

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

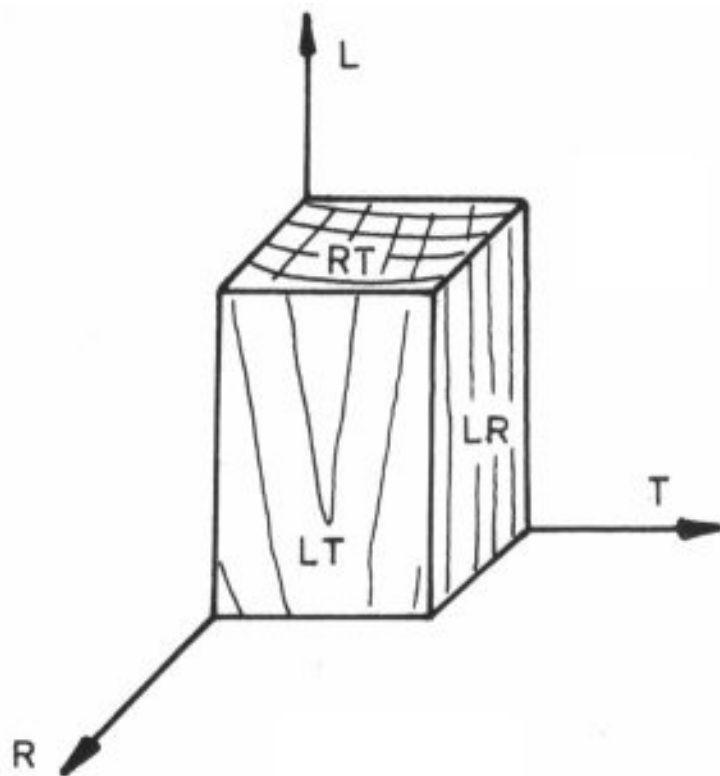
- anizotropní charakter (např. dřevo)
 - v různých směrech různé vlastnosti
- ortotropní model
 - zjednodušení anizotropie na 3 směry
 - vlastnosti se liší ve třech na sebe kolmých směrech (L, R, T)
- izotropní (např. ocel)
 - vlastnosti nezávislé na směru

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 $\sigma = \frac{F}{S} \text{ [MPa]}$
– 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.“

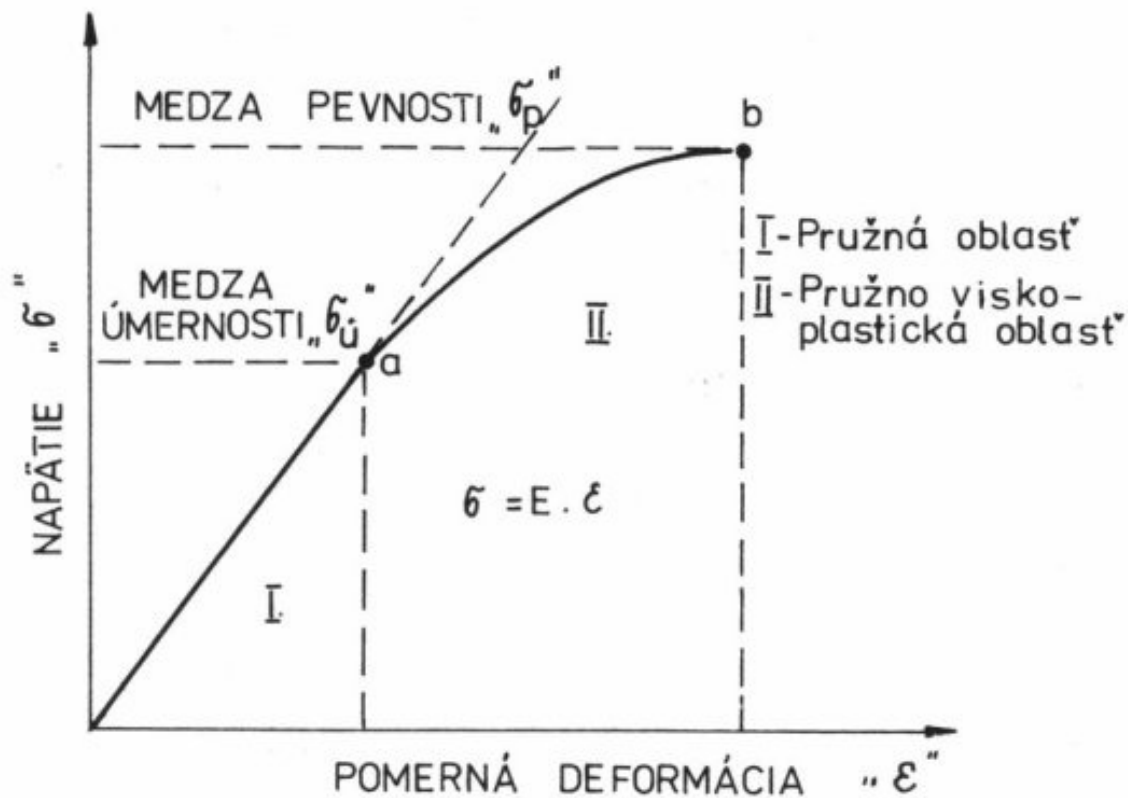
Hookeův zákon

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

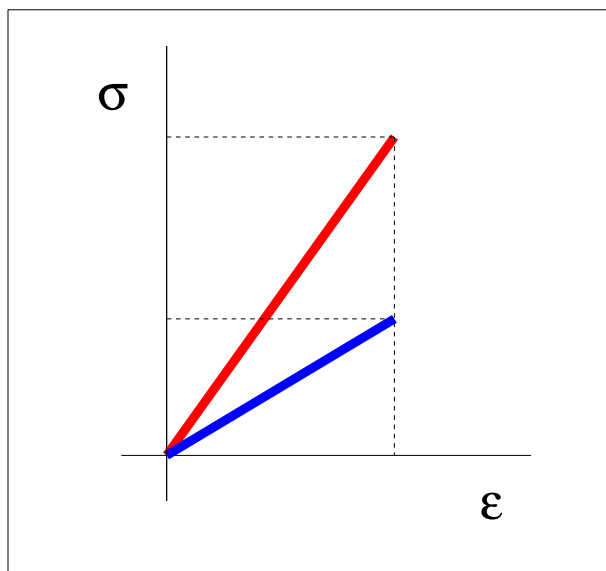
Pružnost dřeva

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!



