

Lesnická xylologie

Mechanické vlastnosti dřeva

přednáška



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

Mechanické vlastnosti dřeva

Charakterizují schopnost dřeva odolávat účinku vnějších sil.

Mechanické vlastnosti dělíme na:

základní

– pružnost, pevnost, plastičnost a houževnatost dřeva

odvozené

– tvrdost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení a odolnost proti únavovému lomu

technologické

– štípatelnost, opotřebovatelnost, ohýbatelnost aj.

Anizotropní charakter dřeva

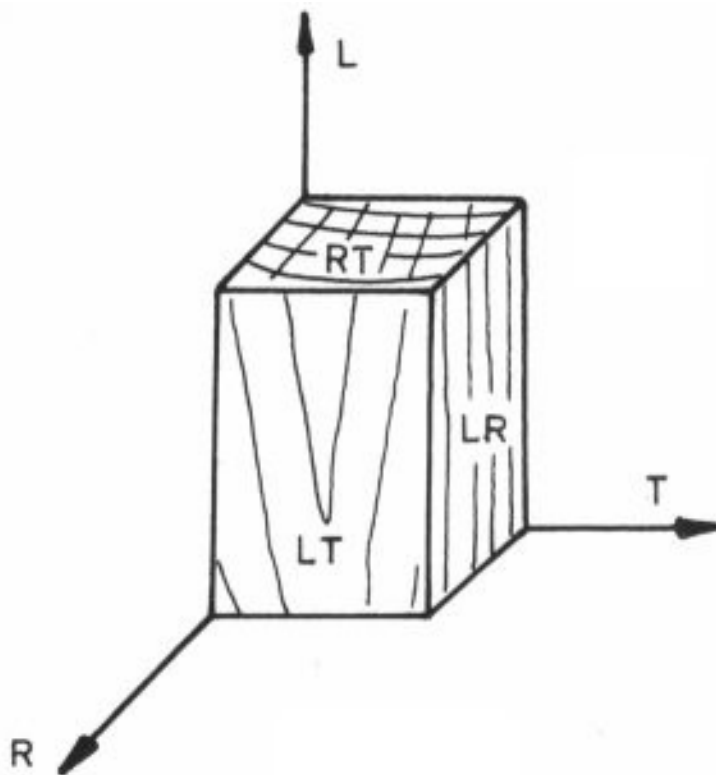
- anizotropní charakter (např. dřevo)
 - v různých směrech různé vlastnosti
- ortotropní model
 - zjednodušení anizotropie na 3 směry
 - vlastnosti se liší ve třech na sebe kolmých směrech (L, R, T)
- izotropní (např. ocel)
 - vlastnosti nezávislé na směru

Příčiny anizotropie

Vliv stavby dřeva na všech úrovních:

- makroskopická úroveň
- mikroskopická úroveň
- submikroskopická úroveň
- chemická úroveň

Základní směry a roviny



*Roviny pružné symetrie
dřeva (ortotropní model)*

Mechanické napětí

DEFINICE

- reakce na vnější síly

Normálové napětí $\sigma = \frac{F}{S} [MPa]$
– síla působí kolmo k ploše (např. tlak nebo tah)

Tangenciální napětí
– síla působí v rovině průřezu (např. namáhání smykem)

Deformace

DEFINICE

Změna rozměrů, tvarů a struktury v důsledku zatížení.

Rozdělení na:

- **podélné × příčné**
-- nesouvisí s anatomickými směry, ale se směrem působící síly
- **absolutní × poměrné**
-- v jednotkách délky (absolutní)
-- v % (poměrné)

Deformace

Celková deformace

Je rovna součtu tří deformací:

- a) deformace *pružné*
- b) deformace *pružné v čase*
- c) deformace *plastické*

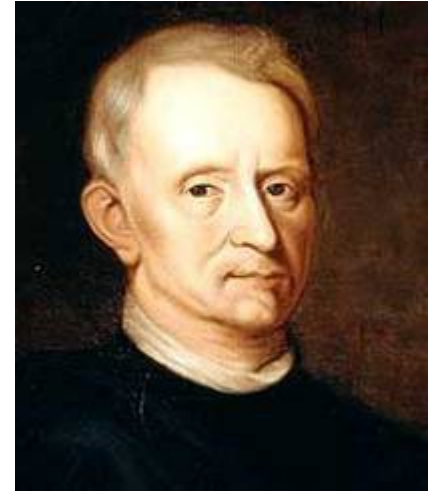
Vztah mezi napětím a deformací

Robert Hooke (1635–1703)

