

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
izr.prof.dr. Jože Lopatič

OSNOVE LESENIH IN JEKLENIH KONSTRUKCIJ

(Lesene konstrukcije - študijsko gradivo)

Ljubljana, 2012

OSNOVE LESENIH IN JEKLENIH KONSTRUKCIJ

Lesene konstrukcije - vsebina

LESENE KONSTRUKCIJE	1. LES KOT GRADIVO ■ Uvod-splošno ■ Struktura lesa ■ Tehnične lastnosti lesa (estetske, fizikalne, mehanske in reološke lastnosti) ■ Klasifikacija lesa - trdnostni razredi
	2. RAČUN OZIROMA DIMENZIONIRANJE LESENIH KONSTRUKCIJ ■ Mejna stanja nosilnosti (centr. nateg ali tlak, upogib, strig, torzija) ■ Mejna stanja uporabnosti (pomiki in vibracije)
	3. VEZNA SREDSTVA ■ Dimenzioniranje ■ Vpliv na podajnost lesenih konstrukcij

VSEBINA

1. LES KOT GRADIVO	3
1.1 UVOD – SPLOŠNO	3
1.2 STRUKTURA LESA	5
1.3 TEHNIČNE LASTNOSTI LESA	7
1.3.1 Uporaba lesa za izdelavo nosilnih gradbenih konstrukcij	7
1.3.2 Estetske lastnosti lesa	13
1.3.3 Osnovne fizikalne lastnosti lesa	14
1.3.4 Osnovne fizikalno-kemijske lastnosti lesa	17
1.3.5. Mehanske in reološke lastnosti lesa	18
1.4 KLASIFIKACIJA MASIVNEGA LESA - TRDNOSTNI RAZREDI	22
2. RAČUN OZIROMA DIMENZIONIRANJE LESENIH KONSTRUKCIJ	25
2.1 OSNOVE KONSTRUIRANJA - Metoda mejnih stanj	25
2.2 MEJNA STANJA NOSILNOSTI	30
2.2.1 Centrični nateg v smeri vlaken	32
2.2.2 Nateg v smeri pravokotno na vlakna	32
2.2.3 Centrični tlak v smeri vlaken	33
2.2.4 Tlak pod poljubnim kotom α na smer vlaken	38
2.2.5 Upogib	39
2.2.6 Upogib v kombinaciji z natezno osno silo	42
2.2.7 Upogib v kombinaciji s tlačno osno silo	43
2.2.7.1 Upogib v kombinaciji s tlačno osno silo pri stebrih	43
2.2.7.2 Upogib v kombinaciji s tlačno osno silo pri nosilcih	46
2.2.8 Čisti strig in strig zaradi prečne sile	47
2.2.9 Torzija	50
2.2.10 Kombinacija striga zaradi prečne sile in torzije	50
2.3 MEJNA STANJA UPORABNOSTI	51
2.3.1 Mejno stanje pomikov	51
2.3.2 Mejno stanje vibracij	58
3. VEZNA SREDSTVA	60
3.1 OSNOVE	60
3.1.1. Primeri priključkov	61
3.1.2. Odpornost veznih sredstev in togost priključkov	66

3.1.3 Vrste veznih sredstev	69
3.1.4 Sodelovanje različnih veznih sredstev v priključkih	70
3.2 RAČUNSKA ODPORNOST VEZNIH SREDSTEV PO EN 1995-1-1	70
3.2.1 Računska odpornost v prečni smeri pri veznih sredstvih mozničnega tipa	72
3.2.2 Žebljani priključki	78
3.2.3 Priključki izvedeni z vijaki	83

RAČUN OZIROMA DIMENZIONIRANJE KONSTRUKCIJ

Podlaga za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje gradbenih konstrukcij so:

- pravni predpisi (zakoni kot so npr. Zakon o graditvi objektov, Zakon o urejanju prostora in Zakon o gradbenih proizvodih) in
- tehnični predpisi (standardi in pravilniki). Pravilniki so v obvezni uporabi, standardi pa so v osnovi neobvezni, postanejo pa lahko obvezni v povezavi s pravilniki.

Za projektiranje gradbenih konstrukcij v RS se od 1.1.2008 uporabljajo konsistentni evropski standardi za projektiranje gradbenih konstrukcij - Evrokodi:

Evrokod: Osnove projektiranja konstrukcij (SIST EN 1990)

Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije:

SIST EN 1991-1-1: Splošni vplivi – Gostote, lastna teža, koristne obtežbe stavb

SIST EN 1991-1-2: Splošni vplivi – Vplivi požara na konstrukcije

SIST EN 1991-1-3: Splošni vplivi – Obtežba snega

SIST EN 1991-1-4: Splošni vplivi – Obtežbe vetra

SIST EN 1991-1-5: Splošni vplivi – Toplotni vplivi

SIST EN 1991-1-6: Splošni vplivi – Vplivi med gradnjo

SIST EN 1991-1-7: Splošni vplivi – Nezagodni vplivi

SIST EN 1991-2: Prometna obtežba mostov

Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij:

SIST EN 1992-1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe

SIST EN 1992-1-2: Splošna pravila - Projektiranje požarnovarnih konstrukcij

SIST EN 1992-2: Betonski mostovi – Projektiranje in pravila za konstruiranje

SIST EN 1992-3: Zadrževalniki tekočin

Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij

Evrokod 4: Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona

Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij

Evrokod 6: Projektiranje zidanih konstrukcij

Evrokod 7: Geotehnično projektiranje

Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij:

SIST EN 1998-1: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe

SIST EN 1998-2: Mostovi

Evrokod 9: Projektiranje konstrukcij iz aluminijevih zlitin

1. LES KOT GRADIVO

1.1 UVOD – SPLOŠNO

Les je organska snov, proizvod živih organizmov:

- Izpostavljen je parazitom in bakterijam → potrebna je ustrezna zaščita - impregnacija.
- Neobstojeen je, če je izmenično izpostavljen vplivom vlage iz okolice.

Les je kvaliteten gradbeni material in je za gradbene konstrukcije zelo primeren:

- Skupaj s **kamnom** predstavlja v zgodovinskem razvoju človeka **prvi gradbeni** material.
- V bližnji preteklosti je bil zaradi intenzivne včasih tudi pretirane uporabe betona (armiranega in prednapetega) neupravičeno potisnjen v ozadje.
- Posebej je primeren za konstrukcije, ki so **vidne** in v prostorih z **veliko vlago**. Zelo primeren je za športne dvorane, predvsem pa za kopališča kjer je problematičen pojav kondenza - zaradi česar jeklo in beton v takšnem okolju nista najbolj ustrezna.
- **Škoda** ga je uporabljati za manj pomembne konstrukcije.

PREDNOSTI LESA IN LESENIH KONSTRUKCIJ:

- + Naraven material → ugoden psihološki vpliv na počutje uporabnikov
- + Lahka obdelava
- + Majhna lastna teža v primerjavi z nosilnostjo
- + Enostavno sestavljanje → preprosta vezna sredstva
- + Les je trajen (pri primerni izvedbi detajlov oziroma preprečitvi spremenljivih pogojev)
- + Les ima relativno dobro požarno odpornost (laično mišljenje je ravno nasprotno)
- + Lepljeni lamelirani elementi prinašajo dodatne prednosti (svobodna geometrija, lahko so ukrivljeni, premoščamo velike razpetine 30, 40 m in več, ne razpokajo)

SLABOSTI LESA IN LESENIH KONSTRUKCIJ:

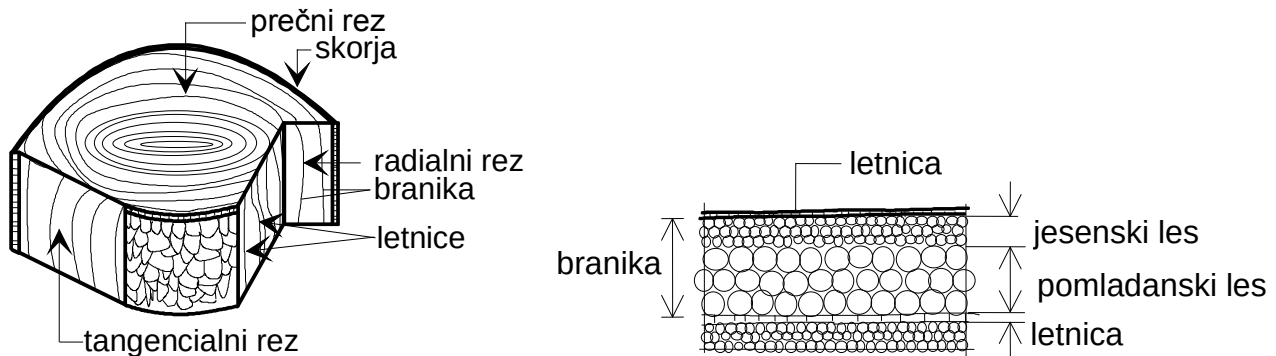
- Gre za organski material:
 - nehomogen in anizotropen (pomembno dobro poznavanje mehanskih lastnosti),
 - izpostavljen boleznim (lesna goba -v temnih in vlažnih prostorih, spremenljivi pogoji),
 - izpostavljen škodljivcem
 potrebna zaščita z impregnacijskimi sredstvi , kar pa ima povraten vpliv na okolje - zdravje ljudi)
- Leseni elementi so dimenzijsko omejeni (rešitev leplejene lamelirane konstrukcije)
- Les je dragocen količinsko omejen material (ekologija)



Svobodno oblikovanje – lamelirane lepljene lesene nosilne konstrukcije
(izvedba podjetje Hoja d.d., Škofljica)

1.2 STRUKTURA LESA

Les je naraven kompozitni material sestavljen iz olesenelih vzdolžnih vlaken, por in vode. Celuloza tvori približno polovico vse suhe snovi lesa.



Branika - enoletni prirastek lesa:

Širina branik je odvisna od botanične vrste in dela drevesa, podnebja, rodovitnosti tal, vegetacijske dobe in drugih dejavnikov. Hitro rastoče vrste - široke branike, počasi rastoče vrste - ozke branike.

Branike so bolj izrazite pri iglavcih kot pri listavcih.

Branika je sestavljena iz pomladanskega in jesenskega lesa. Jesenski les je gostejši in ima večjo nosilnost. Pomladanski les je redkejši in ima manjšo nosilnost.

Letnice so meje med branikami

Pri lesnem deblu ločimo tri reze, ki so pomembni tudi pri obravnavanju lastnosti lesa:

- prečni ali normalni rez,
- radialni rez in
- tangencialni rez.

Fizikalne lastnosti lesa so v različnih smereh različne – les je **izrazito anizotropen material**.

Največja trdnost lesa glede normalnih napetosti je v smeri vlaken ($\sigma_{\parallel}$ napetosti), neprimerno manjša pa je trdnost lesa v radialni in tangencialni smeri ($\sigma_{\perp}$ napetosti).

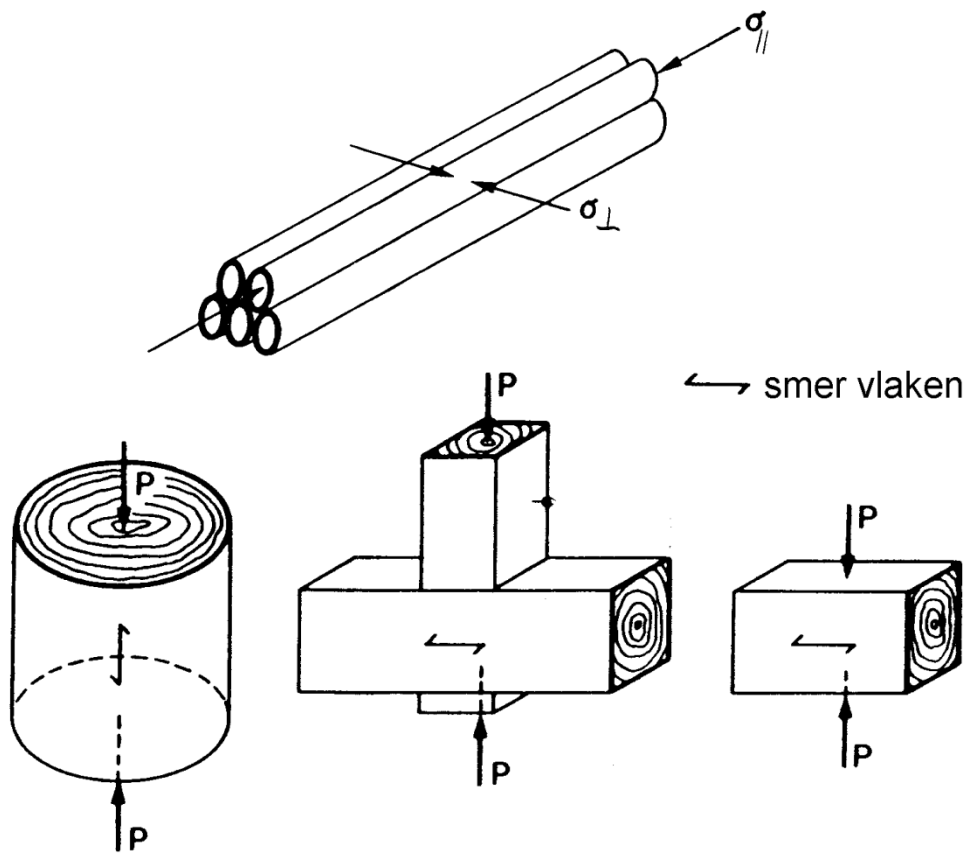


Les je zelo nehomogen material. Tudi, če v opazovanem lesenem elementu ni slabih mest zaradi napak, kot so npr. grče ali smolnata mesta se namreč razlikujeta lokalni trdnosti jesenskega in pomladanskega lesa - za gradbenike je neglede na to nehomogenost pomembna neka povprečna (razmazana) trdnost lesa.

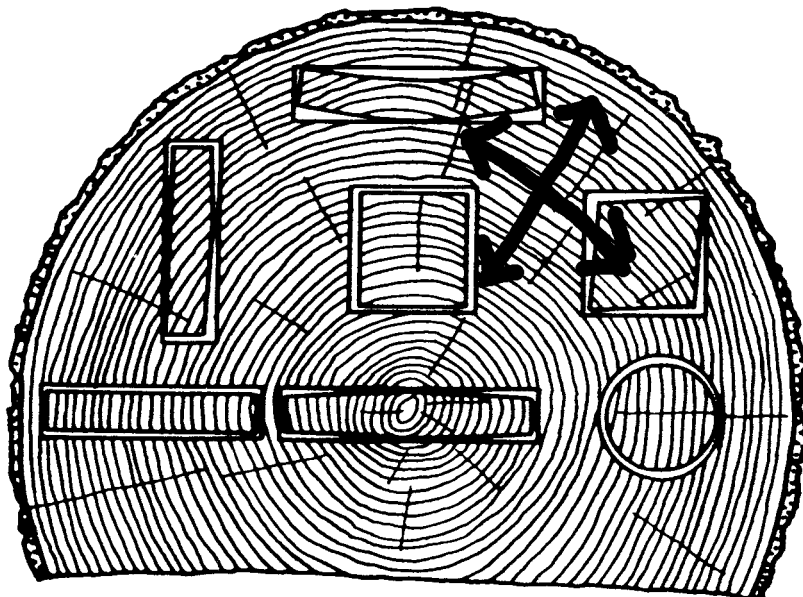
Pomladanski les se pri spremembi vlage drugače deformira kot jesenski, veliko bolj se krči in razteza, kar povzroča praktično pri vseh elementih iz masivnega lesa časovno spremembo oblike prečnega prereza.



Iglavci imajo pomladanskega lesa znatno več kot jesenskega, pri listavcih pa je ravno obratno. Iglavci, ki imajo manj jesenskega lesa kot listavci, so imajo zato v povprečju manjšo trdnost.

ANIZOTROPIJA LESA:**DELOVANJE LESA - krčenje ali nabrekanje zaradi sušenja oziroma vlaženja**

Različno deformiranje spomladanskega in jesenskega lesa → deformiranje oblike izrezanega lesa:



1.3 TEHNIČNE LASTNOSTI LESA

1.3.1 Uporaba lesa za izdelavo nosilnih gradbenih konstrukcij

Med običajni **gradbeni les**, ki ga uporabljamo za izdelavo nosilnih elementov in celotnih nosilnih konstrukcij sodijo naslednje lesne vrste:

- **iglavci**: smreka, jelka, bor, macesen,
- **listavci**: hrast in bukev.

Pri masivnem lesu glede na stopnjo **obdelave** ločimo naslednje vrste gradbenega lesa:

- **obli les** (velikokrat neobdelan, največkrat za manj pomembne – začasne elemente)
- **tesan les** (danes bolj redko v uporabi, predvsem za doseganje posebnih učinkov, še zlasti pa pri obnavljanju tehnične dediščine),
- **žagan les**.

Lesna debela razrežemo najprej normalno na vlakna. Obstaja več možnih variant razreza lesa za gradbene potrebe, izbira med njimi pa je odvisna od nameravane uporabe razrezanih elementov. Deske žagamo radialno na vlakna. Krajne deske imajo slabše lastnosti in so zato za konstrukcijsko uporabo manj vredne.

V sodobnih lesenih konstrukcijah zaradi lažjega izpolnjevanja številnih funkcij, ki jih morajo danes opravljati gradbeni elementi, **klasičen masivni les** vse pogosteje nadomeščajo **prefabricirani lesni proizvodi**.

Prefabricirani proizvodi napram masivnemu lesu prinašajo dodatne prednosti, ki se kažejo zlasti v:

- izločitvi oziroma razpršitvi napak v lesu,
- v konkretnim potrebam prirejenih mehanskih lastnostih ter
- boljši dimenzijski in oblikovni stabilnosti skozi celotno življensko dobo konstrukcije.

Prefabricirane lesne proizvode v grobem lahko razdelimo v dve glavni skupini. V prvo skupino sodijo **linijski elementi**, ki v veliki meri nadomeščajo konstrukcijski žagan masivni les, v drugi skupini pa so tako imenovani **ploščasti elementi**.

Linijski prefabricirani elementi:

Pri linijskih prefabriciranih elementih govorimo gre za tako imenovani konstrukcijski kompozitni les (Structural composite lumber – SCL). Po posebnih postopkih so pri tem lahko zlepljeni:

- furnirji s čemer dobimo slojnat furnirni les (Laminated veneer lumber – LVL),
- na pasove razrezani furnirji (Parallel strand lumber – PSL) ali
- dolge tanke usmerjene iveri (Laminated strand lumber – LSL).

Vsi trije navedeni zaščiteni proizvodi so bili razviti v kanadski družbi MacMillan Bloedel Limited, ki se po spremembi lastništva v letu 1999 imenuje Trust JoistTM A Weyerhaeuser Bussines. Proizvodi se množično uporabljajo v Severni Ameriki, v Evropi in drugod po svetu pa le v manjšem obsegu. Med kompozitni konstrukcijski les lahko v širšem smislu uvrstimo tudi linijske elemente dobljene z medsebojnim **lepljenjem manjšega števila sestavnih delov (dveh, treh ali štirih – duo, trio in quadro nosilci)** in tudi pri nas že več desetletij dobro uveljavljen **lameliran lepljeni les** pri katerem gre za lepljenje večjega števila razmeroma tankih lamel.



Konstruktivski kompozitni les (Z leve proti desni: Laminated Veneer Lumber – LVL, Laminated Strand Lumber – LSL, Parallel Strand Lumber – PSL)

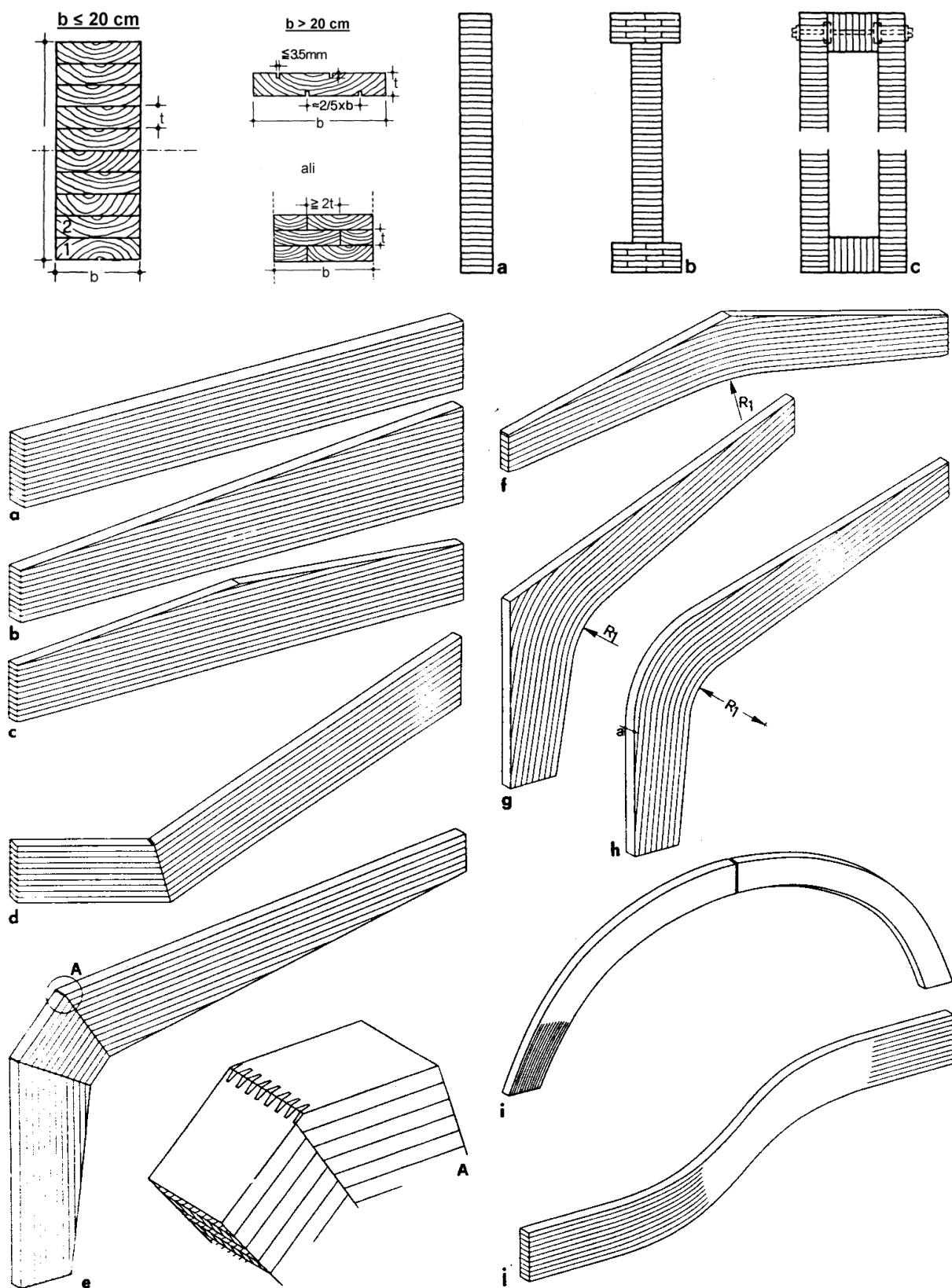


Primeri nosilnih elementov izdelanih iz zlepljenih na pasove razrezanih furnirjev (Parallel strand lumber – PSL), Na levi sliki so lepljeni »I« nosilci izdelani iz lepljenih pasnic in stojine iz OSB plošč.



Prečna prereza lepljenih elementov iz dveh in treh delov (DUO in TRIO NOSILCI)

LEPLJENI LAMELIRANI LESENI ELEMENTI

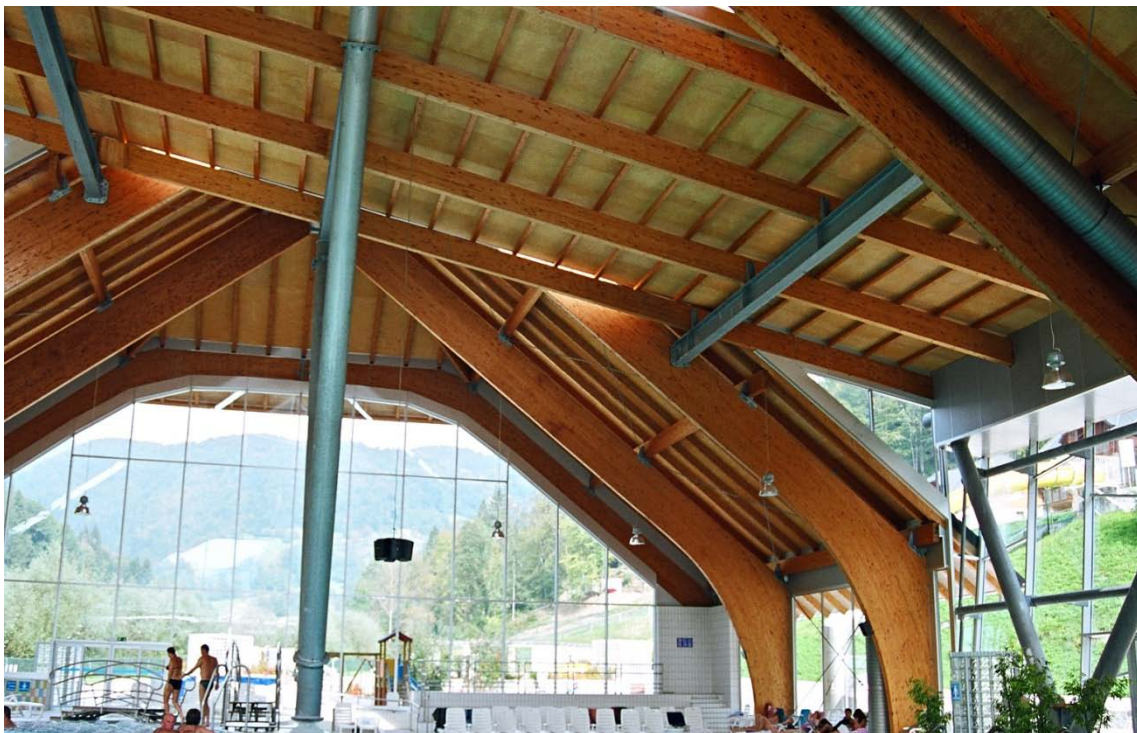


Možne oblike nosilnih elementov iz lepljenega lameliranega lesa

Elementi iz lepljenega lameliranega lesa imajo za razliko od vseh ostalih naštetih vrst konstrukcijskega kompozitnega lesa lahko tudi ukrivljeno vzdolžno os in/ali spremenljivo višino.

Za inženirske konstrukcije je najprimernejša izvedba v lameliranem lepljenem lesu, ki je pri nas dobro uveljavljen konstrukcijski material, v svetu pa se uveljavljajo tudi inženirske konstrukcije iz drugih vrst konstrukcijskega kompozitnega lesa. Lameliran lepljeni les (angl. glued laminated timber - glulam) dobimo z medsebojnim lepljenjem manjših kosov lesa oziroma lamel v celoto. Posamezne lamele se pred tem v dolžino običajno podaljšujejo z zobčastimi stiki. Lepljeni lamelirani les se uporablja za izdelavo t.i. linijskih nosilnih elementov, kjer dolžina elementa prevladuje nad ostalima dvema dimenzijama v mejah prečnega prereza. Orientacija vlaken je pri tem v vseh lamelah enaka, in sicer v smeri vzdolžne osi elementa. Glede zahtev po nosilnosti, požarni odpornosti, dimenzijski stabilnosti in estetskem videzu so lepljeni lamelirani elementi v izraziti prednosti pred elementi iz žaganega masivnega lesa, prinašajo pa tudi veliko svobodo pri oblikovanju njihove geometrije (slika 5). S to tehnologijo lahko izdelamo od preprostih ravnih nosilcev velikih razponov do poljubno oblikovanih ukrivljenih elementov s konstantno ali s spremenljivo višino. Omejitve pri oblikovanju takšnih elementov predstavljajo le konstruktorjeva kreativnost in možnost transporta elementov do gradbišča, le v manjši meri pa tudi tehnološki postopek njihove izdelave.

