



# SVOJSTVA DRVA KAO MATERIJALA

Prof.dr.sc. Vlatka Rajčić, dipl.ing.građ.

Građevinski fakultet Sveučilišta u  
Zagrebu

## **Prednosti primjene drva u graditeljstvu**

- mala zapreminska masa (gustoća)
- relativno velika čvrstoća paralelno s vlakancima
- raznovrsne mogućnosti oblikovanja (zakrivljenost, ugradivost u različite konstruktivne sustave)
- laka obradivost i estetski dojam

## **Nedostaci primjene drva u graditeljstvu**

- ovisnost kvalitete i ujednačenosti kvalitete o prirodnim resursima (stanište, uvjeti rasta) i utjecaju okoliša (promjene sadržaja vlage)
- potreba za zaštitom od atmosferilija, požara i biotočkih uzročnika propadanja (fizička, konstruktivna, površinska obrada, eventualno i kemijska)
- osjetljivost kvalitete o uvjetima sušenja i skladištenja (dimenzijske promjene i deformiranje)
- cijena (proizvodi od drva i na osnovi drva)

# SVOJSTVA DRVA KAO MATERIJALA

- FIZIČKA (svojstva zbog prirodnog podrijetla – nano / mikro / makro (anatomska građa – anizotropnost i nehomogenost / stanična građa i vlaknasta struktura) razina ustroja i građe gustoća, poroznost, sadržaj vlage, sorpcija, dimenzijske / volumne promjene)
- KEMIJSKA (svojstva zbog prirodnog podrijetla – molekularna razina ustroja / kemijski sastav drva i sastav drvne tvari, aciditet, alkalitet)
- MEHANIČKA (čvrstoća, elastičnost, tvrdoća)
- TERMIČKA (toplinsko rastezanje, koeficijent vodljivosti topline, specifična toplina, koeficijent difuzije topline)
- ELEKTRIČNA (vodljivost / otpor, faktor energije, dielektrična konstanta)
- AKUSTIČNA (vodljivost zvuka, rezonancija, apsorpcija)
- ESTETSKA (boja, sjaj, miris, finoća, tekstura)

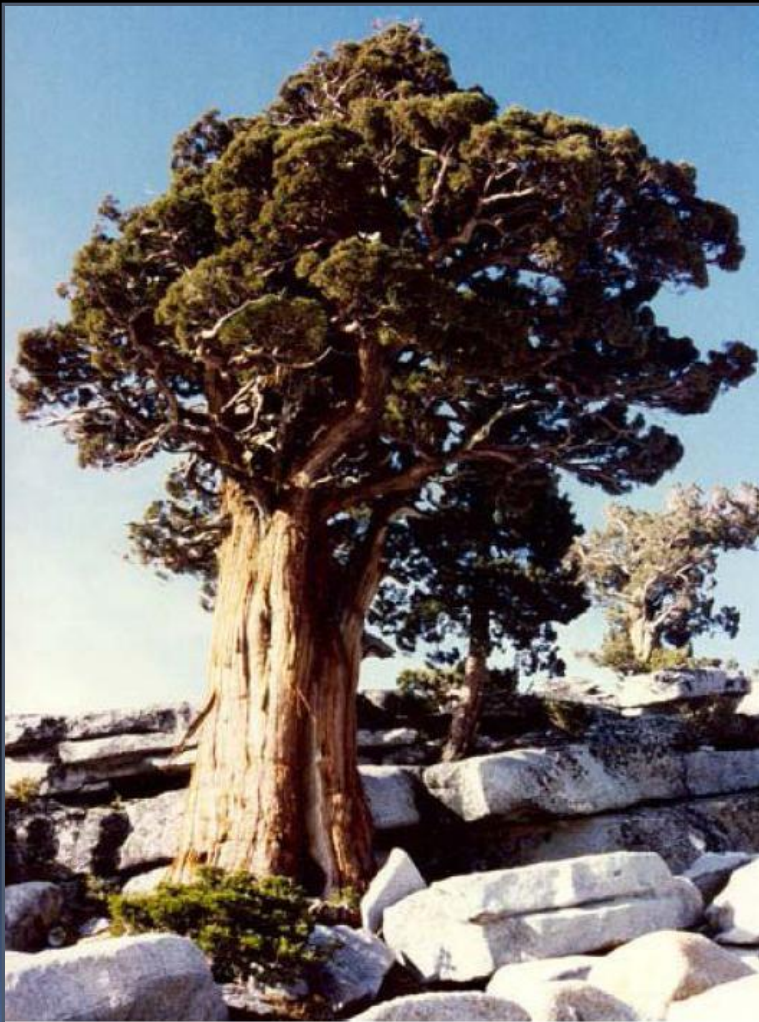
# PRIRODNO PODRIJETLO DRVA I UTJECAJ NA SVOJSTVA – UVOD

- Niz kemijskih i fizikalnih promjena kojima je izloženo drvo za vanjsku uporabu smanjuju njegovu estetsku vrijednost i postojanost.
  - Propadanje je vezano uz životnu ulogu drva u stablu.
- **Drvo je materijal iz prirode, ali...**

Utemeljena znanju o svojstvima drva u prirodi:

- drvo živoga stabla je mokro jer mu je osnovna funkcija provođenje vode do krošnje i natrag, omogućujući izmjenu tvari u fotosintezi.
  - način i stanje pri primjeni – suho drvo
- u prirodi je korom zaštićeno od djelovanja gljivica i insekata, od sunca i isušivanja
  - način i stanje pri primjeni – bez prirodne zaštite (kore).
- svrha u prirodi – strunuti nakon ispunjavanja životnih zadaća
  - imperativ primjene – želimo da što kasnije / nikada ne strune.

- Drvo je sekundarni, odrvenjeni dio stabljike živoga stabla.
- Stablo ima tri osnovna dijela različitih fizioloških i mehaničkih zadaća:
  - Lišće, korijen i odrvenjeni dio (trupac / deblo i granje)



## BIOLOŠKA      zadaća

## MEHANIČKA

### LIŠĆE

prijem svjetla i  
CO<sub>2</sub>, emisija kisika

otpor vjetru

### GRANJE

transport tekućina

potpora (sebi i  
krošnji)

### DEBLO

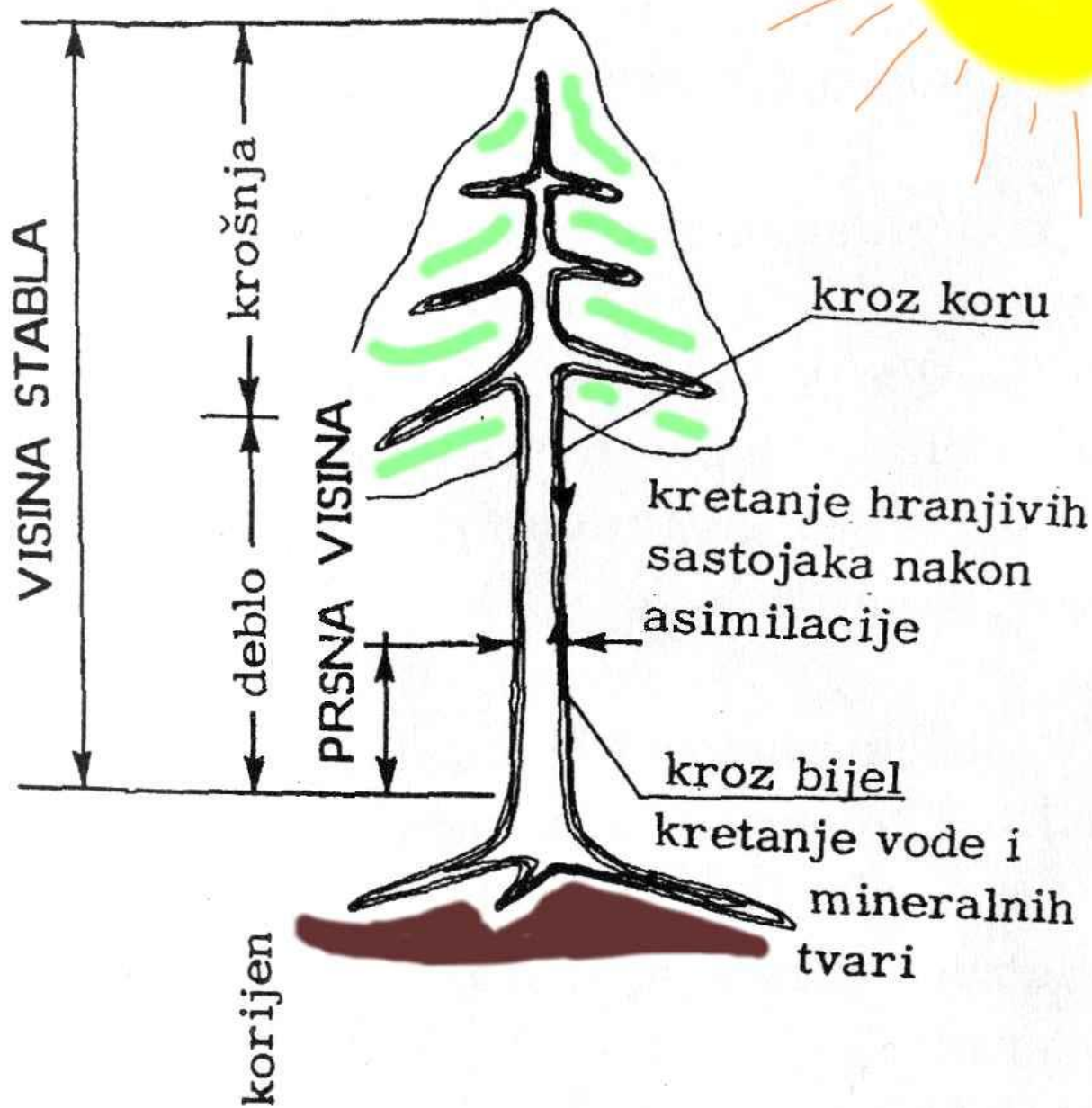
transport tekućina

potpora i  
usmjeravanje  
rasta

### KORIJENJE

prijem vode  
hranjivih tvari

sidrenje i  
temeljenje



## RAST I ANATOMSKA GRAĐA

- Shematski prikaz stabla
- Korijen i krošnja (fiziološka funkcija)
- Deblo – mehanička funkcija
- Prikaz strujanja hranjivih sastojaka

## • Odnos između visine i godina starosti stabla

Vrsta drva	Starost drva u godinama				
	40	60	80	100	120
	Visina stabla u metrima				
Hrast	7 — 18	11 — 24	15 — 28	17 — 31	20 — 33
Bukva	5 — 17	9 — 24	12 — 30	15 — 35	17 — 38
Jela	3 — 13	8 — 25	13 — 28	15 — 32	17 — 34
Bor	6 — 18	8 — 22	10 — 26	11 — 29	21 — 31

## • Odnos između debljine i godina starosti stabla

Vrsta drva	Starost drva u godinama				
	40	60	80	100	120
	Debljina u cm u visini od 1,30 m od terena				
Hrast	6 — 16	13 — 25	20 — 23	27 — 40	32 — 47
Bukva	4 — 14	11 — 23	14 — 29	18 — 36	21 — 43
Jela	2 — 12	7 — 24	13 — 34	18 — 41	23 — 46
Bor	8 — 16	11 — 23	15 — 33	18 — 43	25 — 49

# PRIRODNO PODRIJETLO DRVA I UTJECAJ NA SVOJSTVA

- Drvo je *anizotropan materijal* (različita svojstva po smjerovima) i *nehomogen*.
- **Anizotropija**
- Opterećenja stabla vjetrom veće je od opterećenja vlastitom masom:
  - Savijanje stabla izaziva velika vlačna naprezanja na strani udara vjetra.
- Stablo zato razvija uzdužno orijentirane elemente građe
  - Stanice čija je vlačna čvrstoća puno veća od tlačne čvrstoće.
- U staničnoj stijenci prevladavaju lanci celuloze koja je uzdužno ulančana i “spakirana” u tijesno povezane snopiće.
- U uzdužnom smjeru orijentirano je najviše elemenata građe koje bočno (lateralno ili poprečno) povezuje tzv. središnja lamela
  - Ligninom bogati sloj koji stanice “lijepi” jednu o drugu.



# PRIRODNO PODRIJETLO DRVA I UTJECAJ NA SVOJSTVA

- Kohezijska čvrstoća lignina je slaba
  - Čvrstoća drva na vlak okomito na vlakanca nekoliko je puta manja od vlačne čvrstoće paralelno s vlakancima
- Drvo je zato najčvršće u uzdužnom smjeru, čvrstoća je manja u radijalnom smjeru (od srčike prema kori), a najmanje je u tangentskom smjeru (u smjeru tangente na godove stabla).
- **Nehomogenost drva**
  - Posljedica različitih funkcija u životu stabla:
  - Piljenjem trupca treba osigurati sirovinu odgovarajuće kvalitete za građevne proizvode.

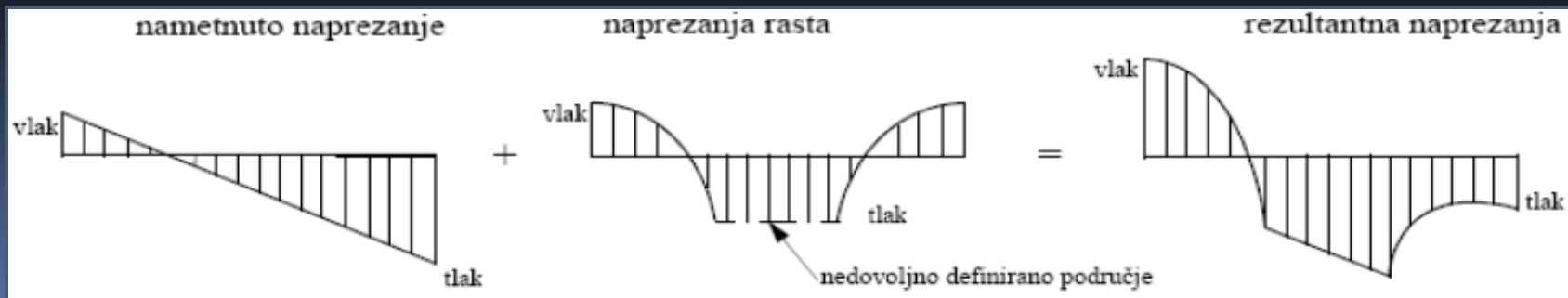
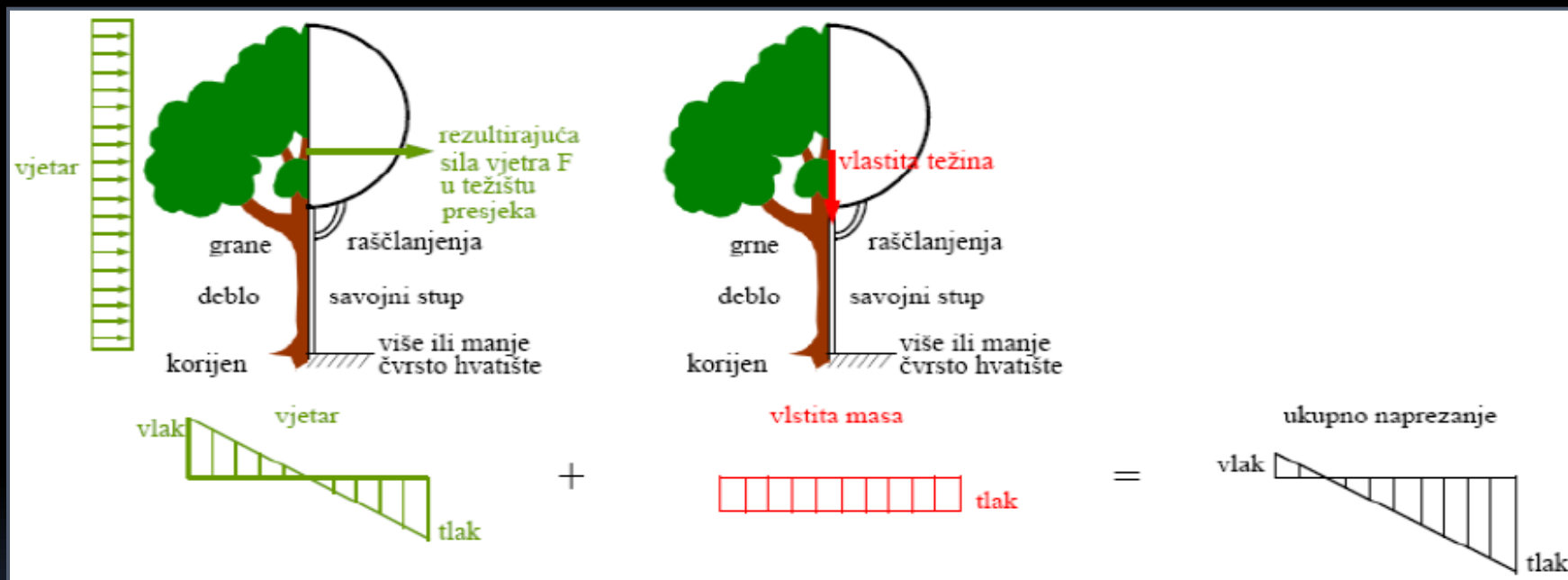


# PRIRODNO PODRIJETLO DRVA I UTJECAJ NA SVOJSTVA

- Drvo je stanično ustrojen materijal
  - uzdužne cjevaste stanice relativno tankih staničnih stijenki.
  - stanične stijenka savijaju se i urušavaju već pri relativno malim tlačnim naprezanjima.
- Osna tlačna čvrstoća drva upola je manja od osne vlačne čvrstoće (npr. tlačna čvrstoća čiste ravne smrekovine iznosi oko 50 N/mm<sup>2</sup>, a osna vlačna čvrstoća je oko 90 N/mm<sup>2</sup>).
  - Drvo ranije “popušta” na tlačnoj nego na vlačnoj strani, međutim, ne urušava se pod djelovanjem vjetra zbog ravnomjerne iskorištenosti materijala (područja različitih čvrstoća pravilno se raspoređuju u deblu) različitih čvrstoća.

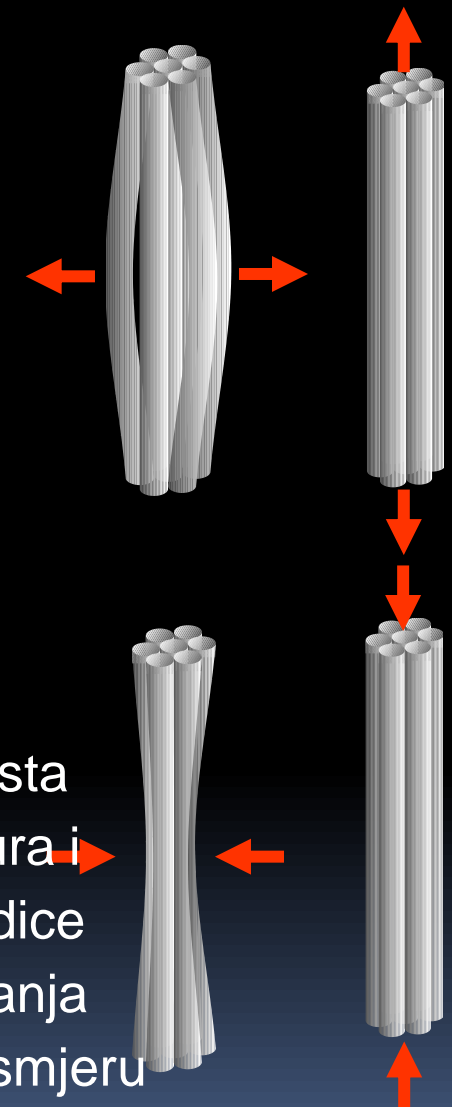
# PRIRODNO PODRIJETLO DRVA I UTJECAJ NA SVOJSTVA

- Funkcije osnovnih dijelova stabla



# PRIRODNO PODRIJETLO DRVA I UTJECAJ NA SVOJSTVA

## Ustroj i građa drva



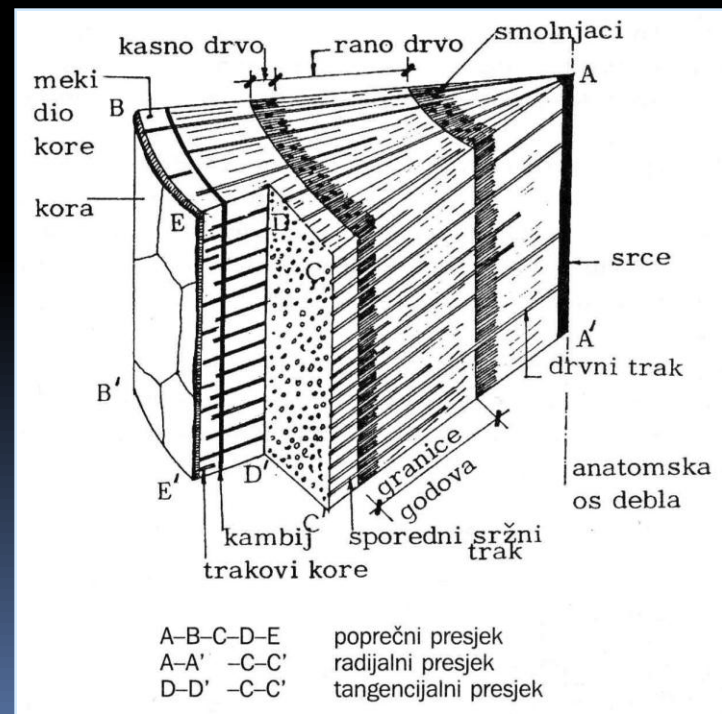
Vlaknasta struktura i posljedice djelovanja sile u smjeru i okomito na vlakna

Shematski prikaz strukturnih ravnina ustroja drva (Wimmer, 2002.)

