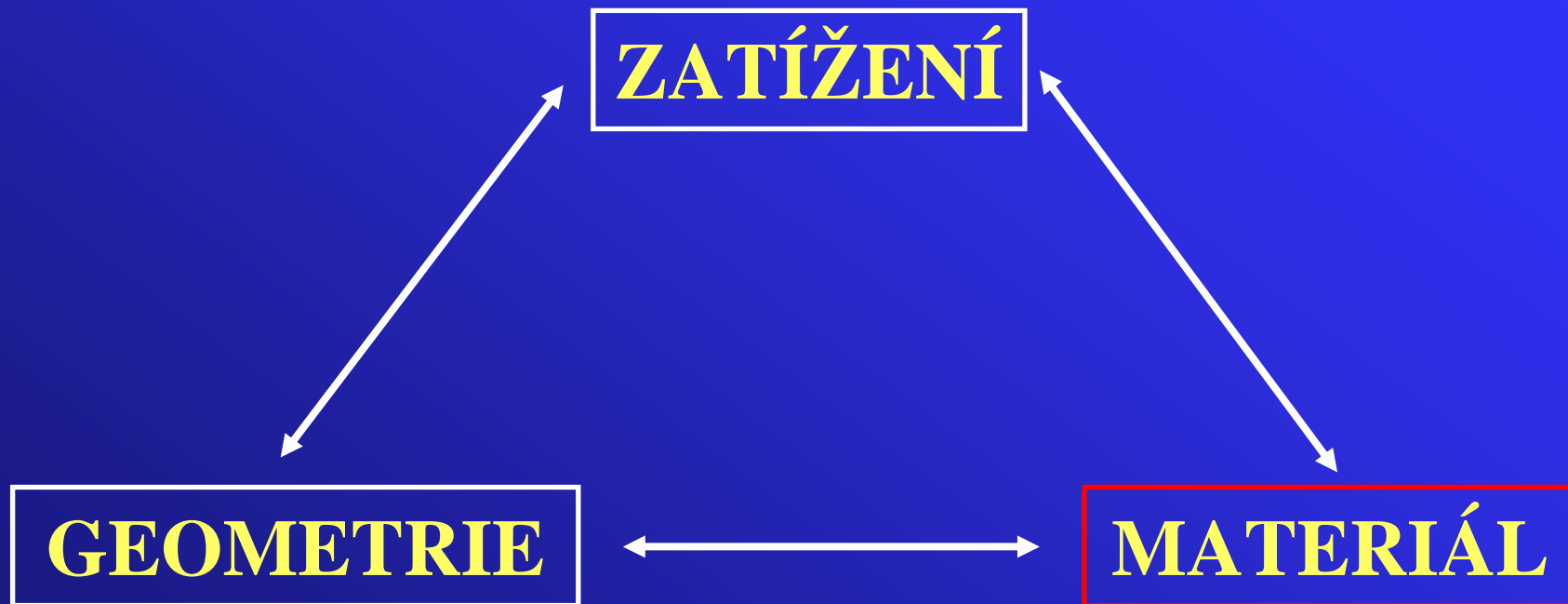


Vlastnosti dřeva – 3. vrchol trojúhelníku statiky



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

Trojúhelník stability



Modul pružnosti

a další parametry pružnosti

- Modul pružnosti E (ve všech směrech – L, R, T)
- Smykové moduly pružnosti G (G_{LR} , G_{LT} , G_{RT})
- Poissonovy konstanty (μ_{LR} , μ_{LT} , μ_{RT})

Další parametry:

- Mez úměrnosti σ_U
- Energie deformace (pružné, plastické, ...)

Modul pružnosti

$$E = \tan \alpha = \frac{\sigma_{\acute{u}}}{\varepsilon_{\acute{u}}}; G = \frac{\tau}{\gamma}$$

Modul pružnosti materiálu je směrnice přímky, proložené lineární částí pracovního diagramu, tedy tangenta úhlu, který svírá tato přímka s osou x. Udává tuhost materiálu, tedy jeho vnitřní odpor proti zdeformování, přetvoření, vlivem vnější síly.

Napětí – pevnost

Rozdíl mezi pojmy: NAPĚTÍ je síla působící v tělese, tedy stav, PEVNOST je materiálová charakteristika, udávající napětí, které je materiál schopen snést.

Rozeznáváme skutečné napětí a smluvní napětí.

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ (smluvní napětí); } \sigma_{skut} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{dF}{dS} \text{ (skutečné napětí)}$$

Konvenční mez pevnosti u tlaku kolmo na směr vláken, je určena jako napětí v místě dotyku tečny se směrnicí 1,5 E a pracovního diagramu.

Mez trvalé pevnosti: napětí, které může dřevo přenášet při trvalém zatížení bez vzniku porušení.

Deformace – posunutí

Poměrná pružná deformace
v směru působící síly:

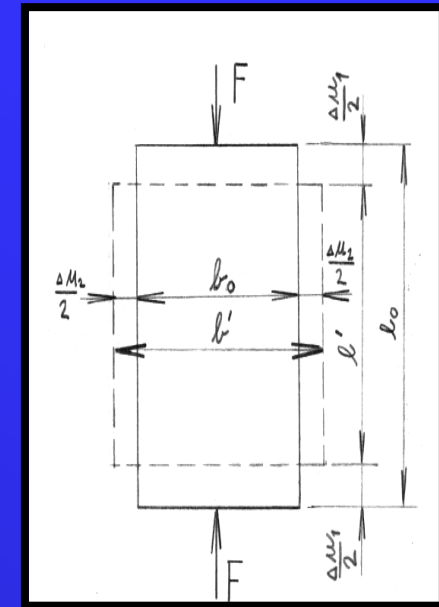
$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta u_1}{l_0}$$

a poměrné příčné prodloužení:

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

Poměr mezi příčnou a podélnou pružnou
deformací je Poissonovo číslo:

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



- Deformace pružné: po odtížení deformace okamžitě zmizí.
- Deformace pružné v čase: po odtížení deformace zmizí až za určitý čas
- Deformace plastické: trvalé deformace, po odtížení zůstávají.

