

Krivljenje masivnega lesa

avtor **Janez ABRAM**, Novoles d.d.

Izveček

Za izdelavo lesene krive noge stola ali mize je potrebno celovito obvladovanje postopka krivljenja. Opisani so osnovni koraki: od izbire lesa, pred-sušenja, predobdelave, mehčanja, krivljenja in stabilizacije lesa. Okvirno je predstavljeno klasično ročno in strojno krivljenje masivnega lesa.

Ključne besede: klasično krivljenje lesa, elastični modul, viskoelastičnost, hidrotermična obdelava lesa

Pri pogledu v našo preteklost lahko ugotovimo, da je bila uporaba izdelkov iz krivljenega masivnega lesa znana že v starem veku. Že Grki in Rimljani so vedeli, da bo les obdržal svojo obliko pri krivljenju toliko časa, dokler bo vpet in vgrajen s sosednjimi deli v izdelku. Omenjena metoda je zakoreninjena tudi na slovenskih tleh, kjer lahko najdemo različne pletene izdelke, kot so koši in košare, izdelani iz leske (*Corylus avellana* L.), kostanja (*Castanea sativa* Mill.), vrbe (*Salix viminalis* L.) ... Mavrico krivljenih izdelkov sestavljajo tudi postopki:

- tesianje in izžagovanje delov izdelka iz naravno ukrivljenih delov drevesa (ladijska rebra),
- izžagovanje zahtevanih krivin iz deske,
- zarezovanje (konkavna stran) in

krivljenje obdelovancev (dekorativni deli izdelkov),

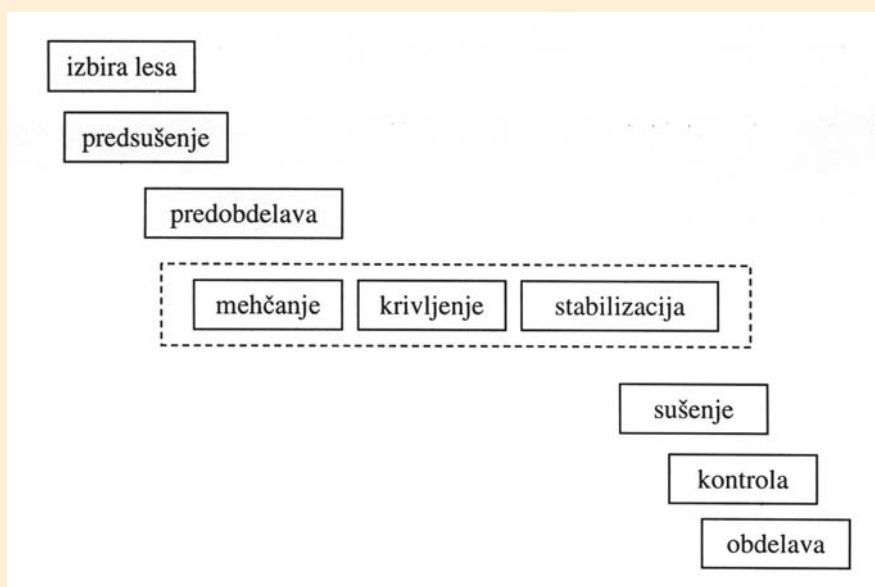
- krivljenje elementov s postopkom mehčanja (ročno, strojno),
- krivljenje z lepljenjem laminatov ali vezanega lesa v želeno obliko v kalupu ...

Za proizvodnjo krivljenih elementov je racionalno obvladati celoten proces krivljenja, ki na eni strani izvira iz praktičnih izkušenj, na drugi pa iz poznavanja bioloških, mehanskih in fizikalnih lastnosti lesa.

Izbira lesa

Izbira materiala pri krivljenju je odločilnega pomena. Že pri majhnih obremenitvah se lahko les, ki vsebuje grče, frakture, vraslo skorjo, zaviti potek aksialnih vlaken ... lomi v napakah in okoli njih. Les, ki vsebuje takšne napake, se krivi tako, da le-te približamo konveksni strani in s tem v območje nevtralne cone oziroma osi, kjer so deformacije pri krivljenju najmanjše.