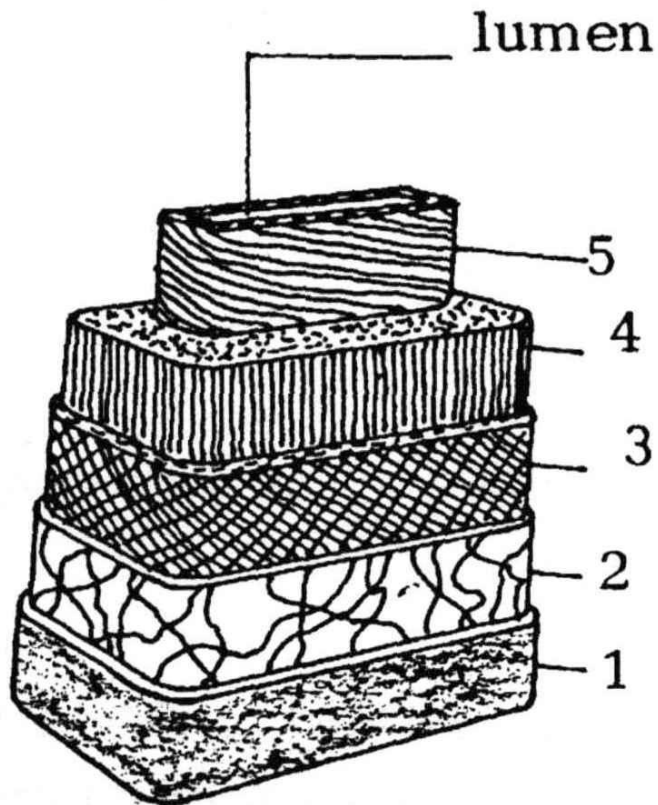


# PRIRODNO PODRIJETLO DRVA I UTJECAJ NA SVOJSTVA

- **Tri specifična presjeka makro-ustroja:**
  - poprečni ili čelni presjek (rez okomito na os trupca),
  - radijalni presjek (rez duž osi trupca i približno paralelan sa sržnim trakcima)
  - tangenti presjek (rez duž osi trupca, okomit na sržne trakove / paralelan s tangentom na godove)



# STANICA – OSNOVNI ELEMENT GRAĐE DRVA



Model stijenke traheide četinjače

model stijenke četinjače

1. središnja lamela
2. primarna stijenka
3. vanjski sloj sekundarne stijenke
4. centralni sloj sekundarne stijenke
5. unutarnji sloj sekundarne stijenke (tercijalni sloj)

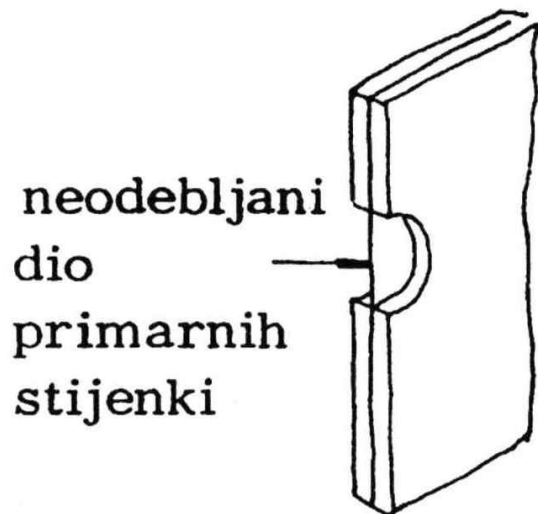
Odebljavanje primarne stijenke tijekom rasta

Stvaranje i odebljanje sekundarne stijenke u tri sloja (proces lignifikacije ili odrvenjavanja sporiji od procesa jačanja sekundarne stijenke)

- **Mrtva stanica** – stijenka i šupljina-lumen (nema sadržine) ispunjena vodom ili zrakom
- **Živa stanica** - stijenka (membrana) i sadržina (protoplast)

- **Jažice** – posebni otvori u sekundarnim stijenkama (omogućavaju proces intenzivnog strujanja - otežano u odebljalim stijenkama)

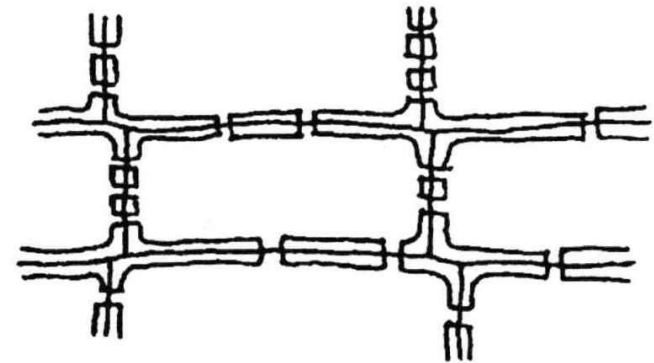
jednostavna jažica (dugo živi) i služi za deponiranje hrane



jednostavna jažica koja služi za deponiranje hrane



položaj jednostavnih jažica u stijenki



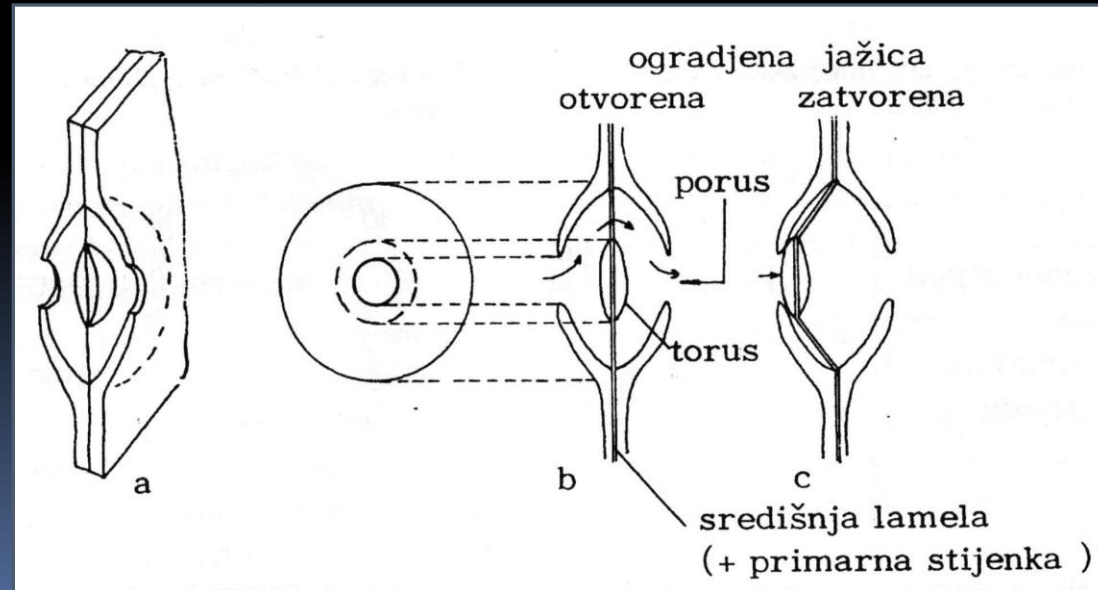
Položaj jednostavnih jažica u stijenki traheide

- **Traheide** - provodno tkivo elem. građe drva

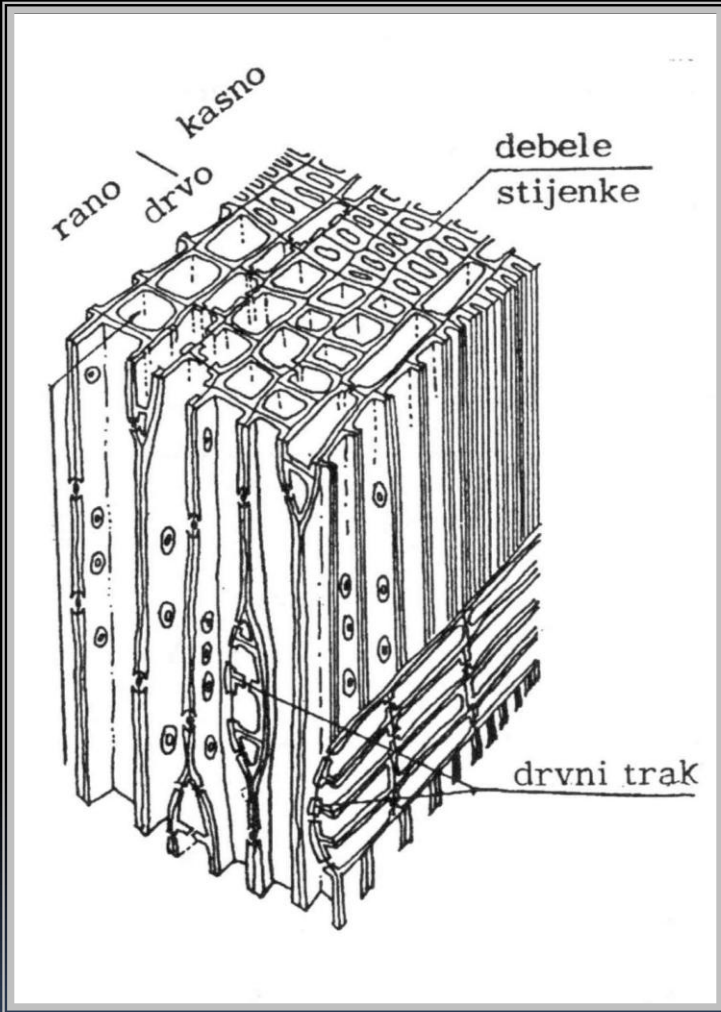


# PRIRODNO PODRIJETLO DRVA I UTJECAJ NA SVOJSTVA

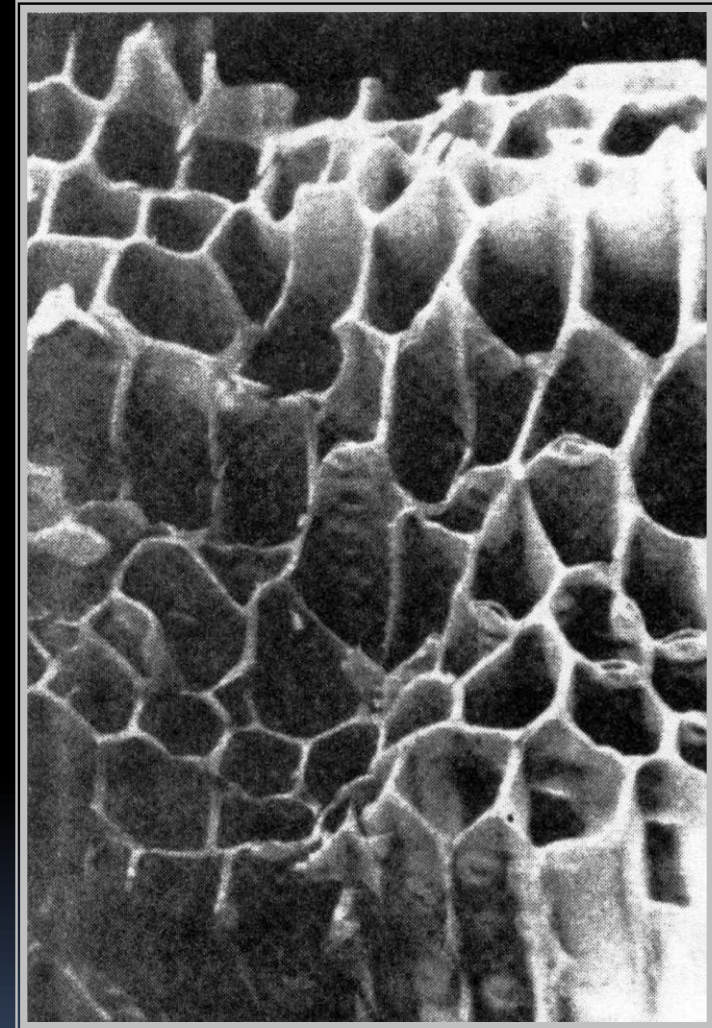
- Stanice su međusobno povezane *jažicama*:
  - mali otvori s propusnim membranama različitih oblika i veličina
  - slično ventilima, predstavljaju parove otvora na stijenkama susjednih stanica i omogućavaju okomito i vodoravno kretanje vode u drvetu.
- Većina jažica zatvara se nakon osržavanja (pogotovo nakon sušenja):
  - membrane jažica povlače se na rubove otvora.
  - drvo štiti od neželjenog prolaza vode i širenja biološke zaraze kroz otvore u jažicama.



- **Traheide** kao dugačke **tankostijene stanice širokih otvora**. Provodnici vode - tvore **rano drvo** kod četinjača



- **Traheide** kao dugačke **vlaknaste stanice debelih stijenki**. Tvore **kasno drvo** kod četinjača i odlučne su za mehanička svojstva.
- **Parenheim** (aksijalni, radijalni, epitelni)



Mikroskopski prikaz rasporeda **provodnog** (traheide) i **spremišnog** (parenheim) tkiva četinjača



# KEMIJSKA SVOJSTVA DRVA

Elementarni sastav suhog drva:

- ugljik	50,0 %
- kisik	43,45 %
- vodik	6,0 %
- dušik	0,2 %
- pepeo	0,3 %

- Prva skupina sastojaka – organske i mineralne tvari (pepeo)
- Druga skupina sastojaka – infiltrati (izlučevine koje se ne zadržavaju i nisu sastavni dio stijenke stanice)

Prosječan kemijski sastav stanice četinjace i listače

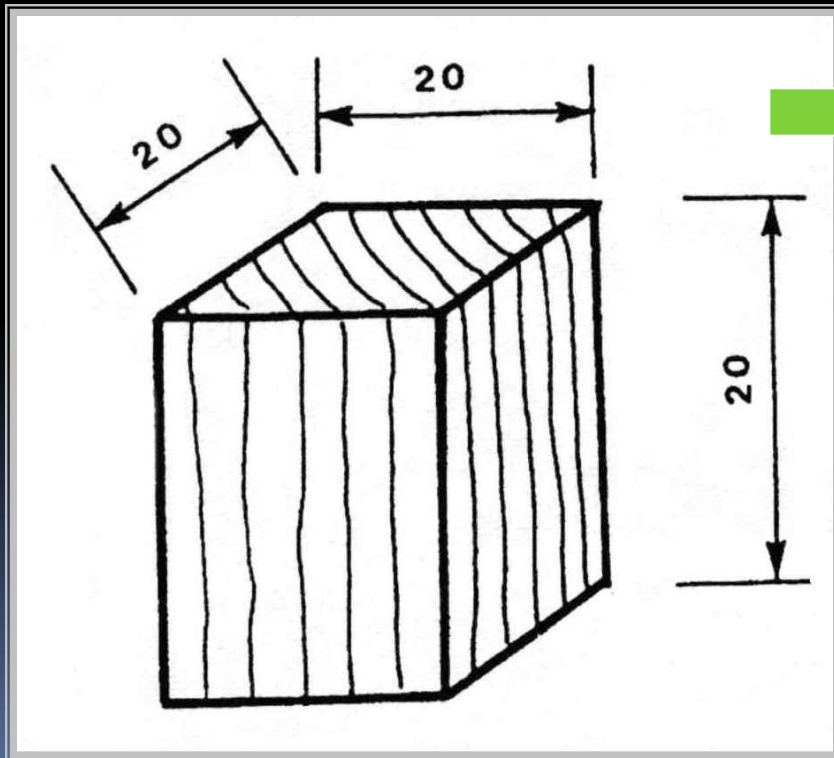
Kemijski sastav drva	četinjace	listače
<b>ugljikohidrati</b>		
a. celuloza	50%	50%
b. hemiceluloza	23%	26%
<b>lignin</b>	27%	24%

# FIZIČKO-KEMIJSKA SVOJSTVA DRVA

## VLAŽNOST DRVA – FIZIČKO SVOJSTVO

Određivanje vlažnosti:

### A) LABORATORIJ – RAZORNE METODE



Sušenje na temp.  $103 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$   
minimum 5 epruveta

$$V(\%) = \frac{G - G_s}{G_s} \times 100$$

$G$  — težina drva prije sušenja

$G_s$  — težina apsolutno suhog drva

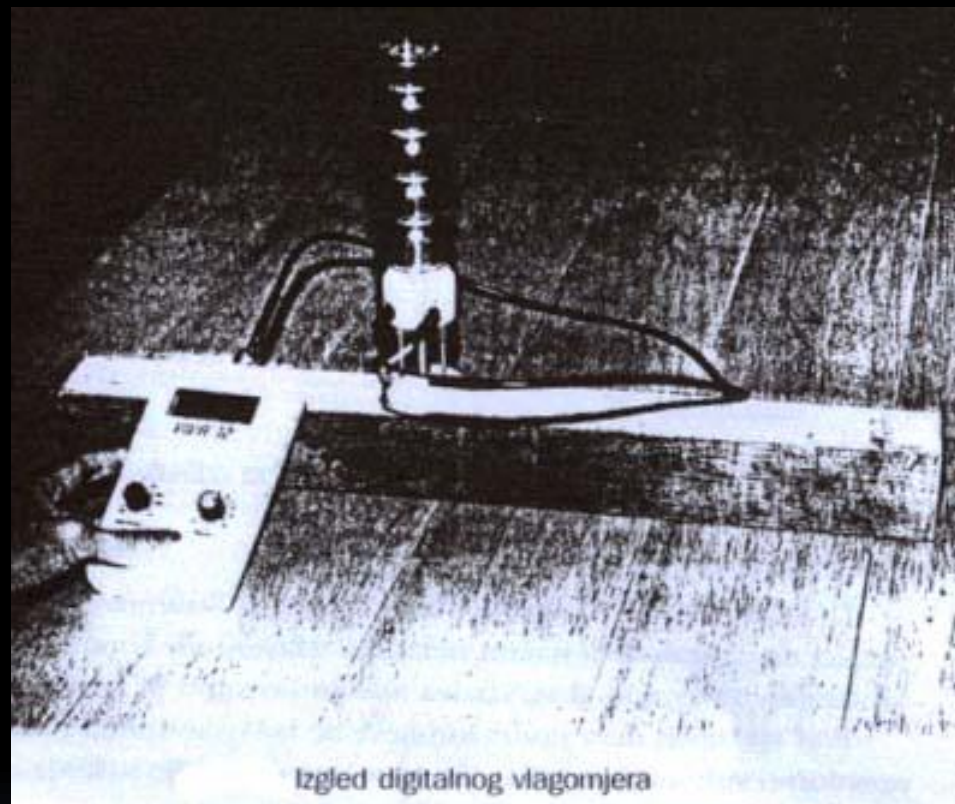
## B) VLAGOMJERI – NERAZORNA METODA ISPITIVANJA

- digitalni
- analogni



Mjerenje otpora  
istosmjernje struje

Otpor raste obrnuto  
proporcionalno vlažnosti,  
(ovisi i o temperaturi drva  
te botaničkoj vrsti)



Izgled digitalnog vlagomjera

Mjerenje površinske vlage - membrana

Mjerenje dubinske vlage - šiljci

- digitalni

- analogni

- Električni vlagomjeri za drvo baziraju se na pojavi da se električni otpor drva, ili pak dielektrična svojstva drva, mijenjaju sa sadržajem vode.
- Rezultat mjerenja iskazuje se u postocima sadržaja vode u drvu, a mjeri se:
  - otpor prolazu istosmjerne struje (u omima)
  - dielektrična konstanta
- Neminovna je kalibracija uređaja i različite reakcije pojedinih vrsta drva na mjerenu veličinu.



Elektrootporni vlagomjer – umjesto šiljka (prodire do 2 cm u drvo) nastavak može biti i membrana (površinska vlaga)

## Zračno suho drvo – 17-20% vlage

### Vlažnost svježe posječenog drva:

- četinjače      40 – 200 %
- listače        35 – 130 %

Određuje se ljeti za građu piljenu zimi i uskladištenu tako da postoji strujanje zraka

Kod daljnjeg uskladištenja, vlažnost se kreće u istim granicama, ali ovisi i o vlažnosti i temperaturi okoline

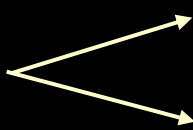
### Vlažnost u gotovim konstrukcijama:

- 6 – 12 %    grijani dobro zračeni prostori
- 9 – 15 %    zatvoreni negrijani prostori
- 15 – 18 %   natkriti otvoreni prostori
- 18 – 22 %   potpuno slobodne konstrukcije



# PROMJENA VOLUMENA

Voda u drvu: **-Slobodna (kapilarna)**

**- Vezana**  **Higroskopska**  
**Kemijski vezana**

Kemijski vezana voda ne isparava. Ona se može osloboditi posebnim postupcima uz visoku temperaturu (180 °C)

**TOČKA ZASIĆENJA VLAKNA** – vlažnost koja odgovara isparenju slobodne vode

Za četinjače kod 20°C iznosi : **25 – 32%**

Mijenja se obrnuto proporcionalno povišenju temperature (povećanje temperature za 1° smanjuje vlagu za 1%).

