

RAZISKOVANJE LESA VELIKEGA JESENA

(*Fraxinus excelsior* L.)

Prof. dr. ing. Ivan Možina

Biotehniška fakulteta v Ljubljani — Gozdarski oddelek

Današnje zaloge jesenovine v Sloveniji so skrajno omejene in niti zdaleč ne zadoščajo za kritje najnujnejših potreb, ki posebno v zadnjih dveh desetletjih stalno in naglo rastejo. Na drugi strani pa ugotavljamo, da je v reliefno razgibani Sloveniji relativno mnogo potencialnih jesenovih rastišč, primernih za proizvodnjo visokovrednega lesa.

Pred tremi leti je Gozdarski oddelek Biotehniške fakultete v Ljubljani izdelal raziskovalni projekt »Proizvodnja kvalitetne jesenovine« s predlogi za temeljne biološke in tehnološke raziskave, ki naj dajo osnove za razširjeno in kvalitetno proizvodnjo jesenovine. Projekt se je pričel realizirati leta 1966.

V tej razpravi so prikazani rezultati raziskovanja strukture in tehničnih lastnosti jesenovine.

Delo sta materialno podprla Sklad Borisa Kidriča v Ljubljani in Tovarna športnih potrebščin »Elan« v Begunjah.

1. UVOD

Med drevesnimi vrstami zmernega pasu se odlikuje jesen z izredno žilavim lesom. Jesenovina je dobro odporna ne samo proti statičnim, temveč predvsem proti sunkovitim dinamičnim obremenitvam. Lahko rečemo, da je jesenovina nekaterim panogam lesne industrije dandanes neobhodno potrebna surovina, katere ni mogoče zadovoljivo nadomestiti z drugimi vrstami lesa. V polni meri velja to za proizvodnjo športnega orodja, za izdelavo lesenih karoserij in lesenih delov letal, za izdelavo raznih delov v strojni industriji itd.

Jesenovina se s pridom uporablja tudi kot surovina za proizvodnjo furnirja in v pohištveni industriji. V tem primeru pa so kriteriji kvalitete drugačni. Tu so odločilni predvsem estetski momenti ter sposobnost lesa za obdelavo, medtem ko sta trdnost in žilavost — specifična odlika jesenovine — le podrejenega pomena.

Med približno 30 poznanimi vrstami in podvrstami jesena (Sachsse 1966) je najbolj razširjen in najpomembnejši veliki jesen (*Fraxinus excelsior* L.), v južnih predelih Evrope pa tudi ozkolistni jesen (*Fraxinus angustifolia* Wahl.). Meja prirodnega nahajališča velikega jesena poteka na severu prek Južne Škotske ter nato od zaliva Trondhjem v jugovzhodni smeri, vključujoč južne dele Norveške in Švedske, ter prek finskih provinc Satakunta in Tavastekus do Ladoškega jezera (Schoenichen 1933, Rancken 1934). Od tod se v velikem,

izbočenem loku obrne proti jugu do Črnega in Kaspijskega morja. Na Švedskem se meja dobro ujema z 12° izotermo za avgust—september (Halden 1928). Na jugu sega jesen na Balkanskem polotoku do osrednje Grčije, na Apeninskem polotoku do skrajnega juga ter na Pirenejskem polotoku približno do črte Ebro—Kantabrijsko pogorje—Galicija. Nekatere druge vrste jesena uspevajo še južneje, celo na področju severozahodne Afrike (Fukarek 1960).

Jesen je zahtevna drevesna vrsta v pogledu tal, vlage in svetlobe. Najbolje uspeva na globokih, mineralno bogatih in vlažnih tleh v nižinskih predelih ob vodotokih. V mladosti sicer dobro prenaša zasenčenje in ga delno celo zahteva, v kasnejši dobi pa je izrazito svetlobno drevo. Pojavlja se posamič ali v manjših skupinah primešan drugim drevesnim vrstam in le redko v čistih sestojih. Zelo ugodna rastišča za jesen so tudi gorske doline in vlažni jarki, če je le dovolj svetlobe na razpolago.

Čeprav je jesen primarno zelo zahteven glede tal in vlage, vendar uspeva, ob sicer močno zmanjšanem prirastku, tudi na manj ustreznih rastiščih v razmeroma velikih nadmorskih višinah, tako v Bavarskih Alpah do višine 1365 m (Schoenichen 1933), v nekaterih predelih Švice pa celo v višini 1500 m (Hunziker 1912). Na Zagrebški gori je veliki jesen avtohton na področju bukovih in jelovih gozdov od nadmorske višine 800 m navzgor vse do vrha, to je do višine 1035 m (Petračić, Anić 1952). V Gorskem kotarju uspeva veliki jesen v regiji kraških prebiralnih gozdov skoro na vseh tleh, z izjemo izrazito suhih in kamnitih. Najdemo ga tudi na grebenih in vrhovih, kjer ima prednost pred bukvijo vse do nadmorske višine 1300 m (Vajda 1937).

V ustreznem sklepu ima jesen čisto, ravno in valjasto deblo ter lahko doseže višino do 35 m in premer do 1,5 m (Klein 1926). V seznamu posebno velikih jesenovih dreves, ki ga je sestavil Badoux (1910), so navedeni največji doseženi premeri v prsni višini: v Švici 1,4 m, na Pomorjanskem 1,46 m in v Šleziji 1,61 m. Na odprtem položaju se nagiba jesen bolj kot druge domače drevesne vrste k tvorbi razsoh in velike, močno vejnate krošnje. Delež deblovine je močno odvisen od rastišča in položaja drevesa v sestoji ter predstavlja v grobem povprečju približno 60 % celotne nadzemne lesne mase (Gayer-Fabrizius 1935).

Znano je, da kakovost jesenovine z različnih rastišč in iz sestojev različnih gojitvenih oblik variira v zelo širokem intervalu. Sorazmerno majhno variabilnost kaže prostorninska teža. Po podatkih iz literature so ekstremne vrednosti v razmerju 1 : 1,5 do 1 : 2. Precej večje so razlike statične trdnosti. Kollmann (1941) in Pechmann (1956) ugotavljata razmerje 1 : 2,5 do 1 : 3,5. Izredno velika pa je variabilnost dinamične trdnosti. Za ekstremne vrednosti udarne upogibne trdnosti navaja Kollmann (1941) celo razmerje 1 : 35. Značilne za to lastnost, ki nam predstavlja žilavost lesa, so velike razlike ne samo med sestoji na različnih rastiščih, temveč tudi med posameznimi drevesi na istem rastišču. Celó v istem deblu lahko že na majhnih razdaljah zasledimo nagle in povsem nepričakovane prehode od velike žilavosti do izredne krhkosti.

Velika variabilnost kakovosti jesenovine pomeni oviro pri izbiri ustrezne surovine za proizvodnjo zahtevnih izdelkov, ki so pri uporabi izpostavljeni velikim dinamičnim obremenitvam. Ta problem, ki ga lahko označimo kot izhodišče vseh dosedanjih razprav o zadevni vrsti lesa, zahteva proučevanje tako pogojev, v katerih je drevo rastlo in gradilo lesno tkivo, kot tudi kriterijev za oceno kvalitete lesa kot industrijske surovine.

Jesen je bil često predmet raziskovanja. Zgradbo lesa in njegove lastnosti so med drugimi proučevali:

Schneider (1896), Kollmann (1941), Pechmann (1956—1958), Schwenke (1956) in Maurer (1963) v Nemčiji, Oberli (1937), Boss-hard (1951—1955) in Kühne (1951—1954) v Švici, Paul (1926—1930), Rochester (1933) in Wangaard (1950) v Ameriki, Clarke (1935—1937), Armstrong (1936) in Bamford (1936) v Angliji, Janka (1911) in Schwarz (1952) v Avstriji, Krzysik in Zielinski (1928) na Poljskem itd. Pri nas sta raziskovala les ozkolistnega jesena (*Fraxinus angustifolia* Wahl.) iz nižinskih gozdov v Posavini Horvat (1940) in Benić (1953—1956).

O jesenovini z območja Slovenije nimamo doslej nobenih podatkov, z izjemo nekaj skromnih ugotovitev proizvodnih podjetij, ki trde, da je les z nekaterih rastišč naravnost izredne kakovosti in da je na splošno znatno boljši od jesenovine iz nižinskih gozdov v Posavini in Podravini. Omenjam še, da so se ponekod v praksi izoblikovali kriteriji za okularno oceno kvalitete, ki pa so se pri preverjanju izkazali kot nezanesljivi.

Proučevanje jesenovine na domačih rastiščih s specifičnim talnim in klimatskim obeležjem postavlja pred nas dve osnovni nalogi:

1. Sistematično raziskavo strukture in tehnoloških lastnosti lesa na karakterističnih rastiščih na področju Slovenije. Rezultati teh raziskav so osnova za kvalitetno klasifikacijo jesenovih sestojev in rastišč.

2. Proučevanje vpliva ekoloških pogojev, talnih in klimatskih faktorjev ter intenzivnosti prirasta na zgradbo in lastnosti jesenovine. Namen te naloge je prispevek k temeljnemu vprašanju gospodarjenja v jesenovih sestojih za doseg ustreznosti kvalitete lesa.

2. METODE DELA

Predmet raziskovanja je les velikega jesena (*Fraxinus excelsior* L.). Modelna drevesa so bila izbrana na raziskovalnih ploskvah na območju Slovenije. V tej razpravi je obdelano gradivo s 14 raziskovalnih ploskev na različnih rastiščih v nadmorskih višinah od 200 do 740 m. Podatki o ploskvah z opisom tal in sestojev so navedeni v tabeli 1.

Čeprav je veliki jesen pri nas precej razširjen, vendar ga le redko najdemo v večjih, strnjjenih sestojih. Večinoma raste posamič ali v manjših skupinah in skupinicah, primešan drugim drevesnim vrstam. Še manj je čistih jesenovih sestojev. Le na eni izmed 14 raziskovalnih ploskev je v gornjem sloju samo jesen z neznatno primesjo hrasta. Na vseh drugih ploskvah je jesen primešan drugim drevesnim vrstam z deležem 10 do 50 %.

Z ozirom na majhno udeležbo v sestojih je bil jesen le redko deležen ustreznosti pozornosti in nege, ki jo kot izrazito svetlobno drevo zahteva. Gojitveni ukrepi, kolikor lahko o njih sploh govorimo, so bili v glavnem prilagojeni drugim, številnejše zastopanim drevesnim vrstam z drugačnimi zahtevami. Posledica tega je, da imajo mnoga jesenova drevesa v sestojih slabo razvite in deformirane krošnje ter zelo majhen prirastek tako v mladosti kot tudi v kasnejši dobi in še posebno v starosti od 60. ali 70. leta dalje. Na drugi strani je za osamljena jesenova drevesa

TABELA 1. Podatki o raziskovalnih ploskvah velikega jesena

| Ploskev | Nadmorska višina Ekspozicija | Opis tal Opis sestojev |
|---------------------------|------------------------------------|--|
| 1 Boč | 740 m SV 0—10° | Apnenec. Razgibana ravnica. Kamnitost 10 %. Rjava tla z globokim sprsteninastim A ₁ horizontom. <i>Savensi-Fagetum alliosum ursini</i> . Heterogen sestoj v fazi debeljaka z manjšimi jasami. Bukev 0,4, jesen 0,3, javor 0,2, ostalo brest, jelka in smreka. Obilno jesenovo mladje. |
| 2 Negova | 200 m SSZ 10—15° | Miocenski peski s sljudo. Položen hrbet. Kisla rjava tla na peskih. <i>Quercus-Carpinetum</i> (drevesa 136, 137). Širok žleb. Pobočni glej na pesku. <i>Aceri-Fraxinetum</i> na prehodu v <i>Quercus-Carpinetum</i> (drevesa 138, 139, 140). Močno presvetljen sestoj z jasami. V nadstojnem sestoju smreka 0,3, jesen 0,3, javor 0,3, dob 0,1. Sklep 0,5. V podstojnem sestoju beli gaber in nekaj jesena. Sklep 0,4. |
| 4 Bistriški jarek | 400— 430 m SZ 0—20° | Gruščnati vršaj pod stenami ob jarku v smeri proti zahodu. Kamnitost 30 %. Koluvialna tla z globokim A ₁ horizontom. Fragment <i>Aceri-Fraxinetum lunarietosum</i> (drevesi 148, 149). Sestoj s prctrganim sklepom (0,3). Posamezni jeseni in brestni z obilnim grmovnim slojem, ki popolnoma zastira tla. Prevladuje leska, visoka do 8 m. Ozek pas ob vodi. <i>Alnetum incanae</i> na prehodu v <i>Quercus-Carpinetum</i> (drevesa 146, 147, 150). Nesklenjen sestoj ob potoku. V zgornjem sloju jesen, lipovec, smreka, brest in posamezne sive jelše. V podstojnem sloju prevladujeta siva jelša in gaber. |
| 5 Kamniška Bistrica | 630 m Z 20—30° SZ 10° | Grobi apnenčev grušč v širokem žlebu. Kamnitost 60 %. Prstena rendzina. <i>Aceri-Fraxinetum phyllitidosum</i> . Močno preredčen sestoj gorskega javora in jesena. Sklep 0,3. Veliko jesenovega mladja (drevesa 151, 152, 155). Temni apnenec. Manjša vlektnina v pobočju. Kamnitost 20 %. Rjava plitva pokarbovatna tla. <i>Dentario-Fagetum</i> . Približno enodoben sestoj bukve s posameznimi jeseni in javori. Sklep 0,9 (drevesa 153, 154). |
| 6 Krekovše | 620— 640 m SV 20—25° | Bituminozni sivi apneneci. Širok žleb z grebenom v sredini. Kamnitost do 5 %. Rjava, pokarbovatna, glinasta tla. <i>Dentario-Fagetum aceretosum</i> (drevesa 157, 158, 159). Pobočje z razgibanim mikroreliefom. Rahlo pobočno vlaženje. Bituminozni sivi apneneci z vložki črnih skrilavcev. Rjava, rahlo izprana, pokarbovatna tla, ponekod psevdoglejena. Sveža tla. <i>Dentario-Fagetum aceretosum</i> . Enodoben sestoj bukve (0,8). g. javora in jesena (0,2) s posameznimi brestni in jelkami. Na presvetljenih mestih obilo jesenovega mladja. |

| Ploskev | Nadmorska višina Ekspozicija | Opis tal Opis sestojev |
|----------------------|---------------------------------------|---|
| 7 Pod Lobnikom | 390 m SV SV 10° | <p>Aluvij s koluvalnimi nanosi. Obrečna tla z globokim A₁ horizontom. <i>Alnetum incanae</i> na prehodu v <i>Quercu-Carpinetum</i>.</p> <p>V zgornjem sloju jesen (sklep 0,6). V spodnjem sloju siva jelša in gaber (drevesa 161, 162, 164).</p> <p>Navaljeno apneno kamenje. Rjava, pokarbonatna tla s sprstjenim A₁ horizontom. Kamnitost 10—20 %. Fragment <i>Quercu-Carpinetum</i>.</p> <p>Zgornji sloj sklep 0,4, jesen 0,3, javor 0,3, brest, češnja, lipa 0,4. V spodnjem sloju sklep 0,9 prevladuje gaber (drevo 163).</p> <p>Gruščenati vršaj v severovzhodni legi. Apnenec. Kamnitost 50 %. <i>Aceri-Fraxinetum phyllitidetosum</i>.</p> <p>Samo zgornji sloj. Bukev 0,4, jesen 0,3, javor 0,3 (drevo 165).</p> |
| 9 Kolovec I | 380 m J 20—30° | <p>Krušljiv dolomit. Vznožje pobočja. Plitva, rjava, pokarbonatna tla. Fragment <i>Quercu-Carpinetum</i>, ki se je razvil iz <i>Aceri-Fraxinetum</i> (drevesa 171, 173, 175).</p> <p>Naplavina, obrečna tla. Fragment <i>Quercu-Carpinetum</i>, ki se je razvil iz loga. Sveža tla (drevesa 172, 174).</p> <p>Smreka, jelka 0,5, jesen 0,5, gaber, g. javor.</p> |
| 10 Kolovec II | 360 m ravno | <p>Aluvialne naplavine. Obrečna slabo razvita tla. Razvojna faza iz loga v <i>Quercu-Carpinetum</i>.</p> <p>Dvoslojni sestoj. V zgornjem sloju prevladujeta jesen (0,6) in javor 0,3, ostalo smreka. Sklep 0,9. V podstojnem sloju gaber — sklep 0,5.</p> |
| 11 Hrastovec | 260 m SV 15° SZ 3—10° | <p>Miocenski peščenjaki z apnenim vezivom. Izprana rjava tla. Umerjeno razgibano pobočje. <i>Quercu-Carpinetum caricaetosum pilosae</i>.</p> <p>V zgornjem sloju sklep 0,6. Prevladujeta smreka 0,3 in jesen 0,2, ostalo bukev, gaber, breka. V spodnjem sloju gaber, breka (drevesa 181, 182, 183).</p> <p>Peščeni vodni nanos. Obrečna tla. Dno doline ob jarku. Fragment <i>Quercu-Carpinetum</i> nastal iz loga.</p> <p>Pretrgan sestoj, sklep 0,4. V zgornjem sloju jesen. V podstojnem sloju prevladuje gaber. Sklep 0,8 (drevesa 184, 185).</p> |
| 12 Lobnica | 300— 350 m SZ | <p>Kristalasti skrilačci. Plitva, skeletna, rjava tla. <i>Aceri-Fraxinetum lunarietosum</i> (fragment).</p> <p>Ob potoku Lobnica posamezna drevesa jesena in javora. V spodnjem sloju beli gaber in siva jelša.</p> |
| 13 Šardinije | 260 m ravno | <p>Miocenski peščenjaki s produkti. Umirjen mikrorelief. Rjava tla na miocenskih peščenjakih. <i>Quercu-Carpinetum</i></p> <p>Enodoben dvoetažni sestoj. V zgornji etaži, sklep 0,7, jesen s posameznimi gradni. V spodnji etaži, sklep 0,9, beli gaber s posameznimi primerki maklena.</p> |

| Ploskev | Nadmorska višina Ekspozicija | Opis tal Opis sestojev |
|------------------|------------------------------------|---|
| 14 Jurklošter | 410— 430 m SSZ | Apnenec. Navaljeno apneno kamenje. Hudourniški vršaj. Kamnitost do 50%. Humusna, koluvijska, globoka tla. <i>Aceri-Fraxinetum staphyllaetosum</i> . |
| | 20—25° S 40° | Mešan sestoj jesena 0,5, javora in bresta 0,5. Sklep 0,8. Bogato razvit grmovni sloj (drevesa 196, 197, 198). Temno siv apnenec s kalcitnimi žilami. Strmo pobočje. Posamezne skale na površini. Rjava, pokarbonatna, globoka, glinasta tla. <i>Dentario-Fagetum</i> . Mešan sestoj bukve 0,6, jelke 0,2 in javora 0,2. Posamezni jeseni (drevesa 199, 200). |
| 15 Češnjica | 510 m JZ 20° | Bituminozni laporji z lečami peščenjakov, konglomeratov in temnim litotamnijskim apnencem. Neumirjen relief, jarki s tekočo vodo. Rjava, koluvijska, glinasta tla. Fragment <i>Carici remotae-Fraxinetum</i> . |
| | Z 10—15° | Mešan sestoj s pretrganim sklepom, mestoma jase. Dvoetažna struktura. V zgornji etaži jesen 0,5, dob in češnja 0,5 v spodnji etaži prevladuje beli gaber 0,6, ostalo maklen, g. javor in češnja. Sklep gornje etaže 0,6, spodnje 0,7 (drevesa 201, 202, 203). Koluvijska, rjava, malo oglejena tla. Fragment <i>Quercu-Carpinetum</i> . Mešan sestoj dvoetažne strukture. V zgodnji etaži sklep 0,4, smreka 0,4, jesen 0,2, ostalo gorski javor, lipovec, dob. V spodnji etaži sklep 0,7, prevladuje lipovec 0,4, ostalo lipa, brest, gaber in gorski javor (drevesi 204, 205). |
| 16 Peračica | 510 m SZ 5—10° | Miocenske plasti laporja in gline. Nagnjen, nekoliko valovit svet na obeh straneh potoka. Rjava, slabo oglejena, globoka tla. <i>Quercu-Carpinetum</i> . Sestoj pred nekaj leti posekan, ostali so posamezni jeseni (drevesa 206, 209, 210). Položen žleb. Rjava, globoka tla s debelim A ₁ horizontom, v globini malo oglejena. <i>Quercu-Carpinetum stellarietosum bulbosae</i> . Dvoetažni sestoj. V zgornji etaži, sklep 0,6, prevladuje smreka 0,4, jesen 0,3, ostalo javor in posamezni dobi. V spodnji etaži, sklep 0,2, prevladuje beli gaber. Jesenovo mladje. |

značilen sicer velik prirastek, toda prekomerno razvite, močno vejnate in nizko nasajene krošnje ter kratka debela z majhnim deležem tehničnega lesa.

Praviloma so modelna drevesa predstavniki normalno razvitega in primerno negovanega sestoja na določenem rastišču. To se pravi, biti morajo normalno ali vsaj približno normalno razvita z ustrezno oblikovanimi debli in krošnjami. Po tej zahtevi smo morali izbrati posameznih skupin prenesti tudi na večje površine in na drevesa v razmeroma velikih medsebojnih razdaljah. Seveda je bilo pri tem potrebno dopustiti tudi manjše razlike v pogledu tal, ki so sicer na jesenovih

rastiščih zelo pogostne. Kot primer navajam raziskovalno ploskev št. 7 — Pod Lobnikom ob Sori, kjer so na razdalji pičlih 20 m trije različni tipi tal s pripadajočimi različnimi rastlinskimi združbami.

Potrebno število modelnih dreves je odvisno od zahtevane natančnosti rezultatov in od variabilnosti materiala, ki je predmet raziskave. Za ugotavljanje poprečnih vrednosti jesenovih sestojev uporabljajo posamezni avtorji zelo različno število modelnih dreves: S c h w a r z (1952) se zadovoljuje z dvema drevesoma. P e c h m a n n (1956) je izbral iz vsakega sestoja po 3 drevesa, S c h w e n k e (1956) 3 do 5 dreves, medtem ko uporabljajo Američani v ta namen večinoma po 5, pa tudi po več dreves.

Pomembno vprašanje pri izbiri materiala za raziskavo lesa je tudi kakovost modelnih dreves, predvsem njihov položaj v sestoji. V vsakem, tudi v enodobnem sestoji, se posamezna drevesa razlikujejo po debelini in višini drevesa ter po obliki in dimenzijah krošnje. Te razlike, ki so pri nekaterih drevesnih vrstah lahko zelo velike, so posledica tako individualnih lastnosti posameznih dreves kot tudi rastiščnih razmer in gozdnogojitvenih ukrepov. K r a f t razlikuje 5 razredov, od prevladujočega, ki sega iznad glavne etaže krošenj, do popolnoma prevladanega podstojnega razreda s slabo razvitimi, odmirajočimi drevesi. Upravičeno smemo pričakovati, da posamezna drevesa v različnih življenjskih pogojih, ob neenakih možnostih asimilacije, grade ne samo različne količine lesa, temveč tudi kakovostno različen les. Težišče izbire modelnih dreves je praviloma na vladajočem razredu, ki je v ustrezno negovanih sestojih najmočnejše zastopan ter pomeni največji in najvrednejši del lesne zaloge.

Ob upoštevanju nalog predmetnega raziskovanja in variabilnosti jesenovine, ki jo po dosedanjih tujih ugotovitvah lahko pričakujemo tudi pri nas, smo na vsakem rastišču izbrali po 5 modelnih dreves, in to pretežno iz vladajočega razreda (II. razred po KRAFTovi lestvici) ter le izjemoma tudi iz prevladujočega (I.) in sovladujočega (III.) razreda. Skupaj je to 70 dreves, ki jih smemo imeti za predstavnike potencialne sposobnosti jesenovih rastišč v Sloveniji. Drevesa so bila zrela za sečnjo oziroma blizu sečne zrelosti, stara 54 do 120 let, pretežno pa 60 do 80 let. Izjemi sta 2 drevesi na raziskovalni ploskvi 14 (Jurklošter), stari 150 let.

Za vsako drevo so bili ugotovljeni naslednji karakteristični podatki, ki so pregledno zbrani v tabeli 2:

biološki razred, starost drevesa, višina drevesa, premer projekcije krošnje, tehnična dolžina debla.

Starost dreves je bila ugotovljena na osnovi števila branik na spodnji strani kolobarjev iz podnožja debla. Višina dreves je bila izmerjena z natančnostjo na decimetre in prav tako tudi tehnična dolžina debla. Premer projekcije krošnje je naveden kot poprečje 4 premerov v smereh S—J—V—Z, ki so bili izmerjeni na stoječem drevesu.

Modelna drevesa so bila posekana v času mirovanja vegetacije v mesecih december—februar leta 1964/65 in 1965/66. Od vsakega drevesa so bili odžagani:

— kolobar debeline 10 cm iz podnožja debla,

— hlodič dolžine 1 metra iz sredine tehnične dolžine debla, to je pretežno iz višine 5—8 m.

Izbrani material je orientiran v smeri S—J ter označen z zaporednimi številkami dreves.

V laboratoriju so bila opravljena naslednja dela:

- ugotavljanje prirastka v teku življenjske dobe drevesa,
- merjenje širine branik,
- ugotavljanje prostorninske teže lesa,
- ugotavljanje elastičnosti lesa,
- preiskave tlačne, upogibne in dinamične trdnosti.

TABELA 2. Karakteristični podatki o modelnih drevesih

| Raziskovalna ploskev | Modelno drevo | Starost | Premer v prsni višini | Višina drevesa | Premer projekcije krošnje | Tehnična dolžina debela |
|--|---------------|---------|-----------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| | št. | let | cm | m | m | m |
| 1 Boč g. o Poljčane | 131 | 84 | 44 | 32,7 | 8,0 | 14,4 |
| | 132 | 88 | 41 | 28,4 | 9,2 | 17,4 |
| | 133 | 88 | 47 | 29,3 | 9,1 | 13,5 |
| | 134 | 88 | 59 | 30,2 | 11,9 | 14,1 |
| | 135 | 88 | 44 | 29,7 | 9,1 | 16,6 |
| 2 Negova g. o. Gornja Radgona | 136 | 96 | 51 | 34,7 | 13,1 | 14,6 |
| | 137 | 92 | 45 | 35,9 | 10,0 | 16,7 |
| | 138 | 96 | 59 | 36,8 | 12,7 | 17,4 |
| | 139 | 92 | 46 | 37,6 | 9,6 | 16,0 |
| | 140 | 92 | 40 | 33,3 | 7,4 | 15,6 |
| 4 Bistriški jarek g. o. Radlje | 146 | 75 | 38 | 25,4 | 8,3 | 7,5 |
| | 147 | 58 | 37 | 22,6 | 9,0 | 7,5 |
| | 148 | 71 | 42 | 24,7 | 11,0 | 10,0 |
| | 149 | 68 | 51 | 24,5 | 11,7 | 8,1 |
| | 150 | 62 | 38 | 20,0 | 7,6 | 6,5 |
| 5 Kamniška Bistrica g. o. Kamnik | 151 | 121 | 42 | 34,4 | 7,2 | 18,5 |
| | 152 | 144 | 52 | 31,1 | 10,9 | 13,6 |
| | 153 | 121 | 35 | 32,7 | 6,0 | 18,0 |
| | 154 | 121 | 35 | 26,8 | 8,5 | 11,4 |
| | 155 | 121 | 43 | 32,2 | 8,5 | 15,0 |
| 6 Krekovše g. o. Idrija | 156 | 90 | 38 | 31,0 | 7,0 | 16,5 |
| | 157 | 108 | 41 | 34,0 | 8,3 | 18,7 |
| | 158 | 108 | 40 | 35,7 | 6,7 | 19,2 |
| | 159 | 108 | 41 | 34,3 | 7,0 | 19,3 |
| | 160 | 83 | 41 | 28,6 | 9,4 | 13,2 |
| 7 Pod Lobnikom g. o. Škofja Loka | 161 | 65 | 35 | 28,4 | 6,8 | 15,8 |
| | 162 | 56 | 33 | 28,8 | 5,6 | 12,1 |
| | 163 | 54 | 33 | 28,2 | 8,4 | 13,8 |
| | 164 | 70 | 40 | 27,5 | 9,0 | 9,3 |
| | 165 | 78 | 42 | 23,3 | 12,6 | 9,5 |

| Raziskovalna ploskev | Modelno drevo | Starost | Premer v prsni višini | Višina drevesa | Premer projekcije krošnje | Tehnična dolžina debla |
|---|------------------|---------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | | let | cm | m | m | m |
| 9 Kolovec I. Turske jame g. o. Domžale | 171 | 60 | 34 | 29,7 | 7,1 | 13,7 |
| | 172 | 60 | 35 | 27,3 | 9,7 | 10,4 |
| | 173 | 54 | 36 | 29,4 | 8,8 | 12,3 |
| | 174 | 56 | 33 | 30,0 | 8,5 | 17,7 |
| | 175 | 60 | 34 | 26,2 | 8,4 | 9,4 |
| 10 Kolovec II. Pri Logarnici g. o. Domžale | 176 | 71 | 33 | 23,1 | 8,5 | 10,8 |
| | 177 | 60 | 34 | 20,5 | 8,1 | 9,0 |
| | 178 | 71 | 37 | 23,4 | 8,7 | 12,3 |
| | 179 | 54 | 38 | 24,6 | 9,4 | 10,8 |
| | 180 | 60 | 33 | 26,9 | 6,1 | 12,1 |
| 11 Hrastovec g. o. Lenart | 181 | 106 | 55 | 34,0 | 8,8 | 9,3 |
| | 182 | 106 | 47 | 32,8 | 9,1 | 11,8 |
| | 183 | 102 | 47 | 30,7 | 7,7 | 14,6 |
| | 184 | 86 | 41 | 31,2 | 8,4 | 19,6 |
| | 185 | 50 | 38 | 24,6 | 8,7 | 11,6 |
| 12 Lobnica g. o. Ruše | 186 | 70 | 40 | 32,2 | 8,7 | 10,9 |
| | 187 | 106 | 47 | 30,1 | 9,8 | 12,7 |
| | 188 | 65 | 39 | 30,8 | 8,0 | 10,5 |
| | 189 | 70 | 41 | 28,3 | 8,7 | 15,1 |
| | 190 | 70 | 46 | 30,9 | 10,2 | 16,9 |
| 13 Šardinje g. o. Ormož | 191 | 72 | 49 | 27,2 | 11,4 | 13,0 |
| | 192 | 75 | 36 | 30,6 | 7,4 | 14,3 |
| | 193 | 75 | 39 | 30,3 | 8,1 | 18,0 |
| | 194 | 75 | 40 | 28,9 | 8,7 | 13,2 |
| | 195 | 75 | 49 | 30,6 | 11,0 | 9,0 |
| 14 Jurklošter g. o. Jurklošter | 196 | 64 | 39 | 24,5 | 11,2 | 8,1 |
| | 197 | 64 | 41 | 27,1 | 9,8 | 16,6 |
| | 198 | 92 | 45 | 25,8 | 9,4 | 13,3 |
| | 199 | 150 | 49 | 29,8 | 8,9 | 17,8 |
| | 200 | 150 | 44 | 25,8 | 8,6 | 13,5 |
| 15 Češnjica g. o. Radovljica | 201 | 82 | 42 | 29,5 | 7,5 | 13,5 |
| | 202 | 72 | 36 | 29,8 | 7,5 | 19,3 |
| | 203 | 60 | 41 | 28,6 | 8,9 | 15,4 |
| | 204 | 60 | 43 | 30,7 | 8,9 | 16,7 |
| | 205 | 57 | 40 | 26,6 | 8,9 | 12,0 |
| 16 Peračica g. o. Radovljica | 206 | 63 | 40 | 29,2 | 10,7 | 13,2 |
| | 207 | 54 | 31 | 25,8 | 7,4 | 12,8 |
| | 208 | 54 | 34 | 26,4 | 7,8 | 12,0 |
| | 209 | 63 | 40 | 25,4 | 8,1 | 11,4 |
| | 210 | 63 | 44 | 29,0 | 9,4 | 14,0 |

Ugotavljanje prirastka v teku življenjske dobe dreves je bilo opravljeno z merjenjem širine branik na svežih kolobarjih iz podnožja dreves.

Vzorci za ugotavljanje prostorninske teže, trdnosti in elastičnosti lesa so bili izžagani iz hlodičev v smereh S—J in V—Z od sredine debla proti obodu. Na istih vzorcih je bila izmerjena tudi širina branik, ki nam v tem primeru predstavlja poprečja posameznih vzorcev. Po 5-mesečnem prirodnem sušenju in 2-mesečni klimatizaciji pri 20° C in 65 % relativni zračni vlagi so bili vzorci dokončno izdelani po ustreznih normativih:

| | |
|----------------------------|---------------|
| za prostorninsko težo | 2 × 2 × 3 cm |
| za tlačno trdnost | 2 × 2 × 6 cm |
| za upogibno trdnost | 2 × 2 × 30 cm |
| za udarno upogibno trdnost | 2 × 2 × 30 cm |
| za elastičnostni modul | 2 × 2 × 30 cm |

Preiskave trdnosti in elastičnosti so bile opravljene na Amslerjevem univerzalnem stroju 4 T. Vlažnost vzorcev je znašala od 11,8 do 12,5 %, poprečno pa 12,2 %. Temperatura laboratorija v času preiskave se je gibala med 18° in 20° C.

3. REZULTATI RAZISKOVANJA

3.1 Pregled preiskanih lastnosti

Osnova študije je 70 jesenovih dreves s 14 raziskovalnih ploskev na območju Slovenije. Vsaka od obravnavanih lastnosti je utemeljena na osnovi 1400 vzorcev, to je po 20 vzorcev od vsakega modelnega drevesa. Rezultati preiskave so zbrani za posamezna drevesa v tabeli 3, za raziskovalne ploskve in sumarno pa v tabeli 4.

