.



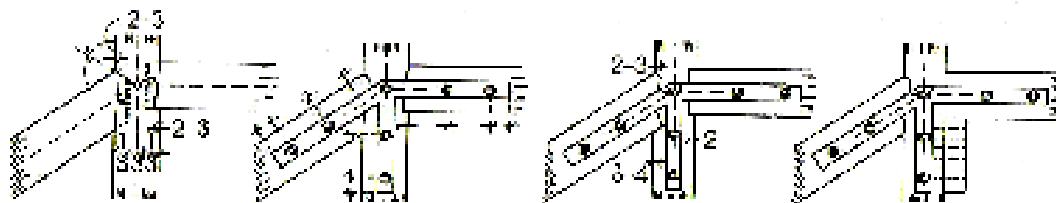
Konstrukcija trapeznega vešala (Peulić, str. 527)

Za razliko od trikotnega vešala ima trapezno vešalo dva stebra ali sohi (1). Elementi trapeznega vešala so poleg stebrov tudi dve opirači (2), strešni poveznik ali natezna lega (zatega) (3) in razpirača (4), to je tlačni element, ki v horizontalni smeri povezuje točke, v katerih se spajata steber in opirača ter podvlaka (7). Namesto slemenske lege položimo dve vmesni legi.



Trapezno vešalo: prerez in elementi ostrešja (Muravljov in Stevanović, str.224)

Povezavo stebra, opirače in razpirače delamo z zasekom in čepom, da pa se izognemo oslabitvam v taki povezavi, jih raje povezujemo s trikrakimi sponami iz pločevine ter z vijaki.



Detajl stika stebra, opirače in razpirače (Gradbeniški priročnik, str. 242)

Dolžina špirovcev je omejena na 7 m; od tega 4,5 m od kapne do vmesne lege in 2,5 m od vmesne lege do slemena. Položaj stebrov je definiran s položajem vmesne lege, s tem pa je določena tudi dolžina razpirače, ki naj ne bo večja od 4,5 m. Razponi trapeznega vešala se gibljejo v mejah od 7 m do 12 m, razmak med povezji pa je od 3 m do 4,5 m. Dimenzije strešnih elementov določimo s statičnim izračunom. Špirovce računamo kot kontinuirne nosilce preko dveh polj ali zaradi varnosti, kot nosilce s previsom. Če pa je spodnji previs večji od 0,8 m, potem jih računamo kot nosilce z dvema previsi. Vmesni legi računamo kot prostoležeče nosilce z zmanjšanim razponom  $l = l_s - 2 \cdot c/2$ , pri čemer sta  $l_s$  razmak med stebri in  $c$  razdalja podporne ročice od stebra do mesta, kjer je povezana z vmesno lego, ne glede na število stebrov na katere se lega naslanja. Strešni poveznik pa računamo kot kontinuirni nosilec preko treh polj oziroma na drug način, če je kakšna posebna izvedba.

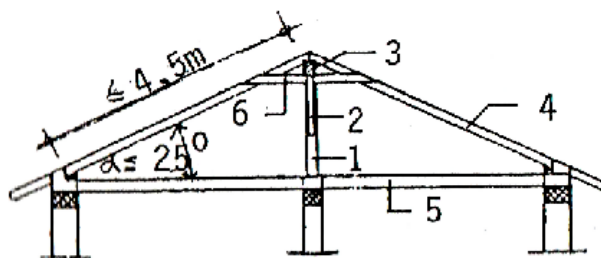
Tako kot pri trikotnem tudi pri trapeznem vešalu vso stropno konstrukcijo obesimo na strešna povezja. Razlika je samo v tem, da pri trapeznem vešalu ležita dva primarna nosilca –

podvlaki, ki nosita stropnike. Kako podvlaki postavimo, je odvisno od arhitektonskega oblikovanja stropa.

Za gradnjo ostrešij z razponom večjim od 12 m, uporabljamo povezja s trojnim trikotnim vešalom ali s trojnim trapeznim vešalom, ki so sestavljena iz več trikotnih ali trapeznih vešal. Danes se skoraj ne uporabljajo več, ker večje razpone veliko lažje in bolj ekonomično premostimo s paličnimi konstrukcijami (Muravljov in Stevanović, 1999, Ilić, 2003).

#### 4.5.3 Povezje z eno podprto lego (Povezje s podprto slemensko lego)

Najbolj enostavno obliko povezja sestavljajo steber (1), ki s pomočjo ročic (2) nosi slemensko lego (3), dva nasprotna si špirovca (4), lesen strešni poveznik (5), namesto katerega je lahko betonska plošča ter klešče (6), ki povezujejo špirovce in steber v višini slemenske lege. Obtežba se preko stebrov prenaša na srednji nosilni zid.



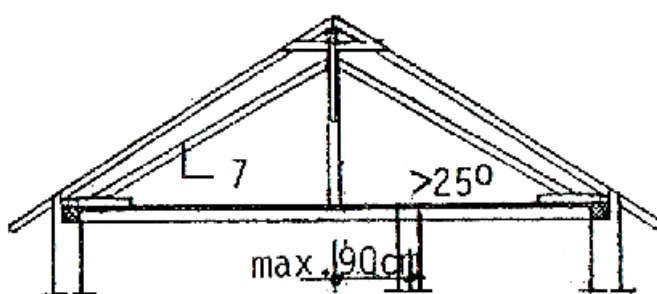
Enostavna lesena strešna konstrukcija z eno podprto lego: prerez in elementi ostrešja  
(Muravljov in Stevanović, str. 219)

Lesene ali masivne stebre lahko postavimo na nosilne zidove, nosilce ali masivne plošče. Vertikalne nosilne dele povežemo med seboj zaradi vpliva horizontalnih sil. Tako konstrukcijo imenujemo tudi gredno ostrešje, ki je mogoča v mnogih različicah, potrebuje manj lesa in daje uporabno podstrešje (Nekrep, 2005, Gradbeniški priročnik, 2008).

Pri takem povezju se špirovci lahko naslanjajo direktno na stropno gredo kot pri škarjastem in goltniškem povezju ali pa na kapno lego ali pozidnico. Kapna lega leži na zidovih ali poveznikih, pri kolenčasti strehi pa samo na zidovih ali kolenčnem zidu. Za kapno lego se

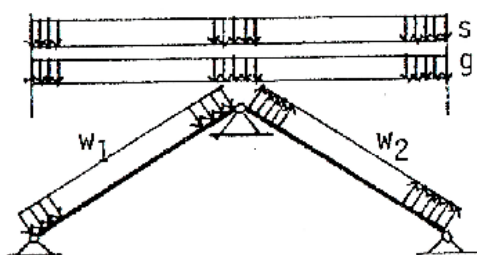
uporablja leseno gredo, ki jo z vijaki sidramo v železobetonski venec. Špirovci se od kapne lege nadaljujejo naprej kot nosilci napušča. S spodnje strani napušč zaključimo tako, da med špirovce pritrdimo opaž.

Za večje nagibe strešin se zaradi večjih horizontalnih sil postavlja, poleg že omenjenih stebrov, dva poševna elementa, to sta opirači (7), ki služita večji stabilnosti povezja v prečni smeri. Tak nosilni sistem ostrešja imenujemo tudi trikotno stojalo.



Primer trikotnega stojala: prerez in elementi ostrešja (Muravljov in Stevanović, str. 219)

Oba načina nosilnih sistemov se izvajata nad objekti širine do 7 m, kadar se na sredini nahaja srednji nosilni zid, ki pa ni odmaknjen od sredine za več kot 1 m. Običajni razmak med stojali je od 3 m do 4,5 m, to mora biti usklajeno z medsebojnim razmakom poveznika in špirovcev. Špirovce računamo kot prostoležeči nosilec, ki je na eni strani naslonjen na slemensko lego, na drugi strani pa na kapno lego, kot je razvidno iz spodnje slike.

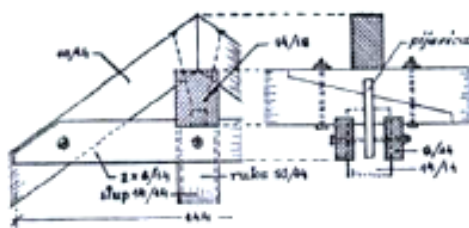


Trikotno stojalo: statični sistem (Muravljov in Stevanović, str. 219)

Preko kapne lege se špirovci oziroma celotna krovna konstrukcija sidrajo v masivne nosilne zidove. Poleg statičnega sistema prostoležečega nosilca imajo špirovci lahko tudi statični sistem prostoležečega nosilca s previsom v odvisnosti od velikosti kapa. Pri povezjih s

stojalom se, ne glede na dolžino grede in število stebrov na katere se slemenska lega naslanja, računa slemensko lego kot prostoležeči nosilec razpona  $l = l_s - 2 \cdot c/2$ . Na steber deluje reakcija slemenske lege  $S = q_{slem.lege} \cdot l_s$ , na ročice pa sila  $P = S/2 : \sin\alpha$ . Ostale elemente, kot so stebri in ročice, samo dimenzioniramo ter kontroliramo napetosti, ki se pojavijo. Steber je tlačni element, ki se lahko ukloni. Preko slemenske lege nosi in prenaša obtežbo na zid ali gredo. Stebrov stoji do višine 1,8 m ne računamo, temveč upoštevamo največje dimenzije  $b/h = 12/12, 14/14$ . Klešče so najmanjših dimenzij  $2 \times 6/12$  ali največjih  $2 \times 8/16$ . Ročice so tlačni element v poševnem položaju. Obtežbo prejemajo preko slemenske lege. Dimenzioniramo jih kot stebre. Opirače in klešče so pri stojalih obremenjene s horizontalnim pritiskom vetra. Skupaj utrjujeta povezja v prečni smeri. Upoštevamo kar privzete dimenzije. Zaradi varnosti povezave med opiračo in stebrom, morajo imeti opirače eno dimenzijo enako kot steber (Muravljov in Stevanović, 1999, Ilić, 2003).

Povezavo špirovcev s slemensko in kapno lego delamo z zasekom globine 3 cm in jo utrdimo z enim žebljem. Žebelj pribijemo pravokotno na špirovec do kapne in slemenske lege. Povezavo lahko utrdimo tudi s sponami. Slemensko lego podpremo s kleščami na mestu, kjer je povezana s stebrom. Na zgornji strani klešč naredimo zasek globine 2 do 3 cm za naleganje slemenske lege. S preklopom povežemo tudi klešče s stebrom in na koncih klešč s špirovci. Povezave utrdimo z žablji.



Detajl stika v slemenu (Peulić, str. 540)

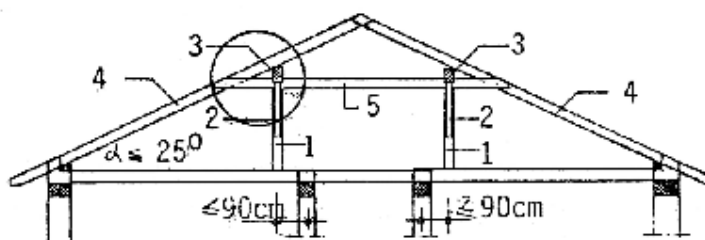
Povezavo opirač s stebrom in poveznikom naredimo z zasekom globine 3 cm s čepom ali brez. Povezavo utrdimo s sponami ali ježevkami. Steber s slemensko lego povežemo s čepom, če gre slemenska lega preko stebra. Če pa se slemenska lega konča na stebri in se ne nadaljuje, povezavo utrdimo s sponami ali ježevkami. Če pa se slemenska lega nadaljuje nad

stebrom, steber s čepom povežemo s slemensko lego in utrdimo s sponami. Ročice s čepom povežemo s stebrom in slemensko lego. Povezavo lahko utrdimo s sponami, ježevkami ali z lesenimi podložkami in žebli. Vse te povezave na podoben način delamo tudi pri povezjih z vešali in povezji z vmesnimi legami (Peulić, 2002, Ilić, 2003).

#### 4.5.4 Povezje z dvema podprtima legama (Povezje s podprtima vmesnima legama)

Tako obliko nosilnega sistema ostrešij uporabljamo v primeru, kadar dolžina špirovcev od kapne lege do slemenske lege presega 4,5 m in ni večja od 7 m in kadar je širina objekta do 12 m. Potrebna sta tudi dva vmesna nosilna zidova. Medsebojni razmak med povezji je od 3 m do 4,5 m in mora biti usklajen z razmakom špirovcev in poveznikov.