„Ut tensio, sic vis.“

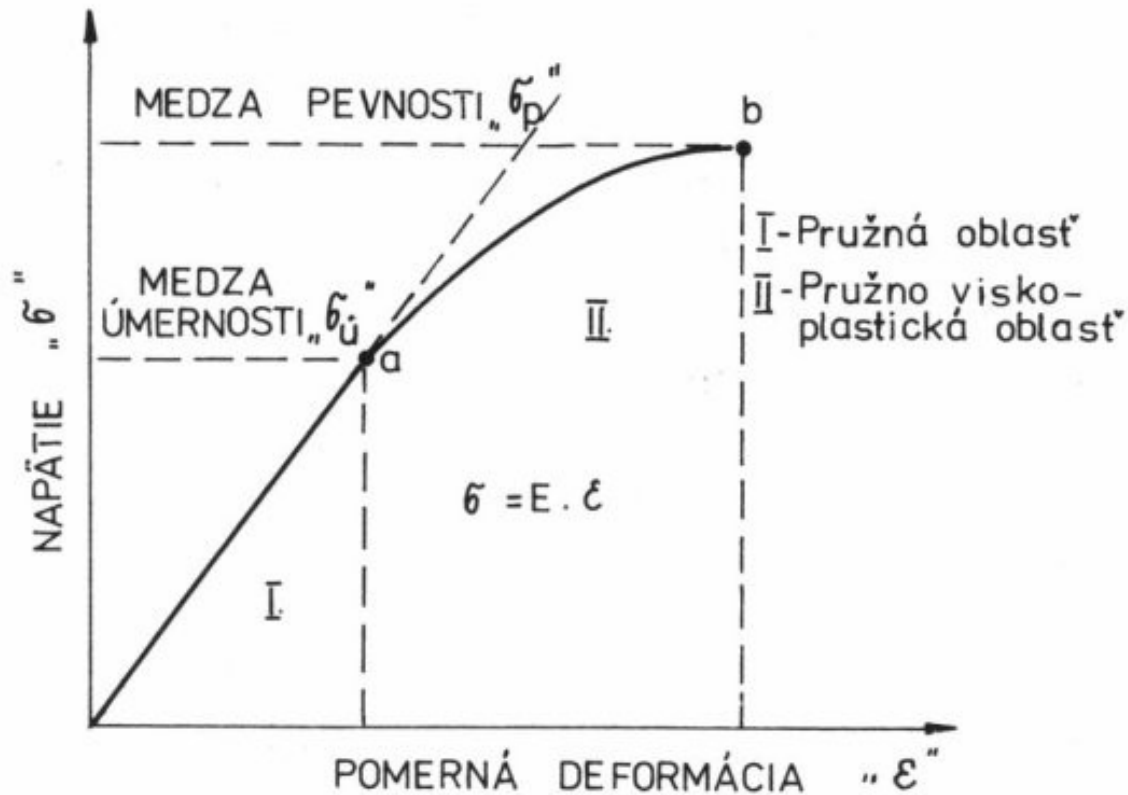
Hookeův zákon

Každá složka napětí je přímo úměrná každé složce deformace (do určité hranice zatížení).



Vztah mezi napětím a deformací

Pracovní diagram – popisuje vztah mezi σ a ε



Pružnost dřeva

Pružnost dřeva

DEFINICE

Schopnost dřeva dosahovat původní tvar a rozměry po uvolnění vnějších sil.

Technické konstanty

- Youngovy moduly pružnosti E
- smykové moduly pružnosti G
- Poissonova čísla μ

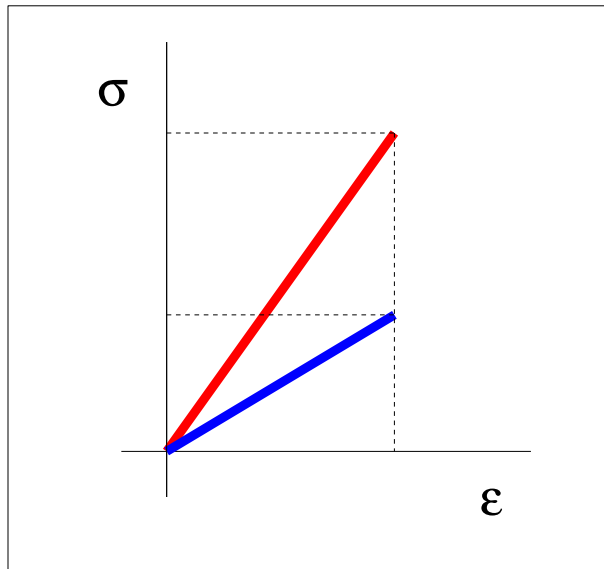
Pružnost dřeva

Moduly pružnosti E

- vyjadřují vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci.

Čím je E větší, tím větší napětí je potřebné na vyvolání deformace.

Zjištění lze provést pouze experimentálně!



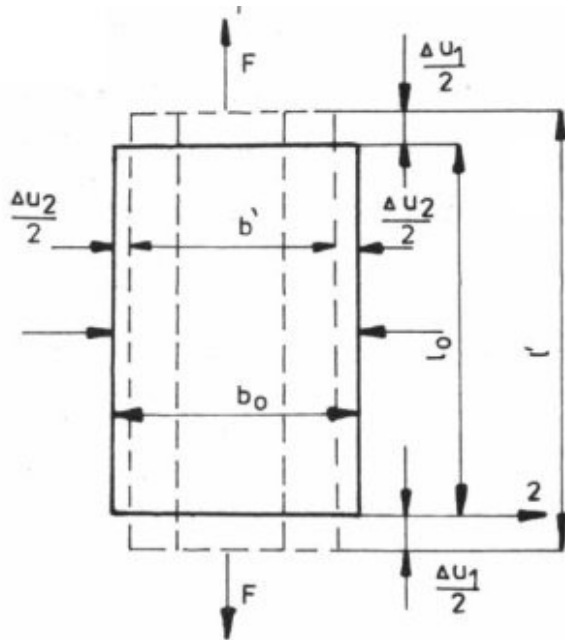
Srovnání dvou materiálů z hlediska modulu pružnosti.