3.11 Širina branike

Širina branike je merilo življenjske aktivnosti drevesa in osnova vseh biološko-tehniških raziskovanj lesa. Njena vrednost sicer variira v zelo širokem intervalu, vendar je posameznim drevesnim vrstam lastna. Širina branika je odvisna od ekoloških pogojev, strukture in mineralne sestave tal, vlage, klime in v veliki meri od položaja drevesa v sestoji. Vpliv posameznih faktorjev je različen in predvsem odvisen od prisotnosti drugih. Širina branike se spreminja od rastišča do rastišča in je tudi znotraj istega drevesa močno variabilna. Na osnovi širine branike lahko sklepamo o splošnih pogojih, v katerih je drevo živelo in gradilo lesno tkivo. Njena vrednost je do določene meje tudi kriterij kakovosti lesa.

Širina branike preiskane jesenovine se giblje v širokem območju od 0,8 do 8,9 mm. Majhne vrednosti izpod 1,4 mm se pojavljajo na vseh rastiščih, medtem ko je gornja meja precej različna in je najmanjša 3,6 mm na ploskvi 5 (Kamniška Bistrica) ter največja 8,9 mm na ploskvi 4 (Bistriški jarek). Poprečja posameznih modelnih dreves so v razponu od 1,4 do 4,7 mm: najmanjša so bila ugotovljena pri drevesih 199 in 200, starih 150 let, na raziskovalni ploskvi 14 (Jurklošter), največja pa pri drevesih 150 in 149, starih 62 oziroma 68 let, na ploskvi 4 (Bistriški jarek).

Razlike med rastišči so znatne. Najmanjši prirastek je pokazala jesenovina v Kamniški Bistrici s poprečno širino branik 1,7 mm, največjega pa v Bistriškem

TABELA 3. Lastnosti jesenovega lesa po drevesih

| Plo-skev | Model-no drevo | Širina branike mm | Prostorninska teža kp/m ³ | Tlačna trdnost kp/cm ² | Upogibna trdnost kp/cm ² | Udarna trdnost kp/cm ² | E-modul $\times 10^{-3}$ kp/cm ² |
|----------|----------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1 | 131 | 3,2 1,4 ... 5,8 | 731 625 ... 785 | 643 500 ... 707 | 1400 1080 ... 1590 | 0,98 0,65 ... 1,25 | 145 116 ... 163 |
| | 132 | 2,0 1,6 ... 2,5 | 729 683 ... 782 | 606 515 ... 667 | 1380 1190 ... 1500 | 0,85 0,67 ... 1,00 | 151 134 ... 184 |
| | 133 | 2,4 1,6 ... 3,2 | 684 617 ... 737 | 623 507 ... 717 | 1320 1100 ... 1480 | 0,98 0,75 ... 1,20 | 141 123 ... 161 |
| | 134 | 3,2 1,9 ... 5,5 | 696 628 ... 777 | 561 467 ... 687 | 1240 1070 ... 1450 | 0,97 0,67 ... 1,22 | 129 97 ... 156 |
| | 135 | 2,4 1,5 ... 3,7 | 701 651 ... 760 | 626 525 ... 712 | 1300 1050 ... 1470 | 0,88 0,69 ... 1,35 | 156 129 ... 172 |
| | 136 | 3,2 2,0 ... 2,7 | 762 711 ... 804 | 634 530 ... 755 | 1400 1150 ... 1610 | 1,13 0,77 ... 1,92 | 151 117 ... 184 |
| 2 | 137 | 2,0 1,3 ... 3,7 | 698 638 ... 759 | 584 482 ... 697 | 1250 1070 ... 1470 | 0,83 0,62 ... 1,22 | 141 116 ... 166 |
| | 138 | 2,4 1,6 ... 3,7 | 724 667 ... 801 | 571 487 ... 650 | 1280 1030 ... 1500 | 1,03 0,66 ... 1,52 | 156 125 ... 174 |
| | 139 | 2,1 0,8 ... 3,5 | 676 544 ... 738 | 579 460 ... 672 | 1240 990 ... 1430 | 0,74 0,40 ... 1,05 | 143 114 ... 161 |
| | 140 | 2,1 1,0 ... 5,2 | 702 597 ... 810 | 657 477 ... 777 | 1350 1040 ... 1610 | 0,81 0,47 ... 1,19 | 151 121 ... 187 |
| | 146 | 2,7 1,0 ... 4,9 | 687 613 ... 768 | 595 545 ... 682 | 1230 1170 ... 1380 | 0,71 0,60 ... 0,85 | 145 130 ... 163 |
| 4 | 147 | 2,9 2,1 ... 3,9 | 737 703 ... 767 | 563 512 ... 605 | 1280 1180 ... 1370 | 1,03 0,85 ... 1,60 | 139 121 ... 154 |
| | 148 | 2,6 1,5 ... 4,3 | 763 675 ... 832 | 615 577 ... 649 | 1360 1240 ... 1470 | 1,00 0,60 ... 1,62 | 149 130 ... 161 |
| | 149 | 4,3 2,5 ... 7,0 | 713 640 ... 771 | 542 487 ... 625 | 1160 1070 ... 1270 | 0,75 0,62 ... 1,00 | 141 124 ... 154 |
| | 150 | 4,7 3,3 ... 8,9 | 773 687 ... 811 | 589 475 ... 602 | 1240 1140 ... 1340 | 1,09 0,85 ... 1,45 | 134 103 ... 156 |
| 5 | 151 | 1,9 0,9 ... 2,4 | 636 538 ... 687 | 515 402 ... 625 | 1110 866 ... 1310 | 0,77 0,45 ... 0,90 | 130 101 ... 163 |
| | 152 | 1,9 1,1 ... 2,8 | 596 512 ... 662 | 484 345 ... 615 | 1020 770 ... 1280 | 0,66 0,32 ... 0,87 | 111 79 ... 145 |
| | 153 | 1,5 0,8 ... 2,4 | 603 524 ... 654 | 528 380 ... 632 | 1100 840 ... 1309 | 0,62 0,32 ... 0,77 | 123 89 ... 151 |
| | 154 | 1,7 0,9 ... 3,6 | 707 629 ... 758 | 599 467 ... 687 | 1260 970 ... 1481 | 0,74 0,39 ... 1,00 | 149 100 ... 177 |
| | 155 | 1,6 1,0 ... 2,3 | 689 609 ... 747 | 582 450 ... 710 | 1210 945 ... 1360 | 0,92 0,47 ... 1,35 | 135 96 ... 166 |
| | 156 | 2,5 1,2 ... 3,6 | 762 683 ... 834 | 675 542 ... 745 | 1470 1120 ... 1610 | 1,73 1,10 ... 2,42 | 154 121 ... 172 |
| 6 | 157 | 2,2 1,0 ... 4,1 | 720 604 ... 788 | 619 437 ... 737 | 1410 1010 ... 1690 | 1,20 0,67 ... 1,55 | 135 99 ... 163 |
| | 158 | 2,2 0,9 ... 3,8 | 731 565 ... 843 | 658 432 ... 692 | 1360 790 ... 1610 | 1,03 0,60 ... 1,50 | 147 90 ... 177 |
| | 159 | 1,8 0,9 ... 2,6 | 700 548 ... 793 | 605 367 ... 727 | 1300 800 ... 1590 | 0,85 0,47 ... 1,12 | 129 82 ... 169 |
| | 160 | 2,2 1,6 ... 3,3 | 741 677 ... 793 | 610 511 ... 677 | 1340 1100 ... 1490 | 1,13 0,84 ... 1,40 | 149 123 ... 169 |

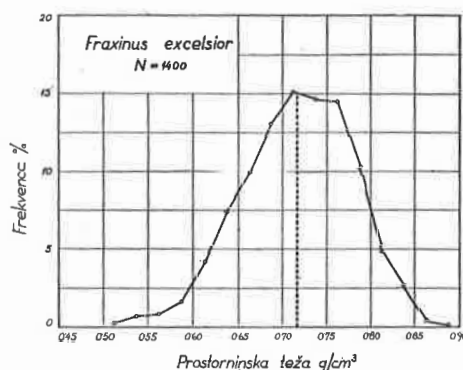
| Plo-skev | Model-no drevo | Širina branike mm | Prostorninska teža kp/m ³ | Tlačna trdnost kp/cm ² | Upogibna trdnost kp/cm ² | Udarna trdnost kp/cm ² | E-modul $\times 10^{-3}$ kp/cm ² |
|----------|----------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 7 | 161 | 2,8 1,2 ... 4,8 | 697 607 ... 761 | 641 540 ... 715 | 1390 1170 ... 1570 | 1,18 0,78 ... 1,83 | 139 108 ... 166 |
| | 162 | 3,2 1,6 ... 4,7 | 729 636 ... 797 | 686 578 ... 763 | 1460 1130 ... 1620 | 0,90 0,58 ... 1,48 | 156 123 ... 181 |
| | 163 | 3,3 1,8 ... 6,4 | 720 632 ... 771 | 662 550 ... 740 | 1380 1070 ... 1530 | 0,79 0,48 ... 0,95 | 154 120 ... 177 |
| | 164 | 2,8 1,5 ... 4,4 | 786 723 ... 852 | 707 575 ... 785 | 1530 1290 ... 1680 | 1,19 0,75 ... 1,58 | 163 139 ... 187 |
| | 165 | 2,6 1,3 ... 4,2 | 704 583 ... 798 | 619 465 ... 765 | 1330 980 ... 1610 | 1,07 0,65 ... 1,35 | 141 100 ... 177 |
| 9 | 171 | 2,8 1,2 ... 4,1 | 701 655 ... 748 | 671 553 ... 748 | 1400 1230 ... 1530 | 0,82 0,65 ... 0,93 | 149 130 ... 161 |
| | 172 | 2,7 1,9 ... 4,0 | 807 724 ... 865 | 741 573 ... 835 | 1570 1360 ... 1790 | 0,99 0,70 ... 1,28 | 177 145 ... 198 |
| | 173 | 3,0 1,9 ... 4,3 | 683 625 ... 745 | 614 525 ... 685 | 1300 1140 ... 1460 | 0,90 0,73 ... 1,10 | 145 118 ... 166 |
| | 174 | 2,7 2,1 ... 3,5 | 616 553 ... 661 | 551 500 ... 593 | 1140 900 ... 1260 | 0,74 0,50 ... 0,98 | 135 120 ... 151 |
| | 175 | 2,5 1,4 ... 4,0 | 684 603 ... 770 | 596 503 ... 663 | 1280 1070 ... 1410 | 0,82 0,55 ... 1,08 | 143 118 ... 161 |
| 10 | 176 | 2,9 0,9 ... 4,3 | 707 641 ... 775 | 591 535 ... 655 | 1300 1160 ... 1470 | 0,96 0,70 ... 1,43 | 143 132 ... 158 |
| | 177 | 3,1 2,4 ... 4,0 | 797 767 ... 832 | 674 600 ... 725 | 1550 1400 ... 1720 | 1,15 0,80 ... 1,68 | 167 139 ... 184 |
| | 178 | 2,9 1,7 ... 4,9 | 778 708 ... 845 | 605 528 ... 693 | 1370 1200 ... 1560 | 1,29 0,98 ... 1,73 | 151 135 ... 169 |
| | 179 | 3,4 2,5 ... 5,0 | 678 633 ... 720 | 582 500 ... 625 | 1210 1090 ... 1310 | 0,61 0,48 ... 0,70 | 129 107 ... 143 |
| | 180 | 3,5 1,9 ... 5,4 | 768 666 ... 841 | 657 528 ... 723 | 1390 1150 ... 1500 | 0,96 0,75 ... 1,15 | 154 129 ... 172 |
| 11 | 181 | 2,2 1,4 ... 3,4 | 673 563 ... 739 | 602 420 ... 778 | 1270 810 ... 1500 | 0,91 0,58 ... 1,28 | 120 82 ... 169 |
| | 182 | 2,2 1,3 ... 3,2 | 692 612 ... 762 | 655 525 ... 762 | 1370 1060 ... 1560 | 0,79 0,55 ... 1,03 | 139 104 ... 206 |
| | 183 | 2,0 1,1 ... 3,0 | 727 575 ... 816 | 697 475 ... 840 | 1420 930 ... 1730 | 1,00 0,50 ... 1,30 | 147 94 ... 190 |
| | 184 | 2,5 1,1 ... 4,3 | 697 624 ... 783 | 664 573 ... 758 | 1370 1170 ... 1720 | 1,01 0,78 ... 1,50 | 143 118 ... 169 |
| | 185 | 3,8 1,9 ... 5,6 | 712 639 ... 777 | 622 550 ... 673 | 1320 1120 ... 1450 | 0,98 0,78 ... 1,20 | 141 117 ... 154 |
| 12 | 186 | 2,8 1,4 ... 4,2 | 736 675 ... 794 | 676 560 ... 790 | 1430 1230 ... 1580 | 0,93 0,60 ... 1,18 | 158 135 ... 177 |
| | 187 | 2,6 1,0 ... 3,9 | 753 585 ... 828 | 701 470 ... 793 | 1510 1050 ... 1760 | 1,30 0,65 ... 1,83 | 149 100 ... 174 |
| | 188 | 2,9 1,3 ... 4,7 | 721 620 ... 780 | 684 550 ... 750 | 1470 1180 ... 1590 | 1,04 0,77 ... 1,33 | 172 127 ... 190 |
| | 189 | 3,0 1,4 ... 5,1 | 736 617 ... 795 | 646 500 ... 718 | 1330 1020 ... 1510 | 0,87 0,55 ... 1,13 | 147 102 ... 177 |
| | 190 | 2,8 1,9 ... 3,9 | 652 605 ... 714 | 580 500 ... 653 | 1220 1090 ... 1370 | 0,86 0,75 ... 1,03 | 130 116 ... 145 |

| Plo-skev | Model-no drevo | Širina branike mm | Prostorninska teža kp/m ³ | Tlačna trdnost kp/cm ² | Upogibna trdnost kp/cm ² | Udarna trdnost kp/cm ² | E-modul $\times 10^{-3}$ kp/cm ² |
|----------|----------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 13 | 191 | 2,8 2,0 ... 3,8 | 704 646 ... 752 | 659 563 ... 768 | 1380 1160 ... 1550 | 1,06 0,83 ... 1,43 | 145 120 ... 169 |
| | 192 | 2,7 1,5 ... 4,3 | 694 644 ... 727 | 685 595 ... 758 | 1410 1200 ... 1500 | 0,95 0,68 ... 1,20 | 156 135 ... 174 |
| | 193 | 2,6 1,9 ... 4,0 | 664 601 ... 715 | 592 535 ... 700 | 1230 1050 ... 1400 | 0,86 0,30 ... 0,78 | 149 137 ... 161 |
| | 194 | 3,0 1,3 ... 4,9 | 644 595 ... 699 | 798 640 ... 875 | 1700 1480 ... 1860 | 1,37 0,83 ... 1,82 | 187 161 ... 206 |
| | 195 | 3,4 2,1 ... 4,8 | 729 686 ... 771 | 645 570 ... 745 | 1390 1100 ... 1640 | 0,92 0,70 ... 1,33 | 158 130 ... 172 |
| 14 | 196 | 3,0 2,1 ... 4,3 | 792 711 ... 834 | 696 630 ... 760 | 1500 1360 ... 1640 | 1,14 0,80 ... 1,45 | 151 132 ... 166 |
| | 197 | 3,0 1,7 ... 4,3 | 775 723 ... 835 | 708 613 ... 775 | 1420 1160 ... 1640 | 0,82 0,65 ... 1,03 | 161 145 ... 174 |
| | 198 | 2,1 1,1 ... 3,3 | 750 682 ... 785 | 653 523 ... 805 | 1360 1190 ... 1600 | 0,82 0,53 ... 1,05 | 145 105 ... 172 |
| | 199 | 1,5 1,0 ... 2,0 | 709 660 ... 773 | 637 495 ... 765 | 1320 1010 ... 1540 | 0,90 0,63 ... 1,18 | 145 107 ... 169 |
| | 200 | 1,4 0,8 ... 2,0 | 703 638 ... 781 | 604 438 ... 743 | 1260 940 ... 1530 | 0,75 0,48 ... 1,00 | 134 94 ... 174 |
| 15 | 201 | 2,1 1,3 ... 2,9 | 725 641 ... 781 | 676 550 ... 795 | 1410 1200 ... 1620 | 1,17 0,65 ... 1,80 | 145 137 ... 194 |
| | 202 | 2,1 1,3 ... 3,3 | 687 593 ... 754 | 771 610 ... 893 | 1570 1250 ... 1760 | 0,95 0,65 ... 1,23 | 172 145 ... 190 |
| | 203 | 3,4 2,2 ... 6,5 | 720 632 ... 786 | 759 665 ... 880 | 1630 1530 ... 1790 | 1,40 0,68 ... 2,15 | 169 117 ... 181 |
| | 204 | 3,1 2,2 ... 4,0 | 778 685 ... 843 | 747 600 ... 793 | 1490 1350 ... 1590 | 0,89 0,80 ... 1,15 | 166 151 ... 184 |
| | 205 | 3,2 1,9 ... 5,3 | 818 769 ... 875 | 684 545 ... 768 | 1390 1210 ... 1550 | 0,93 0,60 ... 1,10 | 158 141 ... 177 |
| 16 | 206 | 2,9 1,7 ... 4,4 | 747 687 ... 789 | 624 540 ... 698 | 1260 1210 ... 1410 | 0,71 0,35 ... 1,05 | 139 116 ... 187 |
| | 207 | 3,0 1,5 ... 5,3 | 700 651 ... 748 | 678 593 ... 745 | 1450 1290 ... 1600 | 1,07 0,85 ... 1,40 | 156 143 ... 177 |
| | 208 | 3,1 1,2 ... 5,0 | 652 594 ... 731 | 643 565 ... 688 | 1330 1110 ... 1460 | 0,99 0,65 ... 1,53 | 145 111 ... 187 |
| | 209 | 3,1 1,5 ... 6,6 | 790 755 ... 838 | 587 485 ... 685 | 1230 1020 ... 1370 | 0,98 0,58 ... 1,33 | 132 109 ... 147 |
| | 210 | 3,1 2,1 ... 4,4 | 763 690 ... 853 | 721 625 ... 783 | 1490 1330 ... 1660 | 1,02 0,53 ... 1,50 | 151 135 ... 172 |

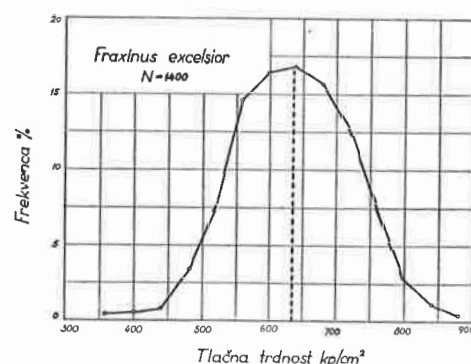
jarku pri Radljah s širino 3,5 mm, medtem ko so poprečja na vseh preostalih ploskvah v razmeroma ozkem intervalu od 2,2 do 3,1 mm. Pri tem moramo upoštevati tudi različno starost modelnih dreves. Z ozirom na to, da je širina branike tudi funkcija starosti, je potrebno pri medsebojni primerjavi posameznih ploskev upoštevati le branike do določene iste starostne dobe. V konkretnem primeru je to opravljeno za dobo do 60. leta. Tudi po tem kriteriju je jesenovina v Kamniški Bistrici s poprečno širino branik 1,9 mm na zadnjem mestu, medtem ko ostane poprečje za Bistriški jarek praktično nespremenjeno. Na preostalih ploskvah tako izračunana poprečja ne sežejo izven že navedenega intervala.

3.12 Prostorninska teža

Čeprav so specifične teže glavnih sestavnih delov lesa, celuloze, lignina in spremljevalcev celuloze le malo različne, vendar prostorninska teža lesa variira v širokem intervalu. Njena vrednost je predvsem funkcija razmerja med prostorninami celičnih sten in celičnih lumenov. Prostorninska teža lesa je razen od specifičnih značilnosti drevesne vrste odvisna predvsem od splošnih prehrabnih pogojev drevesa, to je od relativne količine razpoložljivih asimilatov. Ti pa so rezultanta tako rastiščnih razmer kot tudi razmerja med kapaciteto krošnje in koreninskega sistema ter premerom debla. Odnos med prostorninskimi težami najlažjega in najtežjega lesa, kar jih poznamo, je približno 1 : 10. Tudi pri istovrstnem lesu so razlike znatne. Pri drevesnih vrstah zmernega pasu so ekstremne vrednosti pretežno v razmerju 1 : 2 do 1 : 3. Prostorninska teža je dober pokazovalec splošne kakovosti lesa.



Slika 1. Frekvenčna krivulja prostorninske teže lesa



Slika 2. Frekvenčna krivulja tlačne trdnosti

V okviru te razprave je bila ugotovljena prostorninska teža jesenovine v zračno suhem stanju z vlažnostjo 12 % in je tako tudi prikazana. Njeno poprečje je 717 kp/m³; vrednosti posameznih vzorcev variirajo od 512 do 875 kp/m³. Najlažji les izvira iz perifernih delov starih dreves s slabim prirastkom, najtežjega pa zasledimo v osrednjih delih debla približno do 20. ali 30. branike, računajoč od stržena v smeri proti obodu.

Poprečne vrednosti posameznih modelnih dreves se gibljejo od 596 do 818 kp/m³. Najlažji les v poprečju so imela drevesa 152 in 153 v Kamniški Bistrici ter drevo 174 na ploskvi 9 (Kolovec I), najtežjega pa drevesa 203 na ploskvi 15 (Češnjica pri Naklem), 172 na ploskvi 9 (Kolovec I) in 177 na ploskvi 10 (Kolovec II). Zanimiva ugotovitev pri tem je, da se ekstremi pojavljajo celo na istem rastišču — konkretno na ploskvi 9 (Kolovec I): to sta drevesi 172 s poprečno težo 807 kp/m³ in 174 s poprečno težo 616 kp/m³. Obe drevesi sta rastle v majhni medsebojni razdalji ca. 25 m na podobnih obrečnih tleh v rastlinski združbi *Q u e r c o - C a r p i n e t u m*, ki se je razvila iz loga. Obe sta približno enako stari, 60 oziroma 56 let, in imata približno enak premer v prsni višini 35 oziroma 33 cm.

TABELA 4. Lastnosti jesenovega lesa po ploskvah

| Razskovalna ploskev | Širina branike mm | Prostorninska teža kp/m^3 | Tlačna trdnost kp/cm^2 | Upogibna trdnost kp/cm^2 | Udarna trdnost kpm/cm^2 | E-modul $\times 10^{-3}$ kp/cm^2 |
|---------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| 1 Boč | 2,6 1,4 ... 5,8 | 708 617 ... 785 | 612 467 ... 717 | 1330 1050 ... 1590 | 0,93 0,65 ... 1,35 | 143 97 ... 184 |
| 2 Negova | 2,2 0,8 ... 5,2 | 712 544 ... 810 | 604 460 ... 777 | 1310 990 ... 1610 | 0,91 0,40 ... 1,92 | 147 114 ... 187 |
| 4 Bistr. jarek | 3,5 1,0 ... 8,9 | 734 613 ... 832 | 573 475 ... 682 | 1250 1070 ... 1470 | 0,92 0,60 ... 1,62 | 141 103 ... 163 |
| 5 Kamn. Bistrica | 1,7 0,8 ... 3,6 | 646 512 ... 758 | 542 345 ... 710 | 1140 770 ... 1481 | 0,74 0,32 ... 1,32 | 129 79 ... 177 |
| 6 Krekovše | 2,2 0,9 ... 4,1 | 731 548 ... 843 | 634 367 ... 745 | 1380 790 ... 1690 | 1,19 0,47 ... 2,42 | 141 82 ... 177 |
| 7 Pod Lobnikom | 2,9 1,2 ... 6,4 | 727 583 ... 852 | 663 465 ... 785 | 1420 980 ... 1680 | 1,03 0,48 ... 1,83 | 149 100 ... 187 |
| 9 Kolovec I | 2,8 1,2 ... 4,3 | 698 533 ... 865 | 635 500 ... 835 | 1340 900 ... 1790 | 0,85 0,50 ... 1,28 | 149 118 ... 198 |
| 10 Kolovec II | 3,1 0,9 ... 6,4 | 745 633 ... 845 | 622 500 ... 725 | 1360 1090 ... 1720 | 0,99 0,48 ... 1,73 | 147 107 ... 184 |
| 11 Hrastovec | 2,6 1,1 ... 5,6 | 700 563 ... 816 | 648 420 ... 840 | 1350 810 ... 1730 | 0,93 0,50 ... 1,50 | 139 82 ... 206 |
| 12 Lobnica | 2,8 1,0 ... 5,1 | 720 585 ... 828 | 657 470 ... 793 | 1390 1020 ... 1760 | 1,00 0,55 ... 1,83 | 151 100 ... 190 |
| 13 Šardinje | 2,9 1,3 ... 4,9 | 726 601 ... 835 | 676 535 ... 875 | 1430 1050 ... 1860 | 0,99 0,30 ... 1,82 | 158 120 ... 206 |
| 14 Jurklošter | 2,2 0,8 ... 4,3 | 715 593 ... 785 | 660 438 ... 805 | 1370 940 ... 1640 | 0,89 0,48 ... 1,45 | 147 94 ... 174 |
| 15 Češnjica | 2,8 1,3 ... 6,5 | 753 632 ... 875 | 727 545 ... 893 | 1500 1200 ... 1790 | 1,07 0,60 ... 2,15 | 161 117 ... 194 |
| 16 Peračica | 3,1 1,2 ... 6,6 | 716 594 ... 853 | 651 485 ... 783 | 1350 1020 ... 1660 | 0,95 0,30 ... 1,53 | 145 109 ... 187 |
| Sumarno | 2,7 0,8 ... 8,9 | 717 512 ... 875 | 636 345 ... 893 | 1350 770 ... 1860 | 0,96 0,30 ... 2,42 | 145 79 ... 206 |

Pač pa se razlikujeta po višini, ki je v prvem primeru 27,3 m, v drugem pa 30 m, po premeru krošnje, ki je 9,7 oziroma 8,5 m, ter po tehnični dolžini debla, ki je v prvem primeru znatno manjša 10,4 m, v drugem pa 17,7 m. Značilnosti za drevo 172, ki se odlikuje s težkim lesom, so torej: manjša višina ter večja in predvsem daljša krošnja.

Poprečne vrednosti prostorninske teže jesenovine na posameznih rastiščih se ne razlikujejo mnogo. Očitno majhna vrednost 646 kp/m^3 je ugotovljena v Kamniški Bistrici, medtem ko so poprečja na vseh preostalih ploskvah v ozkem intervalu od 698 do 753 kp/m^3 . Najtežja je jesenovina na ploskvah v Češnjici 753 kp/m^3 , Kolovcu II 745 kp/m^3 in Bistriškem jarku 734 kp/m^3 .

Če primerjamo razliko med ekstremi poprečne prostorninske teže na posameznih rastiščih, ki je $753 - 646 = 107 \text{ kp/m}^3$, s prej ugotovljeno razliko med

drevesi na rastišču Kolovec I, ki je $807 - 616 = 191 \text{ kp/m}^3$, vidimo, da je slednja skoraj še enkrat večja. To pa ni osamljen primer! Razlike med drevesi, ki so večje od 100 kp/m^3 , najdemo tudi na ploskvah 5, 10, 12, 13, 15 in 16. Smemo torej trditi, da je variabilnost prostorninske teže jesenovine med drevesi na istem rastišču večja kot med poprečji vseh 14 obravnavanih raziskovalnih ploskev. K temu je še dodati, da lahko nekatera od pravkar navedenih rastišč označimo kot povsem homogena.

3.13 Tlačna trdnost

Tlačna trdnost je pomembna lastnost in v določeni meri tudi kriterij trdnosti lesa nasploh. Ugotavljanje njene vrednosti je razmeroma preprosto v primerjavi z nekaterimi drugimi vrstami trdnosti. Tlačna trdnost lesa je bila često predmet študija, tako da dandanes razpolagamo s številnimi zadevnimi podatki. Na žalost ti podatki niso vedno zanesljivi, ker ne upoštevajo vpliva vlage na trdnost lesa ali pa ga ne upoštevajo v ustrezni meri.

Vpliv vlage je ravno na tlačno trdnost zelo velik in večji kot na druge lastnosti lesa. To nam bo razumljivo, če pomislimo na submikroskopsko zgradbo lesa. Voda razdvaja osnovne gradbene enote lesa — micle, ki se pri tlačnih obremenitvah hitreje uklanjajo in deformirajo. Vpliv vlage na tlačno trdnost lesa je največji in približno linearen v območju vlažnosti od 8 do 18 %, medtem ko je izven navedenega intervala manjši in nelinearen. Za navedeno območje linearnega odnosa računa Forest Products Laboratory, da se s povečanjem vlage za 1 % zmanjša tlačna trdnost lesa za 5 do 6 %. Za jesenovino različne vlažnosti ugotavlja Kollmann (1941) naslednje vrednosti tlačne trdnosti:

| | |
|-----------------------------|-----------------------|
| za popolnoma suh les | 1000 kp/cm^2 |
| za les z vlažnostjo 15 % | 440 kp/cm^2 |
| za svež les (vlažnost 50 %) | 290 kp/cm^2 |

Navedeno dovolj prepričljivo izraža zahtevo po skrbnem upoštevanju vlažnosti tako v času eksperimenta kot pri obravnavanju rezultatov.

Tlačna trdnost jesenovine je bila tako kot vse druge lastnosti ugotovljena na lesu v zračno suhem stanju z vlažnostjo 12 % oziroma natančno 11,7 do 12,5 % s poprečjem 12,2 %. Glede na neznatne odklone ni bilo potrebno korigirati rezultatov, ki so interpretirani neposredno na osnovi eksperimenta.

Tlačna trdnost posameznih vzorcev variira v intervalu od 345 do 893 kp/cm^2 , njeno poprečje pa je 636 kp/cm^2 . Frekvenčna krivulja, prikazana na sliki 2, kaže simetrično razporeditev, pri čemer se srednja vrednost ujema z največjo frekvenco. Najmanjše vrednosti tlačne trdnosti zasledimo predvsem v perifernih delih starih dreves s slabim prirastkom, največje pa v osrednjih delih debla, ki so bili zgrajeni do 30. ali 40. leta starosti. Podobno je bilo prej ugotovljeno za prostorninsko težo. V splošnem je tlačna trdnost premo sorazmerna s težo lesa. Praviloma ima težji les tudi večjo tlačno trdnost, vendar zasledimo znatne odklone, tako pri posameznih vzorcih kot tudi pri srednjih drevesnih vrednostih in pri poprečjih posameznih rastišč. Kot primer navajam vzorca št. 152/9 ter 159/3, ki imata skoraj enako prostorninsko težo 589 in 593 kp/m^3 , toda močno različno tlačno trdnost 462 kp/cm^2 oziroma 692 kp/cm^2 .

Drevesna poprečja so v razmeroma širokem intervalu od 448 do 798 kp/cm^2 . Najmanjšo tlačno trdnost so pokazala drevesa 151, 152 in 153 v Kamniški Bistrici,

največjo pa drevesa 194 v Šardinju ter 202 in 203 v Češnjici, kar se precej dobro ujema tudi z razporeditvijo po kriteriju teže lesa. Vendar pa razporeditev po obeh kriterijih ni vedno vzporedna: na primer drevo 150 s poprečno težo 773 kp/m^3 in poprečno tlačno trdnostjo 589 kp/cm^2 se med skupno 70 preiskanimi modeli uvršča po kriteriju teže na 10. mesto, po kriteriju tlačne trdnosti pa komaj na 59. mesto. Podobno je z drevesom 197, ki z ozirom na poprečno težo 709 kp/m^3 zasede 37. mesto, glede na poprečno tlačno trdnost 708 kp/cm^2 pa 7. mesto. Podobnih primerov je več.

Največja tlačna trdnost v poprečju 727 kp/cm^2 je bila ugotovljena na raziskovalni ploskvi v Češnjici pri Naklem, najmanjša 542 kp/cm^2 pa v Kamniški Bistrici. Navedena rastišča sodijo med ekstreme tudi po kriteriju prostorninske teže. Presenetljivo nizko vrednost 573 kp/cm^2 pa je pokazala sicer težka jesenovina v Bistriškem jarku pri Radljah, ki se med 14 ploskvami uvršča po teži na 3. mesto, po tlačni trdnosti pa na predzadnje mesto.

3.14 Upogibna trdnost

Klasična teorija upogiba temelji na Hookovem zakonu in na domnevi, da je elastičnost materiala pri tlačnih in nateznih obremenitvah enaka. Nadalje se pri tem domneva, da ostanejo prvotno ravni prečni preseki tudi pri obremenitvah ravni in pravokotni na vzdolžno os vzorca. Po *Navieru* je napetost v prečnem prerezu razporejena linearno in simetrično, nevtralna plast pa leži v sredini vzorca. Čeprav ti pogoji pri nehomogenih anizotropnih materialih niso izpolnjeni, se upogibna trdnost lesa še vedno računa po klasični Navierovi formuli.

Upogibna trdnost je definirana kot kvocient maksimalnega upogibnega momenta in odpornostnega momenta preseka

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{W}$$

Za vzorce pravokotnega preseka, obremenjene v sredini med obema podporama, preide gornja enačba v obliko

$$\sigma_u = \frac{3 Pl}{2 bh^2}$$

kjer pomeni P zrušilno obremenitev (kg), l razdaljo podpor (cm), b in h pa širino in višino vzorca (cm).

Kollmann (1941) ugotavlja upogibno trdnost za zračno suho jesenovino s 15 % vlage 1020 kp/cm^2 , za svež les pa 750 kp/cm^2 . Iz podatkov je razviden tudi vpliv vlage, ki je v tem primeru manjši kot pri tlačnih obremenitvah.

Upogibna trdnost je močno odvisna od smeri lesnih vlaken v odnosu na vzdolžno os vzorca. Na osnovi raznih virov (*Baumann* 1922, *Kollmann* 1951) moramo računati, da je njena vrednost za jesenovino v vzdolžni smeri 10 do 12-krat večja kot v prečni smeri. Tako velike razlike med vzdolžno in prečno smerjo zahtevajo skrbno izdelane vzorce v natančno določenih ravninah in skrajno pozornost pri izvajanju eksperimenta.