Elementi, ki jih dobimo s takšnim lepljenjem lamel so lahko že kar celotni nosilni sistemi, kadar gre npr. za posamezne upogibne nosilce in lokeve, lahko pa predstavljajo le sestavne dele kompleksnejših konstrukcijskih sistemov kot so npr. stebri in grede okvirjev ter osnovni elementi paličij, branastih konstrukcij in lokov. Lepljeni lamelirani leseni elementi so pogosto tudi osnovni gradniki rebrastih in mrežastih lupinastih konstrukcij, ki omogočajo premoščanje največjih razpetin. Kadar kompleksnejše nosilne sisteme tvorijo le ravni elementi s konstantnim prečnim prerezom lahko namesto lepljenega lesa za njihovo izdelavo uporabimo tudi druge vrste konstrukcijskega kompozitnega lesa.



Lepljeni lamelirani elementi nosilne konstrukcije (Hoja d.d. Škofljica)

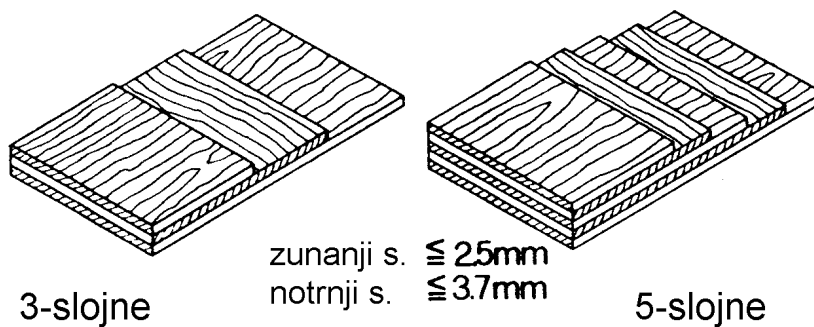
Ploščasti prefabricirani elementi:

Izmed **tanjših ploščastih** materialov se v gradbenih elementih z nosilno funkcijo uporabljajo predvsem:

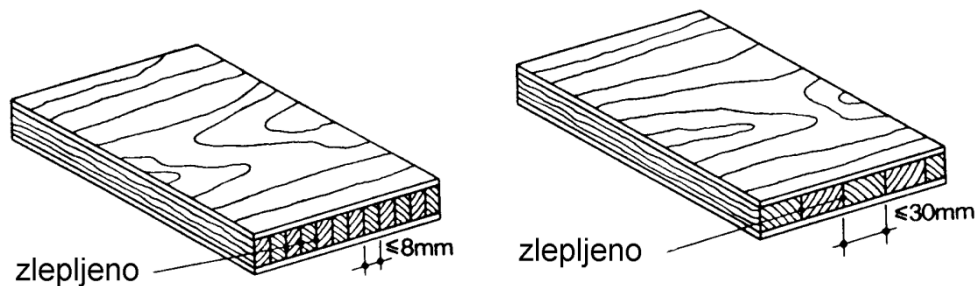
- vezane plošče (Plywood),
- panelne plošče (Blockboard) ter
- plošče z usmerjenim iverjem (Oriented strand boards - OSB).

V vseh treh navedenih primerih gre za elemente z nadzorovano oziroma vsiljeno orientacijo vlaken – preostali tanjši ploščasti elementi z naključno razporeditvijo vlaken (npr. iverne in vlaknaste plošče) so za nosilne gradbene konstrukcije le omejeno uporabni.

Takšne razmeroma tanke elemente uporabljamo pri panelnih montažnih sistemih ali za stojine lepljenih nosilcev, kot so npr. »I« in »škatlasti« nosilci.



Primeri tri in pet slojnih vezanih plošč

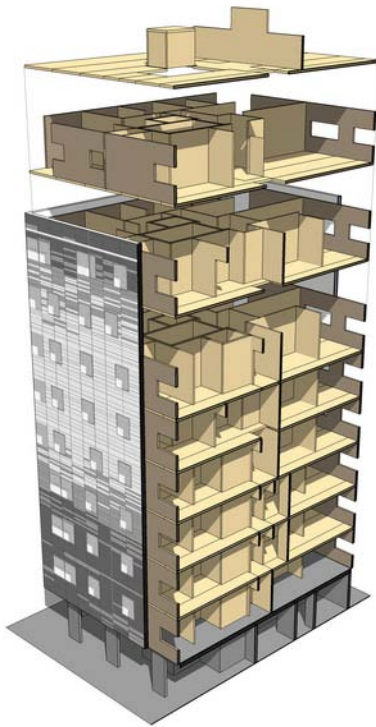


Primeri panelnih plošč

Posebno podskupino ploščastih prefabriciranih elementov predstavlja **debelejši elementi, ki lahko samostojno opravljajo nosilno funkcijo**. To so predvsem ploščasti elementi, ki jih srečamo pri naprednih sistemih masivne gradnje, ki so se razvili pred kratkim. V osnovi so uporabljene lamele iz masivnega lesa, ki so s pomočjo mehanskih veznih sredstev ali lepila na različne načine povezane v ploskovne – masivne panelne elemente. Tipični primer takšnih elementov so elementi iz **križno lepljenega lameliranega lesa (Cross laminated timber – CLT)**, ki so ga razvili v Avstriji sredi 90. let prejšnjega stoletja. Tehnološki postopki izdelave takšnih elementov omogočajo debelino do 50 cm, širino do 5 m, dolžina pa lahko v odvisnosti od širine znaša tudi preko 20 m, tako so za največje dimenzije panelov večkrat merodajne omejitve zaradi možnosti transporta kot pa omejitve, ki izvirajo iz osnovnih tehnoloških procesov izdelave.

Zaradi dobrih mehanskih, gradbeno-fizikalnih in požarnih lastnosti masivnih panelnih elementov ter hitrega sestavljanja teh panelov na gradbišču, v svetu hitro narašča število izvedenih objektov z masivno nosilno konstrukcijo. Tako niso nobena redkost tovrstni objekti s po petimi in šestimi etažami, v Londonu pa je bil pred kratkim s to tehnologijo zgrajen objekt Murray Grove Tower, ki

ima nad betonskim pritličjem še 8 etaž v leseni izvedbi in predstavlja v svetovnem merilu najvišjo moderno stavbo z v celoti leseno nosilno konstrukcijo.



a



b

Montažna hiša z masivno nosilno konstrukcijo (CLT)– Murray Grove Tower, London
(a- shematski prikaz nosilne konstrukcije, b - nosilna konstrukcija med gradnjo)

(b-



Montažna stanovanjska hiša z nosilno konstrukcijo iz križno lepljenega lesa (CLT)

1.3.2 Estetske lastnosti lesa

Estetske lastnosti so tiste lastnosti, ki jih ugotavljamo s čutili in jih ne moremo meriti.

Barva lesa

Pod barvo lesa razumemo **naravni ton barve**, ki je viden pri mehanski obdelavi lesa in odvisen od anatomske zgradbe, fizioloških in **patoloških sprememb**.

Domače drevesne vrste nimajo tako izrazitih barv kot nekatere tropske vrste. Barve pri lesu niso čiste, ampak so mešanica različnih barv in barvnih tonov.

Barva je posledica različnih dejavnikov. Ne spreminja se samo od vrste do vrste, ampak tudi pri isti drevesni vrsti oziroma celo pri istem drevesu ali delu drevesa.

Dejavniki, ki vplivajo na barvo lesa so: botanična vrsta, anatomska zgradba, kemična zgradba, del drevesa, rastišče-mineralna sestava tal, na katerih drevo raste, vlaga, stopnja obdelanosti lesa.

Barvni ton se spreminja glede na **stopnjo vlažnosti lesa**. Vlažen les je temnejši.

Tekstura

Tekstura je **zunani videz anatomske zgradbe lesa**. Opazimo jo s prostim očesom na mehansko obdelani površini lesa.

Teksturo ločimo glede na samo zgradbo in glede na prerez lesa.

Sijaj lesa

Sijaj lesa je njegova lastnost, da od **gladko obdelane površine odbija** svetlobo. Intenzivnost odboja je odvisna od botanične vrste, anatomske zgradbe, obdelave lesa in vrste prereza.

Vonj lesa

Za vsako vrsto lesa je značilen specifičen vonj, ki se razlikuje glede na vrsto in jakost. Lahko je **prijeten** ali **neprijeten**. Ločimo vonj **zdravega in trohnečega** lesa. Pri nekaterih tehnoloških postopkih, npr. stiskanju, se lahko vonj spremeni.

Glavni vzrok za vonj je kemična zgradba lesa oziroma hlapljivi del ekstraktivnih sestavin lesa. Pri iglavcih je to predvsem terpentinsko olje, ki je sestavina smole, pri listavcih pa so to v glavnem čreslovine.

Vonj je za gradbenika zanimiv predvsem kot pokazatelj zdravstvenega stanja lesa. Kakor hitro namreč v lesu pride do procesov razkrajanja, začne les izgubljati svoj prvotni vonj. Pojavljajo se novi kemični proizvodi, ki imajo drugačen vonj kot je vonj zdravega lesa.

Vonj nam torej lahko pomaga pri prepoznavanju različnih vrst lesa in **njihovega zdravstvenega stanja**.

1.3.3 Osnovne fizikalne lastnosti lesa

Fizikalne lastnosti so posledica same anatomske in kemične zgradbe lesa.

Poroznost lesa

V lesu je veliko število večjih ali manjših prostorov - luknjic, ki imajo takrat, ko je drevo še živo, pomembne življenske naloge.

Prostornino por oziroma poroznost p izražamo v odstotkih.

poroznost
$$p = \frac{\gamma - \gamma_s}{\gamma}$$

γ specifična masa lesne snovi (od 1460 do 1560 kg/m³ → povprečje za račun $\approx$ 1500 kg/m³)

γ_s prostorninska masa suhega lesa (standardiziran postopek sušenja pri povišani temperaturi)

Pri naših drevesnih vrstah znaša odstotek poroznosti od 55 do 75 %, pri tropskem lesu pa je razpon poroznosti večji in sicer se giblje v mejah od 25 % do 85 %.

Vrsta lesa	Lesna masa	Pore	Ostalo
Jelka	25%	74%	1%
Bukev	45%	55%	0%

Delež sestavnih delov lesa v enoti prostornine v %

Poroznost bistveno **vpliva na tehnološke lastnosti** lesa kot so: gostota, krčenje oziroma nabrekanje, higroskopičnost, vnetljivost lesa, možnost obdelave... Zato je pomembna pri izbiri in izvedbi postopkov tehnološke obdelave.

Vlažnost lesa

Voda opravlja v živem drevesu pomembno nalogo - transport rudninskih in organskih snovi.

Tudi v posekanem lesu je voda zelo pomembna. Ima neposreden vpliv na tehnološke lastnosti lesa, s tem pa tudi na možnost obdelave in normalno uporabo. Odstranjevanje vode iz lesa - **sušenje - je eno najpomembnejših opravil v lesarstvu.**

Vlažnost
$$v = \frac{G_v - G_s}{G_s}$$
 Pri tem je G_v teža vlažnega lesa, G_s pa teža suhega lesa.

Razlikujemo štiri stopnje vlažnosti lesa:

- vlažnost svežega lesa, $v \geq 35\%$
- vlažnost polsvežega lesa, $v = 30\%$
- vlažnost zračno suhega lesa, $v = 12-18\%$ (normalno suh les $v=12\%$)
- vlažnost tehnično posušenega lesa $v < 12\%$ (lahko tudi 6%).

Za poznavanje vpliva vlažnosti na mehanske in fizikalne lastnosti lesa je pomembna vlažnost, ki odgovarja stanju nasičenosti ($v_{nas} \approx 30\%$ za običajne vrste gradbenega lesa, sicer pa je razpon meje nasičenosti v splošnem od 21% do 35%).

Vodo v lesu delimo na:

- **Prosto** oziroma kapilarno vodo, ki se nahaja v celičnih lumnih in se prosto giblje po kapilarnem principu. S prosto vodo imamo opravka, ko je vlažnost lesa večja od meje nasičenja $v > v_{nas}$. Spreminjanje % kapilarne vode **ne vpliva bistveno na mehanske lastnosti lesa**.
- **Vezano** vodo, ki se nahaja v celičnih stenah in jo nanje vežejo molekularne sile. Pri spremembi % vezane vode moramo te sile premagovati zato **ima ta sprememba vpliv** na mehanske lastnosti lesa.

Ker v gradbeništvu običajno uporabljamo les z vlažnostjo pod mejo zasičenosti, kjer vlažnost znatno vpliva na mehanske lastnosti lesa (predvsem na trdnosti in module elastičnosti v različnih smereh) je **poznavanje in upoštevanje teh sovisnosti v fazi projektiranja, gradnje, uporabe in vzdrževanja zelo pomembno**. V splošnem se z zmanjšanjem vlažnosti mehanske lastnosti izboljšajo.

Mehanske lastnosti lesa se standardno ugotavlja oziroma določa pri neki predpisani vlažnosti (običajno $v_{pr}=20\%$ ali $v_{pr}=15\%$), odstopanja od te vlažnosti pa se v računu konstrukcij upošteva z različnimi korekcijskimi faktorji.

Npr. za trdnost : $f = \sigma_{extr}(v=v_{pr})$

Les, ki ga uporabljamo za konstrukcije mora biti do določene mere suh. Razlika vlažnosti lesa v času gradnje in normalne uporabe naj ne bo večja od 6%, po možnosti pa ne več kot 3%.

Podatki so le informativni:

Vrsta konstrukcije	% vlage v lesu	Način sušenja lesa
V vodi (piloti, zagatnice)	35, svež les, zasičen z vlago	se ne suši
Zaščitene	13 do 17, zračno suh les	normalno zračno
V stalno ogrevanih prostorih	8 do 12, suh les	umetno

Delovanje lesa (krčenje, nabrekanje)

Delovanje lesa je neugodna lastnost, ki je posledica izmenjave vode med lesom in okolico. Zaradi značilne zgradbe les v različnih smereh različno deluje. Pravokotno na vlakna je delovanje lesa bistveno večje kot paralelno.

Krčenje v smeri vlaken znaša od 0.1 do 0.35 (0.60)%, radialno od 2.5 do 8.0 %, tangencialno krčenje pa znaša od 4.0 do 14.0 %.

Zmanjšanje prostornine zaradi krčenja lesa znaša 7 do 21 %.

$$\Delta V_k = 7 \text{ do } 21 \%$$

Prostorninska teža lesa

Več je lesne mase v enoti prostornine večja je prostorninska teža lesa. Logično je torej prostorninska teža odvisna od **botanične vrste lesa in njegove poroznosti**. Prav tako je prostorninska teža bistveno odvisna od **vlažnosti lesa**. Iglavci so v splošnem lažji od listavcev.

$\gamma = \gamma(vrsta\ lesa, p, v)$

Vrsta lesa	Surov les	Zračno sušeni les	Tehnično suh les
	$v \geq 30\%$	$v = 12-20\%$	$v < 12\%$
Listavci (hrast, bukev)	10.0	7.5	6.5
Iglavci (smreka)	8.0	5.5	4.5

Informativna prostorninska teža v kN/m^3

Toplotna prevodnost

Znano je, da je les sorazmerno slab prevodnik toplote. Prevodnost je odvisna od vlažnosti lesa in od smeri prevajanja. V smeri vlaken les znatno bolje prevaja toploto kot pravokotno nanje.

Material	$\alpha \left[\frac{J}{m \cdot h \cdot ^\circ C} \right]$
Listavci, pravokotno na vlakna	630
Listavci, paralelno z vlakni	840
Beton	5040
Polna opeka	2940
Votla opeka	2100
Pluta	160

Toplotna prevodnost različnih materialov

1.3.4 Osnovne fizikalno-kemijske lastnosti lesa

Trajnost lesa

Trajnost lesa predstavlja čas, v katerem lahko les obdrži svoje naravne karakteristike.

Razen od **vrste lesa** je odvisna predvsem od **pogojev** v katerih se les nahaja.

VRSTA LESA	Izpostavljen vplivu zraka			V pred vlago zaščitениh prostorih	Potopljen v vodo
	V dotiku z zemljo	Brez dotika z zemljo			
		Nezaščitene	Pod streho		
Hrast,brest,gaber	8-12	60-120	200 in več	do 500	500 in več
Jesen,breza,javor	4-6	20-60	100 in več	do 500	50-100
Bukev, vrba, lipa	manj kot 4	manj kot 30	50 in več	do 500	manj kot 50
Jelka	manj kot 4	30-50	50 in več	do 500	manj kot 50

Trajnost posameznih vrst lesa v letih

Les, ki je v **izmenljivih pogojih vlage propade** izredno hitro!

Les mora biti prezračevan in na svetlobi, le tako bo dolgo ostal uporaben in nepoškodovan.

Lesena konstrukcija, ki je v temi je izredno podvržena napadu raznih gob in plesni.

Les vedno zračimo s konca, ne pa od strani! Primer: stropne lesene konstrukcije-stropniki.

Vnetljivost lesa

Lastnost, da les lažje ali težje gori oziroma se vname. Načeloma mehak les hitreje gori od trdega. Z izbiro ustreznih ukrepov lahko pri lesu dosežemo zadovoljivo stopnjo požarne odpornosti.

1.3.5. Mehanske in reološke lastnosti lesa

Duktilnost lesa (predvsem pri tlačni obremenitvi)

$$\varepsilon_{pl} \gg \varepsilon_{el}$$

$$\text{duktilnost} = \frac{\varepsilon_{rus} - \varepsilon_{el}}{\varepsilon_{el}}$$

Pri raznih tipih obremenitve precej različna duktilnost!

Trdota lesa

Lastnost, da se les bolj ali manj upira prodiranju drugih teles v njegovo maso.

Trdota je odvisna od : botanične vrste lesa, poroznosti, vlažnosti ...

Trdnost in deformabilnost lesa

Trdnost lesa je razen od parametrov kot so : botanična vrste lesa, struktura lesa, prostorninska teža oziroma poroznost, količina in vrsta napak, vlažnost, postopek obdelave in shranjevanje **bistveno odvisna od vrste obremenitve** (tlak, nateg, strig).

Anizotropija - trdnost in deformabilnost je tudi **pri istem tipu obremenitve zelo različna v različnih smereh** (paralelno z vlakni, pravokotno na vlakna ali pod nekim poljubnim koto, m glede na smer vlaken):

Normalne napetosti – tlak:

- napetosti v smeri vlaken $\sigma_{||}$ ($f_{||}$)
- pravokotno na vlakna $\sigma_{\perp}$ ($f_{\perp}$) ali
- pod kotom α napram vlaknom σ_{α} (f_{α})

$$f_{\perp} \leq f_{\alpha} \leq f_{||}$$

Strižne napetosti:

- napetosti v ravnini vlaken $\tau_{||}$ ($f_{v||}$)
- pravokotno na vlakna $\tau_{\perp}$ ($f_{v\perp}$)

$$f_{v\perp} \geq f_{v||}$$

Trdnosti se določa s **standardnimi** preiskavami do **porušitve** pod določenimi pogoji.

Les je naraven material in kot tak zelo nehomogen → velik raztros rezultatov.

Orientacijske vrednosti trdnosti lesa pri različnih tipih obremenitve in različnih smereh delovanja napetosti so podane v naslednjih preglednicah.

VRSTA LESA	VRSTA NAPETOSTI			
	Nateg		Tlak	
	$f_{t\parallel} = f_{t,0}$ [kN/cm ²]	$f_{t\perp} = f_{t,90}$ [kN/cm ²]	$f_{c\parallel} = f_{c,0}$ [kN/cm ²]	$f_{c\perp} = f_{c,90}$ [kN/cm ²]
Jelka, smreka, bor	9-12	0.15-0.20	3.0-4.5	0.60
Topol, vrba, breza, lipa	8-10	0.20-0.25	2.5-3.5	0.90
Hrast, bukev, jesen, brest	10-15	0.25-0.35	5.0-7.0	1.30
Trdi eksotični les	12-18	0.35-0.60		

Informativne tlačne in natezne trdnosti lesa v odvisnosti od vrste lesa

VRSTA LESA	$f_{v\parallel}$ [kN/cm ²]
Iglavci ($\gamma = 4 - 6 \text{ kN/m}^3$)	0.40 - 1.20
Listavci ($\gamma = 7 - 9 \text{ kN/m}^3$)	0.60 - 1.90

Informativne strižne trdnosti lesa v odvisnosti od vrste lesa

V analizi odziva konstrukcij do porušitve, zajamemo **deformabilnost lesa** z zvezami (σ/ϵ) med napetostmi in deformacijami – **konstitutivnimi zakoni materialov**. Eksperimentalno dobljene zveze med napetostmi in deformacijami pri lesu se zaradi njegove anizotropije zelo razlikujejo glede na tip obremenitve (tlak, nateg) in glede na smer delovanja napetosti in **so praktično vedno nelinearne**.

Primeri konstitutivnih zakonov!!

Eksperimentalno dobljeni konstitutivni zakoni lesa pri vseh tipih obremenitve in smereh delovanja napetosti kažejo do nekega nivoja napetosti ($\approx 0,5f$) na **linearno elastično obnašanje lesa**. Zato lahko za praktičen račun lesenih konstrukcij (dimenzioniranje in račun pomikov), kjer so nivoji napetosti precej nižji od polovice trdnosti, uporabimo kar linearen konstitutivni zakon (Hook-ov zakon v primeru normalnih napetosti).

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$E = \tan \beta$$

Računamo z začetnim modulom elastičnosti E.

Tako kot trdnost je tudi modul elastičnosti zelo odvisen od obravnavane smeri:

- paralelno z vlakni ($E_{||}$)
- pravokotno na vlakna (radialno $E_r = 1/20 - 1/6 E_{||}$ ali tangencialno $E_t = 1/40 - 1/10 E_{||}$)

VRSTA LESA	E [kN/cm ²]		G [kN/cm ²]
	$E_{ }$	$E_{\perp}$	
Smreka, jelka	700-1400	23-47	44-88
Hrast, bukev	1000-2000	64-133	60-125

Modul elastičnosti in strižni modul pri različnih vrstah lesa

Vlažnost lesa znatno **vpliva** na elastični modul. Vlažen les je bolj deformabilen kot suh – modul elastičnosti se s povečevanjem vlažnosti lesa torej manjša.

Reološki pojavi

Značilna reološka pojava pri lesu sta, podobno kot pri betonu, predvsem lezenje in krčenje oziroma nabrekanje.

Lezenje lesa imenujemo napetostno odvisno povečevanje deformacij oziroma pomikov zaradi dolgotrajnega delovanja obtežbe. Lezenje je zelo odvisno od vlažnosti lesa, še posebej pa ga poveča ciklično spreminjanje vlažnosti lesa. Lezenje lesa postane je pri visokih nivojih napetosti izrazito nelinearno odvisno od napetosti (glej trajno trdnost) za praktičen račun konstrukcij pa ga

obravnavamo po t.i. linearni teoriji. V računu pomikov lahko lezenje zajamemo tako, da elastični in strižni modul reduciramo:

$$E_{\varphi} = \frac{E}{1 + \varphi}$$

$$G_{\varphi} = \frac{G}{1 + \varphi}$$

φ koeficient lezenja lesa - $\varphi = \varphi(v, \text{nivo napetosti } \sigma/f, T)$

V EC 5 $\varphi \rightarrow k_{\text{def}}$

Do **krčenja oziroma nabrekanja lesa** pride zaradi izmenjave vlage med lesom in okolico. Ko les oddaja vlago v okolico prihaja do krčenja, ko pa jo vpija iz okolice prihaja do nabrekanja. Krčenje ali nabrekanje lesa, ki je posledica izmenjave vlage z okolico, imenujemo **delovanje lesa**. Delovanje lesa smo omenili že med osnovnimi fizikalnimi lastnostmi lesa (glej 1.3.2.). Bolj kot sama sprememba volumna je problematična sprememba oblike lesenih elementov, ki je posledica različnega delovanja lesa v različnih smereh (pomladni in jesenski les, napake...)

Krčenje v smeri vlaken znaša od 0.1 do 0.35 (0.60)%, radialno od 2.5 do 8.0 %, tangencialno krčenje pa znaša od 4.0 do 14.0 %.

Zmanjšanje prostornine zaradi krčenja lesa znaša 7 do 21 %. $\Delta V_k = 7 \text{ do } 21 \%$

Vpliv trajnih visokih nivojev obremenitve

Razlikujemo **kratkotrajno** trdnost in **trajno** trdnost lesa.

Kratkotrajna trdnost – določena s standardnimi preiskavami do porušitve v relativno kratkem času (nekaj minut).

Trajna trdnost - tista **največja napetost**, ki jo material lahko prenaša neskončno dolgo in se **ne poruši**. V EC5 je zmanjšanje trdnosti zaradi dolgotrajnih visokih nivojev obremenitve zajeto z modifikacijskim faktorjem **k_{mod}** .

1.4 KLASIFIKACIJA MASIVNEGA LESA - TRDNOSTNI RAZREDI

Do 1. januarja leta 2008 veljavni standard (JUS U.C9.200) loči gradbeni les na iglavce in listavce:

Glede na skupne lastnosti lesa, razvrščamo gradbeni les iglavcev v tri razrede (I-III), les listavcev pa v dva razreda (I in II):

- **I.razred -. les izredne nosilnosti**, za konstrukcije, ki so izpostavljene zunanjim vplivom in kjer je njegova uporaba ekonomsko upravičena, z ozirom na statične in konstruktivne pogoje
- **II.razred - les normalne nosilnosti**, za vse običajne lesene konstrukcije v normalnih pogojih
- **III. razred - les majhne nosilnosti**, manj važni konstrukcijski elementi (začasni) in elementi, ki so zaradi deformacij ali konstruktivnih zahtev predimenzionirani (nizke dejanske napetosti)

Kontrolo kvalitete lesa za gradnjo moramo izvršiti na samem gradbišču ali pred prevzemom materiala v laboratorijih. Pri tem ugotavljamo:

- botanično vrsto lesa,
- način obdelave,
- razred (kvaliteto) - glede na napake,
- vlažnost,
- dimenzije.

Napake, ki vplivajo na kvaliteto lesa:

- a) *Gniloba*
- b) *Barva*
- c) *Piravost ali trohnoba*
- d) *Poškodbe, ki jih povzročajo žuželke*
- e) *Smolnata mesta*
- f) *Okrogljivost*
- g) *Razpoke*
- h) *Lisičavost ali obličavost*
- i) *Toleranca dimenzij*
- j) *Vlažnost*
- k) *Širina letnic*
- l) *Grčavost*
- m) *Odklon vlaken*
- n) *Zakrivljenost osi*

Dimenzioniranje po JUS standardih temelji na METODI DOPUSTNIH NAPETOSTI - MDN!

EVROKOD 5**EN 1995-1-1: obravnava konstrukcije iz:**

- masivnega lesa (obravnavamo pri LK1)
- lepljenega lesa
- lesnih plošč

EN 1995-1-1 vsebuje 10 poglavij in 4 informativne dodatke:

1. Splošno
2. Osnove projektiranja
3. Lastnosti materialov
4. Trajnost
5. Osnove analize konstrukcij
6. Mejna stanja nosilnosti
7. Mejna stanja uporabnosti
8. Priključki izvedeni s kovinskimi veznimi sredstvi
9. Elementi in sestavi
10. Detailiranje in kontrola

Razvrstitev lesa v trdnostne razrede v smislu EC 5 (oznake: Ci oziroma Di):

$C_i = C_i(f_{mk}, E_{0,mean}, \rho)$	oziroma	$D_i = D_i(f_{mk}, E_{0,mean}, \rho)$
---------------------------------------	---------	---------------------------------------

- f_{mk} - karakteristična upogibna trdnost lesa
- $E_{0,mean}$ - modul elastičnosti lesa paralelno z vlakni
- ρ - gostota lesa

Spremljajoči standardi:

- EN 338 - trdnostni razredi lesa
- EN 384 - določanje karakterističnih mehanskih lastnosti in gostote
- EN 408 - metode preskušanja, določanje mehanskih in fizikalnih lastnosti
- EN 518 - standardi za vizuelno razvrščanje lesa v trdnostne razrede
- EN 519 - strojno razvrščanje lesa v trdnostne razrede in ustrezne naprave
- EN 1198 - lepljen lameiliran les, trdnosti razredi in določanje karakt. vr.