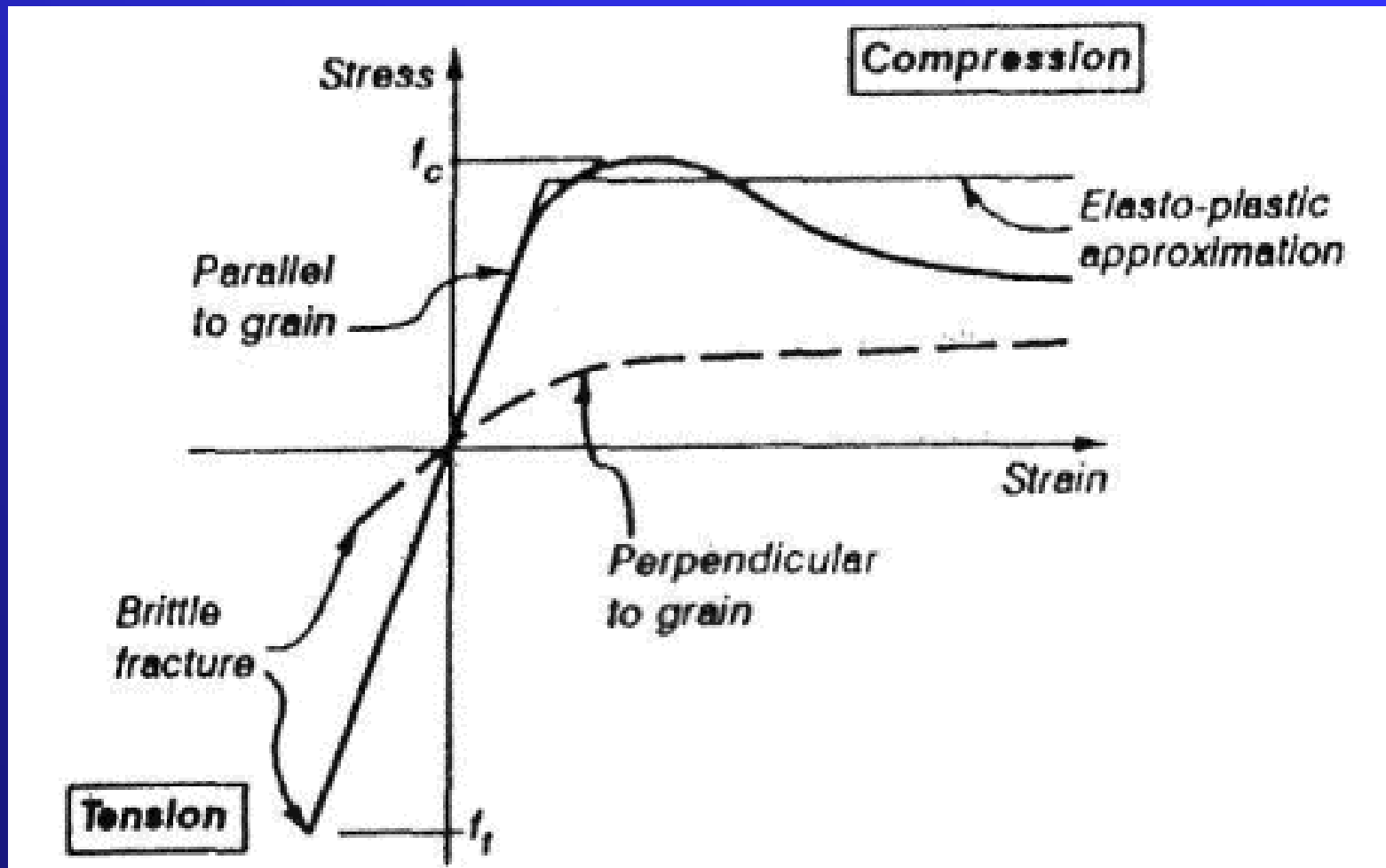
Další parametry

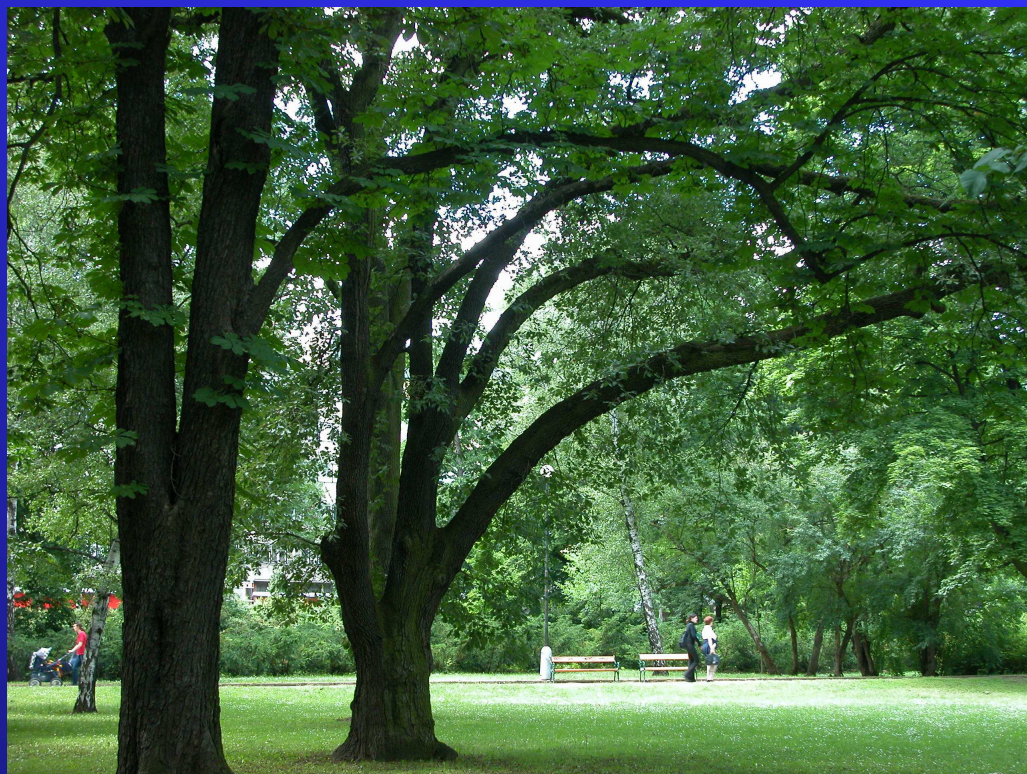
- Energie pružné deformace:

$$W = \frac{\sigma^2}{2E}$$

Udává energii absorbovanou v materiálu od počátku zatěžování do σ_u . Je definována jako integrál z přímkové části pracovního diagramu. Obdobným způsobem lze vypočítat i energii absorbovanou v materiálu do porušení, popřípadě do jiné, domluvené hodnoty.

Anisotropie dřeva





ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY NAMÁHÁNÍ

Základní způsoby zatěžování

Jednoduché způsoby zatěžování:

- Tlak (podél & kolmo na vlákna)
- Tah (podél & kolmo na vlákna)
- Smyk (podél & kolmo na vlákna)

Kombinované způsoby zatěžování

- Ohyb
- Krut

Každý z těchto případů může být navíc ovlivněn okolními faktory: **teplota, vlhkost, čas ...**

popř. stavem zatěžovaného objektu:

Mokrý x Suchý, Studený x Ohřátý,

s biologickou degradací, technologicky modifikované...



TLAK VE SMĚRU VLÁKEN

Tlak

- pro praxi jeden z nejdůležitějších (sloupy, podpory...) a nejčastějších
- Pozitivní mechanické vlastnosti se odvozují především z maximálně homogenizované struktury dřeva
- V rámci mikroskopické struktury lze rozlišit i vzpěr(vzhledem k anat. elementům) a v případě lokálních imperfekcí i smyk.

Mech. vlastnosti skupin dřev.:

jehličnany: - relativně pravidelná struktura → 2. nejvyšší elastické vl.

- horší materiálové vlastnosti jedn.anat.elem. (plní několik funkcí současně) → nejhorší pevnostní vl.

- dřeva s převážně delšími vlákny mají lepší mech. i pev. vl.

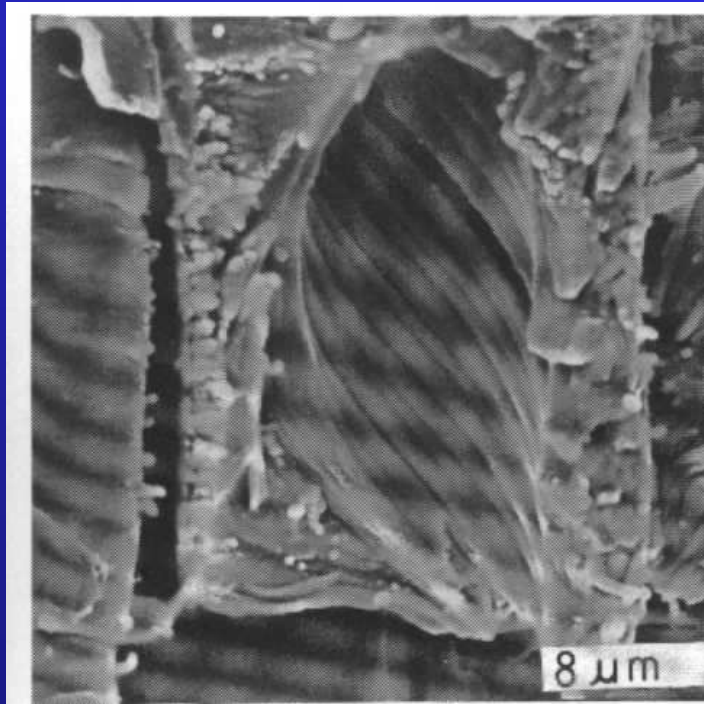
kruhovitě pórovité: - nepravidelná strukt. → nejhorší elast. vl.

- specializované anat.el. → 2.nejlepší pevn.vl.

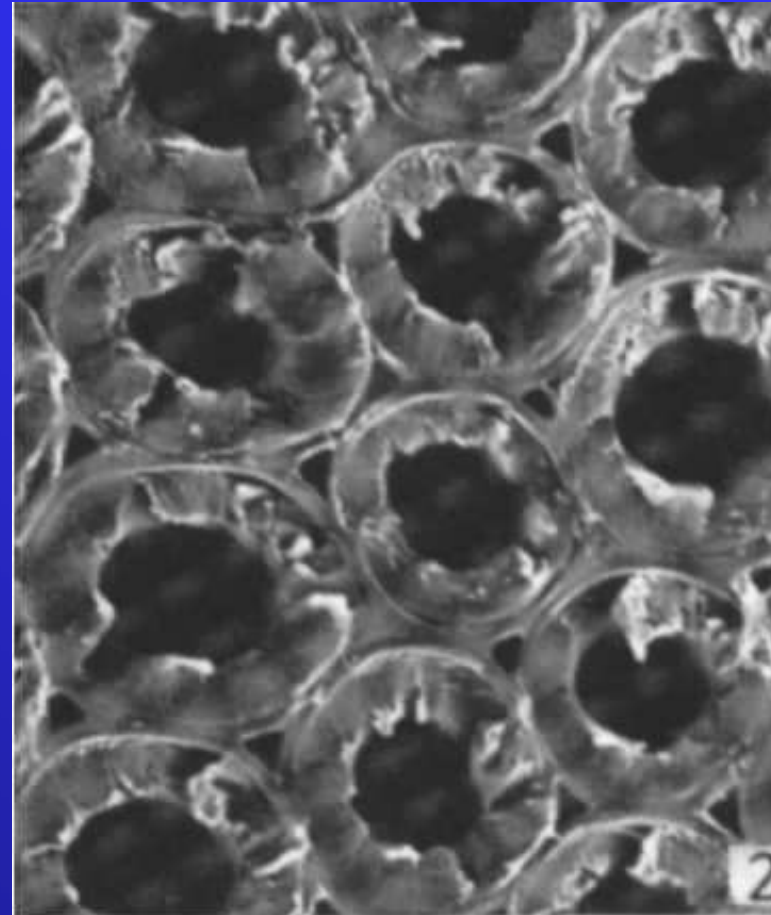
roztroušeně pórovité: - pravidelná struktura → nejlepší elast. vl.