Osnovno varianto tega tipa ostrešja sestavljata dva vertikalna stebra (1), ki s pomočjo ročic (2) prevzemata obtežbo od vmesnih leg (3). Obtežba se preko špirovcev prenaša na vmesne lege. Špirovce in lesene stebre povezujejo klešče (5) v višini vmesne lege.

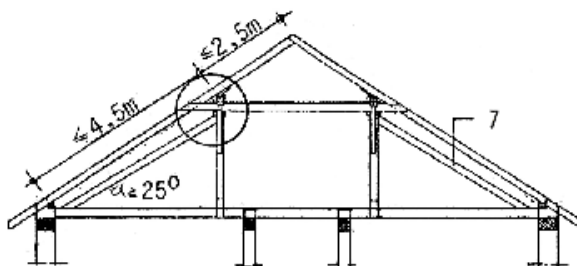


Lesena strešna konstrukcija – povezje z dvema podprtima legama: prerez in elementi ostrešja (Muravljov in Stevanović, str. 220)

Leseni stebri so povezani z dvojnimi kleščami in se naslanjajo na poveznik zunaj srednjih zidov na maksimalni razdalji 90 cm ali nad njimi, kar je ugodnejše. Položaj stebrov je definiran s položajem vmesnih leg pod pogojem, da je dolžina špirovca od kapne lege do vmesne lege krajša od 4,5 m in dolžina od vmesne lege do slemena krajša od 2,5 m.

Kot pri povezjih z enim podprtim stebrom tudi tukaj pri nagibih večjih od  $25^\circ$  postavimo dve opirači (7). Tako konstrukcijo imenujemo trapezno stojalo (Muravljov in Stevanović, 1999).





Trapezno stojalo: elementi ostrešja (Muravljov in Stevanović, str. 220)

Povezave špirovcev v slemenu izvajamo na enak način kot pri škarjastih in goltniških povezjih. Pri povezjih s tremi stebri pa to povezavo izvedemo na enak način kot pri povezjih s slemensko lego, kjer so špirovci povezani s slemensko lego z zasekom globine 3 cm. Povezavo utrdimo z enim žebljem na vsaki strani. Na mestu, ki je nad stebrom, so špirovci povezani z majhnimi, kratkimi škarjami. Povezavo špirovca in vmesne lege naredimo z zasekom globine 3 cm in jo povežemo z žebljem. Da bi se izognili oslabitvi pri špirovcu, nanj z žebli pritrđimo lesene deske debeline 3 cm in dolžine 15 cm – 20 cm; kam in kako jih pritrđimo je odvisno od nagiba. Povezava špirovca, vmesne lege in stebra s škarjami je zelo pomembna. Škarje prenašajo horizontalni pritisk vetra z ene strani na drugo stran strehe. To obremenitev sprejema opirača in jo prenese na poveznik. Zaradi tega se škarje z notranje strani zasekajo za 2 cm in se tako povežejo s stebrom. Pri povezavi z vmesno lego se škarje zaseka tudi z zgornje strani za 2 cm. Povezavo utrdimo z vijaki, eden je na stebri in drugi na špirovcu. Pri enojnih škarjah je postopek enak, vendar moramo tam zaradi delovanja vetra (sesanje), narediti dobro povezavo stebra in poveznika. Povezavo opirače s stebrom in poveznikom se izdeluje na enak način kot pri povezjih z vešali (Ilić, 2003).

Pri izvedbi najrazličnejših lesnih zvez, ki so se do sedaj izvajale po tradicionalni metodi s čepljenjem, zarezovanjem, usekavanjem, opiranjem, žebljanjem idr., se vedno pogosteje uporablja sisteme kovinskega okovja. Okovje je izdelano iz hladno oblikovane pločevine in je zaščiteno proti koroziji. Z okovjem je možna izvedba vseh znanih klasičnih lesnih zvez, poleg tega pa tudi izvedba povsem individualnih lesnih zvez, katerih izvedba s klasičnimi zvezami ne bi bila mogoča ali pa bi bila le-ta predraga.

Pri izračunu takih povezij se špirovci, čeprav so povezani v slemenu, računajo kot prostoležeči nosilci s previsom, kar je na varni strani. Podpore špirovcev predstavljata kapna in vmesna lega. Vmesno lego računamo kot kontinuirni nosilec, katerega razmak med podporami je enak razmaku med povezji. Kapno lego za previse večje od 0,8 m računamo kot vmesno lego. Stebri so centrično obremenjeni z akcijami vmesnih leg, obtežba pa se prek njih prenese na vmesne nosilne zidove. Ostale elemente računamo tako kot pri enostavnih stojalih.

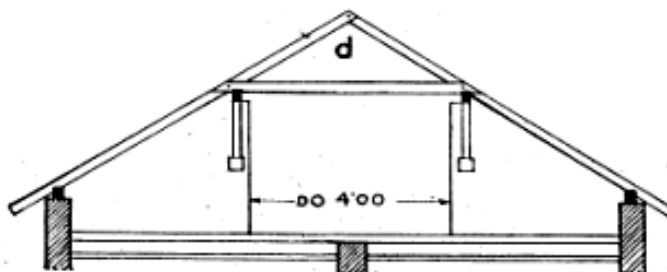
V primeru večjih nagibov strešin in kadar je dolžina špirovca do 9 m, uporabljamo trojna stojala, katerih karakteristike so podobne stojalom z dvema podprtima legama. Tretji steber se postavlja v slemenu, pod slemensko lego.

Analogno povezjem z navpičnimi stebri, obstajajo tudi povezja s poševnimi stebri. Izvaja se jih takrat, kadar je razpored srednjih nosilnih zidov tak, da ni mogoče postaviti navpičnega stebra, ki bi se naslanjal nanje ali kadar je iz funkcionalnih razlogov potrebno zavarovati nemoteno uporabo podstrešja. Izvedljiva so samo takrat, kadar je stropna konstrukcija dovolj podprta z zidovi ali stebri. Najbolj ugodna je armiranobetonska plošča, ki prevzame funkcijo poveznika (Muravljov in Stevanović, 1999).

#### **4.5.5 Povezje s podprtimi legami na prečnih zidovih**

Novejši nosilni sistem ostrešja stanovanjskih in podobnih stavb ima namesto tradicionalnih opečnih vzdolžnih zidov, na katerih so ležišča poveznikov, prečno postavljene nosilne zidove. Pri tem nosilnem sistemu je običajen razmak med prečnimi zidovi od 3,6 m do 4,2 m, kar velja tudi za medsebojne razmake povezij z vmesnimi legami, ki so podprte s stebri. Zaradi tega se prečni nosilni zidovi podaljšajo v podstrešni prostor vse do višine vmesnih leg ali tako da srednji del zidu ostane nezgrajen zaradi izkoriščenja podstrešnega prostora. Namesto kapnih leg se postavlja pozidnice, ki so sidrane v armiranobetonski venec. Ležišča za vmesne lege so na postavljenem prečnem zidu. Okoli 1 m pod ležiščem srednje lege se vnaprej vgradi betonski blok, na katerega pritrdimo vodoravno leseno desko, ki ima na koncih narejen utor za pritrditev ročic s čepom. Zgornji del ročic s čepi povežemo v vmesne lege. Vmesne lege med seboj povežemo s kleščami. Druga varianta ležišča pa je, da se na postavljenih prečnih

zidovih vgradi betonski blok, na katerega pritrdimo leseno gred dolžine 180 do 200 cm. Na to gred, ki nadomesti ročice, z dvema vijakoma pritrdimo vmesne lege (Peulić, 2002).

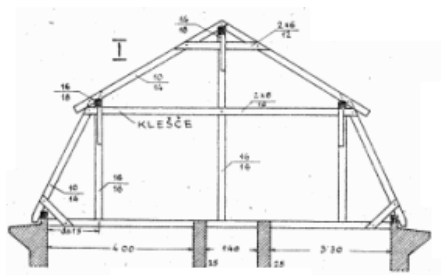


Povezje s podprtimi legami na prečnih zidovih (Gradbeni elementi 8, Strešne konstrukcije, str. 6)

Ta povezja ponavadi uporabljamo tam, kjer lesa ni veliko, kotr na primer v Italiji, ker take konstrukcije potrebujejo malo lesa.

#### 4.5.6 Mansardno ostrešje

Mansardna ostrešja so lahko enokapna, dvokapna, štirikapna ali večkapna. Sestavljena so iz dveh prelomnih strešin, to je ena izmed osnovnih karakteristik teh ostrešij. Spodnja ima strm nagib, zgornja pa bolj blagega. Ta ostrešja so izredno ugodna, ker se podstrešje lahko izkorišča v stanovanjske namene. Gledano s stališča porabe materiala so neekonomična, zlasti pri lesenem stropu. Pri armiranobetonskih in objektih, kjer je možno dvigniti zidove na podstrešju, se poraba materiala zmanjša, ker ni strešnih stojal in nosilcev tako kot pri ostalih ostrešjih. Prostor nad razpiraçami ali kleščami je podstrešni, kar pa ni nujno. Nosilni sistem teh ostrešij se lahko izvede na več načinov na leseni ali armiranobetonski konstrukciji. Višina teh ostrešij je lahko različna. Spodnji del ostrešja pa mora biti visok od 2,5 m do 2,8 m. Zaželeno je, da je izbočen iz ravnine fasade iz ekonomskih in funkcionalnih razlogov, kritina mora biti na obeh delih enaka. Izvaja se s stojali z ravnimi ali poševnimi stebri (Ilić, 2003).



Mansardno ostrešje (Gradbeni elementi 8, Strešne konstrukcije, str. 13)

#### 4.6 Palične konstrukcije

Strešne palične konstrukcije so lahko izdelane iz lesa, jekla, aluminija in armiranega betona. Uporabljajo se za izdelavo nosilnih sistemov ostrešij povsod tam, kjer se zahtevajo lahke konstrukcije, posebne oblike ali veliki razponi, kar omogoča prosto načrtovanje tlorisnih površin pri projektiranju: stanovanjskih hiš, industrijskih in športnih ter kmetijskih objektov. Zunanja oblika paličja je prilagojena namenu uporabe. Možna je izvedba vidne konstrukcije ali konstrukcije, obložene s spuščnim stropom. Lesena paličja so zelo enostavni in lahki nosilni sistemi za montažo, zato jih pri montažnih stavbah uporabljajo že stoletja povsod po svetu. So tehnično in ekonomsko upravičena (Nekrep, 2005).

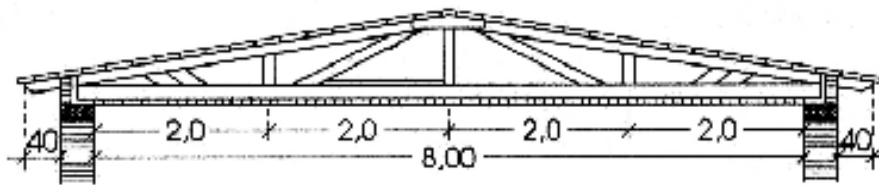
Paličje je sestavljeno iz spodnjega in zgornjega pasu ter iz vertikalnih palic ali vertikal in poševnih palic oz. diagonal. Posamezne palice so med seboj povezane v vozliščih. Palice imajo ravno os. Notranje osne sile določimo ob naslednjih predpostavkah:

- palice so ravne in med seboj členkasto povezane;
- vsa zunanja obtežba in lastna teža palic deluje v vozliščih
- zunanje sile delujejo v ravnini paličja.