*Červená – materiál s vyšším modulem pružnosti
Modrá – nižší modul pružnosti*

Pružnost dřeva

Poissonova čísla μ

Vyjadřují poměr mezi příčnou a podélnou deformací.



$$l' = l_0 + \Delta u_1$$

$$b' = b_0 - \Delta u_2$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta u_1}{l_0}$$

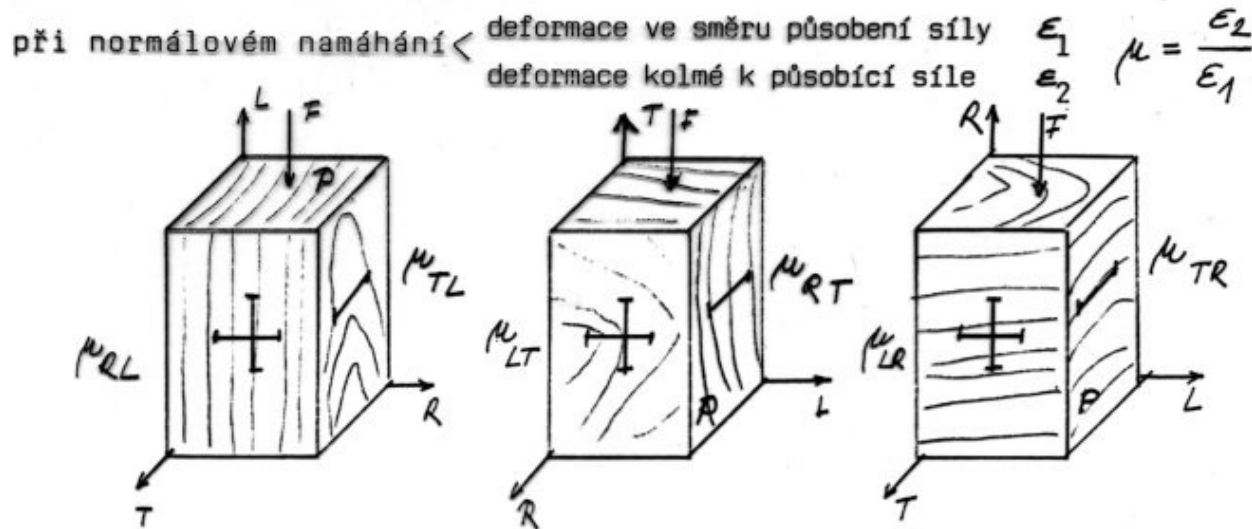
$$\varepsilon_2 = -\frac{\Delta u_2}{b_0}$$

$$\mu = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

Pružnost dřeva

Poissonova čísla μ

ortotropní materiál = 6 Poissonových čísel

$$\mu_{RL}, \mu_{TL}, \mu_{TR}, \mu_{LR}, \mu_{RT}, \mu_{LT}$$


Pevnost dřeva

Pevnost dřeva

– charakterizuje odpor dřeva proti jeho trvalému porušení

mez pevnosti

– max. hodnota zatížení, kterou vydrží bez destrukce

Rozdělení pevnosti dřeva podle:

- *způsobu zatížení*: tlak, tah, ohyb, krut a smyk
- *časového průběhu zatížení*: statické a dynamické
- *účinků zatížení na dřevo*: destruktivní a nedestruktivní způsob

Pevnost dřeva v tlaku

a) pevnost dřeva v tlaku **ve směru vláken** σ_{\parallel}

b) pevnost dřeva v tlaku **napříč vláken** $\sigma_{\perp L}$

– ve směru radiálním $\sigma_{\perp R}$

– ve směru tangenciálním $\sigma_{\perp T}$

Pevnost dřeva v tlaku

Tlak ve směru vláken (ČSN 49 0110)
mez pevnosti: ~50 MPa

Ovlivnění faktory

vyšší hustota → ↑ pevnost

vyšší vlhkost → ↓ pevnost

vyšší teplota → ↓ pevnost

Pevnost dřeva v tlaku

Vysoká hustota + suché dřevo = vysoká pevnost → porušení ve formě smyku jedné části tělesa vzhledem k druhé po linii, která na tangenciální ploše probíhá pod úhlem 60° k podélné ose.

Nízká hustota + mokré dřevo = malá pevnost → otláčení vláken na čelních plochách a vybočení stěn

Pevnost dřeva v tlaku

Tlak ve směru vláken

Průběh

1. fáze

– *skluzové čáry* – příčné rysky (70°) na tracheidách jehličnanů při počátečním zatížení

2. fáze

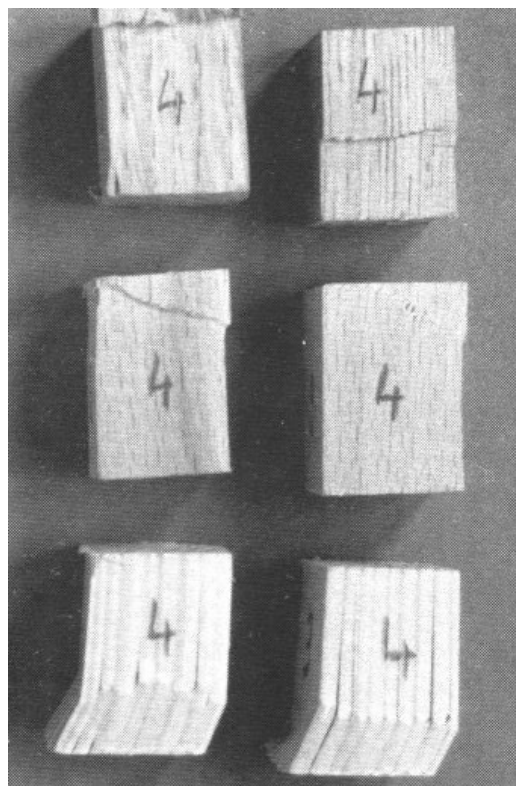
– *čáry porušení* – ještě nedochází k zakřivení vláken

3. fáze

– viditelné pouhým okem. Deformace BS a celých vláken.