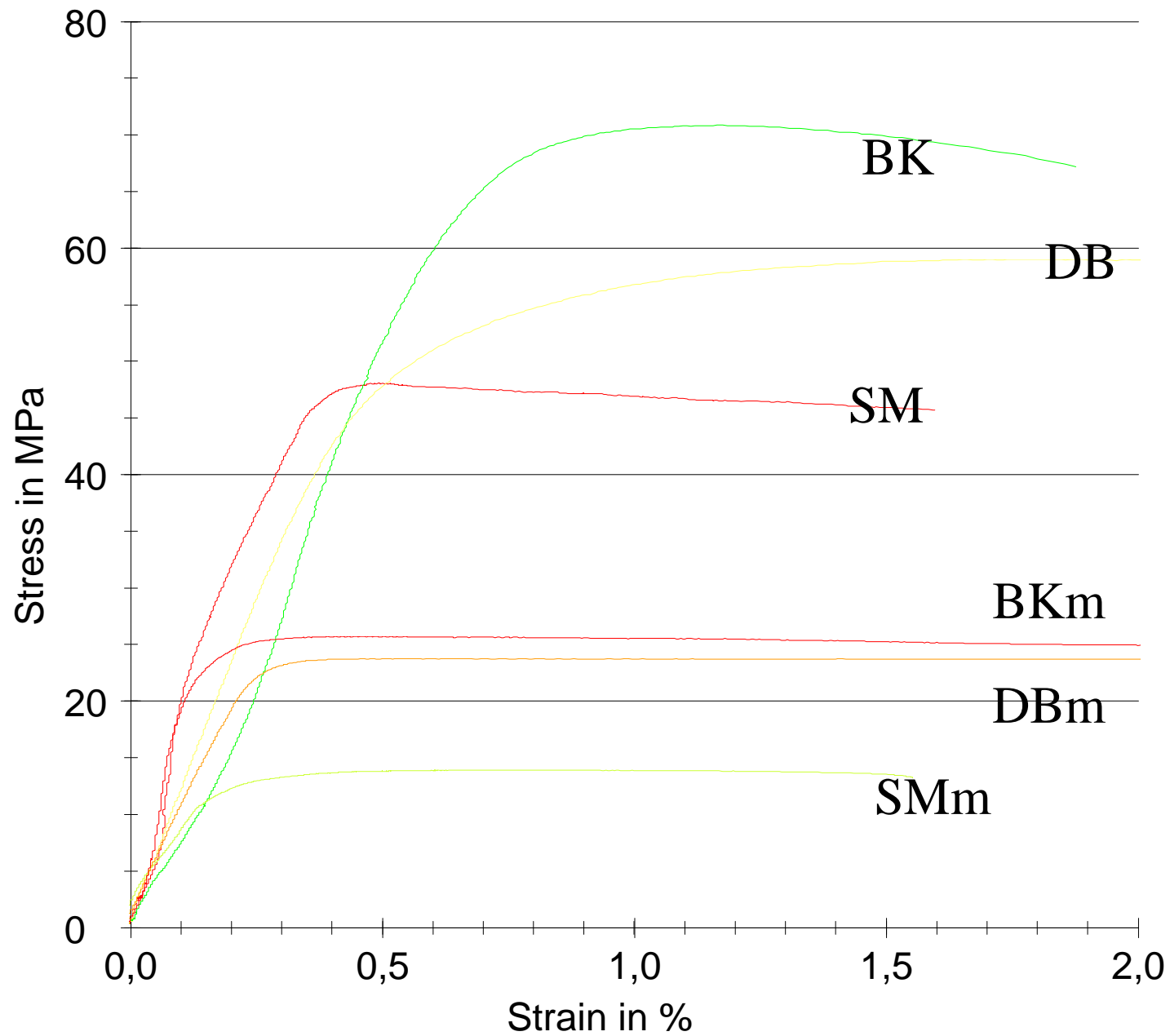
- specializace anat.elem → nejlepší pevn. vl.

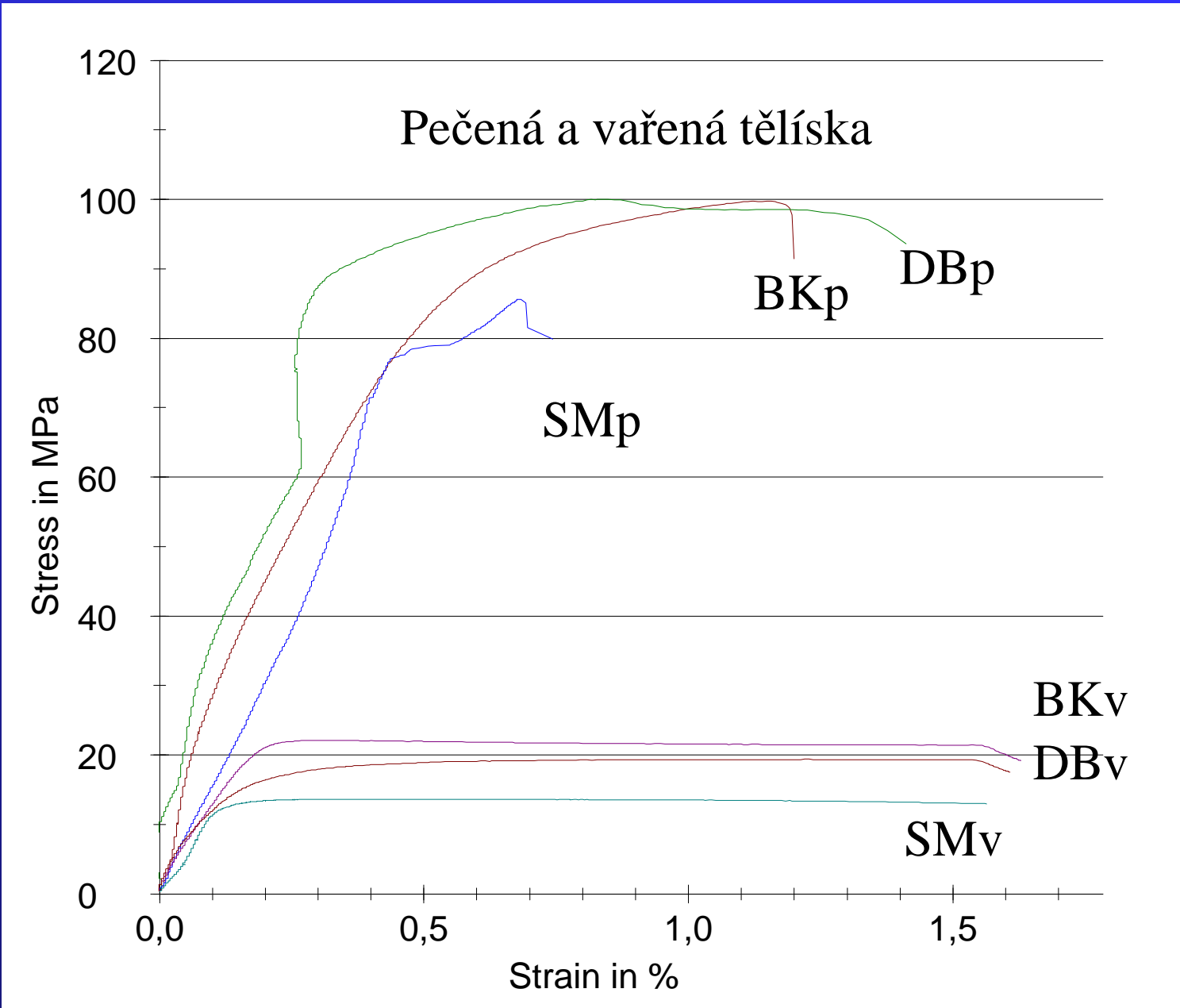
Reakční dřevo – optimalizovaná struktura.