TRDNOSTNI RAZREDI - karakteristične in projektne vrednosti																				EN 338:2016, EN 384:2016									
Trdnost [N/cm ²]										Iglavci in topolovina										Listavci									
										C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70		
Upogib	$f_{m,k}$	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2700	3000	3500	4000	4500	5000	3000	3500	4000	5000	6000	7000										
	$f_{m,d}$	P	646	738	831	923	1015	1108	1246	1385	1615	1846	2077	2308	1385	1615	1846	2308	2769	3231									
		L	754	862	969	1077	1185	1292	1454	1615	1885	2154	2423	2692	1615	1885	2154	2692	3231	3769									
		M	862	985	1108	1231	1354	1477	1662	1846	2154	2462	2769	3077	1846	2154	2462	3077	3692	4308									
		S	969	1108	1246	1385	1523	1662	1869	2077	2423	2769	3115	3462	2077	2423	2769	3462	4154	4846									
Nateg, paralelno	$f_{t,0,k}$	720	850	1000	1150	1300	1450	1650	1900	2250	2600	3000	3350	1800	2100	2400	3000	3600	4200										
	$f_{t,0,d}$	P	332	392	462	531	600	669	762	877	1038	1200	1385	1546	831	969	1108	1385	1662	1938									
		L	388	458	538	619	700	781	888	1023	1212	1400	1615	1804	969	1131	1292	1615	1938	2262									
		M	443	523	615	708	800	892	1015	1169	1385	1600	1846	2062	1108	1292	1477	1846	2215	2585									
		S	498	588	692	796	900	1004	1142	1315	1558	1800	2077	2319	1246	1454	1662	2077	2492	2908									
Nateg, pravokotno	$f_{t,90,k}$	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	60	60	60	60	60										
	$f_{t,90,d}$	P	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	28	28	28	28	28	28									
		L	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	32	32	32	32	32	32									
		M	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	37	37	37	37	37	37									
		S	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	42	42	42	42	42	42									
Tlak, paralelno	$f_{c,0,k}$	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2400	2500	2700	2900	3000	2400	2500	2700	3000	3300	3600										
	$f_{c,0,d}$	P	738	785	831	877	923	969	1015	1108	1154	1246	1338	1385	1108	1154	1246	1385	1523	1662									
		L	862	915	969	1023	1077	1131	1185	1292	1346	1454	1562	1615	1292	1346	1454	1615	1777	1938									
		M	985	1046	1108	1169	1231	1292	1354	1477	1538	1662	1785	1846	1477	1538	1662	1846	2031	2215									
		S	1108	1177	1246	1315	1385	1454	1523	1662	1731	1869	2008	2077	1662	1731	1869	2077	2285	2492									
Tlak, pravokotno	$f_{c,90,k}$	200	220	220	230	240	250	250	270	270	280	290	300	300	530	540	550	620	1050	1200									
	$f_{c,90,d}$	P	92	102	102	106	111	115	115	125	125	129	134	138	245	249	254	286	485	554									
		L	108	118	118	124	129	134.6	135	145	145	151	156	162	285	291	296	334	565	646									
		M	123	135	135	142	148	154	154	166	166	172	178	185	326	332	338	382	646	738									
		S	138	152	152	159	166	173	173	187	187	194	201	208	367	374	381	429	727	831									
Strig	$f_{v,k}$	300	320	340	360	380	400	400	400	400	400	400	400	390	410	420	450	480	500										
	$f_{v,d}$	P	138	148	157	166	175	185	185	185	185	185	185	180	189	194	208	222	231										
		L	162	172	183	194	205	215	215	215	215	215	215	210	221	226	242	258	269										
		M	185	197	209	222	234	246	246	246	246	246	246	240	252	258	277	295	308										
		S	208	222	235	249	263	277	277	277	277	277	277	270	284	291	312	332	346										
Deformabilnost-modul [kN/cm ²]																													
Modul el., paralelno		$E_{0,mean}$										700	800	900	950	1000	1100	1150	1200	1300	1400	1500	1600	1100	1200	1300	1400	1700	2000
Modul el., paralelno		$E_{0,05}$										470	540	600	640	670	740	770	800	870	940	1010	1070	920	1010	1090	1180	1430	1680
Modul el., pravokotno		$E_{90,mean}$										23	27	30	32	33	37	38	40	43	47	50	53	73	80	87	93	113	133
Strižni modul		G_{mean}										44	50	56	59	63	69	72	75	81	88	94	100	69	75	81	88	106	125
Gostota [kg/m ³]																													
Gostota, karakteristična		ρ_k										290	310	320	330	340	350	360	380	390	400	410	430	530	540	550	620	700	800
Gostota, povprečna		ρ_{mean}										350	370	380	400	410	420	430	460	470	480	490	520	640	650	660	740	840	960

Modifikacijski faktorji:

Za masiven les, lepjeni lamelirani les
in lepjeni les iz furnirjev

(do 20% vlage lesa)

r. up.:	k_{mod}	
	1r. & 2r.	3r.
P	0.60	0.50
L	0.70	0.55
M	0.80	0.65
S	0.90	0.70
I	1.10	0.90

P ... stalna obtežba

L ... dolgotrajna (do 10 let)

M ... srednje dol. (do 6 mes.)

S ... kratkotrajna (do 1 tedna)

I ... trenutna

Varnostni faktorji za material:

$\gamma_m = 1.30$ masivni les, iverke, priključki

$\gamma_m = 1.25$ lepjen lameliran les

$\gamma_m = 1.20$ iz furnirjev lepjen les

Varnostni faktorji za obtežbo:

$\gamma_d = 1.0/1.35$

$\gamma_d = 1.50$

Koeficient lezenja - trajna obtežba:

Za masiven les, lepjeni lamelirani les
in lepjeni les iz furnirjev

Up. Razred	k_{def}	
1	0.60	
2	0.80	
3	2.00	

Pri spreminljivih obtežbah:

splošno: $\psi_2 \cdot k_{def}$

2. RAČUN OZIROMA DIMENZIONIRANJE LESENIH KONSTRUKCIJ

2.1 OSNOVE KONSTRUIRANJA - Metoda mejnih stanj

KONSTRUKCIJA MORA BITI KONSTRUIRANA IN ZGRAJENA NA TAK NAČIN, DA:

- je s sprejemljivo verjetnostjo sposobna za namenjeno uporabo glede na predvideno življensko dobo in ceno
- s primerno stopnjo zanesljivosti, prestane vse obtežbe in njihove vplive, ki lahko nastopijo v času gradnje in uporabe ter ima primerno trajnost z ozirom na stroške vzdrževanja

MEJNA STANJA:

- Mejna stanja nosilnosti (stanja porušitve različnih vrst, ki lahko ogrozijo življenja):
 - * izguba ravnotežja konstrukcije ali dela konstrukcije kot togega telesa
 - * pretirane deformacije, porušitev ali nestabilnost konstrukcije ali njenega dela
- Mejna stanja uporabnosti (stanja pri katerih konstrukcija ne izpolnjuje pogojev uporabnosti)
 - * razpoke, ki zmanjšujejo trajnost konstrukcij
 - * deformacije in pomiki, ki onemogočajo normalno uporabo konstrukcije
 - * vibracije, ki povzročajo neugodno počutje uporabnikov in škodijo objektom

PROJEKTNE SITUACIJE (stanja):

- Trajne situacije - odgovarjajo času normalne uporabe
- Prehodne situacije - odgovarja npr. razmeram v času gradnje ali rekonstrukcije
- Nezgodne situacije
- “Potresna” situacija

VPLIVI – (POSPLOŠENA OBTEŽBA - Action - F):

- Obtežba (koncentrirana, ploskovna ali volumska) - direktna obtežba
- Vsiljene deformacije - indirektna obtežba (reologija, temperaturni vplivi in posedki)

Razdelitev vplivov glede na časovno spremenljivost:

- Stalni vplivi - G -(lastna teža, nekonstruktivni elementi, pritrjena oprema...),
P – (vpliv prednapetja)
- Spremenljivi vplivi -Q:

Npr. pri lesenih konstrukcijah:

- * dolgotrajne obtežbe (skladiščni prostori)
- * srednje-dolge obtežbe (vsiljene obtežbe) < sneg!!
- * kratkotrajne obtežbe (veter in sneg*)
- * trenutne obtežbe

- Neizgodni vplivi -A-(udarci vozil in plovil, eksplozije)

Razdelitev vplivov glede na prostorsko spremenljivost:

- Fiksni vplivi (lastna teža, stalna obtežba)
- Prosti vplivi (koristna obtežba, premična obtežba, veter, sneg) - najbolj neugodna postavitev!

Reprezentativne vrednosti spremenljivih vplivov:

- Karakteristična vrednost Q_k je glavna reprezentativna vrednost. S pomočjo faktorjev ψ_i (EC0, EC1) so določene še:
- Kombinacijska vrednost $\psi_0 Q_k$
- Pogosta vrednost $\psi_1 Q_k$
- Navidežno stalna vrednost $\psi_2 Q_k$

Projektne vrednosti vplivov - F_d :

Splošno: $F_d = \gamma_F F_k$;

$$G_d = \gamma_G G_k$$

$$Q_d = \gamma_Q Q_k \text{ ali } Q_d = \gamma_Q \psi_i Q_k$$

$$A_d = \gamma_A A_k \text{ (običajno podan že kar } A_d \text{)}$$

Geometrija konstrukcije: v splošnem $a_d = a_{nom}$ **PROJEKTNE VREDNOSTI UČINKOV OBTEŽB - E_d :**

Učinki - odziv konstrukcije: notranje sile, napetosti, deformacije, pomiki

$$E_d = E_d(F_d, a_d, X_d \dots)$$

KOMBINACIJE VPLIVOV (glej EN 1990):**Mejna stanja nosilnosti:**

Osnovne kombinacije vplivov (trajne in prehodne situacije):

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Nezgodne kombinacije vplivov (nezgodne situacije):

$$\sum G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Parcialni varnostni faktorji za vplive (osnovne kombinacije):

	Stalni vplivi	Spremenljivi vplivi	
		Prevladujoč	Preostali (kombinacijska vrednost)
Ugoden vpliv $\gamma_{F,inf}$	1,00*	0,00	0,00
Neugoden vpliv $\gamma_{F,sup}$	1,35*	1,50	1,50

* Za račun globalnega ravnotežja konstrukcij izjemoma lahko $\gamma_{G,inf}=0,90$ in $\gamma_{G,inf}=1,10$

Kdaj je nek stalni vpliv ugoden?

Stalni vplivi, katerih učinki v absolutnem smislu iskano količino-učinek povečujejo so neugodni, nasprotno pa so ugodni tisti vplivi, ki v absolutnem smislu zmanjšujejo iskano količino. Če je npr. upogibni moment zaradi stalne obtežbe v obravnavanem prerezu pozitiven, bomo pri določanju maksimalnega upogibnega momenta v tem prerezu stalno obtežbo upoštevali kot neugoden vpliv (torej $\gamma_{G,j} = \gamma_{G,j,sup}=1,35$), pri računu minimalnega upogibnega momenta pa bomo to isto stalno obtežbo upoštevali kot ugoden vpliv ($\gamma_{G,j}=\gamma_{G,j,inf}=1,00$).

Mejna stanja uporabnosti:

$$\sum G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{karakteristična kombinacija vplivov})$$

$$\sum G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{pogosta kombinacija vplivov})$$

$$\sum G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{navidezno stalna kombinacija vplivov})$$

LASTNOSTI MATERIALOV - X:

Pri dimenzioniranju konstrukcij je najpomembnejša lastnost materialov njihova trdnost **f** (tlačna, natezna, strižna).

Karakteristična vrednost - X_k (standardni testi, statistika-fraktila)

Računska vrednost - X_d :

$X_d = k X_k / \gamma_M$

 γ_M - materialni varnostni faktor:

Mejna stanja nosilnosti:

Osnovni obtežni primeri:

$\gamma_M = 1,3$ (masivni les, priključki in vse vrste ivernih plošč)

$\gamma_M = 1,25$ (lepljeni lamelirani les)

$\gamma_M = 1,20$ (les iz lepljenih furnirjev)

Nezgodni obtežni primeri:

$\gamma_M = 1,0$

Mejna stanja uporabnosti:

$\gamma_M = 1,0$

k – korekcijski faktor:

Npr. pri lesu $k = k_{mod}$ **modifikacijski faktor**, ki zajame vpliv trajanja obtežbe in vsebnosti vlage na trdnost, oziroma $k=1$ pri določanju projektnih vrednosti deformacijskih parametrov kot sta modul elastičnosti E_d in strižni modul G_d .

Razredi uporabe:

1. razred: določen je z vsebnostjo vlage, ki odgovarja $T=20^\circ\text{C}$ in relativni vlagi zraka, ki prekorači 65% le v nekaj tednih na leto ($v<12\%$)
2. razred: določen je z vsebnostjo vlage, ki odgovarja $T=20^\circ\text{C}$ in relativni vlagi zraka, ki prekorači 85% le v nekaj tednih na leto ($v<20\%$)
3. razred: je določen s klimatskimi pogoji, ki povzročajo vlažnost lesa večjo kot pri razredu 2 (pokrite konstrukcije le izjemoma v tem razredu)

Trajanje obtežbe-razredi trajanja obtežbe:

Razred trajanja obtežbe	Kumulativno trajanje karakteristične obtežbe	Primer obtežbe
Trajna	> 10 let	lastna teža
Dolgotrajna	6 mesecev do 10 let	koristna v skladiščih
Srednje dolga	1 teden do 6 mesecev	vsiljena obtežba
Kratkotrajna	< 1 teden	sneg*, veter
Trenutna		nezgodna obtežba

* pri močnejši obtežbi s snegom in njenem daljšem času delovanja se le-ta smatra za srednje dolgo otežbo

 k_{mod} za masivni, vezani in lepljeni lamelirani les (EN 1995-1-1: Pr.:3.1):

$$1,1 \geq k_{mod} \geq 0,50$$

Razred trajanja obtežbe	Razred uporabe		
	1	2	3
Trajna	0,60	0,60	0,50
Dolgotrajna	0,70	0,70	0,55
Srednje dolga	0,80	0,80	0,65
Kratkotrajna	0,90	0,90	0,70
Trenutna	1,10	1,10	0,90

Če so v obravnavano obtežno kombinacijo vključene obtežbe iz **različnih razredov trajanja** obtežbe se vzame k_{mod} , ki pripada obtežbi z **najkrajšim trajanjem** (pozor - primer, ko bi bila le stalna obtežba in je k_{mod} manjši kot pri kombinaciji dveh obtežb).

2.2 MEJNA STANJA NOSILNOSTI

- Obravnavamo stanja porušitve različnih vrst, ki lahko ogrozijo življenja:

* *izguba ravnotežja konstrukcije ali dela konstrukcije kot togega telesa*

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

Preverjanje statičnega ravnotežja se po [točki 2.4.4](#) EN 1995-1-1 (glej tudi EN1990) nanaša na projektna stanja ravnotežja – EQU kot sta sidranje in preverjanje dviganja neprekinjenih nosilcev nad ležišči. V primeru kontrole statičnega ravnotežja moramo dokazati da velja:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

pri čemer sta

- $E_{d,dst}$ projektna vrednost učinkov, ki zmanjšujejo stabilnost

- $E_{d,stab}$ projektna vrednost učinkov, ki povečujejo stabilnost

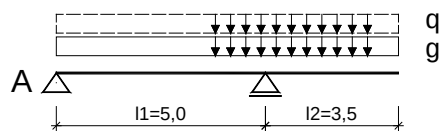
Učinek s splošno oznako E , pri kontroli statičnega ravnotežja najpogosteje predstavlja reakcija v podpori.

Primer: Nosilec s previsnim poljem

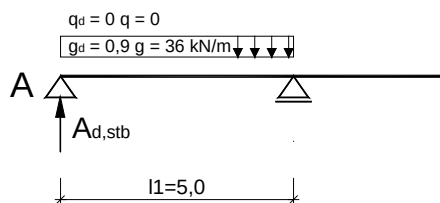
Preveriti je potrebno pogoj statičnega ravnotežja – EQU:

Stalna obtežba: $g = 40 \text{ kN/m}$

Spremenljiva obtežba: $q = 30 \text{ kN/m}$

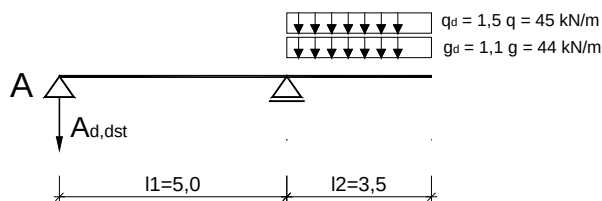


Stabilizacijski del obtežbe:



$$A_{d,stab} = 0,9 \cdot 40 \cdot 5,0 / 2 = 90 \text{ kN}$$

Destabilizacijski del obtežbe:



$$A_{d,dst} = (1,1 \cdot 40 + 1,5 \cdot 30)(5,0 + 3,5/2) / 5,0 = 109 \text{ kN}$$

$$A_{d,dst} = 109 \text{ kN} > A_{d,stab} = 90 \text{ kN} \rightarrow \text{pogoj ni izpolnjen!}$$

$$\rightarrow \text{potrebno sidranje za silo: } \Delta A_d = A_{d,dst} - A_{d,stab} = 109 - 90 = 19 \text{ kN}$$

* *pretirane deformacije, porušitev ali nestabilnost konstrukcije ali njenega dela*

$$E_d \leq R_d$$

- **Projektna obremenitev** $\{E\}_d^T = \{N_x, M_y, M_z, V_y, V_z, M_x\}_d$

je pri lesenih konstrukcijah v splošnem lahko izračunana po **linearni teoriji elastičnosti** z upoštevanjem računskih obtežb, ki so določene s pomočjo ustreznih vrednosti varnostnih faktorjev obtežbe.

Zaradi privzetega linearno-elastičnega obnašanja lesa je tudi pri računskih dokazih, ki sodijo v MEJNA STANJA NOSILNOSTI, **možna superpozicija obremenitev, napetosti, deformacij in pomikov**, ki izvirajo iz različnih obtežb oziroma obtežnih primerov.

- V računu upoštevamo **ciljne dimenzije** konstrukcijskih elementov, ki so opredeljene kot predvidene dimenzije pri vlažnosti lesa $v = 20 \%$ (tolerančni razred 1 po prEN 336)
- Upoštevati je potrebno **vse oslabitve** prereзов **razen naslednjih izjem**:
 - * oslabitev zaradi žeblicev s premerom $d \leq 6\text{mm}$, ki so zabiti brez predhodnega vrtanja lukenj,
 - * oslabitev zaradi lukenj v tlačeni coni, če so le-te zapolnjene z bolj togim materialom od lesa,
 - * oslabitev simetrično nameščenih lukenj za vijake, moznike in žeblice pri stebrih.

2.2.1 Centrični nateg v smeri vlaken

- Natezne palice so zelo občutljive na napake v lesu in eventualne oslabitve!
- Pri nesimetričnih oslabitvah gre v bistvu za ekscentrični nateg-glej upogib z natezno osno silo.
- Ni problemov stabilnosti!

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad \text{oziroma} \quad \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

Projektna napetost:
$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{\text{netto}}}$$

Projektna natezna trdnost:
$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m}$$

Pri elementih, ki so obremenjeni s centrično natezno silo v smeri vlaken in je njihova največja dimenzija h ($h > b$) manjša od 150 mm, lahko $f_{t,0,k}$ povečamo s faktorjem k_h :

$$k_h = \min [(150/h)^{0,2}; 1,3]; \quad f'_{t,0,k} = f_{t,0,k} \cdot k_h \quad \rightarrow \quad f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f'_{t,0,k}}{\gamma_m} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,0,k} \cdot k_h}{\gamma_m}$$

2.2.2 Nateg v smeri pravokotno na vlakna

- Zelo nezanesljivo, po možnosti ne računati na natezno nosilnost v smeri pravokotno na vlakna.
- EC5 to vrsto obremenitve sicer dopušča, a le za enakomerno obremenjeni volumen lesa V (homogeno napetostno stanje), vendar je karakteristična natezna trdnost $f_{t,90,k}$ le $1/60 f_{t,0,k}$ do $1/30 f_{t,0,k}$, pri dimenzioniranju pa je potrebno upoštevati vpliv velikosti elementa.
- Po standardu JUS U.C9.200 ta vrsta obremenitve ni bila dovoljena

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad \text{oziroma} \quad \frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} \leq 1$$

Projektna napetost:
$$\sigma_{t,90,d} = \frac{N_d}{A_{\text{netto}}}$$

Projektna natezna trdnost:
$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m}$$

2.2.3 Centrični tlak v smeri vlaken

- Oslabitve tesno zapolnjene z materialom večje togosti od lesa se ne odštevajo od prereza (preko tega materiala se namreč lahko prenašajo tlačne napetosti).
- Pri vitkih elementih nastopa nevarnost uklona → načeloma je potrebna kontrola stabilnosti tlačnih elementov

Kriterij upoštevanja uklona pri dokazu napetosti:

$$\lambda_{rel,y} \geq 0,3 \text{ relativna vitkost okoli osi } y \text{ (upogib v smeri osi } z) \quad \text{in/ali}$$

$$\lambda_{rel,z} \geq 0,3 \text{ relativna vitkost okoli osi } z \text{ (upogib v smeri osi } y)$$

Račun relativne vitkosti :

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} ; \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} \rightarrow \lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} ; \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} \rightarrow \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

a) Centrični tlak brez upoštevanja uklona

Dimenzioniranje brez upoštevanja uklona lahko izvedemo pri:

- tako imenovanih “kratkih” palicah (izkušnje),
- v prerezi (tudi pri vitkih elementih) kjer je kljub eventualnemu uklonu elementa kot celote še vedno samo osna sila brez upogibnega momenta in pri
- vseh palicah z izpolnjenima pogojev relativne vitkosti: $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ in $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad \text{oziroma} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

Projektna napetost:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}} = \frac{N_d}{A}$$

Projektna tlačna trdnost:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$$

b) Centrični tlak z upoštevanjem uklona

Ko velja $\lambda_{rel,y} > 0,3$ **in/ali** $\lambda_{rel,z} > 0,3$ je potrebno pri dokazu napetosti zaradi centrične tlačne sile upoštevati uklon. V tem primeru torej ne moremo računati na celotno tlačno nosilnost, ki jo lahko eksperimentalno ugotovimo pri enoosnem tlačnem preizkusu razmeroma kratkih preizkušancev. Vpliv vitkosti elementa na zmanjšanje njegove tlačne nosilnosti zajamemo s korekcijskima faktorjema $k_{c,y}$ oziroma $k_{c,z}$ s katerima korigiramo osnovno tlačno trdnost lesa v smeri vlaken.

Splošno morata biti izpolnjena pogoja:

$$1. \quad \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} f_{c,0,d} \quad \text{oziroma} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$2. \quad \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} f_{c,0,d} \quad \text{oziroma} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

Projektna napetost:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}} = \frac{N_d}{A}$$

Projektna tlačna trdnost:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$$

Uklonska korekcijska faktorja $k_{c,y}$ in $k_{c,z}$ sta določena z izrazoma:

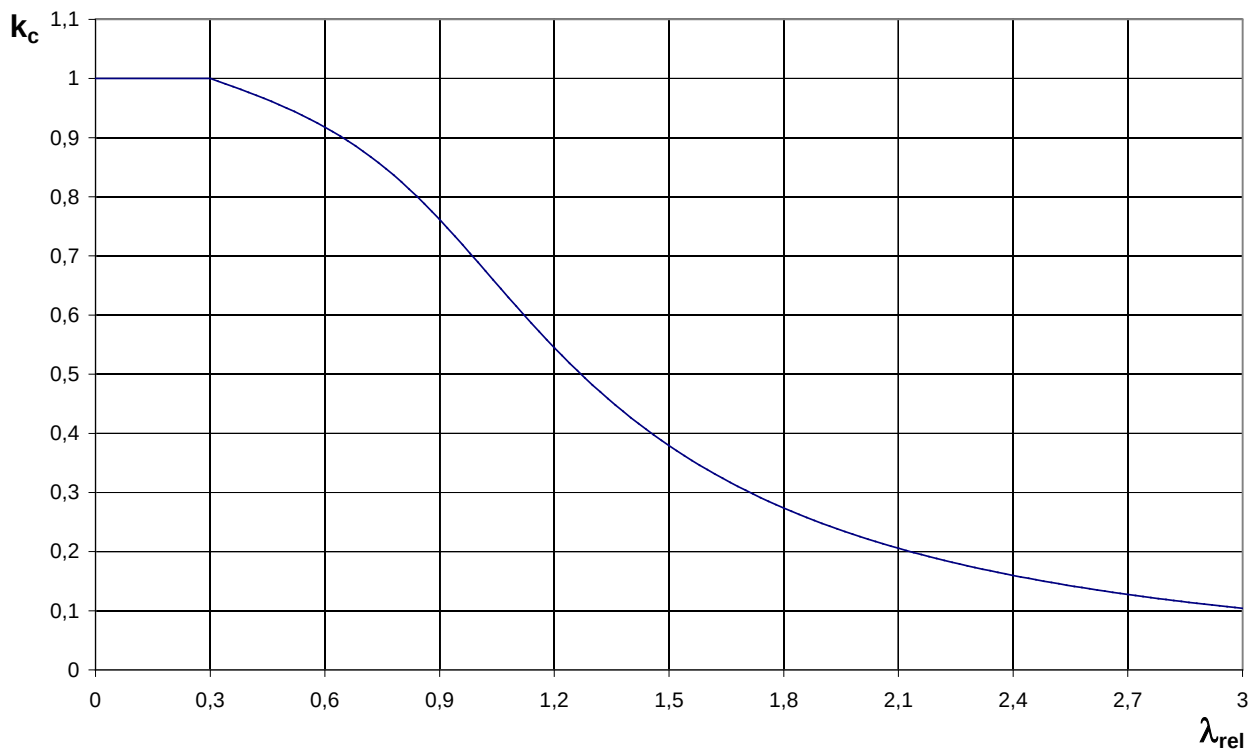
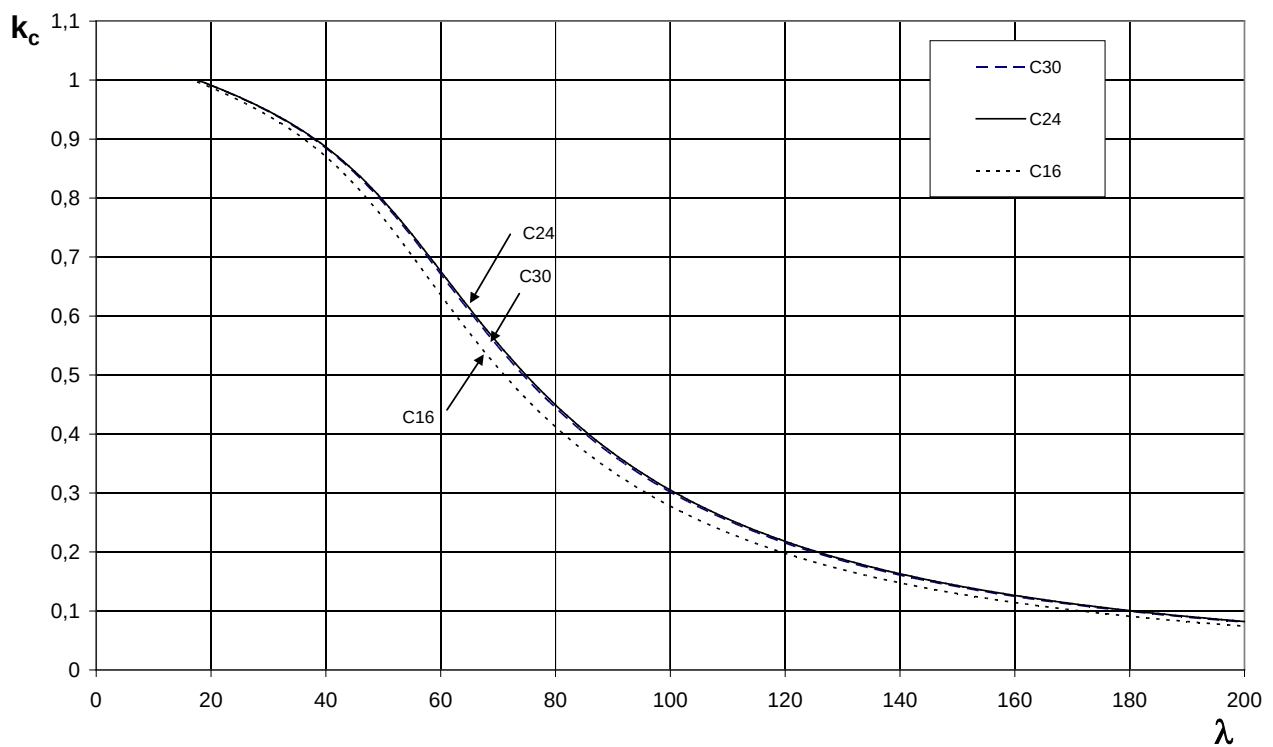
$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad \text{oziroma analogno} \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

Pri tem pa je pomožni faktor $\beta_c = 0,2$ za masivni les oziroma

$\beta_c = 0,1$ za lepljeni lamelirani les.