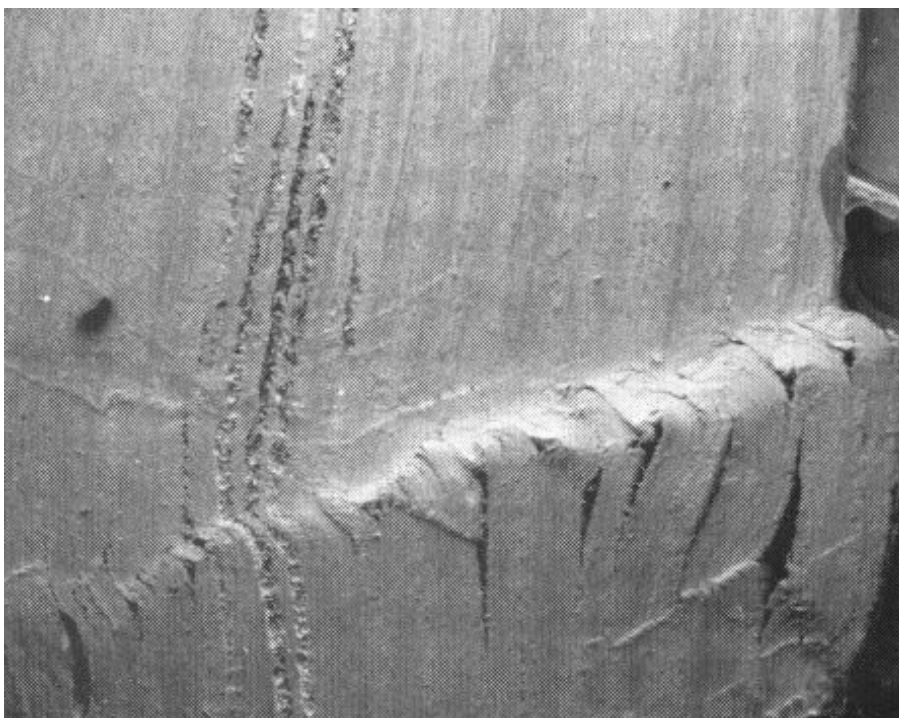
Pevnost dřeva v tlaku

Tlak ve směru vláken



Porušení dřeva v tlaku ve směru vláken.

Pevnost dřeva v tlaku



*Rovina porušení
při tlaku ve
směru vláken
(smrk)*

Pevnost dřeva v tlaku

Tlak ve směru vláken

Přenos napětí

- tlustostěnné elementy (letní tracheidy, libriformní vlákna)
- v BS makromolekulami celulózy a hemicelulóz na lignin

Konkrétní průměrné hodnoty meze pevnosti (MPa)

SM – 44,4

DB – 57,5

BK – 55,5

Nejvyšší hodnota (MPa): AK – 75,5

HB – 60,0

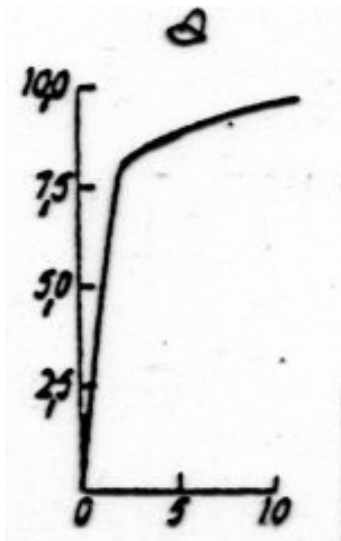
Nejnižší hodnota (MPa): TP – 39,0

Pevnost dřeva v tlaku

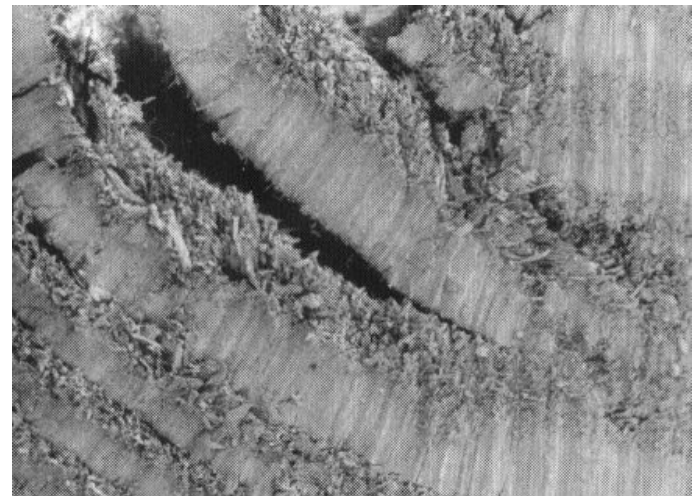
Tlak napříč vláken (ČSN 49 0112)