Pri izbiri drevesne vrste upoštevamo uporabnost materiala, upogibne lastnosti, žilavost ... V splošnem so listavci zmernega pasu primernejši od tropskih listavcev in skoraj vseh iglavcev. V pohištveni industriji se največ uporablja bukev (*Fagus sylvatica*) in drevesne vrste iz rodu hrasta (*Quercus*), ker so najbolj dostopni in imajo dobre upogibne lastnosti. Za proizvodnjo športne opreme se zahteva les, ki ima visoko udarno žilavost, kot jo ima jesen (*Fraxinus* sp.). V sodarstvu se poleg hrastovine uporablja češnja (*Prunus avium*) in robinija (*Robinia pseudoacacia*). Dobro



□ Slika 1. Delovni koraki pri krivljenju masivnega lesa (po Eggertu 1995, str. 10)

se krivijo tudi brest (*Ulmus glabra*), oreh (*Juglans regia*) in javor (*Acer pseudoplatanus*).

Na uspešnost krivljenja vplivajo faktorji, kot so starost lesa, letni prirastek, vsebnost soli ... Najuporabnejši je adultni les izpod krošnje nad koreninikom. Pri izbiri se izogibamo osrednjemu delu hloda in reakcijskemu lesu, ker povzroča deformacije pri mehčanju in sušenju. Insekti in glive, ki napadejo oziroma okužijo les, povečujejo verjetnost loma.

Predsušenje

Na mehanske lastnosti lesa vpliva tudi vsebnost vlage. Večino drevesnih vrst lahko krivimo v svežem stanju, določene, kot so brest, kostanj ali hrast, pa je treba zračno oziroma komorsko osušiti. Stevens in Turner v svojem delu ugotavljata, da je najprimernejša vlažnost lesa za klasično krivljenje 25 %. Pri nižjih vlažnostih je tveganje loma na konveksni strani večje zaradi večjih sil, ki jih spremljajo zaponke in gube na konkavni strani. Če ima les prenizko vlažnost, ga lahko potapljamo v mrzli vodi.

Predobdelava

Pred postopkom mehčanjem moramo površino poskobljati ali obrusiti in tako poravnati valovito površino, ki nastane pri žaganju lesa, ter zatrganine in raze, ki lahko povzročijo lom. Primerno osušen les razžagamo na zahtevano dimenzijo, v kateri moramo upoštevati nadmero za nadaljnjo obdelavo in deformacijo prečnega prereza, ki lahko nastane med krivljenjem.

V natezni ali konveksni coni krivljenja se pri radialno žaganih elementih določenih drevesnih vrst pojavljajo vzdolžno prerezani trakovi. Na teh mestih se pogosto prične lom, kar

lahko deloma preprečimo z razžaganjem in krivljenjem lesa tako, da je letni prirast paralelen s površino oblike.

Postopek mehčanja

Po razbremenitvi se bo upognjen, neobdelan in hladen les zaradi viskoelastičnih lastnosti povrnil v "prvotno" stanje, pri čemer moramo upoštevati reverzibilne in permanentne komponente deformacij. Pri takšnem upogibanju smo omejeni z radijem, ki ga še dopušča obdelovanec, ne da bi pri tem prišlo do loma. Za doseg manjših radijev krivljenja se zato uporablja mehčanje lesa, pri katerem napravimo les stisljiv in upogljiv tako, da je primeren za krivljenje.

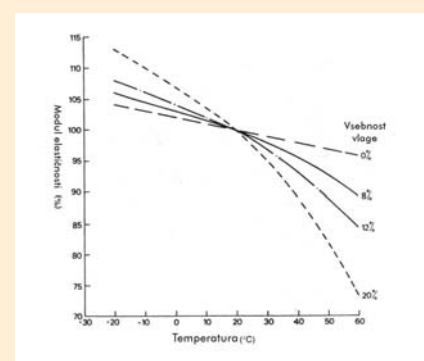
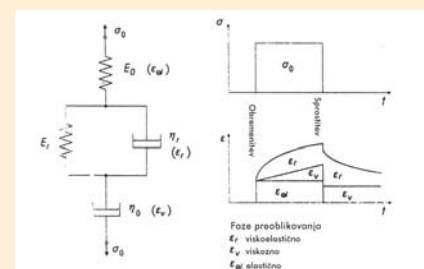
Dinwoodie (1981) in Torelli (1989) navajata, da pri obremenjevanju lesa s konstantno silo nastane v trenutku obremenitve elastična deformacija, ki se pri nespremenjeni obremenitvi s časom povečuje. Po razbremenitvi se deformacija hipno zmanjša za približno veličino začetne elastične deformacije, del jo sčasoma izgine, del pa ostane ireverzibilen.