Uklonski korekcijski faktor k_c v odvisnosti od relativne vitkosti λ_{rel} Uklonski korekcijski faktor k_c v odvisnosti od geometrijske vitkosti λ

Uklonski koeficient k_c v odvisnosti od relativne vitkosti λ_{rel} (vsi trdnostni razredi)										
λ_{rel}	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,30	1,000	0,998	0,996	0,993	0,991	0,989	0,986	0,984	0,982	0,979
0,40	0,977	0,974	0,972	0,969	0,967	0,964	0,961	0,959	0,956	0,953
0,50	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,935	0,932	0,928	0,925	0,921
0,60	0,918	0,914	0,910	0,907	0,903	0,899	0,894	0,890	0,886	0,882
0,70	0,877	0,872	0,868	0,863	0,858	0,853	0,847	0,842	0,836	0,831
0,80	0,825	0,819	0,813	0,807	0,801	0,795	0,788	0,782	0,775	0,768
0,90	0,762	0,755	0,748	0,740	0,733	0,726	0,719	0,712	0,704	0,697
1,00	0,689	0,682	0,674	0,667	0,660	0,652	0,645	0,637	0,630	0,622
1,10	0,615	0,608	0,601	0,593	0,586	0,579	0,572	0,565	0,558	0,552
1,20	0,545	0,538	0,532	0,525	0,519	0,512	0,506	0,500	0,494	0,488
1,30	0,482	0,476	0,470	0,464	0,459	0,453	0,448	0,442	0,437	0,432
1,40	0,427	0,422	0,417	0,412	0,407	0,402	0,397	0,393	0,388	0,384
1,50	0,379	0,375	0,371	0,366	0,362	0,358	0,354	0,350	0,346	0,342
1,60	0,339	0,335	0,331	0,328	0,324	0,321	0,317	0,314	0,310	0,307
1,70	0,304	0,301	0,297	0,294	0,291	0,288	0,285	0,282	0,279	0,277
1,80	0,274	0,271	0,268	0,266	0,263	0,260	0,258	0,255	0,253	0,250
1,90	0,248	0,245	0,243	0,241	0,238	0,236	0,234	0,232	0,230	0,227
2,00	0,225	0,223	0,221	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207
2,10	0,206	0,204	0,202	0,200	0,198	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190
2,20	0,188	0,187	0,185	0,184	0,182	0,181	0,179	0,178	0,176	0,175
2,30	0,173	0,172	0,170	0,169	0,168	0,166	0,165	0,164	0,162	0,161
2,40	0,160	0,158	0,157	0,156	0,155	0,154	0,152	0,151	0,150	0,149
2,50	0,148	0,147	0,146	0,144	0,143	0,142	0,141	0,140	0,139	0,138
2,60	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	0,130	0,129	0,128
2,70	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	0,121	0,120
2,80	0,119	0,118	0,117	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	0,112
2,90	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,108	0,107	0,106	0,105	0,105

Uklonski koeficient k_c v odvisnosti od geometrijske vitkosti λ (les C30)										
λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,995
20	0,991	0,987	0,983	0,979	0,974	0,970	0,966	0,961	0,956	0,952
30	0,947	0,941	0,936	0,930	0,925	0,919	0,912	0,906	0,899	0,892
40	0,885	0,877	0,869	0,861	0,852	0,843	0,833	0,824	0,814	0,803
50	0,792	0,781	0,770	0,758	0,746	0,734	0,722	0,709	0,696	0,684
60	0,671	0,658	0,646	0,633	0,620	0,608	0,596	0,583	0,571	0,560
70	0,548	0,537	0,525	0,514	0,504	0,493	0,483	0,473	0,463	0,454
80	0,444	0,435	0,427	0,418	0,410	0,401	0,393	0,386	0,378	0,371
90	0,364	0,357	0,350	0,343	0,337	0,330	0,324	0,318	0,312	0,307
100	0,301	0,296	0,291	0,286	0,281	0,276	0,271	0,266	0,262	0,257
110	0,253	0,249	0,245	0,241	0,237	0,233	0,229	0,226	0,222	0,219
120	0,215	0,212	0,209	0,206	0,202	0,199	0,196	0,194	0,191	0,188
130	0,185	0,183	0,180	0,177	0,175	0,172	0,170	0,168	0,165	0,163
140	0,161	0,159	0,157	0,155	0,153	0,151	0,149	0,147	0,145	0,143
150	0,141	0,139	0,138	0,136	0,134	0,133	0,131	0,129	0,128	0,126
160	0,125	0,123	0,122	0,120	0,119	0,118	0,116	0,115	0,114	0,112
170	0,111	0,110	0,108	0,107	0,106	0,105	0,104	0,103	0,102	0,100
180	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,093	0,092	0,091	0,090

Uklonski koeficient k_c v odvisnosti od geometrijske vitkosti λ (les C24)										
λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,995
20	0,991	0,987	0,983	0,979	0,975	0,971	0,966	0,962	0,957	0,952
30	0,948	0,942	0,937	0,932	0,926	0,920	0,914	0,907	0,901	0,894
40	0,887	0,879	0,871	0,863	0,854	0,845	0,836	0,827	0,817	0,806
50	0,796	0,785	0,774	0,762	0,750	0,738	0,726	0,714	0,701	0,689
60	0,676	0,663	0,651	0,638	0,626	0,613	0,601	0,589	0,577	0,565
70	0,553	0,542	0,531	0,520	0,509	0,498	0,488	0,478	0,468	0,459
80	0,449	0,440	0,431	0,423	0,414	0,406	0,398	0,390	0,382	0,375
90	0,368	0,361	0,354	0,347	0,341	0,334	0,328	0,322	0,316	0,310
100	0,305	0,299	0,294	0,289	0,284	0,279	0,274	0,270	0,265	0,261
110	0,256	0,252	0,248	0,244	0,240	0,236	0,232	0,228	0,225	0,221
120	0,218	0,215	0,211	0,208	0,205	0,202	0,199	0,196	0,193	0,190
130	0,188	0,185	0,182	0,180	0,177	0,175	0,172	0,170	0,167	0,165
140	0,163	0,161	0,159	0,156	0,154	0,152	0,150	0,148	0,147	0,145
150	0,143	0,141	0,139	0,138	0,136	0,134	0,133	0,131	0,129	0,128
160	0,126	0,125	0,123	0,122	0,120	0,119	0,118	0,116	0,115	0,114
170	0,112	0,111	0,110	0,109	0,107	0,106	0,105	0,104	0,103	0,102
180	0,101	0,100	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,093	0,093	0,092

Uklonski koeficient k_c v odvisnosti od geometrijske vitkosti λ (les C16)										
λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,995	0,991
20	0,987	0,983	0,979	0,974	0,970	0,965	0,960	0,955	0,950	0,945
30	0,939	0,934	0,928	0,921	0,915	0,908	0,901	0,894	0,886	0,878
40	0,870	0,861	0,852	0,843	0,833	0,823	0,812	0,801	0,790	0,778
50	0,766	0,754	0,741	0,728	0,715	0,702	0,689	0,676	0,662	0,649
60	0,636	0,622	0,609	0,596	0,584	0,571	0,559	0,547	0,535	0,523
70	0,512	0,501	0,490	0,479	0,469	0,459	0,449	0,439	0,430	0,421
80	0,412	0,403	0,395	0,387	0,379	0,371	0,364	0,356	0,349	0,342
90	0,336	0,329	0,323	0,316	0,310	0,305	0,299	0,293	0,288	0,283
100	0,277	0,272	0,268	0,263	0,258	0,254	0,249	0,245	0,241	0,237
110	0,233	0,229	0,225	0,221	0,218	0,214	0,211	0,207	0,204	0,201
120	0,198	0,195	0,192	0,189	0,186	0,183	0,180	0,178	0,175	0,172
130	0,170	0,168	0,165	0,163	0,160	0,158	0,156	0,154	0,152	0,150
140	0,148	0,146	0,144	0,142	0,140	0,138	0,136	0,134	0,133	0,131
150	0,129	0,128	0,126	0,125	0,123	0,121	0,120	0,119	0,117	0,116
160	0,114	0,113	0,112	0,110	0,109	0,108	0,106	0,105	0,104	0,103
170	0,102	0,101	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,093	0,092
180	0,091	0,090	0,089	0,088	0,087	0,086	0,085	0,085	0,084	0,083

2.2.4 Tlak pod poljubnim kotom α na smer vlaken

- Tlak pod poljubnim kotom glede na smer vlaken srečamo predvsem pri tlačnih priključkih lesenih elementov pri katerih se v stični ploskvi pojavljajo tako imenovane kontaktne napetosti.
- Druga možnost za pojav napetosti pod poljubnim kotom glede na smer vlaken pa je pri sicer predvidenem centričnem tlaku v elementu a “nepravilnem” poteku vlaken. Na take primere moramo biti pozorni na gradbišču in vse neprimerne kose lesa izločiti.

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (k_{c,90} - \text{glej pri tlaku pod pravim kotom})$$

Poseben primer predstavlja tlak pravokotno na vlakna - $\alpha = 90^\circ$

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

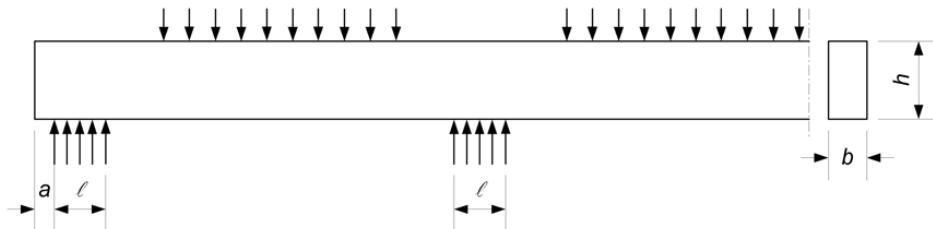
$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad \text{oziroma} \quad \frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \leq 1$$

Projektna napetost: $\sigma_{c,90,d} = \frac{F_d}{A} \quad (A = l \cdot b \text{ glej sliko})$

Projektna tlačna trdnost: $f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m}$

S koeficientom $k_{c,90}$ se zajame lego obtežbe, možnost razpokanja lesa in nivo tlačnega deformiranja. Razen v primerih, ki so navedeni v EN1995-1-1, pri katerih gre za ugoden vpliv večosnega napetostnega stanja se za $k_{c,90}$ upošteva vrednost 1,0. V primerih navedenih v standardu se lahko za $k_{c,90}$ lahko upošteva večjo vrednost vendar ne več kot 4,0.

Primer – razmere v območju podpor:



Krajna podpora (če je $a \leq h/3$): $k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250}\right) \left(1 + \frac{h}{12l}\right)$

Vmesna podpora in krajna podpora ($a > h/3$): $k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250}\right) \left(1 + \frac{h}{6l}\right)$

Za ostale primere, ko imamo koncentrirano obtežbo na eni strani nosilca in je druga stran podprta po vsej dolžini ali le deloma so izrazi za $k_{c,90}$ podani v poglavju 6.1.5 standarda EN 1995-1-1.

2.2.5 Upogib

- Oslabitev v tlačni coni zapolnjene z materialom večje togosti od lesa se ne odšteva od prereza, problematično pa je to lahko pri večjih obtežnih primerih, ko se lahko menja predznak momentov in se zamenjata tlačna in natezna cona.
- Nevarnost bočne zvrnitve → načeloma je potrebna kontrola stabilnosti pri čistem upogibu in upogibu v kombinaciji s tlačno osno silo ($\lambda_{rel,m} = ?$ relativna vitkost pri upogibu)

Za **bočno podprte elemente** morata biti za vse točke prereza v splošnem primeru dvoosnega (poševnega) upogiba izpolnjena pogoja:

$$1. \quad k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

in

$$2. \quad \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{m,y,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$ in $\sigma_{m,z,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y$ okoli glavnih osi!

Projektne upogibne trdnosti: $f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$ in $f_{m,z,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$ (za homogen prerez)

Pri upogibno obremenjenih elementih z višino h (glede na delujoči upogibni moment) manjšo od 150 mm, lahko $f_{m,k}$ povečamo s faktorjem k_h :

$$k_h = \min [(150/h)^{0,2}; 1,3]; \quad f'_{m,k} = f_{m,k} \cdot k_h \rightarrow f_{m,d} = k_{mod} \frac{f'_{m,k}}{\gamma_m} = k_{mod} \frac{f_{m,k} \cdot k_h}{\gamma_m}$$

Koeficient k_m : $k_m = 0.7$ za prereze pravokotne oblike

$k_m = 1.0$ za prereze drugih oblik

Za poseben primer, ko je eden izmed momentov enak nič - enoosni upogib

Ostane le strožji izmed zgornjih dveh pogojev za dvoosni upogib:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad \text{ozioroma} \quad \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{m,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$ ali $\sigma_{m,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y$

Projektne upogibne trdnosti: $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$ ozioroma $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f'_{m,k}}{\gamma_m}$.

Problem stabilnosti - bočna zvrnitev (uklon izven ravnine obremenjevanja):

Relativna vitkost pri upogibu je določena z izrazom:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

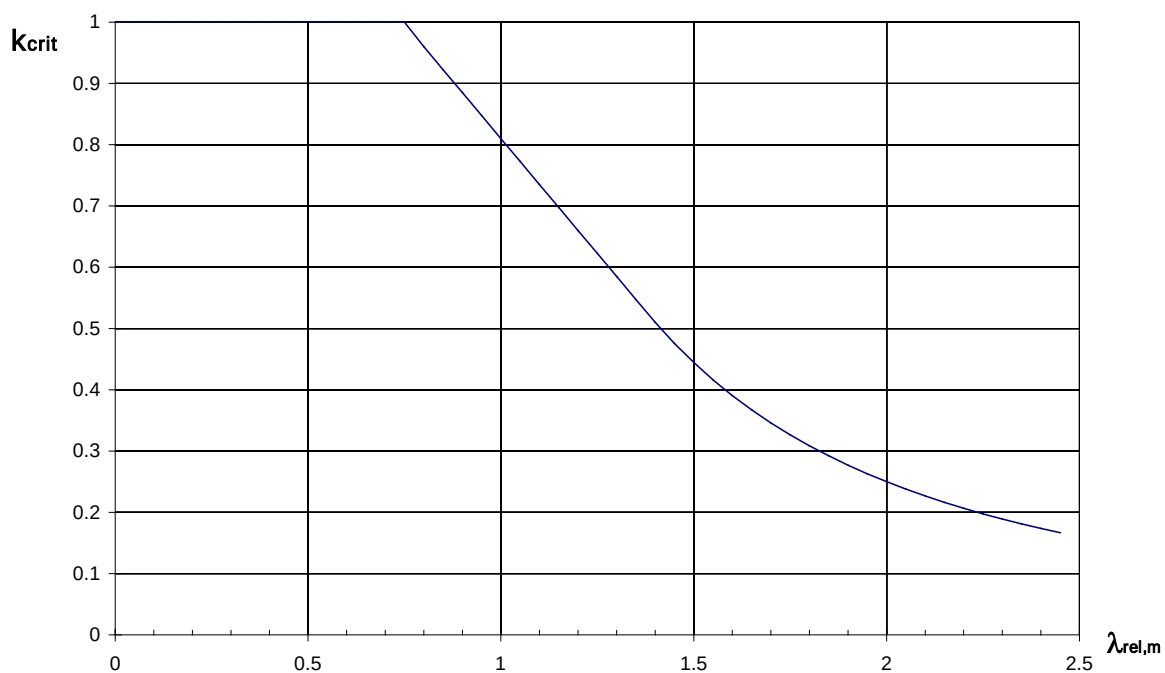
Pri tem je $\sigma_{m,crit}$ kritična upogibna napetost izračunana po klasični teoriji stabilnosti z upoštevanjem $E_{0,05}$ za modul elastičnosti lesa.

Splošni pogoj kontrole napetosti preide v :

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Koeficient k_{crit} s katerim korigiramo osnovno upogibno trdnost bočno zavarovanih upogibnih elementov $f_{m,d}$ je določen z izrazi:

$k_{crit} =$	1	za	$\lambda_{rel,m} \leq 0,75$
	$1,56 - 0,75\lambda_{rel,m}$	za	$0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,40$
	$1/\lambda_{rel,m}^2$	za	$1,40 < \lambda_{rel,m}$



Kritično upogibno napetost $\sigma_{m,crit}$ lahko v skladu z EN1995-1-1 določimo po naslednjem izrazu:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef} W_y}$$

pri čemer so:

I_z vztrajnostni moment prereza okoli šibkejši osi (z),

I_{tor} torzijski vztrajnostni moment prereza (glej točko 2.2.9 v nadaljevanju),

l_{ef} učinkovita dolžina nosilca, ki je odvisna od pogojev podpiranja in lege obtežbe (glej preglednico spodaj),

W_y odpornostni moment okoli močnejše osi (y).

V primeru elementov iz lesa iglavcev s polnim pravokotnim prečnim prerezem lahko kritično upogibno napetost $\sigma_{m,crit}$ določimo z naslednjim poenostavljenim izrazom:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0,05} \quad \text{pri čemer je } b \text{ širina nosilca, } h \text{ pa višina nosilca}$$

Statični sistem nosilca	Vrsta obtežbe	l_{ef}/l *
Prostoležeči nosilec	Konstanten upogibni moment	1,0
	Enakomerno razporejena obtežba	0,9
	Koncentrirana sila v sredini razpona	0,8
Konzola	Enakomerno razporejena obtežba	0,5
	Koncentrirana sila na prostem koncu	0,8
* Razmerje med učinkovito dolžino l_{ef} in dolžino nosilca l velja za nosilce, ki so torzijsko podprti in obteženi v težiščni osi. Če deluje obtežba na tlačni strani nosilca je potrebno l_{ef} povečati za $2h$, če pa obtežba deluje na natezni strani pa se l_{ef} lahko zmanjša za $0,5 h$.		

2.2.6 Upogib v kombinaciji z natezno osno silo

- Oslabitev v tlačeni coni zapolnjenih z materialom večje togosti od lesa se ne odšteva od prereza

Za **bočno podprte elemente** morata biti za vse točke prereza v splošnem primeru dvoosnega (poševnega) upogiba v kombinaciji z natezno osno silo izpolnjena naslednja pogoja:

$$1. \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

in

$$2. \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}}$; $\sigma_{m,y,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$; $\sigma_{m,z,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y$ okoli glavnih osi!

Projektne trdnosti: $f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m}$ in $f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$; $f_{m,z,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$
(za homogene prereze)

Koeficient k_m : $k_m = 0.7$ za prereze pravokotne oblike
 $k_m = 1.0$ za prereze drugih oblik

Za poseben primer, ko je eden izmed momentov enak 0 - enoosni upogib z natezno osno silo:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}}$ in $\sigma_{m,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$ ali $\sigma_{m,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y$

Projektne trdnosti: $f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m}$ $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$

2.2.7 Upogib v kombinaciji s tlačno osno silo

2.2.7.1 Upogib v kombinaciji s tlačno osno silo pri stebrih

Pri vitkih elementih nastopa nevarnost uklona → načeloma je potrebna kontrola stabilnosti osno-upogibno obremenjenih stebrov.

Kriterij upoštevanja uklona pri dokazu napetosti (enako kot pri točki 2.2.3): **ali je**

$\lambda_{rel,y} > 0,3$ relativna vitkost okoli osi y (upogib v smeri osi z) **in/ali**

$\lambda_{rel,z} > 0,3$ relativna vitkost okoli osi z (upogib v smeri osi y)

Račun relativne vitkosti :

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} ; \quad \sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} ; \quad \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2}$$

a) Uklona ni potrebno upoštevati (Kadar velja: $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ in $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$):

Za **bočno podprte stebre** morata biti za vse točke prereza v splošnem primeru dvoosnega (poševnega) upogiba v kombinaciji s tlačno osno silo izpolnjena pogoja:

$$1. \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

in

$$2. \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}}$; $\sigma_{m,y,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$; $\sigma_{m,z,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y$ okoli glavnih osi!

Projektne trdnosti: $f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$ in $f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$; $f_{m,z,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$
(za homogene prereze)

Koeficient k_m : $k_m = 0.7$ za prereze pravokotne oblike
 $k_m = 1.0$ za prereze drugih oblik

Za poseben primer, ko je eden izmed momentov enak nič - enoosni upogib s tlačno osno silo:

Zgornja pogoja preideta v primeru enoosnega upogiba v naslednji pogoj:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}}$ in $\sigma_{m,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$ ali $\sigma_{m,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y$

Projektne trdnosti: $f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$ $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$

b) Uklon je potrebno upoštevati (Kadar velja: ali $\lambda_{rel,y} > 0,3$ in/ali $\lambda_{rel,z} > 0,3$):

Za vse točke prereza stebra v splošnem primeru dvoosnega (poševnega) upogiba v kombinaciji s tlačno osno silo morata biti izpolnjena pogoja:

$$1. \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

in

$$2. \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}}$; $\sigma_{m,y,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$; $\sigma_{m,z,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y$ okoli glavnih osi!

Projektne trdnosti: $f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$ in $f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$; $f_{m,z,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$
(za homogene prereze)

Koeficient k_m : $k_m = 0.7$ za prereze pravokotne oblike in $k_m = 1.0$ za prereze drugih oblik

Račun faktorjev $k_{c,y}$ in $k_{c,z}$ poteka enako kot pri točki 2.2.3:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad \text{oziroma analogno} \quad k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

pri tem je faktor $\beta_c = 0,2$ za masivni les
 $\beta_c = 0,1$ za lepljeni lamelirani les

Za poseben primer, ko je eden izmed momentov enak nič - enoosni upogib stebra s tlačno osno silo:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}}$ in $\sigma_{m,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$ ali $\sigma_{m,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y$

Projektne trdnosti: $f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$ $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$

Koeficient k_c : $k_c = \min(k_{c,y}; k_{c,z})$

2.2.7.2 Upogib v kombinaciji s tlačno osno silo pri nosilcih

V primeru kombinacije upogibnega momenta M_y okoli močne osi nosilca in tlačne osne sile mora biti za vse točke prereza izpolnjen naslednji pogoj glede napetosti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 \leq 1$$

Projektne napetosti: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}}$; $\sigma_{m,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z$

Projektne trdnosti: $f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$ in $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$ oziroma $f_{m,d} = k_{mod} \frac{f'_{m,k}}{\gamma_m}$
(za homogene prereze)

Koeficient k_m : $k_m = 0.7$ za prereze pravokotne oblike in $k_m = 1.0$ za prereze drugih oblik

Račun faktorja $k_{c,z}$ poteka enako kot pri točki 2.2.3:

$$k_{c,z} = \min \left(\frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}; 1 \right)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

pri tem je faktor $\beta_c = 0,2$ za masivni les
 $\beta_c = 0,1$ za lepljeni lamelirani les

Koeficient k_{crit} s katerim korigiramo osnovno upogibno trdnost bočno zavarovanih upogibnih elementov $f_{m,d}$ je določen z izrazi, ki iz poglavja 2.2.5:

$k_{crit} =$	1	za	$\lambda_{rel,m} \leq 0,75$
	$1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m}$	za	$0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,40$
	$1/\lambda_{rel,m}^2$	za	$1,40 < \lambda_{rel,m}$

2.2.8 Strig

Splošno mora biti za vse strižno obremenjene točke lesenih elementov izpolnjen pogoj:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad \text{oziroma} \quad \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

Projektna strižna trdnost: $f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_m}$

Projektne strižne napetosti τ_d pri različnih vrstah obremenitve:

- **Čisti strig:**



$$\tau_d = \frac{H_d}{b \cdot l_v} \quad \text{oziroma bolje} \quad \tau_d = \frac{H_d}{b \cdot l_{vr}}$$

Nadomestna reducirana dolžina l_{vr} povzeta po JUS U.C9.200 (EN 1995-1-1 je ne podaja):

če $l_v < 8t \rightarrow l_{vr} = l_v$ (ni redukcije) sicer pa:

l_v	8t	9t	10t	12t	15t in več
l_{vr}	8t	8,5t	9t	9,5t	10t

torej velja vedno $l_{vr} \leq 10t$!

- **Strig zaradi prečne sile (upogibni elementi):**



$$\tau_d(z) = \frac{V_d \cdot S_y(z)}{I_y \cdot b(z)} ; \quad \text{ekstrem} \quad \max \tau_d = \frac{V_d}{I_y} \max \frac{S_y}{b}$$

Za prereze regularnih oblik običajno uporabimo izraz : $\max \tau_d = \frac{V_d}{A^*}$

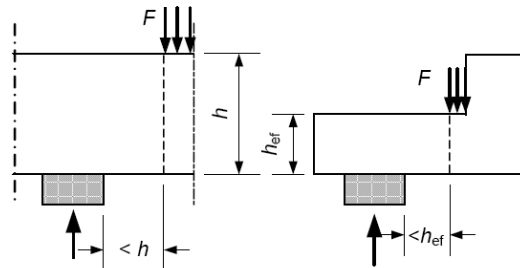
pri tem je A^* - pomožni prečni prerez elementa:

- pravokotnik: $A^* = \frac{2A}{3} = \frac{2 \cdot b \cdot h}{3}$

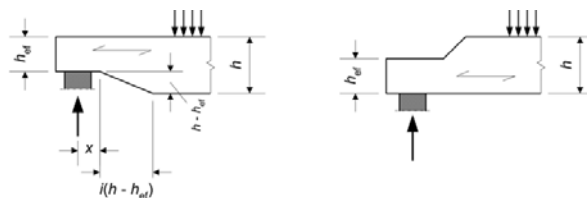
- krog: $A^* = \frac{3A}{4} = \frac{3 \cdot \pi \cdot d^2}{16}$

Redukcija prečne sile ob podporah:

Ob podporah prispevka koncentrirane obtežbe F , ki deluje na zgornji strani nosilca znotraj razdalje h oziroma h_{ef} od roba podpore, k prečni sili ni potrebno upoštevati, zaradi ugodnega vpliva večosnega napetostnega stanja v tem območju. Pri oslabljenih elementih lahko prečno silo reduciramo le v primeru, ko je oslabitev glede na podporo na nasprotni strani (kot na spodnji sliki desno).