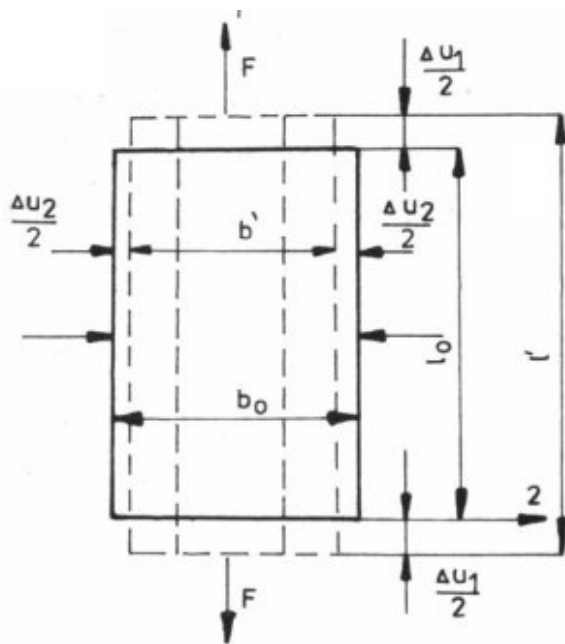
Srovnání dvou materiálů z hlediska modulu pružnosti.

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

Pružnost dřeva

Poissonova čísla μ

Vyjadřují poměr mezi příčnou a podélnou deformací.



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

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

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

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

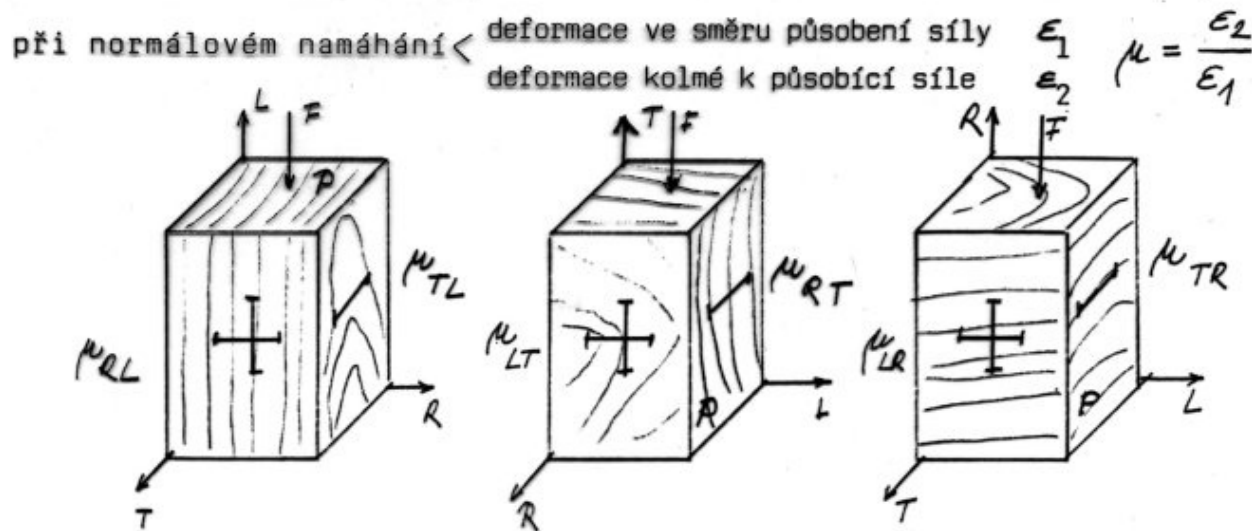
$$\mu = - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

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** $\sigma_{||}$

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

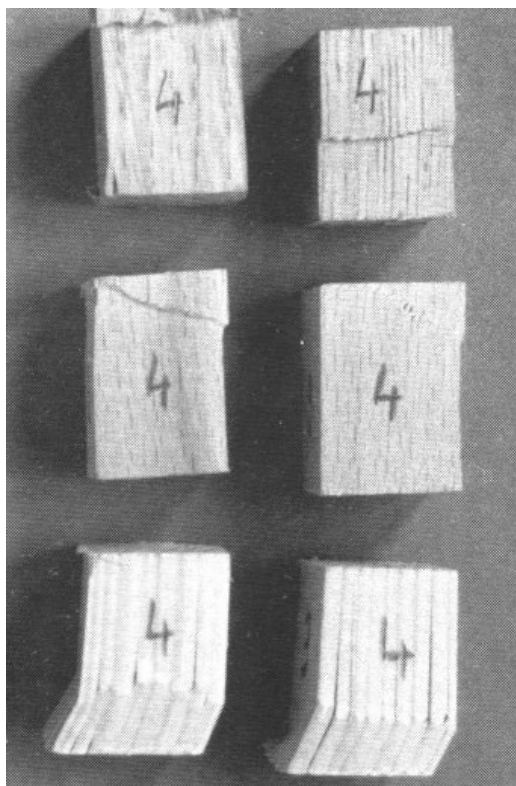
Tlak ve směru vláken

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.