V območju majhnih in kratkotrajnih obremenitev, kjer se pojavlja elastična komponenta deformacije, je zveza med napetostjo (sila / presek) in specifično deformacijo (sprememba dimenzije / prvotna dimenzija) linearna. Do meje proporcionalnosti oziroma linearne soodvisnosti med napetostjo in specifično deformacijo velja Hookeov zakon, ki pravi, da je napetost enaka produktu specifične deformacije in faktorju proporcionalnosti oziroma modulu elastičnosti. Teoretično bi lahko v nateznem preizkusu definirali modul elastičnosti kot napetost, pri kateri bi se preizkušane elastično podaljšal za 100 %. Modul elastičnosti lahko izra-

čunamo tudi iz naklonskega kota linearne dela napetostno-deformacijske krivulje.

Tik nad mejo proporcionalnosti je meja elastičnosti. Če jo pri obremenjevanju lesa prekoračimo, se pojavijo trajne deformacije. Nad mejo proporcionalnosti narašča deformacija hitreje od napetosti. Največja napetost, ki jo material lahko zdrži, imenujemo zrušilna napetost, na katero vplivajo temperatura lesa, vlažnost ...

Z mehčanjem se začasno zmanjša elastični modul. Pri obremenitvi vlažnega lesa potrebujemo za 100 % elastično podaljšanje preizkušanca manjšo napetost kot pri suhem lesu. Podoben učinek ima tudi temperatura. S povečevanjem temperature prihaja do zmanjševanja modula elastičnosti. Največji učinek pri mehčanju dosežemo, če združimo oba dejavnika (slika 3).



□ Slika 2. Burger-Kelvinov model viskoelastičnih materialov (Eggert 1995, str. 60)

Pri krivljenju obremenimo les nad mejo proporcionalnosti. Iz analize napetostno deformacijske krivulje statičnega upogiba lahko določimo modul elastičnosti in maksimalno upogibno trdnost (MOR). Dinwoodie opisuje, da med omenjenima mehanskima karakteristikama lesa obstaja močna korelacija, ki najverjetneje izhaja iz relacije med gostoto in modulom oziroma trdnostjo lesa. Pri krivljenju se v elementu pojavljajo natezne in tlačne napetosti ter deformacije. Mehčanja lesa v večji meri vpliva na tlačno napetostno deformacijsko krivuljo in le minimalno spremeni natezne lastnosti lesa, kar se vidi tudi iz porasta mejne

tlačne deformacije in hitrega naraščanja deformacije z napetostjo nad določeno vrednostjo (slika 4).

Za mehčanje lesa danes uporabljamo poleg hidrotermičnih tudi termične, elektromagnetne, kemične in druge postopke. Eden izmed starejših postopkov je parjenje lesa z nasičeno paro pri atmosferskem tlaku. Čas parjenja lahko izračunamo kot produkt debeline obdelovanca in faktorja plastificiranja, ki po Eggertu (1995) ne presega 2 min/mm. Stevens in Turner (1970) pa navajata vrednost 1,8 min/mm.

Pri postopku mehčanja prihaja do delnega sušenja svežega lesa. Les z vlažnostjo okoli 25 % se bistveno ne navlaži ali osuši. Zunanji sloji suhega lesa pa vpijejo določeno količino vlage. Glavni učinek mehčanja je segrevanje in ne iniciranje pare v les (slika 5).