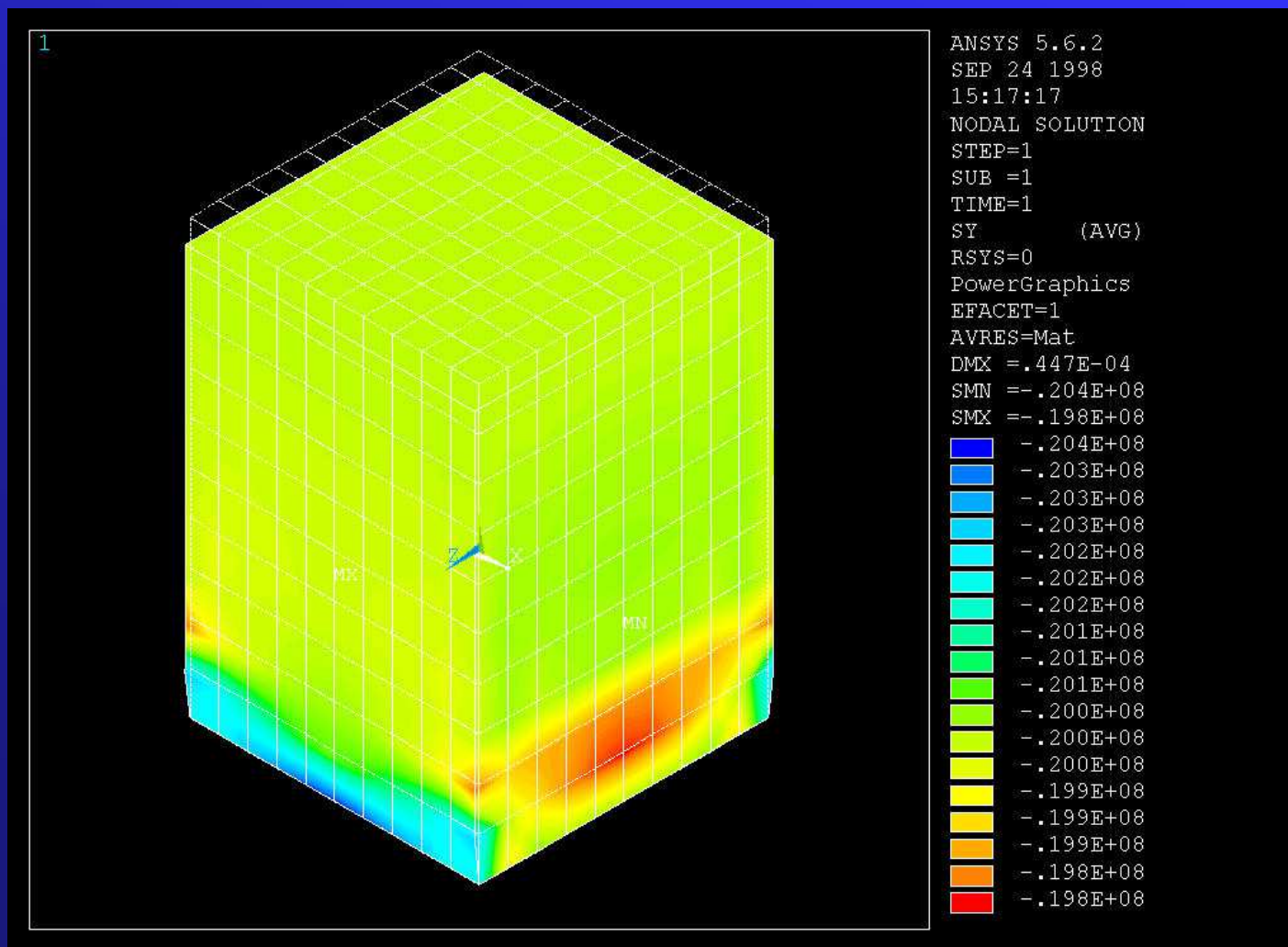
Všimněte si odlišné struktury buněčné stěny, hlavně odklonu v S_2 vrstvě. **Jak se projeví?**





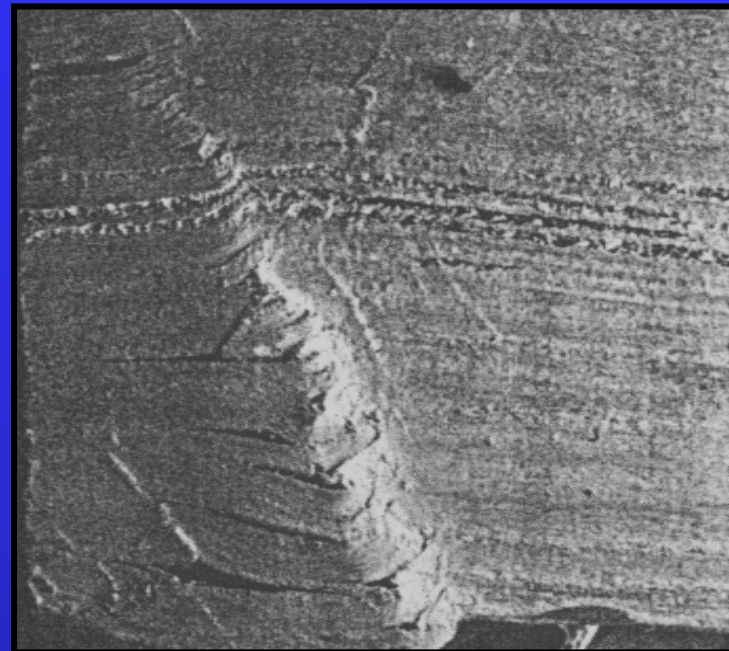
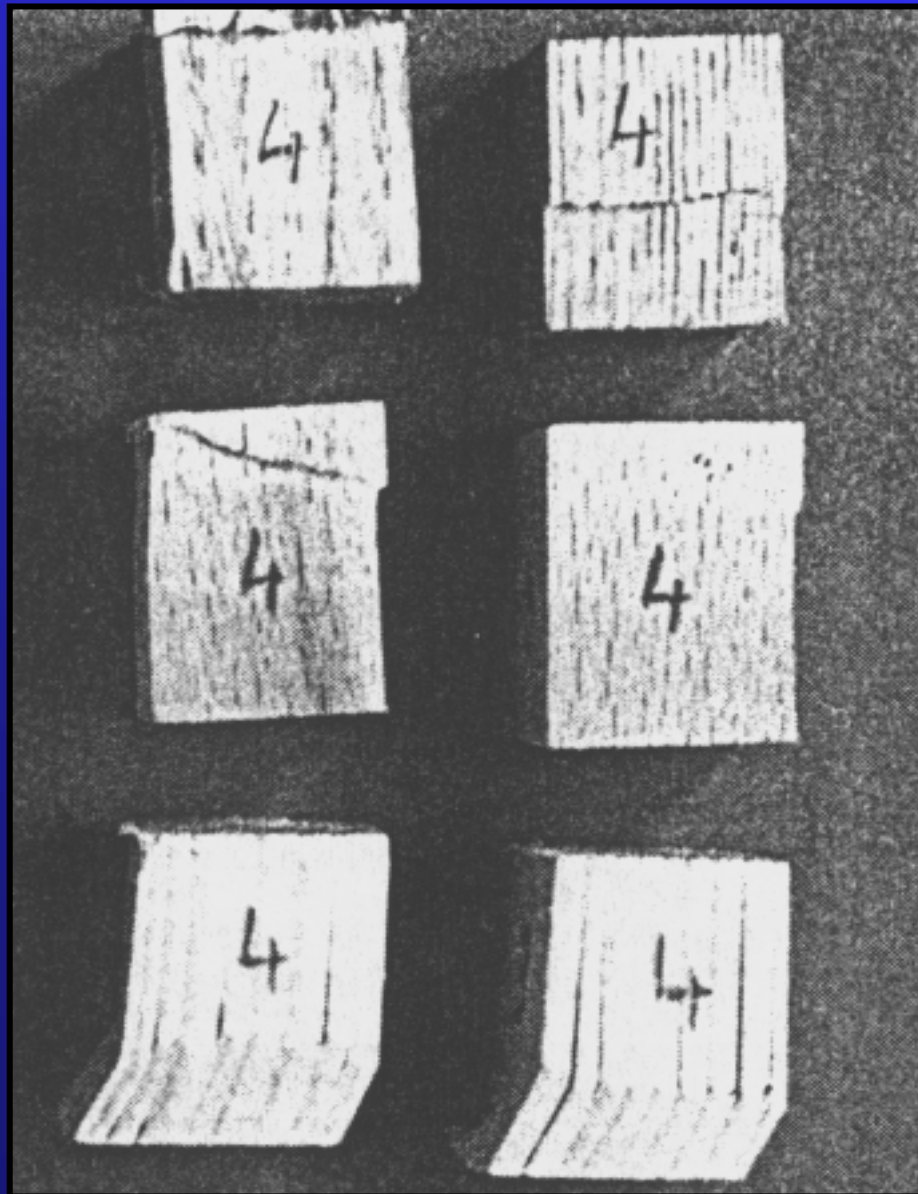


Model – bez odklonu



σ_L – rozložení napětí

Porušení dřeva tlaku



Základní parametry

(převzato z Požgaj a kol.,1998)

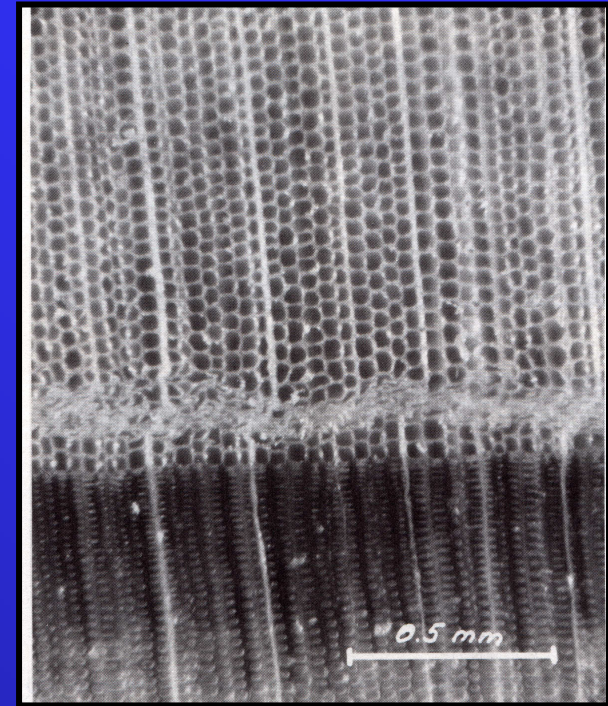
dřevina	Pevnost [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
SM	34,1 (v 13,1 %)	13650 (v 17,8 %)
BK	56,7 (v 8,5 %)	16837 (v 16,6 %)
DB	59,8 (v 12,0 %)	11778