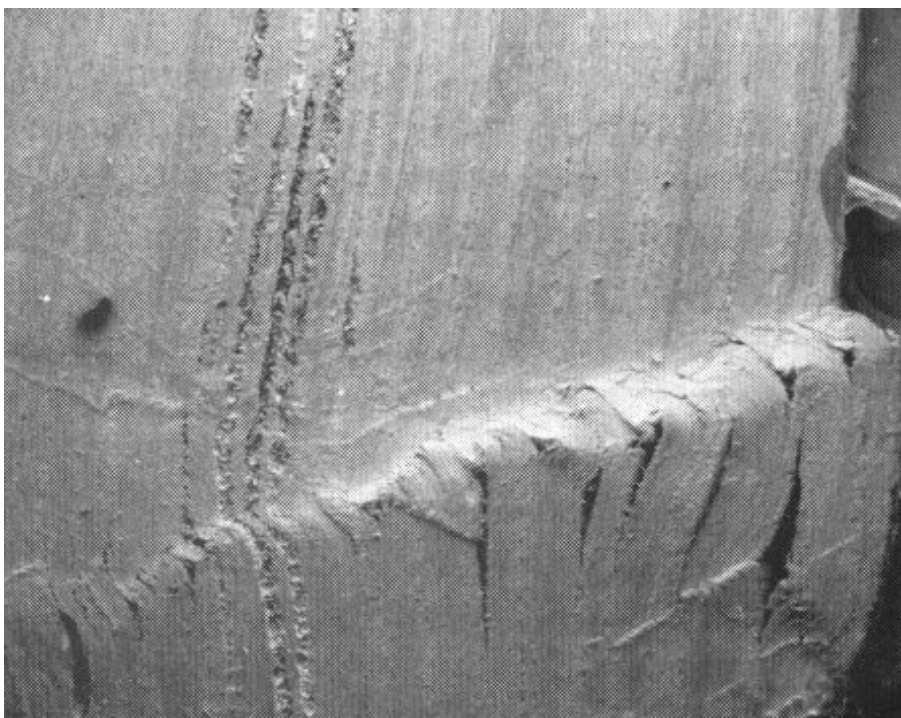
Pevnost dřeva v tlaku

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

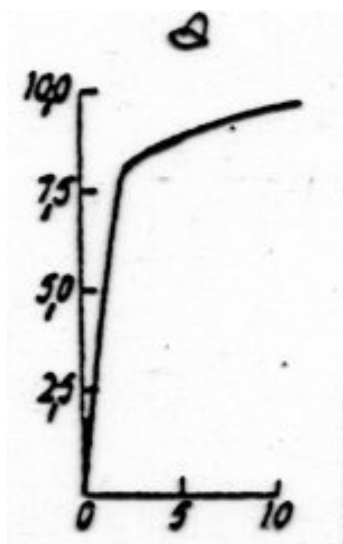
Nejnižší hodnota (MPa): TP – 39,0

Pevnost dřeva v tlaku

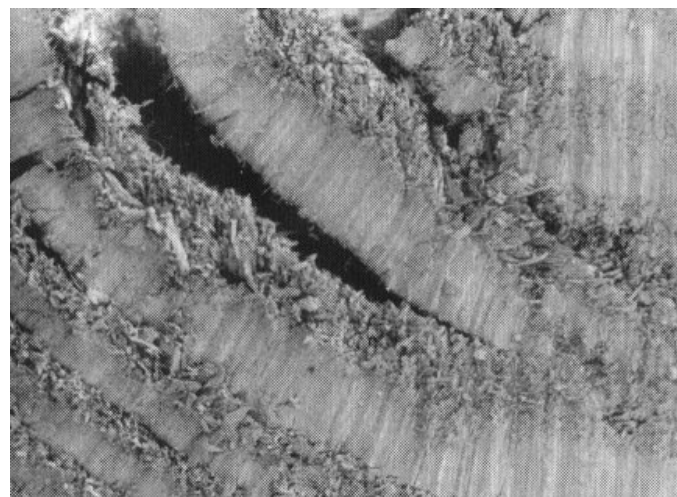
Tlak napříč vláken (ČSN 49 0112)

a) Dvoufázová deformace

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



*Porušení
dřeva na
hranici
letokruhu*

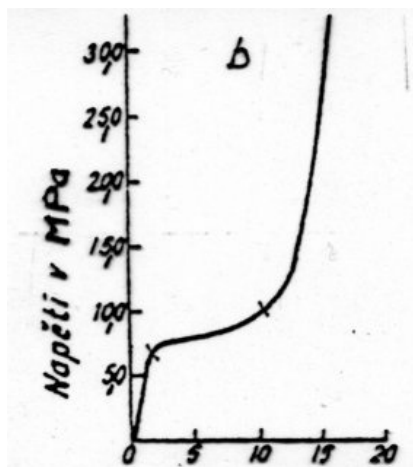


Pevnost dřeva v tlaku

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

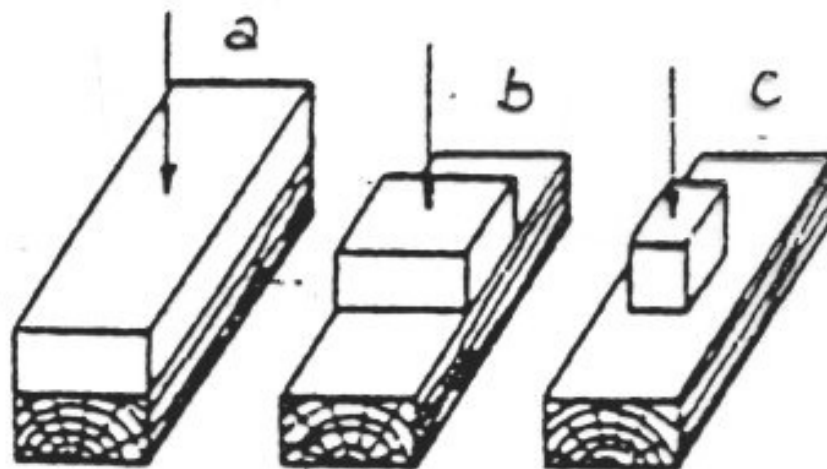
Průběh

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

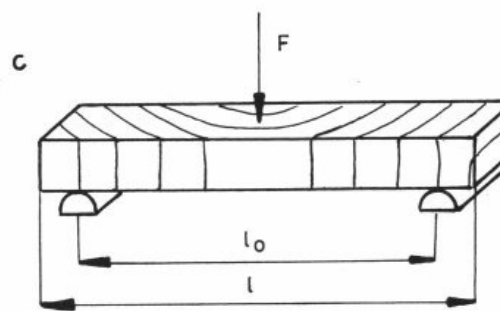
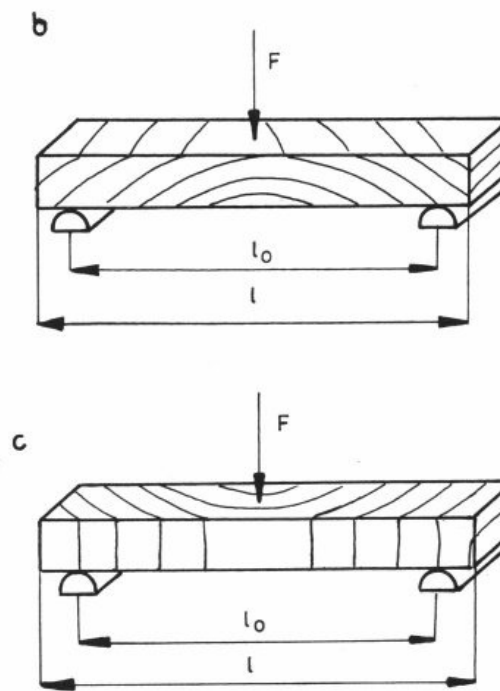
Mez pevnosti (MPa)