a) Dvoufázová deformace

– jehličnany a listnáče kruhovitě pórovité (ne DB) – F v T směru



*Porušení
dřeva na
hranici
letokruhu*

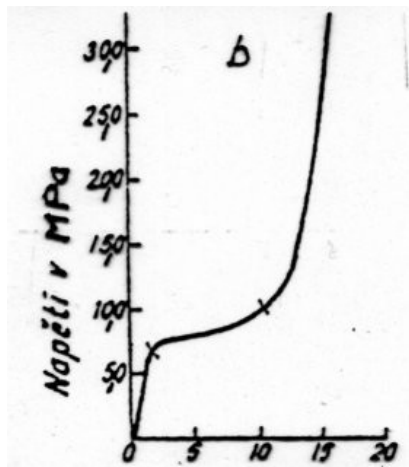


Pevnost dřeva v tlaku

Tlak napříč vláken (ČSN 49 0112)

b) Třífázová deformace

- všechna naše dřeva (ne DB) – F v radiálním směru.
- listnáče roztroušeně pórovité a DB – F v tangenciálním směru



Pevnost dřeva v tlaku

Tlak napříč vláken

Průběh

1. fáze

-- způsobena utlačováním jarního dřeva v letokruzích, na konci mez úměrnosti

2. fáze

-- utlačování elementů (téměř vodorovná část, napětí stoupá pomalu)

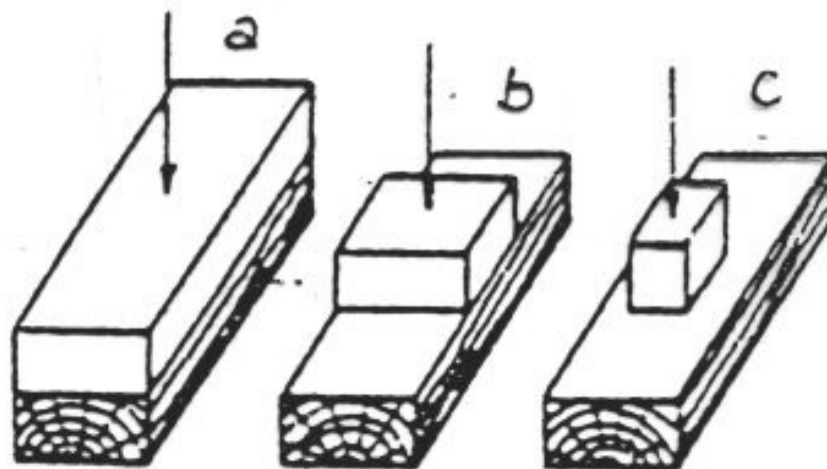
3. fáze

-- dochází k zhušťování dřeva, která nekončí úplným porušením tělesa

Pevnost dřeva v tlaku

Tlak napříč vláken

*Tři druhy
pevnosti v tlaku
napříč vláken
podle rozsahu
zatěžované
plochy*



Pevnost dřeva v tahu

- a) pevnost dřeva v tahu ve směru vláken

- b) pevnost dřeva v tahu napříč vláken
 - ve směru radiálním
 - ve směru tangenciálním

Pevnost dřeva v tahu

Tah ve směru vláken (ČSN 49 0113)

Mez pevnosti: ~120 MPa

Vysoká hustota – lom vláknitý nebo třískovitý

Nižší hustota – lom téměř hladký, schodovitý

Mez úměrnosti

- u listnáčů s kruhovitě pórovitou stavbou 70 %
- u jehličnanů 80 % meze pevnosti.

Mez pevnosti (MPa)

SM – 103

DB – 132

BK – 123

Pevnost dřeva v tahu

Tah napříč vláken (ČSN 49 0114)

Mez pevnosti: 1,5–5 MPa

$\sigma_R > \sigma_T$ u jehličnanů o 10–80 %, u listnáčů o 20–70 %.

roztr. p. tvrdá > kruh. p. > roztr. p. měkká > jehličnany

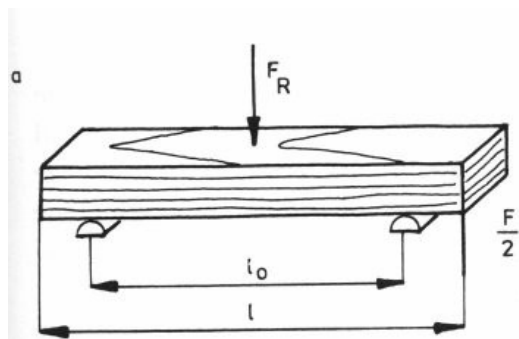
Mez pevnosti (MPa)

SM – 2,2

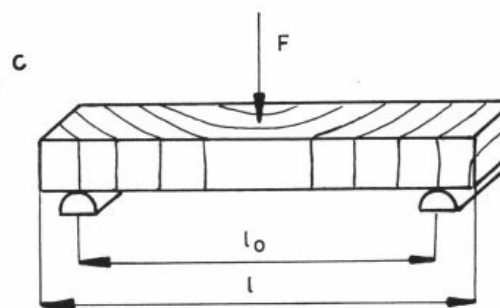
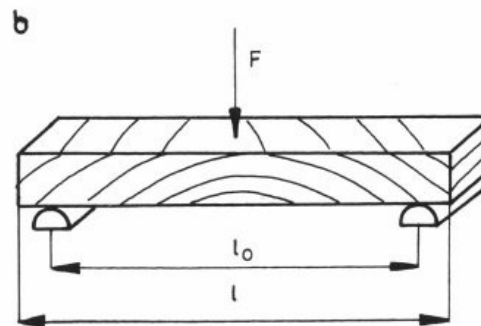
DB – 5,8