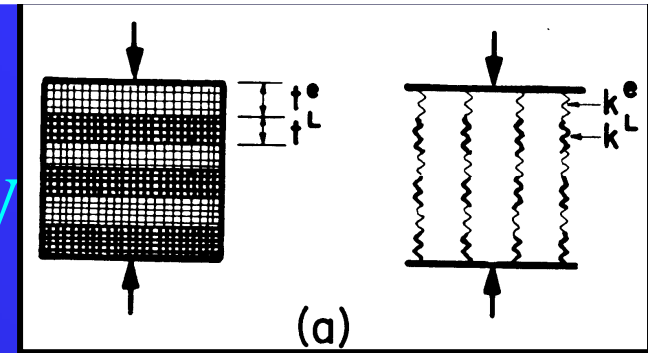
TLAK KOLMO NA SMĚR
VLÁKEN

Tlak napříč vláken

- Tlak kolmo na vlákna je dvou až tří fázový
- Pevnost se stanovuje smluvně pro specifickou poměrnou deformaci (2-3%) nebo numerickým přepočtem (norma)
- Hodnota pevnosti je ze sledovaných parametrů jednoznačně závislá na:
 - ◆ směru zatěžování
 - ◆ dřevině
 - ◆ průběhu vláken
 - ◆ anatomické struktuře
- Výjimečnou roli hrají dřevné paprsky
 - ◆ mají vyšší pevnost a tím zvyšují tuhost dřeva ve směru svého průběhu
 - ◆ jejich průběh je soustředěn (zohledňujeme výrazné dř.paprsky) na radiální směr, na druhou stranu jsou růžice dřevných paprsků po výšce vzájemně pootočený čímž zlepšují schopnost dřeva reakce na kombinovaný způsob zatěžování
 - ◆ způsobují **nesouměřitelnost** pružnostních vlastností mezi jehličnany a listnáči v obou příčných směrech

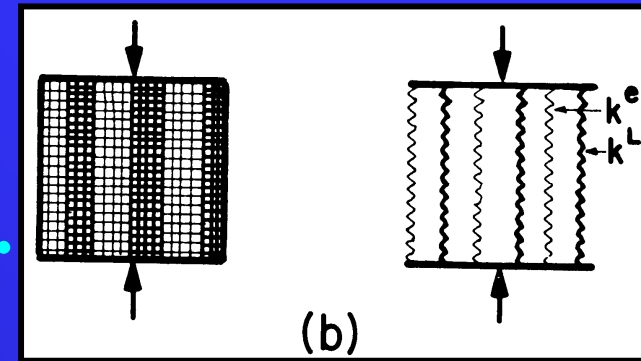


Rozdíl pev. mezi R a T směry



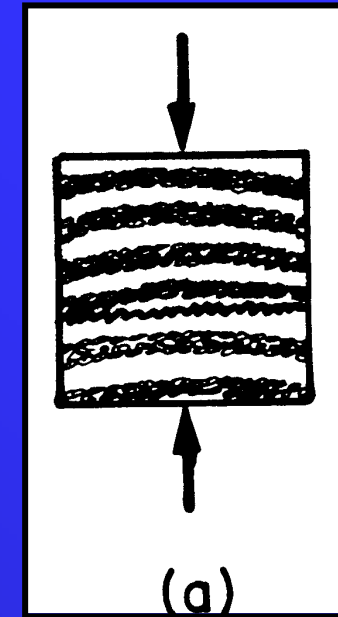
- Pevnost u jehličnanů (SM!) je v R-směru nižší než v tangenciálním!
 - ◆ Proč?
 - ◆ Ať už smluvní či numerické vyhodnocení pevnosti, určuje hodnotu pevnosti v plastické reakci dřeva (tento fakt je dán konstrukcí této hodnoty). Představíme-li si dřevo jako pružinový model s odlišnou tuhostí pružin u letního(vyšší) a jarního(nižší) dřeva(viz. obr.), je jasné, že k plastické deformaci bude docházet dříve a to právě díky nižší tuhosti „pružin“ jarního dřeva(pružiny jsou řazeny sériově-za sebe) (uvědomme si, že nenápadně neuvádíme jaké jsou rozměry jednotlivých částí letokruhu(na kterých pevnost rovněž závisí) – a jaksi samozřejmě předpokládáme danost poměru velikosti jarního a letního dřeva, který ovšem pro většinu dřev je oprávněný(myšleno přístup)
 - ◆ V tangenciálním směru není tuhost pružiny dřeva oslabena jarní částí, která je paralelní s letní a proto se plasticita objeví později.

T směr u jehl. a list.



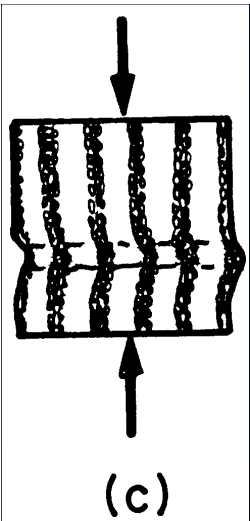
- Pevnost v tangenciálním směru je u jehličnanů nižší než u listnáčů
 - ◆ Proč?
 - ◆ Vyšší specializace jednotlivých anat. elementů
 - ◆ Větší šířka letokruhů, větší rozměry letního dřeva u listnáčů než u jehličnanů
 - ◆ U listnáčů jsou v jarním dřevě soustředěny rozměrné cévy, dochází-li k porušení vlivem porušení vzpěrné pevnosti nejsou sousední „desky“ letního dřeva okamžitě v kontaktu a dochází k roznášení napětí po větší délce elementu vlivem vtláčení vyboulené „desky“ letního dřeva a tím de facto snížením kritického napětí v zatěžovaném směru o rozložené složky.

Druhy porušení



- Způsoby porušení - lze odlišit tři základní
 - ◆ a) rozmělnění (slisování) v části jarního dřeva
 - ◆ b) smyk po letokruhu
 - ◆ c) vzpěr letokruhů
- Všechny tři typy lze najít u jehličnanů i listnáčů. Některé jsou ovšem pro daný směr typičtější. Odchytky způsobují imperfekce a především dřeňové paprsky.
 - ◆ Dřeňové paprsky ovlivňují chování dřeva v makroskopickém měřítku jen při určitém podílu vzhledem k ostatním elementům, celistvosti a orientaci.
- *Ad a)* je typická pro radiální směr – jednoznačně u jehličnanů.
 - ◆ u listnáčů může rovněž při tang. zatěžování dojít k podobnému efektu „harmonika“, ale nedochází k zhušťování pouze jarního dřeva (-vlivem velkých paprsků, které jako pružiny mohou mít vyšší tuhost než letní a jarní dřevo dohromady a přesouvají tak problém do již diskutovaného modelu sériově zapojených pružin)

Druhy porušení



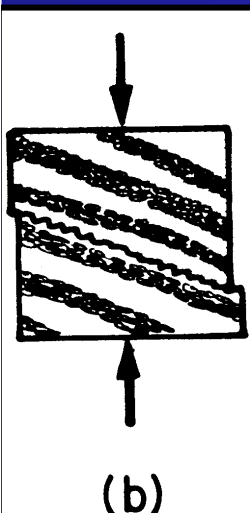
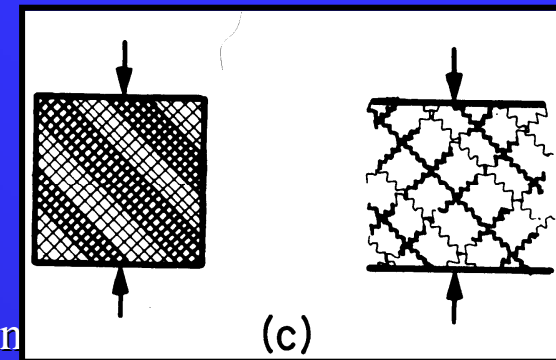
- *Ad c)* – pro tangenciální – jednoznačné u jehličnanů

- ◆ Obdobnou myšlenkovou konstrukcí jako na předchozím snímku, lze zdůvodnit proč u některých listnáčů se objevuje tento způsob jak v rad. tak v tang. směru zatěžování.