SM – 2,2

DB – 5,8

BK – 4,4

Pevnost dřeva v ohybu



Pevnost dřeva v ohybu

vlákna probíhají rovnoběžně s podélnou osou tělesa

Mez pevnosti: ~100 MPa

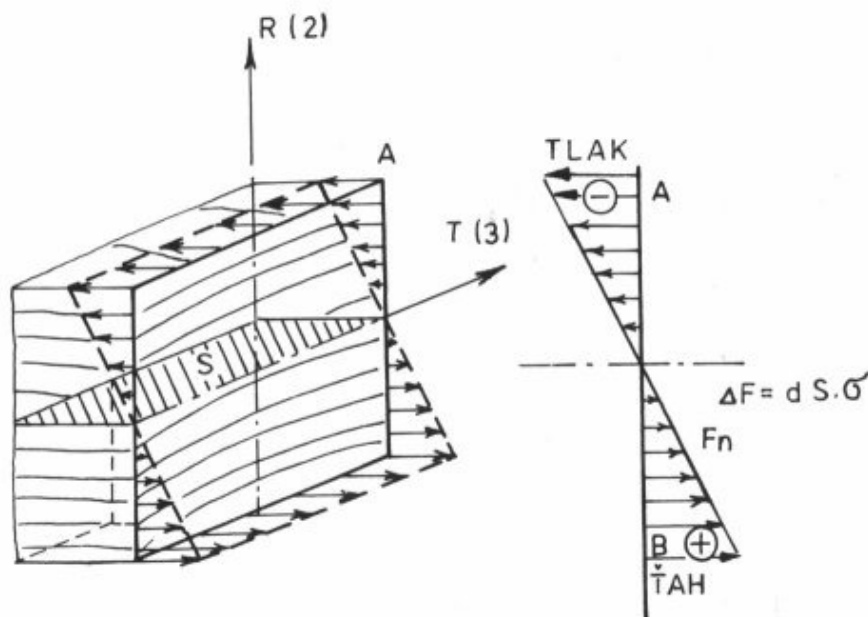
listnáče $R = T$

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

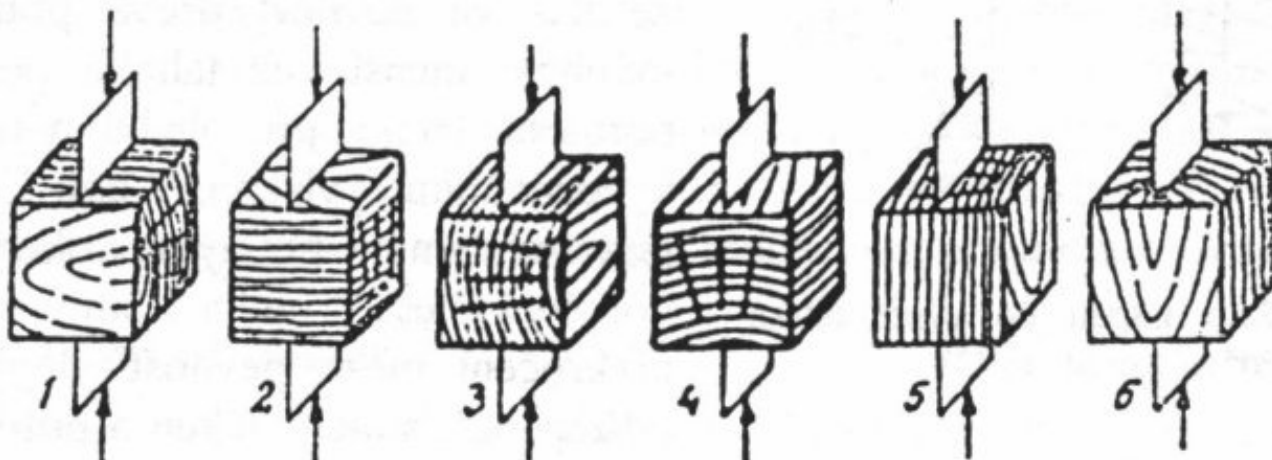
– působení dvou stejně velkých sil, které vyvolají vzájemné posunutí dvou sousedních průřezů.

Pevnost dřeva ve smyku

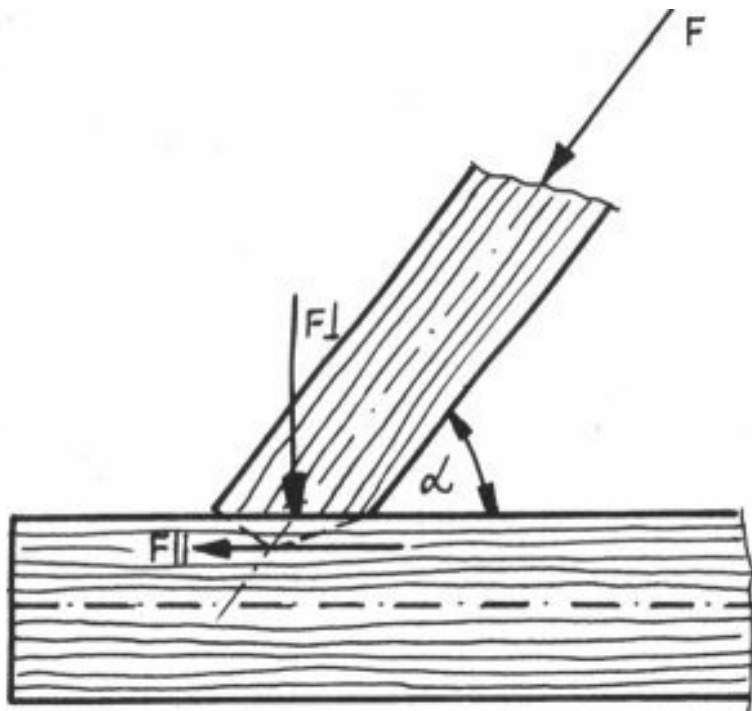
- smyková (stříhová) pevnost dřeva napříč vláken v příčné rovině v radiálním (2) a tangenciálním směru (1)
 - 20–52 MPa, např. kolíkové spoje
- smyková pevnost napříč vláken v radiální (4) a tangenciální (3) rovině
 - 3–8 MPa
- smyková pevnost ve směru vláken v radiální (6) a tangenciální (5) rovině
 - 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 ($\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$)
- dynamická zkouška – k překročení meze pevnosti dojde v krátkém časovém okamžiku