V palicah, ob teh pogojih, nastopijo samo osne sile in njihove smeri sovpadajo z osmi palic. V praksi, zaradi same izvedbe, pogoj o členkasti povezavi palic ni vedno izpolnjen. Pri izračunu moramo pri zahtevnejših objektih zaradi varnosti konstrukcije upoštevati vpliv izvedbe vozlišča, ker se tukaj poleg osnih sil pojavijo tudi upogibni momenti, medtem ko pri lažjih konstrukcijah z manj obtežbe to lahko zanemarimo. V posebnih primerih je palica lahko obremenjena z zunanjo obtežbo tudi v polju. Takrat določimo sekundarne prečne sile in

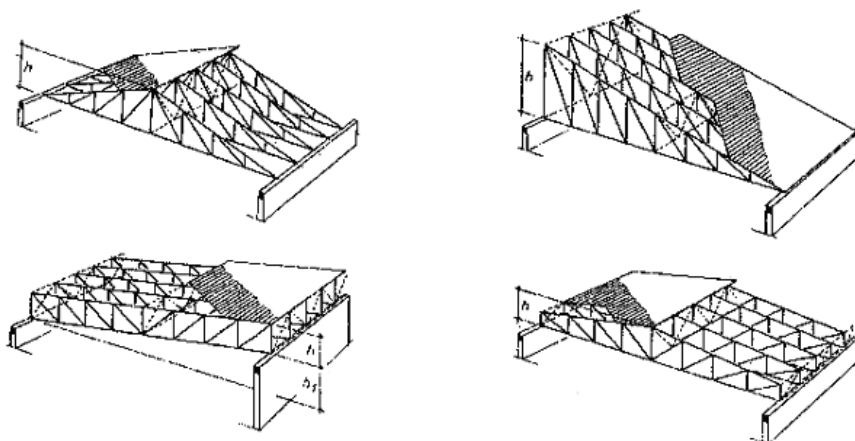
upogibne momente v palici, tako kot bi bila palica samostojni nosilec. Zgornji pas tvorijo zgornje obodne palice, spodnje pa spodnji pas. Pasova sta med seboj povezana z diagonalami in vertikalami.

Za objekte večjih razpetin z majhnimi nagibi strehe konstruiramo ostrešja s predalčnimi lahкими nosilci, danes le-ta nadomeščajo polna povezja tradicionalnih ostrešij. Spodnji pas deluje kot poveznik in se naslanja na zunanje zidove ali stebre. Zgornji pas ima vlogo špirovcev ter nosi kritino in njeno podkonstrukcijo. Vertikalne palice delujejo kot stebri, diagonale pa kot opirače. Ti nosilci so lahke konstrukcije in so največkrat montažni. Primerni so za pritlične montažne zgradbe, kjer se na spodnjo stran pribije lahka stropna konstrukcija namesto masivnega stropa (Gradbeniški priročnik, 2008, Peulić, 2002).



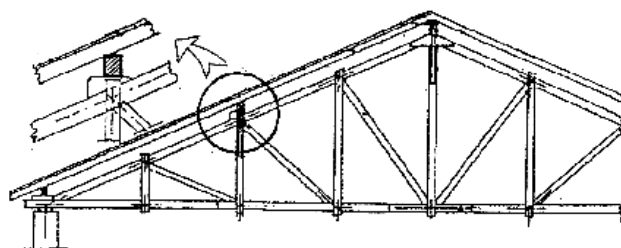
Lahka predalčna konstrukcija (Gradbeniški priročnik, str. 245)

Najbolj pogosto se srečujemo s paličnimi konstrukcijami, ki imajo statični sistem prostoležečega nosilca trikotnih, pravokotnih in trapeznih oblik. Za ostrešja je najbolj primerna trikotna oblika različnih izvedb razporeditve palic in naklonov. Oblika nosilca je odvisna od vrste kritine ter kakšnim funkcijam in namenu mora nosilec ugoditi.



Oblike paličnih nosilnih sistemov ostrešja (Muravljov in Stevanović, str. 226)

Zunanja oblika strehe je odvisna od oblike zgornje pasnice, medtem ko je spodnja pasnica prilagojena obliki prostora in tipu stropne obloge. Spodnji pas nosilcev je običajno vodoraven, lahko pa je tudi lomljen in pogosto nosi stropno konstrukcijo. Na zgornje pasnice se postavi kapne, vmesne in slemenske lege, preko njih pa špirovce. Vmesne lege so lahko postavljene v vsakem vozlišču zgornjega pasu, odvisno od velikosti polja paličja oziroma razpona špirovcev.



Položaj lege in špirovcev pri paličnem ostrešju (Muravljov in Stevanović, str. 228)

Pri projektiranju in konstruiranju paličnih nosilcev je potrebno upoštevati naslednja pravila:

- uporaba statičnega sistema prostoležečega nosilca, kjer je to mogoče;
- nosilce moramo postavljati na konstantnem medsebojnem razmaku, običajno je to v mejah od 2,5 m do 5 m;
- nagibamo se k temu, da so stiki čim bolj enostavni in da se v vozlišču stika čim manj palic ter da so daljše palice obremenjene na nateg, krajše pa na tlak.

Konstrukcija kot celota mora biti trdna in imeti mora dovolj ojačitev, ki bodo zavarovale globalno stabilnost celotnega sistema.

Statični izračun paličja mora vključevati:

- analizo obtežbe,
- izračun reakcij podpor in ekstremnih vrednosti sil v palicah,
- dimenzioniranje palic in izračun povezav in razširitev,
- izračun deformacij in potrebnega nadvišanja,
- izračun stabilnosti paličja in konstrukcije v celoti.

Analiza obtežbe mora obsegati vse možne kombinacije obtežnih primerov, katere se reducira na  $m^2$  površine ostrešja oziroma na  $m^1$  nosilca ali porazdeli kot koncentrirana obtežba v vozliščih paličja.

Izračun reakcij podpor in ekstremnih vrednosti osnih sil v palicah paličja, ob upoštevanju že naštetih pogojev, določamo s pomočjo računalniških programov, ki temeljijo na metodi končnih elementov.

Ko izračunamo vrednosti sil v palicah, začnemo z dimenzioniranjem. Tukaj je treba pripomniti, da je pri paličjih, glede na konstrukcijski sistem, vgrajeni material bolje izkoriščen in porazdeljen v smislu statičnega vpliva kot pri polnostenskih nosilcih. Pri polnih monolitnih nosilcih je največja upogibna napetost na robovih preseka in se zmanjšuje proti nevtralni osi, medtem ko se pri paličjih, kjer so palice obremenjene z vzdolžnimi silami, napetosti enakomerno porazdelijo po preseku in je s tem material bolje izkoriščen.

Pomiki paličnih nosilcev in s tem tudi nadvišanja, so odvisne od različnih faktorjev:

- geometrijskih in konstrukcijskih karakteristik paličja,
- vlažnosti lesa in stopnje njegovega naknadnega izsuševanja med eksploatacijo,
- vrste in kvalitete uporabljenih spojnih sredstev.

Velikost pomika se računa po principih, poznanih iz statike linijskih ali ploskovnih konstrukcij. Velikost potrebnega nadvišanja mora odgovarjati pomiku od stalne in koristne

obtežbe. Linijo nadvišanja določa kvadratna parabola z največjim nadvišanjem v sredini razpona. Običajno se nadvišanje giblje v mejah od  $1/200$  do  $1/250$ , kjer je  $l$  razpon paličnega nosilca; izvedemo ga zato, da dosežemo vizualno manjše pomike zaradi obtežbe.

Poleg kontrol napetosti in pomikov moramo posebno pozornost nameniti tudi lokalni stabilnosti posameznih elementov in globalni stabilnosti konstrukcije kot celote v vzdolžni in prečni smeri. Z zavarovalnimi konstrukcijami preprečujemo pretirane pomike in zagotavljamo stabilnost. Pri posameznih elementih gre za bočno podpiranje oziroma uklonsko zavarovanje izven ravnine elementa pri tlačnih pasovih paličij in upogibnih nosilcih. Stabilnost konstrukcije pa zagotavljamo takrat, ko zadostna horizontalna togost in odpornost ni zagotovljena z drugimi ukrepi. Naloga zavarovalne konstrukcije je, da prevzema obremenitve, ki izhajajo iz bočnega podpiranja posameznih elementov in lokalnega uklonskega zavarovanja ter prenos teh bremenitev do temeljev ter prenos zunanjih horizontalnih obtežb do temeljev. Horizontalni obtežbi, ki delujeta na konstrukcijo sta na primer obtežba vetra in potresa (Muravljov in Stevanović, 1999).

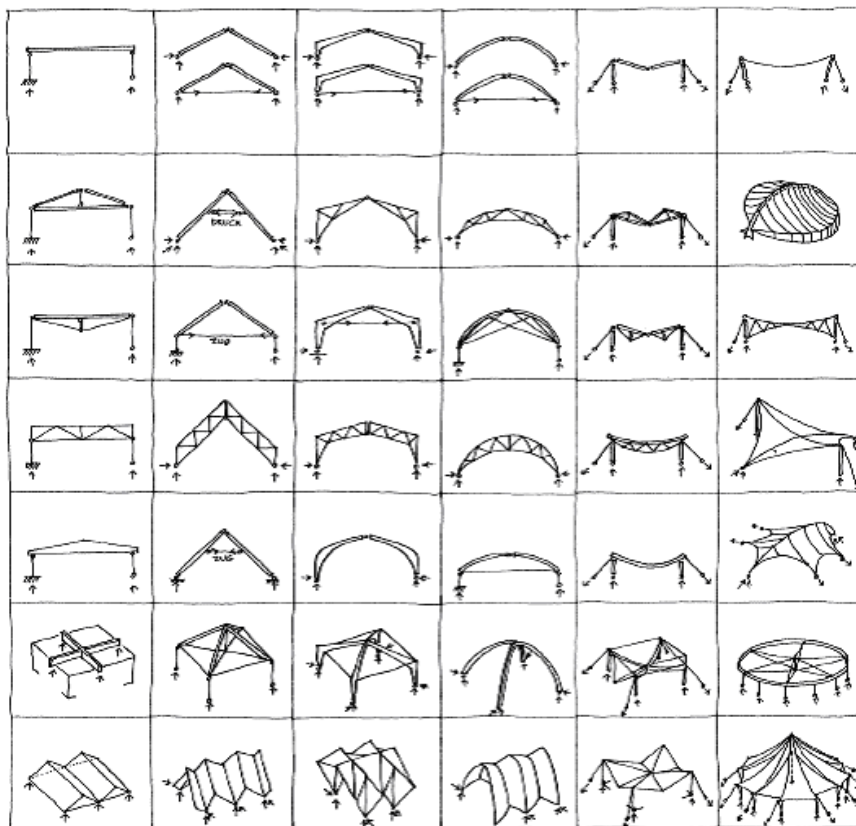
#### **4.7 Lepljene lamelirane konstrukcije**

Pod pojmom lesene lepljene lamelirane konstrukcije razumemo, tiste konstrukcije, ki jih sestavljajo elementi iz lepljenih desk – lamel, potrebnega prečnega prereza in potrebne dolžine (Gojković in Stojič, 1996). Posamezne lamele so med seboj zlepljene z lepili, ki imajo visoko trdnost in trajnost ter so odporna proti vodi, mikroorganizmom, povišani vlažnosti in temperaturi. Uporaba takih lepil zagotavlja prednost v določenih primerih pred ostalimi gradivi. Tako sestavljeno gradivo ima boljše mehanske lastnosti kot masivni les.

Lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi so med najlažjimi konstrukcijskimi materiali in se lahko zaradi dobrih mehanskih lastnosti uporabljajo kot samostojni nosilci ali kot ravninske in prostorske konstrukcije z velikimi razponi. To so industrijski gradbeni elementi, za katere je značilna velika stopnja prefabrikacije. Za strešne konstrukcije jih uporabljamo predvsem takrat, kadar so potrebne posebne oblike in veliki razponi, vedno bolj pa so razširjene tudi v individualni gradnji.



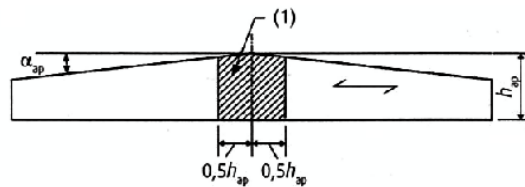
Z uporabo lepljenih lameliranih elementov lahko sestavimo konstrukcije različnih oblik, omogočajo pokrivanje velikih površin ter neomejeno izbiro dimenzij prečnih prereзов elementov, zato se zelo enostavno prilagajajo sodobni arhitekturi. Z njimi delamo konstrukcije različnih statičnih sistemov. Njihove dimenzije in druge karakteristike določamo s statičnim računom. Pri sodobnih objektih je pri uporabi lepljenega lameliranega lesa zelo pomembno uspešno sodelovanje različnih projektantov, še posebno arhitekta in konstruktorja. Največkrat izbira nosilnega sistema že pogojuje oblikovanje notranjega prostora. Danes lahko izbiramo med najrazličnejšimi nosilnimi sistemi, ki omogočajo optimalno načrtovanje objektov za različne namene. Nosilne sisteme v lepljenem lameliranem lesu delimo v skupine: nosilcev, tročlenskih lokov, okvirjev, ukrivljenih nosilcev, konzol in visečih sistemov, razvrščamo jih glede na prevladujoče obremenitve (npr. paličje – osna obremenitev, nosilci – upogibna obremenitev) in prevladujoč raznos obtežbe (ravninske in prostorske konstrukcije – kupole, prostorske okvirne konstrukcije, prostorska paličja, brane in lupine) (Kitek Kuzman in Vratuša, 2009).