BK – 4,4

Pevnost dřeva v ohybu



*vlákna probíhají
rovnoběžně
s podélnou osou
tělesa*



*vlákna
probíhají
kolmo na
podélnou
osu tělesa*

Pevnost dřeva v ohybu

vlákna probíhají rovnoběžně s podélnou osou tělesa

Mez pevnosti: ~100 MPa

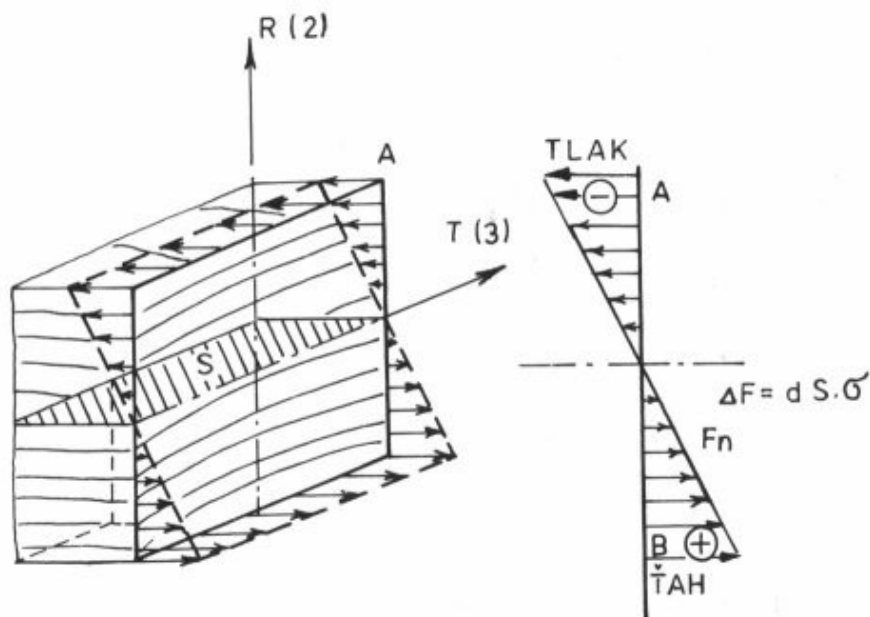
listnáče $R = T$

jehličnany $T > R$ (o 10–12 %)

křehké dřevo – lom je hladký

houževnaté a pevné dřevo – lom je vláknitý

Pevnost dřeva v ohybu



*Rozložení napětí
po výšce tělesa
(radiální ohyb
kolmo na vlákna)*

Pevnost dřeva ve smyku

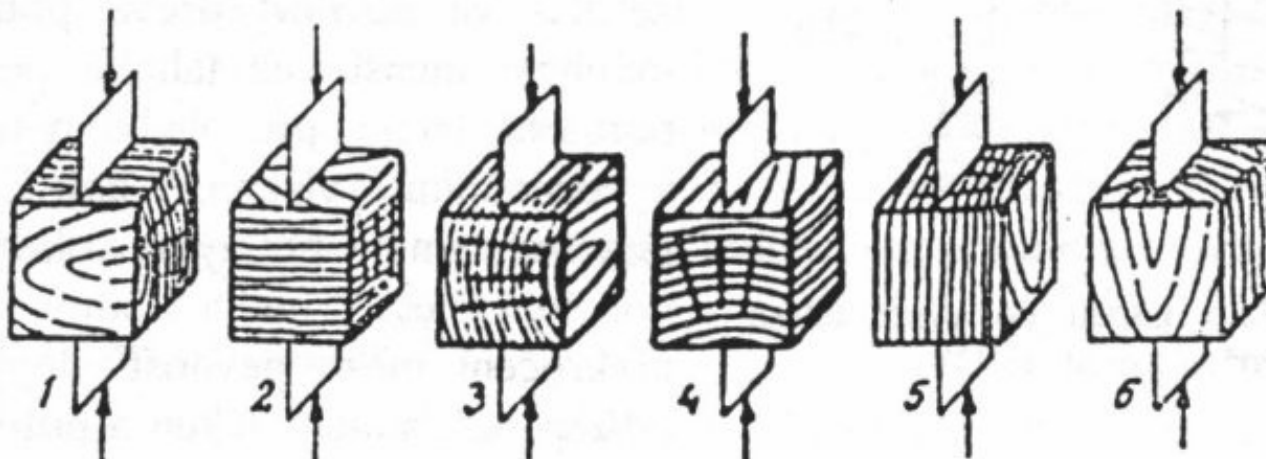
– působení dvou stejně velkých sil, které vyvolají vzájemné posunutí dvou sousedních průřezů.