**HIGROSKOPNA RAVNOTEŽA** – ravnoteža vodene pare u zraku određene temperature i količine vode u stijenci drva

**HIGROSKOPNO PODRUČJE** – približno do **30%** vlažnosti

Drvo isparava/upija vodenu paru samo do stanja u kojem je pritisak vodene pare okoline u ravnoteži s pritiskom u kapilarama - sorpcija

Pritisak u kapilarama manji od pritiska higr. ravnoteže – upijanje (adsorpcija)

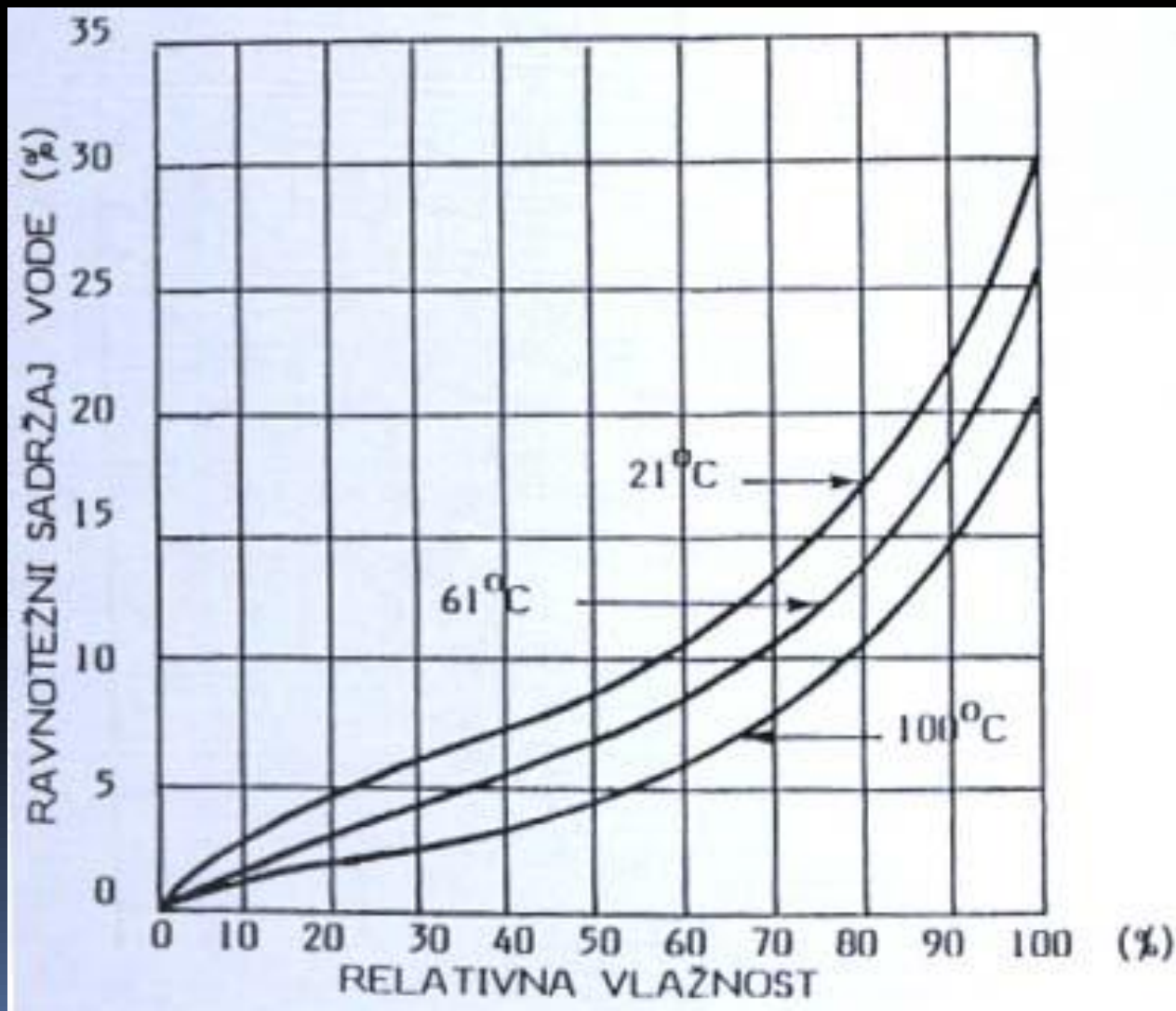
Pritisak u kapilarama veći od pritiska higr. ravnoteže – isparavanje (desorpcija)

**SKUPLJANJE I BUBRENJE DRVA** – sposobnost drva da kod promjene vlage u određenim granicama mijenja volumen (pojava povezana s količinom higroskopske vode)

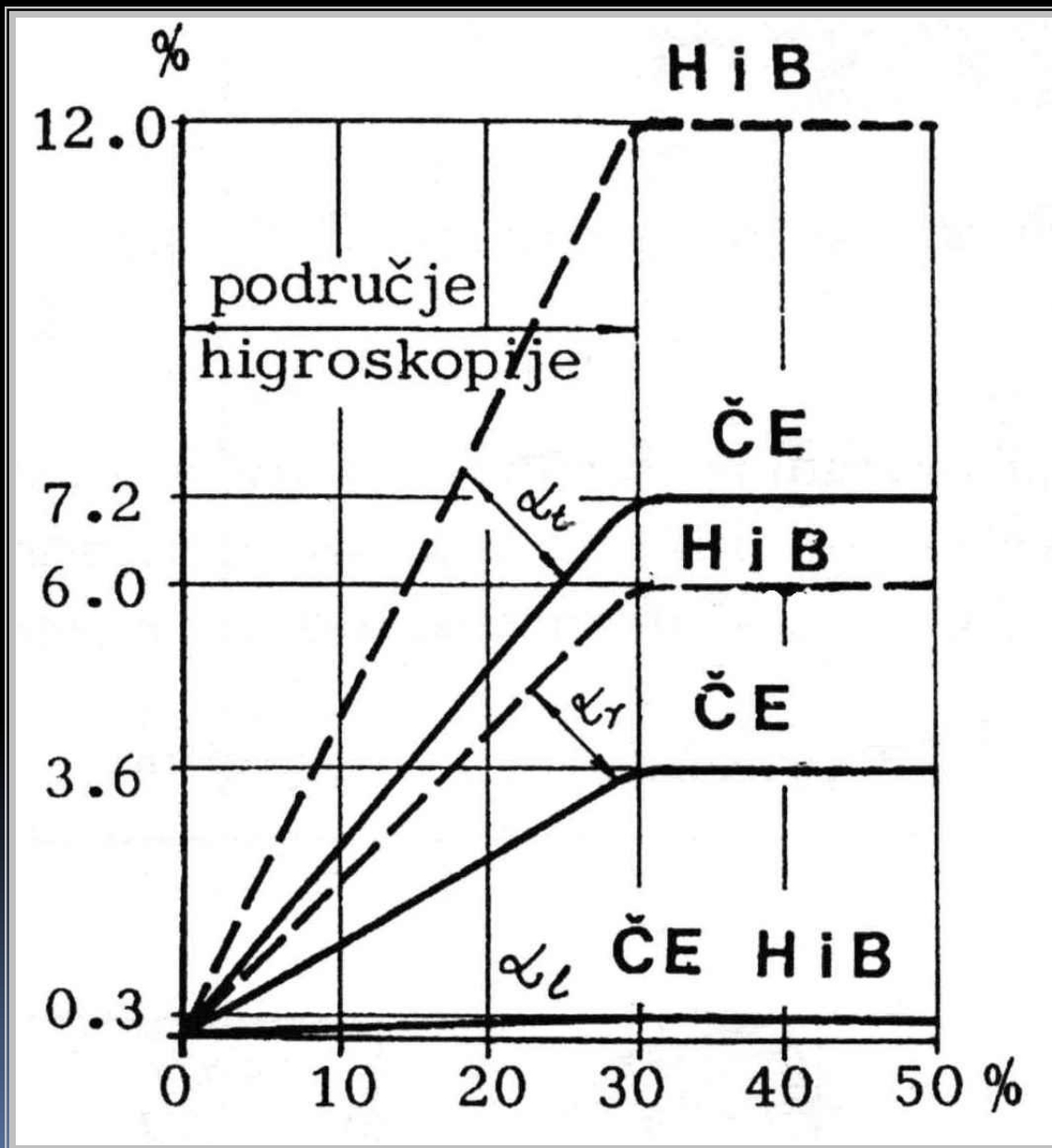
Srednje vrijednosti koeficijenta skupljanja odnosno bubrenja za promjenu vlažnosti od 1%:

	radijalno ( $\alpha_r$ )	tangencijalno ( $\alpha_t$ )	longitudinalno ( $\alpha_l$ )
četinjače	0.12%	0.24%	0.01%
listače	0.20%	0.40%	0.01%

# Higroskopska ravnoteža sadržaja vode (do 30%) u ovisnosti od temperature i relativne vlažnosti okolnog zraka



# Dijagram vrijednosti koeficijenata skupljanja/bubrenja kod promjene vlažnosti



ČE - četinjače

HiB – hrast i bukva

$\alpha_t$  - tangencijalno

$\alpha_r$  - radijalno

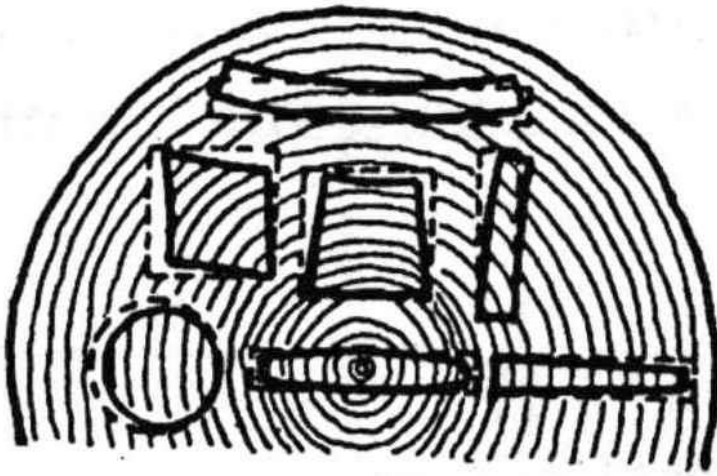
$\alpha_l$  - longitudinalno

Linearna ovisnost skupljanja/bubrenja od postotka vlažnosti (higroskopsko područje)

## Deformacije izazvane sušenjem

Prikaz karakterističnih  
proizvoda pilane prije i  
poslije sušenja

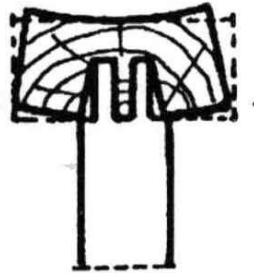
Deformacije najveće u  
poprečnom presjeku



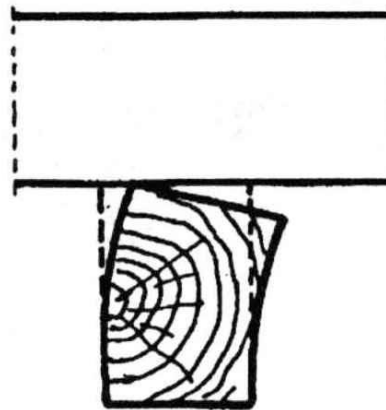
pravilno



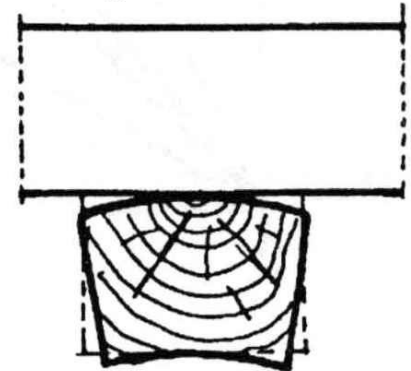
neppravilno



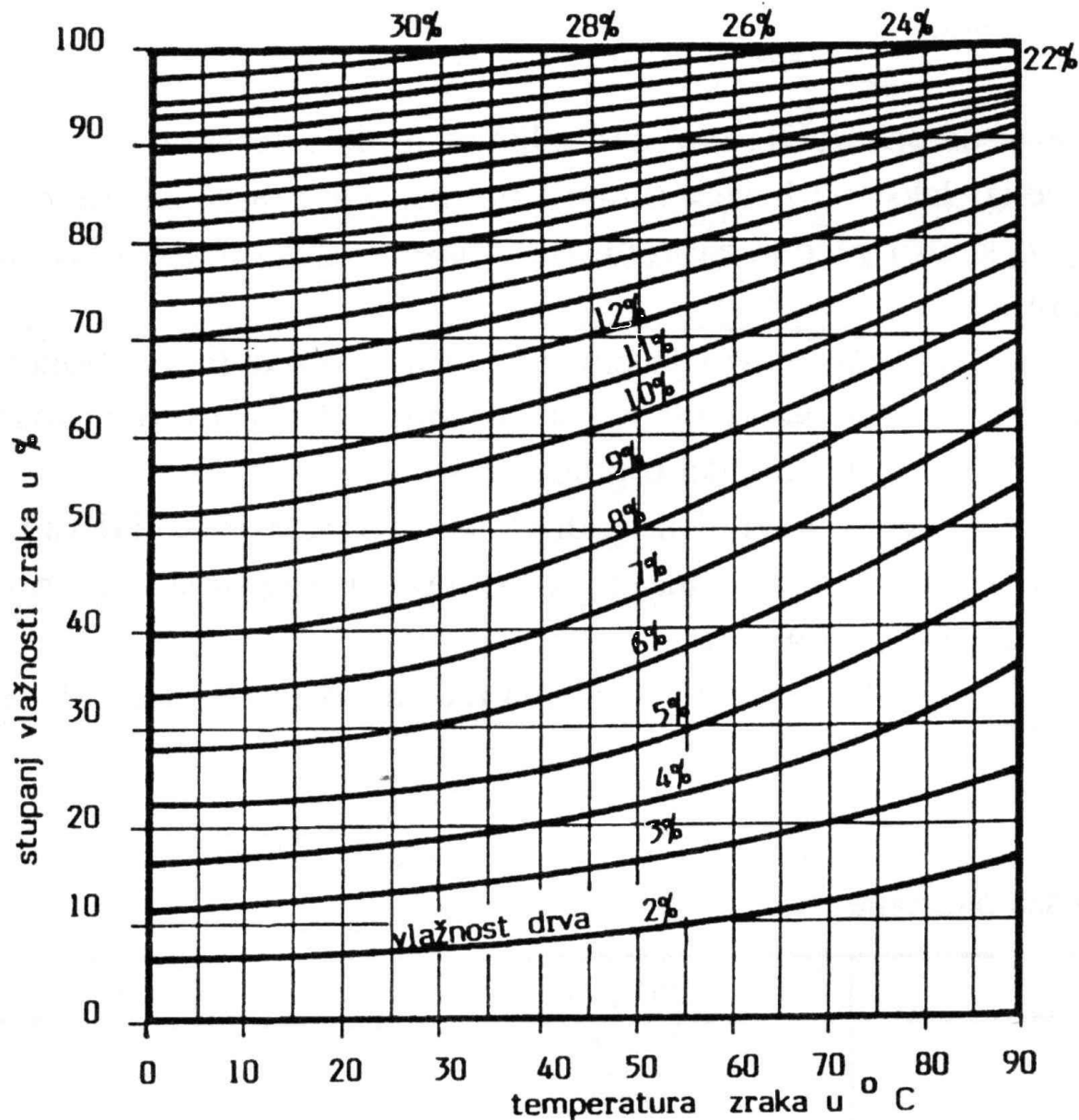
neppravilno



pravilno



Spoj naglavnice i stupa, te nalijevanje  
poprečnog na uzdužni element



Dijagram prema kojem se ovisno o uvjetima eksploatacije određuje vlažnost građe pri kojoj se uspostavlja higroskopska ravnoteža

Ravnoteža vlage zraka, drva i temperature

Prosječna zapreminska masa drva u kg/m<sup>3</sup>

vrsta drva	sirovo (30% vlage)	zračno suho (15%–20% vlage)	suho (< 15% vlage)
bor	700	520	490
jela	1100	450	410
smreka	730	470	430
hrast	1010	690	650
bukva	1070	720	690

Zapreminska masa za suho drvo ( od 15% vlage) u kg/m<sup>3</sup>

vrsta drva	minimalna	srednja	maksimalna
smreka i jela	300	430	640
bor (obični)	300	490	850
ariš	400	650	820
hrast	490	680	880
bukva	390	650	930

**Zapreminske  
mase drva za  
različite  
botaničke vrste  
drva i različite  
vlažnosti  
(prema  
Campredonu)**

	četinjače	listače
suho drvo	600	800
sirovo drvo	900	1000

**Računska prostorna masa drva u kg/m<sup>3</sup>**

# MEHANIČKA SVOJSTVA DRVA

Djelovanje mehaničkih sila mijenja dimenzije i oblik tijela

Ponašanje nekog tijela pod djelovanjem mehaničkih sila i način na koji se odupire njihovom djelovanju tvori skup svojstava



## MEHANIČKA SVOJSTVA

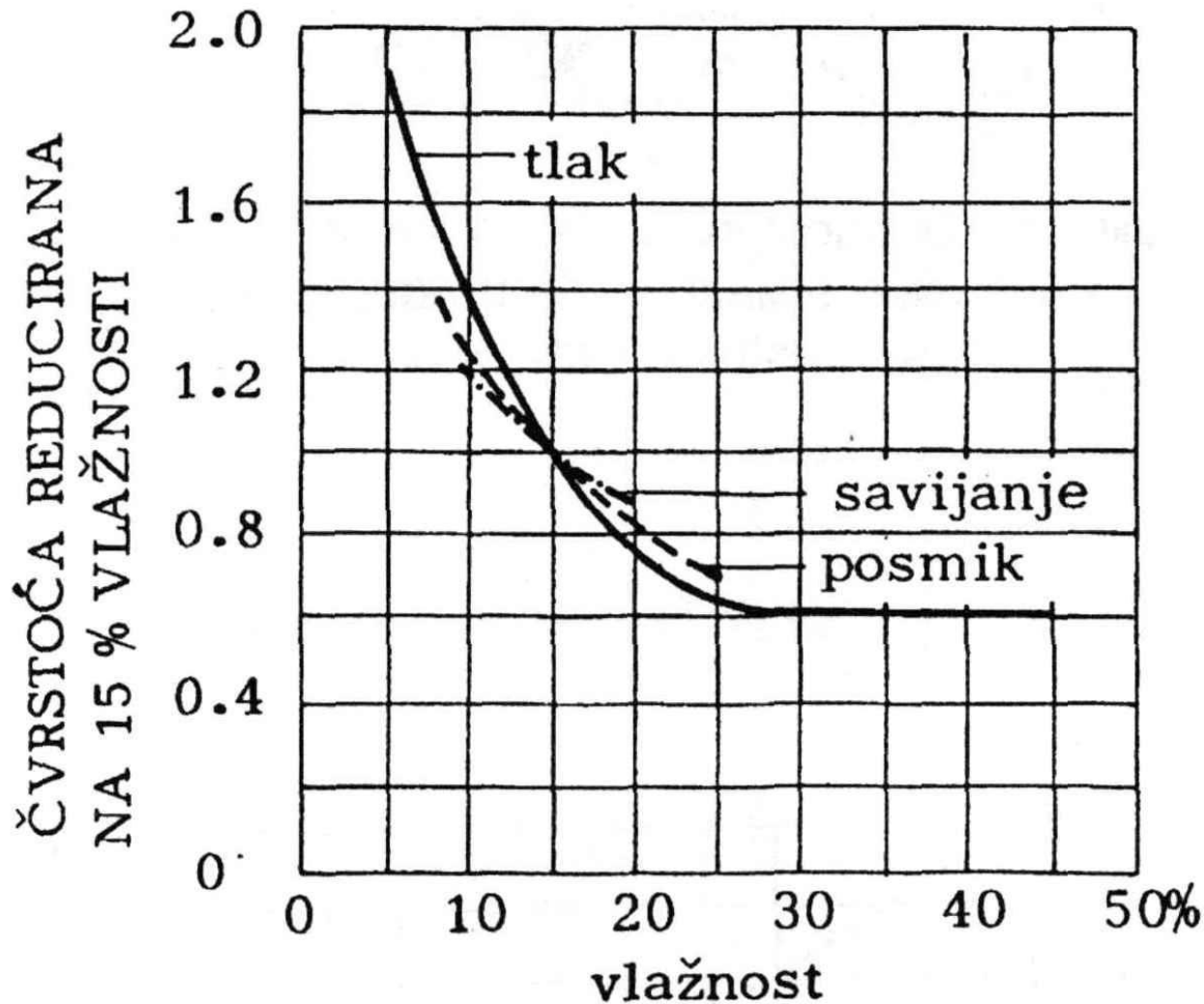
Svojstva su promjenjiva u uzdužnom i poprečnom smjeru, a ovise i o presjeku gdje se izvodi promatranje

**Glavne osobine drva su:**

- nehomogenost
- anizotropija
- promjenjivost

**Svojstva** bitno ovise o prirodi građe, širini godova, sadržaju vode (u higroskopskom području), težini, načinu rasta i greškama (činitelji koji utječu na mehanička svojstva drva)



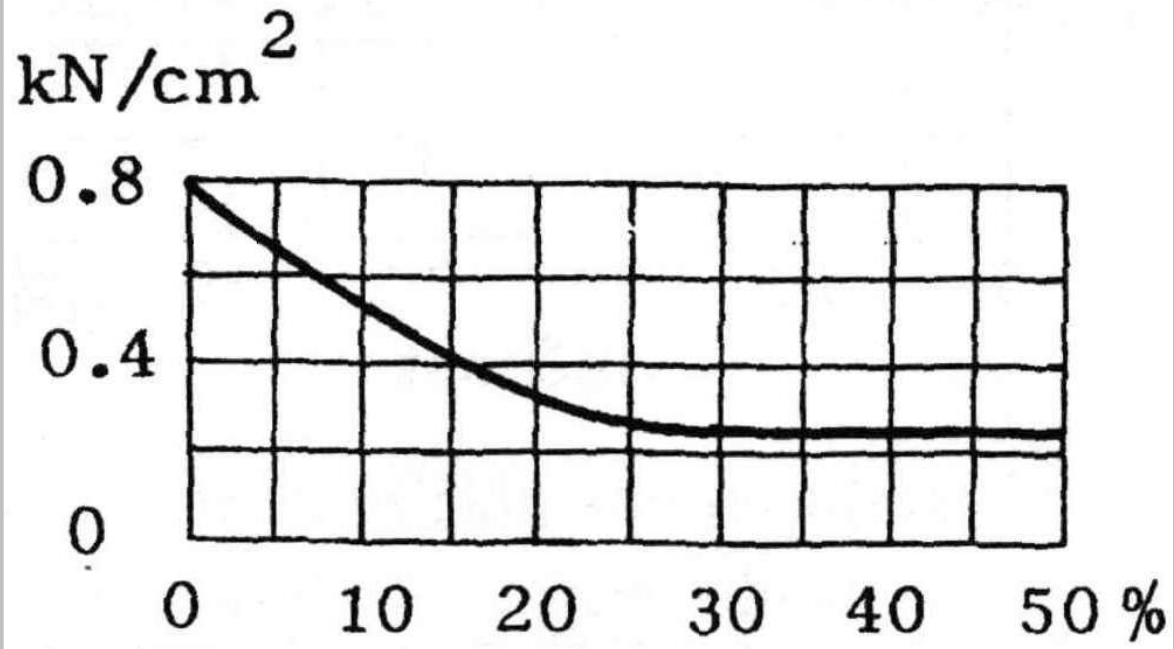


Čvrstoća opada s porastom sadržaja vode.