Posebne razmere se pojavijo pri nosilcih s spremenljivo višino ob podpori:



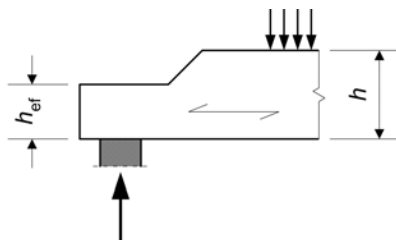
Splošno mora veljati

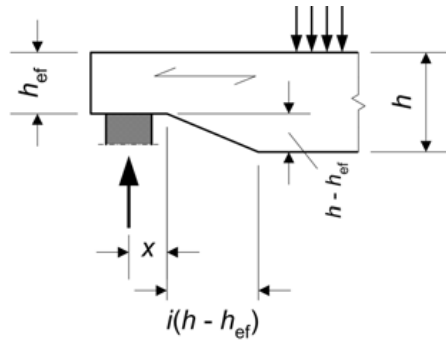
$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d}$$

Ločimo dva primera oslabitev prereza:

a) Oslabitev na neobremenjeni strani (na nasprotni strani podpore):

$k_v=1$ (taka oslabitev v bistvu ne vpliva na strižno odpornost prereza)



b) Oslabitev na obremenjeni strani (vnos reakcije na spodnji strani-oslabitev spodaj):

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ k_n \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right) \\ \frac{1}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right.$$

pri tem so $\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$

h_{ef} višina nosilca ob podpori

h osnovna višina nosilca na neoslabljenem delu

i (karakteristika naklona oslabitve) $i = \frac{1}{\tan \beta}$

k_n pa koeficient, ki znaša:

$k_n = 5$ za masivni les in

$k_n = 6,5$ za lepljeni lamelirani les

2.2.9 Torzija



Splošno mora biti za vse točke torzijsko obremenjenih lesenih elementov izpolnjen pogoj:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} \cdot f_{v,d} \quad \text{oziroma} \quad \frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} \leq 1$$

Koeficient k_{shape} , ki je odvisen od oblike prečnega prereza je podan kot:

$$k_{shape} = 1,2 \quad \text{za krožne prečne prereze}$$

$$k_{shape} = \min (1 + 0,15 \cdot h/b; 2,0) \quad \text{za pravokotne prečne prereze,}$$

pri čemer je h večja, b pa manjša dimenzija pravokotnega prečnega prereza.

Projektna strižna (torzijska) trdnost:

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_m}$$

Torzijski zasuk elementa dolžine l :

$$\varphi = \int_0^l d\varphi = \int_0^l \frac{T}{GI_t} dx = \frac{T}{GI_t} \int_0^l dx = \frac{T \cdot l}{GI_t}$$

Projektne torzijske strižne napetosti $\tau_{tor,d}$: splošno velja $\tau_{tor,d} = \frac{T_d}{W_t}$

Prerez eliptične oblike:

$$I_t = \frac{\pi}{16} \frac{h^3 b^3}{h^2 + b^2} \quad \boxed{W_{t1} = \frac{\pi}{16} b^2 h} \quad W_{t2} = \frac{\pi}{16} b h^2$$

Prerez krožne oblike:

$$I_t = \frac{\pi}{32} d^4 \quad \boxed{W_{t1} = W_{t2} = W_t = \frac{\pi}{16} d^3}$$

Ozek pravokotnik:

$$I_t = \frac{1}{3} b \cdot t^3 \quad \boxed{W_t = \frac{1}{3} b \cdot t^2}$$

Pravokotnik:

Včrtana elipsa:

$$I_t = \frac{\pi}{16} \frac{h^3 b^3}{h^2 + b^2} \quad \boxed{W_{t1} = \frac{\pi}{16} b^2 h} \quad W_{t2} = \frac{\pi}{16} b h^2$$

ali

Larsen in Riberholt:

$$\boxed{W_t = \frac{1}{3} h \cdot b^2 \frac{1}{\eta}}; \quad \eta = 1 + 0.6 b/h$$

2.2.10 Kombinacija striga zaradi prečne sile in torzije

Strižne napetosti τ_{xy} zaradi prečne sile $V_{y,d}$ in torzijskega momenta T_d oziroma strižne napetosti τ_{xz} zaradi prečne sile $V_{z,d}$ in torzijskega momenta T_d imajo lahko v nekaterih točkah istosmislen vpliv:

takrat mora biti v splošnem za vsako tako točko izpolnjen pogoj:

$$\frac{\tau_d(V_d)}{f_{v,d}} + \frac{\tau_{tor,d}(T_d)}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} \leq 1$$

2.3 MEJNA STANJA UPORABNOSTI

To so tipična stanja pri katerih kontroliramo ali konstrukcija izpolnjuje pogoje uporabnosti glede:

- * **deformacij in pomikov** zaradi zunanje obtežbe in spremembe vlažnosti lesa, ki onemogočajo normalno uporabo in poslabšajo videz konstrukcije

(Pozor: eventualna občutljiva oprema ali nepodajni nekonstruktivni elementi kot so fasade, predelne stene ter talne in stropne obloge lahko zahtevajo znatno strožje omejitve pomikov kot so splošne omejitve podane v standardih in predpisih)

- * **vibracij**, ki lahko povzročajo neugodno počutje uporabnikov in škodijo konstrukciji objektov.

Mejna stanja uporabnosti konstrukcij v skladu s standardom EN 1990:2004 v splošnem kontroliramo pri naslednjih kombinacijah vplivov:

$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	(karakteristična kombinacija vplivov) – začetni čas pri LK Ni dopustno kakršnokoli preseganje - nepovratna MSU!
$\sum G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$	(pogosta kombinacija vplivov) Preseganje z določeno pogostostjo je sprejemljivo - povratna MSU!
$\sum G_{k,j} + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$	(navidezno stalna kombinacija vplivov) – končni čas pri LK Sprejemljivo je določeno dolgoročno preseganje!

Pri tem so:

$\sum G_{k,j}$	vsi stalni vplivi
$Q_{k,1}$	prevladujoč spremenljivi vpliv
$Q_{k,i}$	spremljajoč spremenljivi vpliv

2.3.1 Mejno stanje pomikov

Račun pomikov v splošnem poteka po **principih** poznanih iz **statike linijskih konstrukcij** ali ploskovnih konstrukcij (princip virtualnega dela, MKE - računalniški programi ...).

Posebnosti pri pomikih lesenih konstrukcij so naslednje:

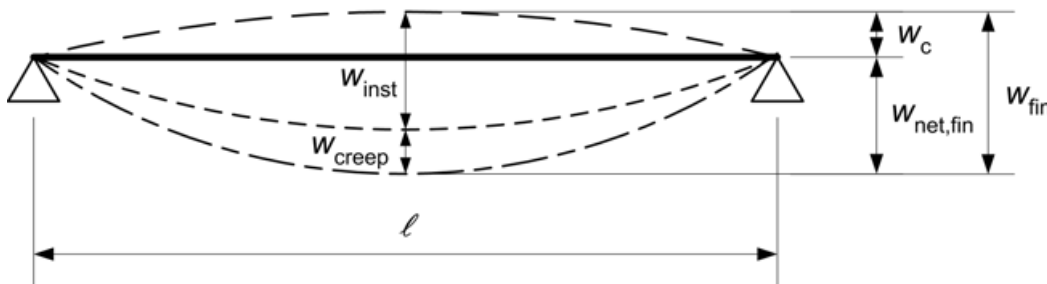
- povečanje podajnosti konstrukcij zaradi **vpliva veznih sredstev** (zdrs med spojenimi elementi v priključkih in sestavljenih nosilnih elementih)
- povečanje trenutnih (začetnih - elastičnih) pomikov zaradi reologije (lezenje)

Pri računskih pomikih ločimo:

- W_{inst} - **trenutne** - začetne pomike, ki se razvijejo takoj po nanosu obtežbe
- W_{creep} - pomike zaradi **lezenja lesa** (prirastek začetnih pomikov do končnega časa)
- W_{fin} - **končne** pomike, ki nastopijo po končanem lezenju:
 $W_{fin} = W_{inst} + W_{creep}$

Pri nekaterih vrstah nosilnih elementov (paličja, lepljeni lamelirani nosilci, sestavljeni upogibni nosilci) lahko izvedemo predhodno nadvišanje (w_c) in s tem dosežemo “vizualno manjše” pomike zaradi zunanjih vplivov (obtežb).

Neto končni pomik je največji pomik pod zveznico podpor: $w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c$



Analogno je definiran tudi **neto začetni pomik** pod zveznico podpor: $w_{net,inst} = w_{inst} - w_c$

Vpliv reologije (lezenja) na končne pomike lesenih konstrukcij zajamemo s pomočjo končnega koeficienta lezenja ($t \rightarrow \infty$), ki je v EC5 označen kot k_{def} :

$$k_{def} = k_{def}(\text{vrsta materiala, razred uporabe})$$

Material	Razred uporabe		
	1	2	3
Masivni les	0,60	0,80	2,00
Lepljeni lamelirani les	0,60	0,80	2,00

Za les, ki ima v času vgrajevanja veliko vlažnost (blizu meje nasičenosti - v_{nas}) in je verjetno, da se bo v življenjski dobi posušil, je potrebno vrednosti k_{def} iz preglednice povečati za vrednost 1,0.

Končni koeficient lezenja k_{def} za masivni in lepljeni lamelirani les (EN 1995-1-1: Pr.:3.2)

Pri stalnih vplivih za račun pomikov zaradi lezenja upoštevamo celotno vrednost koeficienta lezenja k_{def} :

$$w_{creep,G} = k_{def} \cdot w_{inst,G} \rightarrow w_{fin,G} = w_{inst,G} + w_{creep,G} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G}$$

Pri spremenljivih vplivih, ki pa na konstrukciji niso ves čas in s tem povzročajo le del lezenja enako velikega stalno prisotnega vpliva (razmislek: definicija navidezno stalnega dela vpliva), pri računu pomikov zaradi lezenja **načeloma** upoštevamo korigirano vrednost koeficienta lezenja:

$$w_{creep,Q} = (\psi_2 k_{def}) \cdot w_{inst,Q} \rightarrow w_{fin,Q} = w_{inst,Q} + w_{creep,Q} = (1 + \psi_2 k_{def}) \cdot w_{inst,Q}$$

Posebno obravnavo zahtevajo primeri, ko imamo opravka s konstrukcijami iz elementov z različnimi reološkimi lastnostmi ($\rightarrow$ različni k_{def}), ki so lahko posledica različnih razredov uporabe (vlažnosti lesa) po delih konstrukcije ali pa so posledica uporabe različnih materialov v konstrukciji.

V skladu s standardom EN 1995-1-1 (točka 2.2.3(2)) se pomike v **začetnem času** (w_{inst}) določi za karakteristično kombinacijo vplivov

$$\sum G_{k,j} + \sum_{i>1} Q_{k,i} \rightarrow w_{inst} = \sum w_{inst}(G_{k,j}) + w_{inst}(Q_{k,1}) + \sum_{i>1} w_{inst}(\psi_{0,i} Q_{k,i})$$

ob upoštevanju srednjih vrednosti za module elastičnosti E_{mean} , strižnih modulov G_{mean} in srednjih modulov zdrsa K_{ser} (K_{ser} glej pri veznih sredstvih – točka 3).

Pomike v **končnem času** (w_{fin}) pa se po zahtevi določi za navidezno stalno kombinacijo vplivov

$$\sum G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \rightarrow w_{fin} = \sum (1 + k_{def}) w_{inst}(G_{k,j}) + \sum_{i \geq 1} (1 + k_{def}) w_{inst}(\psi_{2,i} Q_{k,i})$$

oziroma:

$$\rightarrow w_{fin} = \sum (1 + k_{def}) w_{inst}(G_{k,j}) + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} (1 + k_{def}) w_{inst}(Q_{k,i})$$

(če velja linearna zveza med spremenljivim vplivom in pomikom).

ob upoštevanju srednjih vrednosti za module elastičnosti E_{mean} , strižnih modulov G_{mean} in srednjih modulov zdrsa K_{ser} (K_{ser} glej pri veznih sredstvih – točka 3) za račun začetnih pomikov.

V gornjem izrazu je tudi pri začetnih pomikih zaradi spremenljivih vplivov upoštevana redukcija s faktorjem $\psi_{2,i}$, kar je nelogično in je tudi v literaturi mogoče najti različne interpretacije in razumevanja točke 2.2.3(3) iz standarda EN 1995-1-1. Inženirsko veliko bolj smiselno je, da le pomike **zaradi lezenja določimo za navidezno stalno kombinacijo in jih prištejemo začetnim pomikom** določenim za karakteristično kombinacijo vplivov:

$$\begin{aligned} w_{fin} &= w_{inst} \left(\sum G_{k,j} + \sum_{i>1} Q_{k,i} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right) + w_{creep} \left(\sum G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right) = \\ &= \sum (1 + k_{def}) w_{inst}(G_{k,j}) + (1 + \psi_{2,1} k_{def}) w_{inst}(Q_{k,1}) + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) w_{inst}(Q_{k,i}) \end{aligned}$$

Da je bila takšna osnovna ideja prisotna tudi pri snovanju standarda EN1995-1-1 (čeprav iz besedila točke 2.2.3 (3), potrjuje tudi poenostavljen izraz (2.2) iz točke 2.2.3(5), v katerem je sicer napačno izpuščena vsota, ki ga lahko uporabimo, če konstrukcija sestoji iz elementov z enakimi reološkimi lastnostmi in velja predpostavljena linearna zveza med velikostmi vplivov in velikostmi pripadajočih pomikov:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q_1} + \sum_{i>1} w_{fin,Q_i} \quad \leftarrow \text{izraz v EN 1995-1-1: } w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q_1} + w_{fin,Q_i}$$

pri čemer so:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad \text{končni pomik zaradi stalnih vplivov } G$$

$$w_{fin,Q_1} = w_{inst,Q_1} \cdot (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad \text{končni pomik zaradi prevladujočega spremenljivega vpliva } Q_1$$

$$w_{fin,Q_i} = w_{inst,Q_i} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad \text{končni pomiki zaradi spremljajočih sprem. vplivov } Q_i \quad (i > 1)$$

V splošnem primeru, ko je konstrukcija izdelana iz elementov z različnimi reološkimi lastnostmi, kar pomeni, da imajo torej le-ti različne vrednosti k_{def} , predhodni izrazi niso uporabni. Končne pomike v tem primeru v skladu s točko 2.2.3 (4) standarda EN 1995-1-1 določimo z upoštevanjem ustreznih različnih **končnih srednjih deformacijskih parametrov** (reduciranih parametrov) $E_{mean,fin}$, $G_{mean,fin}$ in modula zdrsa $K_{ser,fin}$ za posamezne elemente oz. priključke:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def}}; \quad G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + k_{def}}; \quad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + k_{def}}.$$

To je edina konkretna navedba, ki se v standardu EN 1995-1-1 nanaša na problematiko pomikov pri konstrukcijah iz elementov z različnimi reološkimi lastnostmi. Najbolj konzervativno razmišljanje iz literature je takšno, da te skupne končne deformacijske parametre za posamezne elemente uporabimo pri računu pomikov z upoštevanjem vplivov iz karakterističnih kombinacij vplivov:

$$\sum G_{k,j} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i},$$

pri čemer lahko ugotovimo, da smo pri takem načinu račun pomikov glede lezenja na varni strani saj **upoštevamo, da tudi spremenljivi vplivi delujejo ves čas** (posredno upoštevan k_{def} namesto $\psi_2 k_{def}$).

Kadar so pomiki ocenjeni s takšnim konzervativnim postopkom znotraj predpisanih mej, je dokaz končan. Pri preseganju dovoljenih pomikov pa alhko za natančnejšo določitev končnih pomikov izračunamo pomike posebej za stalne vplive, za prevladujoči vpliv in vsak spremljajoč vpliv ter jih na koncu seštejemo:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q_1} + \sum_{i>1} w_{fin,Q_i}.$$

Pri tem za račun pomikov zaradi stalnih vplivov $w_{fin,G}$ za posamezne elemente upoštevamo končne deformacijske parametre:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def}}; \quad G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + k_{def}}; \quad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + k_{def}},$$

za račun pomikov zaradi prevladujočega vpliva w_{fin,Q_1} parametre:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + \psi_{2,1} k_{def}}; \quad G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + \psi_{2,1} k_{def}}; \quad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + \psi_{2,1} k_{def}},$$

za račun pomikov zaradi posameznega spremljajočega vpliva w_{fin,Q_i} pa parametre:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}}; \quad G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}}; \quad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}}.$$

V SPLOŠNEM MORAJO BITI GLEDE POMIKOV IZPOLNjeni NASLEDNJI POGOJI:

<i>Začetni čas:</i>	$w_{inst} \leq w_{inst,lim}$
<i>Končni čas:</i>	$w_{net,fin} \leq w_{net,fin,lim}$ oziroma $w_{fin} \leq w_{fin,lim}$

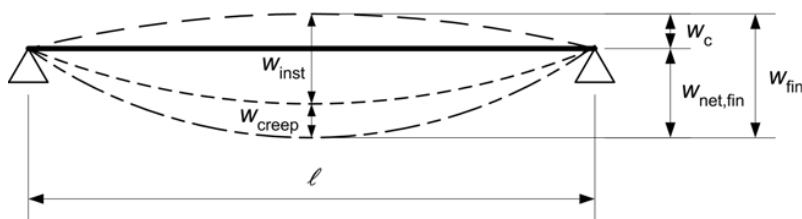
Osnovne mejne vrednosti vertikalnih pomikov v začetnem in končnem času iz standarda EN 1995-1-1 so podane v preglednici v nadaljevanju. Načeloma se mejne vrednosti znotraj podanega območja določi v dogovoru z investitorjem, lahko pa seveda investitor postavi tudi strožje zahteve glede omejitev pomikov.

Smiselno je glede računa in omejitev potrebno upoštevati tudi ustrezna poglavja standarda EN 1990 (normativni dodatek A - točka A.1.4.3) in slovenski nacionalni dodatek standardu EN1990. V standardih EN1990 in EN 1995-1-1 so sicer uporabljeni različni indeksi pri pomikih, se pa da smiselno upoštevati zahteve in navodila.

- Z upoštevanjem osnovnih omejitev iz standarda EN1995-1-1 so pri običajnih strehah in stropovih izpolnjeni tudi pogoji glede skupnih neto pomikov iz standarda EN1990 (preglednica N1).
- Omejitve iz slovenskega nacionalnega dodatka standardu EN1990 (preglednica N1) pa je potrebno upoštevati pri stropovih in strehah, ki nosijo **krhke obloge** in (mavec) in **zelo toge predelne stene** ter pri stropovih, ki **podpirajo stebre** (razen če so pomiki izračunani s celovito analizo konstrukcije), saj so te omejitve strožje od zgornjih mej osnovnih omejitev iz standarda EN1995-1-1.
- Po standardu EN 1990 (glej ntočko A.1.4.3(3) in omejitve za $w_2 + w_3$ v preglednici N1) moramo zaradi preprečevanja poškodb nekonstruktivnih delov (predelnih sten, fasad...) in omogočanja osnovne uporabe konstrukcije preveriti pomike z upoštevanjem učinkov tistih stalnih in spremenljivih vplivov, ki se pojavijo **po gradnji delov ali končanju posameznih zaključnih del.**

	$w_{inst,lim}$	$w_{net,fin,lim}$	$w_{fin,lim}$
Nosilci na dveh podporah	$\ell/500$ do $\ell/300$	$\ell/350$ do $\ell/250$	$\ell/300$ do $\ell/150$
Konzolni nosilci	$\ell/250$ do $\ell/150$	$\ell/175$ do $\ell/125$	$\ell/150$ do $\ell/75$

Osnovne vrednosti mejnih pomikov (EN 1995-1-1: Pr.:7.2)



Pri konzolnih nosilcih je ℓ dolžina konzole.

Pri paličjih zgornje omejitve veljajo globalno za celotno razpetino in za same razpone med vozlišči.

Pri računu pomikov brez upoštevanja podajnosti veznih sredstev v vozliščih lesenih paličij je priporočljivo omejitve pomikov zmanjšati na polovico:

$$w_{inst,lim}^* = w_{inst,lim} / 2 ; \quad w_{net,fin,lim}^* = w_{net,fin,lim} / 2 ; \quad w_{fin,lim}^* = w_{fin,lim} / 2$$

Račun pomikov lesenih konstrukcij:

- Račun pomikov s pomočjo **računalniških programov** (MKE). Ugodno je pri bolj kompliciranih konstrukcijah - dobimo kompletne pomike vseh vozlišč in potek pomikov vzdolž elementov.

Možne so razne variante računa - vendar pa se, zaradi upoštevanja “**delovnih**” (nefaktoriranih) obtežb pri katerih napetosti v lesu običajno ne presegajo 50% trdnosti, najpogosteje uporablja račun po:

- linearni teoriji 1.reda (linearne zveze σ - ϵ) ali
- linearni teoriji 2.reda (linearne zveze σ - ϵ , ravnotežje na deformirani konstrukciji).

Račun začetnih pomikov w_{inst} :

$$w_{inst} = \sum w_{inst}(G_{k,j}) + w_{inst}(Q_{k,1}) + \sum_{i>1} w_{inst}(\psi_{0,i} Q_{k,i})$$

- pri masivnem lesu in lepljenih elementih upoštevamo karakteristike homogenih prerezov ($A, I, A_v=A_{str}$), pri sestavljenih elementih pa reducirani - efektivni vztrajnostni moment (I_{ef})

- upoštevamo srednje vrednosti modula elastičnosti in strižnega modula (E_{mean}, G_{mean})
- vrednosti modulov (E_{mean} in G_{mean}) so lahko različne za elemente iz različnih materialov
- ločimo posamezne obtežne primere npr :

$$1. \text{ Stalni vplivi: } \sum G_{k,j} \rightarrow w_{inst,G}$$

$$2. \text{ Sprem. vplivi: } Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \rightarrow w_{inst,Q} = w_{inst,Q,1} + \sum \psi_{0,i} w_{inst,Q,i}$$

$$3. \text{ kombinacija (G+Q)} \rightarrow w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q}$$

Račun končnih pomikov w_{fin} :

$$w_{fin} = \sum (1 + k_{def}) w_{inst}(G_{k,j}) + (1 + \psi_{2,1} k_{def}) w_{inst}(Q_{k,1}) + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) w_{inst}(Q_{k,i})$$

- pripravimo posamezne obtežne primere **za vse stalne vplive in posebej za spremenljive vplive** (ki so dodatno razdeljeni glede na koeficiente navidezno stalne obtežbe- ψ_2). Večina **programov ne omogoča** upoštevanja različnih modulov pri različnih obtežnih primerih zato je najenostavneje pomike izračunati s **kombinacijo osnovnih obtežnih** primerov izračunanih za začetni čas. Faktorji za kombiniranje obtežnih primerov so potem naslednji:

$$\text{stalni vplivi: } (1 + k_{def})$$

$$\text{spremenljivi vplivi: } (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \text{ oz. } (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def})$$

Vendar se je potrebno zavedati, da so uporabni le pomiki-dobljene notranje sile ne!

- če imamo elemente z različnimi reološkimi lastnostmi moramo že zaradi tega nujno delati z **reduciranimi deformacijskimi lastnostmi**. V primeru različnih koeficientov ψ_2 , moramo pri programih, ki ne omogočajo upoštevanja različnih modulov po obtežnih primerih preprosto izračunati vsak obtežni primer posebej in superponirati rezultate.

- v veliki večini primerov lahko pri računu končnih pomikov uporabimo **poenostavljeni izraz** $w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q,1} + \sum w_{fin,Q,i}$ s strani 53. Tudi tu si lahko pomagamo z reduciranimi moduli ali s kombiniranjem osnovnih obtežnih primerov v začetnem času.

- Račun pomikov s pomočjo principa **virtualnega dela**. Ugodno je pri razmeroma enostavnih konstrukcijskih sistemih - a dobimo le vrednosti pomikov v posameznih obravnavanih točkah.

V splošnem dobimo **začetne pomike** za posamezni obtežni primer kot:

$$w_{inst} = w_{inst}(N) + w_{inst}(M) + w_{inst}(V) = \int \frac{N\bar{N}}{E_{mean}A} ds + \int \frac{M\bar{M}}{E_{mean}I} ds + k \int \frac{V\bar{V}}{G_{mean}A} ds$$

Pri tem so:

N, M , in V osna sila, upogibni moment in prečna sila zaradi obravnavane zunanje obtežbe,

$\bar{N}$, $\bar{M}$ in $\bar{V}$ osna sila, upogibni moment in prečna sila zaradi virtualne obtežbe $\bar{1}$ na mestu in v smeri iskanega pomika .

k - strižni oblikovni koeficient: (strižni prerez $A_v = A/k$); $k = \frac{A}{I^2} \int \frac{S^2(z)}{b(z)} dz$

prerez pravokotne oblike $k=1,2$; lepljeni prerez I oblike ($A_v = A_{web} \rightarrow k = A/A_{web}$)

V splošnem dobimo **končne pomike** za posamezni obtežni primer kot:

$$w_{fin} = w_{fin}(N) + w_{fin}(M) + w_{fin}(V) = \int \frac{N\bar{N}}{E_{mean, fin}A} ds + \int \frac{M\bar{M}}{E_{mean, fin}I} ds + k \int \frac{V\bar{V}}{G_{mean, fin}A} ds$$

$E_{mean, fin}$ in $G_{mean, fin}$ sta zaradi reologije reducirana modul elastičnosti in strižni modul:

$$\text{npr. pri stalnih vplivih: } E_{mean, fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def}} \quad \text{oziroma} \quad G_{mean, fin} = \frac{G_{mean}}{1 + k_{def}}$$

Glede potrebnih obravnavanih obtežnih primerov in upoštevanih karakteristik materiala (E in G) veljajo vse navedbe, ki so podane pri računu s programi (MKE).

Posebni primeri:

◇ Paličja $w = w(N) = \int \frac{N\bar{N}}{E_{mean, fin}A} ds = \sum \frac{N_i \bar{N}_i}{E_{mean, fin, i} A_i} l_i$

◇ Upogibni nosilci: $w = w(M) + w(V) = \int \frac{M\bar{M}}{E_{mean, fin}I} ds + k \int \frac{V\bar{V}}{G_{mean, fin}A} ds$

dolgi nosilci $w = w(M) = \int \frac{M\bar{M}}{E_{mean, fin}I} ds$

◇ Sestavljeni upogibni nosilci: $w = w(M) + w(V) = \int \frac{M\bar{M}}{E_{mean, fin}I_{ef}} ds + k \int \frac{V\bar{V}}{G_{mean, fin}A} ds$

vpliv podajnosti veznih sredstev: $I \rightarrow I_{ef}$ (glej pozneje pri sestavljenih elementih)

2.3.2 Mejno stanje vibracij

Osnove – V splošnem potrebno poznavanje **dinamike konstrukcij**, za enostavne na vseh štirih robovih vrtljivo podprte **stropove s tramovi** pa so v standardu EN1995-1-1 podani **poenostavljeni izrazi** za oceno njihovih osnovnih dinamičnih karakteristik.

Osnovna zahteva iz standarda EN 1995-1-1:

Zagotovljeno mora biti, da pogosto pričakovani **vplivi, ne povzročajo takšnih vibracij** elementa ali konstrukcije, ki bi **poslabšale njihovo funkcionalnost** oziroma ne povzročajo **pretiranega neugodja** uporabnikov.

Oceno nivoja vibracij stropov lahko izvedemo:

- eksperimentalno z meritvami ali
- računsko z upoštevanjem pričakovanih togosti in koeficienta dušenja (upoštevamo lahko $E_{0,mean}$ in, če nimamo bolj točnih vrednosti za koef. dušenja $\zeta=0,01$).

Vibracije, ki jih povzročajo stroji:

Vibracije, ki jih povzročajo vrteči se stroji ali druga oprema morajo biti **omejene** tudi pri najbolj **neugodnih** predvidenih **kombinacijah** stalne in spremenljive obtežbe.

Sprejemljivi **nivoji stalnih vibracij pri stropovih** se lahko vzamejo iz standarda **ISO 2631-2** (slika 5a v dodatku A) z upoštevanjem multiplikacijskega faktorja 1,0.