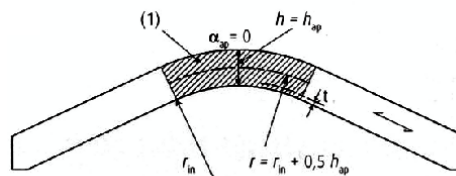
Skupine nosilnih sistemov (Kitek Kuzman in Vratuša, str. 146)

Prednost lesenih lameliranih lepljenih elementov je, da pri konstruiranju različnih oblik in dimenzij omogočajo veliko fleksibilnost, imajo estetski videz in eleganco tudi pri večjih razponih, možne so izvedbe različnih krivin in oblik ukrivljenih elementov ter enostavno prilagajanje sodobnim arhitektonskim zahtevam. Dimenzije nosilnih elementov so odvisne od statičnega sistema same konstrukcije, nosilnosti materiala, tehnologije proizvodnje in vgraditve ter od pričakovanega učinka arhitektonske kompozicije zgradbe.

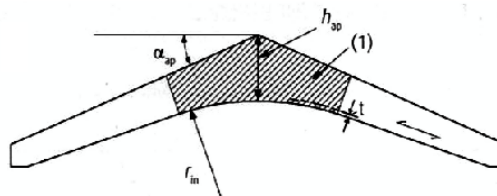
Razlikujemo več tipičnih oblik lepljenih lameliranih nosilcev. Tipične oblike so, poleg ravnih nosilcev s konstantno višino, še enokapni ali dvokapni nosilci, ukrivljeni nosilci ter nosilci z ukrivljenim spodnjim robom in spremenljivo višino.



Enokapni in dvokapni nosilci (Kitek Kuzman in Vratuša, str. 147)



Ukrivljeni nosilci (Kitek Kuzman in Vratuša, str. 147)



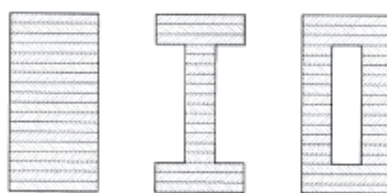
Ukrivljeni nosilci s spremenljivo višino (Kitek Kuzman in Vratuša, str. 147)

Pri prvi in tretji obliki imamo spremenljivo višino prereza. Pri drugi obliki pa konstantno višino. Spreminjanje višine nosilca omogoča boljše izkoriščenost prečnega prereza nosilca, glede na upogibne napetosti v nosilcu. S pravilno izbiro oblike in geometrije konstrukcije lahko tako dosežemo zelo velike razpone. V svetu imamo konstrukcije z razponi preko 100 m, v Sloveniji pa ima trenutno največji razpon ločni nosilec športne dvorane na Rogli (35,2 m).



Športna dvorana na Rogli ([http://www.gradtur.si/zima/slovenija/rogla/rogla\\_ol\\_cent.jpg](http://www.gradtur.si/zima/slovenija/rogla/rogla_ol_cent.jpg))

Z razvojem lepil se je povečal tudi izbor različnih vrst prečnih prerezov. Prečni prerezi so sestavljeni iz lamel, ki so med seboj zlepljene. Najbolj pogosti so pravokotni prerez, »I« prerez in sestavljeni škatlasti prerez.



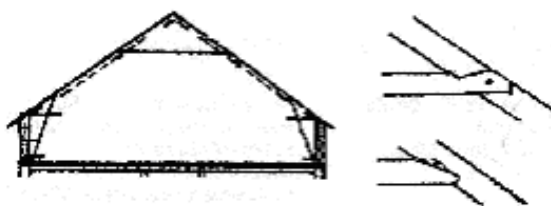
Najpogostejše uporabljene oblike prečnih prerezov (<http://www.dlib.si>)

Geometrijo prereza prilagajamo poteku napetosti in sicer tako, da največ materiala namestimo tam, kjer največ doprinese k nosilnosti, to je na robove, kjer so napetosti največje. Običajno v zunanji šestini višine namestimo boljši material z večjo trdnostjo, v sredico pa slabšega in tako prilagajamo kvaliteto materiala glede na razpored napetosti po prerezu. Od izbranega materiala in oblike prereza je odvisna poraba lesa in upogibna nosilnost. Kako prihraniti

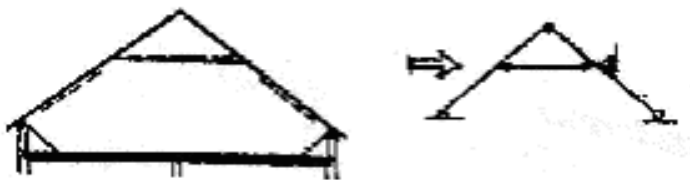
material v primerjavi z nosilnostjo, nam pove primerjava kombinacije prilagajanja geometrije in trdnosti lesenega prereza (Kitek Kuzman in Vratuša, 2009).

Primeri strešnih konstrukcij z lepljenimi prečnimi prerezi:

- Na sliki je primer strešne konstrukcije, kjer so elementi ostrešja iz lepljenih »I« prerezov. Sestavljena je iz enakih prečnih povezij z razmakom od 100 cm do 120 cm. Špirovci so podprti v spodnjem delu z elementoma iz lepljenega »I« prereza s stebrom in opiračo, ki sta povezana s kleščami. V področju slemena so špirovci povezani z razpiračami. vzdolžno stabilnost se zagotavlja z ojačitvami proti vetru v ravnini strešine. S tako konstrukcijo strehe lahko pridobimo skladiščne prostore nad enonadstropnimi zgradbami (Mittag, str. 362).



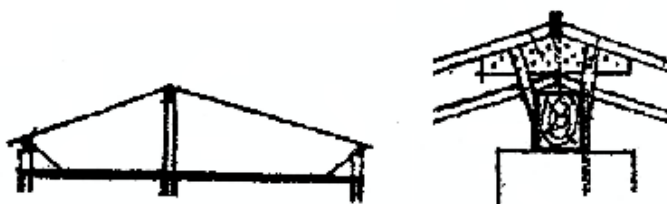
- Tak primer lepljene konstrukcije z razpiračami je uporaben pri strehah, kjer je nagib strešine približno 40°. Razmak med povezji je od 100 cm do 120 cm. Kapne lege, na katere so naslonjeni špirovci iz lepljenih »I« prerezov, so v vsakem drugem polju z zateznimi sidri sidrane v masivno stropno ploščo. Ojačitve proti vetru so v ravnini strešine in v ravnini razpirače (Mittag, str. 362).



- Primer strešne konstrukcije, kjer so špirovci podprti z opiračami. Razmak med povezji je 120 cm. Ojačitve proti vetru so v ravnini strešine. Horizontalne sile se prenašajo s pomočjo sider na stropno ploščo (Mittag, str. 362).



- Primer strešne konstrukcije, kjer so elementi iz lepljenih prerezov oblike »I«, kjer slemenska lega leži na zidanem slopu (Mittag, str. 362).



Bistvena prednost lepljene lamelirane konstrukcije je, da omogoča fleksibilnost pri konstruiranju različnih oblik in dimenzij. Ima estetski videz in eleganco pri večjih razponih. Prečni prerezi nosilcev iz lepljenega lesa se zaradi majhne teže ne povečujejo tako kot pri masivnem lesu. Ima visoko nosilnost glede na lastno težo. V primerjavi z masivnim lesom ima lepljen les večjo trdnost in togost, dimenzijsko stabilnost, več možnosti pri izbiri prečnega prereza ter možnost oblikovanja vzdolžne osi nosilca. Za proizvodnjo lepljenih lameliranih elementov je sicer potrebno skoraj enkrat več energije kot za elemente iz masivnega lesa, vendar je z okoljevarstvenega vidika pomemben tudi faktor razgradljivosti lesa ter možna uporaba recikliranega lesa. Lepilo ima pomembno vlogo pri nosilnosti lepljenega elementa, je pa škodljivo in ima obremenilen učinek na okolje. Delež lepila v celotnem volumnu konstrukcije je približno 1%, tako da je z ekološkega vidika le-ta primerljiva s konstrukcijami iz masivnega lesa, sploh pa če upoštevamo uporabo kovinskih spojnih sredstev pri le-teh. Lepljen les ima večjo požarno odpornost kot mu pripisujejo. Je slab prevodnik toplote in pri tem presega tudi jeklo in armirani beton. Lepljeni elementi

počasi zoglejijo s površine proti notranjosti elementa, pri čemer presek, ki ni zoglenel, ohranja prvotno nosilnost. Med gorenjem ne spreminjajo oblike, zato na primer nosilci ne povzročajo dodatnih pritiskov na obodne stene in ne povzročajo njihove porušitve. Požarno odpornost lahko dosežemo z ustreznim dimenzioniranjem elementa in uporabo primerne zaščite. V primerjavi z masivnim lesom je cena lepljenega lesa 2,5 krat večja. Vendar na ceno konstrukcije vplivajo tudi drugi faktorji, kot so planiranje gradnje, hitrost izvedbe, enostavnost transporta in montaže, spojna sredstva, kvaliteta in zahtevnost proizvoda ter trajnost vgrajenih elementov. Industrijska izdelava omogoča lahko in hitro izdelavo ter hitro gradnjo z minimalnim številom napak, ne glede na vremenske vplive. Vse to pa poceni in pospeši gradnjo objekta. Na trajnost lesenih konstrukcij vplivajo zunanji pogoji, pravilna zaščita in pravilna izvedba detajlov. Ocenjujejo, da je življenjska doba lesenih konstrukcij več kot sto let, če je pravilno izvedena. Ugotovljeno je, da je gradnja lesenih lepljenih konstrukcij lahko 15% - 20% cenejša kot gradnja enake konstrukcije iz jekla oziroma armiranega betona. Lesene lepljene konstrukcije uporabljamo pri konstrukcijah, kjer je potrebna večja trdnost, dimenzijska stabilnost in ustrezen estetski videz. V Evropi se lepljen les še vedno največ uporablja na nestanovanjskih objektih, kot so trgovski in kulturni objekti, objekti za šport in rekreacijo, šolski objekti, industrijski in kmetijski objekti, skladišča, bazeni, razstavniki objekti ter drugi. Delež stanovanjskih objektov pa je komaj 11%.

Vsestranskost lesene lepljene lamelirane konstrukcije pride v celoti do izraza pri arhitektonski obliki objektov. Zagotavljati mora premostitev večjih razponov brez vmesnih podpor ter mora biti prijetna za bivanje, kar potrjuje cela vrsta objektov pri nas in po svetu. Zaradi natančne izdelave, skrbne zaščite in obdelave je odporna proti vsem obremenitvam, poletu in pozimi, ko je izpostavljena različnim vremenskim vplivom. Racionalna in hitra montaža, enostavno vzdrževanje, tipiziranje in lepše rešitve objektov povečujejo zahtevo po gospodarnosti in izbiri lesene lepljene lamelirane konstrukcije.

## 5 RAZLIKA MED TRADICIONALNIMI IN SODOBNIMI LESENIMI OSTREŠJI

Na manjših stanovanjskih in podobnih objektih se še vedno najbolj pogosto uporablja tradicionalna ostrešja. Največ na širšem mestnem področju, tam kjer so že postavljeni objekti s takim ostrešjem, da dosežemo želeno skladnost starih in novih objektov. Nesmiselno bi bilo delati tradicionalna ostrešja na večjih in pomembnejših novih objektih, zlasti na večnadstropnih, pri katerih so tudi drugi konstrukcijski elementi sodobni. V sodobni arhitekturi se še vedno dela ostrešja z lesenimi konstrukcijskimi elementi, ampak največkrat ne na podlagi tesarskih izkušenj, pač pa z natančnimi statičnimi izračuni, pri katerih so leseni elementi manjših presekov popolnoma izkoriščeni v paličnih, okvirnih in ločnih nosilcih. Taki nosilci se uporabljajo pri manjših in tudi pri večjih razponih streh dvoran in hal (Peulić, 2002).