Pevnost dřeva ve smyku

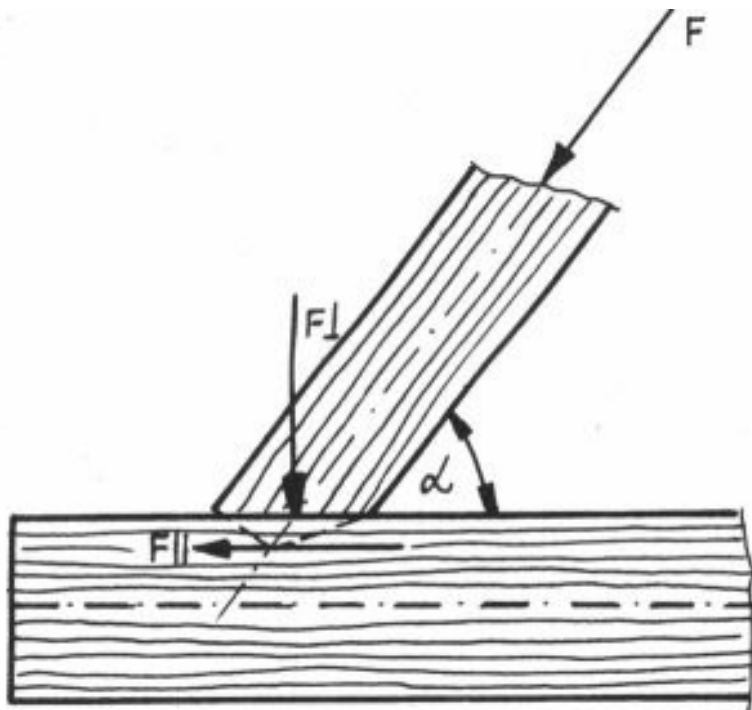
- smyková (stříhová) pevnost dřeva napříč vláken v příčné rovině v radiálním (2) a tangenciálním směru (1)
 - 20–52 MPa, např. kolíkové spoje
- smyková pevnost napříč vláken v radiální (4) a tangenciální (3) rovině
 - 3–8 MPa
- smyková pevnost ve směru vláken v radiální (6) a tangenciální (5) rovině
 - 6–19 MPa
 - list > jehl. (1,5 ×), u list. T > R, např. čelní zapuštění trámů

(viz následující snímek)

Pevnost dřeva ve smyku



Pevnost dřeva ve smyku



*Čelní zapuštění
trámu*

Pevnost dřeva v kroucení

Při tomto zatížení dochází ke smykovým napětím ve dvou rovinách:

- v rovině rovnoběžné s osou.
- v rovině kolmé na osu kmene.

$$\tau_K = \frac{M_k}{W} \text{ [MPa]}$$

Rázová houževnatost

Rázová houževnatost

- schopnost absorbovat práci vykonanou rázovým ohybem
- vyjadřuje ji energie spotřebovaná na přeražení dřeva ($J \cdot cm^{-2}$)
- dynamická zkouška – k překročení meze pevnosti dojde v krátkém časovém okamžiku



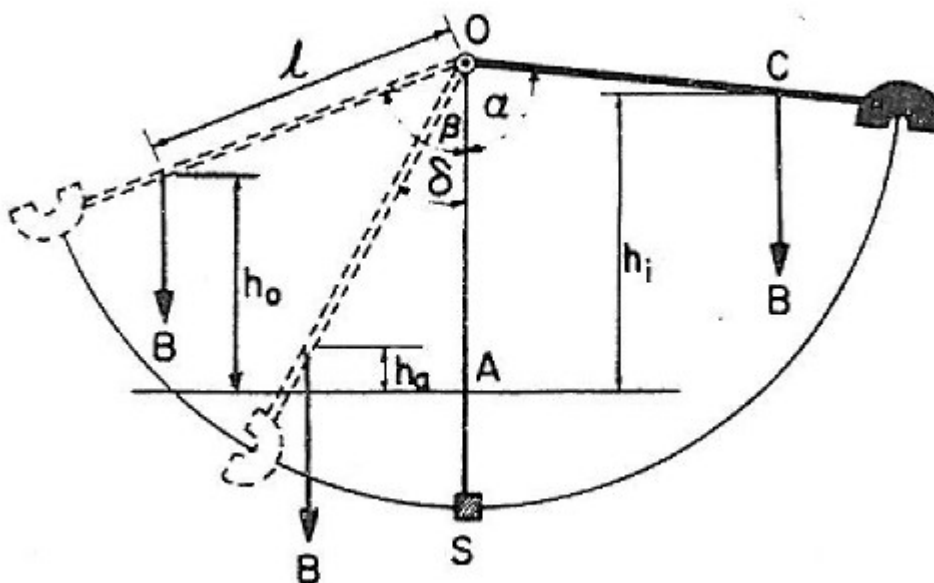
Charpyho kladivo

Rázová houževnatost

h_i – výchozí výška kladiva

h_0 – výška dosažená bez vzorku (překážky)

h_a – výška dosažená po přeražení vzorku



$$h_0 < h_i$$

$$h_a < h_0$$

Rázová houževnatost

Spotřebovanou energii lze vyjádřit:

$$E_p = m \cdot g \cdot (h_0 - h_a)$$

m – hmotnost kladiva

g – gravitační tíhové zrychlení

h_0 – výška dosažená bez vzorku (překážky)

h_a – výška dosažená po přeražení vzorku

Rázová houževnatost

Výpočet rázové houževnatosti (vztažené na průřez tělesa):

$$A_w = \frac{W}{b \cdot h}$$

W – spotřebovaná práce ($W = E_p$)

b, h – příčné rozměry tělesa

Průměrné hodnoty A_{12} (J·cm⁻²):

SM – 3,9 DB – 7,7 BK – 8,0 TP – 3,9

Tvrdost dřeva

Tvrdość dřeva

Schopnost odolávat vnikání cizího tělesa do struktury dřeva.