Charpyho kladivo

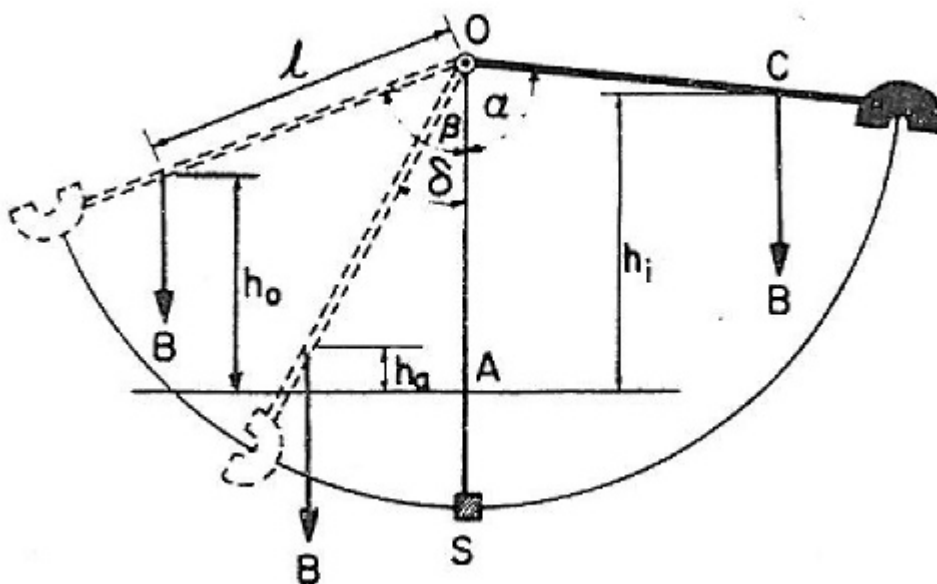


Rázová houževnatost

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 (vztahené 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

Tvrdost 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 otláčené 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:

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

Tvrdost 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.

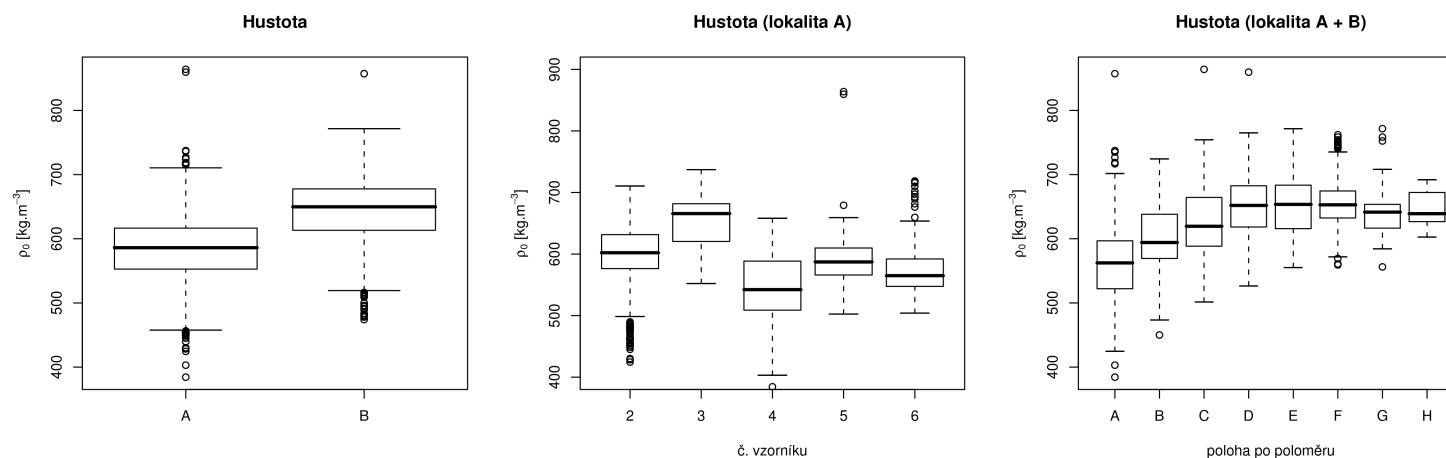
Proměnlivost vlastností dřeva

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

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.

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

Anizotropie

Vyplývá z orientace vazebných sil.

Pórovitost

Objem pórů (lumeny + mezibuněčné prostory) převyšuje objem buněčných stěn. Póry vytvářejí kapilární systém, který může být zcela zaplněný tekutinou (vodou).

Pórovitost je redukována doprovodnými látkami nebo přítomností thyl.

Pórovitost vyplývá z optimalizace tvaru buňky (min. spotřeba stavebních látek + min. snížení mech. vlastností).

Hygroskopická stavba dřeva

Dřevo mění svoji vlhkost podle vlhkosti okolního prostředí. To vyplývá z ontogeneze elementů dřeva, které byly diferencovány v plně nasyceném vodním prostředí.

Rozměrové změny + změny pevnosti a pružnosti.

Nehomogenita

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

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

Anizotropní charakter

příčina:

Vliv stavby dřeva na všech úrovních:

- a) rozdíl mezi j.d a l.d.
- b) přítomnost dřeňových paprsků
- c) tvar a orientace základních anatomických elementů (tracheidy, libriformní vlákna)
- d) směr mikrofibril v S2 vrstvě BS
- e) rozdílné vazebné energie chemických vazeb orientovaných rovnoběžně (kovalentní) a kolmo (vodíkové vazby) na vlákna

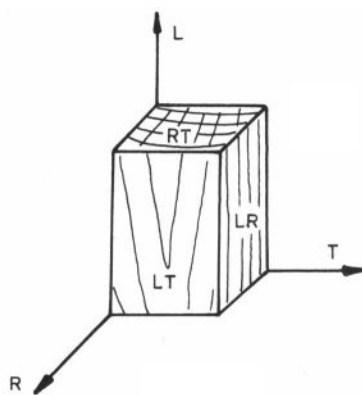
Ortotropní neboli ortogonálně anizotropní

- zjednodušení na 3 základní směry

Překližky a laťovky – také ortotropní charakter.

DTD, DVD – v rovině desky mají izotropní charakter.

Základní směry a roviny



*Roviny pružné symetrie
dřeva (ortotropní model)*

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

Oproti izotropním materiálům (ocel) záleží u dřeva na orientaci namáhaného tělesa vůči působící síle.