Postopek krivljenja

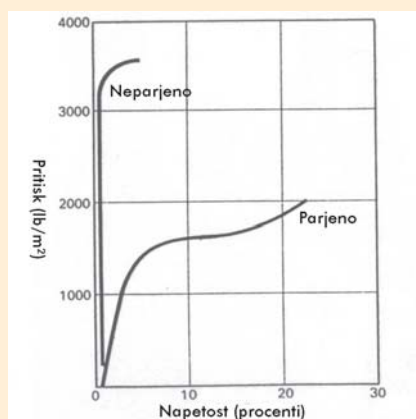
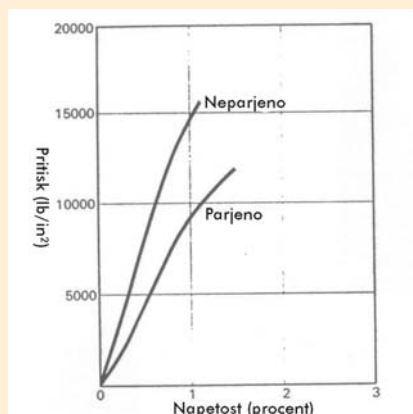
Pri krivljenju lesa in drugih elastičnih materialov prečna ploskev preza ostane zravnana in pravokotna na smer vzdolžnih vlaken. Iz tega sledi, da dolžina na spodnji in zgornji strani površine krivljenega elementa ni enaka. Razlika v dolžini sproži tlačno napetost na konkavni strani in natezno napetost na konveksni strani raztezanja. Nevtralna os neomehčanja, hladnega krivljenega elementa,

v kateri se dolžina vlaken med krivljenjem ne spreminja, je v območju srednje linije med konkavno in konveksno stranjo. Pri hidrotermično obdelanem elementu se delež lesa, obremenjenega na nateg, zmanjša, delež tlačnega pa poveča. Nevtralna os se pomakne proti konveksni površini. (slika 6.)

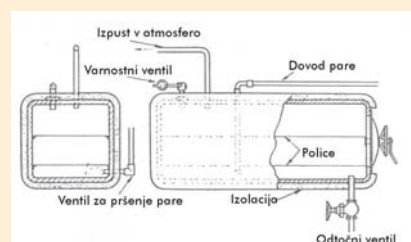
Maksimalna napetost se pojavlja na notranji oziroma zunanji površini ukrivljenega elementa in narašča z zmanjševanjem radija krivljenja in z debelino elementa. Z obremenitvijo lesa nad mejo proporcionalnosti dosežemo najmanjše radije krivljenja, ki so podane z velikostjo napetosti, ki se sproži na površini, ne da bi pri tem prišlo do loma. Mehčanje v večji meri vpliva na tlačno napetostno deformacijsko soodvisnost. V praksi se izkaže, da raztezanje vlaken na konveksni strani rezultira lom, še preden je dosežena največja meja tlačnega oziroma deformacije na konkavni strani. Najmanjši možni radij dosežemo tedaj, ko je napetost na zunanji in notranji strani površine na meji zloma, kar lahko zagotovimo z uporabo podpornih jermenov (Thonetov pas).

Ročno krivljenje

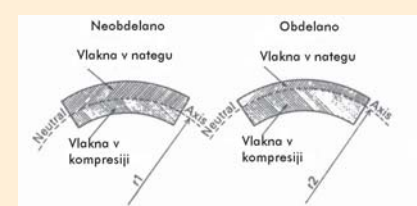
Pred začetkom krivljenja, ki ga največkrat opravljata dva delavca, lociramo srednji del lesa in traku ter



□ Slika 4. Vpliv mehčanja jesenovine (*Fraxinus excelsior*) na natezno in tlačno napetostno deformacijsko soodvisnost (po Stevens in Turner 1970, str. 3)



□ Slika 5. Komora za mehčanje lesa (Stevens in Turner 1970, str. 11)



□ Slika 6. Vpliv mehčanja masivnega lesa na lego nevtralne osi pri krivljenju (Stevens in Turner 1970, str. 3)

ju vpnemo na šablono, ki je predhodno pritrjena na delovno mizo. Jekleni trak je na obeh straneh zaključen s čelnima prislonoma in hrbtnima ploščicama, ki preprečujeta vrtenje prislonov med krivljenjem. Krivljenje poteka tako, da hkrati vlečemo oziroma potiskamo oba konca obdelovanca k šabloni. Krivljen element na koncu fiksiramo z vezno palico.

Elementi, ki imajo glede na dolžino majhen prerez, se radi zvijajo ali pa se posamezni deli lesa, traku in šablone ne ujemajo. Zato se na krivljenem elementu pojavljajo frakture in deformacije želene ravnine. Za preprečevanje neujemanja uporabljamo hrbtnne ploščice, prednapenjanje obdelovanca, vertikalne in horizontalne spono ...