STATICKÁ TVRDOST

- zatlačování ocelové kuličky daného průměru do dřeva

a) Brinellova tvrdost H_B

- kulička zatlačována konstantní silou $F = 100 \text{ N}$ nebo 500 N

- z průměru otačené plochy a kuličky se spočítá tvrdost H_B (MPa)

b) Jankova tvrdost H_J

- polokulička zatlačována do dané hloubky

- měří se síla F potřebná k zatlačení polokuličky

- tvrdost H_J (MPa) se spočítá:

$$H_J = \frac{F}{S}$$

Tvrdość dřeva

STATICKÁ TVRDOST (pokračování)

$$H_{\text{čelní}} > H_{\text{R}} = H_{\text{T}}$$

Rozdělení dřev dle čelní tvrdosti

a) měkká	(< 40 MPa)	SM, LP
b) středně tvrdá	(41–80 MPa)	BK, DB, MD
c) tvrdá	(81–100 MPa)	HB, AK
d) velmi tvrdá	(101–150 MPa)	zimostráz
e) super tvrdá	(> 150 MPa)	eben, quajak

Tvrdost dřeva

DYNAMICKÁ TVRDOST

- charakterizována podílem potenciální energie kuličky padající volným pádem ze stanovené výšky a plochou otlačení

Faktory ovlivňující pevnost dřeva

Faktory ovlivňující pevnost dřeva

Vlhkost dřeva

- od 0 % do MH způsobuje pokles pevnosti (nelineární průběh)

srovnání

a) tah ve směru vláken

– nejsou významné rozdíly

b) tlak ve směru vláken

– při $w = \text{MH}$ pokles meze pevnosti $3,5\times$ oproti $w = 0 \%$

Faktory ovlivňující pevnost dřeva

Hustota dřeva

Vliv hustoty nejvýraznější při $w = 0 \%$.
Na MH je vliv nevýrazný.

Faktory ovlivňující pevnost dřeva

Teplota dřeva

- a) do 70 °C jen dočasná změna pevnostních/pružnostních charakteristik (vratné změny)
- b) nad 100 °C trvalé změny
- c) nad 200 °C -- dřevo se stává křehkým materiálem

Značný vliv především na rázovou houževnatost

Větší vliv na listnáče (více pentózanů).

Větší vliv při spolupůsobení s vlhkostí dřeva.

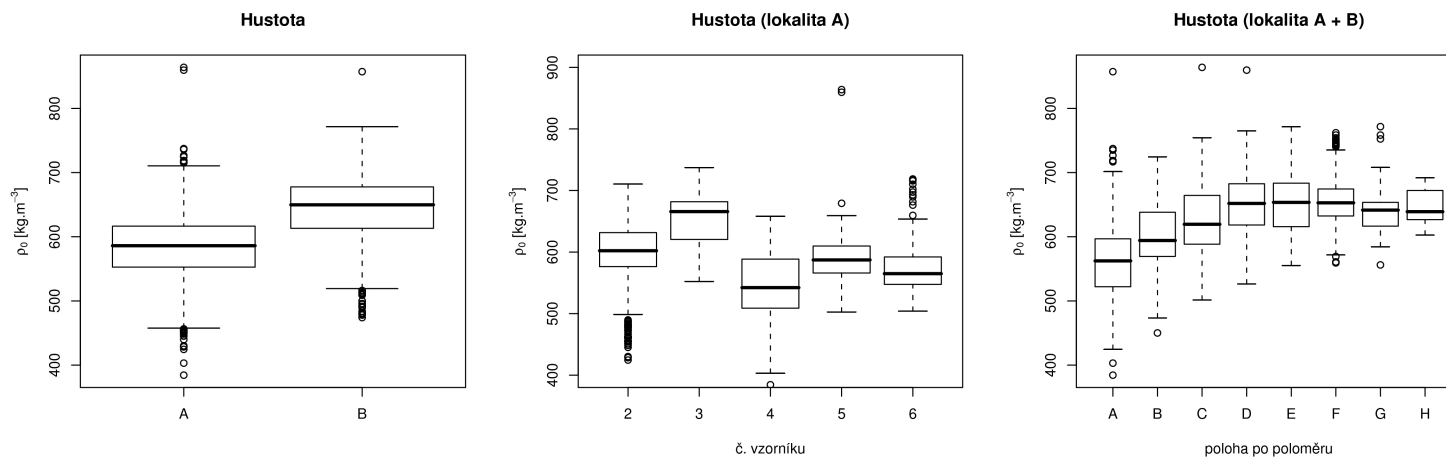
Proměnlivost vlastností dřeva

Proměnlivost vlastností dřeva

Dřevo se vyznačuje přirozenou proměnlivostí vlastností.

- a) v rámci letokruhu
- b) po poloměru a s výškou
- c) vliv věku jedince a sociálního postavení stromu v porostu
- d) vliv stanoviště
- e) vliv genetických vlastností

Proměnlivost vlastností dřeva



Proměnlivost hustoty dřeva dubu letního (Vavrčík et al. 2008)

a – rozdíly mezi stanovišti

b – rozdíly mezi vzorníkovými kmeny v rámci stanoviště

c – rozdíly po poloměru kmene