Med tradicionalne nosilne sisteme lesenih ostrešij uvrščamo škarjasto in goltniško povezje, gredne strehe, kot so stojala in vešala ter kombinirane nosilne sisteme z legami in špirovci. Glede na medsebojno delovanje povežja z nosilno konstrukcijo razlikujemo:

- samostojno strešno konstrukcijo, ki je naslonjena na nosilni sistem stavbe;
- strešno konstrukcijo, katere elementi so sestavni del nosilnega sistema stavbe, na primer stropnik;
- strešno konstrukcijo, ki je sestavni del objekta, na primer okvir.

Strešne konstrukcije morajo po pravilu prejeti upogibne momente zaradi vertikalne obtežbe, osne sile, kot sta tlak in nateg zaradi horizontalne obtežbe (obtežbe vetra). Zavarovati jih moramo pred vplivom vetra z ojačitvami proti vetru. Togost nosilnega sistema ostrešja v prečni smeri zagotavljamo preko prenosa horizontalne obtežbe špirovcev do prečno toge konstrukcije. V vzdolžni smeri pa togost zagotovimo z ročicami, opiračami, diagonalnimi prečkami, s poševnimi ojačitvami in z vetrnimi vezmi. Najbolj obtežen element je v večini nosilnih sistemih špirovec, ki nosi opaž ali letve za podpiranje kritine. Za doseganje ekonomičnih dimenzij špirovcev je potrebno omejiti razpone. Razlikujemo enostopenjske sisteme, kot sta škarjasto in goltniško povezje ter večstopenjske sisteme, kot so na primer gredne strehe.

Konstrukcije nagnjenih streh se postopoma razvijajo od klasičnih strešnih konstrukcij do modernih konceptov, kateri omogočajo varčevanje pri izdelavi in materialu. Poenostavljeni nosilni sistemi ostrešij se konstruirajo na osnovi:

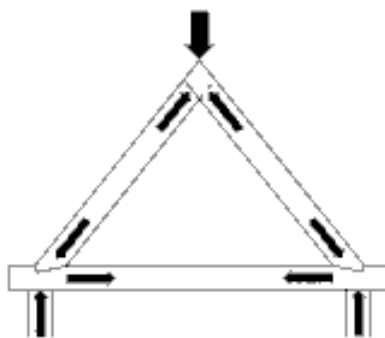
- primerne oblikovanja prečnih prerezov glavnih nosilcev,
- izbora najbolj ustreznega računalniškega programa,
- izbora primerne materiala,
- ekonomičnega prenosa vpliva obtežbe v konstrukcijski sistem zgradbe, zlasti pri sprejemanju horizontalnih sil (Mittag, 2000).

Polne prereze lesenih elementov ostrešja iz masivnega lesa zamenjujejo prerezi iz lepljenega lesa. Tesarske povezave elementov so zamenjala sodobna spojna sredstva. Za moderne lesene konstrukcije, ki so ponavadi prostorske, največkrat uporabljamo lepljen les, večslojne furnirne plošče in druge kompozitne materiale.

### **5.1 Primerjava posameznih povezij in njihova uporaba danes**

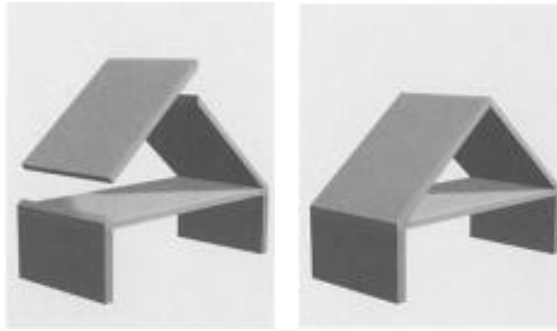
Škarjasta povezja in goltniška povezja so primerna za simetrične dvokapnice z ne preveč velikimi razponi in kjer je nagib strešine večji od 30°. V statičnem smislu ustvarja po par špirovcev z lesenim poveznikom ali armiranobetonsko ploščo tog trikotni okvir. Kadar je razpon stavbe večji, dodamo goltnik. Obtežba se razdeli na slemenu, kar pomeni, da špirovci prenašajo tako tlačno silo kot upogibni moment. Pri kapu se sile razdelijo na horizontalno in vertikalno komponento. Na tej točki se torej poleg vertikalne obtežbe, pojavijo tudi velike horizontalne sile.





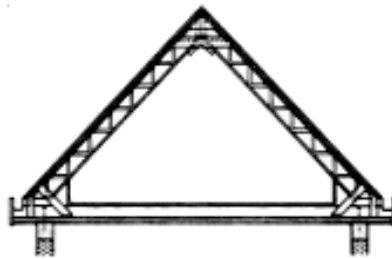
Razdelitev obtežbe (Kolb, str. 140)

Objekti s povezjem brez leg zato zahtevajo tak lesen poveznik ali armiranobetonsko ploščo, ki je sposobna prenašati natezne sile, razen če niso bili uporabljeni drugi ukrepi za zagotovitev toge povezave poveznika oziroma plošče in špirovcev. Pri širših stavbah, pride do prevelikega upogiba in s tem povsod špirovcev, zato jih povežemo z goltnikom, ki utrdi samo konstrukcijo. Poleg tega goltnik omogoča večji razpon od 9 m do 12 m in večje naklone (od 30° do 50°). Povezja brez leg so sestavljena iz posameznih delov, ki služijo svojemu namenu in nosijo strešno kritino. Lahko pa so posamezne komponente tega ostrešja tudi montažne, zato so taka ostrešja primerna tudi za industrijsko proizvodnjo. Montažni sistemi vsebujejo nosilno konstrukcijo, izolacijo in notranjo oblogo v enem, lahko so tudi narejene odprtine za okna ali pa so okna kar vgrajena. Vse kar je še potrebno je, da pripeljemo konstrukcijo na gradbišče in sestavimo vse tri elemente, stropno ploščo in dve strešni polovici. Montažne konstrukcije in novi tipi povezav omogočajo, da so ta povezja postala sodobni strešni sistemi. Prednost prefabriciranih elementov so komponente velikega formata, izdelane kot plošče, na primer vezane plošče, ali plošče z usmerjenim iverjem (OSB), ki pomagajo pri prenosu obtežbe v smeri špirovcev ter v istem trenutku zagotavljajo potrebno stabilnost v vzdolžni smeri ter nadomeščajo vetrne vezi. Namesto diagonalnih letev ali desk, kot pri škarjastem in goltniškem povezju, v ravnini špirovcev uporabimo plošče (Kolb, 2008).

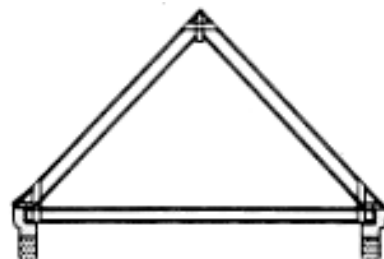


Sodobni nosilni sistem povezja brez leg (Kolb, str. 143)

S paličnimi nosilci, polnostenskimi nosilci z enojno ali dvojno stojino in nosilci škatlastega prereza ter z montažnimi nosilci lahko dosežemo bistveno večje razpone ostrešja (Neufret, 2008).



Škarjasto povezje iz lepljenih paličnih nosilcev z nagibom strešine 45°; tudi kot dvojni nosilec, razpetina  $\leq 25$  m (Neufret, str. 89)



Škarjasto povezje iz polnostenskih nosilcev (Neufret, str. 89)

Prefabrikacija elementov in možnost oblikovanja strešnega prostora brez vmesnih stebrov in leg ter novi tipi povezav pri kapu strehe so klasična ostrešja vrnile med sodobne nosilne sisteme lesenih ostrešij (Kolb, 2008).

Gredne strehe so primerne tako za simetrične kot za nesimetrične dvokapnice in štirikapnice ter mnogo drugih posebnih strešnih oblik. Špirovci slonijo na strešnih legah, ki so podprte s stebri ali zidovi. Pri teh povezjih se obtežba prenaša direktno na zidove ali stebre, ki so postavljeni na podstrešna tla. Lege so med seboj povezane s špirovci. Povezje, ki sega od kapne do slemenske lege v povezavi s stebri ali zidovi in poveznikom oziroma ploščo, tvori tog trikotni okvir, ki zagotavlja prečno stabilnost strešne konstrukcije. Za stabilnost sistema so bistvene ustrezno narejene povezave med špirovci, legami in stebri oziroma zidovi. Nosilni sistem se enako obnaša pri povezju, kjer so lege podprte z zidovi kot pri sistemu, kjer so lege podprte z lesenimi stebri. V vzdolžni smeri dosežemo potrebno stabilnost z ročicami ali oporniki ali zidovi, ki se obnašajo kot vertikalne plošče skupaj z legami. V takem primeru morajo biti stebri pravilno zasidrani ter povezave med ročicami in oporniki ter legami in stebri morajo biti sposobne prenašati tlačne in natezne napetosti. Prečni zidovi ne morejo zagotavljati stabilnost v vzdolžni smeri, ker brez ustreznih ukrepov ne morejo prenašati sil, ki delujejo pravokotno na ravnino zidu, to je v vzdolžni ravnini strehe. Pri klasični strešni konstrukciji najprej postavimo lege in špirovce, nato sledijo ostali konstrukcijski elementi, kot so sekundarna hidroizolacija, kontra letve in termoizolacija ter letve in kritina. Prednost pred klasično strešno konstrukcijo, postavljeno iz posameznih elementov, ima strešna konstrukcija iz prefabriciranih elementov, ki je lahko ugodna glede na obliko in samo konstrukcijo strehe. Taka oblika konstrukcije postaja zelo razširjena. Špirovci skupaj z notranjo oblogo, toplotno izolacijo med špirovci, parno zaporo, neprodušno membrano, letvami in sekundarno kritino tvorijo en element. Prefabricirani elementi morajo biti skrbno načrtovani in sestavljeni. Dimenzije posameznih elementov morajo biti primerno izbrane. V celoten koncept planiranja in načrtovanja posameznih komponent morajo biti vključene sama struktura strehe, strešna okna, tla na podstrešju, odprtine ter število in razporeditev posameznih plasti strešne konstrukcije. Spoji, povezave med elementi, kako so lege podprte, napušči, kapi in sleme ter odprtine ovoja celotne stavbe zahtevajo praktične rešitve. Te naloge vključujejo osnovna načela, ki jih je potrebno upoštevati. Prefabrikacija strešnih elementov poziva k zgodnjemu, sistematičnemu načrtovanju in vodi k časovnemu prihranku v času postavitve. Ta pristop lahko povzroča dodatno delo in stroške, vendar s pomočjo preverjenih postopkov in skrbnega načrtovanja pomaga, da ima na koncu pozitiven učinek na celoten projekt.

Prednosti grednih streh pred škarjastim povezjem so:

- dodatne povezave na koncih špirovcev niso potrebne, ker ni dodatnih horizontalnih pritiskov;
- osna obremenitev špirovcev ni velika, ker so obremenjeni pretežno le na upogib;
- strešna okna lažje vgradimo;
- lažje jih postavimo;
- škarjasta povezja pogosto zahtevajo kotnike na kapu strehe, čeprav današnja tehnologija omogoča tudi drugačne rešitve.

Slabosti grednih streh:

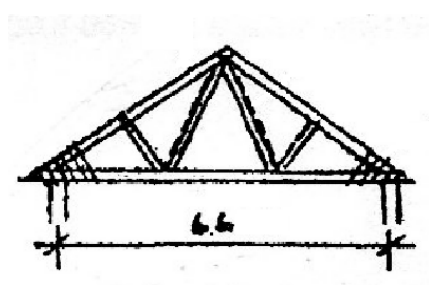
- obtežba se prenaša na zunanje in še notranje zidove ter stebre;
- v nasprotju s škarjastim povezjem, tukaj zaradi stebrov prazno podstrešje ni mogoče.