Zavádíme tři roviny pružné symetrie:

RT – příčná

LR – radiální

LT – tangenciální

a tři základní řezy:

L – podélný směr

R – radiální

T – tangenciální

Mechanické napětí

DEFINICE

- reakce na vnější síly

Normálové napětí

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ [MPa]}$$

– síla působí kolmo k ploše (např. tlak nebo tah)

Tangenciální napětí

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

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

Mechanické namáhání

- děj při kterém dochází k interakci mezi mechanickými silami a dřevem

Působením vnějších sil na těleso dochází uvnitř tělesa ke vzniku *napětí* (je to reakce na vnější síly).

►►► vzniká stav napjatosti

= interakce mezi mechanickým působením na těleso a vnitřním odporem

- podle počtu hlavních napětí: jednoosý, dvouosý, ...

Kombinací normálového a tangenciálního napětí je ohyb.

Výsledkem jsou dočasné a/nebo trvalé změny tvaru tělesa = **deformace**

Absolutně tuhé těleso – ideální, nedeformuje se (neexistuje)

Pro pevná tělesa jsou charakteristické dvě vlastnosti:

a) *pružnost* – schopnost dosahovat původní rozměry po uvolnění vnější síly

b) *pevnost* – schopnost odolávat trvalému porušení

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)

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

Deformace

- jsou výsledkem působení sil na těleso
- projevují se změnou rozměrů, tvarů a struktury

Dle vztahu roviny deformace a směru působící síly

Deformace podélné – vznikají ve směru působící síly

Deformace příčné – projevují se ve směru kolmém k působící síle.

POZOR! Nemá nic společného se směry ve dřevě!!!

Absolutní deformace – rozumí se rozměr tělesa před a po deformaci.

Poměrná deformace – je to podíl absolutní deformace vztažená k původnímu rozměru

Deformace

Celková deformace

Je rovna součtu tří deformací:

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

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

deformace pružné ϵ_p (oblast pružných deformací)

- po odstranění vnější síly se těleso vrátí do původních rozměrů
- namáhání vodíkových vazeb mezi jednotlivými polymerovými řetězci vede k jejich lámání a přeskupování (vratné)
- kovalentní vazby C–C a C–O se deformují v rámci benzenových jader
- posuny celé fibrilární struktury, ale nevznikají trvalé lomy mezi jednotlivými vrstvami

deformace pružné v čase ϵ_{pc} (oblast pružně viskózní)

- vrácení do původního tvaru po odstranění vnější síly nastane s určitým časovým odstupem
- vratné přeskupení molekul

plastické deformace ϵ_{pl} (oblast pružně-viskózně-plastická)

- trvalé, nevratné změny na tvaru namáhaného tělesa
- smíšení řetězců, porušení kovalentních i vodíkových vazeb

Průměrné (záleží na způsobu namáhání),
např. zastoupení deformací u SM (při $w = 12\%$)

ϵ_p : 67 %, ϵ_{pc} : 3 %, ϵ_{pl} : 30 %

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).



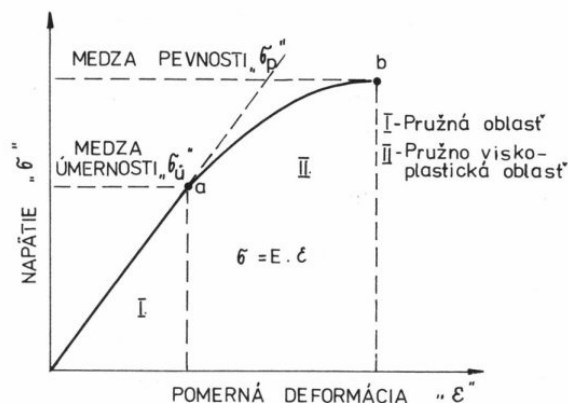
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

Hooke – anglický filosof, architekt, matematika a fyzik 17. století

„Jaké protažení, taková síla“

Vztah mezi napětím a deformací

Pracovní diagram – popisuje vztah mezi σ a ϵ



Tento prc

› – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

Pracovní diagram

- někdy také označován jako *deformační křivka*

= empirická křivka charakterizující vztah mezi napětím a deformací

Lineární část – do meze úměrnosti σ_u

Nelineární část – od meze úměrnosti σ_u

Pružná (elastická) oblast

– úsek do meze úměrnosti (deformace pružné a pružné v čase)

Pružně-visko-plastická oblast – od meze úměrnosti (deformace plastické)

Mez pevnosti

nejvyšší hodnota napětí, které těleso vydrží bez porušení celistvosti

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

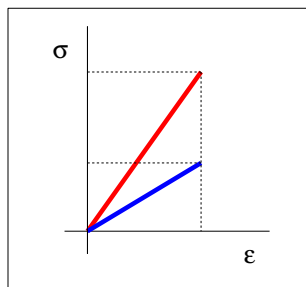
Pružnost dřeva

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*

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

Čím strmější lineární část, tím vyšší modul pružnosti.

Tj. pro dosažení stejné poměrné deformace musíme působit na těleso větší silou (resp. vyvolat v tělese větší napětí).

Červená křivka – větší modul pružnosti

Průměrná hodnota E ($w = 12\%$) pro naše dřeviny v tahu a tlaku:

ve směru vláken: 10 000–15 000 MPa

kolmo na vlákna: 25× menší

Vzájemný poměr mezi jednotlivými směry: $E_l : E_r : E_t = 20 : 2 : 1$.

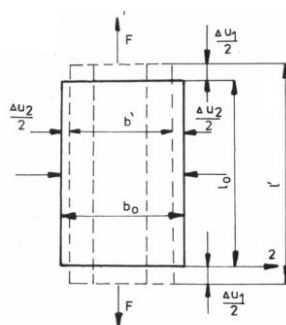
Pro srovnání:

ocel $E = 210\,000\text{ MPa}$, tj. asi 20× více

Pružnost dřeva

Poissonova čísla μ

Vyjadřují poměr mezi příčnou a podélnou deformací.



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

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

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

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

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

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

Koeficienty příčné deformace, obvykle označované jako **Poissonova čísla**, jsou důležitými materiálovými charakteristikami dřeva.

Využívají se především při objemových změnách způsobených vlivem mechanického zatížení (tlak či tah) a při výpočtu elastických a deformačních koeficientů.

Příklad (viz obr.)

Těleso namáháno tahem ve směru vláken.

V důsledku působení vnějších sil dochází ke změnám rozměrů – těleso se podélně prodlouží a šířka se zúží o absolutní deformace Δu_1 a Δb_2 .