Na osnovi 1400 vzorcev ugotovljena upogibna trdnost jesenovine se giblje v območju od 770 do 1860 kp/cm^2 , njeno poprečje pa je 1350 kp/cm^2 . Najmanjše in največje vrednosti se v glavnem pojavljajo na mestih v deblu, kot je že bilo na-

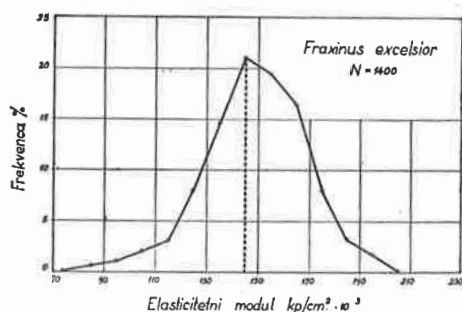
vedeno za prostorninsko težo in tlačno trdnost. Korelacija s težo lesa je na splošno dobra, ugotovljamo pa tudi precejšnje odklone celo pri vzorcih istega drevesa. Tako imata vzorca 195/11 in 195/14 skoraj enako prostorninsko težo 791 ter 790 kp/m^3 , toda močno različno upogibno trdnost 1100 in 1500 kp/cm^2 .

Ekstremne vrednosti drevesnih poprečij so 1020 in 1700 kp/cm^2 . Tako najmanjše kot tudi največje poprečne vrednosti upogibne trdnosti so pokazala drevesa, ki tudi po kriterijih teže in tlačne trdnosti sodijo med ekstreme. To so po eni strani drevesa 151, 152 in 143 v Kamniški Bistrici, na drugi strani pa drevesa 194 v Šardinju ter 202 in 203 v Češnjici. So pa tudi izjeme. Drevesi 150 in 202 imata približno enako težak les 773 in 778 kp/m^3 , vendar se močno razlikujeta glede upogibne trdnosti, ki je v prvem primeru 1240 kp/cm^2 , v drugem pa 1570 kp/cm^2 . Analogno, kot je bilo ugotovljeno za tlačno trdnost, je tudi upogibna trdnost v poprečju najmanjša v Kamniški Bistrici 1140 kp/cm^2 in največja v Češnjici 1500 kp/cm^2 . Prav tako preseneča nizka vrednost za jesenovino v Bistriškem jarku 1250 kp/cm^2 , ki se tudi po kriteriju upogibne trdnosti uvršča na predzadnje mesto. Razlike med poprečji modelnih dreves so tudi na istem rastišču znatne in lahko celo večje od razlik med poprečji posameznih raziskovalnih ploskev. Posebej omenjam razlike med drevesi 172 in 174 v Kolovcu I ter 193 in 194 v Šardinju, ki merijo 430 oziroma 470 kp/cm^2 , medtem ko se ekstremni poprečji raziskovalnih ploskev razlikujeta le za 360 kp/cm^2 .

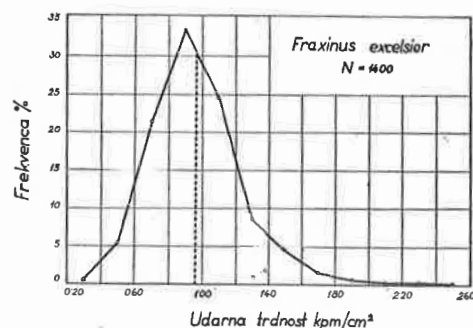
3.15 Udarna upogibna trdnost

Odpornost lesa proti dinamičnim obremenitvam, ki nastopajo v obliki sunkov ali udarcev, je v mnogih primerih važnejša od statične trdnosti in je dandanes osrednji problem preučevanja mehanskih lastnosti lesa. Na žalost se metodologije ugotavljanja dinamične trdnosti v raznih deželah močno razlikujejo, kar otežkoča primerjavo rezultatov. Preračunavanje podatkov je možno le s pridržkom, kajti teorija dinamične trdnosti lesa je zelo zamotana in še ne dovolj proučena. Na splošno označujemo les velike dinamične trdnosti kot žilav, les majhne trdnosti pa kot krhek.

Med različnimi oblikami dinamične trdnosti se pri lesu največ ugotavlja tako imenovana udarna upogibna trdnost. Po normativih, ki jih uporablja večina evropskih dežel, se izvaja poskus z nihajočim kladivom, trdnost pa je definirana kot



Slika 3. Frekvenčna krivulja udarne trdnosti

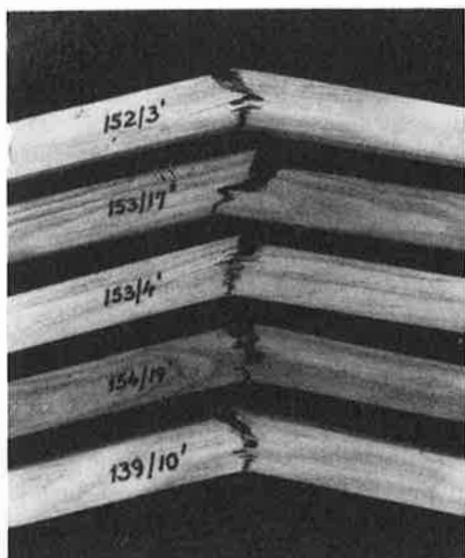


Slika 4. Frekvenčna krivulja E-modula

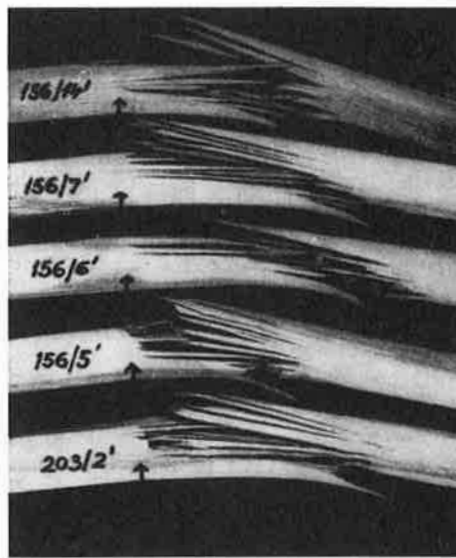
delo v kpm/cm^2 , ki je potrebno za prelom vzorca profila 2×2 cm na razdalji podpor 24 cm.

Značilna za navedeno lastnost je izredno velika variabilnost ne samo med lesovi različne provenience, temveč celo med lesom iz raznih delov istega debla. Za udarno upogibno trdnost jesenovine je ugotovil *Baumann* (1922) razpon skrajnih vrednosti od 0,1 do $1,18 \text{ kpm/cm}^2$, *Kollmann* (1941) pa celo od 0,07 do $2,45 \text{ kpm/cm}^2$.

Prizadevanja za obrazložitev tako velikih razlik, ki se često pojavljajo povsem nepričakovano, niso dala zadovoljivih rezultatov. Na osnovi anatomske in



Slika 5. Deformacije pri udarnih upogibnih obremenitvah. Vzorci z najmanjšo udarno trdnostjo



Slika 6. Deformacije pri udarnih upogibnih obremenitvah. Vzorcev z največjo udarno trdnostjo

submikroskopske zgradbe ter kemizma lesa je možno podati le omejene zaključke. Na splošno sicer lahko trdimo, da ima v okviru iste drevesne vrste težji les z večjim deležem mehanskih tkiv, z daljšimi vlakni in debelejšimi celičnimi stenami tudi večjo udarno trdnost, vendar so navedeni pokazovalci nezanesljivi za presojo posameznih primerov (*Clarke* 1935, *Kollmann* 1941, *Pechmann* 1956).

Udarne upogibne trdnost je v manjši meri odvisna od vlažnosti lesa kot statična trdnost. Zanimiva pa je ugotovitev, da je njena vrednost najmanjša v intervalu vlažnosti od 15 do 20 %, medtem ko je izven navedenega območja večja tako pri manjši kot tudi pri večji vlažnosti (*Helmez* 1938). Izredno velik pa je po podatkih istega avtorja vpliv orientacije lesnih vlaken. S povečanjem kota med smerjo vlaken in vzdolžno osjo vzorca od 0 na 10° se zmanjša udarna trdnost za celih 50 %.

Udarne upogibne trdnost preiskane jesenovine variira v zelo širokem intervalu od 0,30 do $2,42 \text{ kpm/cm}^2$, njeno poprečje pa je $0,96 \text{ kpm/cm}^2$. Frekvenčna

krivulja je izrazito asimetrična (slika 3). Vrednosti iznad 1,6 kpm/cm² se pojavljajo le poredkoma. Od skupnega števila 1400 vzorcev jih je le 2,4 %, ki presegajo označeno mejo. Variabilnost udarne trdnosti je izredno velika. Ekstremi so v razmerju 1 : 8,1, kar je nekajkrat več kot pri doslej obravnavanih lastnostih z izjemo širine branike.

Medtem ko lahko za težo in za statično trdnost s precejšnjo zanesljivostjo že vnaprej določimo, v katerih delih debla je pričakovati ekstreme, tega ne moremo reči za udarno upogibno trdnost. Na splošno se sicer pojavljajo majhne vrednosti največkrat v perifernih delih debla, vendar v neredkih primerih tudi v sredini, predvsem v neposredni bližini stržena. Bolj zanesljivo lahko govorimo o maksimalnih vrednostih, katere večinoma ugotavljamo na vzorcih, ki izvirajo iz osrednjih delov debla, zgrajenih med 30. in 50. letom starosti.

Srednje vrednosti dreves so v območju od 0,61 do 1,73 kpm/cm². Najmanjša vrednost pripada drevesu št. 179 na raziskovalni ploskvi Kolovec II, ki sicer ne kaže posebnosti niti v pogledu teže niti v pogledu statične trdnosti. Prav tako tudi drevo št. 156 na ploskvi v Krekovšah, ki se odlikuje z največjo udarno trdnostjo, ne sodi med ekstreme pri nobeni od drugih obravnavanih lastnosti.

Razlike med rastišči niso posebno velike, vendar večje kot za preostale preiskane lastnosti. Najmanjša udarna upogibna trdnost v poprečju 0,74 kpm/cm² je bila ugotovljena na raziskovalni ploskvi v Kamniški Bistrici, največja 1,19 kpm/cm² pa v Krekovšah. Medtem ko sodi jesenovina v Kamniški Bistrici tudi glede drugih lastnosti vselej na isto, in to na zadnje mesto med vsemi 14 obravnavanimi ploskvami, se v Krekovšah uvršča na prvo mesto le po kriteriju udarne upogibne trdnosti, po teži in po statični trdnosti pa na 4. oziroma 5. in 7. mesto.

Na slikah 5 in 6 so prikazane deformacije vzorcev pri udarnih upogibnih obremenitvah: prva predstavlja vzorce z ekstremno majhnimi vrednostmi od 0,30 do 0,43 kpm/cm², druga pa vzorce z ekstremno velikimi vrednostmi od 1,92 do 2,42 kpm/cm². Oblika lomov je na splošno dober pokazovalec dinamične trdnosti lesa. Značilen za krhke vzorce je kratkovlaknat, top ali stopničast lom, medtem ko je ta pri žilavih vzorcih dolgovlaknat s številnimi vzdolžnimi razpokami. Posebej je treba še omeniti asimetrične deformacije, ki se pojavljajo pri ekstremno žilavih vzorcih in le izjemoma tudi pri vzorcih srednje in slabe trdnosti. Med skupno 1400 vzorci je bilo 18 primerov asimetričnih lomov, od tega 11 pri vzorcih ekstremno velike udarne trdnosti nad 1,8 kpm/cm². Na sliki 6 so označeni vzorci z asimetrično deformacijo s puščico, ki nakazuje mesto in smer udarca.

3.16 Elastičnostni modul

Kot za mnoge druge materiale velja tudi za les Hookov zakon, ki pravi, da je odnos med raztezkom in napetostjo proporcionalen:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma$$

Pri tem je α tako imenovani prožnostni koeficient, ki podaja odnos med napetostjo in elastičnimi deformacijami materiala. Čeprav je prožnostni koeficient fizikalno povsem jasno definirana vrednost, se v tehniki večinoma uporablja njegova recipročna vrednost, ki je označena s pojmom elastičnostni modul:

$$E = \frac{1}{\alpha} \text{ (kpm/cm}^2\text{)}$$

V primerjavi z drugimi materiali ima les ob razmeroma veliki trdnosti tudi visoko stopnjo elastičnosti. K o l l m a n n (1941) ugotavlja, da so kvocienti elastičnostnega modula in natezne trdnosti za zračno suho jesenovino in za jelko v razmerju 81 : 300, kar pomeni, da je jesenovina relativno v odnosu do natezne trdnosti skoraj 4-krat bolj elastična kot jelko. To je velika prednost lesa in še posebno jesenovine v primerih, ki poleg velike trdnosti zahtevajo tudi visoko elastičnost.

Kot izrazito anizotropno telo ima les v raznih smereh različno stopnjo elastičnosti. Pri jesenovini dobre kakovosti ugotavlja B a u m a n n (1922) za elastičnostne module v tangencialni, radialni in longitudinalni smeri razmerje 11 : 20 : 134. Podobne odnose zasledimo tudi iz podatkov drugih avtorjev.

V okviru te razprave so prikazane vrednosti elastičnostnega modula v longitudinalni smeri, ugotovljene na osnovi deformacij pri statičnih upogibnih obremenitvah vzorcev profila 2×2 cm z razdaljo podpor 28 cm. Račun je narejen po obrazcu:

$$E = \frac{P \cdot l^3}{48 I \Delta f}$$

kjer pomenijo: $P = P_2 - P_1$ = obremenitev v kg, l = razdalja podpor v cm, I = vztrajnostni moment preseka, $\Delta f = f_2 - f_1$ = fleksija za obremenitev $P_2 - P_1$.

Poprečna vrednost E-modula preiskane jesenovine je 145 000 kp/cm². Širine variacij pa so naslednje:

| | |
|---------------------|--|
| za posamezne vzorce | 79 000 ... 206 000 kp/cm ² |
| za poprečja dreves | 111 000 ... 187 000 kp/cm ² |
| za poprečja ploskev | 129 000 ... 161 000 kp/cm ² |

Glede razporeditve elastičnostnega modula v deblu in njegove odvisnosti od teže lesa velja v glavnem vse tisto, kar je bilo rečeno za tlačno in statično upogibno trdnost. Tudi ekstremi se večinoma pojavljajo pri istih drevesih in na istih rastiščih. Na splošno ugotavljamo razmeroma dobro korelacijo E-modula s težo in s statično trdnostjo, seveda z odkloni, s katerimi moramo pri lesu vedno računati. Znatno slabša pa je povezanost elastičnostnega modula in dinamične trdnosti lesa.

3.17 Primerjava s podatki po literaturi

V tabeli 5 so prikazani rezultati našega raziskovanja v primerjavi s podatki za jesenovino z nekaterih področij Nemčije in Švice.

Iz prikaza vidimo, da se jesenovina v Sloveniji odlikuje z večjim prirastkom, z večjo prostorninsko težo ter predvsem z večjo statično in dinamično trdnostjo. Edinole podatki po K ü h n e j u za Švico se precej približujejo našim ugotovitvam. Navedeno potrjuje v uvodu izraženo domnevo, da so jesenova rastišča v Sloveniji, z ugodnim talnim in klimatskim obeležjem, zelo ustrezna za proizvodnjo visokovrednega lesa.

Tabela 5. Primerjava lastnosti domače jesenovine z lastnostmi z drugih področij

| Področje Lastnost | Širina bra- nike mm | Prostor- ninska teža kp/m ³ | Tlačna trdnost kp/cm ² | Upogibna trdnost kp/cm ² | Udarne upogibna trdnost kpm/cm ² | E-modul kp/cm ² |
|-------------------------------------|---------------------------|--|---|---|--|-------------------------------|
| Slovenija (1969) | 2,7 | 686 | 636 | 1350 | 0,96 | 145 000 |
| Nemčija (Kollmann 1941) | 1,75 | 650 | 520 | 1200 | 0,68 | 134 000 |
| (Pechmann 1956) Nemčija—Bavarska | | 620 | 487 | 1160 | 0,82 | 128 000 |
| Osrednja Nemčija (Schwenke 1956) | 1,3 | 623 | 475 | 901 | 0,50 | 100 000 |
| Nemčija—Bavarska (Maurer 1963) | 2,2 | 582 | 483 | 1080 | 0,61 | 118 000 |
| Švica (Kühne 1951) | | 650 | 590 | 1300 | 0,90 | 142 000 |

3.2 Variabilnost jesenovine

V prejšnjem poglavju so bile ponovno omenjene velike razlike v pogledu prostorninske teže in trdnosti jesenovine tako med vzorci kot tudi med modelnimi drevesi in raziskovalnimi ploskvami. Razmeroma veliko število preiskanih dreves daje podlago za podrobnejši študij variabilnosti obravnavane vrste lesa. Zadevno vprašanje je zlasti pomembno za nadaljnje proučevanje jesenovine, saj poznana variabilnost neposredno določa potrebno število modelnih dreves in vzorcev za doseg ustrežne točnosti preiskave. To vprašanje je prav tako važno tudi za vsakdanjo prakso, ker nakazuje odklone, s katerimi je treba v proizvodnem procesu računati.

TABELA 6. Ekstremne vrednosti in variacijski koeficienti

| | Vzorci | Povprečja dreves | Povprečja ploskev |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Prostorninska teža kp/m ³ | 512 ... 875 (1 : 1,7) 8,5 % | 596 ... 818 (1 : 1,4) 6,5 % | 646 ... 753 (1 : 1,2) 3,6 % |
| Tlačna trdnost kp/cm ² | 345 ... 893 (1 : 2,6) 13,7 % | 484 ... 798 (1 : 1,6) 9,3 % | 542 ... 727 (1 : 1,3) 7,1 % |
| Upogibna trdnost kp/cm ² | 770 ... 1860 (1 : 2,4) 13,4 % | 1020 ... 1700 (1 : 1,7) 9,1 % | 1140 ... 1500 (1 : 1,3) 6,3 % |
| Udarne trdnost kpm/cm ² | 0,30 ... 2,42 (1 : 8,1) 29,2 % | 0,61 ... 1,73 (1 : 2,8) 20,4 % | 0,74 ... 1,19 (1 : 1,2) 11,0 % |

V tabeli 6 so za posamezne lastnosti prikazane ekstremne vrednosti, njih razmerja in variacijski koeficienti, in sicer za vzorce, za poprečja dreves in za poprečja ploskev. Variacijski koeficient je standardna deviacija, izražena v odstotkih v odnosu na srednjo vrednost zadevnega kolektiva.

Med vsemi prikazanimi lastnostmi je najmanj variabilna prostorninska teža lesa. Ekstremne vrednosti vzorcev so v razmerju 1 : 1,7, variacijski koeficient pa je 8,5 %. Precej večja je variabilnost tlačne in upogibne trdnosti, kjer so ekstremi v razmerju 1 : 2,6 oziroma 1 : 2,4, variacijski koeficienti pa so 13,7 % in 13,4 %. Neprimerno večje razlike kaže dinamična trdnost. Ekstremne vrednosti udarne upogibne trdnosti vzorcev so v razmerju 1 : 8,1, vrednost variacijskega koeficienta pa je celo 29,2 %. Manjše so razlike med drevesnimi poprečji in še manjše med poprečji raziskovalnih ploskev. Podrobnosti so razvidne v tabeli.

Posamezna rastišča kažejo različno variabilnost. V tabeli 7 so navedeni variacijski koeficienti drevesnih poprečij na raziskovalnih ploskvah. Skrajne vrednosti so naslednje: za prostorninsko težo 3,2 in 9,9 %, za tlačno trdnost 5,0 in 11,6 %, za upogibno trdnost 4,2 in 11,9 % ter za udarno trdnost 6,7 in 27,7 %.

Zelo majhne variacijske koeficiente za vse obravnavane lastnosti ugotavljamo na raziskovalni ploskvi 1 (Boč), pa tudi na ploskvi 11 (Hrastovec pri Lenartu). To pomeni, da je jesenovina na omenjenih rastiščih na splošno zelo homogena. Zelo veliki pa so variacijski koeficienti prostorninske teže ter tlačne in upogibne trdnosti na raziskovalni ploskvi 9 (Kolovec I). Zanimivo je, da je variabilnost dinamične trdnosti na tej ploskvi precej pod poprečjem. Nasproten primer ugotavljamo na ploskvi 6 (Krekovše), ki kaže izredno veliko variabilnost dinamične trdnosti, toda presenetljivo majhne variacijske koeficiente teže in statične trdnosti.

TABELA 7. Variacijski koeficienti drevesnih poprečij (%)

| Raziskovalna ploskev | Prostorninska teža | Tlačna trdnost | Upogibna trdnost | Udarne trdnost |
|----------------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|
| 1 | 3,7 | 5,8 | 4,8 | 6,7 |
| 2 | 4,6 | 6,3 | 5,2 | 18,0 |
| 4 | 4,8 | 5,0 | 5,9 | 18,8 |
| 5 | 7,8 | 8,8 | 8,3 | 15,7 |
| 6 | 3,2 | 5,7 | 4,8 | 27,7 |
| 7 | 4,8 | 5,3 | 5,5 | 17,1 |
| 9 | 9,9 | 11,6 | 11,9 | 11,2 |
| 10 | 6,6 | 6,6 | 9,3 | 25,9 |
| 11 | 3,5 | 5,7 | 4,2 | 9,9 |
| 12 | 5,5 | 7,3 | 8,4 | 18,3 |
| 13 | 7,6 | 11,3 | 11,9 | 25,9 |
| 14 | 3,3 | 6,5 | 6,7 | 17,1 |
| 15 | 6,2 | 6,1 | 6,8 | 20,2 |
| 16 | 9,2 | 8,4 | 8,5 | 14,8 |

Čeprav so variacijski koeficienti močno različni, vendar upravičeno postavljamo vprašanje verodostojnosti teh razlik. Osnova za izračun kvadratnih odklonov je namreč na vsaki ploskvi le 5 modelnih dreves in so zato možne velike razlike. Primerjava variabilnosti na posameznih ploskvah je izvedena s pomočjo Bartlettovega testa homogenosti variance. V nadaljevanju je prikazan primer za prostorninsko težo.

| | |
|---|--------------------------|
| Število raziskovalnih ploskev | N = 14 |
| Število dreves na ploskvi | k = 5 |
| $S s^2 = 26422$ | $S \log s^2 = 44,100344$ |
| $s^2 = \frac{26422}{14} = 1887$ | $\log s^2 = 3,275772$ |
| $\chi^2 = 2,3026 (k - 1) (N \cdot \log s^2 - S \log s^2)$ | |
| $= 2,3026 (5 - 1) (14 \cdot 3,275772 - 44,100344)$ | |
| $= 16,21$ | |

Analogno izračunane vrednosti χ^2 za druge lastnosti so prikazane v naslednji razpredelnici:

| Lastnost: | χ^2 |
|--------------------|----------|
| prostorninska teža | 16,12 |
| tlačna trdnost | 9,76 |
| upogibna trdnost | 12,57 |
| udarna trdnost | 18,87 |

Iz tabele dobimo za stopnjo prostosti $n = 14 - 1 = 13$

pri statistični zanesljivosti $S = 90\% \dots \chi^2 = 19,81$,

pri statistični zanesljivosti $S = 30\% \dots \chi^2 = 9,93$.

Po primerjavi izračunanih in tabelarnih vrednosti vidimo, da Bartlettov test ne potrjuje domneve, da je variabilnost na posameznih ploskvah različna. Verodostojnost je manj kot 90-odstotna, za tlačno trdnost pa celo manj kot 30-odstotna.

To pa še ni dokaz, da je variabilnosti homogena. Nasprotno, z ozirom na različno strukturo posameznih rastišč je celo zelo verjetno, da je tudi variabilnost različna in da razpoložljivi material ne zadostuje za potrditev verodostojnosti.

Nadalje ugotavljamo, da so variacijski koeficienti drevesnih poprečij na posameznih ploskvah večji od variacijskih koeficientov ploskovnih poprečij. To se pravi, da so razlike med drevesi na ploskvi v mnogih primerih večje od razlik med ploskvami. Jasnejšo sliko dobimo s primerjavo varianc med drevesi in med ploskvami. Ob upoštevanju rezultatov prej opravljenega testa smemo za varianco med drevesi na ploskvah uporabiti že izračunano poprečje s^2 . Varianco med ploskvami pa dobimo tako, da od variance ploskovnih poprečij odštejemo delež variance znotraj ploskev. Tako izračunane vrednosti so:

| Lastnost: | med ploskvami s_1^2 | med drevesi s_2^2 | $\frac{s_1^2}{s_2^2}$ |
|--------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| prostorninska teža | 280 | 1887 | 0,15 |
| tlačna trdnost | 1542 | 2192 | 0,70 |
| upogibna trdnost | 4801 | 10949 | 0,44 |
| udarna trdnost | 39,7 | 347,1 | 0,12 |



Varianca med ploskvami je v vseh primerih manjša. Njena vrednost je le 12 do 70 odstotkov variance med drevesi. Na osnovi navedenega je upravičena domneva, da je kakovost jesenovine v večji meri odvisna od individualnih pogojev rasti posameznih dreves kot od geološke podlage in makroklimne rastišča.

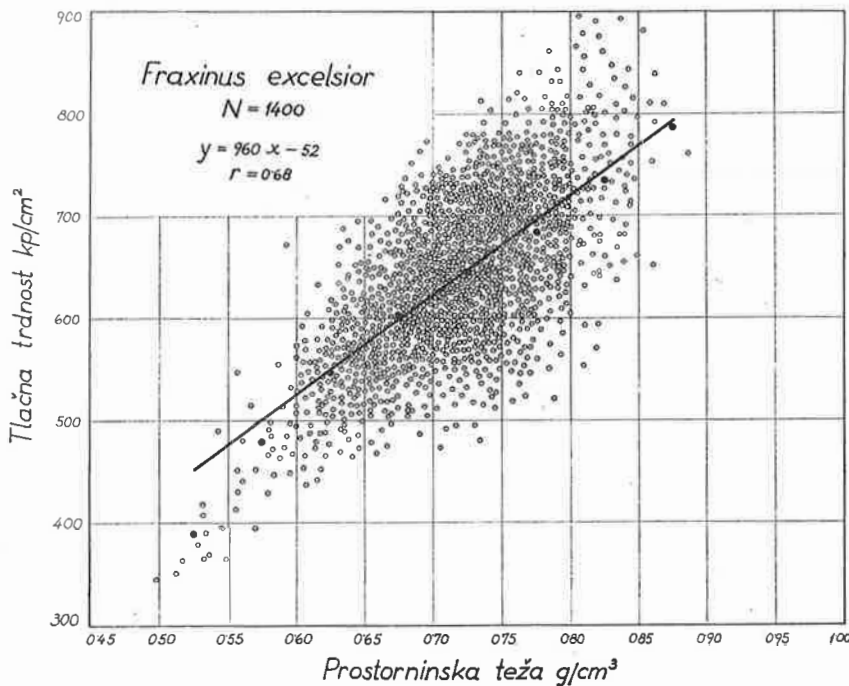
3.3 Odnos med težo in trdnostjo lesa

Za oceno kvalitete lesa v statičnem pogledu in za primerjavo lesa z drugimi gradbenimi materiali je predvsem pomemben odnos med težo in trdnostjo lesa. Ta odnos izražamo s tako imenovanim kvalitetnim številom. Kvalitetno število za tlak je odnos med tlačno trdnostjo in 100-kratno prostorninsko težo:

$$\text{kvalitetno število (tlak)} = \frac{\sigma_t}{100 \cdot t}$$

Navedena vrednost pomeni zrušilno dolžino, to je višino lesene prizme, izraženo v km, ki je ravno na meji, ko se zruši zaradi lastne teže.

Kvalitetno število je v še večji meri odvisno od vlažnosti lesa kot trdnost sama. Vlaga zmanjšuje trdnost in obenem povečuje težo lesa, s tem pa zmanjšuje števec in povečuje imenovalac kvocienta, s katerim je kvalitetno število definirano. Samo po sebi je umevno, da morata biti obe izhodiščni vrednosti, to je tlačna trdnost in teža lesa, ugotovljeni na lesu enake stopnje vlažnosti. Kako velik je



Slika 7. Odnos med težo lesa in tlačno trdnostjo

vpliv vlage na kvalitetno število, kažejo podatki po K o l l m a n n u (1941) za jesenovino z različno vlažnostjo:

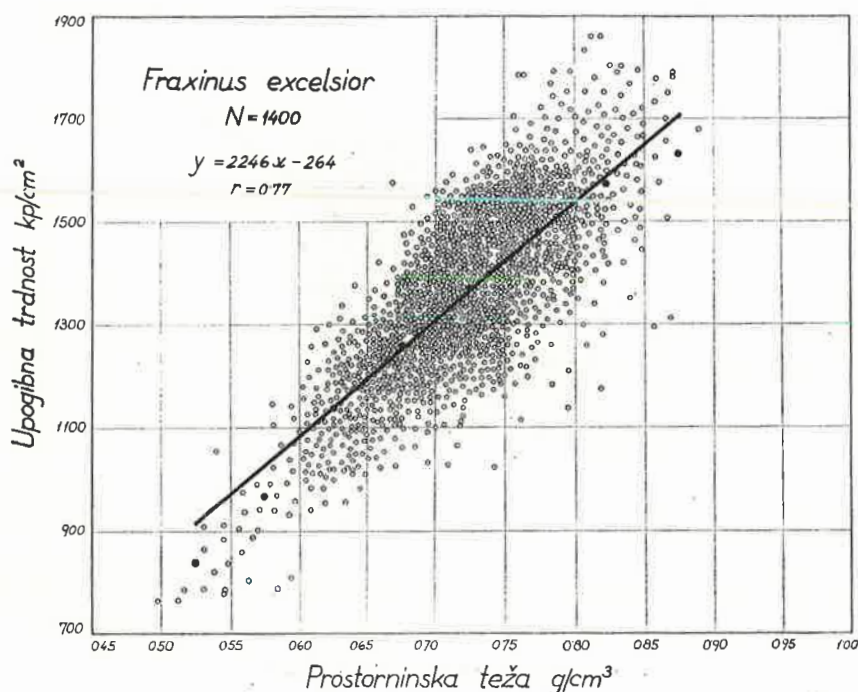
| | |
|------------------------|--------------------------|
| za popolnoma suh les | 8,70 ... 15,40 ... 18,72 |
| za les z 11—12 % vlage | 5,40 ... 8,92 ... 13,40 |

Iz navedenih podatkov je razvidna tudi variabilnost kvalitetnega števila, ki tudi pri istovrstnem lesu in enaki stopnji vlage ni konstantna vrednost, temveč variira v širokem intervalu. Z drugimi besedami se to pravi, da ima les iste drevesne vrste tudi pri enaki teži in enaki stopnji vlage zelo različno tlačno trdnost. Vzrok temu so predvsem razlike v mikrostrukturi in kemizmu celične stene, v raznih nepravilnostih v lesu ter v odklonu vzdolžne osi lesnih vlaken od smeri obremenitve.

Analogno prejšnjemu je kvalitetno število upogiba enako kvocientu upogibne trdnosti in 100-kratne prostorninske teže lesa.

Odnos med težo in trdnostjo je tudi pri dinamičnih obremenitvah odločilen za oceno kvalitete lesa. Relativno odpornost lesa proti udarcem izraža M o n i n (1919) s tako imenovanim dinamičnim kvalitetnim številom, ki ga definira kot kvocient udarne upogibne trdnosti in kvadrata prostorninske teže lesa:

$$\text{dinamično kvalitetno število} = \frac{a}{t^2}$$



Slika 8. Odnos med težo lesa in upogibno trdnostjo

Vse, kar je prej navedeno o vplivu vlage na statično kvalitno število, velja v še večji meri tudi v tem primeru.

Odnos med težo in trdnostjo preiskave jesenovine je v prvo prikazan s statičnimi in dinamičnimi kvalitnimi števili v tabeli 8. Razponi med ekstremnimi vrednostmi so še vedno znatni, čeprav precej manjši kot pri ustreznih trdnosti. To pomeni, da je trdnost lesa le v določeni meri funkcija teže in da je močno odvisna tudi od drugih faktorjev.