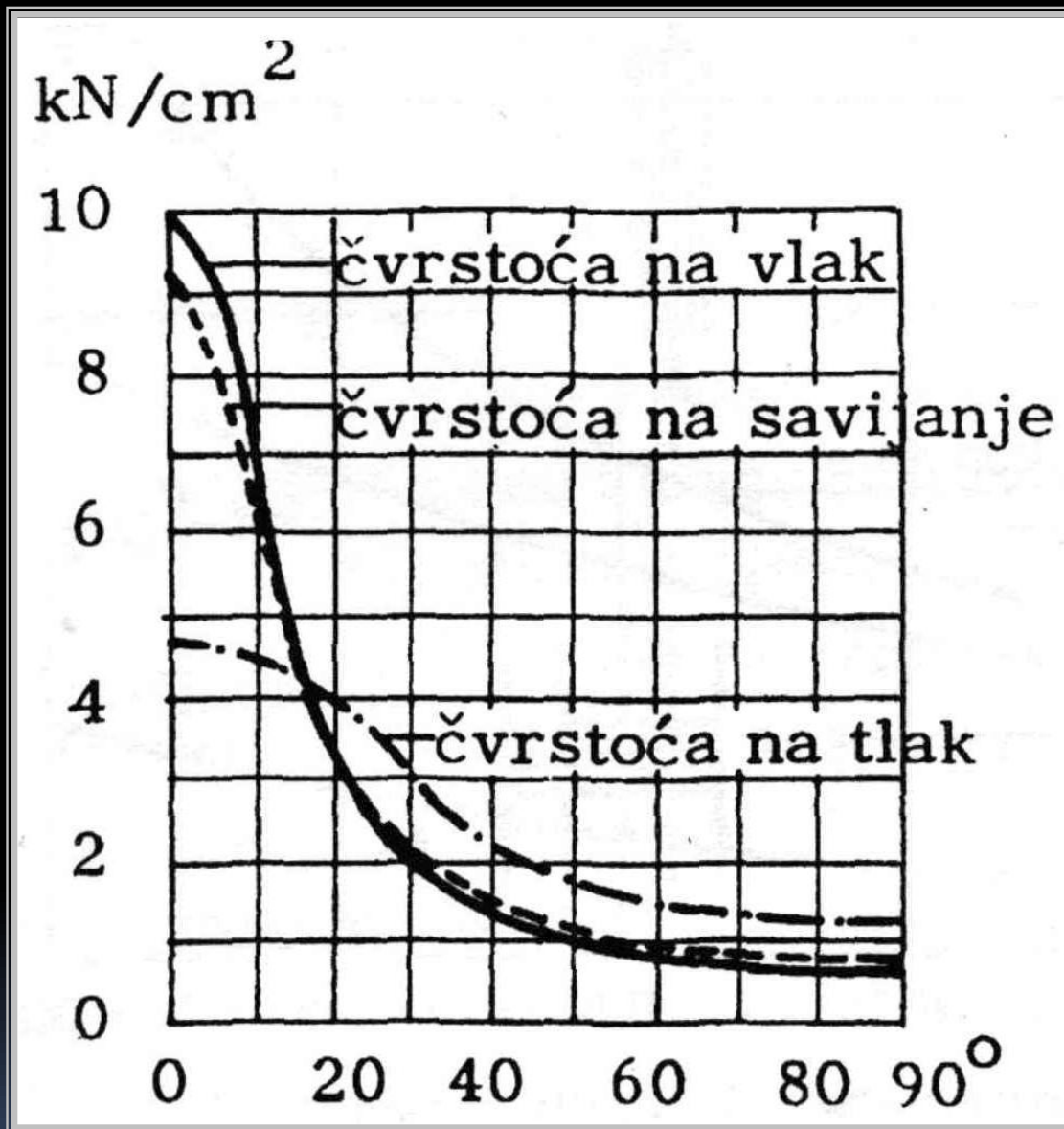
Izvan higroskopskog područja ne postoje razlike.

(Čvrstoća na tlak paralelno vlakancima smanji se za cca 3-4 puta kod prirasta vlažnosti od 5% na 30%)

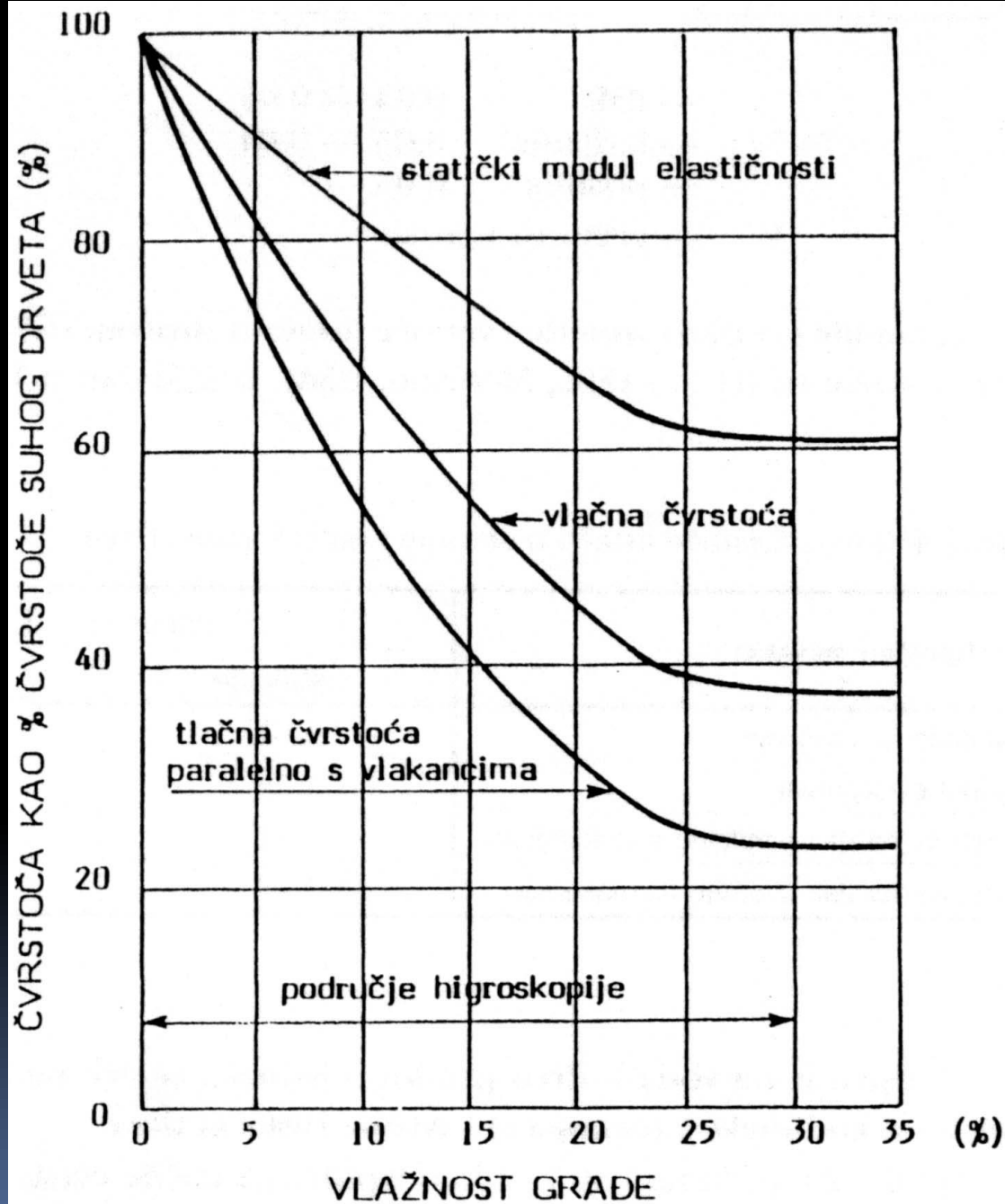
Ovisnost čvrstoće drva reducirana na 15% vlažnosti u odnosu na postotak vlažnosti



**Ovisnost čvrstoće na tlak  
okomito na vlakanca u  
odnosu na postotak  
vlažnosti**



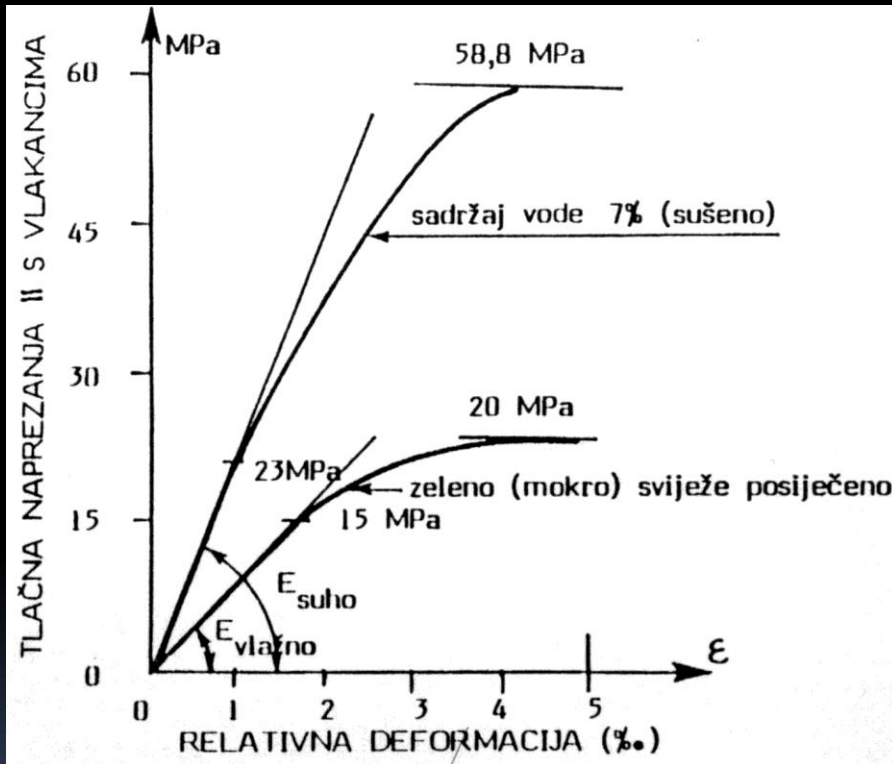
Ovisnost čvrstoće drva od smjera djelovanja sile u odnosu na smjer vlakana



**Ovisnost čvrstoća i modula elastičnosti u odnosu vlažnosti iskazane kao postotak čvrstoće suhog drva**

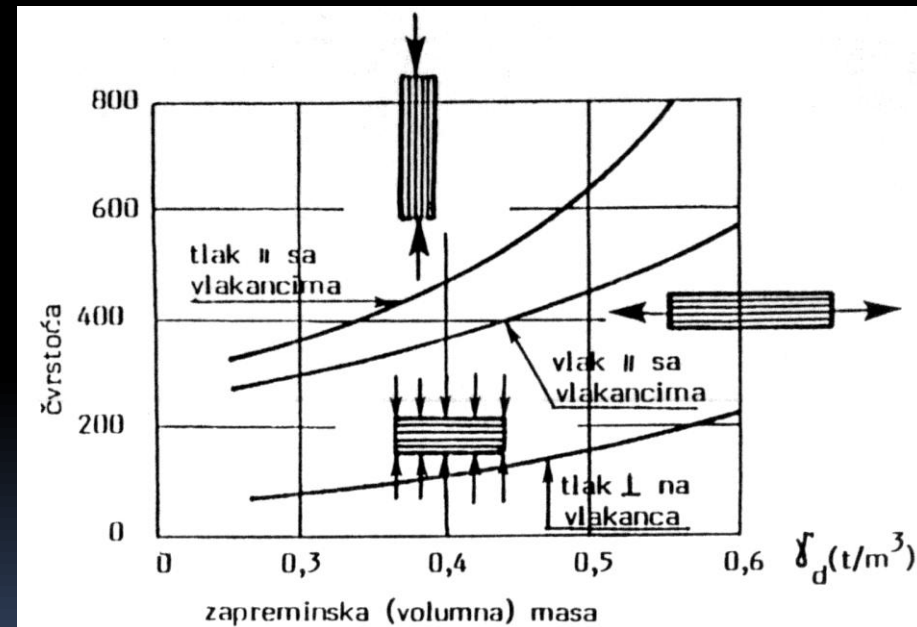
- Prirast vlažnosti ima najmanji utjecaj na vlačnu čvrstoću
- Voda u drvu približno jednako utječe na pad mehaničkih svojstava

## listača i četinjača



Utjecaj količine vlage  
na mehanička  
svojstva

Mehanička svojstva drva  
izravno ovise o zapreminskoj  
masi (broj i širina godova,  
količina ranog i kasnog drva ...)



Ovisnost čvrstoće drva  
prema zapreminskoj masi

# Utjecaj grešaka rasta, napada gljivica i insekata na mehaničke osobine

**Kvrgavost** - mjesta otklona vlakana (predstavljaju oslabljenje presjeka što posebno nepovoljno djeluje na čvrstoću vlaka paralelno vlakancima)

Norme ograničavaju toleranciju kvrgavosti za različite kvalitetne razrede građe

**Usukanost** - općenito smanjuje mehanička svojstva (posebno kod čvrstoće na vlak paralelno vlakancima)

**Modrenje drva** - uzrokuju ga gljivice; neznatno smanjuje mehanička svojstva (promjene uglavnom estetske naravi i površinske)

**Trulenje** - posljedica napada gljiva što razara celulozu koja je nosilac dobrih tehničkih svojstava (takvo drvo je tehnički nezanimljivo)

**Insekti** - neznatno smanjuju mehanička svojstva, ali je bitna vrsta zaraze, kao i vrijeme kroz koje joj je drvo izloženo

# Utjecaj temperature na mehaničke osobine drva

**Povišenjem temperature** - čvrstoća se smanjuje, a puzanje povećava

Smanjuje se modul elastičnosti, a raste deformacija

Nepovoljan utjecaj temperature povećava kvrgavost i otklon vlaknaca, pa kod visokih temperatura na tim mjestima može doći do pucanja drva

**Smrzavanjem drva** - rastu mehaničke osobine, ali i krtost (malen otpor savijanju kod opterećenja većeg intenziteta)

**Umjetno sušenje** - ako se naglo provodi loše utječe na mehanička svojstva (raspucalost)

Ako je provedeno postupno i pod posebnim režimom, utjecaj temperature je bez posebnog značaja na mehanička svojstva

# Utjecaj primijenjenih sredstava za zaštitu na mehaničke osobine drva

**Antiseptici** - loš izbor zaštitnih sredstava za sprečavanje truljenja i protupožarnu zaštitu može nepovoljno utjecati na kemijska svojstva drva

Utjecaj staništa (tla, položaja u šumi)

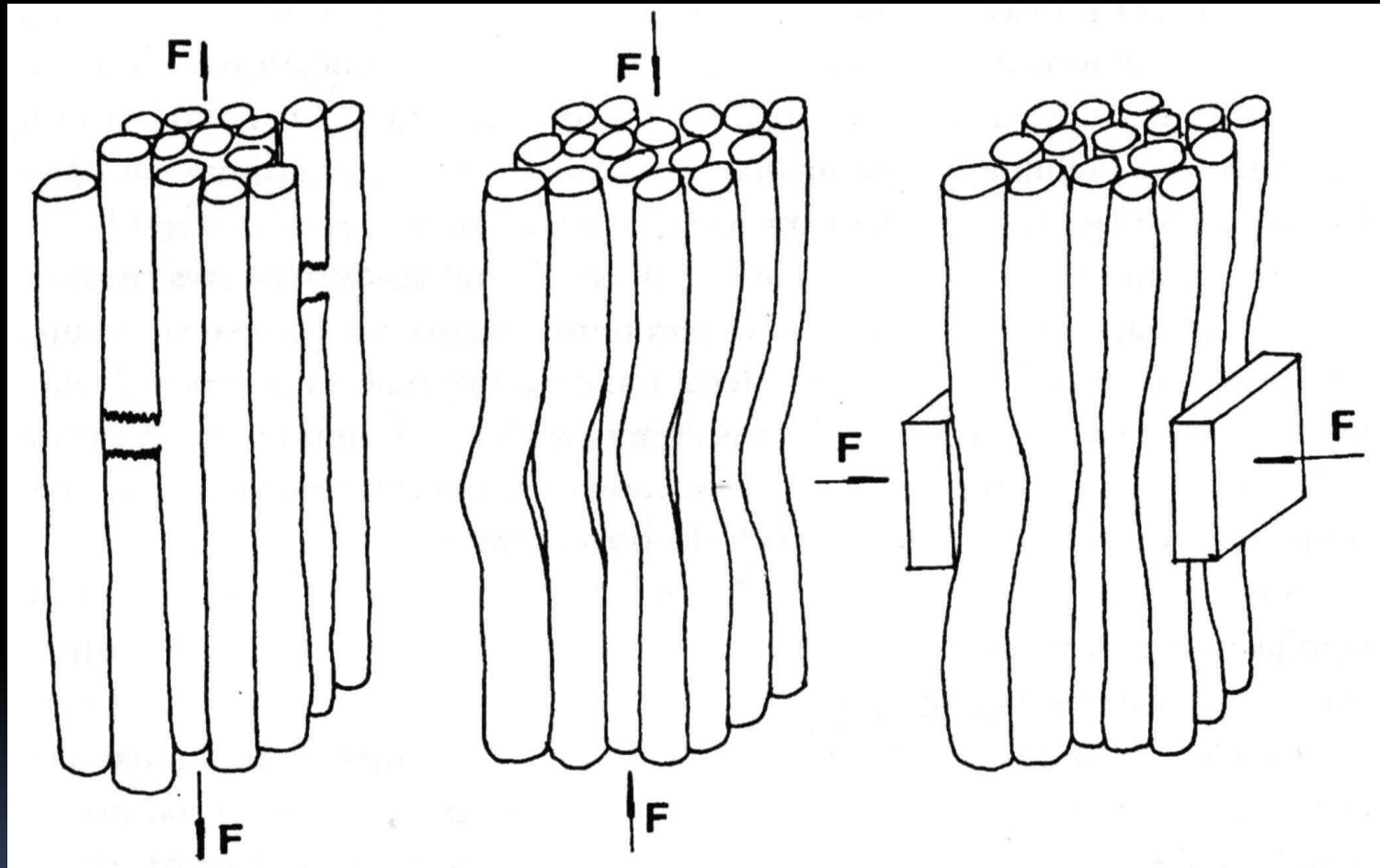
Utjecaj načina uzgoja (rasta)

Utjecaj dobi sječe

**PRESUDAN UTJECAJ NA MEHANIČKA  
SVOJSTVA IMAJU ZAPREMINSKA MASA,  
KOLIČINA VLAGE I PRAVILNOST GRAĐE**



# REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA MEHANIČKIH SVOJSTAVA DRVA



Idealizirani uzorak drva izložen vlačnim napreznjima paralelno s vlakancima, tlačnim napreznjima paralelno s vlakancima i tlačnim napreznjima okomito na smjer vlakancaca

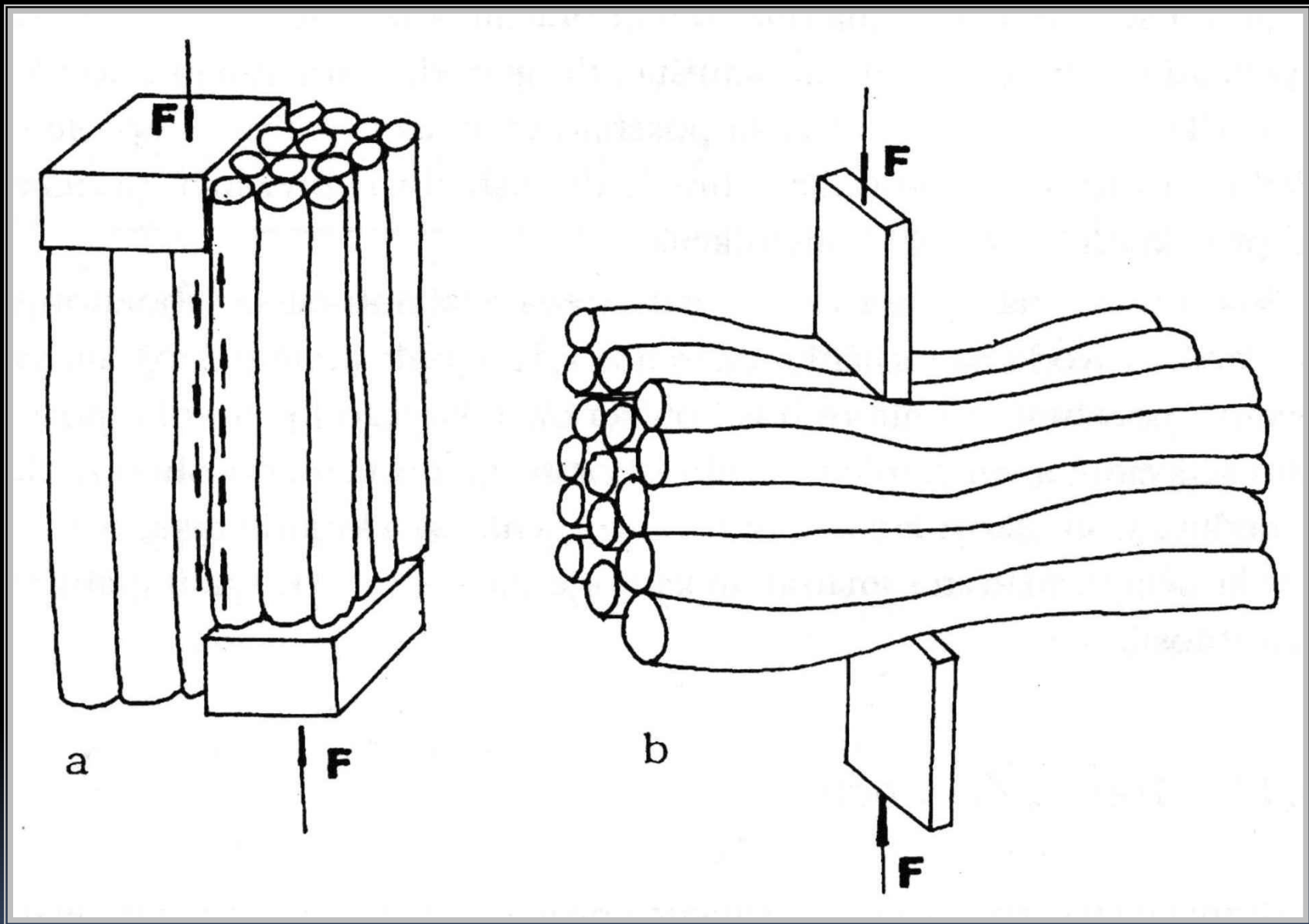
Primjetno je kako se uzorak najbolje odupire vlačnim silama, slabije tlačnim silama, a znatno slabije poprečnim akcijama

**Opterećenje vlačnim silama** - raspodjela opterećenja po svim cjevčicama neće biti jednolika (cjevčice popuštaju u različito vrijeme). Zbog slabe međusobne povezanosti puknute cjevčice izdvajaju se iz svežnja - NERAVAN LOM (tipičan kod ispitivanja drva na vlak)

**Opterećenje tlačnim silama** - cjevčice opterećene na izvijanje (lom nastaje uslijed gubitka stabilnosti elemenata svežnja), a čvrstoća na tlak ispitivanog modela je manja od čvrstoće na vlak

**Dopušteni naponi** obiju čvrstoća su međutim približno jednaki, zbog iznimne osjetljivosti vlačne čvrstoće na kvrgavost, greške, raspukline i neparalelnost vlakana

**Čvrstoća na vlak i tlak okomito na vlakanca** znatno su manje nego čvrstoće u pravcu vlakana (posebno je mala vlačna čvrstoća okomito na uzdužnu os svežnja)