Tradicionalne oblike povezij z vešali, stojali in drugimi oblikami nosilnih sistemov so dejansko predhodne konstrukcije nosilnih sistemov z legami in paličnim konstrukcijam, ki se pojavljajo danes. Obtežba se s strehe prenaša preko špirovcev na lege, ki prenašajo obtežbo na nosilno konstrukcijo. Kadar uporabljamo trikotna ali trapezna vešala, se obtežba prenaša na vertikalne elemente povezja – sohe. Sohe skupaj z zidovi in poveznikom ali ploščo tvorijo samostojen sistem. Alternativa je, da postavimo nagnjene opornike za podporo leg, le-ti pa prenesejo obtežbo na zunanje zidove. Ležeča povezja, ki temeljijo na določeni simetriji, simetrični postavitvi in velikem številu elementov, so sicer danes bolj redkost. Celo ostrešja z vertikalnimi stebri, osnovana na tradicionalnih tesarskih spretnostih iz preteklosti težko najdemo v današnjih stavbah ali v najboljšem primeru se uporabljajo v spremenjeni obliki. Novi tipi povezav in spojev, lepljeni nosilci in stebri ter zanesljive metode računanja omogočajo dolgo dobo uporabnosti, stroškovno učinkovite in optimizirane nosilne sisteme ostrešja.

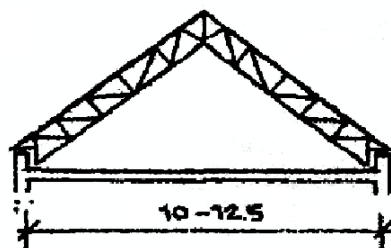
Glede na ekonomičnost nosilnega sistema ostrešja velja, da:

- je škarjasto povezje pri majhnih razponih najbolj ekonomična rešitev;
- je pri večjih razponih in naklonih, večjih od  $45^\circ$ , gredna streha bolj ekonomična izbira;
- je povezje z eno podprto lego dražje od škarjastega povezja;
- pri velikih širinah objektov povezje z dvema podprtima legama tvori praviloma bolj ekonomično konstrukcijo;
- povezje s trojnim stojalom uporabljamo samo pri širših objektih (Mittag, 2000).

Sistemi paličnih konstrukcij omogočajo premostitev velikih razponov. Palične konstrukcije lahko uporabljamo kot nosilni sistem h klasični strehi ali kot nosilni sistem, kjer je špirovec v obliki paličja.



Palično ostrešje (Mittag, str. 362)



Palična konstrukcija s togo povezavo špirovcev v slemenu (Mittag, str. 362)

Tak nosilni sistem, kot je na zgornji sliki, uporabljamo za razpone od 10 m do 12,5 m. Prečne nosilce, kateri tvorijo dvočlenski okvir s togo povezavo v slemenu, postavljamo na razmaku od 80 cm do 100 cm. Z diagonalami dosežemo potrebno stabilnost v vzdolžni smeri z dodatno povezavo sosednjih nosilcev v območju slemena (Mittag, 2000).

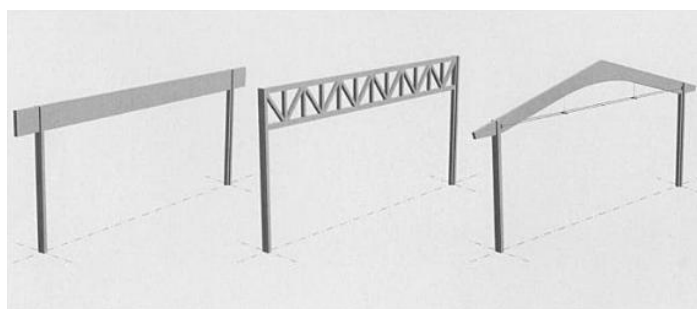
Za dvokapnice največkrat uporabljamo palična ostrešja v trikotni obliki, za ravne strehe in enokapnice pa kot mrežaste nosilce z vzporednimi elementi. Lahke palične konstrukcije postavljamo na podobnih razmakih kot špirovce pri tradicionalnih ostrešjih, to je od 80 cm do 100 cm, odvisno od sekundarne plasti hidroizolacije in termoizolacije. Kjer je špirovec v obliki paličja, lahko strešni elementi ležijo kar direktno na paličnem nosilcu, čeprav je običajno, da dodamo nasprotno letve za podporo ostali strešni konstrukciji. Kadar gradimo s paličnimi konstrukcijami, strešnega prostora ne moremo uporabljati, v najboljšem primeru samo v omejenem obsegu. Lahko se razpirajo med zunanji stenami ali pa so lahko še dodatno podprti z vmesnimi notranjimi nosilnimi zidovi. V današnjem času lahko z uporabo žebeljev in kovinskih ploščatih veznih sredstev zagotovimo boljše rešitve paličnih konstrukcij (Kolb, 2008 in Mittag, 2000).

V sodobnih lesenih konstrukcijah klasičen masivni les vse pogosteje nadomeščajo prefabricirani leseni proizvodi, ki jih v grobem razdelimo v dve skupini, na linijske in ploščaste elemente. Linijski elementi v veliki meri nadomeščajo konstrukcijske elemente iz žaganega masivnega lesa. Prednosti prefabriciranih elementov se kažejo predvsem v boljši dimenzijski in oblikovni stabilnosti čez celo življenjsko dobo konstrukcije, mehanskih lastnostih ter manjših napakah v lesu. Pri linijskih prefabriciranih elementih govorimo o konstrukcijskem kompozitnem lesu (Structural composite lumber – SCL). To so proizvodi, ki jih pridobivajo s posebnimi tehnološkimi postopki. Z lepljenjem furnirjev dobimo slojnat furnirni les (Laminated veneer lumber – LVL), na pasove razrezane furnirje (Parallel strand lumber – PSL) ter dolge usmerjene iveri (Laminated strand lumber – LSL). Med kompozitni konstrukcijski les uvrščamo tudi linijske elemente, dobljene z medsebojnim lepljenjem manjšega števila sestavnih delov (dveh, treh ali štirih delov – duo, trio in quatro nosilci) in tudi pri nas dobro uveljavljen lepljen lameliran les, pri katerem gre za lepljenje večjega števila razmeroma tankih lamel. Ploščaste prefabricirane elemente razvrščamo v dve podskupini. V prvo uvrščamo tanjše ploščate elemente (vezane in panelne plošče ter plošče z usmerjenim iverjem – OSB), ki jih uporabljamo pri panelnih montažnih gradnjah ali za stojine lepljenih nosilcev, kot so na primer škatlasti in »I« nosilci. V drugo pa sodijo debelejši ploščati elementi, ki pa lahko samostojno opravljajo nosilno funkcijo in jih srečamo pri naprednih sistemih masivne gradnje. Tukaj so lamele iz masivnega lesa, s pomočjo mehanskih veznih sredstev ali lepila, povezane v ploskovno – masivne panelne elemente. Primer takih

elementov so elementi iz križno lepljenega lameliranega lesa (iz angleščine: Cross laminated timber – CLT ali iz nemščine: Kreuz lamelierte Holz – KLH) (Lopatič, 2010b).

Lamelirane lepljene konstrukcije uporabljamo pri največjih razponih za ostrešja javnih objektov, vedno bolj pogosto pa jih srečujemo tudi pri ostrešjih na individualnih hišah, saj ima lepljen les vrsto prednosti pred žaganim masivnim lesom (Tematski priročniki GO Gradnja & oprema: Streha & podstrešno stanovanje, 2007). Veliko se jih uporablja v proizvodnji montažnih hiš, zlasti pri varčnih eko hišah. Polne pravokotne prereze špirovcev in leg, obremenjenih na upogib, zamenjujejo različni prečni prerezi iz lepljenega lesa. Leseni lepljeni elementi so statično in ekonomsko zelo ugodni, zato se vedno bolj pogosto uporabljajo (Mittag, 2000). Lahko so enostavni ali sestavljeni nosilci, stebri, okvirji, različna vešala, paličja in paneli, ki so lahko sestavljeni iz elementov iz masivnega, lepljenega lesa ali industrijsko izdelanih lesenih plošč. Izdelamo jih lahko od preprosto ravnih do poljubno oblikovanih, ukrivljenih nosilcev s konstantno ali spremenljivo višino (Lopatič, 2010b). Nosilci so lahko izvedeni na različne načine. Poznamo nosilce, ki so narejeni iz različnih kombinacij masivnega in lepljenega lesa ali pa so lahko kombinirani tudi z drugimi materiali. Nosilec lahko lastnosti izboljšamo z različnimi postopki, kot sta predkrivljenje in prednapenjanje, ojačamo jih lahko z armaturo v obliki trakov (jeklo, lamele iz steklenih vlaken in karbonske lamele). Poznamo nosilce z vlepljenimi jeklenimi palicami z navoji, nosilce, prednapete z zunanji plastičnimi kabli, lepljene lamelirane elemente, obogatene s karbonskimi vlakni. V zadnjem času se za stropne konstrukcije uporablja tudi sovprežne konstrukcije iz betona in lesa, kjer natezne napetosti prevzame les, tlačne pa beton. Takšne konstrukcije imajo kar nekaj prednosti pred običajnimi sestavljenimi lesenimi konstrukcijami, kot so večja nosilnost in togost, izboljšana zvočna izolativnost ter večja požarna odpornost. Tako lahko ojačamo že obstoječe lesene stropne in s tem dosežemo boljše porazdelitev koncentriranih in linijskih obtežb. Leseni lepljeni elementi so lahko že kar celotni nosilni sistem, lahko pa so sestavni del kompleksnejših konstrukcijskih sistemov. Torej lesene lamelirane elemente lahko uporabljamo kot sestavljene lepljene profile nosilcev, za klasična ostrešja, montažne strešne palične konstrukcije ter stropne konstrukcije. Za nosilne podporne elemente, kot so stropniki, lege in stebri, uporabljamo ravne lepljene nosilce. Kadar nosilni sistem tvorijo samo ravni elementi s konstantnim prečnim prerezom, lahko uporabimo tudi druge vrste konstrukcijskega kompozitnega lesa (Lopatič, 2010b).

Lesena strešna povezja, ki so se uporabljala v preteklosti, redko srečamo na sodobnih objektih, situacija pa je popolnoma drugačna pri prenovi, obnovi, popravilu in razširitvi obstoječih objektov, kjer so tradicionalna ostrešja še vedno aktualna. Tradicionalna ostrešja temeljijo na tesarskih izkušnjah in kažejo podobnosti z današnjimi nosilnimi sistemi ostrešij ter zagotavljajo modele za sodobne nosilne sisteme ostrešja, ki posnemajo starejše tradicije. Povezja brez leg, gredne strehe in paličja najbolj pogosto srečamo na individualnih hišah in komercialnih objektih. Za hale, športne objekte in večje konstrukcije v osnovi ter raznolike oblike strešnih sistemov pa so popularnejši sodobni sistemi iz okvirjev in nosilcev. Sodobni nosilni sistemi ostrešja so velikokrat sestavljeni iz primarne in sekundarne nosilne konstrukcije. Primarna konstrukcija je okvir, sekundarna pa so lege in ostali strešni elementi, ki so vzporedni s kapom strehe. Okvirji so postavljeni na razmakih od 4 do 7 m, lahko tudi do 10 m. Pogosto jih uporabljamo za stavbe z večjimi razponi. Ekonomični so za stanovanjske, poslovne in uradne stavbe. Okvir običajno sega čez celo širino objekta in podpira sekundarno konstrukcijo, lahko je iz masivnega, lepljenega lameliranega lesa ali mrežastih nosilcev, odvisno od razmaka med okvirji. Razmak med legami je običajno od 1 do 2,5 m, odvisno od tipa primarne konstrukcije. Običajno je iz arhitekturnih, konstrukcijskih in praktičnih razlogov sam nosilni sistem viden od znotraj. Tako so lahko izpostavljene večje površine strešnih elementov, brez vidnih podpornih stebrov. Druga prednost pa je, da je površina med primarnimi elementi lahko dostopna. Odvisno od narave in uporabe stavbe pa je možno skladno urediti tudi spodnjo strešno konstrukcijo (Kolb, 2008).