TABELA 8. Kvalitetna števila

| Raziskovalna ploskev | Trak | Upogib | Udarec |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| | $\frac{\sigma_t}{100 \cdot t_{12}}$ | $\frac{\sigma_u}{100 \cdot t_{12}}$ | $\frac{a}{t_{12}^2}$ |
| 1 Boč | 8,6 7,0 . . . 11,0 | 18,6 14,4 . . . 20,7 | 1,86 1,26 . . . 2,74 |
| 2 Negova | 8,4 6,7 . . . 10,3 | 18,2 14,1 . . . 21,5 | 1,76 1,19 . . . 3,30 |
| 4 Bistr. jarek | 7,9 6,7 . . . 9,7 | 17,2 15,1 . . . 19,5 | 1,68 1,16 . . . 2,81 |
| 5 Kamn. Bistrica | 8,4 6,7 . . . 10,0 | 17,7 14,4 . . . 20,5 | 1,75 0,75 . . . 2,84 |
| 6 Krekovše | 8,6 6,9 . . . 11,6 | 18,8 13,5 . . . 23,6 | 2,15 1,25 . . . 3,98 |
| 7 Pod Lobnikom | 9,1 7,9 . . . 10,1 | 19,4 15,3 . . . 21,8 | 1,92 1,16 . . . 2,51 |
| 9 Kolovec I | 9,1 7,9 . . . 10,2 | 19,1 15,9 . . . 21,9 | 1,76 1,14 . . . 2,32 |
| 10 Kolovec II | 8,3 7,2 . . . 9,4 | 18,1 15,4 . . . 20,4 | 1,76 1,02 . . . 2,89 |
| 11 Hrastovec | 9,2 7,5 . . . 11,0 | 19,3 15,9 . . . 22,6 | 1,88 1,15 . . . 2,71 |
| 12 Lobnica | 9,1 7,7 . . . 11,0 | 19,3 16,5 . . . 22,0 | 1,92 1,28 . . . 2,81 |
| 13 Šardinje | 9,3 7,7 . . . 10,6 | 19,5 13,9 . . . 22,9 | 1,86 0,77 . . . 2,96 |
| 14 Jurklošter | 9,2 7,3 . . . 10,5 | 19,0 15,6 . . . 21,3 | 1,71 1,05 . . . 2,50 |
| 15 Češnjica | 9,7 8,0 . . . 10,8 | 19,8 17,8 . . . 21,7 | 1,88 1,10 . . . 3,25 |
| 16 Peračica | 9,1 7,7 . . . 10,6 | 18,9 14,7 . . . 21,9 | 1,87 0,99 . . . 3,39 |
| Sumarno | 8,9 6,7 . . . 11,6 | 18,8 13,5 . . . 23,6 | 1,84 0,75 . . . 3,98 |

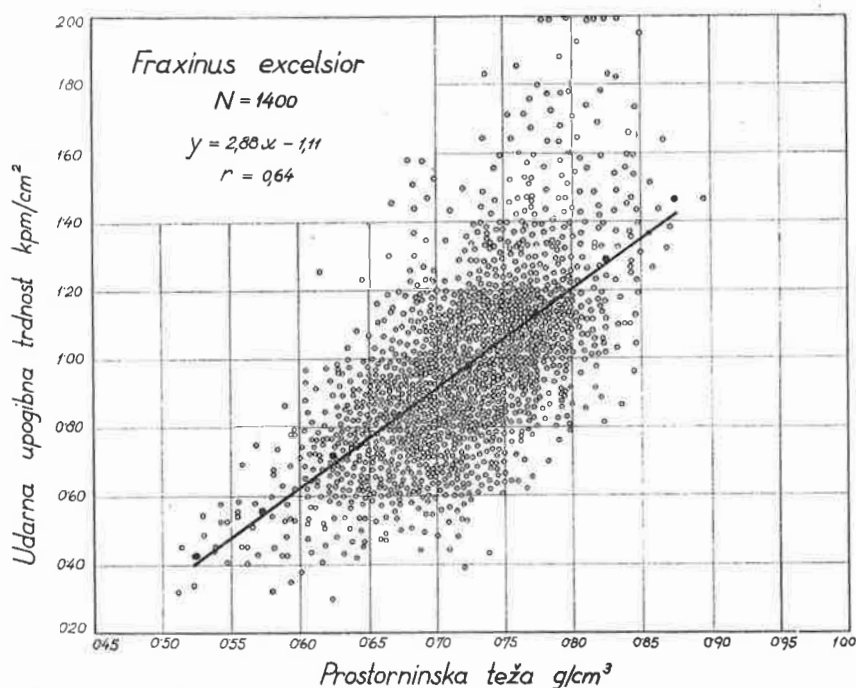
Razlike med rastišči niso velike. Najmanjše poprečno kvalitno število za tlak je 7,9, največje pa 9,7. Tudi dinamična kvalitna števila posameznih ploskev ne kažejo večjih razlik: najmanjše poprečje je 1,68, največje pa 2,15. Najmanjša kvalitna števila v vseh pogledih pripadajo jesenovini v Bistriškem jarku, za katero smo že ugotovili, da je razmeroma težka, toda slabo odporna proti statičnim in dinamičnim obremenitvam. Najkvalitetnejši les v pogledu statične trdnosti je

pokazala jesenovina na ploskvi v Češnjici s kvalitnimi števili za tlak 9,7 in za upogib 19,8. Največjo odpornost proti udarnim obremenitvam pa ugotavljamo na raziskovalni ploskvi v Krekovšah z dinamičnim kvalitnim številom 2,15.

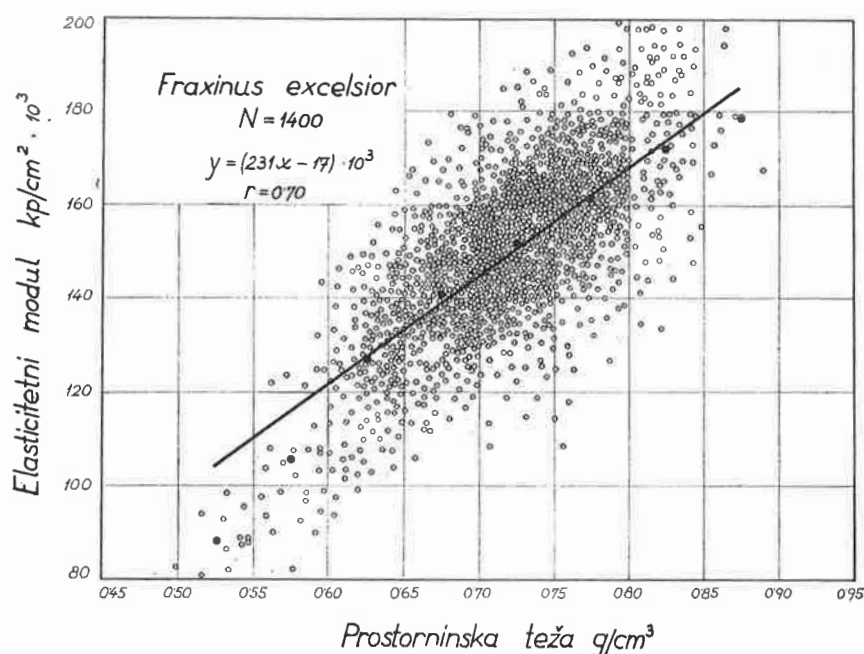
M o n i n (1932) je prvi opozoril na dejstvo, da ima les listavcev manjša kvalitna števila kot les iglavcev. Vzrok temu je verjetno nižja stopnja lignifikacije lesa listavcev. Imenovani je postavil tudi kriterije za kategorizacijo lesa na osnovi kvalitnih števil. Les s kvalitnim številom za tlak, manjšim od 6, se uvršča v razred slabe kakovosti, z vrednostjo 6—7 v razred srednje ter z vrednostjo nad 7 v razred dobre kakovosti.

V okviru tega raziskovanja so kvalitna števila ugotovljena na lesu z vlažnostjo 12 % in zato niso neposredno primerna za kategorizacijo po gornjem kriteriju, ki temelji na vlažnosti 15 %. Z računsko transformacijo eksperimentalno ugotovljene vrednosti 8,92 na osnovo 15 % dobimo poprečno kvalitno število za tlak 7,5, s čimer se preiskana jesenovina uvršča v razred dobre kakovosti.

Analogno ocenjuje M o n i n žilavost lesa z dinamičnim kvalitnim številom, pri čemer postavlja za razred dobre kakovosti vrednosti od 1 do 2. V našem primeru, so vsi vzorci, razen nekaj izjem, pokazali vrednosti nad 1, v poprečju pa 1,84 ter gornjo skrajnost 3,98. Na osnovi navedenega smemo jesenovino v Sloveniji, v pogledu odpornosti proti dinamičnim obremenitvam, uvrstiti v razred zelo dobre kakovosti.



Slika 9. Odnos med težo lesa in udarno trdnostjo



Slika 10. Odnos med težo lesa in E-modulom

Odnosi med težo in lastnostmi lesa so prikazani grafično na slikah 7—10. Izenačenje je linearno s pomočjo splošne enačbe za premico. Po obračunu parametrov po metodi najmanjših kvadratov dobimo:

za tlačno trdnost: $y = 960x - 52$;

za upogibno trdnost: $y = 2246x - 264$;

za udarno trdnost $y = 2,88x - 1,11$;

za E-modul: $y = (231x - 17) \cdot 10^3$.

Za statično trdnost in za E-modul linearno izenačenje ni povsem zadovoljivo. Vzorci majhne teže leže izpod korelacijske linije. Nasprotno je linearen odnos med težo in dinamično trdnostjo povsem ustrezen za celotno področje prostorninske teže lesa. Odnos med težo in trdnostjo lesa je v glavnem linearen. Le pri lesu z večjimi količinami akcesornih snovi, ki sicer povečujejo težo lesa, ne vplivajo pa na njegovo trdnost, je odnos nelinearen, in to predvsem v območju težkega lesa z večjim odstotkom omenjenih snovi. Glede na to, da vsebuje jesenovina zelo malo akcesornih snovi in da se nelinearnost pojavlja pri lahkem lesu, moramo vzroke zanjo iskati predvsem v strukturi in kemizmu celične membrane.

Grafičen prikaz dobro ilustrira ne samo odnos med težo in trdnostjo, temveč tudi variabilnost lesa. Posebno pozornost zasluži udarna upogibna trdnost, ki je najbolj variabilna in hkrati najpomembnejša lastnost jesenovine. Tudi pri enako težkem lesu so odkloni posameznih primerov zelo veliki. V razmeroma ozkem območju prostorninske teže od 700 do 750 kp/m^3 zasledimo vrednosti udarne trdnosti od 0,40 do 1,82 kp/cm^2 , kar pomeni razmerje 1 : 4,5. Znatno manjše razlike

kaže statična trdnost. V pravkar navedenem intervalu prostorninske teže so skrajne vrednosti tlačne trdnosti 475 in 815 kp/cm² v razmerju 1 : 1,7.

Korelacijski koeficienti navedenih odnosov so izračunani po obrazcu

$$r = a \frac{s_x}{s_y}$$

(a = regresijski koeficient, s_x = deviacija teže, s_y = deviacija trdnosti).

Z vstavljanjem ustreznih vrednosti v gornji obrazec dobimo naslednje korelacijske koeficiente:

| | |
|----------------------------------|----------|
| za odnos teža : tlačna trdnost | r = 0,68 |
| za odnos teža : upogibna trdnost | r = 0,77 |
| za odnos teža : udarna trdnost | r = 0,64 |
| za odnos teža : E-modul | r = 0,70 |

Iz sprememb prostorninske teže jesenovine lahko torej linearno pojasnimo 46 % variance tlačne trdnosti, 59 % variance upogibne trdnosti, 41 % variance udarne trdnosti in 49 % variance E-modula. Preostali del variance je odvisen od drugih okolnosti.

Presenetljivo velik je korelacijski koeficient odnosa teža : udarna trdnost, ki je pri drugih vrstah lesa, predvsem pa pri iglavcih znatno manjši in večinoma izpod vrednosti 0,50 ali celo 0,40.

Na tem mestu si želimo dotakniti tudi vprašanja odnosov med statično in dinamično trdnostjo ter elastičnostnim modulom. Predvsem nas zanima vprašanje, ali je na osnovi statičnih poizkusov možno sklepati tudi o dinamični trdnosti lesa.

Koehler (1933) je izrazil mnenje, da utegne biti maksimalna fleksija pri poizkusu statičnega upogiba merilo dinamične trdnosti lesa. Naši rezultati tega ne potrjujejo. V nadaljevanju prikazano preverjanje sicer ni povsem eksaktno, ker tudi poizkusov statičnega in dinamičnega upogiba ni mogoče izvesti na istem vzorcu. Pač pa so bili vsi vzorci za obe vrsti trdnosti izbrani smiselno iz istega dela debla, tako da med njimi ni pričakovati večjih razlik. V nadaljevanju so prikazane vrednosti za dve skupini po 20 vzorcev z največjo in najmanjšo udarno trdnostjo ter maksimalne fleksije paralelnih vzorcev pri poizkusu statičnega upogiba.

| | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Udarne trdnost kpm/cm ² | 0,40 0,30 ... 0,43 | 1,94 1,68 ... 2,42 |
| Maksimalna fleksija mm | 11,4 9,1 ... 12,8 | 11,7 11,3 ... 13,5 |

Čeprav je razmerje med povprečni udarne trdnosti obeh skupin skoraj 1 : 5, se povprečni fleksije le neznatno razlikujeta. Podobne nejasne odnose kažejo tudi primerjave nadaljnjih skupin. Maksimalna fleksija pri statičnem upogibu torej ne more biti merilo dinamične trdnosti lesa; pač pa je njena vrednost dober pokazatelj elastičnih lastnosti lesa.

Za nadaljnjo primerjavo smo med 70 modeli izbrali 10 dreves z največjo poprečno udarno trdnostjo. V prvi koloni tabele 9 so navedene oznake dreves,

v naslednjih kolonah pa mesta, na katera se ta drevesa uvrščajo po kriterijih teže, trdnosti in elastičnosti.

V nekaterih primerih vidimo dobro soglasje med vsemi obravnavanimi lastnostmi: na primer drevo št. 194 so uvršča po kriterijih udarne trdnosti in teže na tretje mesto, po kriterijih vseh drugih lastnosti pa na prvo mesto. Podobno povezanost ugotavljamo tudi za drevesi 203 in 164. Preostali primeri pa kažejo odklone, posebno še drevo 157, ki je po kriteriju udarne trdnosti uvrščeno na 6. mesto, po teži na 32., po tlačni trdnosti na 41. in po kriteriju E-modula na 58. mesto.

Po proučitvi vseh 70 modelnih dreves lahko rečemo, da na splošno dinamična trdnost raste vzporedno s težo in s statično trdnostjo, vendar kažejo posamezni primeri velike odklone. Tudi povezanost z E-modulom je zelo nezanesljiva. Udarne upogibne trdnosti ni mogoče oceniti na osnovi statičnih poizkusov, temveč je potrebno meriti opravljeno delo neposredno pri dinamičnih obremenitvah.

TABELA 9. Mesta dreves po njihovih lastnostih

| Št. drevesa | Zaporedno mesto dreves po kriteriju | | | | |
|-------------|-------------------------------------|------|-----------------|-------------------|----------|
| | udarne trdnosti | teže | tlačne trdnosti | upogibne trdnosti | E-modula |
| 156 | 1 | 15 | 19 | 11 | 18 |
| 203 | 2 | 1 | 3 | 2 | 5 |
| 194 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 187 | 4 | 16 | 9 | 7 | 31 |
| 178 | 5 | 7 | 48 | 31 | 24 |
| 157 | 6 | 32 | 41 | 18 | 58 |
| 164 | 7 | 5 | 8 | 6 | 8 |
| 161 | 8 | 49 | 34 | 24 | 54 |
| 201 | 9 | 34 | 18 | 20 | 42 |
| 177 | 10 | 6 | 20 | 5 | 6 |

3.4 Vpliv črnjave na mehanske lastnosti jesenovine

Pri odraslih jesenih postane osrednji del debla temnejši in je po barvi podoben pravi črnjavi drugih listavcev, vendar se od nje v mnogih pogledih razlikuje. Prava črnjava se pojavlja redno v določeni dobi, je pravilno oblikovana in se s starostjo drevesa enakomerno širi. Nasprotno se pojavlja črnjava pri jesenu v različnih starostnih dobah in je v deblu nepravilno razporejena. Njena barva je neenakomerna in različna od komaj opaznega rumenkasto rjavega do izrazitega temno rjavega barvnega tona. Tako na prečnem kot na vzdolžnem prerezu debla so očitna področja različnih barvnih odtenkov. Nepravilna oblika in neenakomernost barvnega tona dajeta videz bolezní. V literaturi se jesenovo temno jedro označuje s pojmom neprava črnjava.

Jesenova črnjava se navadno širi od mest, kjer so odpadle veje, ali od travmatskih poškodb po deblu navzdol do podnožja drevesa. Za poljski jesen (Fraxinus angustifolia Wahl.) navaja Benič (1956), da se pričinja proces črnjave največkrat v prsni višini, od koder se širi po deblu navzgor in navzdol. Razpore-

ditev v deblu je povsem nepravilna. Delež črnjave na prečnem prerezu debla variira v širokih mejah od 10 do 90 % celotne površine in se že na kratkih razdaljah močno spreminja. Mejna linija med beljavo in črnjavo ne sledi linijam branik. Podrobno sliko razporeditve črnjave v jesenovih deblih daje B e n i č (1956).

Po T r e n d e l e n b u r g u (1939) se pojavlja jesenova črnjava večinoma v starosti nad 50 let. B o s s h a r d (1955) je mnenja, da je ta doba močno odvisna od rastišča, predvsem od talne vlage. Na vlažnih rastiščih se pojavlja črnjava prej kot na suhih. B e n i č (1956) ugotavlja odvisnost nastajanja črnjave od razvitosti krošnje. Drevesa, katerih krošnje zaostanejo v rasti, prično tvoriti črnjavo že v mladosti, celo v starosti 20 let. Drevesa z dobro razvito krošnjo pa ostanejo dolgo časa brez črnjave.

Jesenova črnjava je ponavadi bolj vlažna od beljave, v nasprotju z večino drugih drevesnih vrst, ki imajo v črnjavi manj vode. Na splošno vsebujejo jesenova debla malo vode, poprečno okrog 50 %. V črnjavi je ta vrednost večja za 15 do 20 % (B o s s h a r d 1955). Tudi B e n i č navaja za poljski jesen, da je v času vegetacije črnjava bolj vlažna kot beljava. Isti avtor ugotavlja tudi, da boniteta rastišča ne vpliva na vodni režim v črnjavi.

Prvi znaki nastajajoče črnjave so mehurjaste tvorbe v vodovodnih ceveh — tile. Le-te se pojavljajo pri jesenu zelo zgodaj. Najdemo jih že v 4. ali 5. braniki, računajoč od oboda proti sredini debla. Na splošno je fiziološka aktivnost pri večasto poroznih drevesnih vrstah omejena na zelo ozek periferni del debla. L a d d e f o g e d (1952) ugotavlja, da poteka v jesenovih deblih celoten vodni transport, ki je pri tej drevesni vrsti zelo velik, le v zunanjih 4 ali 5 branikah. Jesen tvori razmeroma malo til, ki lahko celo povsem izostanejo (S c h n e i d e r 1896).

Več desetletij kasneje se pojavijo v lesu rumenkasto rjave snovi, ki dajejo črnjavi značilen barvni ton. Te snovi imajo obliko drobnih, v polarizirani svetlobi izotropnih zrn, in so prisotne samo v vegetativnih celicah vzdolžnega parenhima in strženovih trakov. Njihova kemična sestava ni povsem poznana, gotovo pa je, da vsebujejo čreslovine, ki dobe po reakciji z osmijevim tetroksidom temen, skoraj črn barvni ton. Ta zrnca nahajamo samo v lumenih, kjer so veči del prislonjena na celične stene, v nobenem primeru pa ne prodre v notranjost celičnih sten. V tem pogledu se jesenova črnjava bistveno razlikuje od prave črnjave drugih listavcev, npr. od kostanja ali hrasta, kjer so podobne snovi inkrustirane v notranjosti celičnih membran.

Mikroskopske preiskave številnih vzorcev črnjave niso pokazale nobenih razlik v strukturi lesa ali deformacij celičnih sten. Tudi v polarizirani svetlobi ni opaziti razlik glede usmeritve micelnih nizov v primerjavi z lesom beljave. V literaturi često zasledimo mnenje, da je nepravna črnjava posledica delovanja gliv, ki prodre v notranjost debla pri travmatskih poškodbah. Glive naj bi sprožile reakcijo živih celic, ki v zaščito proti vsiljivcem izločajo razne snovi, ki obarvajo notranjost debla v značilnem rumeno rjavem barvnem tonu. Mikroskopska opazovanja več 100 vzorcev, obdelanih na razne načine, največkrat pa po Cartwrightovi metodi, v nobenem primeru ne potrjujejo prisotnosti gliv ali kakršnihkoli posledic njihovega delovanja.

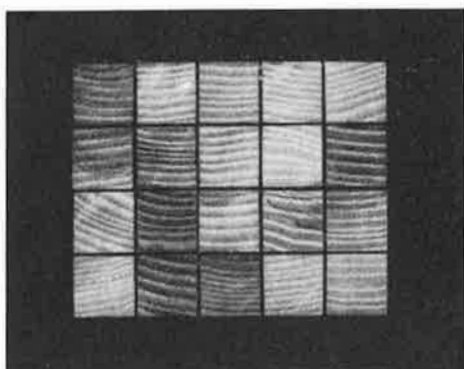
Pogoj za nastanek črnjave sta po B o s s h a r d u (1955) zadostna količina vode, najmanj 55 %, in prisotnost kisika, ki lahko prodre v notranjost debla skozi poškodovana mesta. Drugi pogoj je logičen in ga lahko potrdimo s številnimi primeri izvora črnjave na poškodovanih deblih. Manj razumljiv pa je prvi pogoj,

predvsem še, če primerjamo druge drevesne vrste, ki prično tvoriti črnjavo šele tedaj, ko se vodno stanje v deblu zniža izpod določene vrednosti. Večja količina vode v že nastali črnjavi še ni dokaz, da je ta količina potrebna tudi za sam proces nastajanja črnjave.

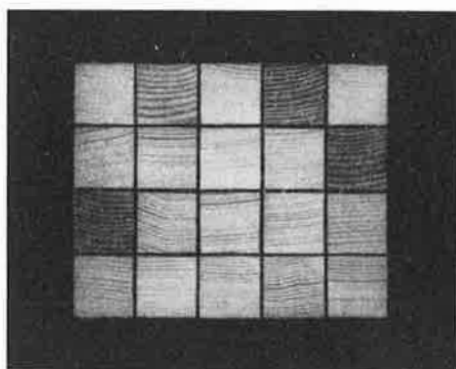
Na osnovi povedanega ni mogoče podati dokazov o patološkem izvoru jesenove črnjave. Nasprotno pa lahko trdimo, da je le-ta posledica fizioloških procesov, ki so odvisni od raznih okolnosti. V primerjavi z drugimi drevesnimi vrstami, npr. s hrastom ali brestom, za katere je značilna obligatorna črnjava, ki se pojavlja in razvije redno po določenih zakonitostih, smemo jesen označiti kot drevesno vrsto s fakultativno črnjavo. Jesenova črnjava je fakultativna v trojnem smislu, v pogledu časa nastanka, ki je lahko zelo različen, v pogledu mesta in razprostranjenosti v deblu ter v pogledu obsega, ki variira v širokem intervalu. Razmeroma velika svoboda obravnavanega procesa nakazuje latentno fiziološko nagnjenost jesena k tvorbi črnjave, ki se pojavi in razvija v času, na mestu in v obsegu, kot narekujejo posebne okoliščine.

V vsakdanji praksi je jesenova črnjava ocenjena kot napaka, ki lahko razvrednoti hlodovino celo za 45 % (Bosshard 1922). Janka (1911) omenja, da imajo mlada jesenova drevesa bolj prožen les kot stara in pri tem izrecno poudarja, da proces negativno vpliva na trdnost in elastičnost lesa. Tudi Huffmanagel (1922) navaja, da je beljava trdnejša in prožnejša, ter označuje jesenovo črnjavo kot povsem neprimerno za proizvodnjo zahtevnih izdelkov. Nasprotno Kollmann (1941) in Kühne (1951) nista ugotovila nobenih razlik med beljavo in črnjavo v pogledu teže, trdnosti in elastičnosti. Tudi kemične analize jesenovine, ki sta jih delala Bamford in Van Rest (1936), ne kažejo razlik med beljavo in črnjavo v osnovnih sestavnih delih lesa, v celulozi, ligninu in spremljevalcih celuloze.

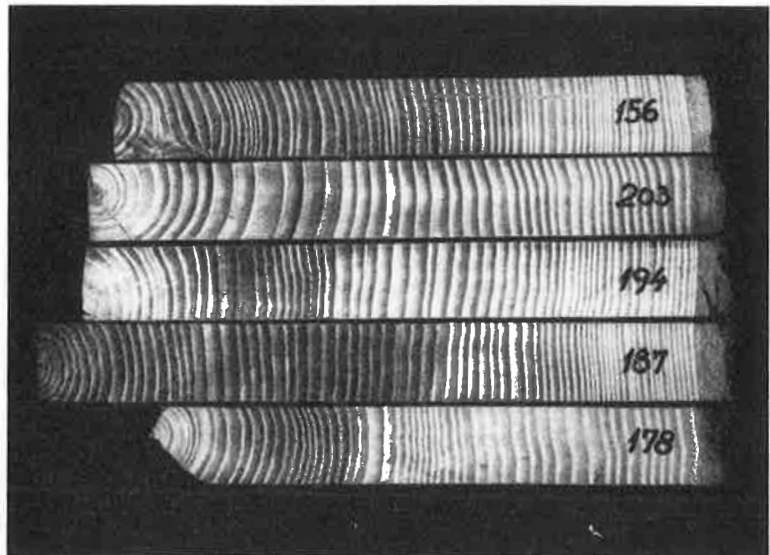
Na osnovi mikroskopskih preiskav, ki ne kažejo nobenih deformacij celičnih sten, temveč le po količini neznatne vložke v lumenih vegetativnih celic, in ob upoštevanju pravkar navedenih kemičnih analiz tudi ni pričakovati razlik v pogledu teže in trdnosti lesa med beljavo in črnjavo. V nadaljevanju je podan dokaz o pravilnosti navedene domneve.



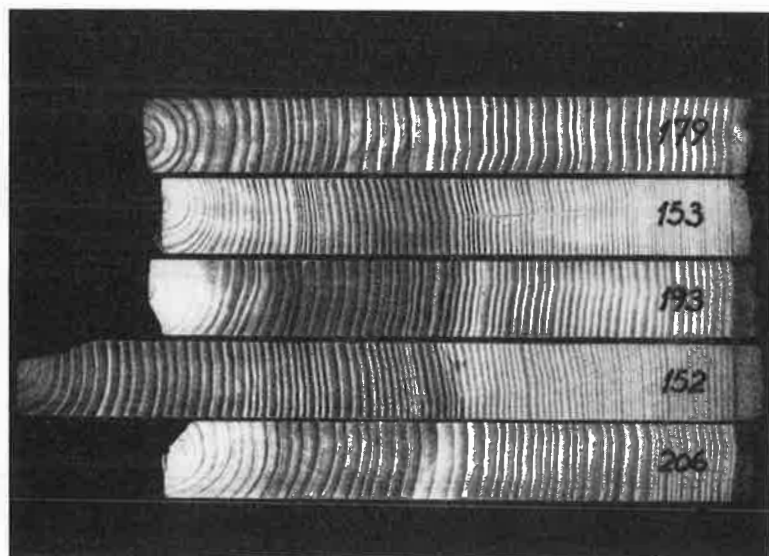
Slika 11. Prečni prerezi vzorcev z največjo udarno trdnostjo



Slika 12. Prečni prerezi vzorcev z najmanjšo udarno trdnostjo



Slika 13. Izrezki iz dreves z največjo poprečno udarno trdnostjo lesa



Slika 14. Izrezki iz dreves z najmanjšo poprečno udarno trdnostjo lesa

Visoko trdnost zasledimo češče v črnjavi kot v beljavi. Pri starejših drevesih so vrednosti v beljavi vedno izpod poprečja. Med 1400 vzorci udarne upogibne trdnosti smo izbrali 2 skupini po 20 vzorcev z največjimi in najmanjšimi vrednostmi (slike 11, 12). Poprečje prve skupine je 1,94 kpm/cm², druge pa 0,40 kpm/cm². V prvi skupini je 7 vzorcev črnjave, v drugi pa le 3. Vseh 7 vzorcev prve skupine je pokazalo izredno veliko trdnost nad 2 kpm/cm². In končno, vzorec št. 156/14, ki je med vsemi pokazal največjo udarno upogibno trdnost 2,42 kpm/cm², pripada črnjavi. V primeru kakršnegakoli negativnega vpliva črnjave je, kljub veliki variabilnosti udarne trdnosti, le prav malo verjetno, da bi med 1400 vzorci največja vrednost pripadla ravno črnjavi.

Od skupnega števila 1400 vzorcev za vsako od obravnavanih lastnosti je 398 vzorcev črnjave in 1002 vzorca beljave. Poprečne vrednosti teže in trdnosti za obe skupini so naslednje:

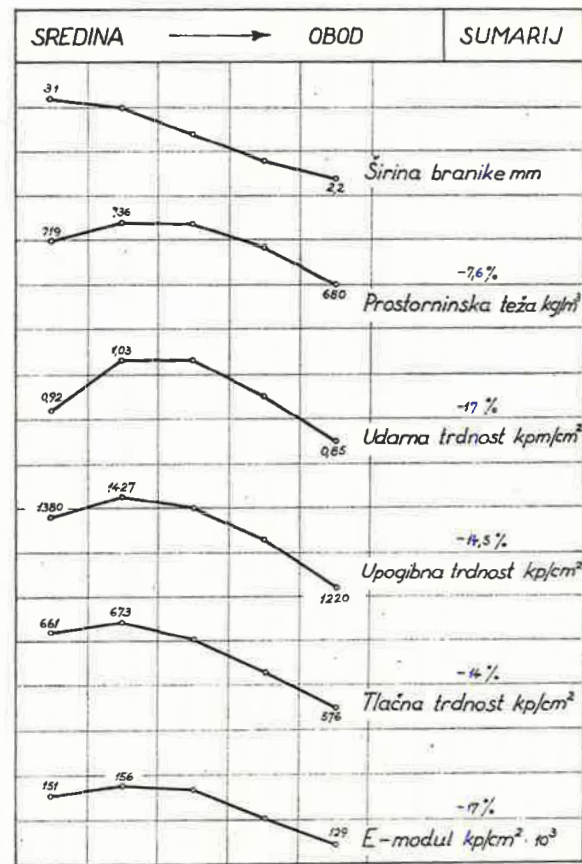
| Lastnost | črnjava | beljava |
|--------------------------------------|---------|---------|
| prostorninska teža kp/m ³ | 727 | 712 |
| tlačna trdnost kp/cm ² | 661 | 626 |
| upogibna trdnost kp/cm ² | 1403 | 1330 |
| udarna trdnost kpm/cm ² | 0,98 | 0,95 |
| E-modul kp/cm ² | 148000 | 144000 |

Za vse navedene lastnosti ugotavljamo v črnjavi za 2 do 5 odstotkov večje vrednosti kot v beljavi. Jesenova črnjava je torej težja in trdnejša od beljave. Pri tem pa moramo vedeti, da te razlike niso pogojene s samim procesom črnjave, temveč so le posledica centričnega položaja črnjave. Pri jesenu namreč, kot pri vseh listavcih, upadajo teža in trdnost lesa od sredine debla proti obodu, o čemer bomo podrobno govorili v naslednjem poglavju. Zaradi navedenega trenda, katerega vrednost je odvisna od raznih okolnosti, tudi ni mogoča povsem natančna primerjava beljave s črnjavo. Na tem mestu pa nas predvsem zanima ugotovitev, da je črnjava v pogledu mehanskih lastnosti enakovredna in celo v premoči nad beljavo, kar ima velik pomen za vrednotenje jesenovine kot industrijske surovine.

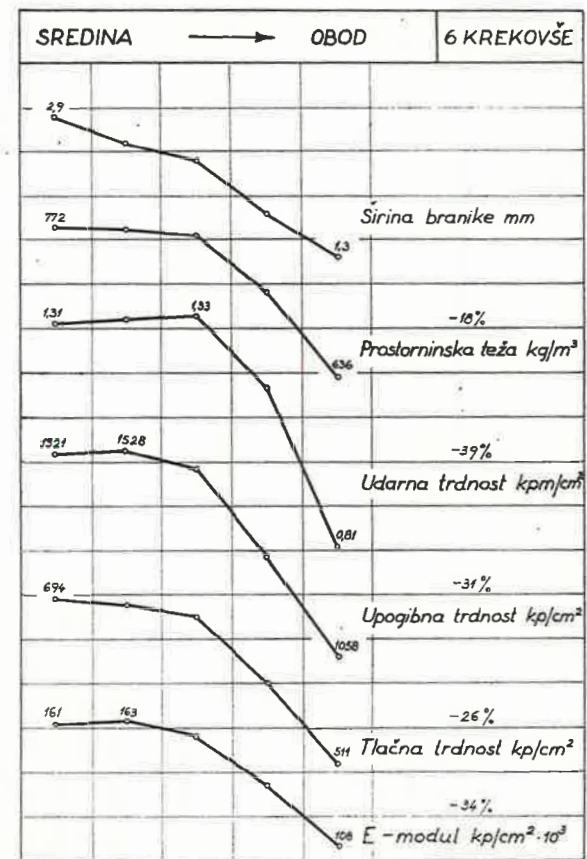
K ü h n e (1954) domneva, da imajo jesenova drevesa z mnogo črnjave verjetno lažji in manj trden les tako v sami črnjavi kot v beljavi. Naša raziskovanja tega ne potrjujejo. Črnjava se pojavlja v različnem obsegu in je različno intenzivna tako v drevesih z dobrimi kot v drevesih s slabimi mehanskimi lastnostmi. Na slikah 13 in 14 so prikazani odrezki dreves, ki so pokazala največje in najmanjše vrednosti udarne upogibne trdnosti. Vsa drevesa prve skupine imajo črnjavo, posebno obsežno in intenzivno pa drevesi 156 in 187, ki se po trdnosti uvrščata na prvo oziroma četrto mesto.

3.5 Razporeditev teže in trdnosti v deblu

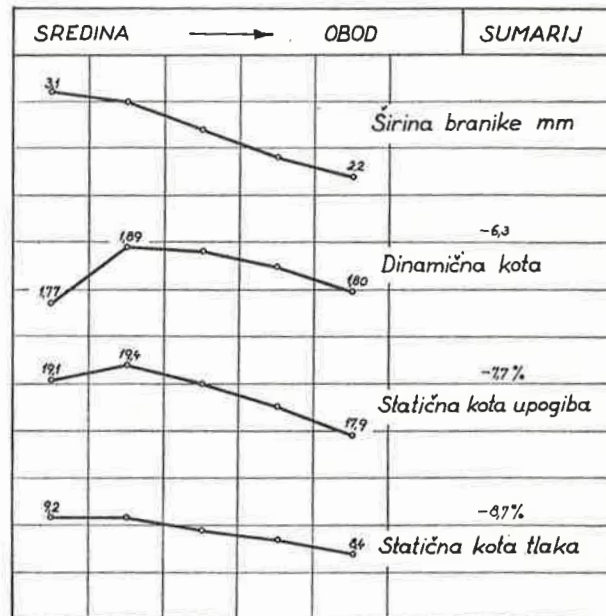
Deblo je sestavljeno iz tankih, koncentričnih slojev, ki so nastajali v teku življenja dreves v različnih okoliščinah. Spodnji osrednji del debla je proizvod mladega drevesa, gornji in periferni deli pa so bili zgrajeni v kasnejši dobi. Pogoji rasti in izgradnje lesa se s starostjo drevesa spreminjajo. Razmerja med kapaciteto



Slika 15. Razporeditev lastnosti lesa v deblu sumarno



Slika 16. Razporeditev lastnosti lesa v deblu. Raz. ploskev Krekovše



Slika 17. Razporeditev lastnosti lesa v deblu — sumarno

krošnje, razvojno stopnjo koreninskega sistema in premerom debla so pri mladem drevesu drugačna kot pri odraslem. Tudi fiziološke naloge v deblu niso enakomerno porazdeljene. Predvsem pa so velike razlike v pogledu mehanskih obremenitev posameznih delov debla.