Stropovi stanovanjskih objektov:

- Če je osnovna lastna frekvenca stropa $f_1 \leq 8\text{Hz}$ je potrebno opraviti posebne preiskave
- Če je osnovna lastna frekvenca stropa $f_1 > 8\text{Hz}$:

morata biti izpolnjena naslednja pogoja:

$$\boxed{w/F \leq a} \quad \text{v [mm/kN] in}$$

$$\boxed{v \leq b^{(f_1 \zeta - 1)}} \quad \text{v [m/(Ns}^2\text{)]}.$$

Pri čemer so:

w - maksimalni (hipni-začetni) vertikalni pomik zaradi koncentrirane statične obtežbe F nanešene v poljubni točki stropa,

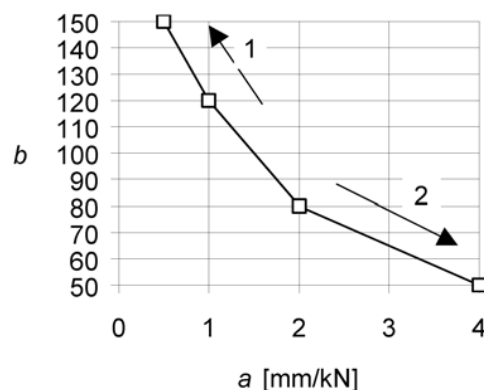
v - maksimalna začetna hitrost vertikalnih vibracij stropa, ki jo povzroča enotski sunek 1Ns nanešen v točki stropa, ki daje največji odziv,

ζ - koeficient dušenja ($\zeta=0,01$, razen če je dokazano, da je primernejša drugačna vrednost)

Priporočeni mejni vrednosti za a in b , ter priporočeno zvezo med vrednostmi a in b podaja desna slika.

Legenda:

- 1- boljše obnašanje
- 2- slabše obnašanje



Na vseh štirih straneh vrtljivo podprti stropovi tlorskih dimenzij $l \times b$:



- Vrednost osnovne lastne frekvence lahko približno ocenimo z naslednjim izrazom:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}$$

Pri čemer so:

m – masa na enoto ploskve [kg/m^2]; pri računu mase upoštevamo le lastno težo in ostale stalne vplive

l – razpon stropa (v smeri tramov) [m]

$(EI)_l$ – upogibna togost stropa okoli osi, ki je pravokotna na smer tramov [Nm^2/m]

- Za določitev začetne hitrosti vertikalnih vibracij zaradi enotskega sunka 1Ns se lahko upošteva naslednji poenostavljeni izraz:

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6n_{40})}{mbl + 200} \quad [\text{m}/(\text{Ns}^2)]$$

Pri čemer so:

m – masa na enoto ploskve [kg/m^2]; pri računu mase upoštevamo le lastno težo in ostale stalne vplive

l – razpon stropa (v smeri tramov) [m]

b – širina stropa [m]

n_{40} – pa število nihajnih oblik stropa s frekvenco $f < 40 \text{ Hz}$, ki se lahko določi z naslednjim izrazom:

$$n_{40} = \sqrt[4]{\left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b}}$$

kjer je $(EI)_b$ upogibna togost stropa okoli osi, ki je paralelna s tramovi (Nm^2/m), pri čemer velja:

$$(EI)_b \leq (EI)_l$$

3. VEZNA SREDSTVA

Lesene konstrukcije so običajno sestavljene iz **večjega števila sestavnih delov**, saj je masivni les kot naravni material dimenzijsko omejen. Dimenzije so omejene tako v smislu največjih možnih dolžin elementov, kakor tudi glede največjih možnih dimenzij prečnega prereza, ki pa jih dodatno omejuje tudi delovanje lesa – glej razdelek 1.3.2. Z medsebojno povezavo posameznih sestavnih delov dobimo nosilne konstrukcijske sisteme.

Z veznimi sredstvi prevzamemo **navidezne rezultante napetosti v stičnih ploskvah** spojenih delov oziroma elementov konstrukcije, ki bi se sicer pojavile v teh ploskvah v primeru homogenih (nespojenih) elementov.

3.1 OSNOVE

Z veznimi sredstvi povezujemo:

- posamezne sestavne dele v nosilne elemente in/ali
- nosilne elemente v sestavljene konstrukcije (spajanje elementov okvirjev ali paličij).

Glede na način prevzema in prenosa obremenitev med sestavnimi deli oziroma elementi, ločimo pri lesenih konstrukcijah naslednje **vrste priključkov**:

- strižni priključki (vijaki, lesni vijaki, mozniki, žebliji, krempljaste plošče, lepilo,...),
- natezni priključki (vijaki),
- tlačni priključki (kontaktne napetosti-konstruktivno lahko dodamo tudi druga vezna sredstva).

Priključna sila: F_d [kN]

to je sila, ki jo z veznimi sredstvi prenašamo z enega sestavnega elementa na drugega.

Priključna napetost: τ_d^*

je povprečna računska napetost v stični ploskvi dveh elementov, katere rezultanto F_d prevzamemo z veznimi sredstvi.

$$\tau_d^* = \frac{F_d}{\Delta l \cdot b} \quad [\text{kN/cm}^2]$$

Priključna intenziteta: $t_{f,d}$

je priključna sila na enoto dolžine priključka, ki jo z veznimi sredstvi prenesemo iz enega dela na drugega:

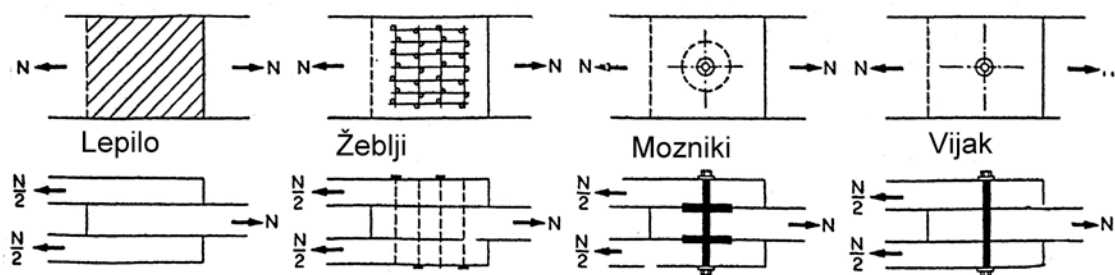
$$t_{f,d} = \tau_d^* \cdot b = \frac{F_d}{\Delta l \cdot b} \cdot b = \frac{F_d}{\Delta l} \quad [\text{kN/cm}]$$

Pri sestavljenem upogibnem nosilcu je priključna intenziteta podana kot:

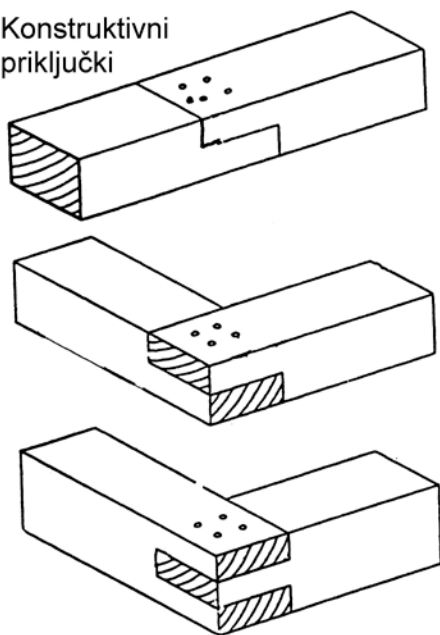
$$t_{f,d} = \tau_d^* \cdot b = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot b} \cdot b = \frac{V_d \cdot S}{I} \quad \text{ozioroma} \quad t_{f,d} = \frac{V_d \cdot S_{eff}}{I_{eff}} \quad [\text{kN/cm}]$$

3.1.1. Primeri priključkov

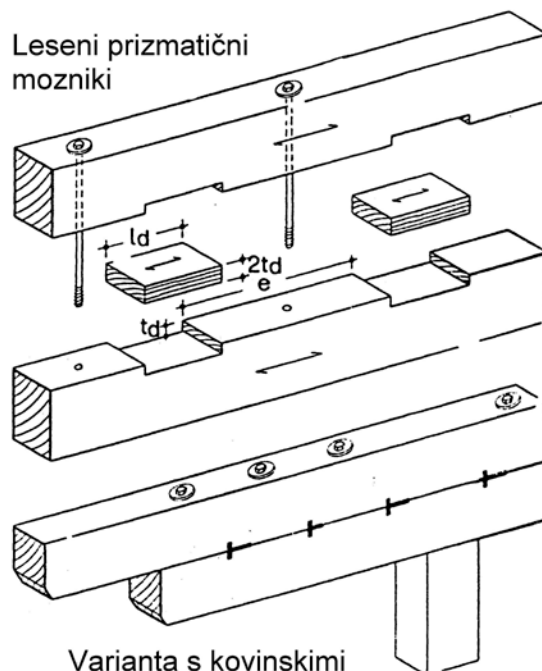
Dvostržni priključki



Konstruktivni priključki



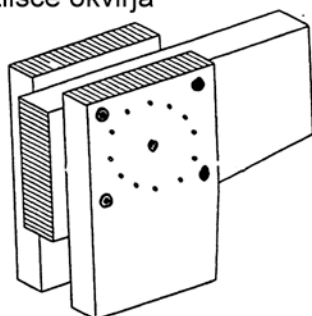
Leseni prizmatični mozniki



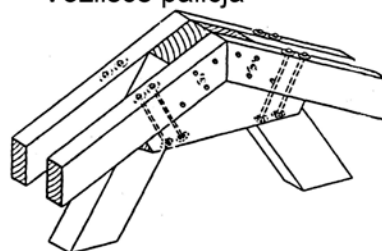
Varianta s kovinskimi T profili

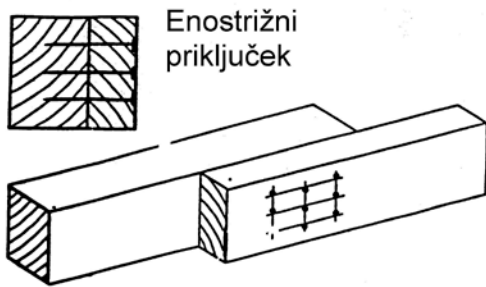


Vozlišče okvirja

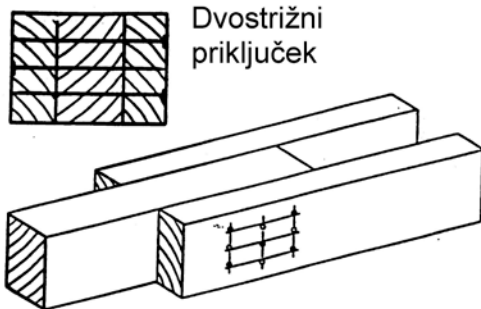


Vozlišče paličja

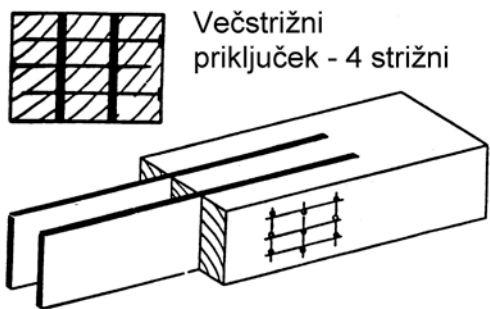




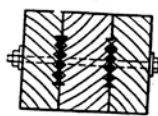
Enostrižni priključek



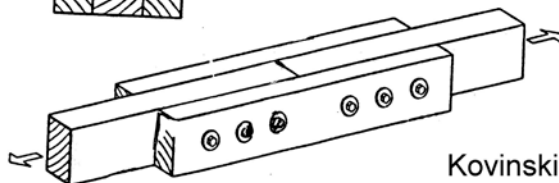
Dvostrizni priključek



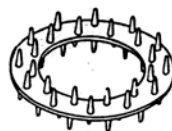
Večstrižni priključek - 4 strižni



Zaplata z mozniki



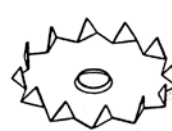
Kovinski patentirani mozniki



"Geka"

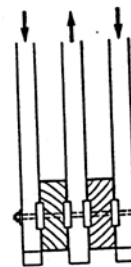
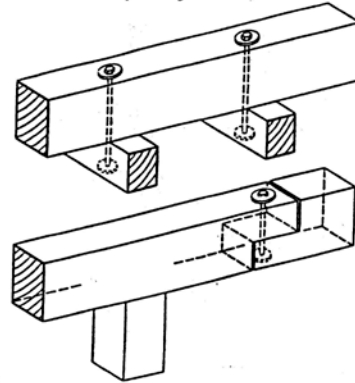


"Appel"

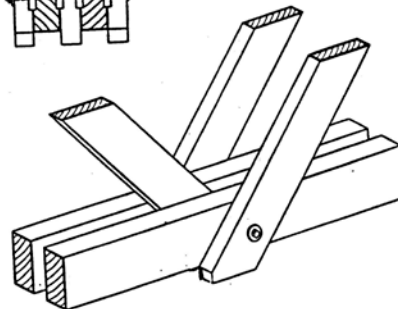


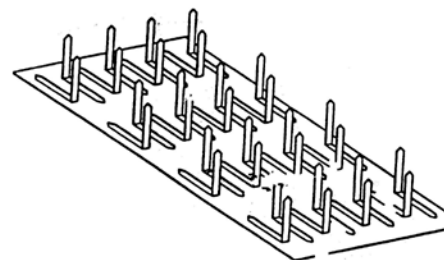
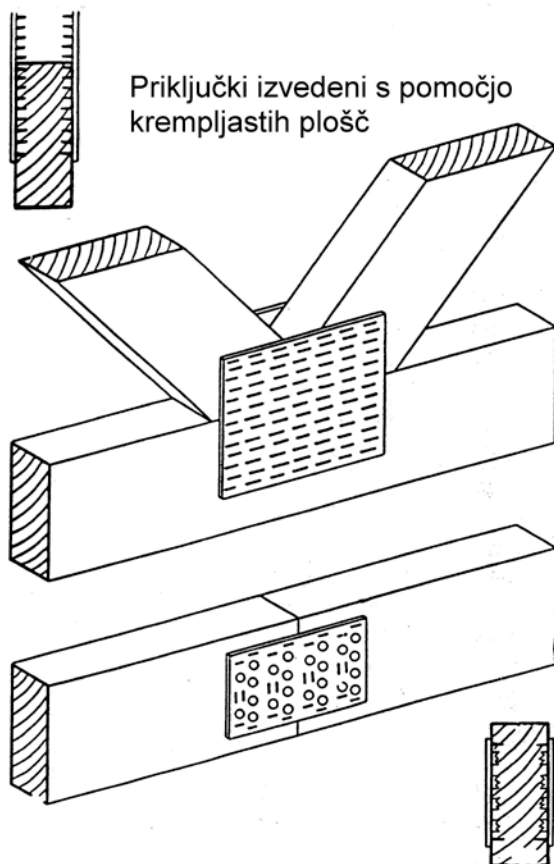
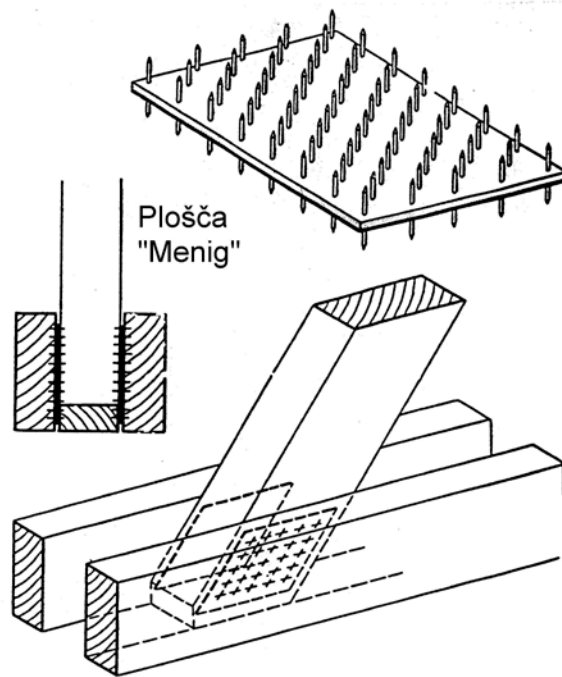
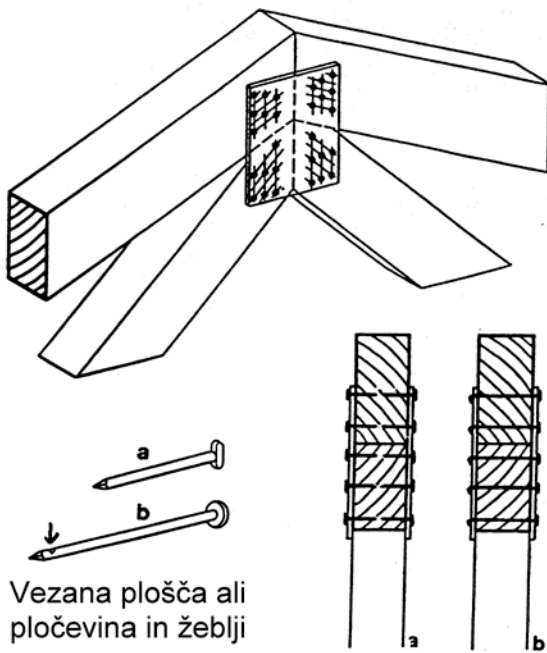
"Buldog"

Natezni priključek

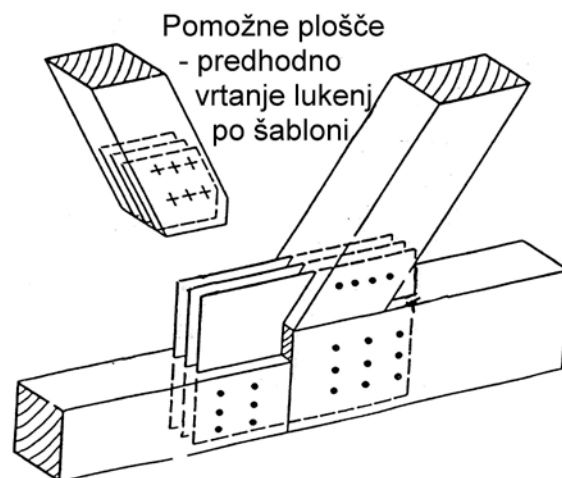
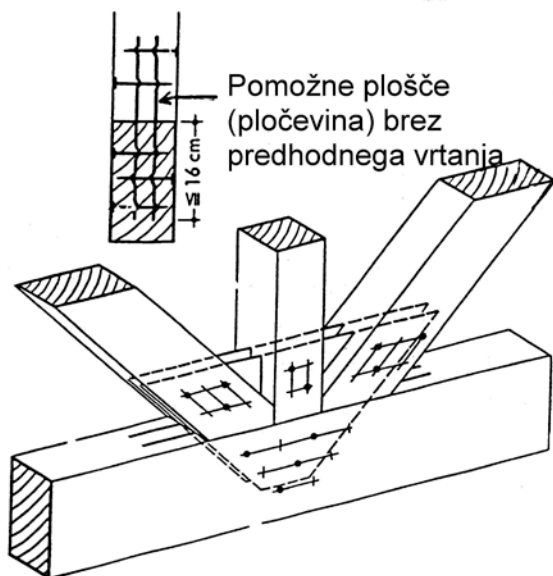
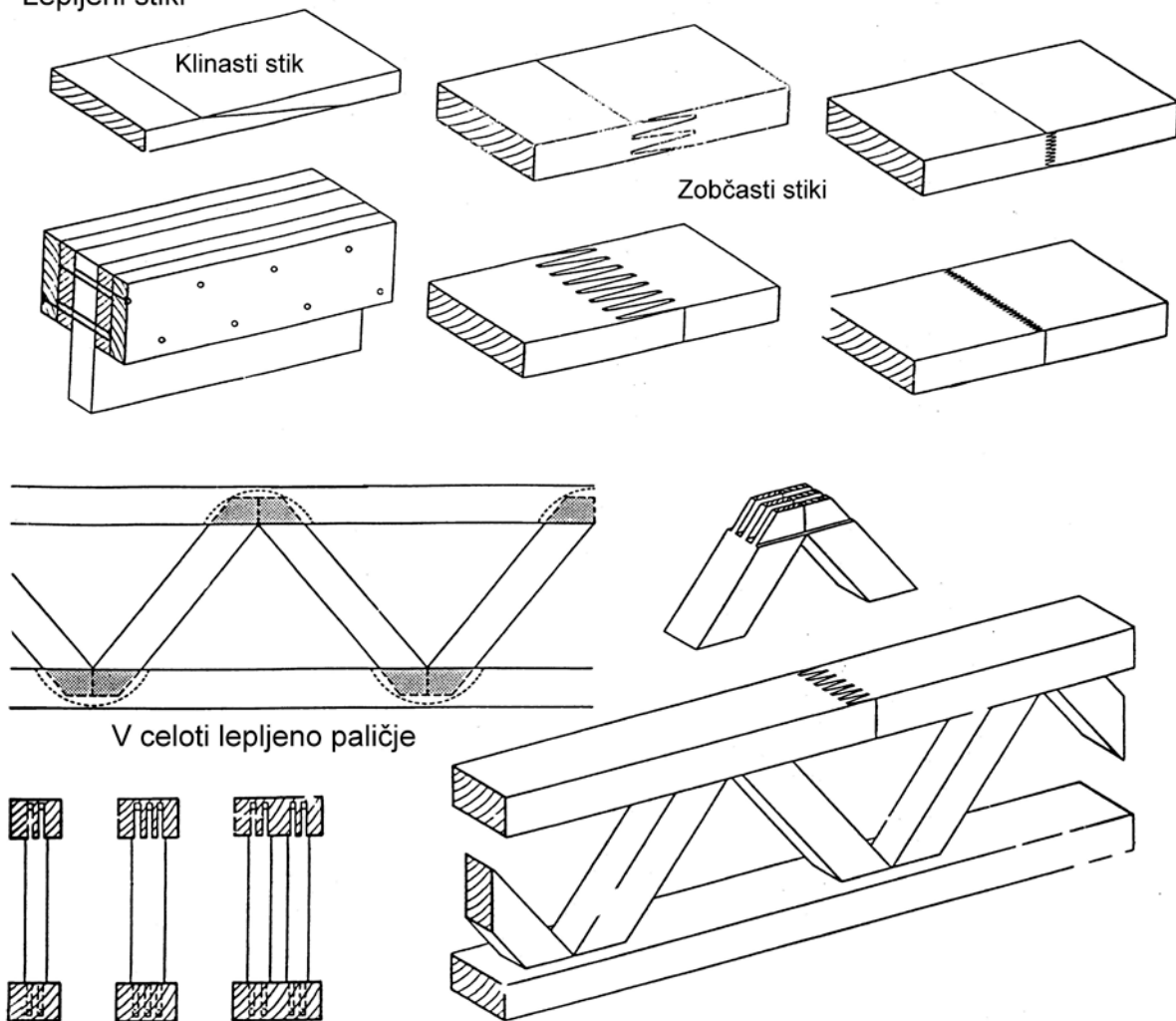


Večstrižni priključek z mozniki

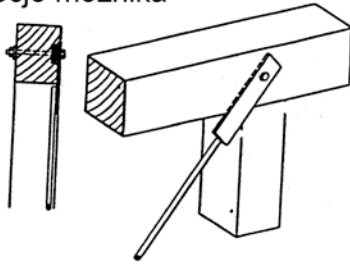




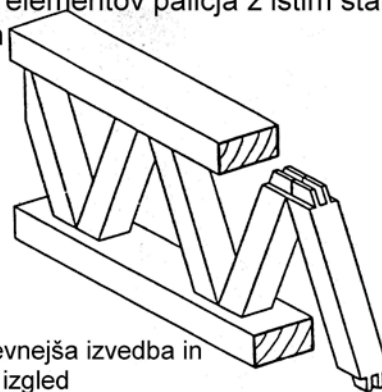
Lepljeni stiki



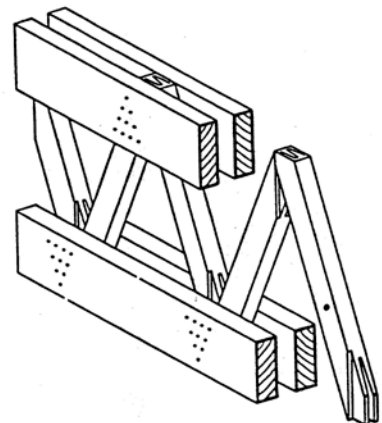
Priključek kovinske diagonale
s pomočjo moznika



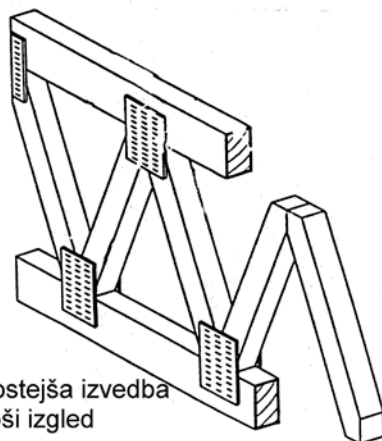
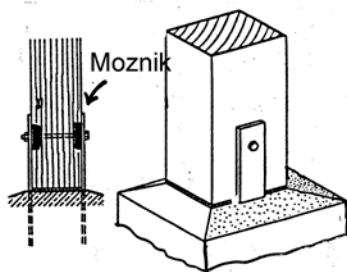
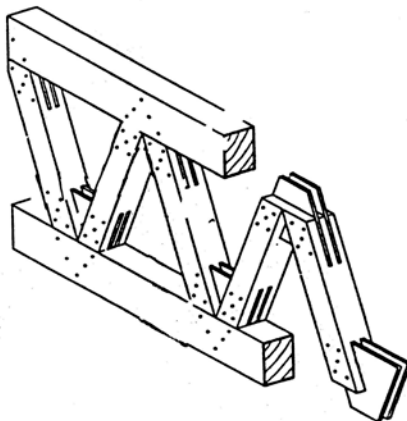
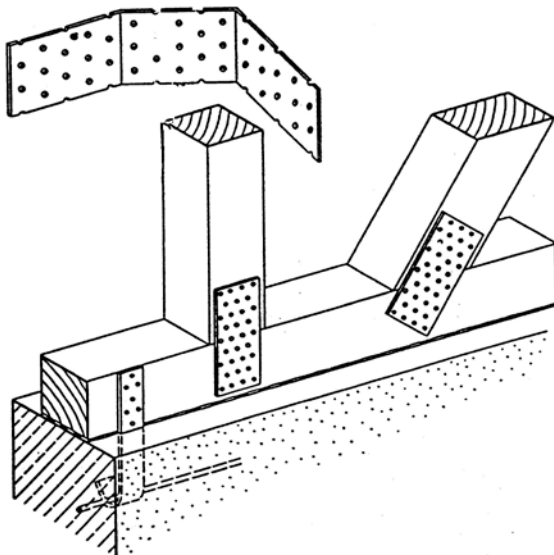
Spajanje elementov paličja z istim statičnim
modelom



Najzahtevnejša izvedba in
najboljši izgled



Priključki izvedeni s perforirano pločevino



Najpreprostejša izvedba
in najslabši izgled

3.1.2. Odpornost veznih sredstev in togost priključkov

Odpornost (nosilnost) veznih sredstev in togost priključkov praviloma ugotavljamo na dva načina:

- **eksperimentalno** z obremenjevanjem do porušitve. Najbolj pogosto na tako določamo odpornost za patentirana vezna sredstva serijske proizvodnje, lahko pa tudi za običajna vezna sredstva. To opravljajo **pooblašene institucije**, ki na podlagi takšnih preiskav izdajo ustrezne certifikate.

Po standardu EN 1995-1-1 se odpornost veznih sredstev eksperimentalno določa v skladu s standardi EN 1075, EN 1380, EN 1381, EN 26891 in EN 28970.

- **računsko**

Na podlagi analize **napetostnega stanja** v priključenih elementih in veznih sredstvih - z upoštevanjem **projektnih mehanskih** in drugih lastnosti materialov (projektne trdnosti, projektne gostote...).

V nekaterih primerih so v standardih in pravilnikih podani že kar končni izrazi za računsko ugotavljanje nosilnosti oziroma odpornosti posameznih veznih sredstev:

- EN 1995-1-1: za vezna sredstva ki delujejo po principu moznika (žebliji, vijaki, skobe, mozniki, lesni vijaki) **podaja standard najprej skupne enačbe** za projektno odpornost enega veznega sredstva na eno strižno ravnino, kasneje pa so obdelane posebnosti posameznih VS.
- JUS U.C9.200: Za vsako **posamezno vezno sredstvo** podaja **preproste** zaključene **izraze** za določanje dovoljene obremenitve (MDN). Kljub temu, da standard pri nas ni več veljaven je koristno prebrati poglavje o veznih sredstvih – je bolje opisana tudi praktična izvedba priključkov in izkustvene zahteve, ki pripeljejo do “solidne” izvedbe priključkov.