Idealizirani uzorak drva izložen posmičnim naprezanjima u smjeru vlaknaca (a) i okomito na vlakanca – presjecanje vlaknaca (b)

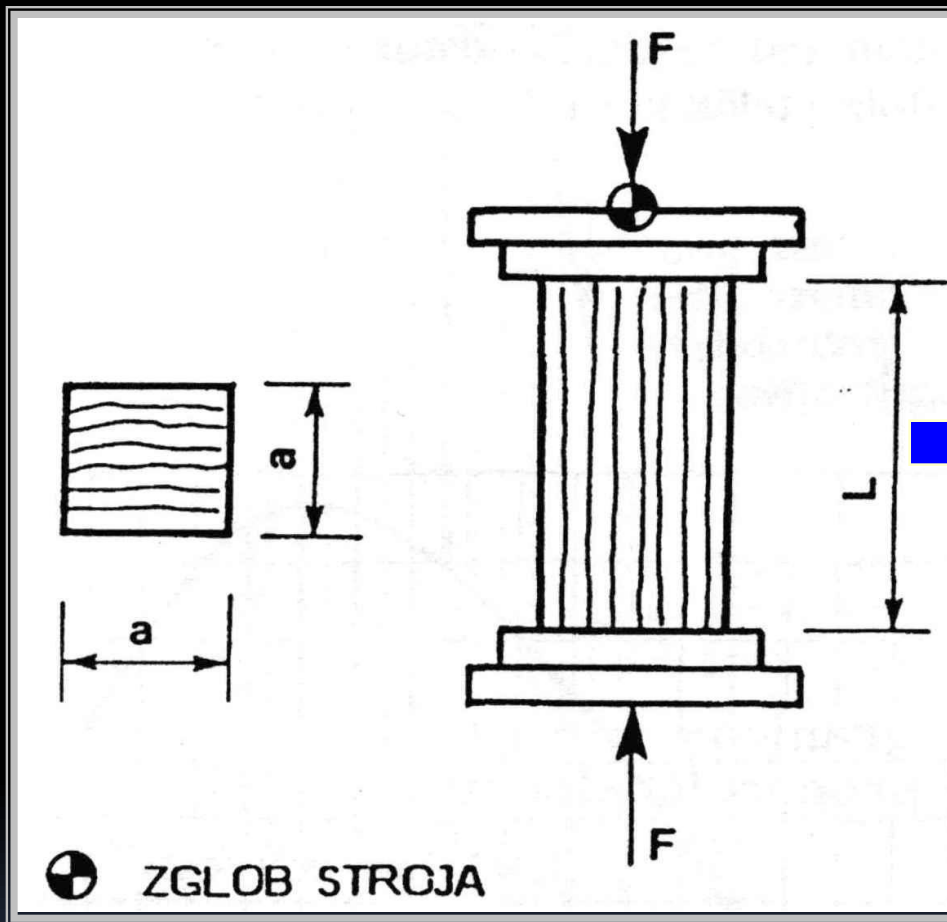
**Čvrstoća na smicanje u pravcu vlakana** - slaba točka drva (manja od čvrstoća na tlak i vlak paralelno vlakancima), ali i manja od čvrstoće na odrez (posmik okomito na vlakanca - precijecanje vlakana), pa je u mnogim slučajevima mjerodavna za dimenzioniranje

**Različiti moduli elastičnosti u poprečnom i uzdužnom smjeru** - različito se definiraju u poprečnom, radijalnom i tangencijalnom smjeru

**LABORATORIJSKA ISPITIVANJA MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA** (čvrstoće, konstante elastičnosti, Poissonov koeficijent) provode se malim uzorcima pažljivo odabranim (mala vlažnost, građa bez grešaka)

Nadležne norme propisuju izgled i broj uzoraka, te metodologiju ispitivanja

# TLAČNA ČVRSTOĆA



**Mala epruveta**

20 x 20 x 40 mm

**Velika epruveta**

50 x 50 x 100 mm

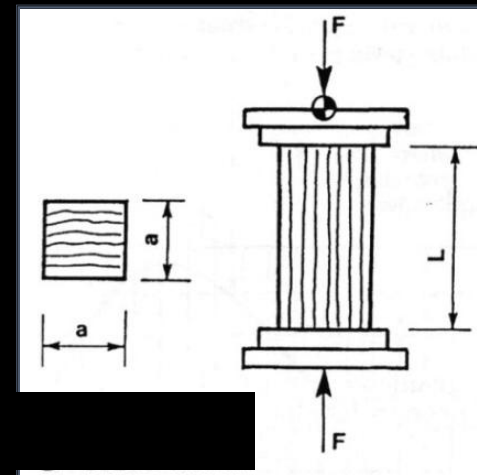
**Modul elastičnosti**

50 x 50 x 200 mm

Izgled uzorka i shema opterećenja za ispitivanje tlačne čvrstoće paralelno s vlakancima prema odgovarajućim HRN EN

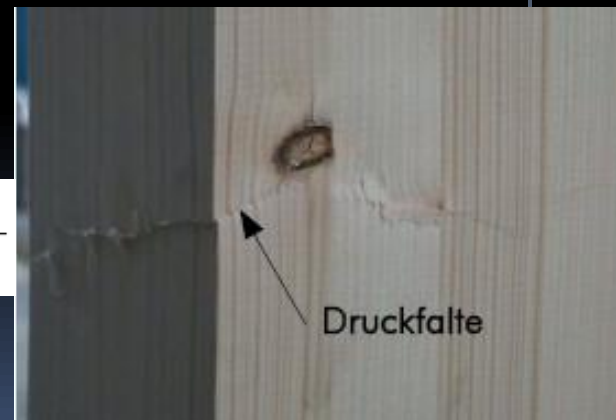
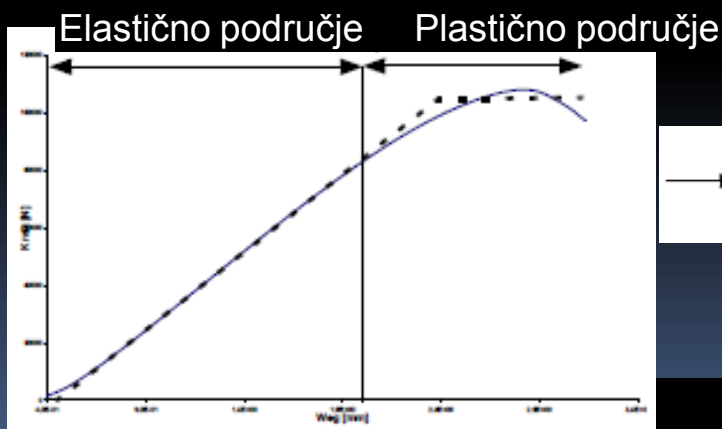
# DRVO KAO MATERIJAL – MEHANIČKA SVOJSTVA

- Ispitivanje tlaka paralelno s vlakancima (osni tlak)
- Tlačna čvrstoća osno ispitivanog modela manja je od osne vlačne čvrstoće.



Tlak paralelno s vlakancima,  $\alpha = 0^\circ$ ,  $f_{c,0,k}$

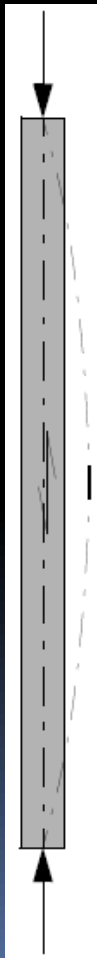
## Duktilni lom



Lokalno urušavanje (izvijanje) vlaknaca neposredno uz kvrgu

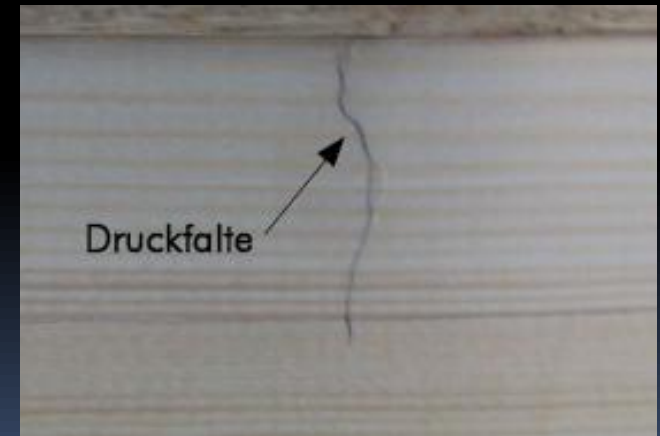
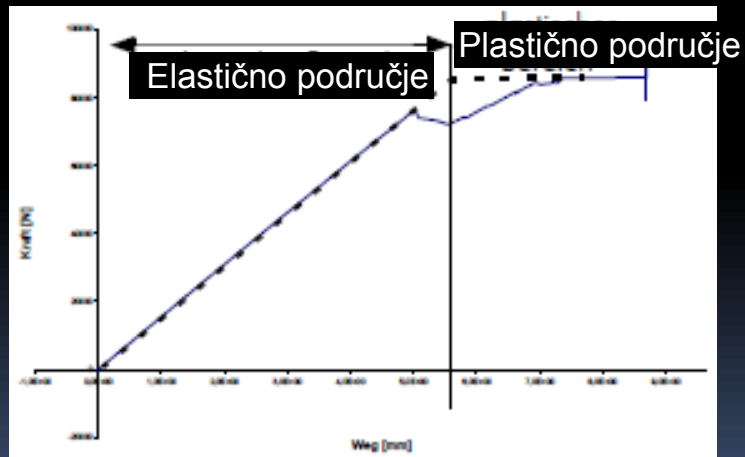
# DRVO KAO MATERIJAL – MEHANIČKA SVOJSTVA

- Ispitivanje tlaka paralelno s vlakancima (osni tlak) s izvijanjem
  - cjevčice opterećene na izvijanje
  - otkazivanje nosivosti nije posljedica loma nego izvijanja – gubitka stabilnosti “svežnja”



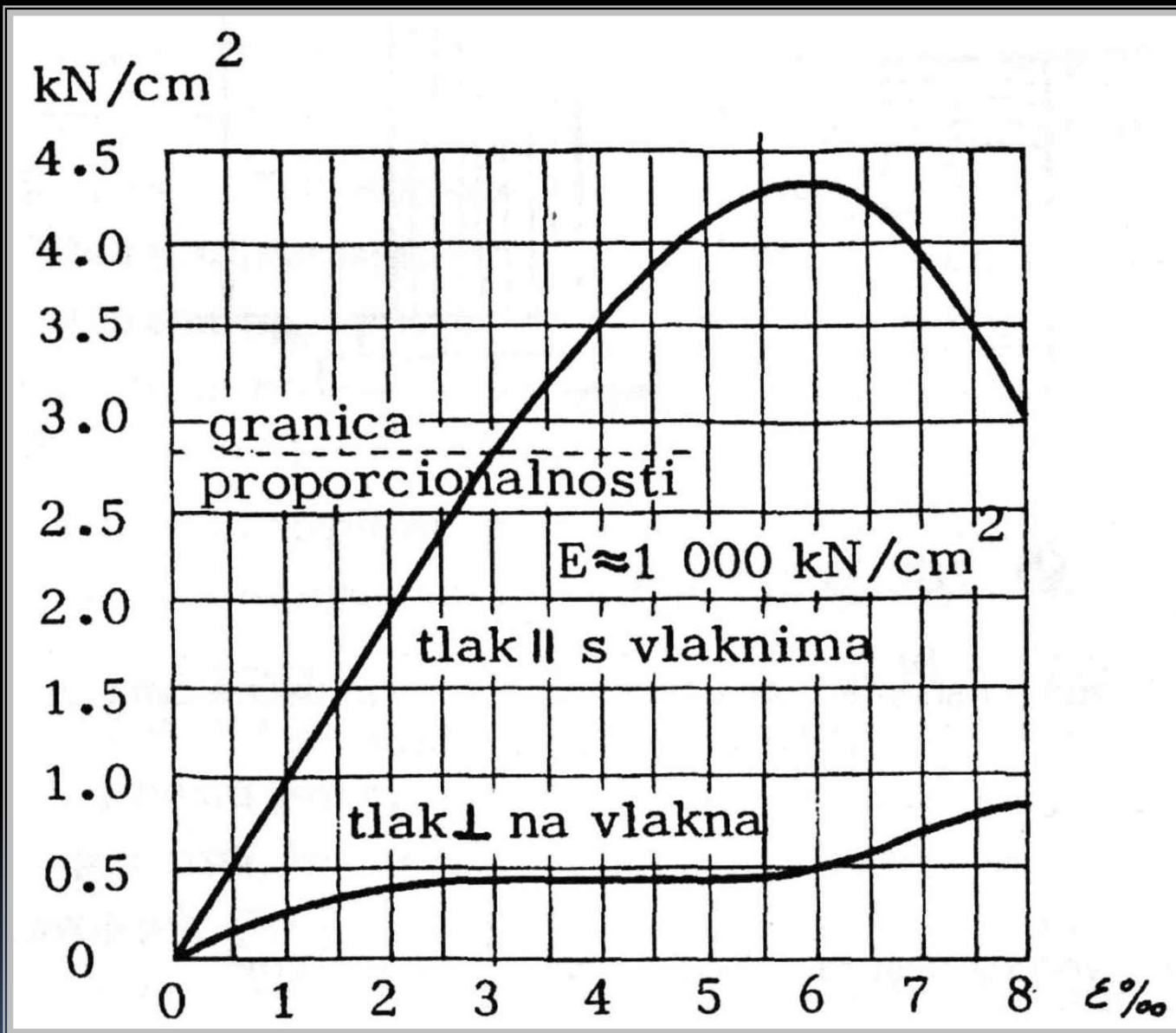
Tlak paralelno s vlakancima,  $\alpha = 0^\circ$ ,  $f_{c,0,k}$

Duktilni lom



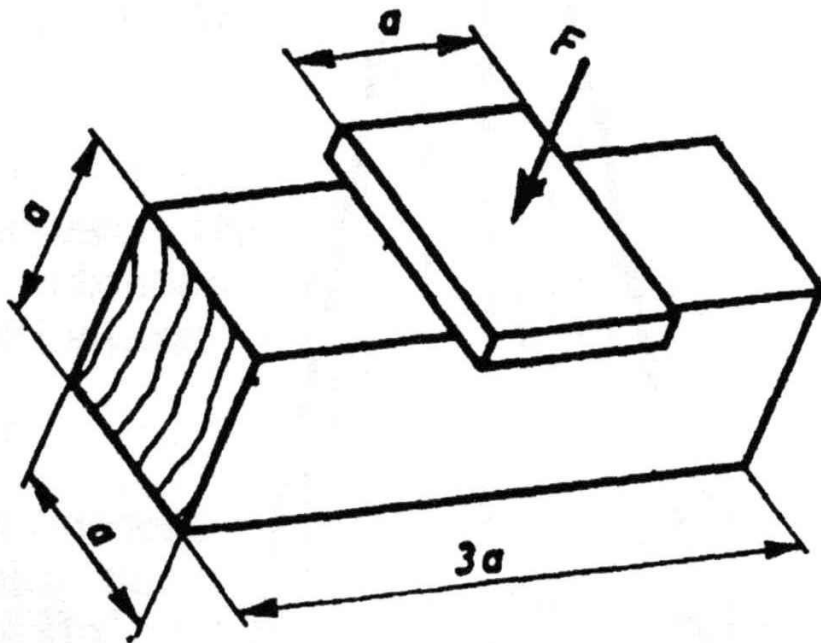
Tlak paralelno s vlakancima s izvijanjem,  $\alpha = 0^\circ$ ,  $k_{c,i} f_{c,0,k}$  ( $k_{c,i} \leq 1$ )

Lokalno izvijanje  
vlakana



$\sigma - \epsilon$  dijagram ispitivanja uzorka borovine na tlak paralelno i okomito na vlakanca





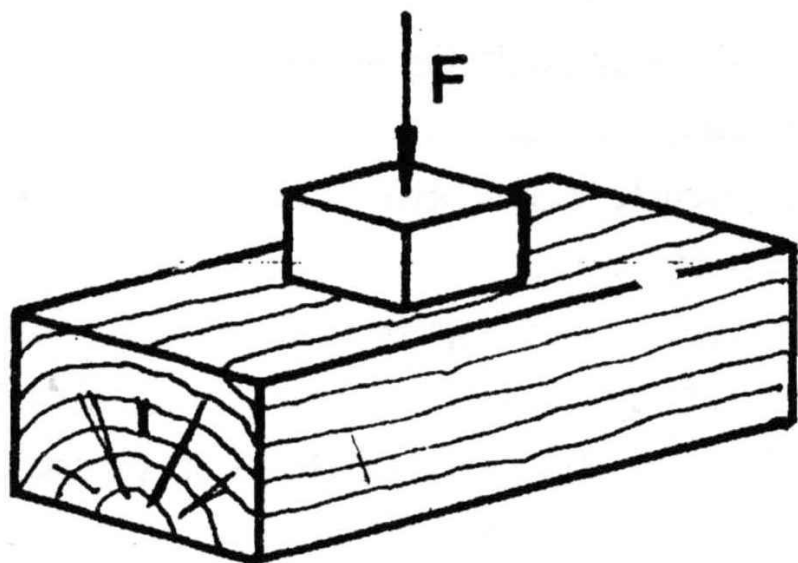
Izgled uzorka za  
ispitivanje tlačne čvrstoće  
okomito na vlakanca

**Mala epruveta**

20 x 20 x 40 mm

**Velika epruveta**

50 x 50 x 100 mm

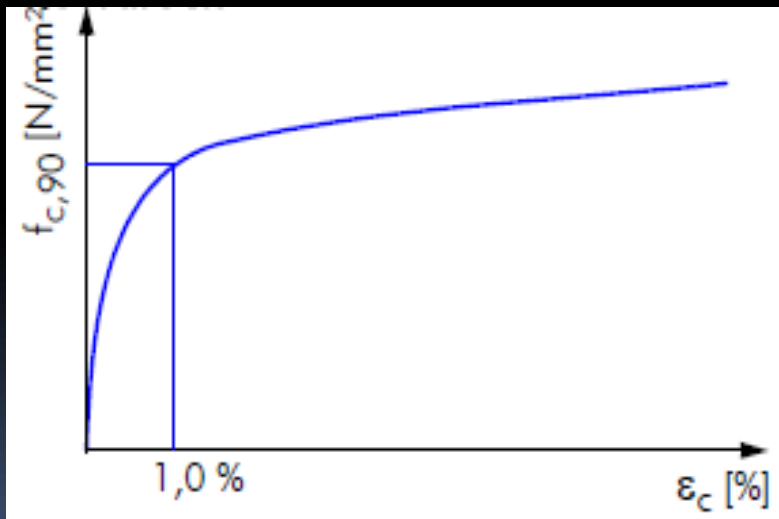


Tlak okomito na  
vlakanca na djelomičnoj  
površini (pečatni  
pritisak)

# DRVO KAO MATERIJAL – MEHANIČKA SVOJSTVA

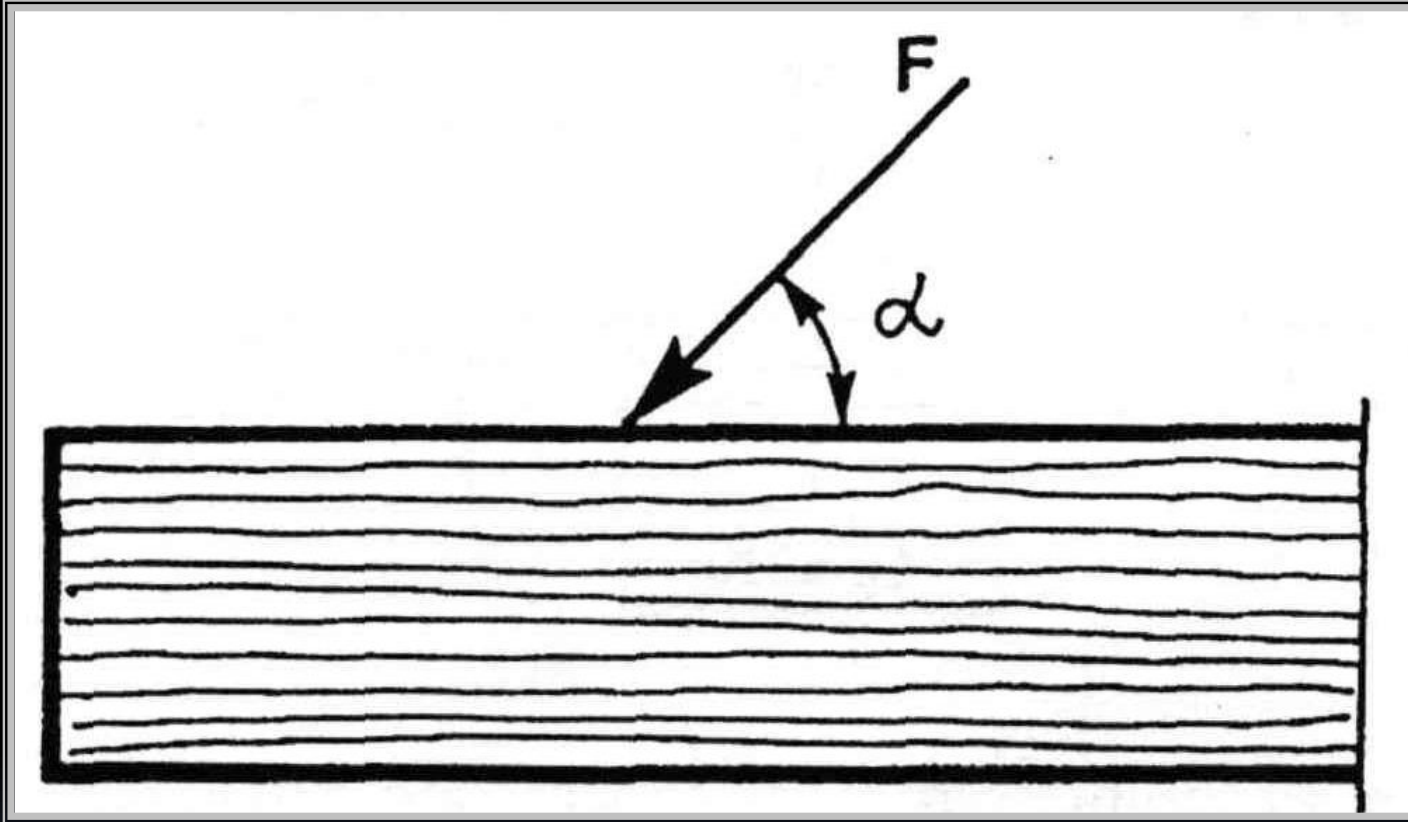
- Ispitivanje tlaka okomito na vlakanca
  - vlačna i tlačna čvrstoća okomito na vlakanca znatno su manje nego odgovarajuće osne čvrstoće vlaka i tlaka.