Rastoče drevo se prilagaja zunanjim okoliščinam in v skladu z nalogami, katere opravljajo posamezni deli, gradi tudi ustrezna tkiva. Kjer prevladujejo fiziološke naloge, nastaja večje število fizioloških celic z velikimi lumeni in s tankimi stenami, s čimer postaja les lažji in manj trden. Nasprotno imajo mehanske naloge za posledico večji delež trdnostnih tkiv z močno razvitimi celičnimi stenami, s tem pa tudi težji in trdnejši les. Kako velik je lahko vpliv mehanskih obremenitev, pričajo tako imenovana reakcijska tkiva, ki se pojavljajo na posebno močno obremenjenih mestih in se po svoji osnovni zgradbi in po lastnostih bistveno razlikujejo od normalnega lesa.

S starostjo drevesa se spreminja dolžina lesnih vlaken, na kar je opozoril že S a n i o (1873). Pri jesenovini ugotavlja B o s s h a r d (1951) večanje dolžine vlaken od sredine debla navzven približno do 30. branike, kjer je njena vrednost največja. Od tod naprej proti obodu pa so vlakna vse krajša. Tudi znotraj iste branike so razlike velike. V poznem lesu so vlakna do 75 % daljša kot v ranem. Glede na to, da je dolžina vlaken pomemben faktor trdnosti, smemo vzporedno z razvojem dolžine pričakovati tudi spremembe trdnosti lesa.

Vpliv starosti se kaže tudi v kemizmu lesa. B a m f o r d in V a n R e s t (1936) sta ugotovila, da se pri jesenu v smeri od sredine debla proti obodu zmanjšuje delež celuloze in hkrati večja delež lignina.

Znotraj debla lahko zasledimo nihanje teže in trdnosti lesa v vzdolžni in prečni smeri. Ta nihanja, ki so sicer na splošno zakonita za posamezne drevesne



Slika 18. Razporeditev lastnosti lesa v deblu. Raz. ploskev Krekovšče

skupine, so v veliki meri odvisna tudi od zunanjih okoliščin, predvsem od položaja drevesa v sestoji in od intenzivnosti priraščanja.

Spremembe teže in trdnosti lesa v posameznih delih debla so tesno povezane s širino branike, o čemer bomo podrobneje razpravljali v naslednjem poglavju. V sklenjenih sestojih raste širina branike od panja proti vrhu, pri osamljenih drevesih pa je trend lahko obraten. Tudi v horizontalni smeri je razvoj branik lahko različen. Na splošno širina branike upada s starostjo drevesa, to je od sredine debla proti obodu, vendar najdemo v posebnih okoliščinah tudi nasprotno primere.

Že ob upoštevanju raznoličnosti nihanja širine branike, ki je le eden izmed številnih faktorjev, ki narekujejo zgradbo lesa, smemo tudi pri isti drevesni vrsti pričakovati različno razporeditev teže in trdnosti v deblu. Specifičnost določenega botaničnega speciesa se kaže šele v poprečju večjega števila primerov. Na splošno so zadevne zakonitosti pri iglavcih bolj jasne kot pri listavcih.

Schneider (1896) omenja, da ima jesen v gornjem delu debla navadno težji les kot v spodnjem. Tudi Clarke, Chaplin in Armstrong (1934) ugotavljajo porast tlačne trdnosti od panja navzgor. Manj določen je rezultat Kollmannovih (1941) raziskav, ki poleg večanja teže in trdnosti z višino drevesa kažejo tudi obratne primere. Avtor poudarja, da je les v spodnjem delu debla večinoma zelo trden in žilav, kar pa ne pomeni, da je v gornjem delu debla krhek. Pač pa ugotavlja presenetljivo majhno trdnost lesa v spodnjem delu jesenovih dreves na poplavnih področjih. Pri mladih jesenih upada teža od panja proti vrhu, medtem ko v kasneje nastalih slojih v isti smeri raste (Schwenke 1956).

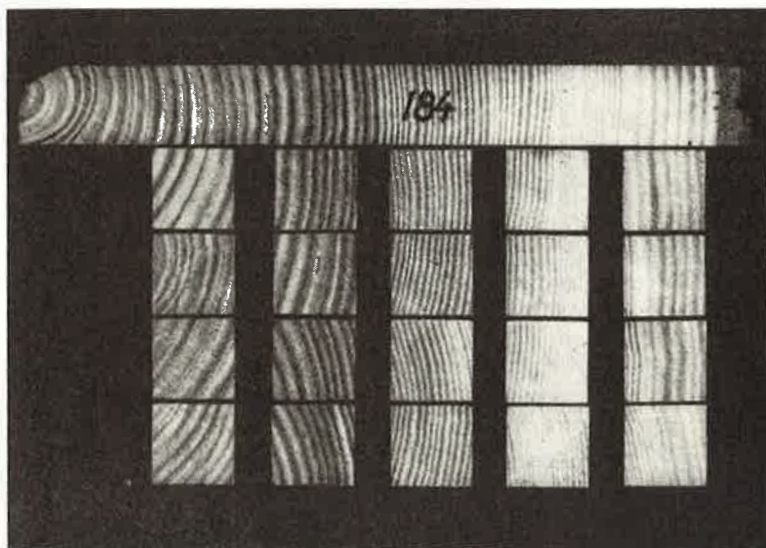
V naslednji razpredelnici so prikazane poprečne teže lesa v spodnjem, srednjem in gornjem delu debla za 5 preiskanih jesenov, starih 80 let.

| Del debla | Prostorninska teža kp/m^3 | | | | |
|-----------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| gornji | 741 | 753 | 706 | 677 | 684 |
| srednji | 731 | 729 | 684 | 696 | 691 |
| spodnji | 758 | 705 | 715 | 708 | 724 |

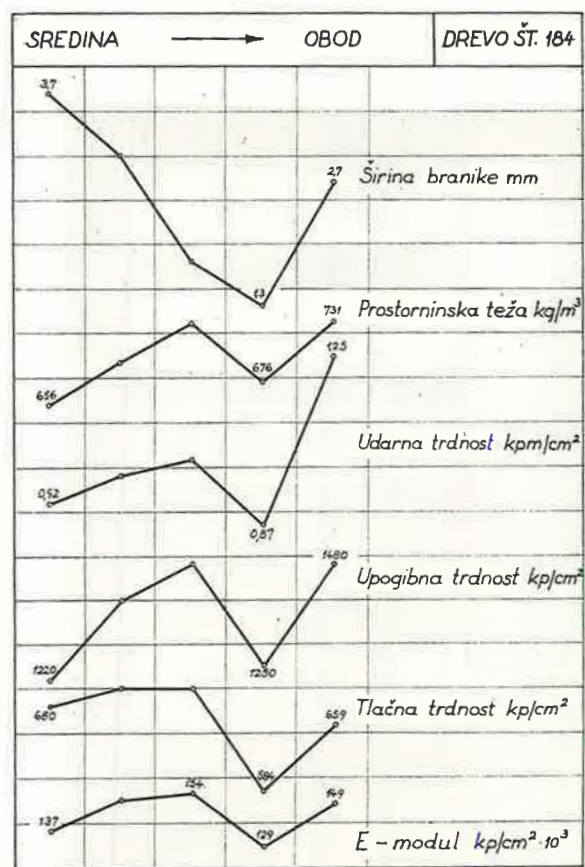
Posamezna drevesa kažejo različno razporeditev. V deblu št. 2 raste teža precej enakomerno od panja navzgor do konca tehnične dolžine, to je do višine 17,5 m. Pri vseh drugih drevesih teža lesa v spodnjem delu debla upada z višino, nato pa proti vrhu zopet raste, razen pri drevesu št. 4, kjer še nadalje upada. Ugotovljene razlike med spodnjimi in gornjimi deli debla niso velike in ne presežejo vrednosti 6 %.

Večja in pomembnejša so nihanja v horizontalni smeri. Na sliki 15 je prikazana porazdelitev teže in trdnosti lesa v smeri od sredine debla proti obodu v sredini tehnične dolžine debla. Grafikon je izdelan na osnovi sumarnih podatkov za vseh 70 preiskanih modelnih dreves. Širina branike enakomerno upada od povprečne vrednosti 3,1 mm v sredini do 2,2 mm v perifernih delih debla. Vse druge lastnosti, teža, trdnost, E-modul, pa v začetku rastejo do določene maksimalne vrednosti, nato pa upadajo vse do periferije debla. Porazdelitev je za vse preiskane lastnosti zelo podobna. Vrednosti upadanja so znatne. V odnosu na predhodni maksimum se zmanjšujejo prostorninska teža za 7,6 %, trdnost in E-modul pa za 14 do 17 %.

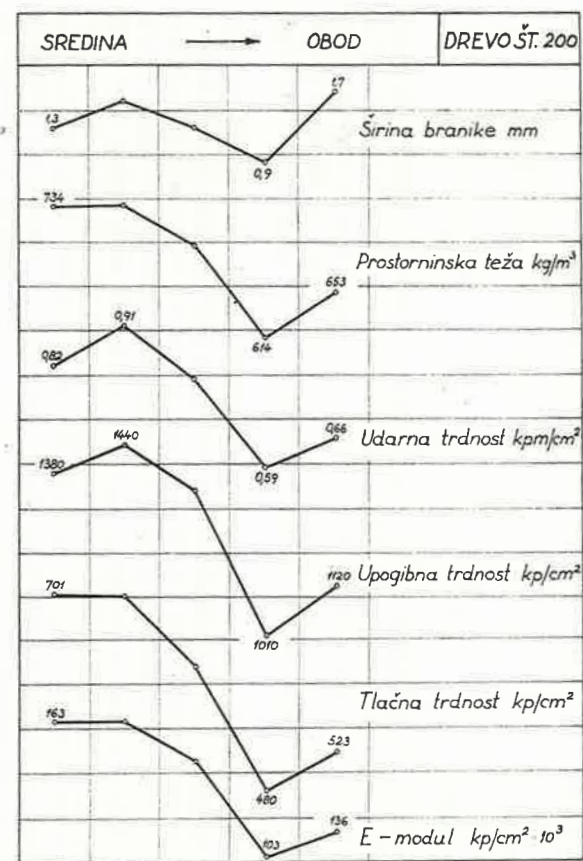
Maksimalne vrednosti se največkrat pojavljajo v delih debla, ki so bili zgrajeni v starosti 30 do 40 let. Vendar ta doba ni konstantna in je odvisna predvsem



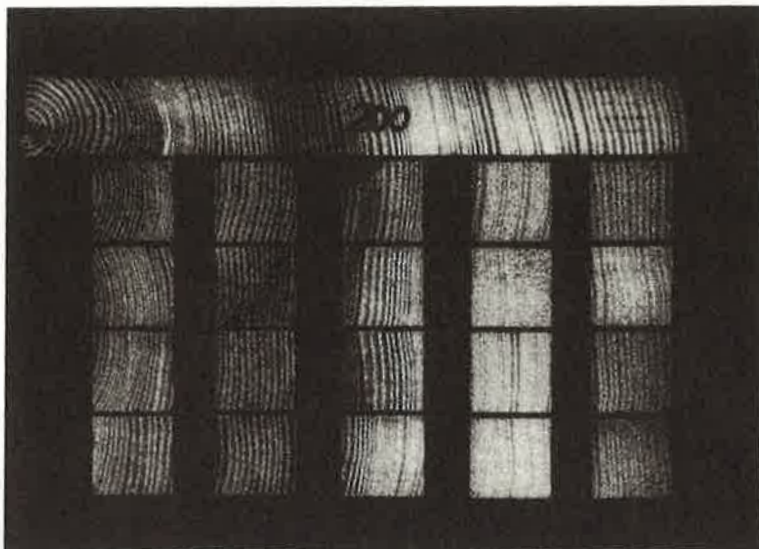
Slika 19. Izrezek iz drevesa št. 184 ter prečni prerezi vzorcev iz tega drevesa v smereh S—J—V—Z



Slika 20. Razporeditev lastnosti lesa v deblu. Drevo št. 184



Slika 22. Razporeditev lastnosti lesa v deblu. Drevo št. 200



Slika 21. Izrezek iz drevesa št. 200 ter prečni prerezi vzorcev iz tega drevesa v smereh S—J—V—Z

od intenzivnosti priraščanja. Pri drevesih slabe rasti nastopa kulminacija še prej, tudi že v starosti 20 let, medtem ko v več primerih z močnim priraščanjem ugotavljamo večanje teže in trdnosti lesa tudi še v kasnejši dobi.

Razlike v teži in trdnosti lesa med osrednjimi in perifernimi deli debla so s starostjo drevesa vse večje, posebno še v primerih zaostajanja v rasti v kasnejši dobi. Na sliki 16 je prikazana porazdelitev lastnosti lesa za 100 let stara drevesa na raziskovalni ploskvi Krekovše. V perifernih delih ugotavljamo zelo slab prirastek s poprečno širino branik 1,3 mm in ustrezno temu tudi močno znižanje tehničnih lastnosti lesa, in sicer prostorninske teže za 18 % ter trdnosti in E-modula za 26 do 39 %.

Navedeni grafikoni kažejo tudi, da upada trdnost lesa hitreje kot njegova teža. To se pravi, da se v smeri od sredine debla proti obodu, oziroma s starostjo drevesa, spreminja tudi razmerje med težo in trdnostjo lesa, s tem pa tudi kvaliteta števila. Na slikah 17 in 18 so prikazana nihanja kvalitetnih števil v deblu. Na splošno je ugotovljeni trend zelo podoben prejšnjim primerom. V poprečju razlike niso velike (slika 17), pri čemer je treba upoštevati, da je večina modelnih dreves mlajših od 80 let. Pri 100 let starih drevesih na ploskvah v Krekovšah (slika 18) pa ugotavljamo občutno znižanje kvalitetnih števil za 13 do 18 %. S starostjo drevesa se od 30. ali 40. leta dalje ne znižuje samo absolutna, temveč tudi relativna trdnost lesa.

Kakovost jesenovine je funkcija starosti in vseh okolnosti, ki vplivajo na rast. Tudi pri drevesih z enakomernim razvojem branik ugotavljamo upadanje teže in trdnosti lesa od določene starostne dobe dalje. To upadanje pa se pričinja prej in je toliko bolj intenzivno, kolikor slabši so pogoji rasti. Nasprotno temu ugotav-

ljamo ob intenzivnem povečanju prirastka tudi povečanje teže in trdnosti lesa celo v pozni starosti. V nadaljevanju sta prikazana dva takšna primera.

Na slikah 19 in 21 vidimo odrezke dveh dreves ter pripadajoče vzorce, razporejene po njihovem položaju v deblu. Drevo 184, staro 86 let, kaže postopno zniževanje širine branike od sredine debla navzven do vrednosti 1,3 mm v sedmem in v prvi polovici osmega decenija. Po močnem prereditvenju sestaja v 76. letu starosti se je prirastek močno povečal na 3 do 4 mm. Razporeditev lastnosti v deblu tega drevesa (slika 20) je v začetku podobna prejšnjim primerom. Teža in trdnost lesa rastejo od sredine debla navzven, dosežejo kulminacijo in nato upadajo. V perifernem delu debla, s širokimi branikami, pa se njihove vrednosti močno povečajo. Posebno velik je porast udarne upogibne trdnosti, ki se povzpne od $0,87 \text{ kpm/cm}^2$ na $1,25 \text{ kpm/cm}^2$, to je za celih 44 %.

Podobno sliko kaže tudi drevo št. 200, ki je staro 150 let (slike 21, 22). Tudi tu ugotavljamo v perifernem delu debla, vzporedno s povečanjem širine branike, porast teže in trdnosti lesa. Vendar je to povečanje razmeroma majhno. Čeprav je drevo v poslednjih 15 letih doseglo večji prirastek kot v prejšnjih obdobjih, je v tem času nastali les občutno manj trden kot les iz osrednjega dela debla, ki je bil zgrajen v mladosti.

Jesen kot svetlobno drevo na splošno močno reagira na prereditvenje. Vzporedno s povečanjem prirastka se povečajo tudi teža in mehanske lastnosti lesa. Učinek prereditvenja na kakovost lesa pa je s starostjo drevesa vse manjši.

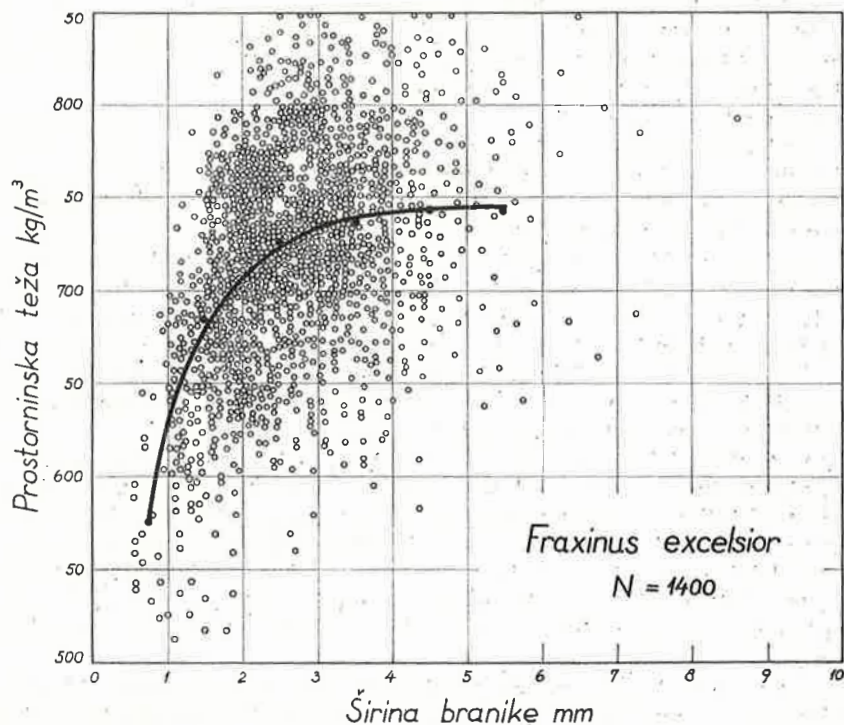
3.6 Odnos med širino branik in lastnostmi lesa

Vpliv intenzivnosti priraščanja na kakovost lesa je bil delno poznan že v starem veku. Širina branike je bila često edino merilo kakovosti lesa. Danes velja v praksi splošno pravilo, da je les iglavcev z ozkimi branikami težak in trden, s širokimi pa lahek in kakovostno slabši. Nasprotno je pri listavcih, kjer obenem s širino branike rastejo tudi teža, trdnost in trdota lesa.

Med vsemi problemi lesne tehnologije je bilo vprašanje odnosa med prirastkom in kakovostjo lesa največkrat obravnavano, vendar je bilo pri tem doseženih le malo zanesljivih sklepov. Prve ekzaktne študije o zadevnem problemu sta podala *C h e w a n d i e r - W e r t h e i m* (1848) in *N ö r d l i n g e r* (1860). Raziskovanja so pokazala, da je odnos med prirastkom in kakovostjo lesa manj jasen in manj izrazit, kot se splošno misli. V številnih delih zasledimo različne in celo nasprotno ugotovitve, ki jih lahko le delno pojasnimo z različno ali nepopolno metodologijo posameznih avtorjev. Na splošno kažejo iglavci več zadevnih zakonitosti kot listavci.

Ko vzporejamo širino branike s kakovostjo lesa, si moramo biti na jasnem, da med njima ne obstoji neposredno funkcionalno razmerje. Širina branik je rezultanta skupnega dejstva mnogih okolnosti, ki delno vplivajo tudi na anatomsko zgradbo in s tem na težo in na trdnost lesa. To so predvsem talne in klimatske razmere, položaj drevesa v sestoji in njegova starost, fiziološke funkcije in mehanske obremenitve posameznih delov debla ter še mnogi drugi znani in neznani dejavniki. Navedene okolnosti, kot tudi njih razmerje, se spreminjajo od rastišča do rastišča, od drevesa do drevesa in so različne celo v raznih delih istega debla.

Vpliv posameznih dejavnikov na širino branike in na zgradbo lesa je različen in predvsem odvisen od prisotnosti drugih, ki niso vedno v aditivnem razmerju.



Slika 23. Odnos med širino branike in težo lesa. Sumarno za 1400 vzorcev

Poleg tega je debelinski prirastek odvisen tudi od okolnosti, ki ne vplivajo na zgradbo in na težo lesa. Prav tako je tudi trdnost lesa delno odvisna od nekaterih dejavnikov, ki nimajo nobene zveze z intenzivnostjo priraščanja.

Na osnovi povedanega tudi ne smemo pričakovati tesnejših odnosov med širino branike in lastnostmi lesa. Odnos vsekakor obstoji in ga lahko na osnovi večjega števila vzorcev tudi registriramo in posplošimo, vendar kažejo posamezni primeri velike odklone.

Branika je sestavljena iz dveh delov, iz ranega in iz poznega lesa. Rani les, zgrajen spomladi, vsebuje veliko število fizioloških celic s širokimi lumeni in tankimi stenami; v kasneje nastalem, poznem lesu pa prevladujejo mehanski elementi z debelimi celičnimi stenami. Pozni les je vedno težji in trdnjši od ranega lesa. Pri iglavcih je pozni les poprečno 2,5-krat težji od ranega lesa. Pri listavcih so razlike manjše. Za jesenovino ugotavljajo razmerje med prostorninskimi težami ranega in poznega lesa: Trendelenburg (1951) 1 : 1,5, Kollmann (1941) 1 : 1,32 ter Benić (1953) 1 : 1,25. Prostorninska teža poznega lesa določene drevesne vrste ni konstantna, temveč variira v večjem ali manjšem intervalu. Za pozni les jesenovine navaja Kollmann (1941) širino variacij od 0,673 do 0,866 g/cm³.

V pogledu trdnosti je prednost poznega lesa še večja. Pozni les ima daljša vlakna (B o s s h a r d 1951) in ustrežnejšo mikrostrukturo celične stene, ki je prilagojena večjim mehničnim obremenitvam. Zato je delež poznega lesa v braniki odločilen faktor teže, trdnosti in elastičnosti lesa.

S spremembo širine branike se spreminja tudi razmerje med ranim in poznim lesom, vendar se posamezne drevesne vrste v tem pogledu različno obnašajo. Pri iglavcih se z večanjem širine branike poveča predvsem delež ranega lesa; pri listavcih pa je pojav večinoma nasproten. Vzporedno s širino branike raste delež poznega lesa. Zato je les listavcev s širokimi branikami težji in trdnejši.

Iz raziskovanj C l a r k a (1935) in K o l l m a n n a (1941) izhaja, da je širina zone poznega lesa pri jesenovini linearno proporcionalna širini branike. To se pravi, da so vse spremembe širine branike pogojene le s spremembami širine poznega lesa, medtem ko ostaja zona ranega lesa v glavnem nespremenjena. Tudi B e n i č (1955) ugotavlja podobne odnose tako za veliki kot za ozkolistni jesen in poudarja, da je širina zone ranega lesa v branikah, širokih nad 1 mm, konstantna in specifična za razne vrste jesena in tudi za posamezna rastišča.

S povečanjem deleža poznega lesa se poveča tudi prostorninska teža jesenovine, vendar ne linearno. Pri majhnem odstotku poznega lesa je porast teže velik, pri večjem odstotku pa vse manjši. Po K o l l m a n n u (1941) je v intervalu 30—50 % poznega lesa odnos med obema vrednostima približno linearen, medtem ko povečanje deleža poznega lesa nad 75 % nima več vidnega vpliva na prostorninsko težo. Iz tega lahko sklepamo, da so pri jesenovini razlike v teži med ranim in poznim lesom z večanjem deleža poznega lesa oziroma z večanjem širine branike vse manjše.

Na osnovi povedanega smemo pričakovati, da se pri jesenovini, tako kot pri večini listavcev, s povečanjem širine branike povečajo tudi prostorninska teža in trdnost lesa. Na slikah 23 do 26 so prikazani odnosi med širino branike in lastnostmi jesenovine celotnega števila preiskanih vzorcev. Odnosi so izenačeni s pomočjo izraza:

$$Y = \frac{x}{a + bx + cx^2}$$

Po izračunu parametrov po metodi najmanjših kvadratov dobimo naslednje enačbe:

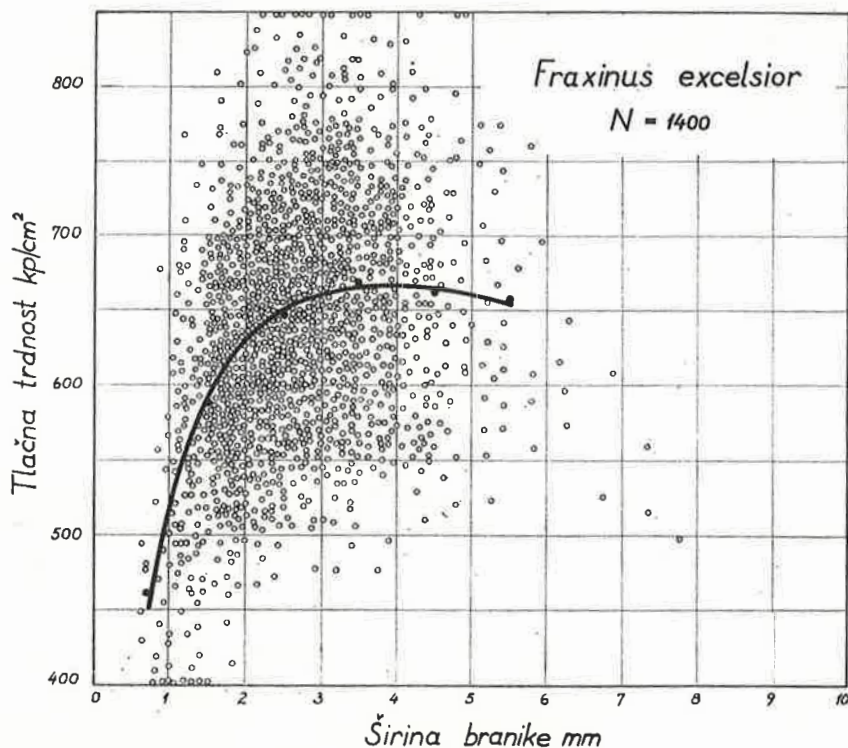
$$\text{za prostorninsko težo} \quad Y = \frac{x \cdot 10^4}{4,01 + 11,80x + 0,17x^2}$$

$$\text{za tlačno trdnost} \quad Y = \frac{x \cdot 10^4}{8,03 + 10,73x + 0,57x^2}$$

$$\text{za upogibno trdnost} \quad Y = \frac{x \cdot 10^4}{3,73 + 5,15x + 0,25x^2}$$

$$\text{za udarno trdnost} \quad Y = \frac{x}{1,228 + 0,237x + 0,110x^2}$$

$$\text{za E-modul} \quad Y = \frac{x \cdot 10^6}{4,482 + 3,749x + 0,388x^2}$$



Slika 24. Odnos med širino branike in tlačno trdnostjo. Sumarno za 1400 vzorcev

Izenačenje s pomočjo navedenega izraza je ustrezno. Korelacijske krivulje se v vseh primerih dobro ujema s srednjimi vrednostmi posameznih širinskih razredov.

Prostorninska teža jesenovine v poprečju raste s širino branike. V intervalu ozkih branik do širine 2 mm je porast velik, pri večjih širinah pa vse manjši. V področju nad 4 mm širokih branik je vpliv intenzivnosti prirastka le še neznat. Posamezni primeri kažejo velike odklone od korelacijske krivulje, posebno še vzorci s srednje širokimi branikami. Ekstremno majhne vrednosti prostorninske teže se pojavljajo v področju ozkih branik, ekstremno velike vrednosti pa v področju srednje širokih branik.

Odnos med širino branike in trdnostjo jesenovine je v začetku do širine 3 mm zelo podoben opisanemu odnosu s prostorninsko težo. Pri večjih širinah branik pa trdnost doseže maksimalno vrednost in nato polagoma upada. Upadanje je razmeroma majhno, tako da je poprečna trdnost lesa s 5 do 6 mm širokimi branikami še vedno večja od splošnega poprečja. Kulminacija trdnosti se v vseh primerih pojavlja v intervalu 3 do 4 mm širokih branik. Navedeno velja v enaki meri za vse obravnavane oblike trdnosti, tako statične kot dinamične in za elastičnostni modul.

Variabilnost trdnosti je tudi pri enako širokih branikah zelo velika. V največji meri velja to za udarno upogibno trdnost, kjer zasledimo v intervalu širine branik 2 do 3 mm skoraj celotni razpon od vrednosti 0,43 do 2,42 kpm/cm².

Stopnja korelacije med širino branike in lastnostmi jesenovine je bila izračunana po obrazcu

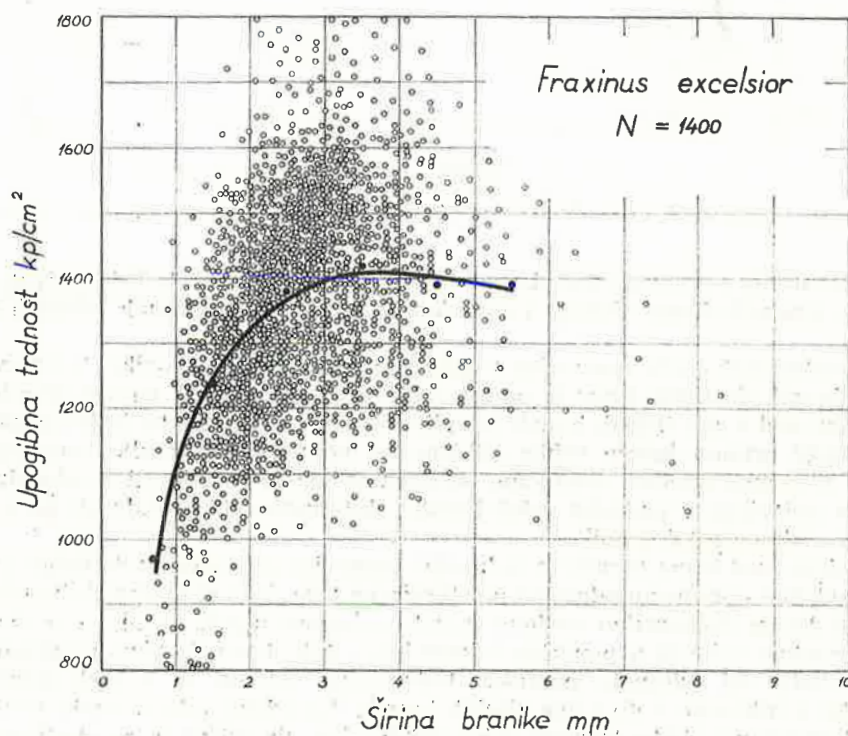
$$r = \sqrt{1 - \frac{S(Y_i - Y)^2}{S(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

(Y_i = dejanske vrednosti trdnosti, Y = teoretične vrednosti, \bar{Y} = srednja vrednost).

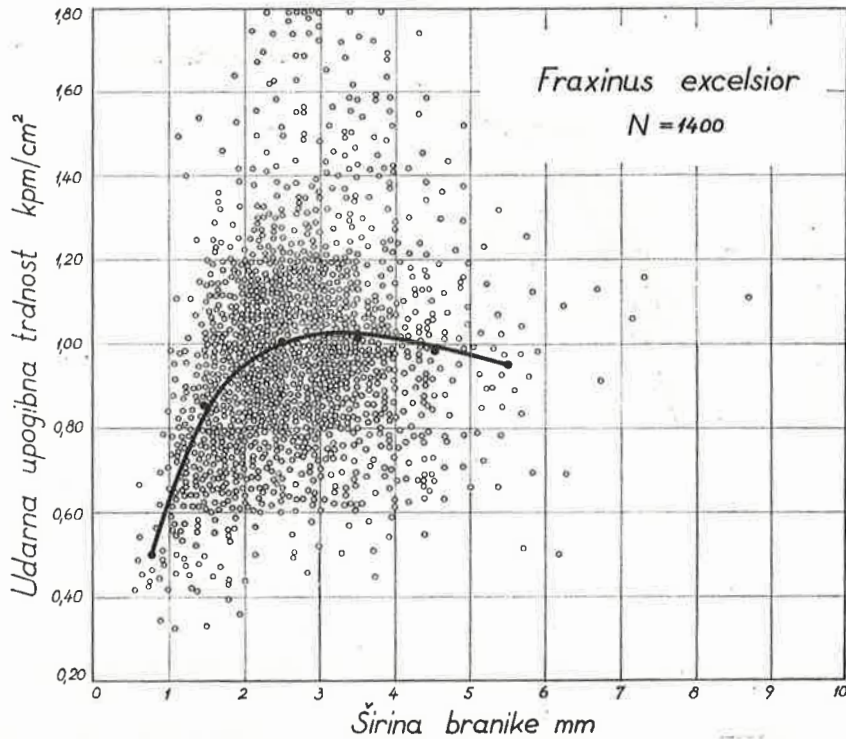
Z vstavljanjem navedenih vrednosti v gornji obrazec dobimo korelacijske indekse za odnose:

| | |
|-------------------------------------|------------|
| širina branike : prostorninska teža | $r = 0,48$ |
| širina branike : tlačna trdnost | $r = 0,44$ |
| širina branike : upogibna trdnost | $r = 0,45$ |
| širina branike : udarna trdnost | $r = 0,32$ |
| širina branike : E-modul | $r = 0,45$ |

Na osnovi izračunanih korelacijskih indeksov ugotavljamo, da je korelacija med širino branike in lastnostmi, jesenovine slaba. Iz sprememb širine branike



Slika 25. Odnos med širino branike in upogibno trdnostjo. Sumarno za 1400 vzorcev



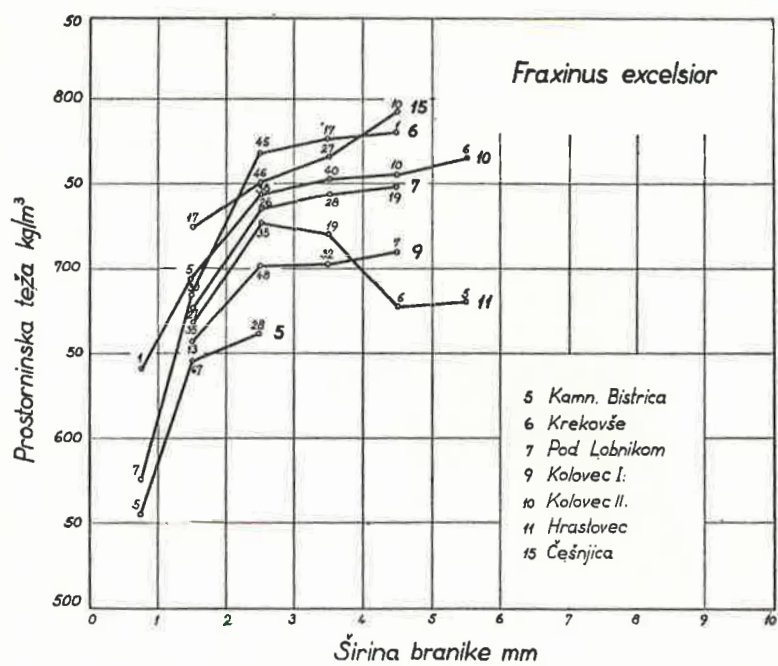
Slika 26. Odnos med širino branike in udarno trdnostjo. Sumarno za 1400 vzorcev

lahko pojasnimo le 23 % variance prostorninske teže, 20 % variance statične trdnosti in E-modula ter komaj 10 % variance dinamične trdnosti.