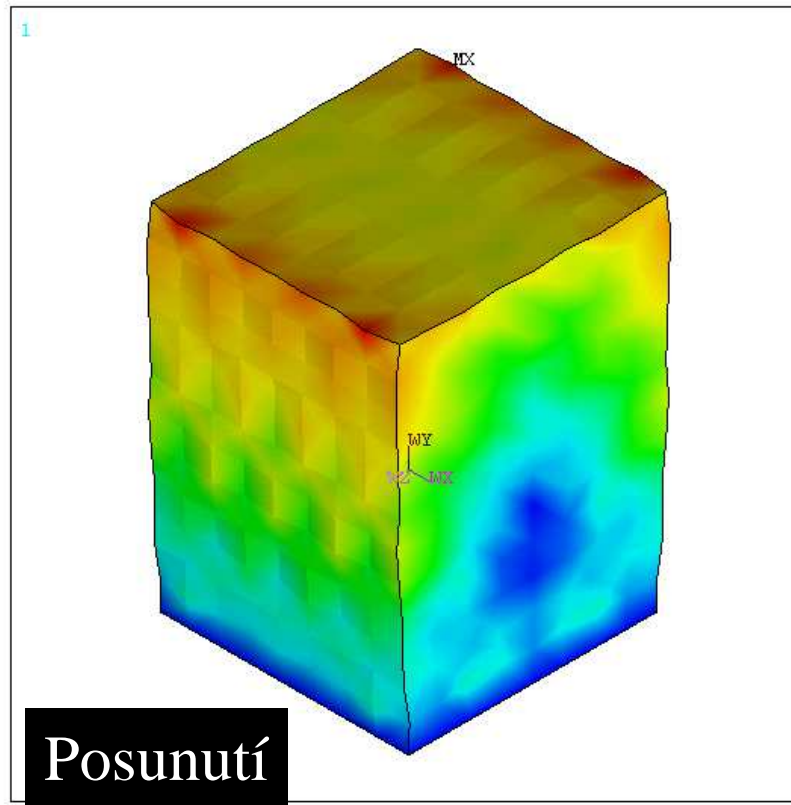
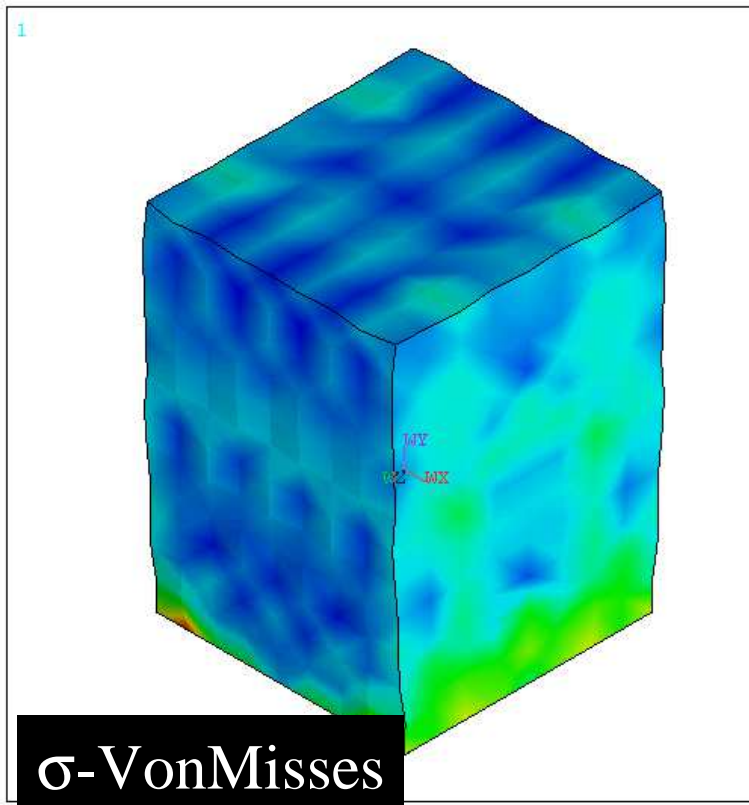
- *Ad b)* Může se objevit při všech směrech zatěžování jak u listnáčů, tak u jehličnanů. Typický je však při (i nepatrném) odklonu vláken.

- ◆ Proč?

- ◆ Odklon způsobí, že napětí, které šlo v případě bezodklonného modelu pouze jedním směrem (ostatní složky byly nulové), se rozdělí i do ostatních možných směrů. Jedná se o osové zatěžování akce a reakce mají stejnou velikost a působí proti sobě, protože existuje odklon vláken budou existovat v tělísku dvě takové vrstvy ve kterých akce a reakce (jejich složky) budou působit opět proti sobě, ale pod nenulovým úhlem ke globálnímu souřadnému systému. Protože ostatní složky napětí jsou nenulové, je vysoce pravděpodobné že některá z těchto složek způsobí vychýlení akce a reakce a ty již nepůjdou přímo proti sobě, ale půjdou rovnoběžně a hlavně mimo jednu osu a tím vytvoří typický smykový způsob zatížení.

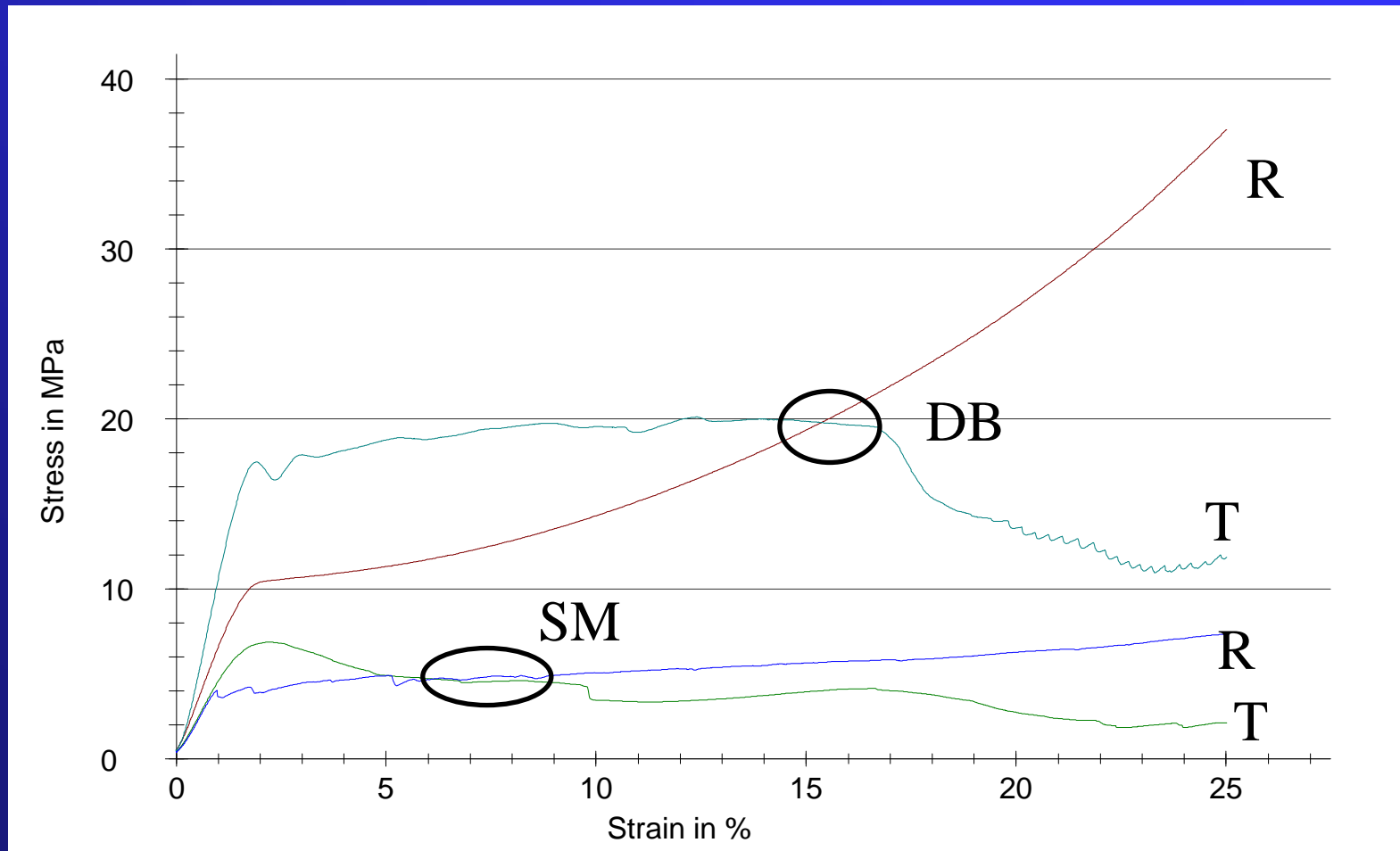


Pole napětí v tlaku kolmo na vlákna



```
ANSYS 5.5.3  
DEC 4 2000  
22:16:10  
NODAL SOLUTION  
SUB =1  
TIME=1  
USUM (AVG)  
RSYS=0  
PowerGraphics  
EFACET=1  
AVRES=Mat  
DMX =.039839  
SMX =.039839  
 .311E-03  
 .002801  
 .005291  
 .008092  
 .010582  
 .013384  
 .015873  
 .018675  
 .021165  
 .023966  
 .026456  
 .029257  
 .031747  
 .034548  
 .037038  
 .039839
```

Srovnání pracovních diagramů



Základní parametry

(převzato z Požgaj a kol.,1998)

dřevina	Pevnost (R/T) [MPa]	Modul pružnosti (R/T) [MPa]
SM	3,4/4,0	789/289
BK	12,9/8,5	-
DB	11,0/8,5	2046/1028



TAH VE SMĚRU VLÁKEN

Tah

- Obecně nejideálnější mechanické vlastnosti
- ...avšak bez výrazného praktického využití

Mech. vlastnosti jsou dány především mech.vlastnostmi kovalentních vazeb celulóзовého řetězce. Jakákoliv odchylka od předpokládaného horizontálního průběhu(nebo od předpokládané chemické struktury = amorfní x krystalická, lignin x celulóza) způsobí snížení těchto vlastností

Porušení – způsoby, příčiny

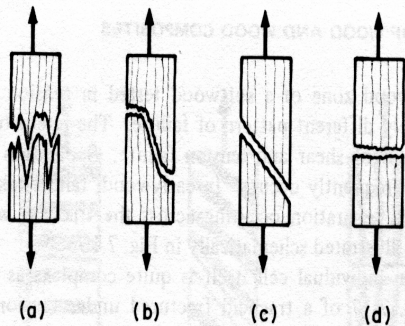


Fig. 7.15. Failure types of clear wood in tension parallel to grain: (a) splintering tension, (b) combined tension and shear, (c) shear, (d) brittle tension.