Celková délka po zdeformování bude l'

a šířka tělesa se zúží na b'

Poměrná deformace ve směru působící síly se vypočítá ε_1

a poměrné příčné zkrácení ε_2

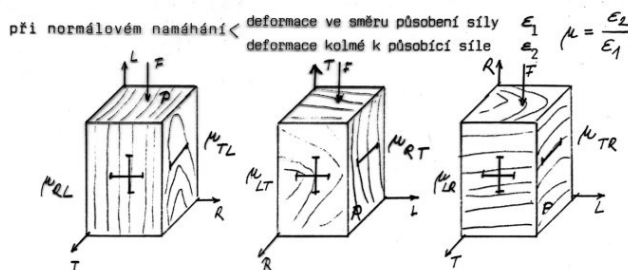
Poměr obou deformací je Poissonovo číslo (koeficient příčné deformace) μ

Pružnost dřeva

Poissonova čísla μ

ortotropní materiál = 6 Poissonových čísel

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



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

V důsledku ortotropie dřeva lze rozlišit celkem šest Poissonových čísel.

Podle směru deformace ϵ_1 a ϵ_2 lze zjistit tato Poissonova čísla:

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

Při značení Poissonových čísel:

-- **první index** označuje **směr příčné** poměrné deformace

-- **druhý index** poměrnou deformaci **ve směru** působení síly. Takže např. μ_{RL} vyjadřuje poměr mezi deformací příčnou v R směru a podélnou v L směru (obr. 4).

SM

$\mu_{RL} = 0,490$ $\mu_{TL} = 0,410$

$\mu_{TR} = 0,790$ $\mu_{LR} = 0,030$

$\mu_{RT} = 0,380$ $\mu_{LT} = 0,037$

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

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

Mez pevnosti nelze určit výpočtem – nutno zjistit experimentálně – stanovení zkouškami, norma).

„Podívejme se na jednotlivé způsoby zatížení dřeva...”

Pevnost dřeva v tlaku

- a) pevnost dřeva v tlaku **ve směru vláken** σ_{\parallel}
- b) pevnost dřeva v tlaku **napříč vlákny** σ_{\perp}
 - 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

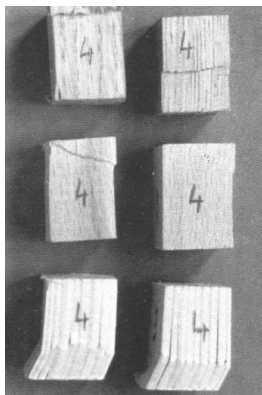
Tlak ve směru vláken

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.

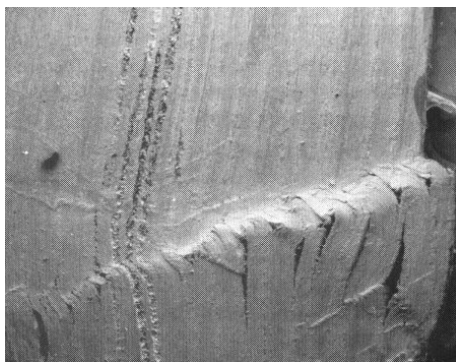
Pevnost dřeva v tlaku

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

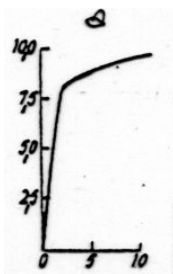
Nejnižší hodnota (MPa): TP – 39,0

Pevnost dřeva v tlaku

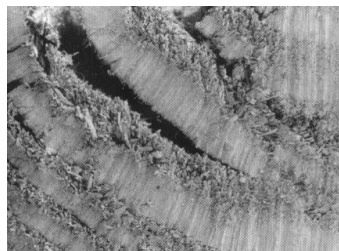
Tlak napříč vláken (ČSN 49 0112)

a) Dvoufázová deformace

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



*Porušení
dřeva na
hranici
letokruhu*

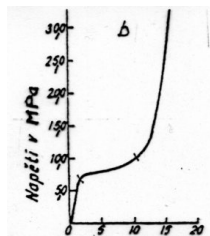


Pevnost dřeva v tlaku

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



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

Pevnost dřeva v tlaku

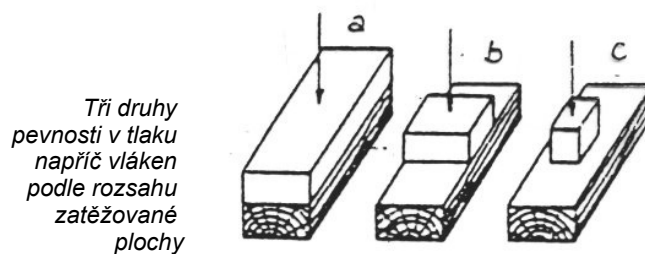
Tlak napříč vláken

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



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

Hodnota meze pevnosti v tlaku **na část délky je o 20-25 % vyšší** než v tlaku na celou plochu. Vysvětluje se dodatečným odporem vláken na při ohybu na hranicích tlačенého tělesa.

Pevnost dřeva v tahu

- a) pevnost dřeva v tahu ve směru vláken
- b) pevnost dřeva v tahu napříč vlákny
 - 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

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

Pevnost v tahu – nejvyšší (průměr 120 MPa) ze všech způsobů zatížení.

Porušení dřeva se projevuje v porušení tělesa v pracovní části tělesa.

Vysoká pevnost je dána podélnou orientací anatomických elementů, makromolekulami celulózy (vliv orientace fibril v BS, chemická struktura: krystalické a amorfni části celulózy, přítomnost DP).

Teoreticky až 8000 MPa = kovalentní vazby rovnoběžně s vektorem síly. Je však především redukována vlivem amorfni části celulózy .

V praxi málo využitelný způsob zatížení.

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

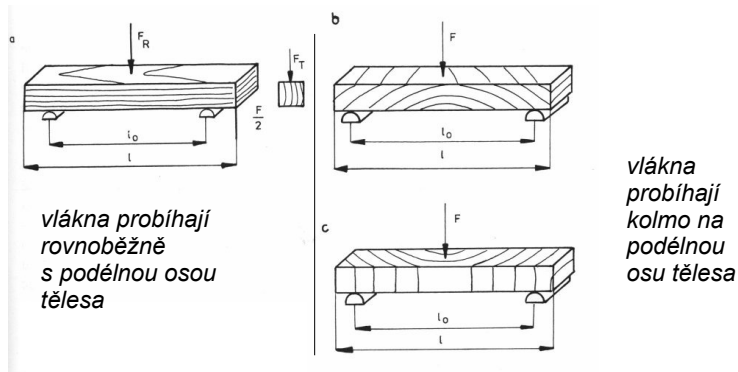
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

Tah kolmo na vlákna – nejnižší pevnost (1,5–5 MPa).