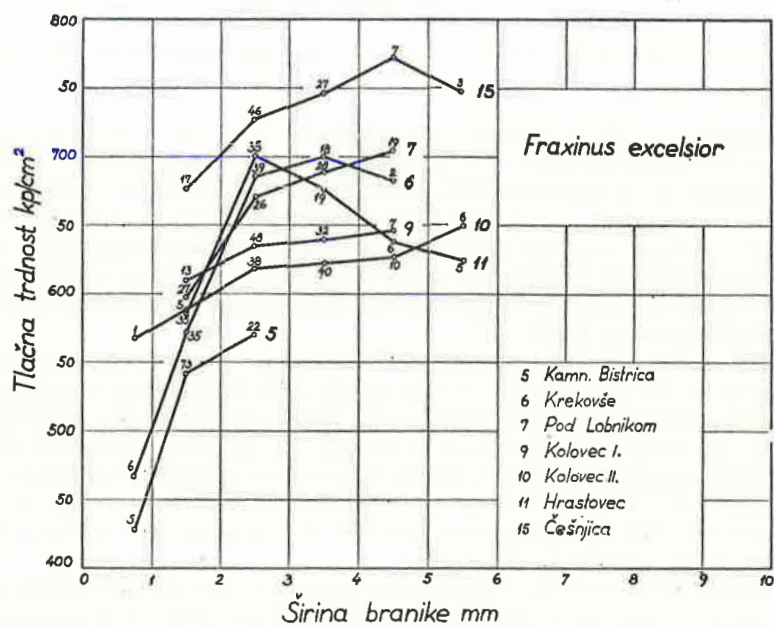
Na slikah 23 do 26 vidimo nadalje, da se krivulje prostorninske teže in trdnosti ujemajo le v prvem delu, v področju širokih branik pa potekajo različno. Krivulja teže raste še nadalje, medtem ko krivulje trdnosti dosežejo kulminacijo in nato upadajo. Različen potek krivulj je v nasprotju z dejstvom, da je odnos med prostorninsko težo in trdnostjo linearno proporcionalen in da je korelacija med obema vrednostima razmeroma dobra.

Del tega nesoglasja lahko pojasnimo s položajem vzorcev v deblu. V področju širokih branik je vse več vzorcev iz notranjega dela debla okrog stržena, kjer je les, kot nam je že znano, sicer težak, toda zaradi zavutih vlaken nesorazmerno manj trden. Če izvzamemo te vzorce iz računa, se poprečna trdnost v področju širokih branik poveča za 2 do 7 %. Tako se povečajo poprečne vrednosti udarne upogibne trdnosti v intervalih širine branik 4 do 5 mm in 5 do 6 mm od 0,99 na 1,03 kpm/cm² oziroma od 0,95 na 0,99 kpm/cm². S tem pa se tudi krivulja trdnosti približa krivulji prostorninske teže.

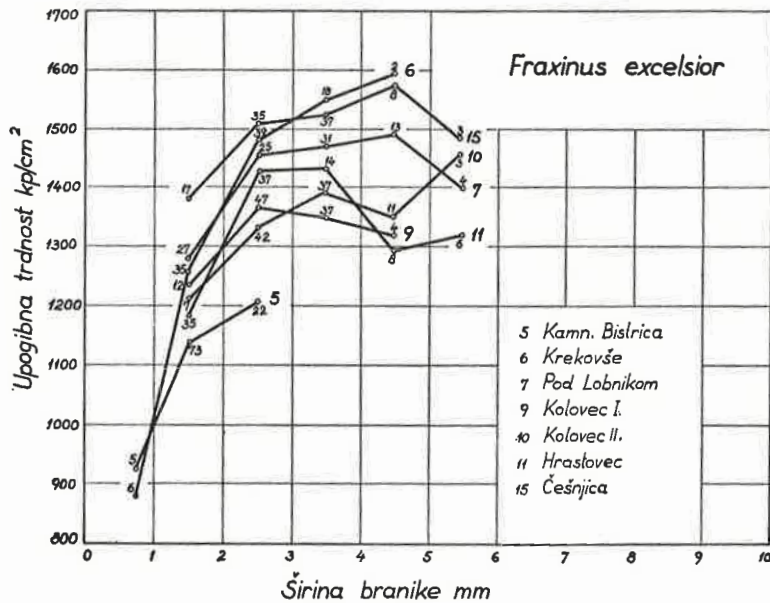
Odnos med širino branike in lastnostmi lesa je na posameznih rastiščih različen. Na slikah 27 do 30 so prikazani najbolj značilni primeri. Predvsem lahko ugotovimo, da je trend na posameznih rastiščih v osnovi sicer podoben, vendar



Slika 27. Odnos med širino branike in težo lesa na posameznih ploskvah



Slika 28. Odnos med širino branike in tlačno trdnostjo na ploskvah



Slika 29. Odnos med širino branike in upogibno trdnostjo na posameznih raziskovalnih ploskvah

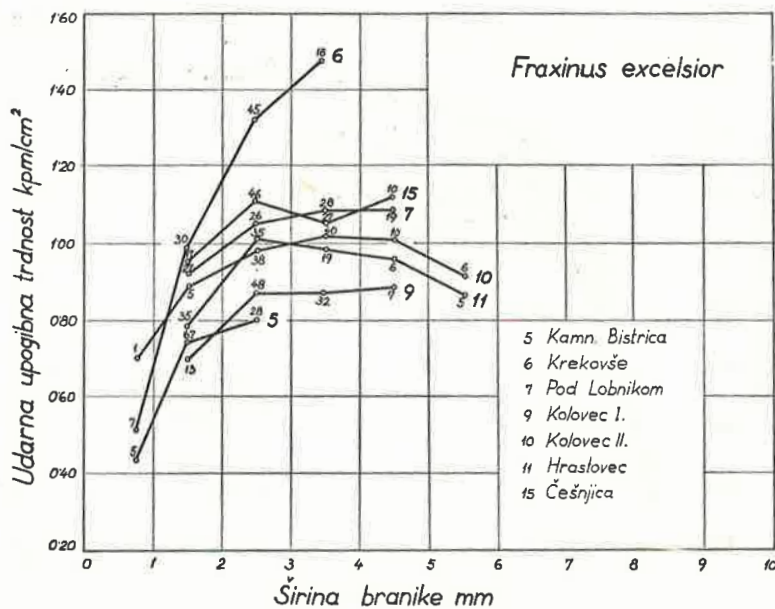
v podrobnostih različnih. Pri tem pa je treba upoštevati razmeroma majhno število vzorcev, ki so osnova za vsakega od prikazanih poligonov.

Pri enako širokih branikah proizvajajo posamezna rastišča različno težak in različno trden les. Razlike so znatne. Najnižja mesta v vseh primerih pripadajo jesenovini iz Kamniške Bistrice (ploskev 5), za katero smo ugotovili tudi najmanjše absolutne vrednosti; največjo težo in največjo trdnost, pri enako širokih branikah, pa kaže jesenovina s ploskev v Češnjici (15) in v Krekovšah. Pri tem je treba omeniti še razlike med statično in dinamično trdnostjo. Pri enako širokih branikah se v pogledu tlačne trdnosti posebno odlikuje jesenovina v Češnjici, v pogledu udarne trdnosti pa jesenovina v Krekovšah.

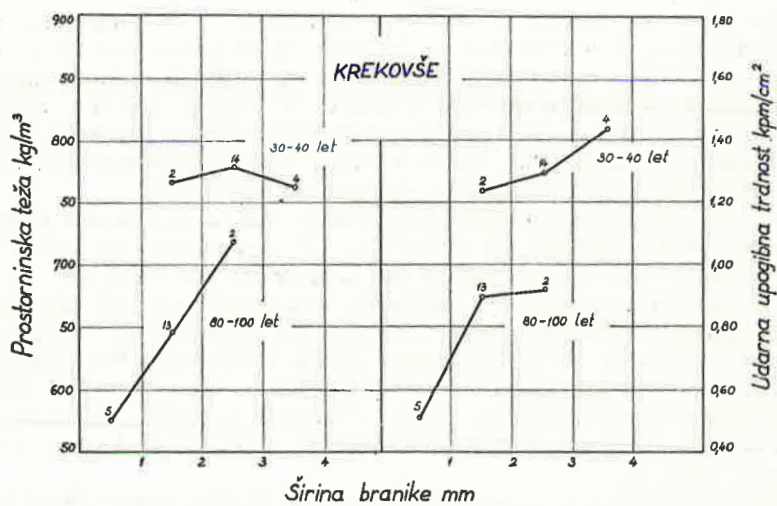
Odnos med prirastkom in lastnostmi lesa je tudi za posamezna drevesa na istem rastišču močno različen. Za drevo št. 187 ugotavljamo pri enako širokih branikah za 70 % večjo udarno trdnost kot za drevo št. 190 (slika 32).

Odnos med širino branike in lastnostmi lesa je odvisen tudi od starosti. S starostjo oziroma z oddaljenostjo od sredine debla upadata teža in trdnost jesovine tudi v primerih, ko širina branike ostane konstantna. Pri enako širokih branikah je periferen les vedno lažji in manj trden. Na razskovalni ploskvi v Krekovšah ugotavljamo, da ima les, zgrajen v obdobju 30—40 let, pri enako širokih branikah za 40 % večjo udarno trdnost kot les, ki je bil zgrajen kasneje v starosti 80 do 100 let (slika 31).

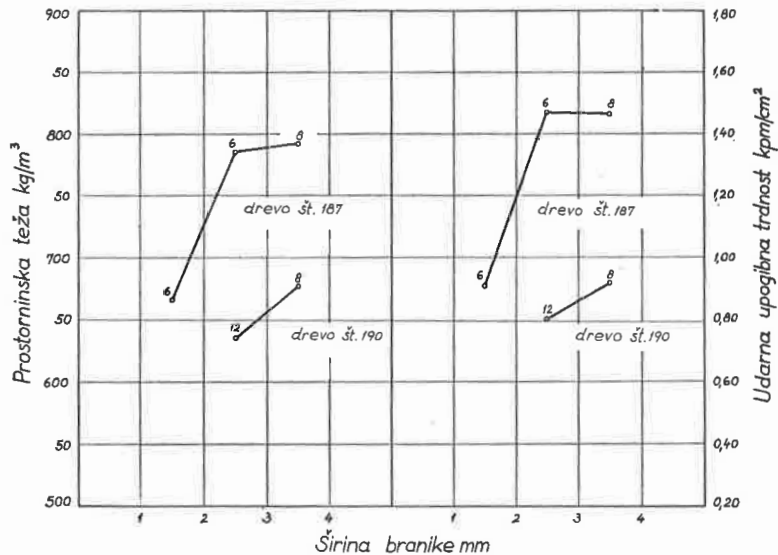
Končno postavljamo še vprašanje, ali je širina branike lahko kriterij kakovosti jesovine, kot zatrjujejo J a n k a (1911) in še nekateri avtorji. Intenzivnost priraščanja ima nedvomno velik vpliv na težo in na trdnost lesa, ki pa sta odvisni



Slika 30. Odnos med širino branike in udarno trdnostjo na posameznih raziskovalnih ploskvah



Slika 31. Odnos med širino branike in lastnostmi lesa za različna starostna obdobja



Slika 32. Odnos med širino branike in težo lesa oz. udarno trdnostjo za posamezna drevesa na istem rastišču

tudi od rastišča, od starosti, od položaja v deblu ter še od mnogih drugih okolnosti, Zato je širina branike lahko kriterij kakovosti le v poprečju velikega števila primerov; za presojo posameznih primerov pa je njena vrednost problematična. Le za ekstremno ozke branike lahko zanesljivo trdimo, da vedno pomenijo slabo kakovost.

Najkvalitetnejša jesenovina se pojavlja v intervalu širine branik 3—4 mm. Na splošno pa je za tehniko uporaben les s širinami od 1,5 do 6 mm, pri čemer je treba računati z znatnim deležem primerov slabe kakovosti, ki jih na osnovi širine branike ni mogoče izločiti.

3.7 Mikroskopske preiskave

Jesenovina je venčasto porozna vrsta lesa z dvema ali tremi nizi velikih vodovodnih cevi v ranem lesu. Premer cevi, ki so nekoliko ovalne, doseže v radialni smeri vrednost do 0,35 mm, v tangencialni smeri pa do 0,30 mm. Meja med ranim in poznim lesom je dobro vidna, le pri zelo širokih branikah je manj jasna. Cevi so večinoma razporejene posamič, redko v parih in le izjemoma v večjih skupinah. Vzporedno z večanjem krošnje in večanjem potreb po vodi se s starostjo drevesa večja tudi premer cevi in njih število (Trendelenburg, 1939). Delež vodovodnih cevi v braniki je različen in močno odvisen od rastišča. Od celotne površine, gledano v prečnem prerezu, zavzemajo cevi v ranem lesu 3,3 do 25,4 %, v poznem lesu pa komaj 0,5 do 4,0 %. Poprečje v ranem lesu je 13,3 %, v poznem pa 1,4 % (Schneider, 1996). Debelina sten vodovodnih cevi je v ranem lesu

3 do 4 μ , v poznem pa 2- do 3-krat večja. Delež vodovodnih cevi v braniki bistveno vpliva na težo in na trdnost lesa.

Trdnostno tkivo je sestavljeno iz sklerenhimskih vlaken in vlaknastih traheid. Obe vrsti celic se v literaturi običajno označujeta s skupnim imenom »lesna vlakna«. Jesenovina je v pretežni meri sestavljena iz lesnih vlaken, ki so zato odločilnega pomena za tehnične lastnosti lesa. V splošnem sicer velja pravilo, da ima večji delež lesnih vlaken za posledico tudi večjo težo in večjo trdnost lesa, vendar ni mogoče postaviti zanesljivega kvantitativnega odnosa. Razlog za to je predvsem velika variabilnost dimenzij in strukture lesnih vlaken. Zgradba vlaken je močno odvisna od splošnih pogojev rasti. Na slabo hranljivih in predvsem na suhih tleh nastajajo razmeroma široka vlakna z velikim lumenom in tankimi stenami. Premer vlaken se giblje v širokem območju od 10 do 40 μ (Kollmann, 1941). Tudi debelina sten je različna in je prav tako kot premer odvisna od rastišča, od položaja drevesa v sestoju in od njegove starosti. Znatne razlike so tudi znotraj branike. V smeri od ranega proti poznemu lesu upada premer lesnih vlaken, medtem ko debelina sten raste.

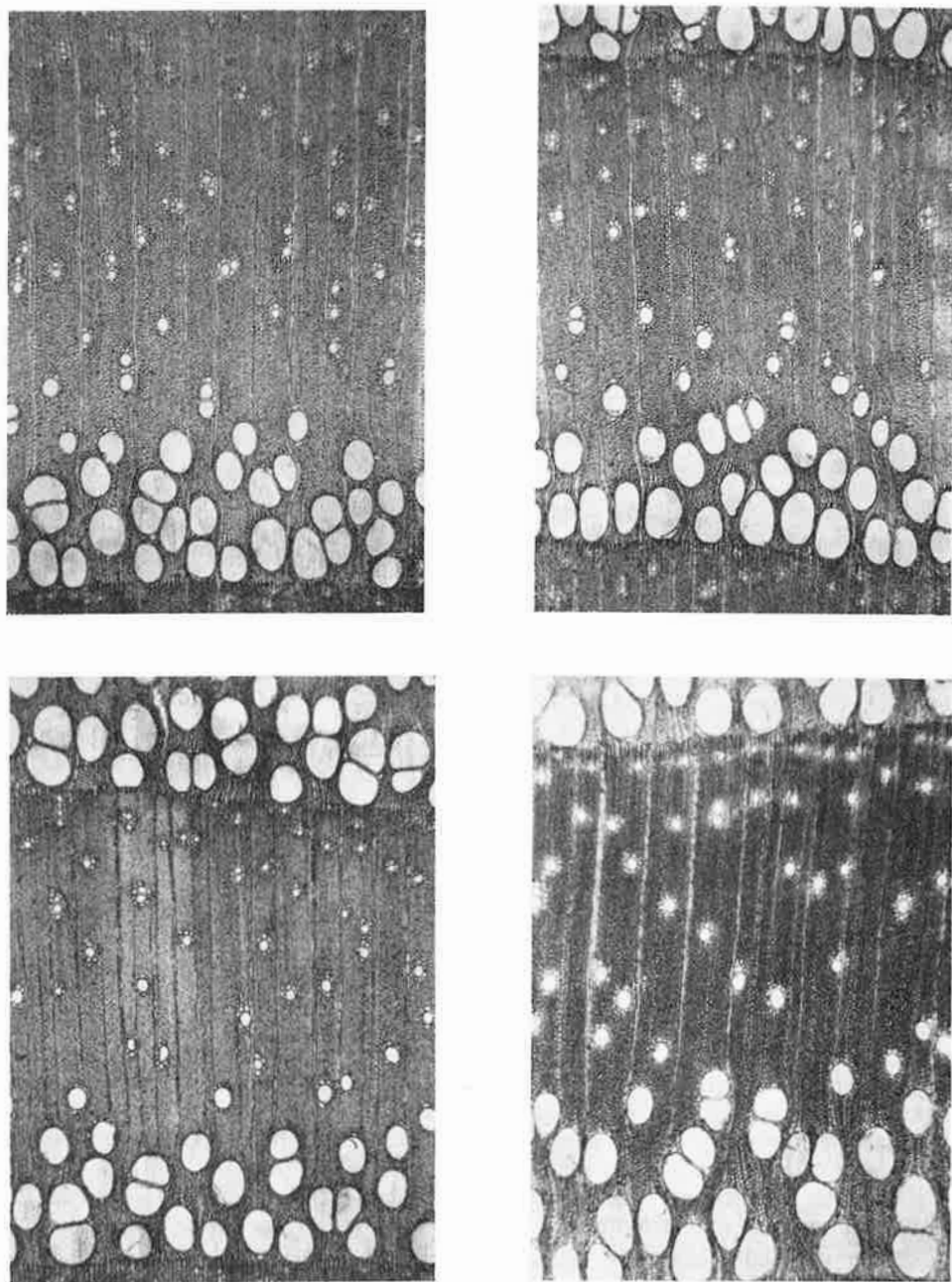
Dolžina lesnih vlaken je do neke mere obratno sorazmerna s premerom. Na splošno so ozka vlakna daljša (Trendelenburg 1939). Dolžina lesnih vlaken jesenovine se giblje v območju od 0,5 do 1,8 mm. Nekoliko krajša vlakna ugotavlja Bailey (1920) pri ameriškem jesenu (*Fraxinus americana*), in sicer od 0,29 do 0,96 mm. Dolžina vlaken je odvisna tudi od starosti drevesa in raste od sredine debla približno do tridesete branike, nato pa upada v smeri proti obodu. Znatne razlike so znotraj branike. Vlakna poznega lesa so do 79 % daljša od vlaken ranega lesa (Bosshard 1951).

Lesna vlakna so najštevilnejše in in najpomembnejše tkivo. Vanj so vklopljene vse druge vrste celic. Delež lesnih vlaken v braniki je variabilen in močno odvisen od intenzivnosti priraščanja. Za jesenovino navajata Huber in Prütz (1938) poprečno 62,4 % lesnih vlaken z mejnimi vrednostmi od 50,5 do 72,4 %.

Prehrambno tkivo jesenovine je sestavljeno iz vzdolžnega in prečnega parenhima. Vzdolžni parenhim je nameščen okrog vodovodnih cevi (vazicentrični in deloma metatrahealni parenhim) ter na koncu branike, kjer tvori 1 do 14 celic široke pasove (terminalni parenhim). Prečni parenhim se razprostira horizontalno v radialni smeri od sredine debla proti obodu. Dimenzije strženovih trakov so precej različne. Njihova širina je v glavnem med 0,06 in 0,1 mm, višina pa med 0,1 in 0,6 mm. V lesu jesena je prehrambno tkivo udeleženo z naslednjimi odstotki: vzdolžni parenhim od 5,7 do 15,1 %, poprečno 10,6 % ter prečni parenhim od 13,9 do 16,0 %, poprečno 14,9 % (Huber in Prütz 1938).

Kot je bilo že omenjeno, niti širina branike niti prostorninska teža nista zanesljiva kriterija mehanskih lastnosti jesenovine. Uporabnejše rezultate dobimo ob upoštevanju deleža poznega lesa, debeline celičnih sten ter premerov lesnih vlaken. V tem pogledu je zgradba jesenovine močno variabilna.

Meritve poznega lesa in premerov vlaken ter debeline celičnih sten so bile opravljene na treh skupinah po 20 vzorcev, ki smo jih izbrali med 1400 primeri udarne upogibne trdnosti. V prvi skupini so vzorci z ekstremno velikimi vrednostmi od 1,68 do 2,42 kpm/cm², v drugi skupini vzorci z vrednostmi blizu poprečja med 0,94 in 0,97 kpm/cm², v tretji skupini pa vzorci z najmanjšo trdnostjo med 0,30 in 0,45 kpm/cm². Mikroskopski posnetki primerov prve in tretje skupine so prikazani na slikah 33 do 36.



Slika 33 Mikroskopski posnetki vzorcev z največjo udarno trdnostjo (vzorci št. 156/14, 156/6, 156/7, 203/2) — 25 ×

Razlike med ekstremi so očitne. Delež poznega lesa znaša pri vzorcih največje trdnosti 63 do 78 %, pri vzorcih skrajno majhne trdnosti pa 28 do 47 %. Manj prepričljive rezultate so pokazali vzorci poprečne trdnosti, pri katerih variira delež poznega lesa v širokem intervalu od 31 do 74 %. Glede na to, da se v navedeni interval uvršča nad 90 % vseh preiskanih vzorcev, smemo delež poznega lesa označiti kot zelo zanesljiv kriterij trdnosti.

Trdnostno tkivo jesenovine je, kot že omenjeno, sestavljeno iz vlaken in iz vlaknastih traheid. Pozni les vzorcev najboljše kakovosti vsebuje večinoma le vlakna in le izjemoma tudi vlaknaste traheide. V lesu slabše kakovosti pa je vse več vlaknastih traheid, katerih delež doseže pri ekstremno slabih vzorcih tudi do 70 %.

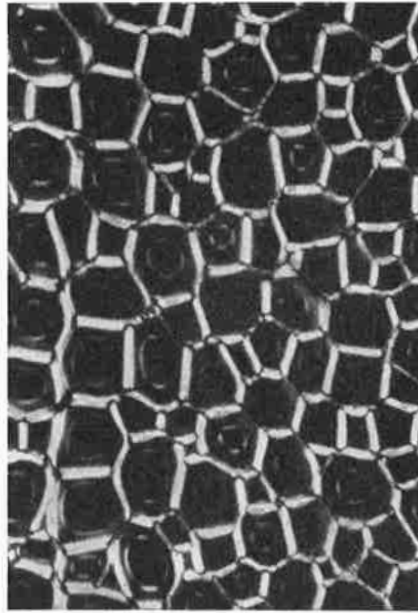
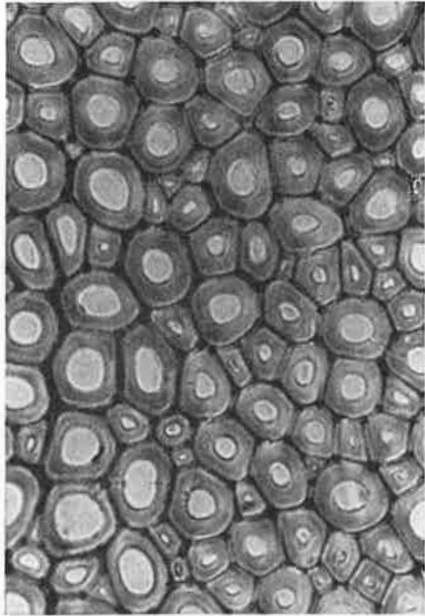
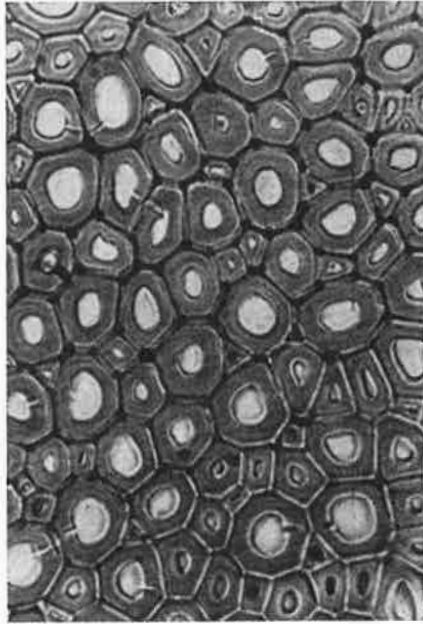
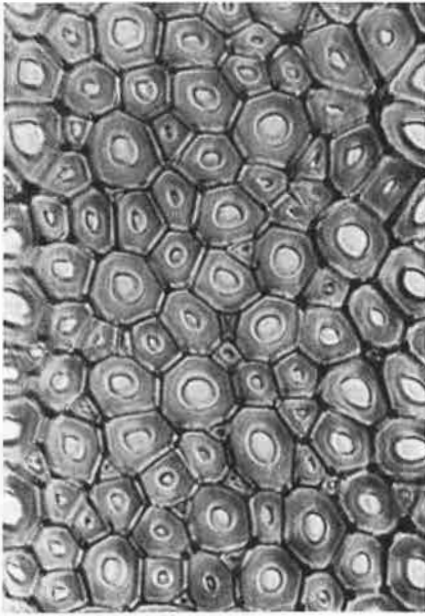
Rezultati meritev premerov vlaken in debeline celičnih sten so prikazani v naslednji razpredelnici:

| Podatek | Vzorci velike udarne trdnosti | Vzorci poprečne udarne trdnosti | Vzorci majhne udarne trdnosti |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Delež poznega lesa % | 63 —71 —78 | 31 —59 —74 | 28 —38 —47 |
| Premer: | | | |
| vlakna μ | 13,7—15,9—17,7 | 10,8—13,3—17,5 | 10,4—12,8—15,0 |
| traheide μ | | 18,2—29,8—27,3 | 18,4—24,3—28,5 |
| Debelina celičnih sten: | | | |
| vlakna μ | 3,5— 4,6— 5,2 | 2,1— 3,5— 4,8 | 2,3— 3,0— 3,9 |
| vlaknaste traheide μ | | 3,3— 4,3— 5,1 | 3,3— 4,2— 5,0 |

Premer vlaken kvalitetnih vzorcev variira v območju od 13,7 do 17,7 μ , njegovo poprečje pa je 15,9 μ . Les srednje in slabe kakovosti ima nekoliko ožja vlakna, toda znatno širše vlaknaste traheide s poprečnim premerom 23,8 oziroma 24,3 μ . Debelina celičnih sten vlaken variira pri kvalitetnem lesu od 3,5 do 5,2 μ s poprečjem 4,6 μ . Pri lesu srednje in slabe kakovosti so debeline precej manjše, in sicer poprečno 3,5 oziroma 3,0 μ . Debelina sten vlaknastih traheid je pri vzorcih srednje in slabe kakovosti precej enaka tako v pogledu poprečja, ki je 4,3 oziroma 4,2 μ , kot tudi glede širine variacij, ki je 3,3 do 5,1 μ .

Na osnovi prikazanih rezultatov ni mogoče podati zanesljivih sklepov glede odnosov med dimenzijami celic in trdnostjo lesa. Poleg ugotovitve, da je pozni les kvalitetne jesenovine sestavljen pretežno iz vlaken, medtem ko pri slabši kakovosti vse bolj prevladujejo vlaknaste traheide, lahko trdimo le, da vzporedno z upadanjem trdnosti upada tudi debelina sten vlaken. To pa velja le za poprečje, ne pa tudi za posamezne primere, ki kažejo velike odklone, tako da navedenih odnosov ni mogoče izraziti numerično.

Dober vpogled v strukturo celične stene nudijo opažanja v polarizirani svetlobi z ravninama polarizatorja in analizatorja pod kotom 90° (slike 34 in 36 desno spodaj). V kvalitetnem lesu se posamezne membranske plasti dobro ločijo, pri čemer vedno ugotavljamo močno razvito srednjo sekundarno lamelo. Pri lesu



Slika 34 Mikroskopski posnetki vzorcev z največjo udarno trdnostjo (vzorci št. 156/14, 156/6, 156/7, 156/7 — pol.) — 600 \times

slabše kakovosti je diferenciacija manj jasna. Predvsem pa je očitna slabo dimenzionirana srednja lamela. Na osnovi refleksov, ki se pojavljajo v njej, smemo tudi pričakovati večje odklone med smerjo micelnih nizov in vzdolžno osjo celice.

Smer micelnih nizov v posameznih lamelah je nedvomno pomemben faktor trdnosti. Clarke (1933) ugotavlja, da se pri dinamičnih obremenitvah deformira srednja lamela in pri tem loči od primarne membranc. V srednji lameli potekajo micelni nizi večinoma skoraj vzporedno z vlakni. Za pozni les kvalitetne jesenovine navaja Pillow (1939) odklon $6^{\circ} 40'$ in podobno Koehler (1933) od 3° do 10° . Kot posebnost pa omenja les iz dolnjih delov dreves na poplavnih področjih, ki je presenetljivo krhek. Pri tem ugotavlja velike odklone med smerjo micelov in vzdolžno osjo vlaken v vrednosti od 20° do 60° .

Zdi se, da je trdnost jesenovine v znatni meri odvisna od kemične sestave in od submikroskopske zgradbe celične membrane. Pomembno metodo za kvalitativno diferenciacijo lesa je razvil Clarke (1935) z uporabo floroglucina in solne kisline. Omenjeno sredstvo obarva skrbno pripravljene preparate v rdečem oziroma vijolično rdečem barvnem tonu. Učinek barvila je zelo različen. Pri zelo krhkem lesu se barva omejuje le na skrajno zunanjo membransko plast, medtem ko ostane srednja lamela, ki je normalno najmočnejše razvita, neobarvana. Čim trdnejši je les, tem bolj napreduje barvilo v notranjost membrane. Z navedenim postopkom je avtorju uspelo ločiti trden les od manj trdnega s približno 90-odstotno zanesljivostjo.

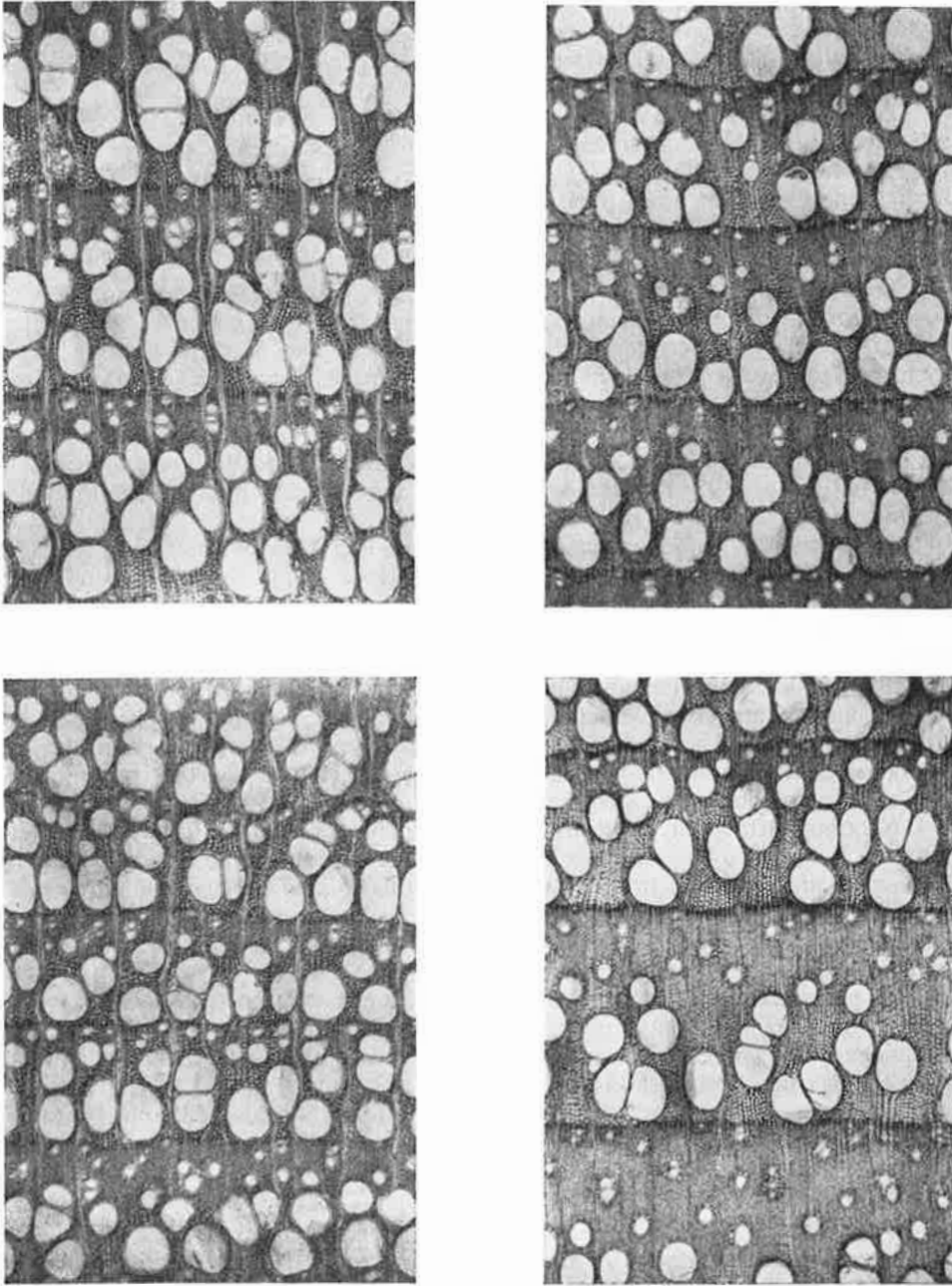
Floroglucin je reagent na lignin in je primarno uporaben za določanje stopnje lignifikacije lesa. Poznani so še drugi tovrstni reagenti, npr. cinkov klorid + kalijev jodid, anilinsulfat, fuksin + pikrinska kislina itd. Tudi metakromatična barvila so primerna za nekatere vrste lesa, tako čikaško modro 4 R (Kisser 1949) in sambezijsko črno (Pechmann 1953), Našeta sredstva, ki smo jih uporabili na jesenovih vzorcih, niso dala zadovoljivih rezultatov.