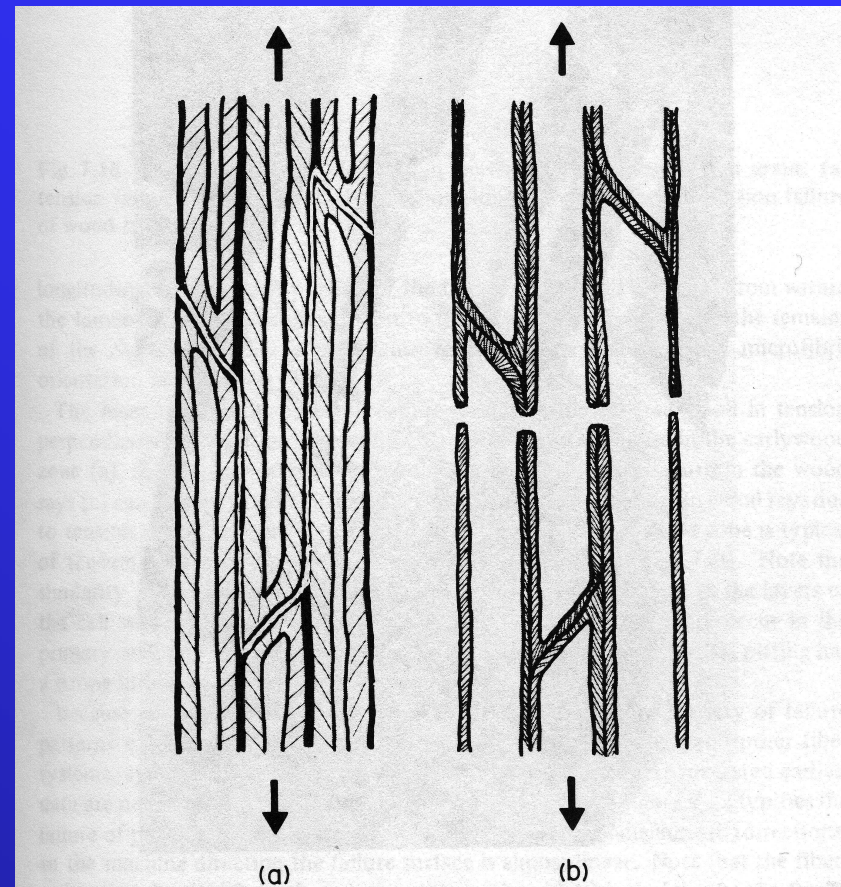
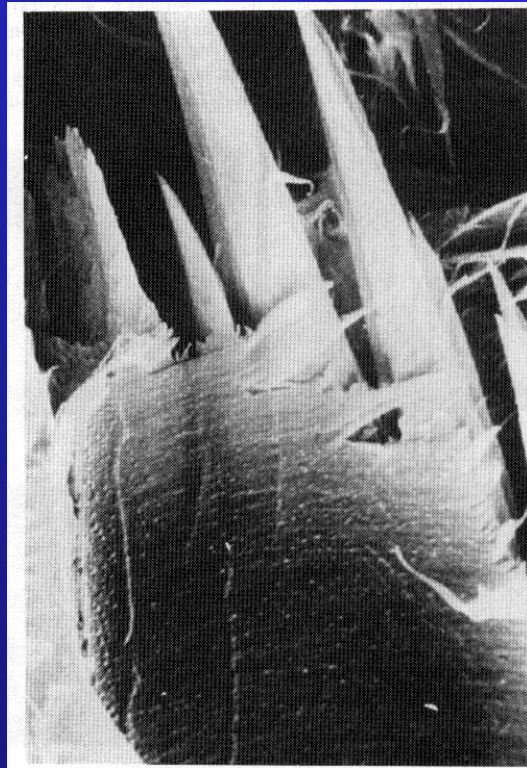
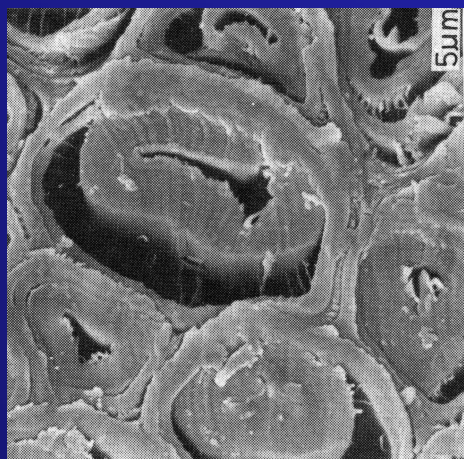


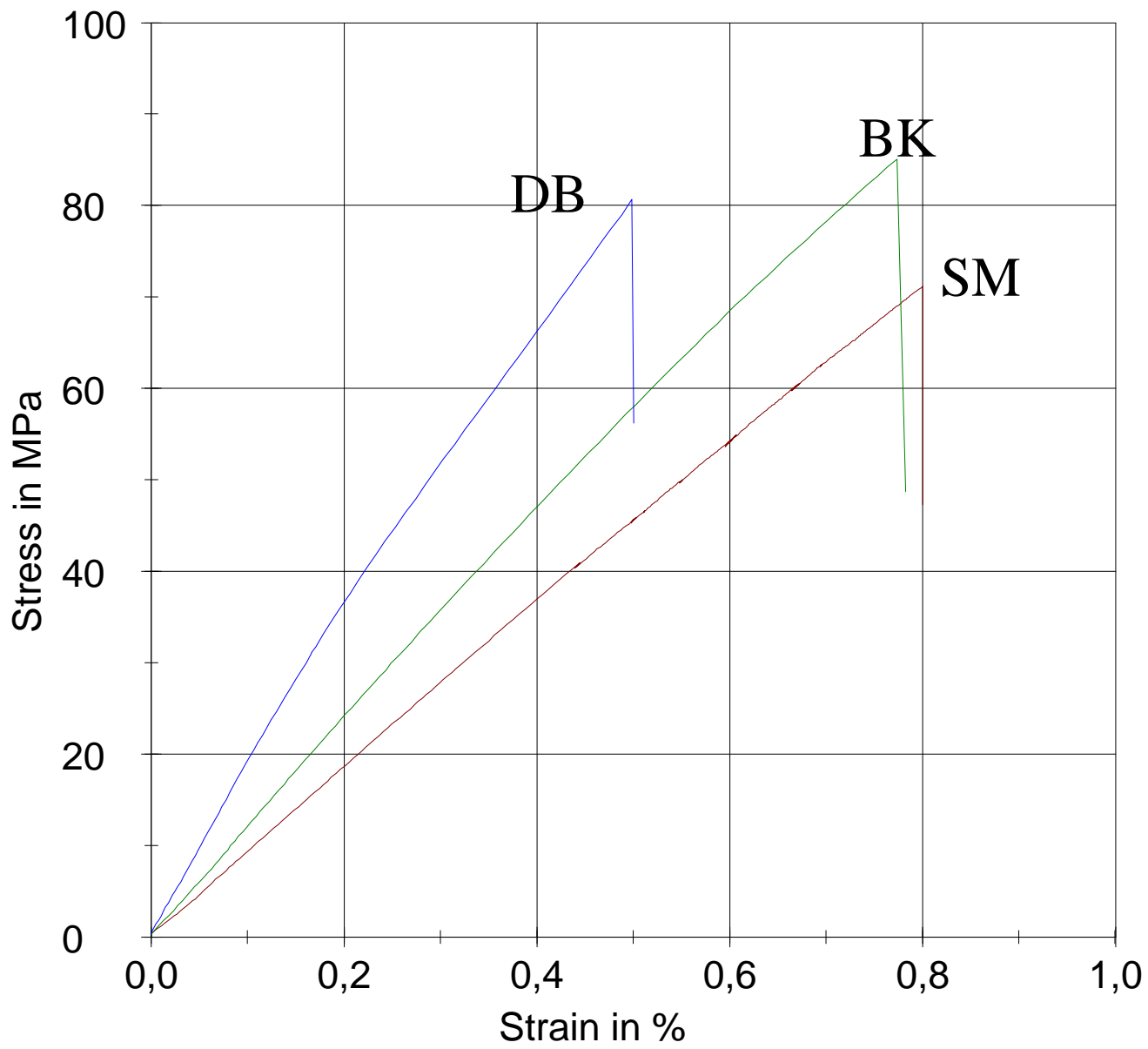
Fig. 7.16. Most common failure modes of tracheids in tension: (a) thick-walled latewood, (b) thin-walled earlywood.