Sodobni okvirni nosilni sistem ostrešja (Kolb, str. 153)

Zaradi ekološke osveščenosti in upoštevanja energetske varčne gradnje ter vračanja človeka k naravnim materialom se na trgu vse bolj pojavljajo tudi konstrukcijski elementi iz križno lepljenih lesenih panelov, tako imenovani KLH-elementi (ali CLT-elementi) tudi za gradnjo



ostrešij. KLH – plošče ponujajo rešitve v smeri moderne, ekološke, energetske varčne in potresno varne gradnje za stanovanjske, industrijske in poslovne objekte. Plošče so lahko izdelane v velikih formatih do 50 m<sup>2</sup>. Takšne velikosti in visoka nosilnost ter križno zlepljena struktura so prinesle preporod v gradbeništvo in arhitekturi. Z uporabo teh sistemov lahko izdelujemo zelo zahtevne in kompleksne konstrukcije ter arhitekturne zasnove objektov, ki jih z uporabo klasičnih lesenih elementov iz masivnega ali enosmerno lepljenega lesa ni mogoče izdelati in ki so jih do sedaj nadomeščale konstrukcije iz armiranega betona in jekla. KLH – plošče imajo bolj enakomerne in boljše mehanske in deformacijske lastnosti kot enostransko lepljeni leseni elementi ali elementi iz masivnega lesa, predvsem v smeri pravokotno na vlakna lesa. Sestavljene so iz križno zloženih lesenih lamel, ki so zlepljene v večji masivni element. Najpogosteje se za izdelavo uporablja les iglavcev, ki je tehnično posušen do 12% ( $\pm$  2%) vlažnosti. S tem je omogočena naravna zaščita pred glivami, insekti in plesnijo. Izdelane so v lihem številu slojev – 3, 5, 7 ali več, debeline do 60 cm, odvisno od uporabe in zahtev po nosilnosti. Nosilnost plošč določamo v proizvodnem procesu z ustreznim številom slojev, debelino in usmerjenostjo lamel v posameznem sloju. Medsebojni zasuk lamel v sosednjih slojih znaša 90°. Enako usmerjenost lamel imata lahko največ dva zaporedna sloja, kar pripomore k večji nosilnosti v posamezni smeri. Za doseganje večjih upogibnih trdnosti se izdelujejo plošče z dvojnimi zunanji nosilnim slojem, z dvojnimi osrednjim slojem pa dosežemo večje strižne trdnosti. Večjo nosilnost v prečni smeri dosežemo z uporabo tanjših vzdolžnih in debelejših prečnih nosilnih slojev. Križno lepljenje omogoča obojesmerno nosilnost lesenih elementov, preprečuje cepitev in povečuje nosilnost pravokotno na smer vlaken lesa ter zagotavlja večjo dimenzijsko stabilnost plošč zaradi vlage. Obtežba se prenaša v dveh pravokotnih smereh, kar omogoča njihovo uporabo za stenske, stropne in strešne konstrukcije. Imajo tudi visoko požarno odpornost. Med gorenjem elementi ohranjajo polno nosilnost v nezoglenelem delu in ne spreminjajo oblike, zato ne povzročajo dodatnih pritiskov in obtežbe na ostale dele konstrukcije. Ob ustrezni vgraditvi lahko življenjska doba plošč znaša tudi več kot 50 let. Omogočajo enostavno dodajanje zaključnih slojev ostrešja in so primerne za vidno površino tako v industrijskih kot bivalnih prostorih. Poleg dobrih mehanskih, gradbeno – fizikalnih in požarnih lastnosti, energetske varčnosti ter potresne varnosti, jih lahko na gradbišču hitro sestavijo ter omogočajo hitro vselitev v objekt.



Objekt z ostrešjem iz križno lepljenih plošč, gre za kamnit objekt zgrajen pred več kot 100 leti, kjer je bila dotrajana strešna konstrukcija v celoti zamenjana s križno lepljenimi ploščami ([http://www.cbd.si/index.php?option=com\\_content&view=article&id=80:skalne-vile&catid=44:prenovljeni-objekti&Itemid=103](http://www.cbd.si/index.php?option=com_content&view=article&id=80:skalne-vile&catid=44:prenovljeni-objekti&Itemid=103)).

Za KLH – plošče je značilna velika stopnja prefabrikacije, saj so elementi v celoti izdelani v delavnici pod kontroliranimi pogoji. So ekonomični in okolju prijazni proizvodi. Lahko se jih uporablja kot nosilne ali nenosilne elemente ter jih lahko kombiniramo z drugimi gradbenimi materiali kot sta na primer jeklo in steklo. Lahko jih uporabljamo v novogradnji ali pri razširitvi in prenovi obstoječih objektov.

Pri lesenih ostrešjih se srečujemo z dvema težavama. Prva je, da je težko dobiti lesene elemente večjih dimenzij, druga pa je vlažnost lesa, zato se proizvajalci čedalje pogosteje odločajo za lamelirane lepljene proizvode. Omejitve pri oblikovanju z lepljenimi konstrukcijskimi elementi predstavljajo le konstruktorjeva kreativnost in možnost transporta elementov do gradbišča, v manjši meri pa tudi tehnološki postopek njihove izdelave (Lopatič, 2010b).

## 5.2 Izbira nosilnega sistema ostrešja

Elementi nosilnega sistema ostrešja so lahko iz različnih materialov, vendar se za individualno gradnjo še vedno največkrat uporablja les, ker ga je lahko obdelovati, je dostopen, lahek, nosilen, trajen in poceni material. Les že od nekdaj vgrajujemo v naše strehe in tradiciji je težko najti primerno alternativo. Pri večjih zgradbah, kot so industrijski objekti, športne dvorane ali skladišča, uporabljamo les v obliki lepljenih mrežastih ali paličnih nosilcev z blagim naklonom streh. Največkrat uporabljamo poln žagan les smreke in bora. Poleg masivnega lesa s pravokotnim prečnim prereзом pa uporabljamo tudi žebljane nosilce, ki so izrezani iz lesenih plohov, deli pa zbiti z žablji v kompaktno celoto. V uporabi so tudi lamelirani lepljeni nosilci, največkrat tam, kjer so po vgradnji deli ostrešja vidni. Lepljeni nosilci imajo lahko različne oblike, odvisno od zamisli arhitekta. Z masivnim lesom takšnih zamisli ni mogoče uresničiti.

Obodna površina objekta mora, poleg konstrukcijskih zahtev, izpolnjevati tudi toplotne in zvočne zahteve ter mora zaščititi stavbo pred požarom. To še posebej velja za streho, ker je njen položaj tak, da je zelo izpostavljena zunanjim vplivom. Nosilni sistem ostrešja, ki nosi ostale konstrukcijske elemente strehe in lastno težo ter obtežbo snega in vetra, mora biti ustrezno izbran, da streha lahko izpolnjuje svoje funkcije. Poleg tega mora streha izpolnjevati tudi glavne arhitekturne vidike v zvezi z notranjostjo in tudi vključitev celotnega objekta v pokrajino in okolje, v katerem je objekt zgrajen. Oblika strehe tukaj igra pomembno vlogo. Najbolj pogoste oblike streh, ki jih srečamo v praksi, so ravne, enokapne in dvokapne strehe. Nosilni sistem ostrešja izbiramo glede na vrsto in velikost objekta, njegove tlorisne oblike in njegov položaj, ob hkratnem upoštevanju praktičnih in estetskih zahtev. Najbolj so razlike očitne pri tlorisnem obrisu objekta, ali gre za enostavno ali komplicirano obliko, ki pogojuje število strešin in razčlenjenost strehe. Nosilne sisteme ostrešja razvrščamo v skupine. Najbolj pogosti nosilni sistemi ostrešja, ki se danes uporabljajo, so povezja brez leg, kot sta škarjasto in goltniško povezje, gredne strehe in palične ter okvirne konstrukcije, ki neposredno podpirajo lege in kritino. Nekatera povezja posebnih oblik pa se lahko delajo tudi iz osnovnih variant. Izbira nosilnega sistema ostrešja lahko temelji tudi na geografskih značilnostih kraja zgrajene stavbe. Na primer v Švici je v splošnem ustrežnejša oblika za strehe z naklonom

gredna streha, kot tudi na jugu Nemčije. Škarjasto povezje je bolj razširjeno na severu Nemčije. V Franciji, Veliki Britaniji, Severni Evropi in čezmorskih deželah pa je bolj razširjena uporaba lahkih paličnih konstrukcij za večino stavb. Vendar je to pravilo zastarelo in ni več nujno primerno. Danes sta bolj pomembna arhitekturni in konstrukcijski kriterij (Kolb, 2008).

Nosilni sistem ostrešja je odvisen od števila in velikosti podpor v objektu in razpetine med njimi ter od stopnje povezave med konstrukcijo in streho. Pri manjših zgradbah se obtežba s strehe na konstrukcijo prenese z leg na nosilne zidove (škarjasto povezje), pri večjih pa se teža z vmesnih leg prenese s stebri (sohami) vertikalno na zid ali AB ploščo, tudi če spodaj ni zidu (gredne strehe). Pri večjih razpetinah in neenakomerno razporejenih spodnjih nosilnih stenah ali pa v primeru, da teh sploh ni, lesene elemente povežemo v togo konstrukcijo. Tukaj se vse obtežbe prenesejo na obodne podpore (vešala in razpirala). Večje razpone stavb premoščamo s paličnimi ostrešji ali z ostrešji iz lepljenih lameliranih elementov, ki pa niso več tesarsko izvedeni, ampak so kombinacija različnih dimenzij lesa, glede na to ali prevzamejo natege ali tlake, spojnih elementov, ki tudi niso več standardne tesarske zveze, pač pa sodobni kovinski sistemi (žebliji, vijaki, lesene in kovinske zaplate, ježevke). Uporablja se tudi sisteme, ki povezujejo stebre in streho v en sam nosilni sistem - to je okvir, kjer se obtežba direktno prenaša na temelje (Brezar, 1995).

Pri lesenem ostrešju je ključnega pomena stabilnost nosilnega sistema. Pri klasičnih ostrešjih, kot sta škarjasto in goltniško povezje, sistem v prečni smeri deluje zelo togo, stabilnost v vzdolžni smeri pa dosežemo z diagonalnimi deskami – vetrnimi vezmi, ki prevzamejo obtežbo horizontalnih sil, kot sta na primer veter in potres (Muravljov in Stevanović, 1999). Pri goltniškem povezju so vetrne vezi obvezne v zgornjem in spodnjem pasu (Ilić, 2003). Vetrne vezi iz desk in tramov lahko zamenjamo tudi z diagonalno notranjo oblogo ali z lesenimi ploščami (Nekrep, 2005) v ravnini špirovcev, kot so na primer plošče z usmerjenim iverjem (OSB), ki pomagajo pri prenosu obtežbe v smeri špirovcev ter istočasno zagotavljajo potrebno stabilnost v vzdolžni smeri ter nadomeščajo vetrne vezi. Pri grednih strehah prečno stabilnost dosežemo z opiračami, ki prevzemajo tudi horizontalne sile. Stabilnost v vzdolžni smeri zagotovimo z ročicami, diagonalnimi prečkami, s poševnimi ojačitvami in z vetrnimi vezmi (Kolb, 2008). Pri paličnih in lepljenih lameliranih konstrukcijah je stabilnost

konstrukcije ogrožena zaradi nestabilnosti posameznih elementov ali zaradi nestabilnosti konstrukcije v prečni in vzdolžni smeri. Zagotoviti moramo, da lahko ostrešje prevzame horizontalne sile in jih prenese na temelje. To lahko zagotovimo s postavljanjem zavarovalnih konstrukcij (Muravljov in Stevanović, 1999).

### **5.3 Načrtovanje nosilnega sistema ostrešja**

Načrtovanje nosilnih sistemov ostrešij je odvisno od oblike zgradbe. Nosilni sistem je najprej zasnovan in šele nato podrobno sprojektiran. Upoštevati moramo:

- arhitekturne in konstrukcijske vidike, ki vplivajo na nosilni sistem,
- material, s katerim razpolagamo,
- razpoložljivost dimenzij (dolžin in prerezov) lesenih elementov,
- izbiro statičnega sistema,
- kako je izdelana sama konstrukcija ostrešja, ali je sestavljena iz posameznih elementov ali je montažna,
- montažo in transport,
- ureditev in usklajevanje nalog in funkcij ovoja stavbe,
- gradbeno-fizikalne koncepte: energetska učinkovitost, zvočno izolacijo, požarno varnost, odpornost na vlago vključno, z zaščito pred vremenskimi vplivi in zrakotesnost,
- stroške,
- protipožarne predpise.

Ko upoštevamo vse te dejavnike, ki vplivajo na načrtovanje nosilnega sistema, lahko začnemo preverjati nosilnost in uporabnost (Kolb, 2008).

Izračun lesenih elementov v ostrešju je sestavljen iz analize obtežbe, statičnega izračuna, dimenzioniranja elementov in izračuna veznih sredstev.