Upoštevajoč korelativna razmerja floroglucin—lignin in floroglucin—trdnost, smemo sklepati tudi o vplivu lignifikacije na trdnost lesa. Pri tem je treba omeniti, da je navedena metoda s floroglucinom, uporabljena na jesenovih vzorcih, dala skoraj 100-odstotne rezultate v pogledu tlačne trdnosti, medtem ko je pri oceni dinamične trdnosti pokazala določene odklone. Vsi vzorci velike dinamične trdnosti dobro reagirajo s floroglucinom. Manj zanesljiva pa je metoda pri vzorcih srednje in slabe trdnosti, kjer so učinki često zelo različni.

Lignin, vložen v intermicelarne prostore celuloznega skeleta, utrjuje celične stene in s tem povečuje odpornost lesa. Vendar je njegova prisotnost različno pomembna za razne načine obremenitve. Vpliv lignina je velik pri tlačnih in manjši pri dinamičnih upogibnih obremenitvah.

Tudi Kollmann (1941) ugotavlja uporabnost metode s floroglucinom za oceno tlačne trdnosti jesenovine. Pripominja pa, da je postopek dobro uporaben le za oceno kvalitete lesa na istem rastišču. Naša raziskovanja tega ne potrjujejo. Metoda s floroglucinom je pokazala podobne in istosmerne rezultate tudi na materialu z različnih rastišč, tako da ni mogoče ugotoviti kakšne odvisnosti od provenience lesa.

Posebnost pri jesenovini je tako imenovani tenzijski les. Tovrstno tkivo se pojavlja pri listavcih kot posledica prekomernih nateznih napetosti in se v anatomskem in kemičnem pogledu razlikuje od normalnega tkiva. Tenzijski les ni samo pasivna tvorba preobremenjenega kambija, temveč ima tudi aktivne mehanične



Slika 35 Mikroskopski posnetki vzorcev z najmanjšo udarno trdnostjo (vzorci št. 152/3, 153/4, 139/10, 153/1) — 25 ×

funkcije z namenom, da poravna deblo v ustrezen položaj. Značilne za to nenormalno tkivo so močno odebeljene membranske plasti, ki se odlikujejo z nadporečno velikim odstotkom celuloze. Podrobno sliko zgradbe in funkcije tenzijskega tkiva podaja S a c h s s e (1965).

Pri predelavi lesa povzroča tenzijsko tkivo težave. Predvsem je treba omeiniti nenormalno visoke krčivne koeficiente v vzdolžni smeri, zaradi česar se les pri sušenju močno deformira. V primerjavi z normalnim je tenzijski les mehkejši in manj odporen proti pritisku. Neenotne pa so ugotovitve glede dinamične trdnosti. C l a r k e (1937) in P e c h m a n n (1958) omenjata, da utegne tenzijski les v določenih okoliščinah povečati udarno upogibno trdnost.

Pri večini drevesnih vrst se tenzijsko tkivo lahko razlikuje od normalnega lesa. Pri nekaterih ga spoznamo že makroskopsko po svetlejši barvi. Zelo dobre rezultate dajejo nekateri reagenti na celulozo ali lignin. Najučinkovitejša pa je raztopina cinkovega klorida, kalijevega jodida in elementarnega joda, ki je v literaturi poznana pod pojmom »klorcinkjod«. Imenovano sredstvo obarva tenzijski les večine drevesnih vrst v izrazitem vijolično rdečem barvnem tonu, medtem ko lignificirana tkiva ostanejo neobarvana. V mikroskopu lahko zaznamo tenzijski les tudi po pogostnih deformacijah celičnih sten, ki nastanejo pri pripravljanju preparatov.

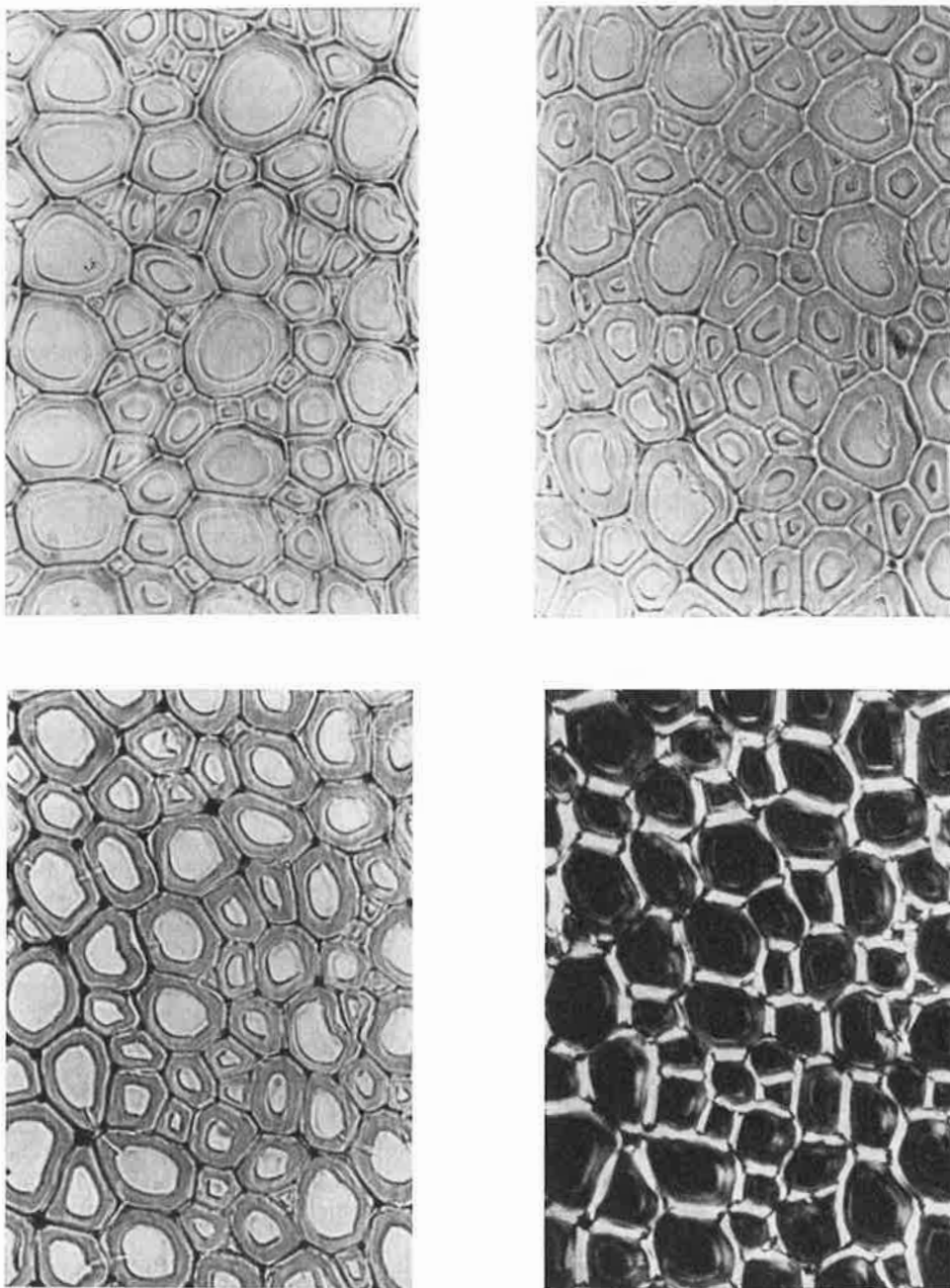
Pri jesenovini je determinacija tenzijskega lesa težavnejša naloga. Klasični reagenti niso dali zadovoljivih rezultatov. Tudi klorcinkjod, ki je pri drugih drevesnih vrstah 100-odstotno zanesljiv, pri jesenovih vzorcih ni pokazal učinka.

Poleg navedenih so za determinacijo tenzijskega lesa lahko uspešne tudi druge metode. J u t t e in I s i n g s (1955) priporočata uporabo faznega kontrasta, pri čemer se neolesenjena lamela tenzijskega lesa kaže kot teman krog, za katerega avtorja ugotavljata lomni količnik 1,536. Postopek, ki je laboratorijsko zahteven, pri jesenovini ni pokazal prepričljivih rezultatov. Prav tako slabo uspešna je tudi metoda s standardnimi fluorokromi, ki jo sicer S i e b e r s (1960) s pridom uporablja za bukovino in topolovino.

Na osnovi številnih poskusov je bila izdelana metoda za determinacijo tenzijskega lesa jesenovine, ki je pokazala uporabne rezultate. Postopek temelji na barvanju mikroskopskih preparatov s kongo rdečilom in na uporabi ultravijoličnih žarkov, pri čemer membrane tenzijskega lesa fluorescirajo v intenzivnem živo rdečem barvnem tonu, medtem ko normalno tkivo ostaja temno. Metoda je primerna tudi za druge vrste lesa.

Za proučitev vpliva tenzijskega lesa na mehanske lastnosti jesenovine je bila opravljena primerjava 50 vzorcev, ki so vsebovali tovrstno tkivo, s poprečjem celotnega števila preiskanih vzorcev. Delež tenzijskega lesa je bil aproksimativno ocenjen na osnovi mikroskopskih preparatov v vrednosti 15 do 30 %, računajoč na celotno prečno površino vzorcev. Ob upoštevanju variabilnosti prostorninske teže in njenega vpliva na trdnost so bili kot primerjalne vrednosti uporabljeni relativni pokazovalci trdnosti, tako imenovana kvalitetna števila. Rezultati so prikazani v naslednji razpredelnici:

V primerjavi s splošnim poprečjem so pokazali vzorci s tenzijskim lesom slabše mehanske lastnosti, in sicer kvalitetno število tlaka za 19 %, kvalitetno število upogiba za 12 % in dinamično kvalitetno število za 4 %. V prvih dveh primerih so razlike potrjene z več kot 95-odstotno statistično zanesljivostjo, medtem ko razlika glede dinamičnega kvalitetnega števila ni signifikantna. Nadaljnja



Slika 36 Mikroskopski posnetki vzorcev z najmanjšo udarno trdnostjo (vzorci št. 153/4, 139/10, 152/3, 152/3 — pol.) — 600 \times

| Podatek | Splošno poprečje | Poprečje vzorcev s tenzijskim lesom | Razlika % |
|------------------------------|---------------------|--|--------------|
| Kvalitetno število — tlak | 8,9 | 7,2 | —19 |
| Kvalitetno število — upogib | 18,8 | 16,6 | —12 |
| Dinamično kvalitetno število | 1,84 | 1,77 | — 4 |

značilnost vzorcev s tenzijskim lesom je večja variabilnost trdnosti, pri čemer ugotavljamo v primerjavi s celotnim številom preiskanih vzorcev za 2 do 5 % večje variacijske koeficiente.

Tenzijski les pomeni torej negativno postavko za statično trdnost jesenovine, medtem ko njegov vpliv na dinamično trdnost ni potrjen.

3.8 Vpliv rastišča in položaja dreves v sestoji

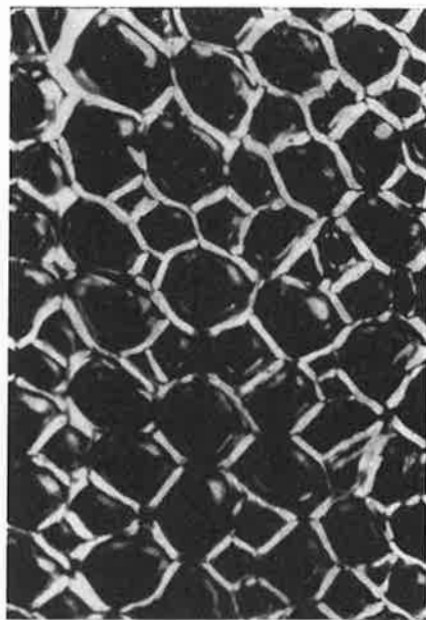
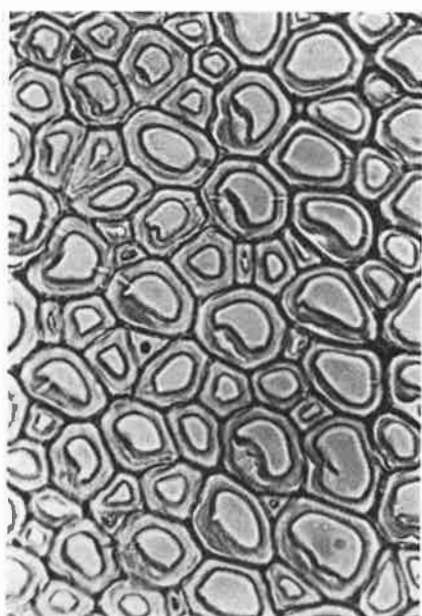
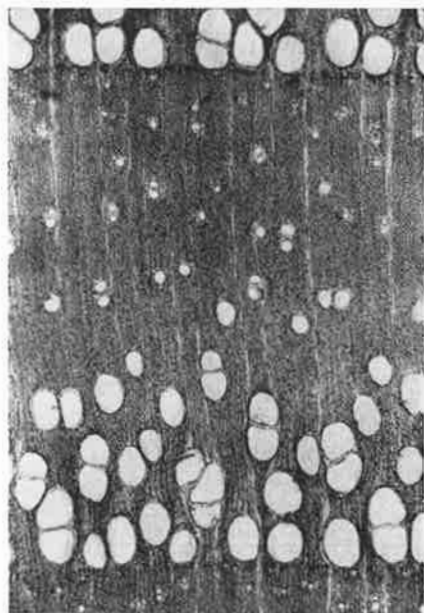
Gotovo je, da različne okolnosti, katerim je izpostavljeno rastoče drevo, kot so geografski položaj, nadmorska višina, geološka podlaga, temperatura, talna in zračna vlaga, položaj dreves v sestoji itd., vplivajo tudi na anatomsko zgradbo in kemično sestavo lesa in s tem tudi na njegove tehnične lastnosti.

Ideje o vplivu nekaterih od teh faktorjev so se izoblikovale v dolgoletnih izkušnjah koristnikov lesa, ki v mnogih primerih za isto drevesno vrsto ugotavljajo velike kvalitetne razlike v odvisnosti od rastišča. Zelena duglazija s pacifiške obale je nesporno kvalitetnejša od duglazije s področja Skalnega pogorja. Prav tako je znano, da je slavonska hrastovina boljše kakovosti kot les iste drevesne vrste z drugih področij.

Pri tem se nam samo po sebi vsiljuje vprašanje, ali so te kakovostne razlike prvenstveno pogojene s samim rastiščem, njegovim geografskim položajem in kakovostjo tal, ali pa so morda večidel posledica gozdnogojitvenih oblik in ukrepov, s katerimi je možno v širokem obsegu vplivati na intenzivnost priraščanja. Splošno znano je namreč, da so velike kakovostne razlike med lesom iz umetnih nasadov z velikim prirastkom in lesom počasne rasti iz gosto sklenjenih sestojev pragozdnega tipa.

Prve natančnejše študije o vplivu raznih okolnosti na nastajanje lesa, na njegovo strukturo in lastnosti, zasledimo v Evropi proti koncu preteklega stoletja. H a r t i g (1901) je razvil tako imenovano »prehranjevalno teorijo«, ki domneva, da je za kakovost lesa prvenstveno odločilen odnos med plodnostjo tal, asimilacijo in transpiracijo. Avtor trdi, da je različna teža lesa v glavnem posledica različnega deleža prevodnega in trdnostnega tkiva. Čim večja je transpiracija v primerjavi z asimilacijo, tem več prevodnega tkiva potrebuje drevo, tem lažji bo nastali les. In nasprotno, ob intenzivni asimilaciji in zmerni transpiraciji nastaja težak les z velikim deležem trdnostnega tkiva. Kasneje so se zadevnega problema lotili tudi Američani.

Nedovoljno poznavanje obilja različnih okolnosti je privedlo tudi do precejevanja vpliva nekaterih faktorjev in s tem do napačnih sklepov predvsem glede vpliva geografskega položaja in nadmorske višine. Zdi se, da je ta vpliv manjši, kot se splošno misli. P a u l (1930) je ugotovil, da je variabilnost mehaničnih



Slika 37 Mikroskopski posnetki tenzijskega lesa (vzorci št. 174/19, 174/19 — pol., 174/19)

lastnosti lesa nekaterih listavcev znotraj posameznih dreves ali med drevesi na istem rastišču večja, kot pa so razlike med srednjimi vrednostmi materiala iz višinskih predelov Appalaškega pogorja in nižinskih področij ob Missisipiju.

Tudi predmetno raziskovanje mehaničnih lastnosti jesenovine je pokazalo, da so razlike med drevesi na istem rastišču v mnogih primerih večje od razlik med rastišči, četudi so le-ta na različnih geoloških podlagah in na različnih nadmorskih višinah. Pri tem je seveda potrebno preveriti verodostojnost razlik med ugotovljenimi srednjimi vrednostmi ploskev, kar je povsem umestno ob upoštevanju velike variabilnosti modelnih dreves, ki so osnova izračunom teh poprečij. V nadaljevanju je prikazan primer za udarno upogibno trdnost.

V tabeli 10 so za imenovano lastnost navedene vrednosti modelnih dreves in na osnovi njih izračunana poprečja ploskev. Glede na različno starost dreves in njen vpliv na trdnost lesa so vse vrednosti reducirane na enotno starost 60 let.

Tabela 10. Udarna upogibna trdnost kpm/cm^2

| Raziskovalna ploskev | Vrednosti modelnih dreves | | | | | Poprečja ploskev | t |
|----------------------|---------------------------|------|------|------|------|------------------|------|
| 6 Krekovše | 1,81 | 1,40 | 1,21 | 1,05 | 1,19 | 1,33 | 2,58 |
| 15 Češnjica | 1,22 | 0,95 | 1,40 | 0,89 | 0,93 | 1,08 | 0,91 |
| 12 Lobnica | 0,93 | 1,50 | 1,04 | 0,87 | 0,86 | 1,04 | 0,42 |
| 7 Pod Lobnikom | 1,18 | 0,90 | 0,79 | 1,19 | 1,07 | 1,03 | 0,51 |
| 11 Hrastovec | 1,04 | 0,88 | 1,18 | 0,94 | 0,98 | 1,00 | |
| 10 Kolovec II | 0,96 | 1,15 | 1,29 | 0,61 | 0,96 | 0,99 | |
| 13 Šardinje | 1,06 | 0,95 | 0,66 | 1,37 | 0,92 | 0,99 | |
| 1 Boč | 1,01 | 0,87 | 1,02 | 0,97 | 0,90 | 0,95 | |
| 16 Peračica | 0,71 | 1,07 | 0,99 | 0,98 | 1,02 | 0,95 | |
| 2 Negova | 1,19 | 0,83 | 1,07 | 0,76 | 0,89 | 0,95 | |
| 14 Jurklošter | 1,14 | 0,82 | 0,81 | 0,99 | 0,86 | 0,92 | 1,12 |
| 4 Bistriški jarek | 0,71 | 1,03 | 1,00 | 0,75 | 1,09 | 0,92 | 0,90 |
| 9 Kolovec I | 0,82 | 0,99 | 0,90 | 0,74 | 0,82 | 0,85 | 3,30 |
| 5 Kamniška Bistrica | 0,81 | 0,78 | 0,66 | 0,74 | 0,99 | 0,80 | 3,48 |
| Poprečje | | | | | | 0,99 | |

Z analizo variance dobimo:

| Variance | $n = N - 1$ | $S Q$ | s^2 |
|-----------------|-------------|----------|--------|
| med ploskvami | 13 | 9944,00 | 764,92 |
| znotraj ploskev | 56 | 20509,77 | 366,25 |
| totalno | 69 | 30453,77 | 441,36 |

$$F = \frac{764,92}{366,25} = 2,09$$

Pri statistični zanesljivosti 95 % in stopnjah prostosti $n_1 = 13$ in $n_2 = 56$ je po tabeli $F = 1,92$.

Po primerjavi izračunanega kvocienta varianc med ploskvami in znotraj ploskev z vrednostjo po tabeli smemo trditi, da se najmanj dve izmed srednjih vrednosti ploskev bistveno razlikujeta.

Nadalje moramo preveriti, katera izmed ugotovljenih poprečij ploskev se bistveno razlikujejo od splošnega poprečja, ki je $0,99 \text{ kpm/cm}^2$. Zadevni račun je izveden s pomočjo t — porazdelitve po obrazcu:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sqrt{N}$$

kjer pomenijo: \bar{x} = poprečje ploskve, μ = splošno poprečje, s = standardna deviacija, N = število modelnih dreves na ploskvi. Izračunane vrednosti t so navedene v zadnji koloni tabele 10.

Tabelarne vrednosti t za $n = N - 1 = 4$ so:

pri statistični zanesljivosti 95 % $t = 2,78$

pri statistični zanesljivosti 90 % $t = 2,03$

Primerjava izračunanih in tabelarnih vrednosti t kaže, da se v pogledu udarne upogibne trdnosti le 2 ploskvi bistveno razlikujeta od splošnega poprečja. To sta ploskvi št. 9 v Kolovcu in št. 5 v Kamniški Bistrici s poprečji $0,85$ in $0,80 \text{ kpm na cm}^2$. Z 90-odstotno zanesljivostjo lahko to trdimo tudi za ploskev št. 6 v Krekovšah, medtem ko se poprečja vseh drugih ploskev bistveno ne razlikujejo od splošnega poprečja. Podobne rezultate so pokazala tudi preverjanja poprečij prostorninske teže, tlačne in upogibne trdnosti ter elastičnostnega modula.

Največja dinamična trdnost je bila ugotovljena na raziskovalni ploskvi št. 6 v Krekovšah. Zanimivo pri tem je, da to rastišče ni specifično jesenovo, temveč bukovo — *Dentario-Fagetum aceretosum*. Tudi na jesenovih rastiščih ugotavljamo visoko trdnost, vendar tudi poprečne in celo manjše vrednosti. Navedena ugotovitev nakazuje možnost razširitve jesenovih kultur na ustrezna področja *Fagetuma*.

V tabeli 11 so navedene vrednosti udarne upogibne trdnosti za dve skupini po 10 dreves najboljše in najslabše kakovosti z navedbo geološke podlage in rastlinske združbe rastišča. Po proučitvi navedenih podatkov v tabeli vidimo, da so v večini primerov na enakih ali podobnih geoloških podlagah in v enakih ali podobnih rastlinskih združbah zastopane tako ekstremno velike, kot tudi ekstremno majhne vrednosti trdnosti. Kakovost jesenovine torej ni vezana na določeno nadmorsko višino ali na geološko podlago, temveč se lahko na enakem ali celo na istem rastišču pojavijo različne vrednosti od zelo dobre do zelo slabe.

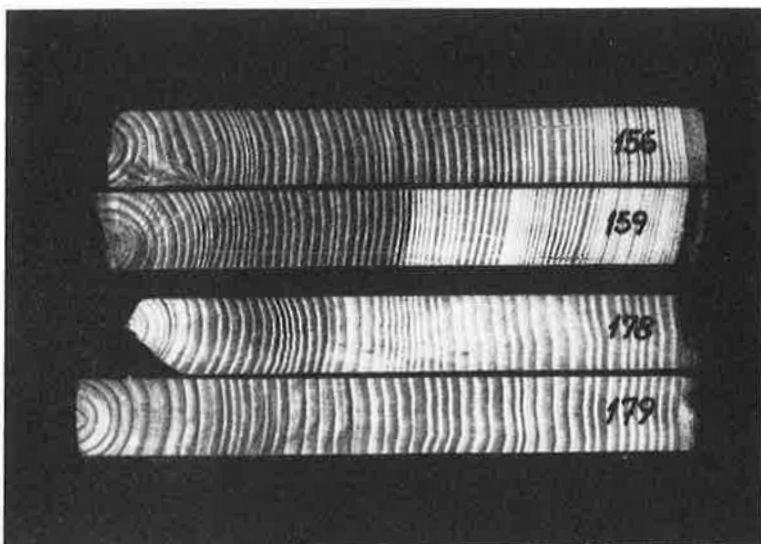
Na osnovi navedenega lahko potrdimo, da je vpliv nadmorske višine in geološke podlage na kakovost jesenovine, ki ga sicer ne moremo negirati, le podrejenega pomena. V okviru te razprave, ki obravnava 70 modelnih dreves s 14 različnih rastišč v nadmorskih višinah 200 do 740 m, ni mogoče ugotoviti nobene zavedne odvisnosti. Tudi primerjava rastlinskih združb ne kaže povezave s trdnostjo lesa.

TABELA 11. Udarna upogibna trdnost po rastiščih

| St. drev. | Udarna trdnost kpm/cm ² | Geološka podlaga | Rastlinska združba |
|-----------|------------------------------------|--|---|
| 156 | 1,73 | Bituminozni sivi apnenci z vložki črnih skrilavcev | <i>Dentario-Fagetum aceretosum</i> |
| 203 | 1,40 | Bituminozni laporji | <i>Carici remotae-Fraxinetum</i> |
| 194 | 1,37 | Miocenski peščenjaki s prodniki | <i>Quercu-Carpinetum</i> |
| 187 | 1,30 | Kristalasti skrilavci | <i>Aceri-Fraxinetum lunariaetosum</i> |
| 178 | 1,29 | Aluvialne naplavine | <i>Log Quercu-Carpinetum</i> |
| 157 | 1,20 | Bituminozni sivi apnenci | <i>Dentario-Fagetum aceretosum</i> |
| 164 | 1,19 | Aluvij s koluvialnimi nanosi | <i>Alnetum incanae Quercu-Carpinetum</i> |
| 161 | 1,18 | Aluvij s koluvialnimi nanosi | <i>Alnetum incanae Quercu-Carpinetum</i> |
| 201 | 1,17 | Bituminozni laporji | <i>Quercu-Carpinetum</i> |
| 177 | 1,15 | Aluvialne naplavine | <i>Log Quercu-Carpinetum</i> |
| 200 | 0,75 | Temno siv apnenec s kalcitnimi žilami | <i>Dentario-Fagetum</i> |
| 139 | 0,74 | Miocenski peski s sljudo | <i>Aceri-Fraxinetum Quercu-Carpinetum</i> |
| 154 | 0,74 | Temni apnenec | <i>Dentario-Fagetum</i> |
| 174 | 0,74 | Naplavina, obrečna tla | <i>Quercu-Carpinetum</i> |
| 146 | 0,71 | Kristalasti skrilavci | <i>Alnetum incanae Quercu-Carpinetum</i> |
| 206 | 0,71 | Miocenske plasti laporja in gline | <i>Quercu-Carpinetum</i> |
| 152 | 0,66 | Grobi apnenčev grušč | <i>Aceri-Fraxinetum phyllitidctosum</i> |
| 193 | 0,66 | Miocenski peščenjaki s prodniki | <i>Quercu-Carpinetum</i> |
| 153 | 0,62 | Temni apnenec | <i>Dentario-Fagetum</i> |
| 179 | 0,61 | Aluvialne naplavine | <i>Log Quercu-Carpinetum</i> |

V večji meri je kakovost jesenovine odvisna od mikro rastiščnih pogojev. Eden teh je gotovo režim talne vode. Jesen je med drevesnimi vrstami zmernege pasu največji porabnik vode. Po H ö h n e l u (1884) porabijo na 100 g listne teže poprečno letno: jesen 81 kg vode, hrast 54 kg, iglavci pa komaj 10 do 13 kg. Jesen zahteva sveža, vendar ne prevlažna tla in še posebno ne zamočvirjena. Za ameriški jesen ugotavlja P i l l o w (1950) posebno trden les pri drevesih, ki so rastle na mineralno bogatih in svežih tleh, medtem ko so pokazala drevesa na izrazito mokrih tleh na dnu jarkov sicer težak, toda znatno manj trden les.

Podobno lahko trdimo tudi za veliki jesen. Najboljša kakovost se vselej pojavlja na svežih in nikoli ne na izrazito suhih ali pa prevlažnih tleh. Na suhih tleh vedno ugotavljamo majhen prirastek, majhno prostorninsko težo in majhno trd-



Slika 38. Izrezki iz dreves z največjo in najmanjšo poprečno udarno trdnostjo na istem rastišču

nost. Tudi za prevlažna tla so značilne slabe mehanske lastnosti. Med več primeri posebej omenjam izrazito vlažno rastišče v Bistriškem jarku, kjer so pokazala drevesa sicer velik prirastek in razmeroma veliko prostorninsko težo, toda presenetljivo majhna kvaliteta števila statične in dinamične trdnosti.

Znano je, da je kakovost lesa odvisna tudi od razvojne stopnje oziroma od položaja drevesa v sestoji. Zadevni odnosi so pri raznih drevesnih vrstah različni (Trendelenburg 1939). Pri tem pa se moramo zavedati, da sedanji položaj v sestoji ni identičen s stanjem pred desetletji, ko je drevo gradilo les, ki je sedaj predmet obravnave. Stanja v preteklosti ni mogoče v celoti rekonstruirati, temveč ga lahko le domnevamo. Zato pa so tudi rezultati tovrstnih študij vedno le aproksimativni.

Na osnovi 70 preiskanih dreves ugotavljamo pri jesenovini razmeroma tesno korelacijo med velikostjo in razvitostjo krošnje ter kakovostjo lesa. Najboljša kakovost se pojavlja le pri drevesih z dobro razvitimi in ustrezno oblikovanimi, vendar ne prevelikimi krošnjami. Njihov položaj v sestoji lahko označimo kot zmerno vladajoč. Za 10 dreves z največjo dinamično trdnostjo ugotavljamo dobro razvite, toda zmerno velike krošnje premera od 7 do 9 m. Drevesa s prekomerno razvitimi krošnjami so pokazala na splošno poprečne in dobre vrednosti, vendar ne najboljših. Slabo oblikovane krošnje majhnih oziroma relativno majhnih dimenzij pa so vedno karakteristika slabe kakovosti lesa.

Zdi se, da smemo pri jesenu govoriti o optimalnem položaju v sestoji oziroma o optimalno oblikovani krošnji, pri kateri proizvaja ta drevesna vrsta les najboljše kakovosti. Po Hartigovi (1901) prehranjevalni teoriji domnevamo, da je pri tem razmerje med transpiracijo in asimilacijo najugodnejše. Seveda je to

razmerje odvisno tudi od plodnosti tal in od vodnega režima in je na različnih rastiščih lahko tudi različno.

V več primerih ugotavljamo slabo kakovost tudi pri drevesih z razmeroma dobro razvitimi krošnjami, nikoli pa ne najboljše kakovosti pri drevesih s slabo ali pa prekomerno razvitimi krošnjami. Zdi se, da je pogoj ustrezno oblikovane krošnje nujen, ne pa tudi zadosten za doseg dobre kakovosti lesa.

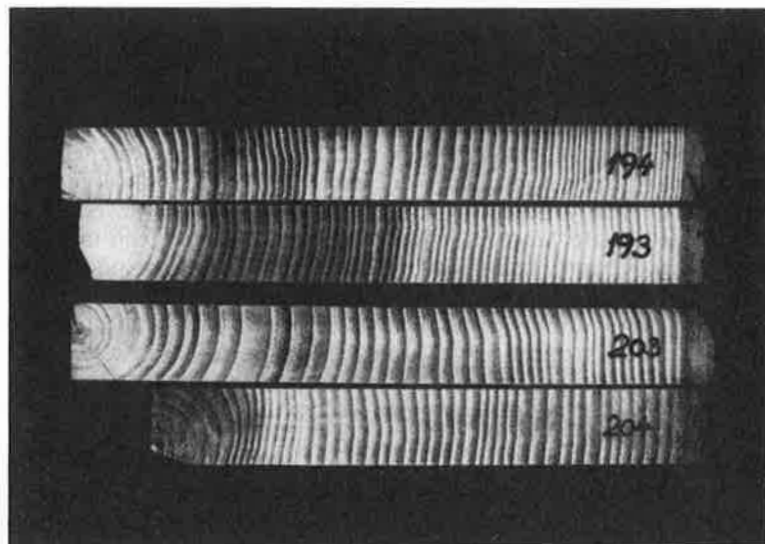
Posebno vprašanje so velike kakovostne razlike med drevesi na istem rastišču. Tabela 12 podaja nekaj značilnih primerov z navedbo splošnih podatkov, starosti, premera, višine in krošnje. V prvi koloni je kot merilo kakovosti navedena udarna upogibna trdnost. Na splošno so to dobro razvita drevesa s primerno oblikovanimi krošnjami, z izjemo drevesa 159, ki ima glede na starost 108 let relativno slabše razvito krošnjo in razmeroma slab prirastek, posebno še v obdobju zadnjih 30 let (slike 38, 39). Udarna trdnost dreves na istih rastiščih se močno razlikuje in je v prvih treh primerih približno v razmerju 2 : 1.