Računsko določanje zdrs v priključkih po EN 1995-1-1 za vezna sredstva mozničnega tipa:

- **zdrs (zamik med elementi v priključku) v mejnih stanjih uporabnosti:**

začetni zdrs:
$$u_{inst} = \frac{F}{K_{ser}}$$
 kjer je K_{ser} začetni modul zdrs veznega sredstva

končni zdrs:
$$u_{fin} = u_{inst}(1 + k_{def}) = \frac{F}{K_{ser}}(1 + k_{def}) = \frac{F}{K_{ser,fin}};$$

kjer sta k_{def} koeficient lezenja (glej v razdelku 2.3.1),
 $K_{ser,fin}$ pa končni modul zdrs v mejnih stanjih uporabnosti
 $K_{ser,fin} = K_{ser} / (1 + k_{def})$

o pri priključkih iz lesenih elementov enakih reoloških lastnosti se pri računu $K_{ser,fin}$ vrednost k_{def} podvoji,

o pri priključkih iz lesenih elementov različnih reoloških lastnosti pa se pri računu $K_{ser,fin}$ za k_{def} upošteva: $k_{def} = 2\sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}$

Modul zdrs K_{ser} (N/mm) za eno vezno sredstvo v eni strižni ravnini je določen v odvisnosti od srednje gostote lesa ρ_m [kg/m³] in “premera” paličnega veznega sredstva d oziroma d_c [mm]:

Vrsta veznega sredstva	K_{ser} [N/mm]
Trni, vijaki*, lesni vijaki, žebli s predhodnim vrtanjem lukenj	$\rho_m^{1,5} d / 23$
Žebli brez predhodnega vrtanja lukenj	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$
Sponke	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 80$

V primeru priključevanja lesenih elementov različnih gostot se računsko upošteva gostoto:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \rho_{m,2}}$$

* - Posebno obravnavo zahtevajo priključki izvedeni z vijaki zaradi dovoljenega odstopanja izvrtane luknje oziroma ohlapnosti vstavljenega vijaka $\Delta\phi$:

začetni zdrs:
$$u_{inst} = \Delta\phi + \frac{F}{K_{ser}}$$
 ; K_{ser} - začetni modul zdrs

končni zdrs:
$$u_{fin} = \Delta\phi + \frac{F}{K_{ser,fin}}$$
 ; $K_{ser,fin}$ - končni modul zdrs

Pri priključkih lesenega in jeklenega elementa oziroma lesenega in betonskega elementa se za modul zdrs priključka lahko upošteva dvakratno vrednost modula zdrs K_{ser} , ki temelji na srednji gostoti lesa ρ_m .

Modul zdrs K_{ser} [N/mm] za lesene prizmatične mozničke, ki v standardu EN 1995-1-1 niso obravnavani lahko določimo v odvisnosti **od nosilnosti moznička pri uporabni obtežbi** R_{ser} , ki je izračunana kot $R_{ser} = R_d / \gamma_F$ (R_d – računski odpornost v MSN, γ_F – globalni varnostni faktor obtežbe – če ni posebej izračunan lahko vzamemo kar $\gamma_F = 1,50$):

Nosilnost moznička $R_{ser} = R_d / \gamma_F$	K_{ser} (N/mm)
$R_{ser} < 16 \text{ kN}$	15 000
$16 \text{ kN} \leq R_{ser} \leq 30 \text{ kN}$	25 500
$R_{ser} > 30 \text{ kN}$	30 000

- zdrs v priključku v mejnih stanjih nosilnosti:**

Hipni oziroma začetni modul zdrs pri mejnih stanjih nosilnosti K_u je določen kot:

$$K_u = 2 K_{ser} / 3.$$

Začetni zdrs v mejnem stanju nosilnosti u_u je določen kot:

$$u_u = \frac{F_d}{K_u}.$$

Končni modul zdrs pri mejnih stanjih nosilnosti $K_{u,fin}$ je določen kot:

$$K_{u,fin} = \frac{2}{3} K_{ser,fin} = \frac{2}{3} \frac{K_{ser}}{1 + \psi_2 k_{def}}$$

pri čemer je ψ_2 navidezno stalni koeficient za vpliv, ki povzroča v primerjavi s trdnostjo največji nivo napetosti (če je tak vpliv stalni vpliv se za ψ_2 vzame 1,0)

Končni zdrs v mejnem stanju nosilnosti $u_{u,fin}$ pa je potem določen kot:

$$u_{u,fin} = \frac{F_d}{K_{u,fin}}.$$

3.1.3 Vrste veznih sredstev

Glede na material ločimo:

- lesena vezna sredstva:
 - leseni klini (predvsem pri starejših tesarskih zvezah),
 - leseni mozniki;
- kovinska vezna sredstva:
 - žblji,
 - lesni vijaki,
 - vijaki,
 - trni,
 - sponke,
 - krempljaste plošče, ježevke,
 - kovinski mozniki
- vezna sredstva iz drugih snovi:
 - lepila
 - polietilenski materiali.

Glede na način vgrajevanja vezna sredstva delimo na takšna, ki jih:

- vgrajujemo v naprej pripravljene utore in žlebove in takšna, ki jih
- uvijamo, zabijamo ali vtiskamo.

Glede na smer sile, ki jo lahko prevzamejo, ločimo vezna sredstva oziroma priključke na:

- dvosmerna in
- enosmerna

Glede na podajnost ločimo štiri kategorije veznih sredstev:

Razvrstitev veznih sredstev glede na podajnost oz. togost	Vezno sredstvo	Zamik pri izkoriščenosti nosilnosti veznega sredstva u
TOGA VEZNA SREDSTVA	Lepilo	$u \leq 0,08\text{mm}$
ELASTIČNA VEZNA SREDSTVA	Žblji, krempljaste plošče ali ježevke in na splošno vsa vezna sredstva ki so zabita ali vtisnjena (tudi Bulldog in Geka mozniki)	$0,08\text{ mm} \leq u \leq 0,50\text{ mm}$
PLASTIČNA VEZNA SREDSTVA	Mozniki vgrajeni v utore in žlebove, zobčanje, pričeljenje, stikovanje na čelni kontakt s čepom	$0,50\text{mm} \leq u \leq 1,0\text{ mm}$
MEHKA VEZNA SREDSTVA	Vijaki, sponke, objemke in podobno	$1,0\text{mm} \leq u \leq 1,50\text{ mm}$

Skupine veznih sredstev glede na podajnost

3.1.4 Sodelovanje različnih veznih sredstev v priključkih

Če zanemarimo lokalne deformacije v neposredni okolici veznih sredstev, je **zamik vseh veznih sredstev v osno obremenjenem spoju enak**; torej je obremenitev veznih sredstev sorazmerna njihovi togosti (K_{ser}).

V računu nosilnosti priključkov lahko upoštevamo sodelovanje različnih veznih sredstev le takrat, ko so le-ta približno enako podajna.

Po možnosti torej kombiniramo vezna sredstva, ki imajo približno enak porušni zamik! V nasprotnem primeru pripišemo **vso obremenitev bolj togemu sredstvu**, ostala vezna sredstva so le konstruktivna (kot na primer vijaki v lepljenih stikih in vijaki pri zmožničenih spojih).

JUS U.C9.200 podaja tudi za primer, ko sta podajnosti dveh sodelujočih veznih sredstev približno enaki, in ju računsko lahko hkrati upoštevamo, naslednjo omejitev: tisto vezno sredstvo, ki **prevzame manjši del skupne sile, se upošteva le z 2/3 nosilnosti**.

Število upoštevanih veznih sredstev ki so razporejena **v liniji je v računu odpornosti priključka omejeno**. Če je v liniji več veznih sredstev, upoštevamo reducirano odpornost, ker ne sodelujejo vsa vezna sredstva enako učinkovito. Reducirano odpornost priključka določimo na podlagi reduciranega števila veznih sredstev v liniji ($n_{ef} \leq n$). V skladu z EN 1995-1-1 se reducirano število upošteva pri vijakih in žeblih. Če imamo kontinuiran stik po celi dolžini elementa (npr. pri sestavljenih upogibnih elementih), števila upoštevanih veznih sredstev v liniji ne zmanjšujemo.

3.2 RAČUNSKA ODPORNOST VEZNIH SREDSTEV PO EN 1995-1-1

- **Nosilnost** (odpornost) priključka izvedenega z večjim številom enakih veznih sredstev je **manjša od vsote nosilnosti posameznih veznih sredstev** (učinkovito število veznih sredstev).
- Pri veznih sredstvih (žeblih in vijakih) razporejenih paralelno z vlakni **v eni vrsti** je karakteristična odpornost ene vrste veznih sredstev določena z izrazom:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk}$$

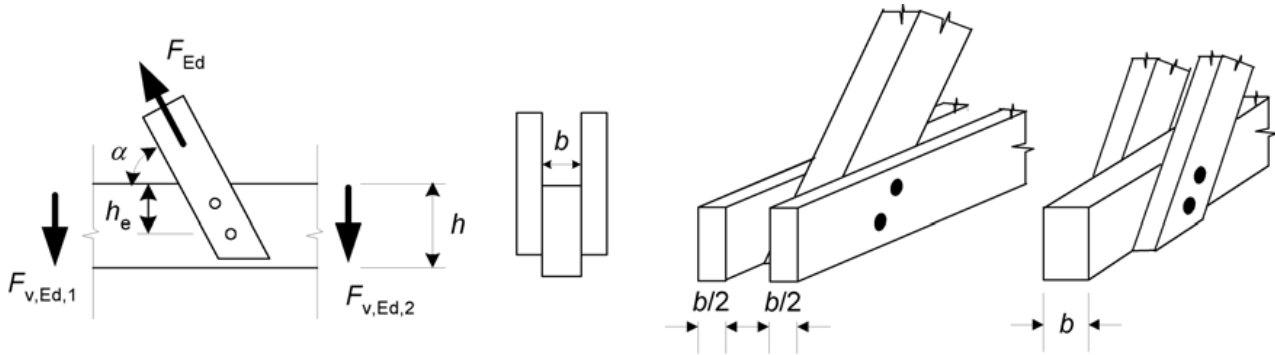
pri čemer je n_{ef} učinkovito število veznih sredstev v vrsti,

$F_{v,Rk}$ pa je karakteristična odpornost vskega veznega sredstva paralelno z vlakni

- Če so v priključku **različne vrste veznih sredstev** je to potrebno upoštevati pri računu odpornosti priključka (gre predvsem za različne podajnosti veznih sredstev).
- Če se v priključku zaradi dolgotrajnih in srednje dolgih vplivov lahko pojavijo **izmenične notranje sile (tlak /nateg)** lahko pride do zmanjšanja odpornosti. Vpliv takšnih izmeničnih sil v priključku med tlačno silo $F_{c,Ed}$ in natezno silo $F_{t,Ed}$ na odpornost priključka zajamemo tako, da priključek sprojektiramo (preverimo) za sili:

$$F_{t,Ed} + 0,5 F_{c,Ed} \quad \text{in} \quad F_{c,Ed} + 0,5 F_{t,Ed}$$

- Pri priključnih silah, ki delujejo pod kotom α glede na vlakna je potrebno preveriti možnost cepitve lesenega elementa v katerega vnašamo silo:



$$\boxed{F_{V,Ed} \leq F_{90,Rd}} ; \quad F_{V,Ed} = \max(F_{v,Ed,1}; F_{v,Ed,2}) \quad \text{velja pa} \quad F_{v,Ed,1} + F_{v,Ed,2} = F_{Ed} \sin \alpha$$

Pri tem so: $F_{90,Rd}$ – projektna cepilna odpornost določena na podlagi ustrezne karakteristične odpornosti $F_{90,Rk}$:

$$F_{90,Rd} = k_{\text{mod}} \frac{F_{90,Rk}}{\gamma_M}$$

$F_{v,Ed,1}$ oz. $F_{v,Ed,2}$ – pa projektni prečni sili zaradi sile $F_{Ed} \cdot \sin \alpha$ levo oziroma desno od priključka.

Karakteristična cepilna odpornost je pri paličnih veznih sredstvih (za krempljaste plošče glej EN1995-1-1 točko 8.1.4 (3)) podana z naslednjim izrazom:

$$F_{90,Rk} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad [\text{N}]$$

Pri tem so (glej sliko zgoraj):

α - kot med smerjo vlaken in učinkovalnico sile F_{Ed}

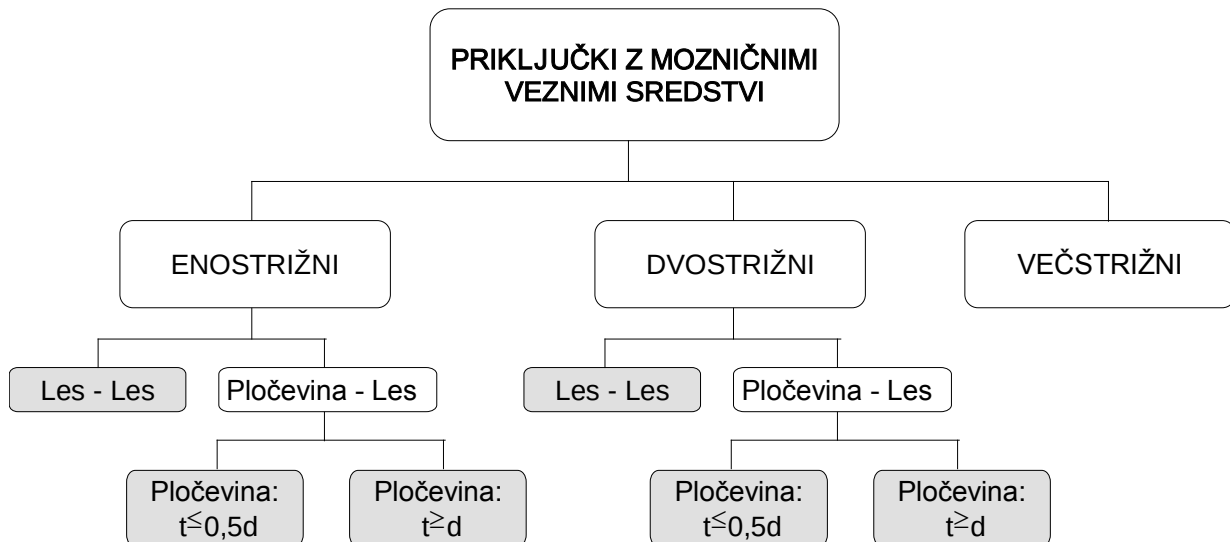
h_e - razdalja od obremenjenega roba do težišča najbolj oddaljenega veznega sredstva [mm],

b - širina elementa v katerega prenašamo silo [mm],

h – pa višina tega elementa.

3.2.1 Računska odpornost v prečni smeri pri veznih sredstvih mozničnega tipa

- Vezna sredstva mozničnega tipa so vezna sredstva, ki prevzamejo obremenitve v strižni ravnini po principu paličnega moznika:
 - žebliji, sponke, vijaki, lesni vijaki, trni in krempljaste plošče.
- V EN 1995-1-1 so podani izrazi za računsko določanje odpornosti VS za naslednje vrste strižnih priključkov:



Uporabljene oznake:

$F_{v,Rk}$ - karakteristična odpornost enega veznega sredstva v eni strižni ravnini

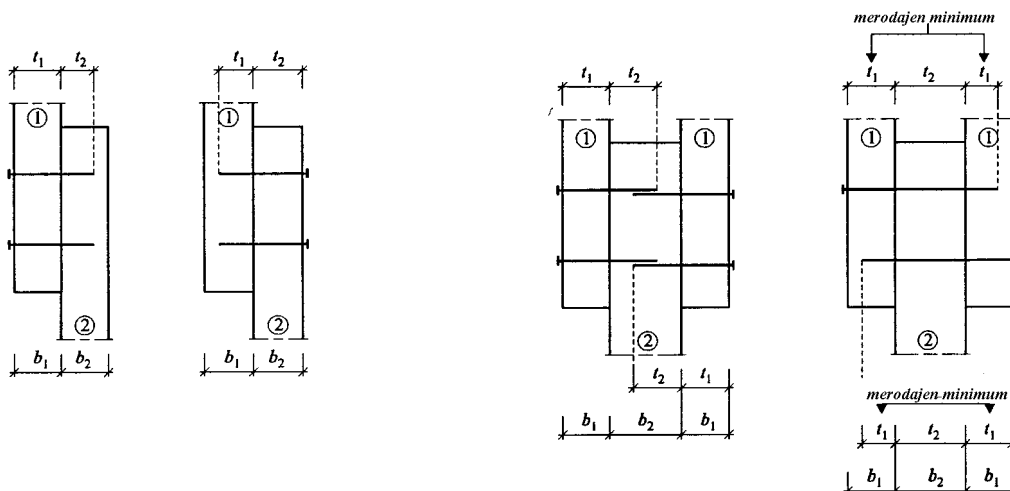
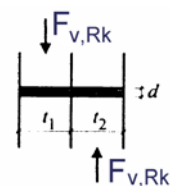
t_i - debeline lesa (ali plošče) oziroma globina zabijanja ali vtiskanja ($i = 1$ ali 2)

d - premer veznega sredstva

$f_{h,i,k}$ - karakteristična vtisna (bočna) trdnost lesa i , ki je podana pri posameznih vrstah VS

β - razmerje karakterističnih vtisnih trdnosti:
$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

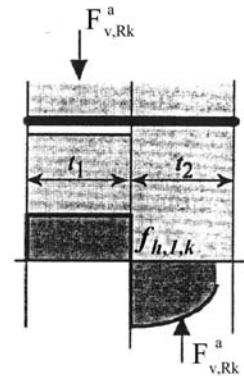
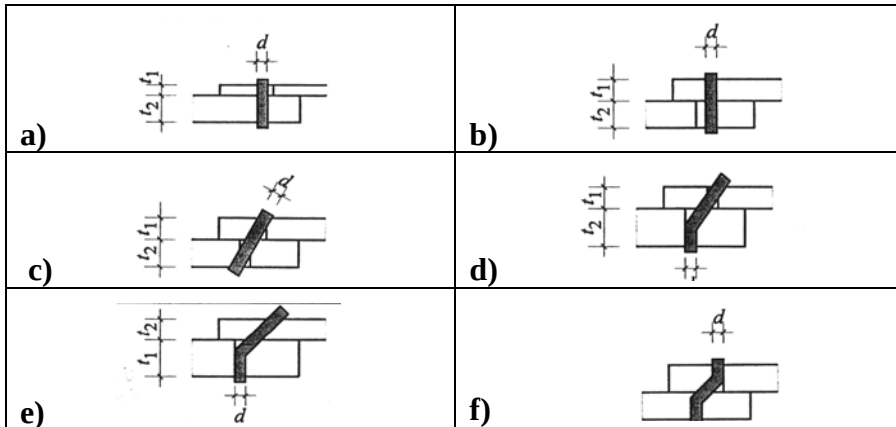
$M_{y,Rk}$ - karakteristični moment plastifikacije veznega sredstva: podan pri posameznih vrstah VS



Projektna odpornost (nosilnost) veznega sredstva: $F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M}$

Enostrižni priključki LES-LES in LES-VEZANA PLOŠČA:

Karakteristična odpornost **enega veznega sredstva v eni strižni ravnini** $F_{v,Rk}$ je določena kot minimalna vrednost karakteristične odpornosti pri naslednjih šestih možnih načinih porušitve priključka (a, b, c, d, e, f). Merodajen porušni mehanizem je odvisen od geometrije priključka, vtisnih trdnosti in polnoplastičnega momenta veznega sredstva.



$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(a)} \\ f_{h,2,k} t_2 d & \text{(b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(f)} \end{cases}$$

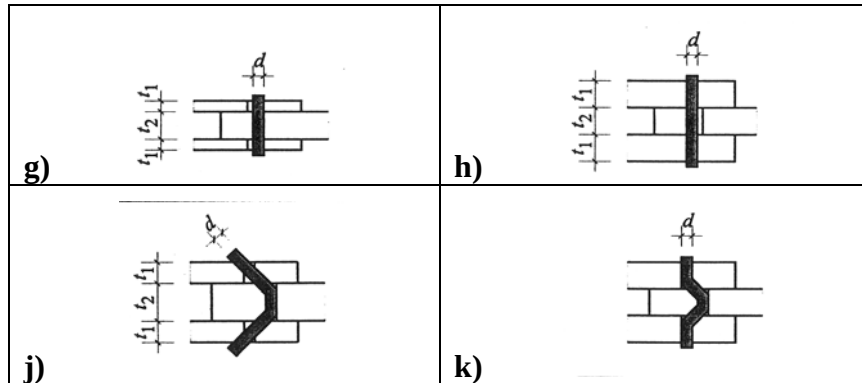
Prvi členi desnih strani gornjih izrazov predstavljajo odpornosti po dobro znanih Johansen-ovih enačbah (Johansen-ova teorija) strižnih porušnih načinov, drugi člen $F_{ax,Rk}/4$ pa predstavlja prispevek izvlečnega mehanizma. Ta prispevek izvlečnega mehanizma ($F_{ax,Rk}/4$) glede na prispevek členov po Johansen-ovih enačbah ne sme presegati:

- pri »okroglih« žeblih 15 %
- pri »kvadratnih« žeblih 25 %
- pri drugih vrstah žeblov (ohrapavljenih) 50 %
- pri lesnih vijakih 100 %
- pri vijakih 25 %
- pri trnih 0

Če karakteristična izvlečna odpornost veznih sredstev ni znana se zanjo upošteva vrednost 0. V splošnem so izrazi za določitev izvlečne odpornosti podani pri posameznih veznih sredstvih.

Dvostržni priključki LES-LES in LES-VEZANA PLOŠČA:

Karakteristična odpornost **enega veznega sredstva v eni strižni ravnini** $F_{v,Rk}$ je določena kot minimalna vrednost karakteristične odpornosti pri naslednjih štirih možnih načinih porušitve priključka (g, h, j, k). Merodajen porušni mehanizem je odvisen od geometrije priključka, vtisnih trdnosti in polnoplastičnega momenta veznega sredstva.



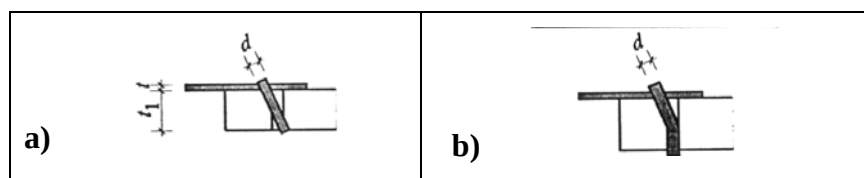
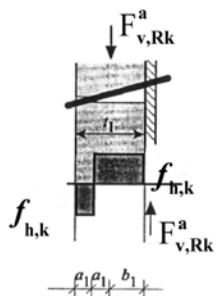
$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

Glede prispevka izvlečnega mehanizma $F_{ax,Rk}/4$ in njegove zgornje meje velja vse kar je bilo navedeno v razdelku o enostržnih priključkih les-les na prejšnji strani.

Enostržni priključki PLOČEVINA-LES:

- **$t \leq 0,5 d$** (tanke pločevine - pri načinih porušitve je predvidena rotacija VS v pločevini)

Karakteristična odpornost **enega veznega sredstva v eni strižni ravnini** $F_{v,Rk}$ je določena kot minimalna vrednost karakteristične odpornosti pri naslednjih dveh možnih načinih porušitve priključka (a, b). Merodajen porušni mehanizem je odvisen od geometrije priključka, vtisne trdnosti lesa in polnoplastičnega momenta veznega sredstva.

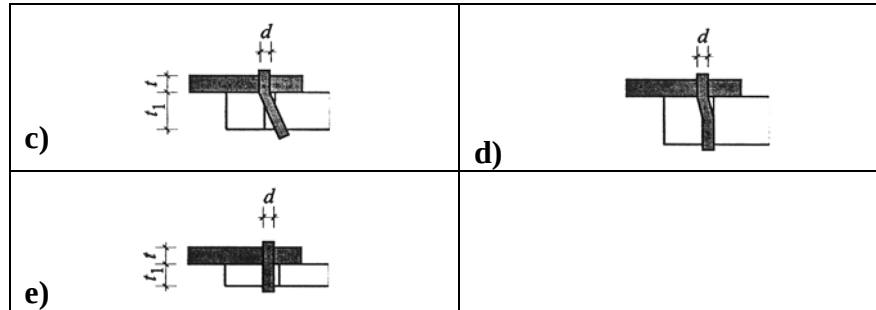
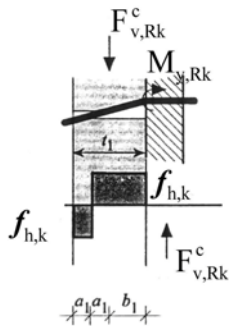


$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & (a) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (b) \end{cases}$$

Glede prispevka izvlečnega mehanizma $F_{ax,Rk}/4$ in njegove zgornje meje velja vse kar je bilo navedeno v razdelku o enostržnih priključkih les-les na prejšnji strani.

- $t \geq d$ (debele pločevine - pri načinih porušitve je predvideno vpetje VS v pločevini)

Karakteristična odpornost **enega veznega sredstva v eni strižni ravnini** $F_{v,Rk}$ je določena kot minimalna vrednost karakteristične odpornosti pri naslednjih treh možnih načinih porušitve priključka (c, d, e). Merodajen porušni mehanizem je odvisen od geometrije priključka, vtisne trdnosti lesa in polnoplastičnega momenta veznega sredstva.



$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ f_{h,k} t_1 d & (e) \end{cases}$$

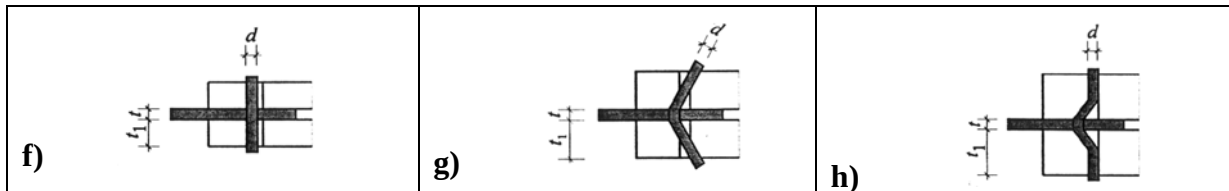
Glede prispevka izvlečnega mehanizma $F_{ax,Rk}/4$ in njegove zgornje meje velja vse kar je bilo navedeno v razdelku o enostrižnih priključkih les-les na strani 66.

- $0,5d < t < d$ (dovoljena je linearna interpolacija odpornosti $F_{v,Rk}$ med vrednostmi določenimi po izrazih za tanko pločevino in izrazih za debelo pločevino)

Dvostrizni priključki PLOČEVINA-LES:

Pločevina je srednji element:

Karakteristična odpornost **enega veznega sredstva v eni strižni ravnini** $F_{v,Rk}$ je določena kot minimalna vrednost karakteristične odpornosti pri naslednjih treh možnih načinih porušitve priključka (f, g, h). Merodajen porušni mehanizem je odvisen od geometrije priključka, vtisne trdnosti lesa in polnoplastičnega momenta veznega sredstva.



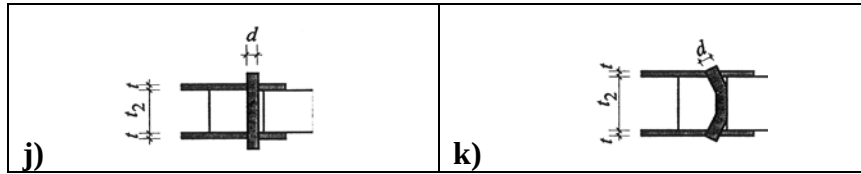
$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (f) \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (h) \end{cases}$$

Glede prispevka izvlečnega mehanizma $F_{ax,Rk}/4$ in njegove zgornje meje velja vse kar je bilo navedeno v razdelku o enostrižnih priključkih les-les na strani 66.