Pri dvoravninskem krivljenju uporabljamo trakove, izdelane tako, da vedno pokrivajo konveksno stran obdelovanca, kar velja tudi pri enoravninskem krivljenju. Po začetnem delu krivljenja je treba s sponami zadržati obdelovanec med šablono in trakom. Centralni del jeklenega traku je sestavljen iz neprekinjenega dela, na koncu katerega sta pritrjena kovinska kotnika. Čelna ali sekun-

darna dela traku sta sestavljena iz kratkih jeklenih trakov, ki so med seboj povezani in prosto gibljivi, kar omogoča vrtenje traku v vertikalni ravnini. Po zaključku prvega dela krivljenja je sekundarni del traku v ravnini, pravokotni na centralni del obdelovanca, centralni del traku pa je povezan. Zatem je možna poravnava lesa v zahtevano krivino ali tako imenovana druga faza krivljenja. Čelna dela traku, ki omogočata podporo obdelovancu med drugo fazo, sta zavarovana s kovinskima kotnikoma na koncih centralnega dela traku in na drugi strani s čelnima prislonoma. Fiksiran krivljenec v šablono je pripravljen za naslednjo fazo stabiliziranja (slika 7).

Strojno krivljenje

Pri klasičnem strojnem krivljenju obdelovanec položimo nad podporni trak. Predhodno na oba konca krivljenega lesa postavimo kotnika, ki prekrivata čela in robni konveksni del. Trak z obdelovancem postavimo pod leseno ali kovinsko šablono. Les s spodnjim prislonom vpnemo na sredini krivine ob trak in šablono. S čelnima prislonoma preprečimo zdrs in prekomerno nategovanje vlaken

lesa. Obe polovici mize dvignemo do določenega radija. Oba kotnika povežemo s kovinskima trakovima, ki po odstranitvi obremenitve zagotavljata zahtevano radij. Podporni trak pri večjih radijih odstranimo po krivljenju, pri manjših pa po sušenju oziroma ohlajevanju.

Sušenje

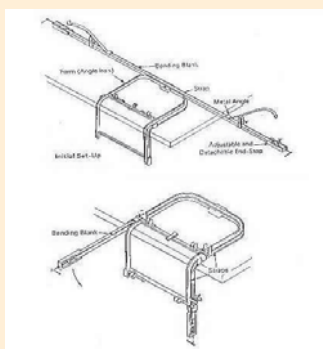
Kako obdržati želeni radij po postopku krivljenja? Če obdelovanec posušimo, se mu pri mehčanju spremenjene mehanske lastnosti povrnejo. Zato bo po sušenju in ohlajevanju les obdržal skoraj nespremenjeno določeno obliko. Proces sušenja mora biti prilagojen pogojem, ki pri dani drevesni vrsti onemogočajo nastanek notranjih razpok, napok, rež ...

Sklep

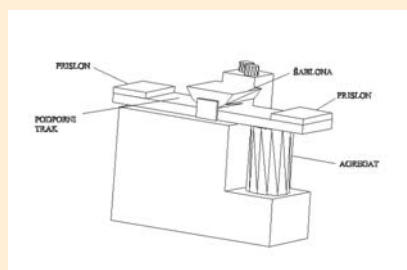
Danes z različnimi tehnikami krivljenja nastajajo izdelki, ki jim poskušamo vdihniti inovativnost, dobro obliko in skladno oblikovane detajle, enostavno konstrukcijo in montažo ... Enega največjih uspehov na tem področju je dosegel Michael Thonet (1796-1871), ki se je s svojim stolom Thonet No. 14 zapisal v zgodovino industrijskega krivljenja lesa.

Literatura

1. **Stevens W. C. & Turner N.**: Wood Bending Handbook. London, Majesty's Stationery Office 1970: 1-38
2. **Eggert O.**: Untersuchung der Einflussgrößen beim Biegen von Vollholz. Stuttgart, Institute für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart, 1995: 115
3. **Dinwoodie J.M.**: Timber, its nature and behavior. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 2000: 257
4. **Torelli N.**: Zgradba in lastnosti lesa. Ljubljana, 1989: 121-125



□ **Slika 7.** Začetna in končna faza dvoravninskega krivljenja (Stevens in Turner 1970, str. 21)



□ **Slika 8.** Stroj za klasično krivljenje