Důvod: namáhány vodíkové vazby a Van der Waalsovy vazby.

Význam při sušení dřeva → výsušné trhliny

Pevnost dřeva v ohybu



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

Dva způsoby pevnosti dřeva v ohybu s ohledem na průběh vláken a to:

I. vlákna probíhají rovnoběžně s podélnou osou tělesa (obr. 11 a)

i) síla působí napříč vláken v R směru

ii) síla působí napříč vláken v T směru (sleduje se a používá se)

II. vlákna probíhají kolmo na podélnou osu tělesa

i) příčný řez je orientován ve směru působící síly (obr. 11 b)

ii) příčný řez je orientován kolmo k působící síle (obr. 11 c)

Pevnost dřeva v ohybu

vlákna probíhají rovnoběžně s podélnou osou tělesa

Mez pevnosti: ~100 MPa

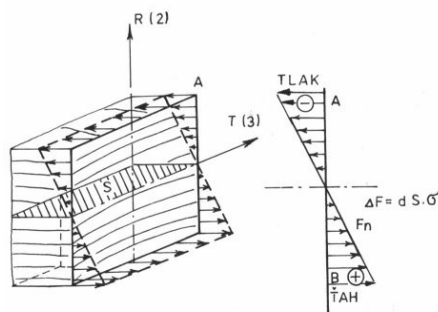
listnáče $R = T$

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)*

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

V horní části tlak, ve spodní části tah, uprostřed neutrální osa – vznik smykového napětí.

V horní části dochází k utlačení a vybočování vláken (není viditelné), k porušení tělesa dochází v tahové zóně vznikem trhliny.

Pevnost dřeva ve smyku

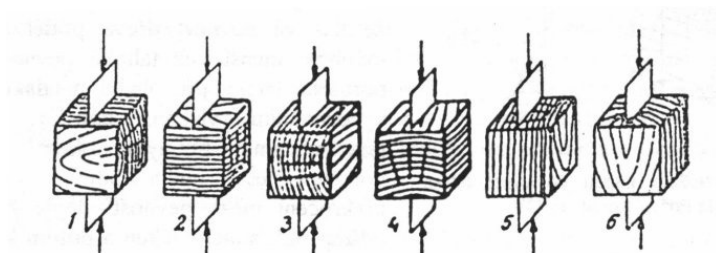
– působení dvou stejně velkých sil, které vyvolají vzájemné posunutí dvou sousedních průřezů.

Pevnost dřeva ve smyku

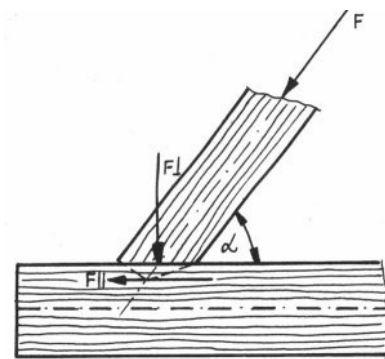
- smyková (stříhová) pevnost dřeva napříč vláken v příčné rovině v radiálním (2) a tangenciálním směru (1)
 - 20–52 MPa, např. kolíkové spoje
- smyková pevnost napříč vláken v radiální (4) a tangenciální (3) rovině
 - 3–8 MPa
- smyková pevnost ve směru vláken v radiální (6) a tangenciální (5) rovině
 - 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.

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

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

Neexistuje všeobecné řešení pevnosti v kroucení, které by platilo pro libovolný tvar průřezu = záležitost mechaniky.

Při tomto zatížení dochází ke smykovým napětím ve dvou rovinách:

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

Je-li osa tělesa ve směru vláken dojde k porušení tělesa smykem podél vláken ve formě trhlin.

Z praktického hlediska je nejvýznamnější případ kroucení podél podélné osy tělesa ve směru vláken.

Zkouška v ČSN není specifikována.

Rázová houževnatost

Rázová houževnatost

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



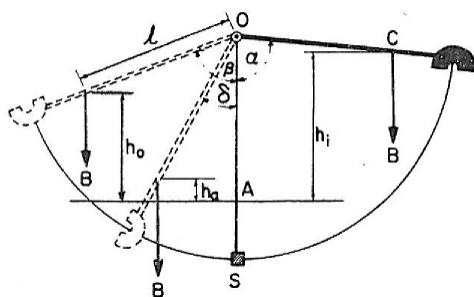
Charpyho kladivo

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} ($\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$):

SM – 3,9 DB – 7,7 BK – 8,0 TP – 3,9

Tvrdost dřeva

Tvrdost 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 $F = 100$ N nebo 500 N

- z průměru otláčené 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:

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

Tvrdost dřeva

STATICKÁ TVRDOST (pokračování)

$$H_{\text{celní}} > H_R = H_T$$

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 otláčení

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 $w = MH$ pokles meze pevnosti $3,5\times$ oproti $w = 0 \%$

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

Vlhkost dřeva

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

srovnání

- a) tah ve směru – nejsou významné rozdíly
- b) tlak ve směru – při $w = MH$ pokles meze pevnosti $3,5\times$ oproti $w = 0 \%$

Hustota dřeva

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

Teplota dřeva

- a) do 70° jen dočasná změna pevnostních/pružnostních charakteristik (vratné změny)
 - b) nad 100° trvalé změny
 - c) nad 200° -- dřevo se stává křehkým materiálem
- Značný vliv především na rázovou houževnatost
- Větší vliv na listnáče (více pentožánů).
- Větší vliv při spolupůsobení s vlhkostí dřeva.

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.

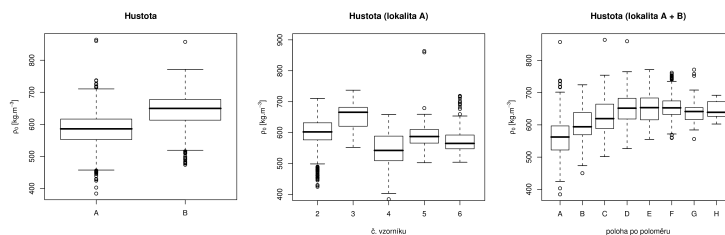
Proměnlivost vlastností dřeva

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