## Tlak okomito na vlakanca, $\alpha = 90^\circ$ , $f_{c,90,k}$ Duktilni lom

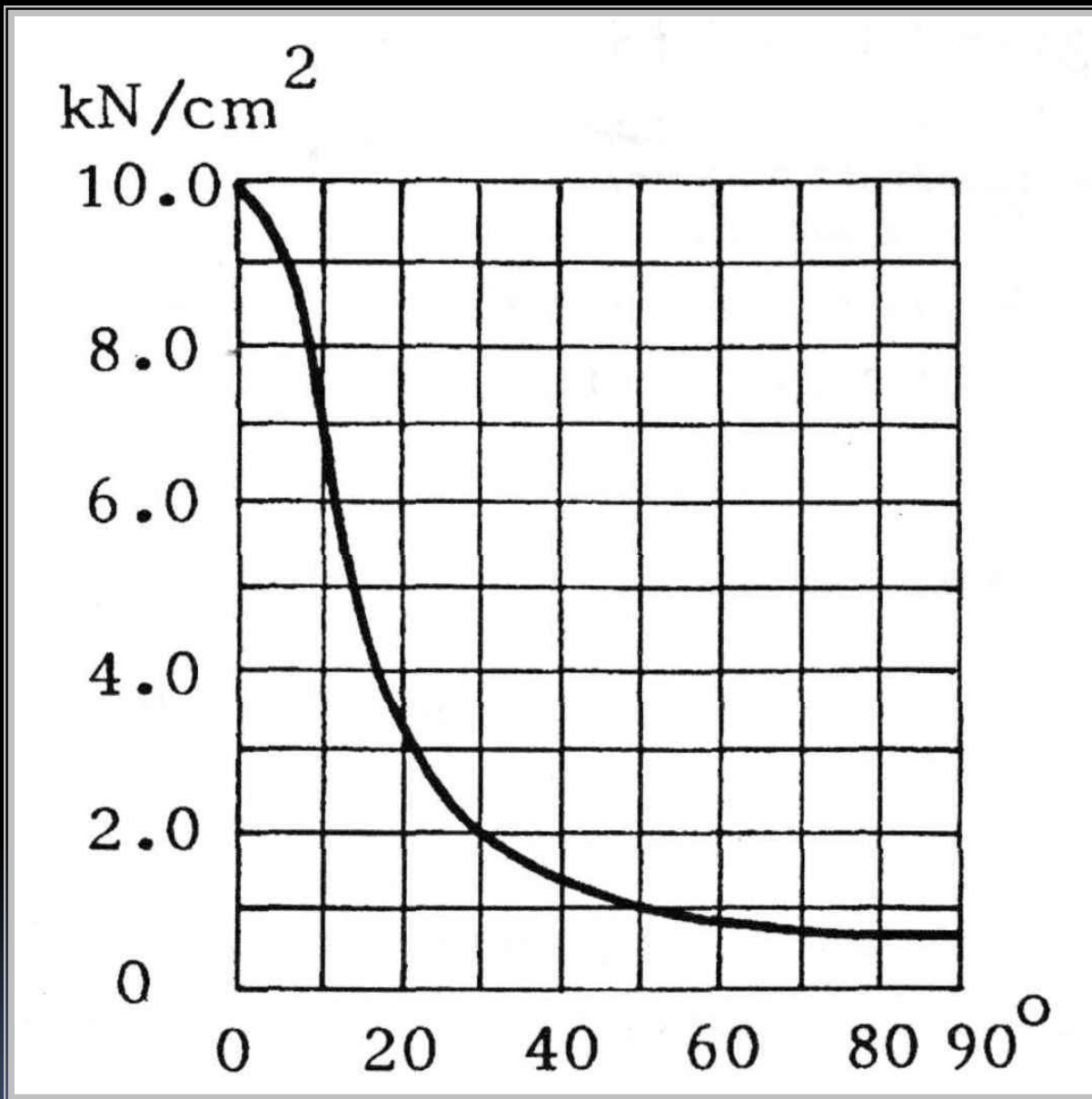


Gnječenje vlakanca izrazito je u zonama ranog drva

# Tlak pod kutem



Čvrstoća ovisna o kutu i računa se preko čvrstoća na tlak paralelno i okomito na vlakanca



Ovisnost vlačne čvrstoće od smjera djelovanja sile u odnosu na smjer vlakana

# DRVO KAO MATERIJAL – MEHANIČKA SVOJSTVA

- **Razorna ispitivanja mehaničkih svojstava čvrstoće**
- Uzorci za određivanje svojstva čvrstoće
  - u punoj veličini (full-scale specimens)
  - “mali / čisti uzorci (probe – clear wood specimens)



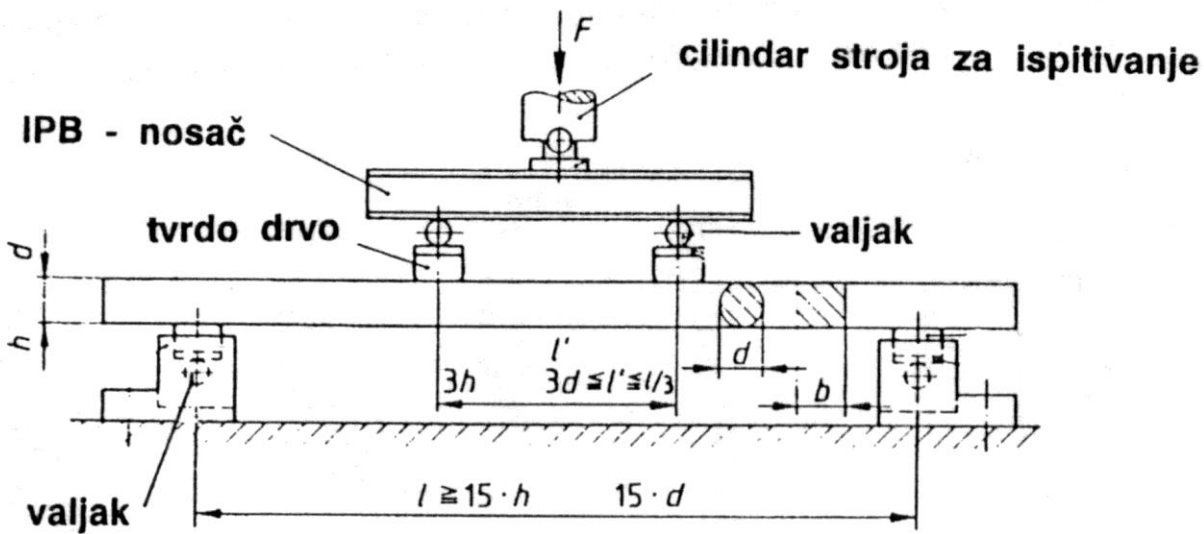
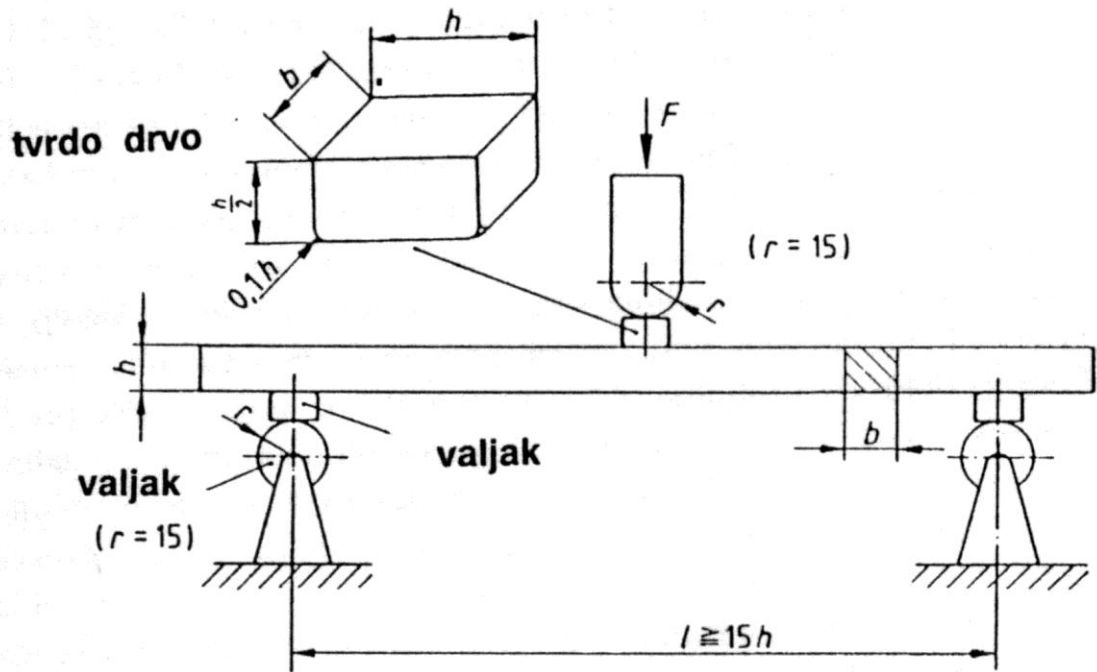
# DRVO KAO MATERIJAL – MEHANIČKA SVOJSTVA

- Mali uzorci za ispitivanje tlačne čvrstoće, čvrstoće na savijanje i vlačne čvrstoće
  - normirane dimenzije uzoraka



[https://www.youtube.com/watch?v=Z\\_IB3K4kLxQ](https://www.youtube.com/watch?v=Z_IB3K4kLxQ)

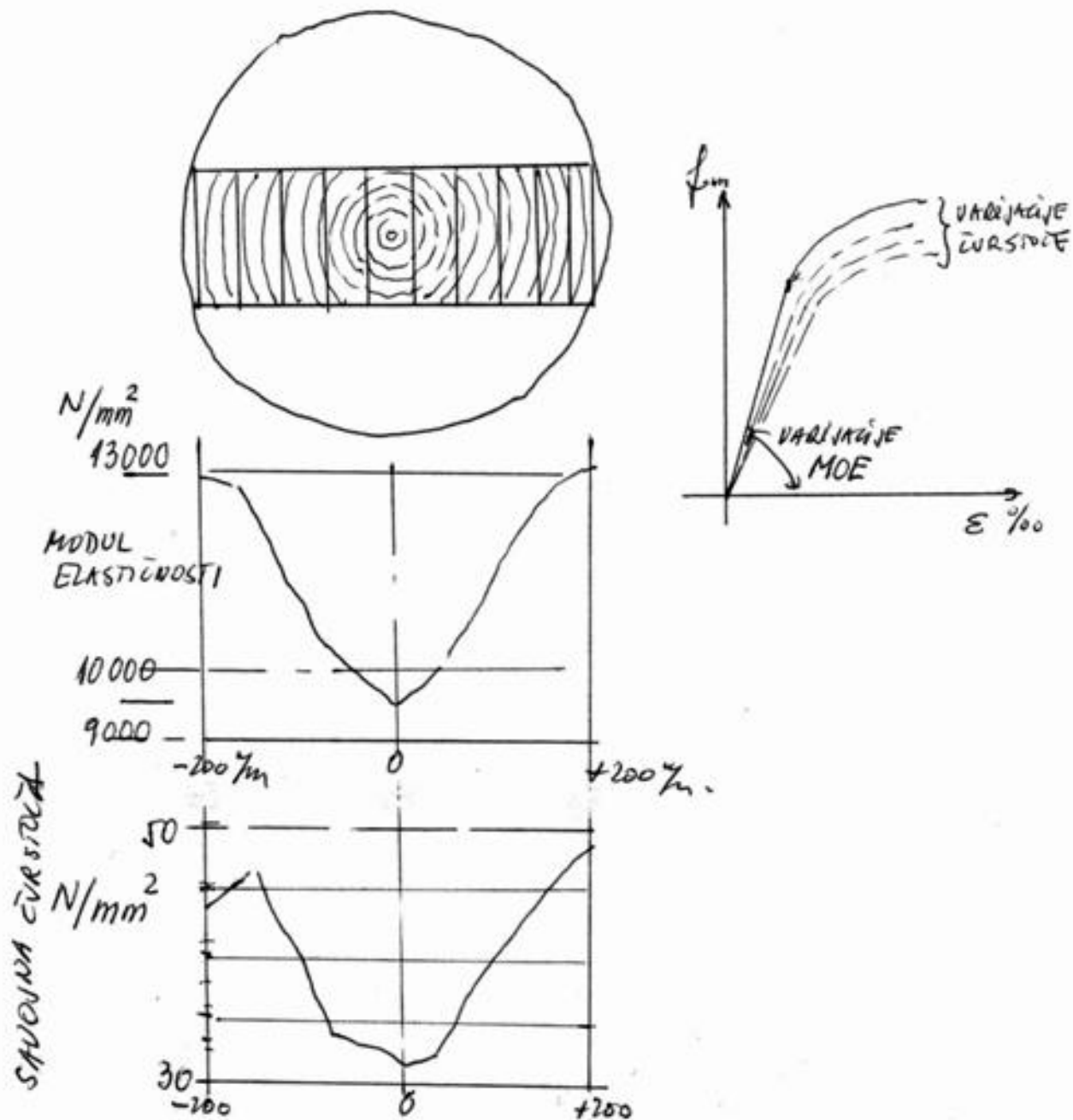
- Na čvrstoću utječu:
  - prisutnost anatomskih nepravilnosti (kvrga, otklona žice)
  - smjer i tip opterećenja (osni / okomiti tlak ili vlak, posmik, savijanje, torzija – posmik zbog torzijskog momenta)
  - nagib sile prema vlaknima
  - vrsta i gustoća drva, sadržaja vode
  - dimenzije i čistoća uzoraka, brzina nanošenja opterećenja pri ispitivanju (statičko / dinamičko / udarno / cikličko), konfiguracija ispitivanja



Izgled uzorka i  
shema  
opterećenja za  
ispitivanje  
čvrstoće na  
savijanje

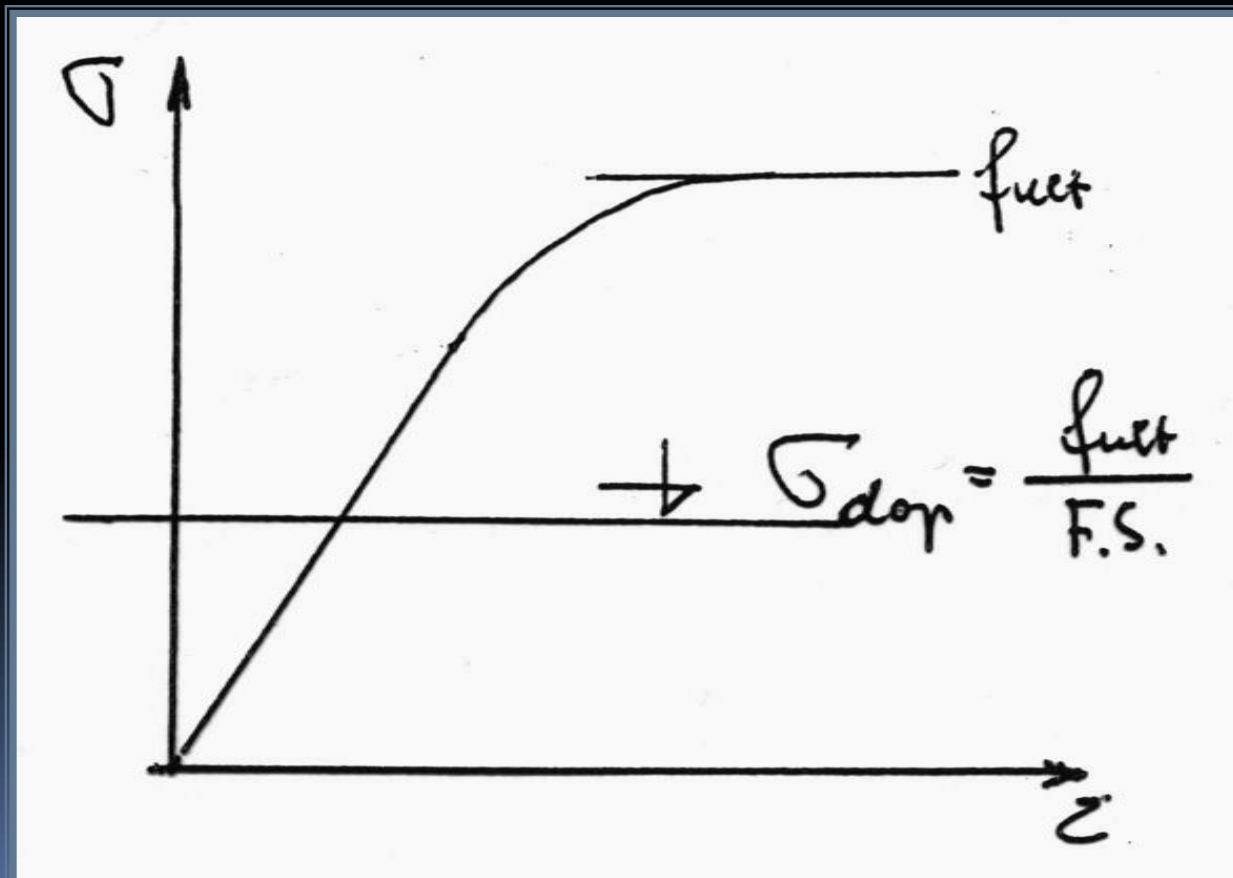


# Savojna čvrstoća

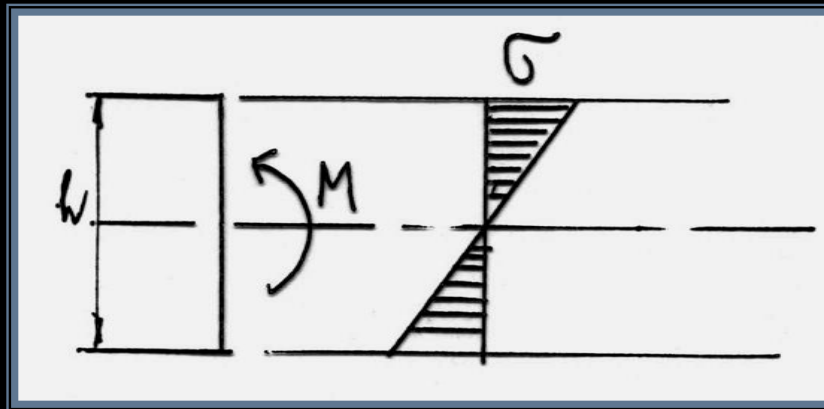


**RAZLIKA** između proračuna savijanja po **graničnim stanjima** nosivosti i proračuna po **dopuštenim naprezanjima**.

Dijagram  $\sigma - \varepsilon$  s označenom nosivošću materijala



savijanje:



$$W_{el} = \frac{bh^2}{6}$$

naprezanje na rubu:

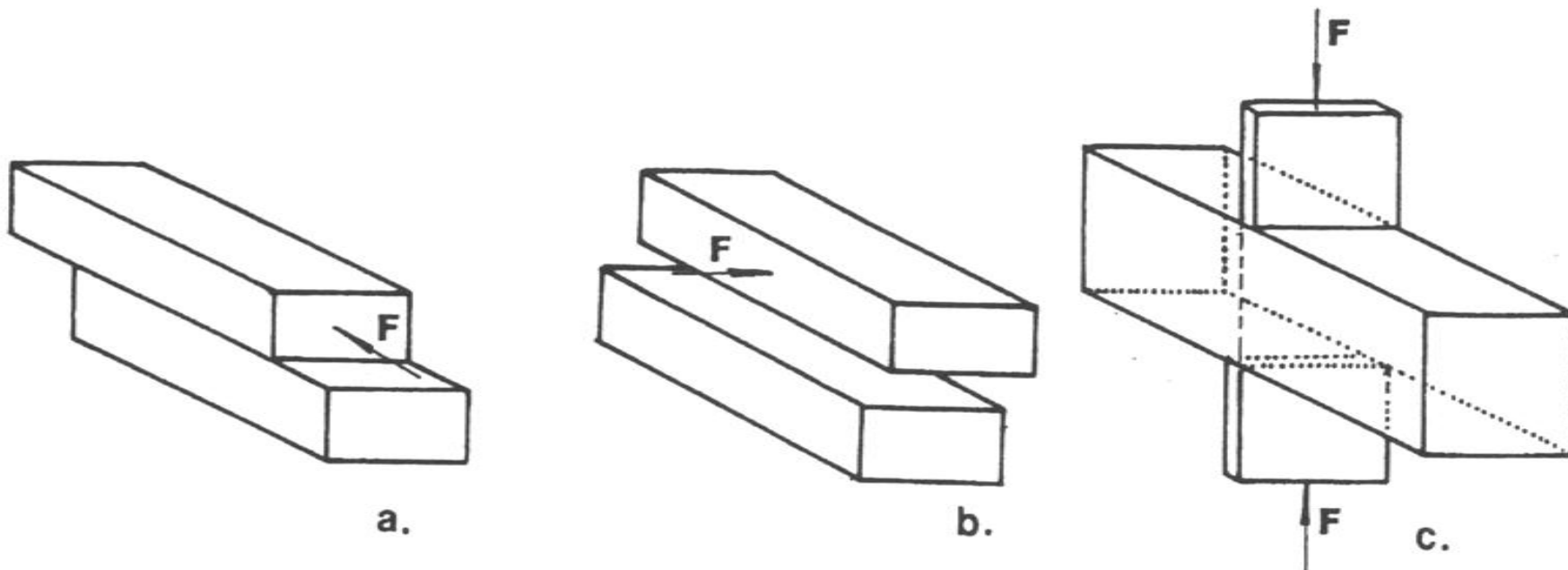
$$\sigma = \frac{M}{W_{el}} = \frac{M}{\left(\frac{bh^2}{6}\right)} \leq \sigma_{dop}$$