Tabela 12. *Kakovostne razlike med drevesi na istem rastišču*

| Ploskev | Drevo št. | Udarna trdnost kpm/cm ² | Starost let | Premer drevesa cm | Višina drevesa m | Premer krošnje m | Tehnična dolžina debela m |
|---------|-----------|------------------------------------|-------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| 6 | 156 | 1,73 | 90 | 38 | 31,0 | 7,0 | 16,5 |
| | 159 | 0,85 | 108 | 41 | 34,3 | 7,0 | 19,3 |
| 10 | 178 | 1,29 | 71 | 37 | 23,4 | 8,7 | 12,3 |
| | 179 | 0,61 | 54 | 38 | 24,6 | 9,4 | 10,8 |
| 13 | 194 | 1,37 | 75 | 40 | 28,9 | 8,7 | 13,2 |
| | 193 | 0,66 | 75 | 39 | 30,3 | 8,1 | 18,0 |
| 15 | 203 | 1,40 | 60 | 41 | 28,6 | 8,9 | 15,4 |
| | 204 | 0,89 | 60 | 43 | 30,7 | 8,9 | 16,7 |

Na raziskovalni ploskvi št. 6 v Krekovšah sta obe drevesi iz rastlinske združbe *Dentario-Fagetum aceretosum* na podlagi bituminoznih sivih apnencev. Pri drevesu 156, z izredno veliko trdnostjo 1,73 kpm/cm², zasledimo tudi vložke črnih skrilavcev. Tla so sveža, z rahlim pobočnim vlaženjem. Drevo 159, z majhno udarno trdnostjo, pa je rastlo na izrazito suhih tleh na grebenu. Podobno pojasnilo glede povezanosti vlage v tleh s kakovostjo lesa lahko podamo tudi za drevesi 203 in 204 na ploskvi 15 v Češnjici.

Medtem ko za drevesi s kvalitetnim lesom v Krekovšah in v Češnjici ugotavljamo ustrežnejšo vlažnost tal, tega ne moremo trditi za preostala dva primera. Rastišči v Kolovcu (10) in v Šardinju (13) sta homogeni z minimalnimi razlikami. Za oba para primerjalnih dreves ugotavljamo enaka ali vsaj zelo podobna tla z enako ugodnim vodnim režimom. Tudi karakteristike dreves, premer, višina in dimenzije krošnje ter njih razmerje ne kažejo večje povezanosti s kakovostjo obravnavanih primerov. Le višina kvalitetnih dreves je na vseh štirih ploskvah manjša. K temu je treba dodati, da se v drugih primerih, ki tu niso navedeni, pojavlja tudi obratno razmerje. Tudi analiza prirastka in primerjava širine branik ne prispeva k pojasnilu zadevnega vprašanja.



Slika 39. Izrezki iz dreves z največjo in najmanjšo poprečno udarno trdnostjo na istem rastišču

Velike kvalitetne razlike med drevesi na istem in enakem rastišču, katerih ni mogoče tolmačiti z eventualnimi različnimi pogoji rasti, postavljajo v ospredje nov faktor kakovosti lesa — vpliv dednosti. Ta problem pri jesenovini doslej ni bil obravnavan. Gotovo pa je, da zasluži pozornost.

4. POVZETEK

Opravljen je bil preiskava lesa velikega jesena (*Fraxinus excelsior* L.). V tej razpravi je obdelano gradivo s 14 raziskovalnih ploskev na območju Slovenije, na nadmorskih višinah od 200 do 740 m. Na vsaki ploskvi smo izbrali po 5 modelnih dreves, pretežno iz vladajočega razreda. Skupaj je to 70 dreves, ki jih smemo šteti za predstavnike potencialne sposobnosti jesenovih rastišč na obravnavanem območju. Starost modelnih dreves je od 54 do 120 let, pretežno pa od 60 do 80 let.

Ugotovljene poprečne vrednosti širine branike 2,7 mm, prostorninske teže v zračno suhem stanju 717 kpm/m³, tlačne trdnosti 636 kp/cm², upogibne trdnosti 1350 kp/cm², udarne upogibne trdnosti 0,96 kpm/cm² in elastičnostnega modula 145.000 kp/cm² so večje, kot jih navaja literatura za področja Srednje in Severne Evrope. To potrjuje v uvodu izraženo domnevo, da so jesenova rastišča v Sloveniji zelo primerna za proizvodnjo visoko vrednega lesa.

Za preiskane lastnosti so navedene ekstremne vrednosti, njih razmerja in variacijski koeficienti. Najmanj variabilna je prostorninska teža z razponom ekstre-

mov 1 : 1,7, najbolj pa dinamična trdnost, kjer so skrajne vrednosti v razmerju 1 : 8,1.

Posamezna rastišča kažejo različno variabilnost, vendar Bartlettov test ne potrjuje signifikantnosti teh razlik.

Variacijski koeficienti drevesnih poprečij na posameznih ploskvah so večji od variacijskih koeficientov ploskovnih poprečij. To pomeni, da so razlike med drevesi na ploskvah v mnogih primerih večje od razlik med ploskvami. Vrednost variance med ploskvami je le 12 do 70 % variance med drevesi. Na osnovi navedenega upravičeno domnevamo, da je kakovost jesenovine v večji meri odvisna od individualnih pogojev rasti posameznih dreves kot od geološke podlage in makroklimne rastišča.

Odnos med težo in trdnostjo jesenovine je prikazan s kvalitativnimi števili, ki so v poprečju za tlačno trdnost 8,9, za upogibno trdnost 18,8 in za udarno trdnost 1,84. Razponi med vzorci so znatni, medtem ko razlike med rastišči niso velike. Po Moninovi klasifikaciji se obravnavana jesenovina uvršča v razred zelo dobre kakovosti.

Izenačenje po metodi najmanjših kvadratov kaže linearen odnos med težo in trdnostjo. Vzporedno s težo rastejo trdnost in elastičnostni modul, vendar se v posameznih primerih pojavljajo znatni odkloni. Posebej velja to za udarno upogibno trdnost, ki tudi pri enako težkem lesu variira v širokem območju. Na osnovi izračunanih korelacijskih koeficientov lahko iz sprememb prostorninske teže linearno deduciramo 46 % variance tlačne trdnosti, 59 % variance upogibne trdnosti, 41 % variance udarne trdnosti in 49 % variance E-modula.

Dinamična trdnost je v slabi korelaciji s statično trdnostjo. Tudi povezanost z E-modulom je zelo nezanesljiva. Udarne upogibne trdnosti ni mogoče oceniti na osnovi statičnih poizkusov, temveč je potrebno meriti opravljeno delo neposredno pri dinamičnih obremenitvah.

Jesenova črnjava ni patološkega izvora, temveč je posledica fizioloških procesov, ki so odvisni od raznih okolnosti. Jesen kaže latentno fiziološko nagnjenost k tvorbi črnjave, ki se pojavi in razvije v času, na mestu in v obsegu, kot narekujejo posebne okoliščine. Jesenova črnjava je fakultativna v pogledu časa nastanka, ki je lahko zelo različen, v pogledu mesta v deblu in v pogledu obsega, ki variira v širokem intervalu.

Mikroskopske preiskave črnjave v nobenem primeru ne kažejo prisotnosti gliv ali kakršnih koli deformacij celičnih sten, temveč le drobna zrnca v vegetativnih celicah vzdolžnega parenhima in strženovih trakov. Ta zrnca so izotropna in vsebujejo čreslovine ter so v lumenih celic, kjer so večinoma prislojena na celične stene, vendar v notranjost membrane ne prodro.

Preiskave mehaničnih lastnosti kažejo v črnjavi za 2—5 % večje vrednosti kot v beljavi. Te razlike pa niso pogojene s samim procesom črnjave, temveč so le posledica centričnega položaja črnjave. Ugotovitev, da je črnjava v pogledu mehaničnih lastnosti enakovredna in celo močnejša od beljave, je predvsem pomembna za vrednotenje jesenovine kot industrijske surovine.

Razporeditev teže lesa v vzdolžni smeri je različna. V večini primerov kaže jesen najtežji les v dolnjem delu debla. Razlike ne presežejo vrednosti 6 %.

Večja so nihanja v horizontalni smeri. Od sredine debla navzven rastejo teža, trdnost in E-modul do določene maksimalne vrednosti, nato pa upadajo do oboda. Razlike med osrednjim in perifernimi deli debla so s starostjo drevesa vse večje,

posebno še v primerih slabega priraščanja. V perifernih delih 100 let starih dreves ugotavljamo zmanjšanje prostorninske teže lesa za 18 % ter trdnosti in E-modula za 26 do 39 %.

Kulminacija teže in trdnosti se največkrat pojavlja v delih debla, ki so bili zgrajeni v starosti 30 do 40 let. Ta doba pa ni konstantna in je predvsem odvisna od intenzivnosti priraščanja.

Trdnost lesa upada hitreje kot njegova teža. To se pravi, da se v smeri od sredine debla proti obodu oziroma s starostjo drevesa spreminja tudi razmerje med težo in trdnostjo. Pri 100 let starih drevesih ugotavljamo v perifernih delih debla znižanje kvalitativnih števil za 13 do 18 %.

Jesen kot svetlobno drevo močno reagira na preredčenje. Vzporedno s povečanjem prirastka se povečajo tudi teža in mehanske lastnosti lesa. Učinek preredčenja na kakovost lesa pa je s starostjo drevesa vse manjši.

Odnosi med širino branike in lastnostmi lesa so izenačeni po metodi najmanjših kvadratov. Prostorninska teža v poprečju raste s širino branike. Do širine 2 mm je porast velik, pri večjih širinah pa vse manjši. Odnos med širino branike in trdnostjo je do širine branik 3 mm podoben odnosu s prostorninsko težo. Pri večjih širinah pa trdnost kulminira in nato polagoma upada. Upadanje je razmeroma majhno, tako da je poprečna trdnost lesa s 5 do 6 mm širokimi branikami še vedno večja od splošnega poprečja.

Koleracijske krivulje teže in trdnosti se ujemajo le v prvem delu, medtem ko v področju širokih branik potekajo različno. Različno obnašanje teže in trdnosti je delno pojasnjeno z različnim položajem vzorcev v deblu.

Vpliv intenzivnosti priraščanja na lastnosti lesa je odvisen od rastišča, od individualnih pogojev rasti posameznih dreves in od starosti. S starostjo oziroma z oddaljenostjo od sredine debla upadajo teža in trdnost tudi v primerih, ko širina branike ostane nespremenjena.

Na osnovi izračunanih korelacijskih indeksov ugotavljamo, da je korelacija med širino branike in lastnostmi lesa ohlapna. Iz sprememb širine branike lahko pojasnimo le 23 % variance prostorninske teže, 20 % variance statične trdnosti in E-modula ter komaj 10 % variance dinamične trdnosti. Variabilnost teže in trdnosti je tudi pri enako širokih branikah izredno velika. V največji meri velja to za udarno upogibno trdnost.

Širina branike je lahko kriterij kakovosti jesenovine le v poprečju velikega števila vzorcev; za presojo posameznih primerov pa je njena vrednost problematična. Le za ekstremno ozke branike lahko zanesljivo trdimo, da pomenijo vedno slabo kakovost.

Najkvalitetnejša jesenovina v poprečju je v intervalu širine branik od 3 do 4 mm. Na splošno pa je za tehniko poraben les s širinami od 1,5 do 6 mm, pri čemer je treba računati z znatnim deležem primerov slabše kakovosti, ki jih na osnovi širine branik ni mogoče izločiti.

Delež poznega lesa v braniki se giblje pri vzorcih najboljše kakovosti med 63 in 78 %, pri vzorcih najslabše kakovosti pa med 28 in 47 %. Manj prepričljive rezultate so pokazali vzorci poprečne trdnosti, pri katerih variira delež poznega lesa v širokem razponu od 31 do 74 %. Z ozirom na to, da se v navedeni interval uvršča nad 90 % vseh vzorcev, smemo delež poznega lesa označiti kot nezanesljiv kriterij trdnosti.

Izdelana je bila metoda za determinacijo tenzijskega lesa jesenovine. Postopek temelji na barvanju mikroskopskih preparatov s kongo rdečilom in na uporabi ultravijoličnih žarkov, pri čemer membrane tenzijskega lesa fluorescirajo v izrazito živordečem barvnem tonu, medtem ko preostalo tkivo ostane temno. Metoda je uporabna tudi za druge vrste lesa.

V primerjavi s splošnim poprcčjem so pokazali vzorci s tenzijskim lesom slabše mehanične lastnosti, in sicer kvalitetno število tlaka za 19 %, kvalitetno število upogiba za 12 % in dinamično kvalitetno število za 4 %. Slednja vrednost statistično ni zanesljiva. Tenzijski les pomeni torej negativno postavko za statično trdnost jesenovine, medtem ko njegov vpliv na dinamično trdnost ni potrjen.

Največja dinamična trdnost je bila ugotovljena na rastišču, ki ni jesenovo, temveč bukovo — *Dentario-Fagetum aceretosum*. Tudi jesenova rastišča kažejo na splošno trden les, vendar tudi poprečne in celo manjše vrednosti. Navedena ugotovitev nakazuje možnost razširitve jesenovih kultur na ustrezna področja *Fagetuma*.

Kakovost jesenovine je v večji meri odvisna od režima talne vode. Najboljša kakovost se vselej pojavlja le na svežih in nikoli ne na izrazito suhih ali prevlažnih tleh. Na suhih tleh vedno ugotavljamo majhen prirastek, majhno prostorninsko težo in majhno trdnost. Tudi za prevlažna tla so značilne slabe mehanične lastnosti lesa, sicer pa velik prirastek in velika prostorninska teža.

Ugotovljena je razmeroma tesna korelacija med velikostjo krošnje in kakovostjo lesa. Najboljša kakovost se pojavlja le pri drevesih z dobro razvitimi, vendar ne prevelikimi krošnjami. Njihov položaj v sestoji lahko označimo kot zmerno vladajoč. Drevesa s prekomerno razvitimi krošnjami so pokazala na splošno poprečne in velike vrednosti, vendar ne največjih. Slabo kakovost ugotavljamo vedno pri drevesih z majhnimi krošnjami, v več primerih pa tudi pri drevesih z razmeroma dobro razvitimi krošnjami. Zdi se, da je pogoj optimalno oblikovane krošnje nujen, ne pa tudi zadosten za doseg dobre kakovosti.

Velike kvalitetne razlike med drevesi na istem in enakem rastišču, katerih ni mogoče tolmačiti z različnimi pogoji rasti, predstavljajo v ospredje nov faktor kakovosti lesa — vpliv dednosti, ki doslej pri jesenovini še ni bil obravnavan.

UNTERSUCHUNGEN DES HOLZES DER GEMEINEN ESCHÉ

(*Fraxinus excelsior* L.)

Zusammenfassung

Untersucht wurde das Holz der gemeinen Esche (*Fraxinus excelsior* L.). Die Grundlagen für die vorliegende Arbeit boten 14 Versuchsf lächen in Slowenien in Meereshöhen von 200 bis 740 m. Insgesamt 70 behandelten Modellstämme im Alter von 54 bis 120 Jahren können als Repräsentanten der potentiellen Leistungsfähigkeit des genannten Gebietes angesehen werden.

Die ermittelten Durchschnittswerte der Ringbreite 2,7 mm, der Rohwichte des luft-trockenen Holzes 717 kp/m³, der Druckfestigkeit 636 kp/cm², der Biegefestigkeit 1350 kp/cm², der Schlagbiegefestigkeit 0,96 kpm/cm² und des Elastizitätsmoduls 145.000 kp/cm² lassen den Schluss zu, dass die Eschenstandorte in Slowenien für die Produktion hochwertigen Holzes gut geeignet sind.

Für die untersuchten Eigenschaften sind Extremwerte und Variationskoeffizienten angegeben. Am wenigsten variabel ist die Rohwichte mit einer Spanne von 1:1,7. Die Extremwerte der statischen Festigkeit sind im Verhältniss 1:2,5, und die der dynamischen Festigkeit sogar 1:8,1. An den einzelnen Versuchsf lächen vorkommende unterschiedliche Variabilität ist statistisch nicht gesichert.

Die Variationskoeffizienten der Stammittelwerte an den einzelnen Versuchsflächen sind oft grösser als die Variationskoeffizienten der Flächenmittelwerte. Daraus folgert, dass die Qualität des Eschenholzes mehr von den individuellen Wuchsbedingungen der Stämme als von der geologischen Unterlage und dem Makroklima beeinflusst ist.

Die ermittelten Qualitätszahlen betragen: für die Druckfestigkeit 8,9, für die Biegefestigkeit 18,8 und für die dynamische Festigkeit 1,84. Einzelne Proben zeigen bedeutende Abweichungen, während die Flächenmittelwerte nur wenig verschieden sind.

Zwischen der Rohwichte und den Festigkeitseigenschaften bestehen deutlich lineare Beziehungen. Aus den Veränderungen der Rohwichte können linear abgeleitet werden: 46 % der Streuung der Druckfestigkeit, 59 % der Streuung der Biegefestigkeit, 41 % der Streuung der Schlagbiegefestigkeit und 49 % der Streuung des E-Moduls. Aus den statischen Festigkeitseigenschaften und dem elastischen Verhalten des Holzes können keine sichere Schlüsse auf die dynamische Festigkeit gezogen werden.

Der Eschenbraunkern ist nicht auf pathologische Ursachen sondern auf eine physiologische Reaktion zurückzuführen. Die Esche besitzt eine latente physiologische Neigung zur Braunkernbildung, welche sich durch verschiedene äussere Veranlassungen auswirken kann. Der Eschenkern ist fakultativ in Bezug auf Zeitpunkt der Entstehung, Umfang und Vorkommen im Stamm.

Durch die Braunkernbildung wird die mikroskopische Feinstruktur des Holzes in keiner Weise verändert. Zellformen und Zellwände bleiben intakt. Die Verkernung äussert sich darin, dass die Speicherzellen mit rotbraunen Kernstoffen angefüllt sind. Diese Einlagerungen kommen als isotrope gerbstoffhaltige Körnchen in Zellinneren oder als dünne Wandbeläge vor, ohne in die Zellwände einzudringen.

Im Vergleich mit dem weissen Splintholze ergaben die Kernholzproben um 2 bis 6 % höhere Durchschnittswerte. Diese Unterschiede sind als Folge der zentrischen Lage des Kerns und nicht der Verkernung anzusehen. Der Eschenbraunkern kann in Bezug auf die mechanischen Eigenschaften dem weissen Splintholz praktisch sogar als überlegen bewertet werden.

Die Schwankungen der Rohwichte in der Längsrichtung des Stammes sind verschieden und relativ klein. Das schwerste Holz befindet sich vorwiegend in den unteren Stammteilen.

In der Querrichtung sind die Unterschiede bedeutend. Von innen nach aussen nehmen die Rohwichte und die Festigkeitseigenschaften zunächst leicht zu und danach bis zu der Peripherie stark ab. Die Höchstwerte befinden sich meistens in den Stammteilen, die im Alter von 30 bis 40 Jahren angelegt wurden. Die Unterschiede zwischen den inneren und äusseren Stammteilen werden mit fortschreitendem Alter immer grösser. Für das periphere Splintholz der 100 — jährigen Stämme konnte eine Abnahme der Rohwichte um 18 % und der Festigkeit um 26 bis 39 % festgestellt werden.

Die Abnahme der Festigkeit ist intensiver als die der Rohwichte. Damit ändern sich von innen nach aussen, bezugsweise mit dem Alter des Stammes, auch die Verhältnisse Festigkeit: Rohwichte. Das Splintholz der 100 — jährigen Stämme zeigte eine Abnahme der Qualitätszahlen von 13 bis 18 %.

Als Folge der Durchforstungen ist immer eine Zunahme der Rohwichte und der Festigkeitseigenschaften festzustellen. Bei alten Stämmen ist der Einfluss der Durchforstung kleiner.

Die Beziehungen zwischen Ringbreite und Holzeigenschaften sind mit den Regressionskurven nach der Methode der kleinsten Quadrate dargestellt. Mit der Ringbreite nimmt die Rohwichte des Eschenholzes zu. Die Zunahme ist im Bereiche der engen Jahrringe bis zu einer Breite von 2 mm sehr intensiv und wird mit steigender Ringbreite immer kleiner. Sämtliche untersuchten Festigkeitseigenschaften verhalten sich im Bereiche der engen Jahrringe ähnlich wie die Rohwichte. Oberhalb der Ringbreite von 3 mm erreichen sie jedoch einen Höchstwert und nehmen nachher langsam ab. Verschiedenes Verhalten der Rohwichte und der Festigkeit im Bereiche der breiten Jahrringe kann teilweise durch die Probenlage im Stamme geklärt werden.

Die Schwankungen der Holzeigenschaften, besonders die der dynamischen Festigkeit sind auch bei gleichbleibender Ringbreite sehr gross. Auf Grund der berechneten Korrelationsmasse ist anzunehmen, dass die Beziehungen zwischen Ringbreite und Holzeigenschaften sehr locker sind. Mit den Veränderungen der Ringbreite können 23 % der Streuung der Rohwichte, 20 % der Streuung der statischen Festigkeit und kaum 10 % der Streuung der dynamischen Festigkeit geklärt werden.

Als Kriterium der Holzgüte darf die Ringbreite nur für die Durchschnittswerte und nie für die Einzelproben benutzt werden. Nur extrem engringiges Holz ist stets als minderwertig zu beurteilen.

Die beste Qualität des Eschenholzes ist im Bereiche der Ringbreiten von 3 bis 4 mm zu erwarten. Für technische Zwecke verwendbar ist jedoch das Holz mit einer Spanne der Ringbreiten von 1,5 bis 6 mm, wobei mit einem beträchtlichen Anteil niedriger Qualität zu rechnen ist.

Der Spätholzanteil streut bei den Proben höchster dynamischen Festigkeit von 63 bis 78 % und bei den Proben niedrigster Festigkeit von 28 bis 47 %. Weniger eindeutig sind die Ergebnisse der Proben mittlerer Festigkeit, für die eine Spanne des Spätholzanteils von 31 bis 74 % festgestellt wurde. Da in den letztgenannten Bereich über 90 % aller untersuchten Proben eingegliedert werden können, muss der Spätholzanteil als unsicheres Mass der dynamischen Festigkeit bezeichnet werden.

Im Holz der Esche ist Richtgewebe kaum erkennbar zu machen. Gute Ergebnisse wurden mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie an den mit Kongo — rot angefärbten Dünnschnitten erreicht. Die Faserwände des Zugholzes fluoreszieren intensiv rot, während normales Gewebe dunkel bleibt. Die Methode ist auch für andere Holzarten brauchbar.

In Vergleich mit den Gesamtdurchschnitten ergaben die Zugholzproben niedrigere Qualitätszahlen und zwar für die Druckfestigkeit um 19 %, für die Biegefestigkeit um 12 % und für die dynamische Festigkeit um 4 %.

Die Unterschiede in der Holzqualität zwischen den einzelnen Versuchsflächen sind klein und nur selten statistisch gesichert. An den gleichen Unterlagen und in den gleichen oder ähnlichen Pflanzengesellschaften kommen verschiedene Holzqualitäten vor. Die höchste dynamische Festigkeit wurde nicht an Eschen — sondern an einem Buchensstandorte festgestellt (*Dentario — Fagetum aceretosum*). Auch die Eschenstandorte lieferten im allgemeinen gute, jedoch auch mittlere und niedrige Werte.

Die Güte des Eschenholzes ist weitgehend von den Grundwasserverhältnissen beeinflusst. Die beste Qualität wurde immer nur an frischen und nie an trockenen oder an nassen Böden festgestellt. An trockenen Böden erwachsenes Holz wird engringig, leicht und weniger fest. Auch an nassen Böden muss mit mässigen Festigkeitseigenschaften gerechnet werden, wenn auch das Holz mit breiten Ringen und relativ hohen Rohwichten gekennzeichnet ist.

Zwischen den relativen Kronengrössen und der Holzgüte konnten gute Beziehungen beobachtet werden. Das beste Holz zeigten Stämme mit gut, jedoch nicht übermässig entwickelten Kronen. Ihre Stellung im Bestande kann als mässig herrschende bezeichnet werden.

Die grossen Qualitätsunterschiede zwischen den Stämmen an denselben und gleichen Standorten, die nicht mit verschiedenen Wuchsbedingungen geklärt werden können, deuten auf einen nur wenig erforschten Faktor der Holzgüte — die Erbanlagen.

Literatura

1. Armstrong, F. H.: The mechanical properties of »Black-Heart« Ash wood (*Fraxinus excelsior* L.). Quert. Journal Forestry, 1936
2. Badoux, H.: Grosse Eschen, Schweiz, Z. f. Forstwesen, 1910
3. Bailey, I. W.: Cambium and its derivative tissues. Amer. J. Bot., 1920
4. Bamford, K. F.: Van Rest, E. D.: The relationship between chemical composition and mechanical strenght in the Wood of english ash (*Fraxinus excelsior* L.). J. Bot. 30, 1936
5. Baumann, R.: Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfung in der Materialprüfungsanstalten an der Technischen Hochschule Stuttgart. V. D. I. Forsch. Ing. Wes. Berlin, 1922
6. Benić, R.: Istraživanja o odnosu između širine goda i zone kasnog drveta kod poljskog i običnog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl i *Fr. excelsior* L.). Glasnik za šumske pokuse, knjiga 11, 1953
7. Benić, R.: Širina goda kao činilac kakvoće poljske jasenovine, Šumarstvo, 1955/9
8. Benić, R.: Istraživanja o učešću i nekim fizičkim svojstvima bijeli i srži poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl.). Glasnik za šumske pokuse, knjiga 12, 1956
9. Bosshard, H. H.: Variabilität der Elemente des Eschenholzes in Funktion von der Kambiumtätigkeit. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 1951
10. Bosshard, H. H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen im Holz von *Fraxinus excelsior* L., Berichte der Schweizerischen botanischen Gesellschaft, 1952, B.62

11. Bosshard, H. H.: Der braune Kern der Esche. Holz als Roh- und Werkstoff, 1953
12. Bosshard, H. H.: Zur Physiologie des Eschenbraunkernes. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 1955/9
13. Chewandier, E. — Wertheim, G.: Mémoires sur les propriétés du bois. Paris, 1848
14. Clarke, S. H.: Recent work on the relation between anatomical structure and mechanical strength in English ash (*Frax. excelsior* L.). Forestry, Great Britain, 1935
15. Clarke, S. H.: Comparative importance of various factors in determining the strength of ash. For. Prod. Res. Lab. Princes Risborough, 1935
16. Clarke, S. H.: The structure of the wood of ash. For. Prod. Res. Lab. Princes Risborough, 1935
17. Clarke, S. H.: Home grown timbers, their anatomical structure and its relation to physical properties. Ash — Part III, Princes Risborough, 1935
18. Clarke, S. H.: The influence of cell-wall composition on the physical properties of Beech-wood (*Fagus sylvatica* L.). Forestry, 1936
19. Clarke, S. H.: The distribution, structure, and properties of tension wood in Beech (*Fagus sylvatica* L.). Forestry, 1937
20. Dadswell, H. E.; Wardrop, A. B.: The Structure and Properties of tension Wood. Holzforschung, 1955, Bd. 9
21. Fukarek, P.: Poljski jasen i njegova morfološka varijabilnost (*Fraxinus angustifolia* Vahl = *Fr. oxycarpa* Willd.). Glasnik za šumske pokuse, knjiga 14, 1960
22. Gayer — Fabricius: Die Forstbenutzung, Berlin, 1935
23. Ghelmezeiu, E.: Untersuchungen über die Schlagfestigkeit von Bauhölzern. Holz als Roh- und Werkstoff, 1938
24. Halden, B.: Asken (*Fraxinus excelsior* L.). vid sin nordgräns. Svenska Skogsvarvsföreningens tidskrift, 1928
25. Hartig, R.: Holzuntersuchungen, Altes und Neues, Berlin 1901
26. Horvat, I.: O tehničkim svojstvima američkog jasena. Šumarski list, 1940/4
27. Höhnel, V.: Über das Wasserbedürfnis der Wälder. Zentralblatt f. d. gesamte Forstwesen, 1884
28. Huber, B. und Prütz, G.: Über den Anteil von Fasern, Gefässen und Parenchym am Aufbau verschiedener Hölzer. Holz als Roh- und Werkstoff, 1938
29. Hufnagel, L.: Handbuch der kaufmännischen Holzverwertung und des Holzhandels. Berlin, 1922
30. Huldén, E.: Studien über *Fraxinus excelsior*. Acta botanica fennica, 1951
31. Hunziker, W.: Zur Frage der Höhenverbreitung der Esche, Wallis. Schweiz. Z. f. Forstwesen, 1912
32. Janka, G.: Eschenholz zu Ski. Zentralblatt f. d. gesamte Forstwesen, 1911
33. Jutte, S. M. and Isings, J.: The determination of tension wood in Ash with the aid of phase — contrast microscope. Experientia 1955
34. Klauditz, W.: Forschungsaufgaben zur Klärung der Zusammenhänge der Beziehungen zwischen Bestandserziehung und Güte des Faserholzes. Silvae Orbis, 1944
35. Klauditz, W.: Zur biologisch-mechanischen Wirkung des Lignins im Stammholz der Nadel- und Laubhölzer. Holzforschung, 1952
36. Klauditz, W.: Über den Ligningehalt des Festigungsgewebes einiger Laubhölzer. Holzforschung, 1958
37. Klein, L.: Forstbotanik v Lorey — Weber: Handbuch der Forstwissenschaft, Tübingen 1926
38. Koehler, A.: Causes of brashness in wood. Washington D. C. U. S. Depart. Agricult. For. Prod. Lab. Bull. Nr. 342, 1933
39. Kollmann, F.: Die Esche und ihr Holz. Berlin, 1941
40. Kollmann, F.: Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe. Berlin, 1951
41. Krzysik, F.; Zielinski, R.: Das Eschenholz als Rohstoff in der Holzindustrie. Las Polski, Bd. 18, 1938
42. Kühne, H.: Untersuchungen über einige Eigenschaften des Eschen- und Robinienholzes. Eidgenössische Materialprüfungsanstalt, Zürich, Bericht Nr. 179, 1951
43. Kühne, H.: Über die Festigkeits- und Verformungseigenschaften des braunen Kernholzes der Esche. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 1954
44. Leibundgut, H.: Beitrag zur Rassenfrage bei der Esche. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 1956/3

45. Maurer, E.: Waldbauliche und holzkundliche Untersuchungen an Eschen aus dem Allgäu. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 1963/5
46. Migroet, M.: Untersuchungen über den Einfluss der waldbaulichen Behandlung und der Umweltfaktoren auf den Aufbau und die morphologischen Eigenschaften von Eschendickungen im schweizerischen Mittelland. Mitteilungen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Vol. 32, 1956
47. Monnin, M.: Essais physiques, statiques et dynamiques des bois. Bulletin de la Section Technique de l'aéronautique militaire. Paris 1919
48. Monnin, M.: L'essai des bois. Kongressbuch, Internat. Mat. Prüf. Zürich, A. IE. M., 1932
49. Münch, E., Dieterich, V.: Kalkeschen und Wasserreschen. Silva, Bd. 13, 1925
50. Nördlinger, H.: Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart, 1860
51. Oberli, H.: Einige Untersuchungen über den braunen Kern der Esche. Schw. Zeitschrift für Forstwesen, 1937
52. Paul, B. H.: How growth affects quality in hickory and ash. Woodworking Ind., 1926
53. Paul, B. H.: The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. U. S. Depart. Agr. Techn. Bul. 168, Washington, 1930
54. Pechmann, H.: Untersuchungen über die Festigkeit und Struktur von Eschenholz aus einigen südwestdeutschen Waldgebieten. Forstwissenschaftliches Centralblatt 1956/9
55. Pechmann, H.: Die Auswirkung der Wuchsgeschwindigkeit auf die Holzstruktur und Holzeigenschaften einiger Baumarten. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 1958/11
56. Petračić, A. in Anić, M.: Obični jasen (*Fraxinus excelsior* L.) u Zagrebačkoj gori. Glasnik za šumske pokuse, knjiga 10, 1952
57. Pillow, M. Y.: Characteristics of ash from bottomlands. Southern Lumberman, 1939
58. Pillow, M. Y.: Guides for selecting Ash. Southern Lumberman, 1950
59. Plavšić, M.: Prilog istraživanjima u čistim i mješovitim sastojima poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl). Glasnik za šumske pokuse, knjiga 14, 1960
60. Rancken, T.: Erfarenheter om asken som skogsträd i Finland. Forstling tidskrift, 1934
61. Robič, D.: Razpostranjenost, ekologija in gospodarski pomen jesenovih rastišč v severozahodnem delu Balkanskega polotoka.
62. Rochestere, G. H.: The mechanical properties of Canadian woods together with their related physical properties. Ottawa, Dept. Int. For. Serv. Bull. 82, 1933
63. Sachsse, H.: Untersuchungen über Eigenschaften und Funktionsweise des Zugholzes der Laubbäume. Schriftenreihe der forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, B 35, 1965
64. Sachsse, H.: Eigenschaften, Bewertung und Verwendung von Ahorn- und Eschenholz. Allgemeine Forstzeitschrift, 1966/3
65. Sanio, K.: Anatomie der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). Jahrb. f. wissensch. Botanik, 1873/9
66. Schneider, F.: Untersuchungen über den Zuwachsgang und den anatomischen Bau der Esche. Forstl. Naturw. Zeitschr. 5., 1896
67. Schoenichen, W.: Deutsche Waldbäume und Waldtypen. Jena 1933
68. Schwarz, H.: Untersuchungen über die technischen Eigenschaften des Holzes der auf Flysch- und Kalkboden stockenden Esche im Bereich des Wienerwaldes. Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen, 1952
69. Schwenke, K.-Th.: Untersuchungen über die Holzeigenschaften von Eschen verschiedenen Alters und Standortes. Diss. Hann. — Münden, 1956
70. Siebers, A. M.: The detection of tension wood with fluorescent dyes. Stain Technol. 35, 5, 1960
71. Trendelenburg, R.: Das Holz als Rohstoff. München, 1939
72. Vajda, Z.: Bijeli jasen u prebornoj šumi na Kršu. Šumarski list, 1937/3
73. Wangaard, F.: The mechanical Properties of Wood. New York, 1950
74. Weiser, F.: Beitrag zum Problem der sog. Bodenrassen bei unseren Waldbaumarten, unter besonderer Berücksichtigung der Esche, *Fraxinus excelsior* L. Forstwiss. Centralblatt, 1964/1
75. Zimerle, H.: Beiträge zur Biologie der Esche in Württemberg. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 1942