Pločevina je zunaj:

- **$t \leq 0,5 d$** (tanke pločevine - pri načinih porušitve je predvidena rotacija VS v pločevini)

Karakteristična odpornost **enega veznega sredstva v eni strižni ravnini** $F_{v,Rk}$ je določena kot minimalna vrednost karakteristične odpornosti pri naslednjih dveh možnih načinih porušitve priključka (j, k). Merodajen porušni mehanizem je odvisen od geometrije priključka, vtisne trdnosti lesa in polnoplastičnega momenta veznega sredstva.

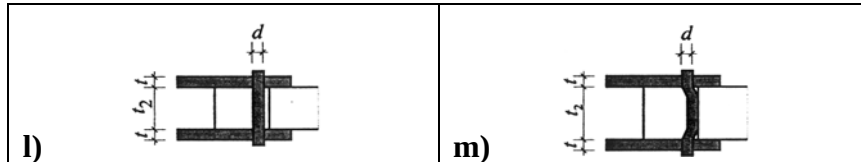


$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (j) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k}} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

Glede prispevka izvlečnega mehanizma $F_{ax,Rk}/4$ in njegove zgornje meje velja vse kar je bilo navedeno v razdelku o enostrižnih priključkih les-les na strani 66.

- **$t \geq d$** (debele pločevine - pri načinih porušitve je predvideno vpetje VS v pločevini)

Karakteristična odpornost **enega veznega sredstva v eni strižni ravnini** $F_{v,Rk}$ je določena kot minimalna vrednost karakteristične odpornosti pri naslednjih dveh možnih načinih porušitve priključka (l, m). Merodajen porušni mehanizem je odvisen od geometrije priključka, vtisne trdnosti lesa in polnoplastičnega momenta veznega sredstva.



$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (l) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k}} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (m) \end{cases}$$

Glede prispevka izvlečnega mehanizma $F_{ax,Rk}/4$ in njegove zgornje meje velja vse kar je bilo navedeno v razdelku o enostrižnih priključkih les-les na strani 66.

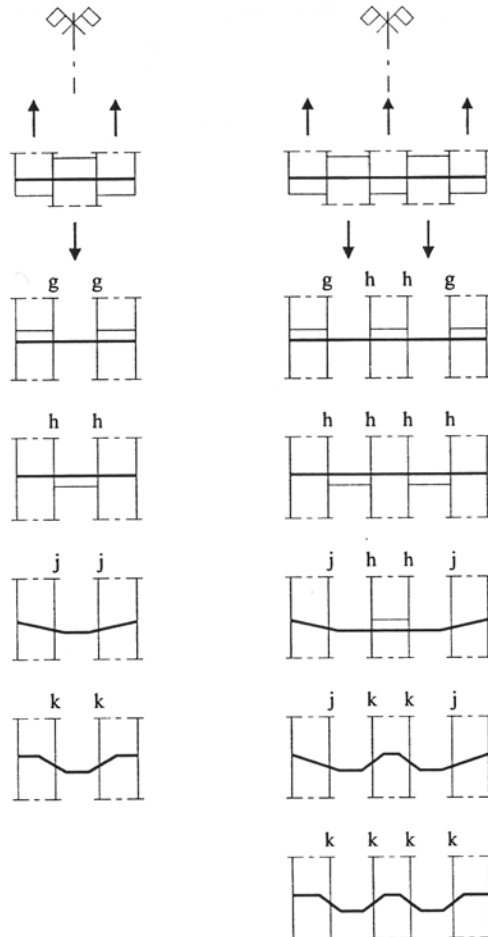
- **$0,5d < t < d$** (dovoljena je linearna interpolacija odpornosti $F_{v,Rk}$ med vrednostmi določenimi po izrazih za tanko pločevino in izrazih za debelo pločevino)

Večstrižni priključki:

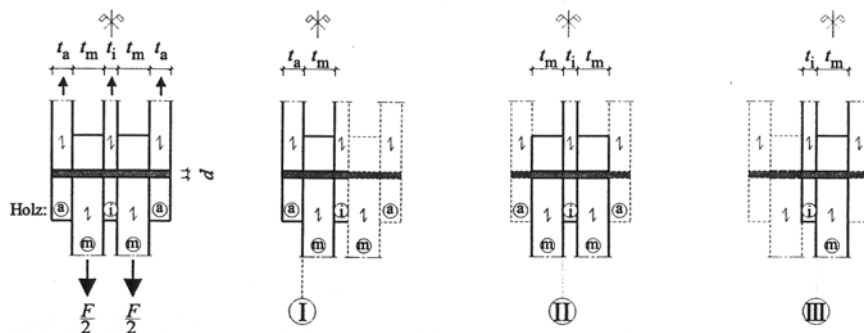
Celotna karakteristična odpornost večstrižnega priključka je določena kot:

vsota minimalnih karakterističnih odpornosti za vsako izmed strižnih ravnin določenih za primere vseh možnih sestavov po treh sosednjih elementov.

Vsaka strižna ravnina je torej obravnavana pri enem ali več možnih načinih porušitve za dvostrižni spoj.



Primer: $F_{v,Rk} = 2 R_{I,v,Rk,min} + 2 R_{II(III),v, Rk,min}$



3.2.2 Žebljani priključki

Strižno obremenjeni žebli

Karakteristična vtisna trdnost lesa pri priključkih LES-LES in PLOČEVINA-LES (za vse α):

- brez predhodnega vrtanja lukenj: $f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3}$ v N/mm²

- s predhodnim vrtanjem lukenj: $f_{h,k} = 0,082 \rho_k (1 - 0,01d)$ v N/mm²

pri čemer sta ρ_k karakteristična gostota lesa v kg/m³, d pa premer žeblja v mm

Pri žeblih s premerom večjim od 8mm se karakteristično vtisno trdnost določi kot pri vijakih.

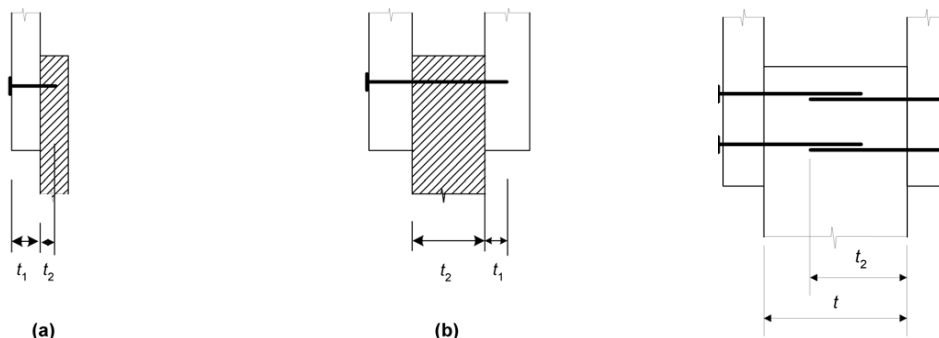
Za gladke žeblje iz materiala z natezno trdnostjo f_u večjo od 600N/mm² upoštevamo naslednjo karakteristično vrednost momenta plastifikacije:

- žebli okroglega prereza: $M_{y,Rk} = 0,3 f_u d^{2,6}$ v Nmm (d - premer v mm)

- žebli kvadratnega prereza: $M_{y,k} = 0,45 f d^{2,6}$ v Nmm (d - stranica v mm)

Račun karakterističnih odpornosti posameznega žeblja v eni strižni ravnini izvedemo po ustreznih izrazih iz poglavja 3.2.1 v odvisnosti od vrste priključka.

Pomen dimenzij iz poglavja 3.2.1:



Pravila za izvedbo žebljanih strižnih priključkov:

- V vsakem žebljanem priključku morata biti **vsaj dva žebja**.
- Predhodno vrtanje lukenj je potrebno kadar je karakteristična gostota lesa ρ_k večja od 500 kg/m³, ali pa gre za žeblje s premerom večjim od 8mm in
- Pri gladkih strižnih žeblih mora biti globina zabijanja vsaj **8d** (t_2 - na strani konice).
- Žebljem zabitim s konca v smeri vlaken ne pripišemo nosilnosti-izjema sekund. konstr. $1/3F_{v,Rk}$
- Pri žeblih brez predhodnega vrtanja lukenj so minimalne debeline lesa:

$$t = \max \begin{cases} 7d \\ (13d - 30) \rho_k / 400 \end{cases} \quad \text{pri čemer morata biti } \rho_k \text{ v kg/m}^3, d \text{ pa v mm}$$

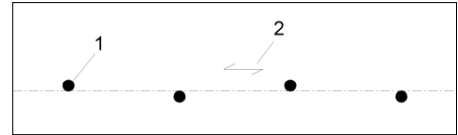
- Pri žeblih brez predhodnega vrtanja lukenj se lahko žebli v srednjem lesu prekrivajo če velja:

$$t - t_2 > 4d \quad (\text{glej sliko zgoraj desno})$$

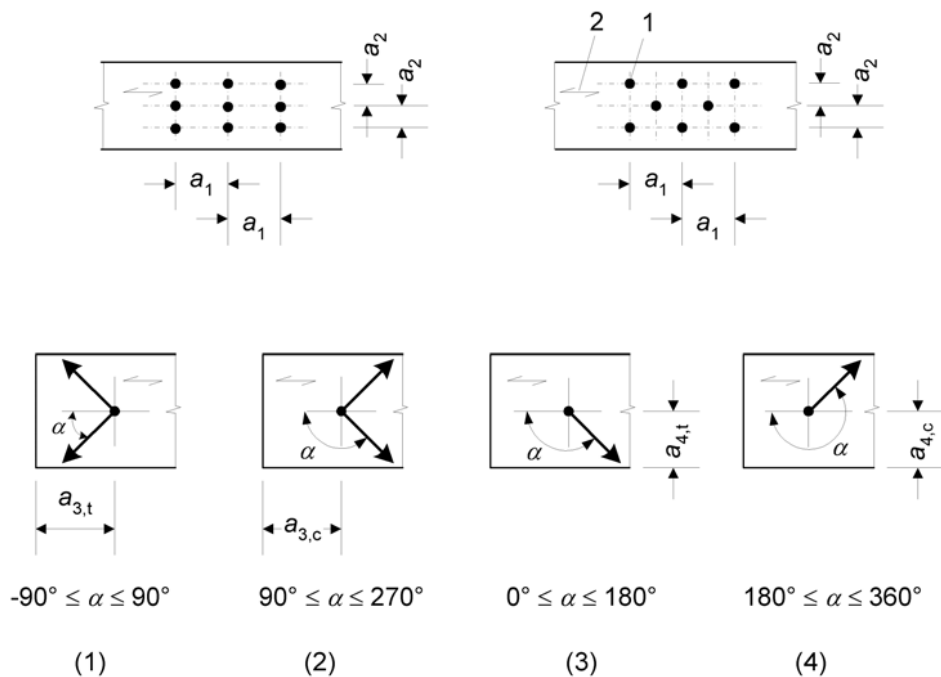
- Pri žeblih, zabitih v eni vrsti v smeri vlaken (razen če so v smeri pravokotno na vlakna zamaknjeni za d -glej spodnjo sliko), se upošteva namesto dejanskega števila veznih sredstev n učinkovito število veznih sredstev n_{ef} :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad \text{Parameter } k_{ef} \text{ je podan v spodnji preglednici}$$

Razdalja ^a	k _{ef}	
	Brez predhodnega vrtanja lukenj	S predhodnim vrtanjem lukenj
$a_1 \geq 14 d$	1,0	1,0
$a_1 = 10 d$	0,85	0,85
$a_1 = 7 d$	0,7	0,7
$a_1 = 4 d$	-	0,5
^a Pri vmesnih razdaljah se k_{ef} lahko linearno interpolira		



- Minimalni razdalje med žebli in minimalne oddaljenosti žeblov od robov:

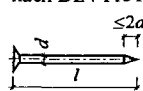
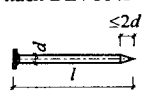


- Legenda:
- (1) – obremenjeni konec
 - (2) – neobremenjeni konec
 - (3) – obremenjeni rob
 - (4) – neobremenjeni rob
 - 1 – vezno sredstvo
 - 2 – smer vlaken

Minimalni razdalje med žebli in minimalne oddaljenosti žabljev od robov:

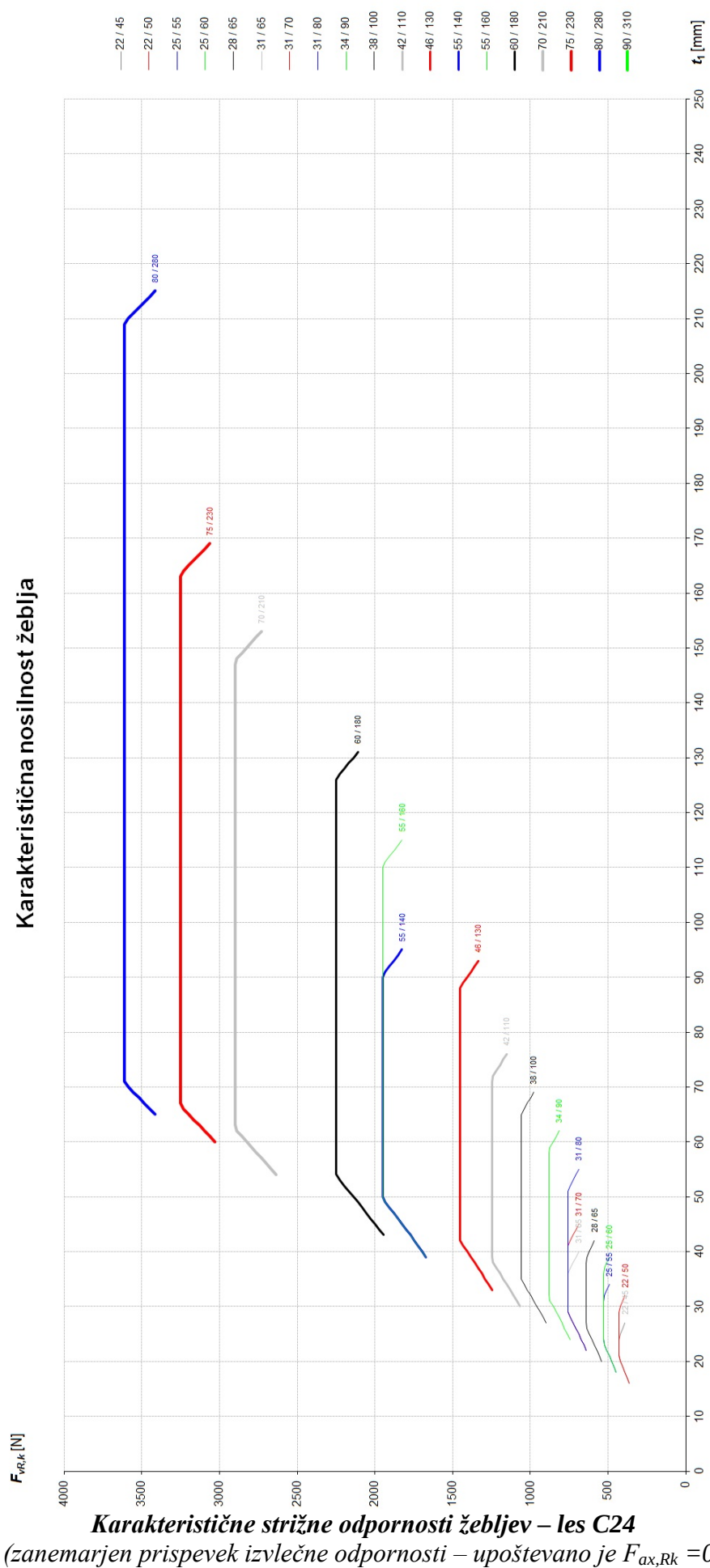
Razdalja ali oddaljenost	Kot α	Minimalne razdalje oziroma oddaljenosti od robu/konca		
		Brez predhodnega vrtanja lukenj		S predhodnim vrtanjem lukenj
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1 (vzporedno z vlakni)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5+5 \cos \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5+7 \cos \alpha) d$	$(7+8 \cos \alpha) d$	$(4+ \cos \alpha) d$
a_2 (pravokotno na vlakna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+ \sin \alpha) d$
$a_{3,t}$ (obrem. konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5 \cos \alpha) d$	$(15+5 \cos \alpha) d$	$(7+5 \cos \alpha) d$
$a_{3,c}$ (neobrem. konec)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,t}$ (obremenjeni rob)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(7+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(3+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(3+4 \sin \alpha) d$
$a_{4,c}$ (neobrem. rob)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Dimenzije žabljev po DIN standardih:

runde Drahtstifte Form B nach DIN 1151				runde Maschinenstifte nach DIN 1143-1	
					
Nagelmaße d x l in 1/10 mm x mm				Nagelmaße d x l in 1/10 mm x mm	
20 x 40	31 x 65	42 x 100	60 x 180	20 x 40	28 x 65
22 x 45	31 x 70	42 x 110	70 x 210	20 x 45	31 x 70
22 x 50	31 x 80	42 x 120	76 x 230	22 x 50	31 x 80
25 x 55	34 x 80	46 x 130	76 x 260	25 x 55	34 x 90
25 x 60	34 x 90	55 x 140		25 x 60	
28 x 65	38 x 100	55 x 160			
Bezeichnung (Beispiel)				Na (Na 42 x 100)	

Dimenzije žabljev po standardu JUS U.C9.200 ($d \times l$; d je v 1/10 mm, l v mm):

22 x 45, 22 x 50; 25 x 55, 25 x 60; 28 x 65; 31 x 65, 31 x 70, 31 x 80; 34 x 90; 38 x 100;
41 x 110; 46 x 130; 55 x 140, 55 x 160; 60 x 180; 70 x 210; 75 x 230; 80 x 260; 90 x 310



Oso obremenjeni žblji

- Gladkih žbljev ne smemo uporabiti za prevzem osnih obremenitev pri stalni in dolgotrajni obteži
- Karakteristično izvlečno odpornost žblja izračunamo po izrazih:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} \\ f_{head,k} d_h^2 \end{cases} \quad \text{za gladke žblje in} \quad F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d_h^2 \end{cases} \quad \text{za ohrapavljene žblje}$$

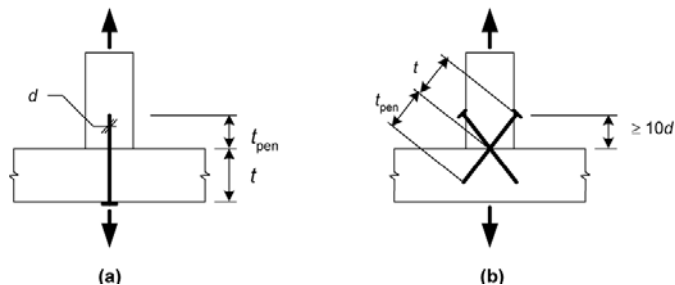
Pri čemer so:

$f_{ax,k}$ – karakteristična izvlečna trdnost dela žblja s konico

$f_{head,k}$ – karakteristična izvlečna trdnost dela žblja z glavo (uvlek glave v les)

t – debelina lesa ob glavi žblja, d_h – premer glave žblja

t_{pen} – globina zabijanja v nasprotni les



Sprejemljivi varianti zabijanja:

- Trdnosti $f_{ax,k}$ in $f_{head,k}$ se pri gladkih žbljih z globino zabijanja vsaj $12d$ lahko določita po naslednjih izrazih, v drugih primerih pa se ugotovita eksperimentalno v skladu s standardi EN1382, EN1383 in EN 14358:

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 \quad \text{v N/mm}^2 \quad f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 \quad \text{v N/mm}^2$$

pri čemer je ρ_k karakteristična gostota lesa v kg/m^3

- Pri vgradnji žbljev v les z vlažnostjo **blizu meje zasičenosti** lahko upoštevamo le 2/3 osnovnih vrednosti trdnosti $f_{ax,k}$ in $f_{head,k}$ (vpliv sušenja).
- Žbljem zabitim s **konca** v smeri vlaken **ne pripišemo osne nosilnosti!**
- Razdalje med žblji in razdalje žbljev od robov elementov so načeloma enake kot pri strižnih žbljih. Dodatna zahteva je, da je pri poševno zabitih žbljih oddaljenost od obremenjenega robu vsaj $10d$ (glej gornjo sliko).

Kombinacija strižne in osne obremenitve

Za priključek z osno projektno (natezno) obremenitvijo $F_{ax,Ed}$ ter projektno odpornostjo $F_{ax,Rd}$ in strižno projektno obremenitvijo $F_{v,Ed}$ ter strižno odpornostjo $F_{v,Rd}$ mora biti izpolnjen pogoj:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad \text{za gladke žblje in} \quad \left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{za ohrapavljene žblje.}$$

3.2.3 Priključki izvedeni z vijaki

Strižno obremenjeni vijaki

Karakteristična vtisna trdnost lesa za vijake premera do 30mm ($d \leq 30\text{mm}$) pri priključkih LES-LES in LES-PLOČEVINA:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} ; \quad f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad \text{v N/mm}^2$$

$k_{90} = 1,35 + 0,015d$ za iglavce oziroma $k_{90} = 0,90 + 0,015d$ za listavce

pri čemer sta ρ_k karakteristična gostota lesa v kg/m^3 , d pa premer vijaka v mm

Karakteristična vtisna trdnost vezane plošče pri priključkih LES-VEZANA PLOŠČA:

$$f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01d)\rho_k \quad \text{v N/mm}^2$$

pri čemer sta ρ_k karakteristična gostota vezane plošče v kg/m^3 ,
 d pa premer vijaka v mm

Za vijake upoštevamo naslednjo karakteristično vrednost momenta plastifikacije:

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,k}d^{2,6} \quad \text{v Nmm} \quad (d - \text{premer v mm, } f_{u,k} - \text{karak. natezna trdnost v N/mm}^2)$$

Vijaki morajo biti vsaj iz jekla trdnostnega razreda 3.6 po standardu EN 20 898-1.

Trdnostni razred po EN 20898-1	Karakteristična trdnost $f_{u,k}$ v N/mm ²
3.6	300
4.6 in 4.8	400
5.6 in 5.8	500

Račun odpornosti posameznega vijaka v eni strižni ravnini izvedemo po ustreznih izrazih iz poglavja 3.2.1 v odvisnosti od vrste priključka.

- Pri vijakih vgrajenih v eni vrsti v smeri vlaken se upošteva namesto dejanskega števila vijakov n učinkovito število veznih sredstev n_{ef} :

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right.$$

Pri tem je a_1 razmak med veznimi sredstvi v vzdolžni smer (smeri vlaken), d pa premer vijaka.

Pri silah pravokotno na vlakna se upošteva $n_{ef}=n$, pri vmesnih kotih med 0° in 90° , je dovoljena linearna interpolacija.

Pravila za izvedbo strižnih priključkov z vijaki:

- V vsakem priključku morata biti vsaj **dva vijaka** (nemški NAD in JUS U.C9.200)
- Pri priključkih LES-LES premer luknje ne sme biti več kot 1 mm večji od premera vijaka, pri priključkih LES-PLOČEVINA pa ne večji od večje vrednosti 2 mm in $0,1 \cdot d$.
- Minimalni razmaki med vijaki in minimalne oddaljenosti vijakov od robov oziroma koncev:

Razmaki in oddaljenosti od koncev/robov	Kot	Minimalni razmak oziroma oddaljenost od konca/robu
a_1 (vzporedno z vlakni)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (pravokotno na vlakna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (obremenjeni konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (neobremenjeni konec)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d; 4d]$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d; 4d]$
$a_{4,t}$ (obremenjeni rob)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ (neobremenjeni rob)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

Oсно obremenjeni vijaki

- Preveriti je potrebno natezno odpornost vijaka in upogibno odpornost podložne ploščice.
- Podložno ploščico se dimenzionira na predpostavljeno kontaktno napetost $3,0 \cdot f_{c,90,k}$.
- Pri priključkih les-pločevina se vijak dimenzionira glede na rezultanto predpostavljenih kontaktnih napetosti ($3,0 \cdot f_{c,90,k}$) pri nadomestnem premeru podložne ploščice, ki znaša manj izmed:
 - $12 t$ (t je debelina pločevine)
 - $4 d$ (d je premer vijaka)

Dimenzije vijakov in podložnih ploščic:

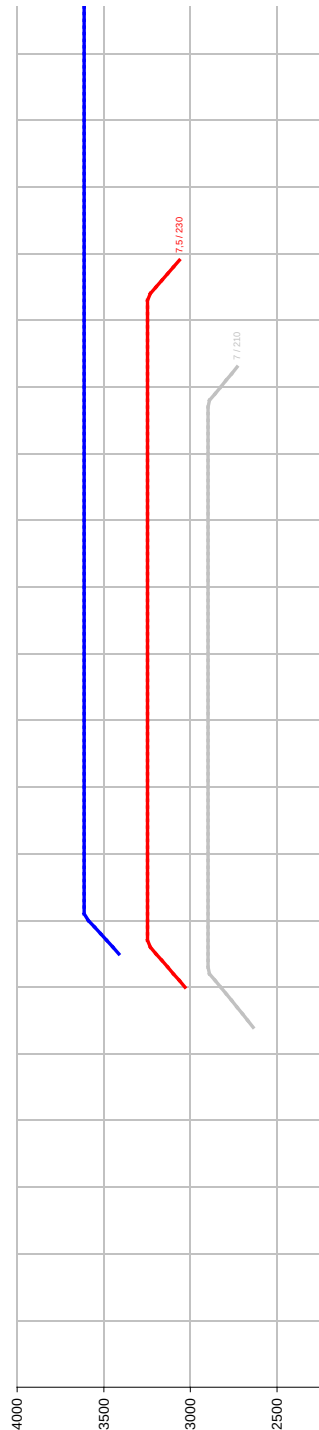
Vijak	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30
Debelina podložne ploščice [mm] ($\geq 0,3d$)	$\geq 2,4$	$\geq 3,0$	$\geq 3,6$	$\geq 4,8$	$\geq 6,0$	$\geq 7,2$	$\geq 9,0$
Zunanji premer (okrogle podl.pl.) oziroma stranica pri (kvadratni podl.pl.) [mm] ($\geq 3d$)	≥ 24	≥ 30	≥ 36	≥ 48	≥ 60	≥ 72	≥ 90

Nosilnost žeblijev

EN 338:1995, EN 1995-1-1:2005

Vrsta spoja	Material 1			Material 2			Vrsta zehlja				
	Izmeri tesnost (N)	Trdnosni razred materiala 1		Izmeri tesnost (N)	Trdnosni razred materiala 2						
		Uporabni razred materiala 1	Gostota materiala 1 [kg/m ³]		Uporabni razred materiala 2	Gostota materiala 2 [kg/m ³]					
								masni tes C24	1.	masni tes C24	1.
	350	350	350	350	350	350	f_e [N/mm ²] za glade				
brez upostrejanja vrhovne učinka	olergiji zehlja:	0%									
	Debelina zehlja d [mm]	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,2	4,6	5,5	5,5
	Dolžina zehlja l [mm]	45	55	65	80	90	100	110	130	140	160
	Minimalna globina zabijanja [mm]	17,6	20,0	22,4	24,8	27,2	30,4	33,6	36,8	44,0	44,0
	Maksimalna debelina lesa [mm]	32,4	35,0	40,0	40,2	45,2	62,8	69,6	76,4	93,2	96,0
	Minimalna debelina lesa 1 [mm]	15,4	17,5	17,5	21,7	21,7	23,8	26,6	29,4	32,2	38,5
	Minimalna debelina lesa 2 [mm]	15,4	17,5	19,6	21,7	21,7	23,8	26,6	29,4	32,2	38,5
	$f_{e,1,3}$ [N/mm ²]	22,65	21,80	21,07	20,44	20,44	19,88	19,23	18,66	18,16	17,21
	$f_{e,2,3}$ [N/mm ²]	22,65	21,80	21,07	20,44	20,44	19,88	19,23	18,66	18,16	17,21
	β	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$M_{y,0,0}$ [Nm]	1398,21	1949,47	2617,48	3410,46	4336,28	5790,42	7511,40	9315,75	15143,12	15143,12	
$F_{y,0,0}$ [N]	429,3	530,1	639,1	756,0	880,5	1057,9	1247,8	1449,9	1947,1	1947,1	

Karakteristična nosilnost žeblija



Karakteristične strižne odpornosti žeblicev – les C24
(zanemarjen prispevek izvalčne odpornosti – upoštevano je $F_{ax,Rk}=0$)