za

**dimenzioniranje po dopuštenim naprezanjima**

$$M_{dop} = \sigma_{dop} \cdot W_{el} = \sigma_{dop} \frac{bh^2}{6}$$

# POSMIČNA ČVRSTOĆA

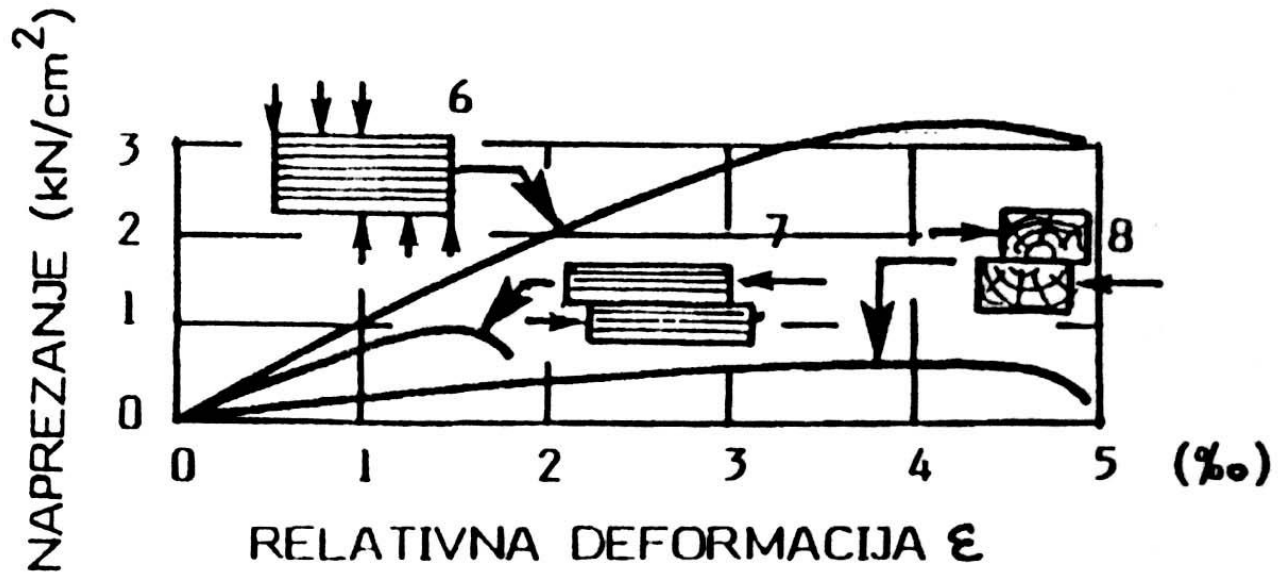


## Vrste posmičnih čvrstoća

a) posmik u smjeru vlaknanaca

b) posmik okomito na vlaknanca

c) odrez vlaknanaca

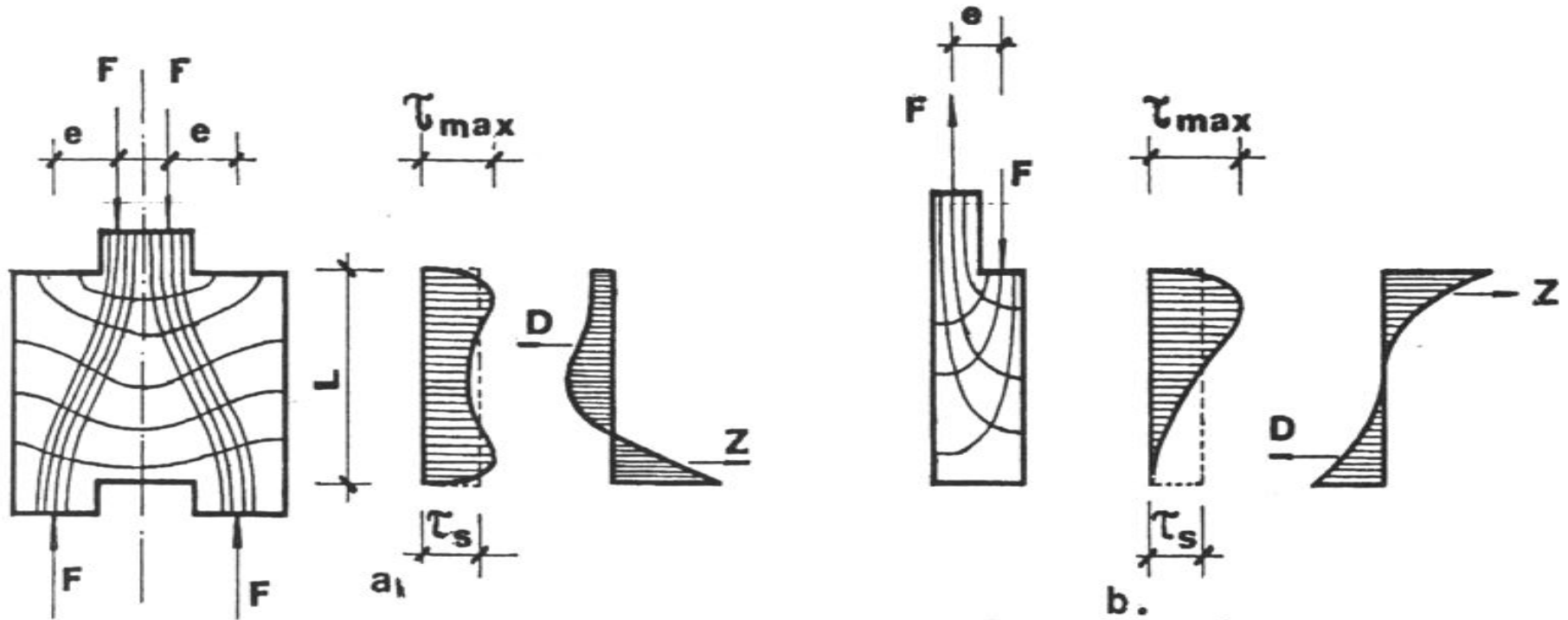


- 6. odrez vlakanaca
- 7. posmik u smjeru vlakanaca
- 8. posmik okomito na vlakanca

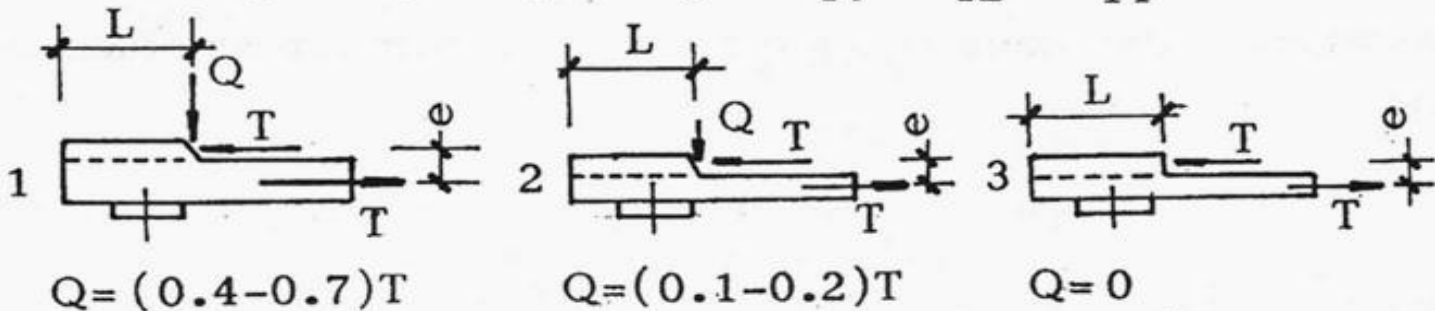
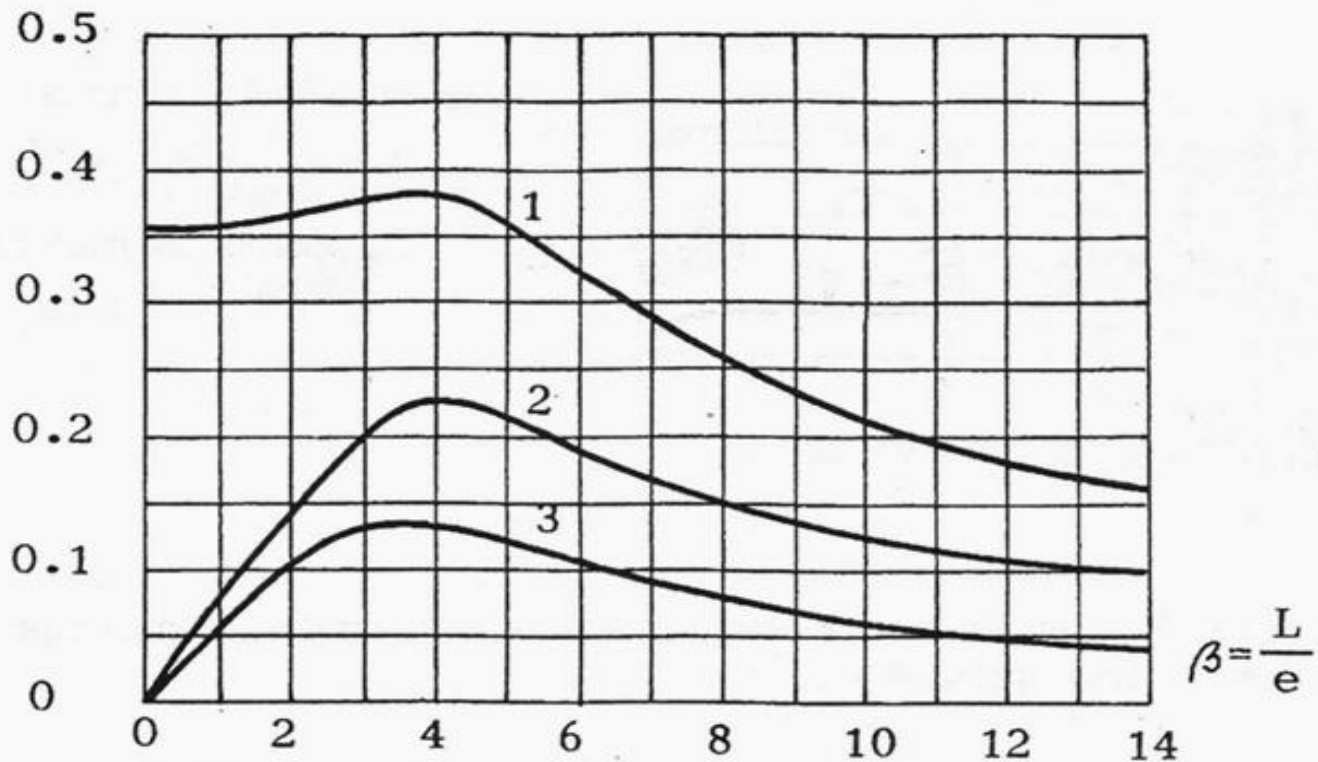
**$\sigma - \varepsilon$  dijagram ispitivanja uzorka borovine za posmična naprezanja**

# Posmična naprežanja od savijanja

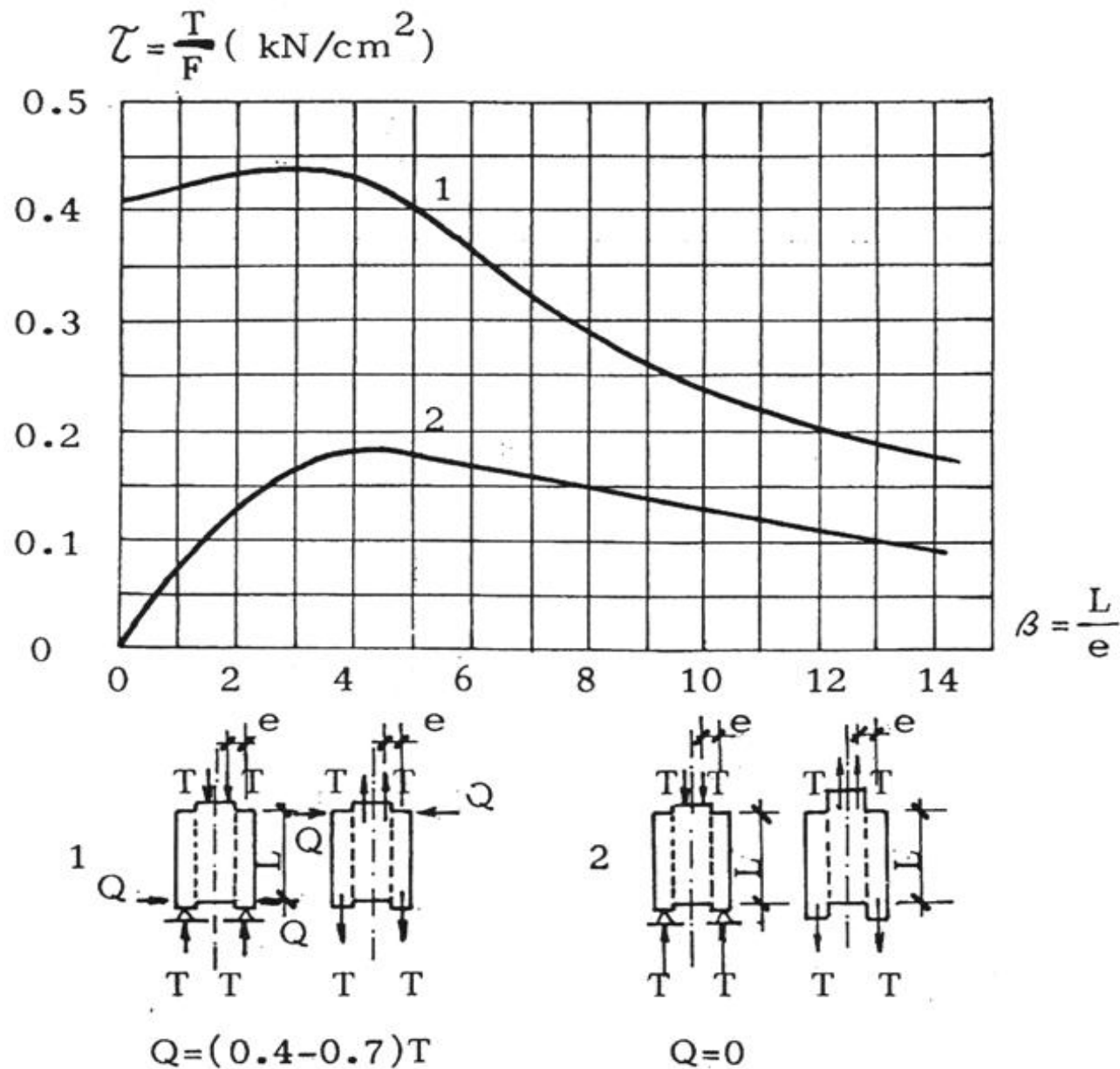
$$\tau = ( Q * S ) / ( I * b )$$



Stvarna raspodjela posmičnih naprežanja po plohi smicanja za simetričan i nesimetričan uzorak (ekcentrično djelovanje opterećenja uzorak)



**Rezultati ispitivanja posmične čvrstoće za nesimetrične uzorke i utjecaj pridržajnih sila uzorka  $Q$  na posmičnu čvrstoću.**



**Utjecaj pridržajnih sila  $Q$  uzorka na posmičnu čvrstoću za simetrične uzorke**



U slučaju **nepridržanog uzorka** naprezanja silama cijepanja, naprezanja u kritičnom presjeku su:

$$\sigma = \frac{M}{W} * K = \frac{6 * F * e}{b * L^2} * K$$

za  $b = 1$  (**K je koeficijent koncentracije naprezanja**)

$$\sigma = \frac{6 * F * e}{L^2} * K$$

Kako je:

$$\tau = \sigma * \frac{L}{6 * e * K}$$

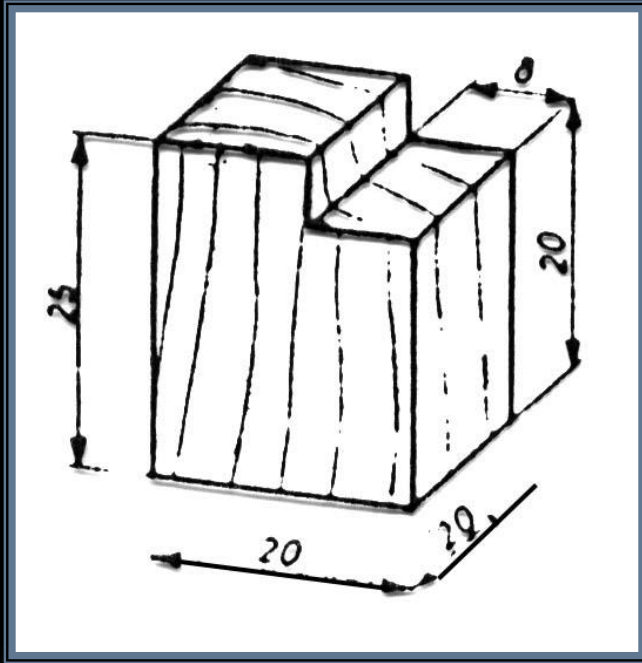
i

$$F = 1 * L * \tau$$

Odakle se vidi da

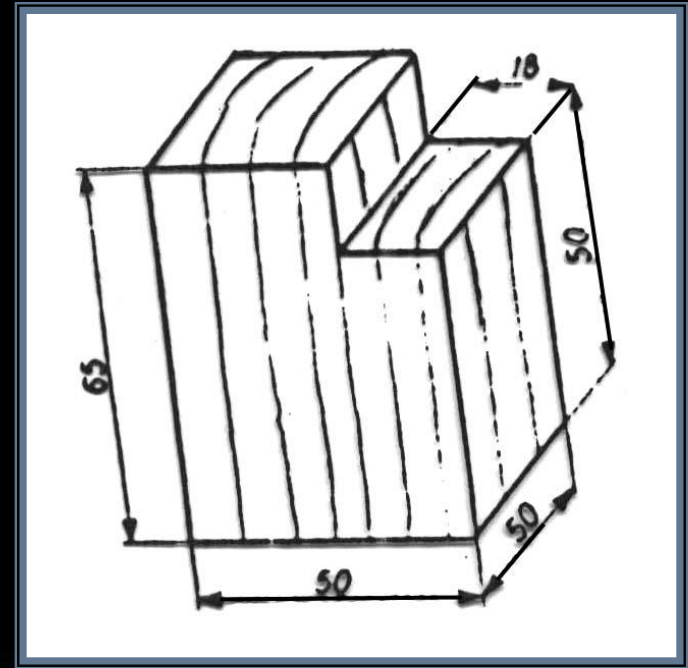
**sa povećanjem ekscentriciteta “e” ili smanjenjem duljine probe “L” posmično naprezanje  $\tau$  teži nuli**

**mala epruveta**



**Radijalna ravnina**

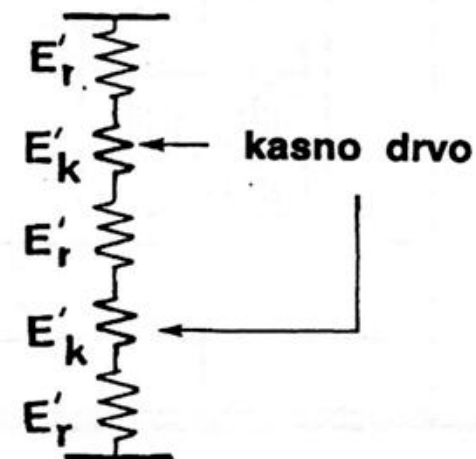
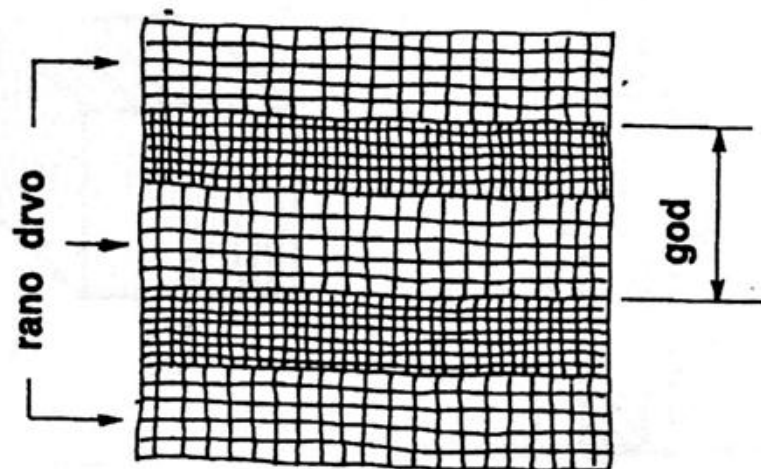
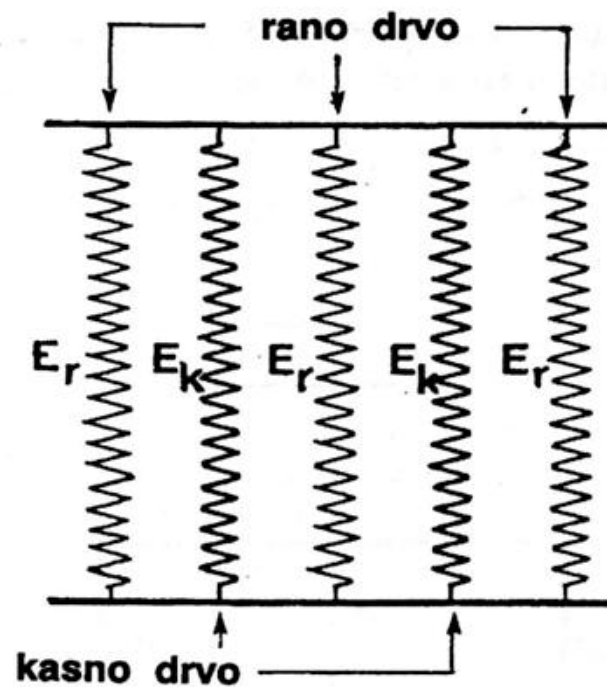
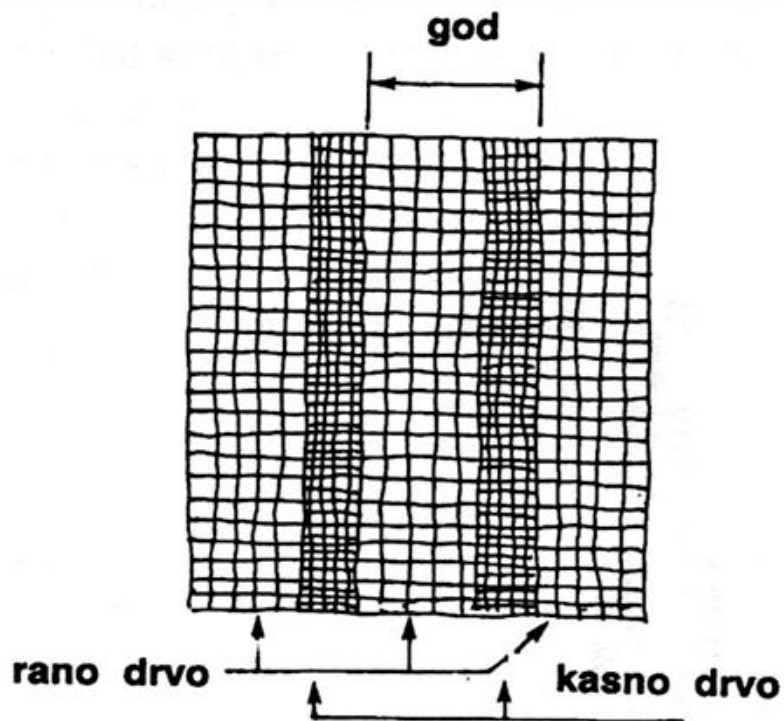
**velika epruveta**