Predvidene obremenitve na ostrešju so lastna teža, sneg in veter. Zaradi lastne teže in obtežbe snega nastajajo tlačne sile, medtem ko veter lahko povzroča tudi velike natezne sile, kjer

upoštevamo silo pritiska in srka. Za izračun obtežbe je merodajna kombinacija zunanje pritiska in notranjega srka, ki z ostalimi gravitacijskimi obtežbami narekuje dimenzioniranje elementov ostrešja. Kombinacijo zunanje srka in notranjega pritiska pa upoštevamo pri pritrjevanju oziroma sidranju strešnih elementov (Kolb, 2008).

Za določitev neznanih dimenzij ali za kontrolo nosilnosti oziroma napetosti znanih dimenzij elementov z določeno vrsto in trdnostjo lesa s pomočjo predhodnega izračuna obtežbe izdelamo statični izračun. Z njim izračunavamo statične vplive, kot so reakcije podpor ali prečne sile, pravokotne na vzdolžno os nosilca, upogibne momente v polju in nad podporo, normalne sile, ki so vzporedne z osjo nosilca in pravokotne na prečni presek nosilca. Špirovci so strešni elementi, ki so direktno obteženi in se v statičnem smislu obravnavajo kot prostoležeči nosilci pri škarjastih povezjih, trikotnem vešalu in povezju z eno podprto lego (slemensko lego), kot kontinuiran nosilec pri goltniških povezjih in prostoležeč nosilec s previsom pri rednih strehah. Slemenske in vmesne lege se ne glede na dolžino grede in njeno premostitev preko podpornih stebrov obravnavajo kot prostoležeči nosilci dolžine  $l = l_s - c = \dots$  [m], kjer sta  $l_s$  razmak med stebri,  $c$  pa razdalja podporne ročice od stebra do mesta, kjer je povezana s slemensko oziroma vmesno lego. Strešne poveznike računamo kot prostoležeče nosilce, razen v primerih, ko njihove dolžine presegajo 5 m in kadar so v polju podprti (Ilić, 2003).

Po opravljeni analizi obtežbe v skladu z EC 1 in statičnem izračunu določimo potrebne dimenzije lesenih elementov. Za določitev potrebnih dimenzij lesenih elementov se po standardih EC 5 v splošnem uporablja metoda mejnih stanj.

Strešne poveznike v današnjem času zamenjuje AB plošča, kjer je postopek za izračun podoben. Določimo obtežbo v skladu EC1, notranje sile v plošči izračunamo iz tabel oziroma z računalniškimi programi. Po opravljeni analizi obtežbe in statičnem izračunu pa jo še dimenzioniramo po metodi mejnih stanj nosilnosti in uporabnosti.

V lesenih konstrukcijah imajo vezna sredstva nalogo, da povezujejo posamezne elemente v celoto, pri tem pa bolj ali manj preprečujejo medsebojne zamike v priključnih ravninah med posameznimi elementi. Nosilnost veznih sredstev je odvisna od vrste in dimenzij veznega

sredstva, bočne trdnosti lesa, kvalitete materiala, iz katerega je izdelano vezno sredstvo, vrste zveze in števila priključnih ravnin, skozi katere poteka vezno sredstvo. Nosilnost veznega sredstva pa je tudi odvisna od tega, za katero zvezo gre, ali gre za zvezo med samimi lesenimi elementi ali pa je v zvezi prisotna tudi pločevina (Premrov in Dobrila, 2008).

## 6 ZAKLJUČEK

Kakšen material bomo izbrali za izdelavo strešne konstrukcije, je odvisno od razpetin konstrukcijskih elementov, nosilnosti zidov in od predvidenih obremenitev. Za ostrešja stanovanjskih hiš se najpogosteje uporablja les, ki je lahko masiven ali lepljen, konstrukcije pa so lahko klasična ostrešja, palični nosilci ali lepljeni nosilci različnih oblik.

Les je eden najstarejših gradbenih materialov, je obnovljiv material in ima dobre gradbene lastnosti. V sodobni arhitekturi in gradbeništvu ima zelo pomembno vlogo. Zaradi ekološke osveščenosti in spoštovanja energetske varčne gradnje se les vedno bolj uporablja, ne samo za ostrešja pač pa tudi za ostale konstrukcijske dele zgradb.

Pri načrtovanju nosilnega sistema moramo upoštevati arhitekturne in gradbene vidike, razpoložljivost dimenzij in materiala strešnih elementov, izbiro statičnega sistema, izdelavo, transport in montažo konstrukcijskih elementov, ureditev in usklajevanje nalog in funkcij ovoja stavbe, gradbeno-fizikalno zasnovo, stroške in predpise. Izbira nosilnega sistema ostrešja je odvisna od oblike strehe, vrste in velikosti objekta, tlorisne oblike objekta ter geografskih značilnosti kraja, v katerem bo objekt zgrajen. Upoštevati pa moramo tudi praktične in estetske zahteve. Lesene strešne konstrukcije delimo na klasične in sodobne. V individualni gradnji se še vedno uporabljajo klasična ostrešja, kot sta špirovčno in goltniško povezje, gredne strehe ter palična ostrešja predvsem pri montažni gradnji. V mestnem območju, kjer se prilagajamo že obstoječim objektom, so pri prenovi in obnovi oziroma zamenjavi ostrešja, popravilu in razširitvi objektov tradicionalna ostrešja še vedno aktualna, čeprav se zaradi svojih lastnosti tudi tukaj vedno bolj pojavlja lepljen lameliran les. Nesmiselno bi bilo tradicionalna ostrešja graditi na sodobnih objektih, kjer je cela konstrukcija narejena iz sodobnih materialov. Tradicionalna ostrešja temeljijo na tesarskih izkušnjah in kažejo podobnosti z današnjimi nosilnimi sistemi ostrešij saj predstavljajo izhodiščne modele sodobnim nosilnim sistemom. Razvoj lepil, mehanskih veznih sredstev, lesnih proizvodov in postopkov obdelave ter nenazadnje računalniška podpora v celotnem procesu gradnje lesenih konstrukcij omogočajo, da postajajo lesene konstrukcije kvalitetnejše in konkurirajo konstrukcijam iz drugih materialov, kot sta na primer jeklo in beton ter



nenazadnje tudi žaganemu lesu. Pri sodobnih konstrukcijah se zato največkrat uporablja lepljene lamelirane proizvode. Iz masivnega in lepljenega lesa ter lesenih ploščastih izdelkov različnih vrst lahko izdelujemo enostavne in sestavljene nosilce, stebre, okvirje, različna vešala, palične nosilce in panele.

Ugotovila sem, da so bila lesena ostrešja stoletja tipične tesarske konstrukcije, ki pa so s pomočjo sodobne tehnologije postala nekaj čisto drugega. Sodobni leseni elementi ostrešja so pred žaganimi elementi v izraziti prednosti, saj jih poleg velike nosilnosti odlikujeta tudi dobra stabilnost in velika fleksibilnost pri izbiri dimenzij in oblik prečnih prereзов ter omogočajo večjo svobodo pri oblikovanju samega nosilnega sistema ostrešja. Največji problem pri uporabi lepljenih lameliranih elementov za ostrešja preprostih stanovanjskih hiš je njihova cena, zato se jih še vedno najbolj pogosto uporablja za večje objekte ter montažne, lesene, ekološke in pasivne hiše, katerih gradnja je danes v vzponu.

## VIRI

Brezar, V. 1995. Stavbarstvo. 1. izdaja. Maribor, Založniška dejavnost Fakultete za gradbeništvo: 388 str.

Brotrück, T. 2007. Basics roof construction. Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser -Publishers for Architecture: 76 str.

Deu, Ž. 2007. Les - žlahtno, zdravo in sodobno gradivo. Gradbenik 11, 10: 46-49.

Deu, Ž. 2007. Streha sooblikuje videz stavbe, naselja in kulturne krajine. Tematski priročnik Gradnja & oprema: Streha & podstrešno stanovanje. Ljubljana, PoliTRON 9, 1: 10.

Drvene konstrukcije:

<http://drvene-konstrukcije.hr/> (24.5.2010)

Gojković, M., Stojić, D. 1996. Drvene konstrukcije. Beograd, Građevinski fakultet u Beogradu: 647 str.

Humar M. 2007. Zaščita ostrešij. Tematski priročnik Gradnja & oprema: Streha & podstrešno stanovanje. Ljubljana, PoliTRON 9, 1: 19.

Ilić, S. 2003. Klasični drveni krovovi. 6. izdaja Beograd, Građevinska knjiga: 716 str.

Karlovshek, J. in Mušič, V. 1951. Gradbeni elementi 8, Strešne konstrukcije (slike). Ljubljana, Državna založba Slovenije: 66str.

Kitek Kuzman M. et al. 2009. Gradnja z lesom izziv in priložnost za Slovenijo. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 309 str.

Kitek Kuzman, M. in Vratuša, S. 2009. Lesene lepljene konstrukcije v arhitekturi. V: Kitek Kuzman M. et al. 2009. Gradnja z lesom izziv in priložnost za Slovenijo. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: str. 144-151.

KLH – križno lepljen les:

[http://www.cbd.si/index.php?option=com\\_content&view=article&id=68&Itemid=61](http://www.cbd.si/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=61)

(6.11.2010)

Kolb, J. 2008. Systems in timber engineering : loadbearing structures and component layers. Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser: 319 str.

Križno lepljen les:

<http://www.lesena-gradnja.si/html/pages/si-clanki-konstrukcije-krizno-lepljen-les.htm>

(6.11.2010)

Kujundžić, V. 1989. Savremene drvene konstrukcije. Beograd, Građevinska knjiga: 301 str.

Lastnosti lepljenih konstrukcij:

<http://www.hoja.si/lastnosti.htm> (16.2.2010)

Leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi:

<http://www.dlib.si/v2/Details.aspx?query=%27keywords%3dleseni+lepljeni+lamelirani+konstrukcijski+elementi%27&pageSize=20&URN=URN%3aNBN%3aSI%3aDOC-SSRC785Z>

(9.3.2010)

Lopatič J. 2009. Konstrukcijski sistemi naprednih lesenih konstrukcij. V: Kitek Kuzman M. et al. 2009. Gradnja z lesom izziv in priložnost za Slovenijo. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: str. 132-137.

Lopatič J. 2010a. Študijsko gradivo, Lesene konstrukcije 1

Lopatič J. 2010b. Študijsko gradivo, Lesene konstrukcije 2

Mittag, M. 2003. Građevinske konstrukcije : priručnik za graditelja o konstruktivnim sistemima, građevinskim elementima i načinima gradnje : sa nemačkim normama i tehničkim građevinskim odredbama. 18. izdaja. Beograd, Građevinska knjiga: 586 str.

Muravljev, M., Stevanović, B. 1999. Zidane i drvene konstrukcije zgrada. Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu: 260 str.

Nekrep, E., P. Nekrep, M., P. Nekrep, T. 2005. Strehe. 1. izdaja. Ljubljana, Obrtna zbornica Slovenije, Sekcija kleparjev in krovcev: 316 str.

Neufret, E. 2008. Projektiranje v stavbarstvu. 2. izdaja. Ljubljana, Tehnična založba Slovenije: 550 str.

Peulić, Đ. 2002. Konstruktivni elementi zgrada. Zagreb, Croatia knjiga: 886 str.

R. H. 2003. Lesene strešne konstrukcije: koliko različnih možnih oblik!. Gradbenik 1, 7: 19-20.

Saje, F. 2009. Sodobne lesene konstrukcije. V: Kitek Kuzman M. et al. 2009. Gradnja z lesom izziv in priložnost za Slovenijo. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 138-143.

Sever, A. 1986. Tehnologija delovnih procesov 2. Streha, ostrešje, kritina, stopnice. 1. izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 97 str.

Vratuša, S. 2009. Evropski standardi za projektiranje lesenih konstrukcij. V: Kitek Kuzman M. et al. 2009. Gradnja z lesom izziv in priložnost za Slovenijo. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 164-169.

Zabašnik-Senegačnik M. 2007. Streha - peta fasada. Tematski priročnik Gradnja & oprema: Streha & podstrešno stanovanje. Ljubljana, PoliTRON 9, 1: 17.

Zorec, A. 2004. Lesene inženirske konstrukcije. Gradbenik 8, 12: 16-17.

Žarnić, R. 1999. Osnovne lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 319 str.

Žitnik, J., Žitnik, D., Berdajs, A., Gruden, T., Jurček, R., Slokan, I., Petek, I., Jereb, S., Smolej, B., Štembal - Capuder, M., Galonja, S. 2008. Gradbeniški priročnik. 4.izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 693 str.