**Tangencijalna ravnina**

**Uzorak za ispitivanje posmične čvrstoće**

# REOLOŠKI MODEL DRVA



Glavne osobine drva su **nehomogenost, anizotropija i promjenjivost**

U jednom godu razlikujemo **rano i kasno drvo**, različitih mehaničkih svojstava

Shemi njihova rasporeda odgovaraju prikazani dinamički modeli

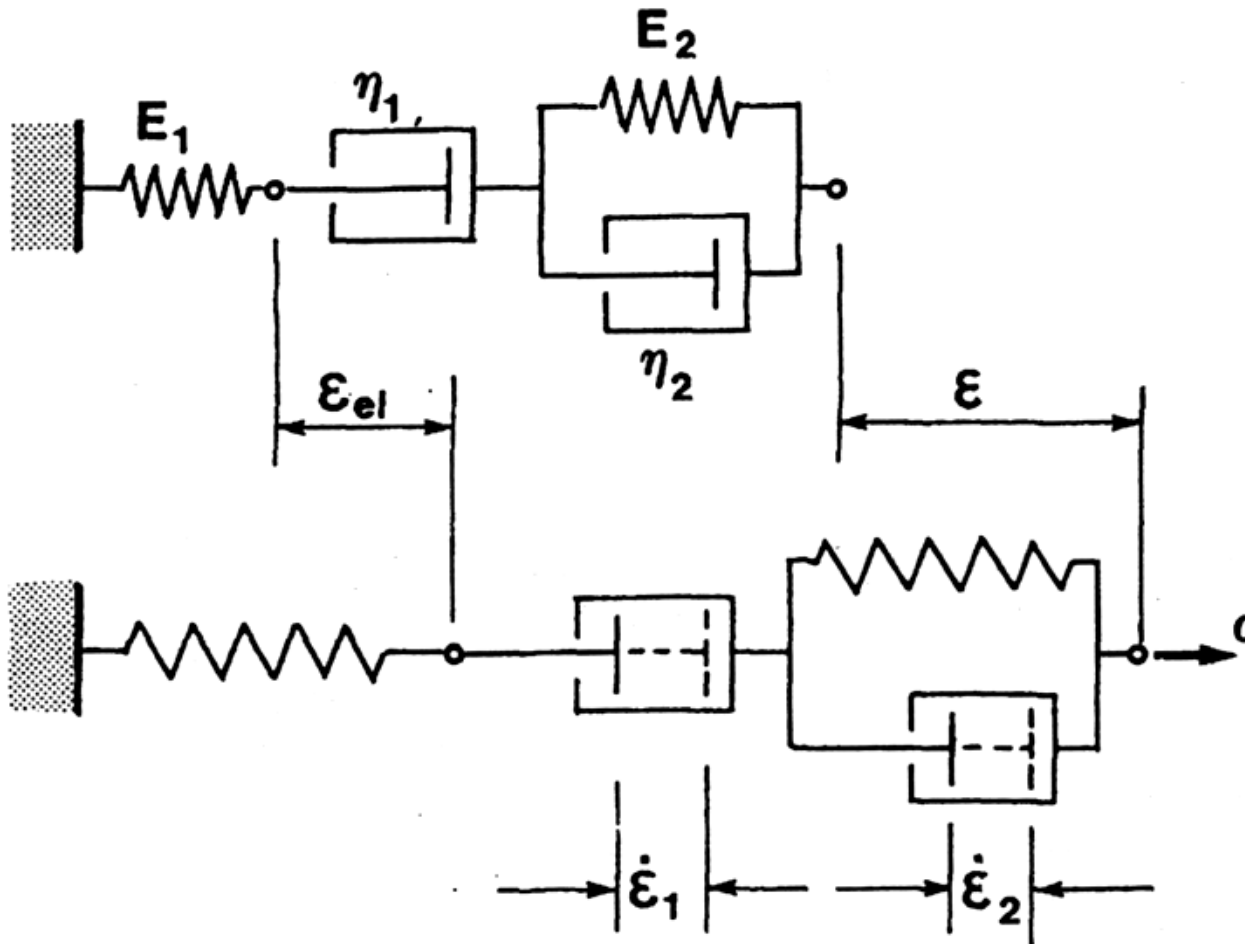
Pravilan odabir reološkog modela, a time i točnost odnosa naprezanja i deformacija ovisi o točnosti, vrsti i rasporedu elemenata modela.

**Lignin** ima karakteristiku cilindra, a **celuloza** opruge; u modelu su odvojeni, a u drvu isprepleteni

Reološki model drva sastoji se od elastičnih i plastičnih elemenata koji djeluju u nizu i paralelno (takav model najbolje zadovoljava odnos naprezanja i deformacija kod drva)

# Reološki model drva: elastični i viskozni elementi povezani u nizu i paralelno

neopterećen model vrijeme  $t = t_0$



opterećen model vrijeme  $t = t_n$

$\epsilon_{el}$  - elastična  
relativna  
deformacija

$\epsilon_1$  - elastična  
relativna  
deformacija  
ovisna o  
vremenu

$\epsilon_2$  - plastična  
relativna  
deformacija

Za **elastične materijale:**

$$\sigma = E * \varepsilon$$

$\sigma$  - normalno naprezanje

$E$  - modul elastičnosti

$\varepsilon$  - relativna deformacija

$\eta$  - koeficijent viskoznosti

$\varepsilon'$  - relativna deformacija ovisna o "t"

$\varepsilon_{el}$  - elastična relativna deformacija

$\varepsilon_1$  - elastična relativna deformacija ovisna o vremenu

$\varepsilon_2$  - plastična relativna deformacija

**Plastični materijali** - naprezanje ovisi i o brzini prirasta relativne deformacije

$$\sigma = \eta * \varepsilon'$$

**Ukupna relativna deformacija**  
prikazanog reološkog modela

$$\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

**Elastična deformacija** određena je izrazom:

$$e_{el} = \frac{\sigma}{E_1}$$

**Elastična deformacija ovisna o vremenu** određena je izrazom:

$$e_1 = \frac{\sigma}{\eta_1} * t$$

Udio **plastične deformacije** u ukupnoj deformaciji određen je izrazom:

$$e_2 = \frac{\sigma}{E_2} * \left(1 - e^{-\frac{E_2 * t}{\eta_2}}\right)$$

$\varepsilon$  - ukupna relativna deformacija

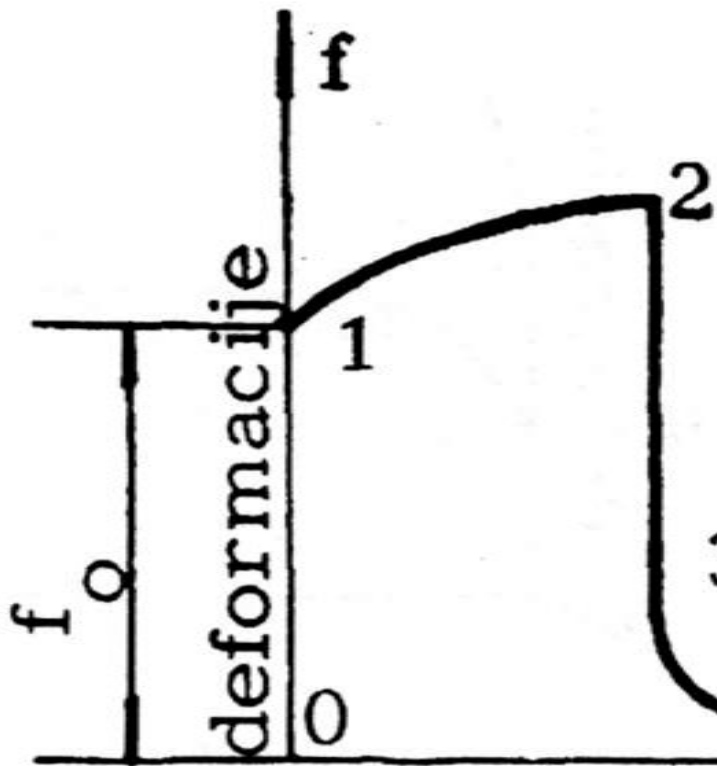
$E_1; E_2$  - moduli elastičnosti

$\eta_1; \eta_2$  - unutrašnje trenje u drvu (ovisi o vlažnosti drva)

$t$  - vrijeme

- Ovisnost  $f - t$  (deformiranje – vrijeme) za opterećeni i rasterećeni uzorak

(0-1) Početno deformiranje (neposredno nakon nanošenja opterećenja)



(1-2) Povećanje deformiranja u vremenu pri djelovanju trajnog opterećenja stalnog intenziteta

(2-3) Primarno povratno deformiranje u trenutku rasterećenja

Zaostalo deformiranje teži konačnoj vrijednosti

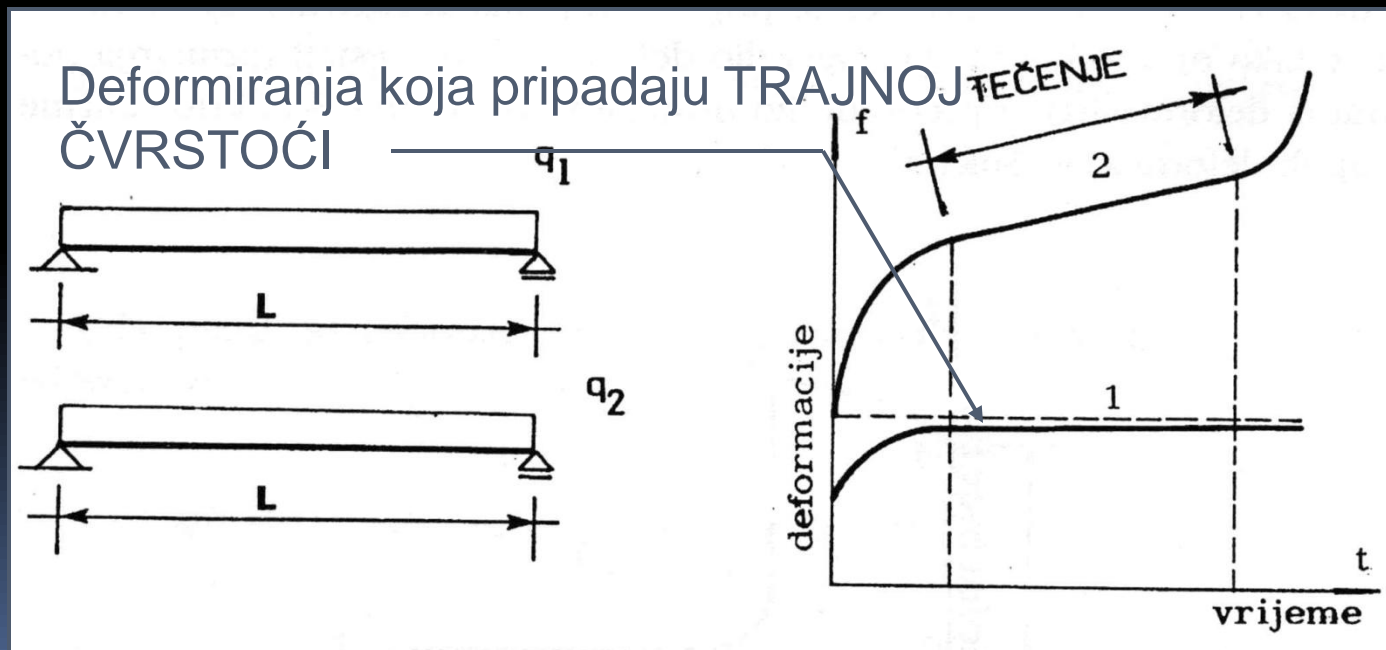
Pri rasterećenju nestaje veći dio deformiranja, a ostatak se prigušuje do tzv. **TRAJNOG DEFORMIRANJA**

Ukupno deformiranje: ELASTIČNO I PLASTIČNO

**vrijeme**

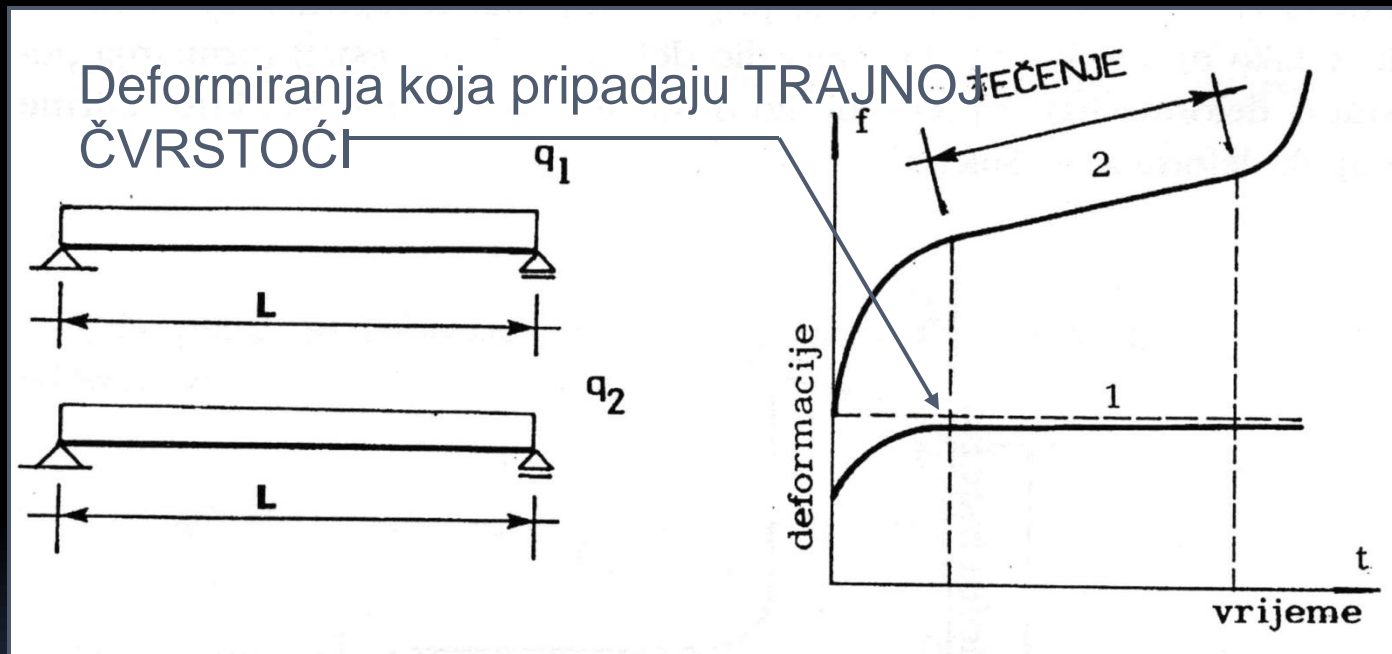


- Ovisnost  $f - t$  za uzorke opterećene različitim intenzitetima opterećenja
- KRIVULJA 1 – početna faza opterećivanja s postupnim prirastom deformiranja koje se s vremenom prigušuju ili povećavaju
- KRIVULJA 2 – deformiranje raste s povećanjem opterećenja do sloma (lomno opterećenje uzorka)



# DRVO KAO MATERIJAL – MEHANIČKA SVOJSTVA

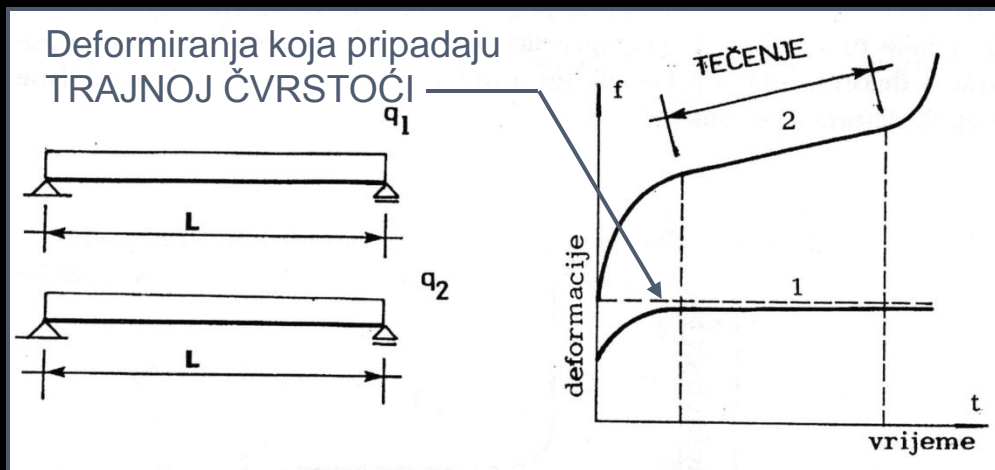
- Ovisnost  $f - t$  za uzorke opterećene različitim intenzitetima opterećenja



- PUZANJE – proces neprekidnog povećanja deformiranja u vremenu pod djelovanjem stalnog opterećenja
- TEČENJE – faza puzanja s jednolikom brzinom prirasta deformiranja u vremenu za uzorke opterećene različitim intenzitetima opterećenja

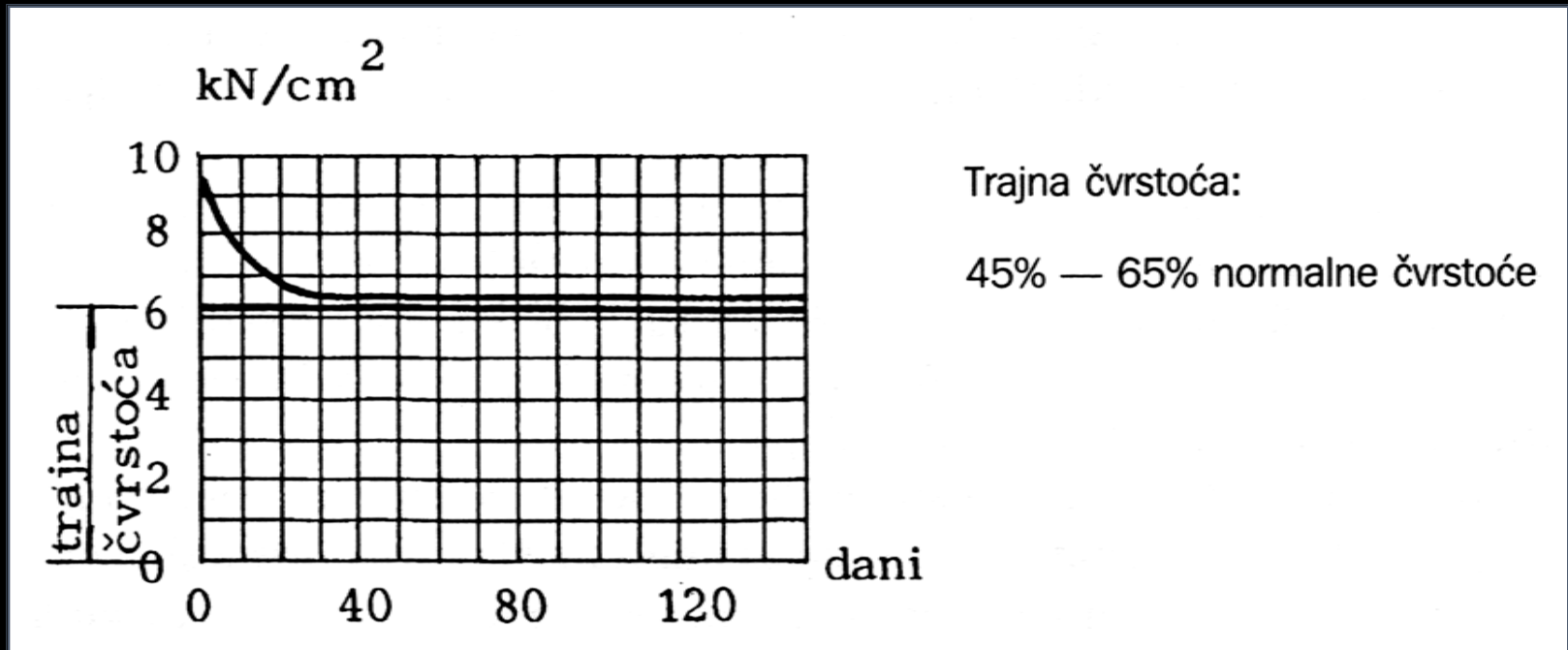
# DRVO KAO MATERIJAL – MEHANIČKA SVOJSTVA

- Ovisnost  $f - t$  za uzorke opterećene različitim intenzitetima opterećenja



- TRAJNA ČVRSTOĆA – najveće naprezanje pri kojem ne dolazi do sloma uzorka pod djelovanje opterećenja stalnog intenziteta
- Ako naprezanja od trajnog opterećenjem jednolikog intenziteta ne prelaze granicu trajne čvrstoće, deformiranje se u vremenu prigušuje i asimptotski približava vrijednosti koja pripada trajnoj čvrstoći uzorka. U obrnutom slučaju, deformiranja se u vremenu povećavaju do sloma.

- Dijagram trajne čvrstoće drva na savijanje



- Krivulja čvrstoće drva na savijanje za uzorak opterećen stalnim djelovanjem jednolikog intenziteta
- Asimptotski pad čvrstoće u vremenu do granične vrijednosti – TRAJNE ČVRSTOĆE

- **Izmjenična (ciklička) opterećenja i umor materijala**
- Dugotrajna opterećenja promjenjivog predznaka izazivaju slom pri naprezanjima koja su manja od čvrstoće statički ispitanih uzoraka.
  - Pojava izazvana **UMOROM MATERIJALA**.
- Granica čvrstoće drva na izmjenična opterećenja iznosi približno 35% čvrstoće statički opterećenih uzoraka.
  - Simetrično ciklička opterećenja intenziteta do 35% čvrstoće ne izazivaju slom.
- Umor materijala je znatan pri čvrstoćama ciklički opterećenih uzoraka  $> 65\%$  čvrstoće statički opterećenih uzoraka.
- U području 35%-65% čvrstoće statički opterećenih uzoraka čvrstoća uzoraka izloženih izmjenično promjenjivom opterećenju je veća.