Tahové reakční dřevo – ideální struktura pro přenos tahového napětí

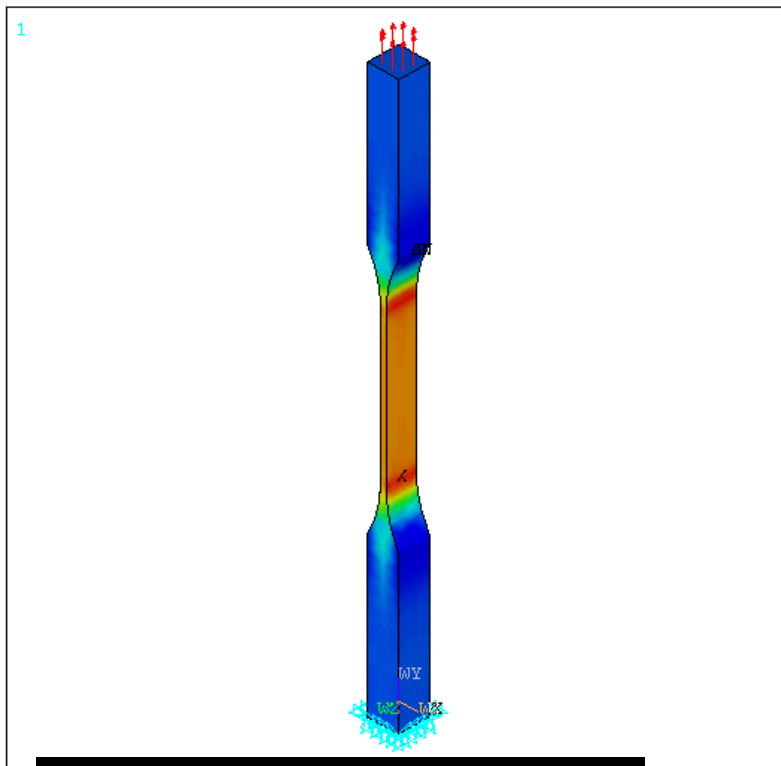
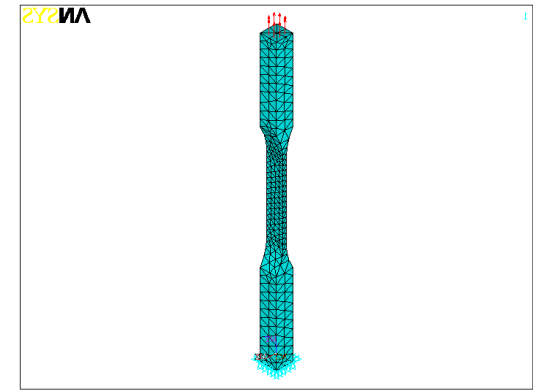
- Reakční tahové dřevo produkují pouze listnaté dřeviny.
- Výskyt tohoto dřeva je určován jako vada. Má velký význam zejména u buku.
- Obsah krystalického podílu celulózy je vyšší, klesá podíl ligninu.
- Obvyklá struktura buňky je pozměněna. Vnitřní S₃ a W vrstva chybí a jsou nahrazeny mohutnou želatinózní G vrstvou. Ta je tvořena čistou celulózou ve formě podélně orientovaných vláken (srovnej s tlakovým dřevem). Buňky jsou užší a delší. Hustota tahového reakčního dřeva je cca o 1/3 vyšší než normálního.

Tato struktura je dokonale uzpůsobena pro přenos tahového napětí.

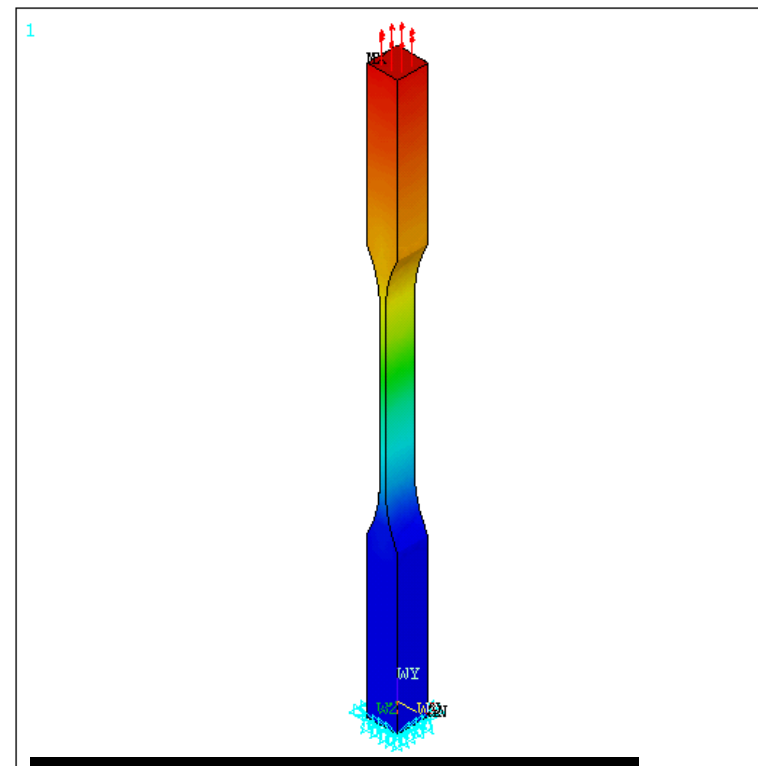




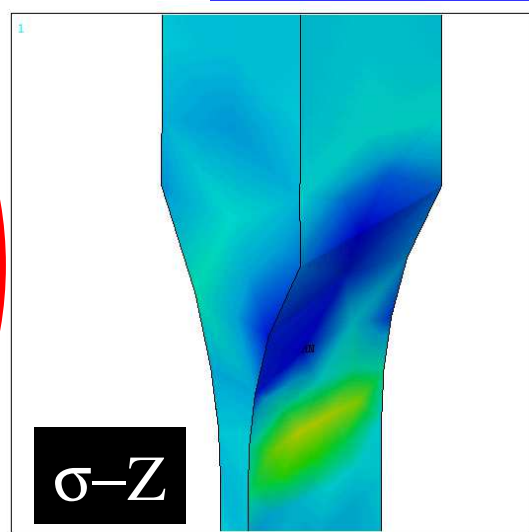
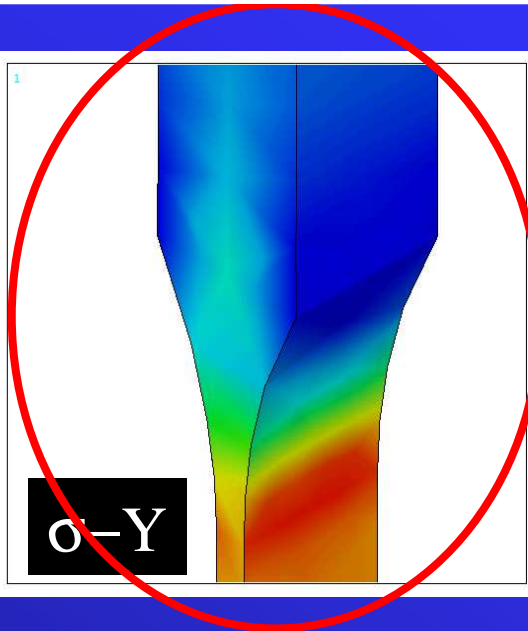
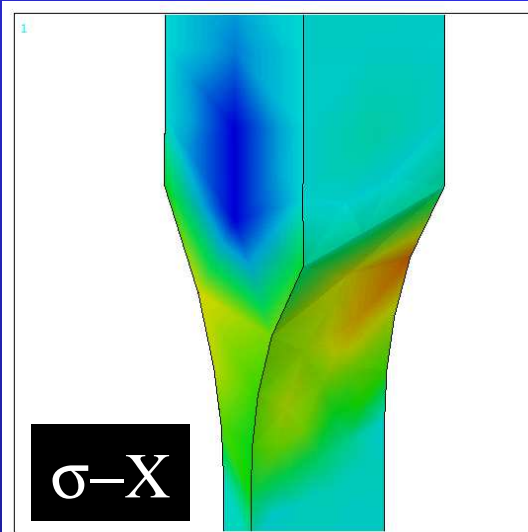
Pole napětí v tahu



σ -VonMises



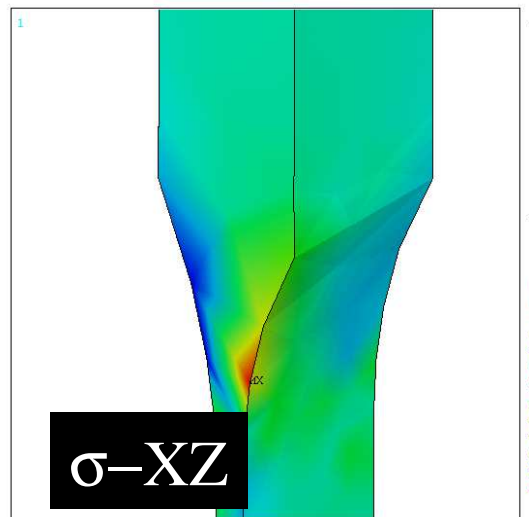
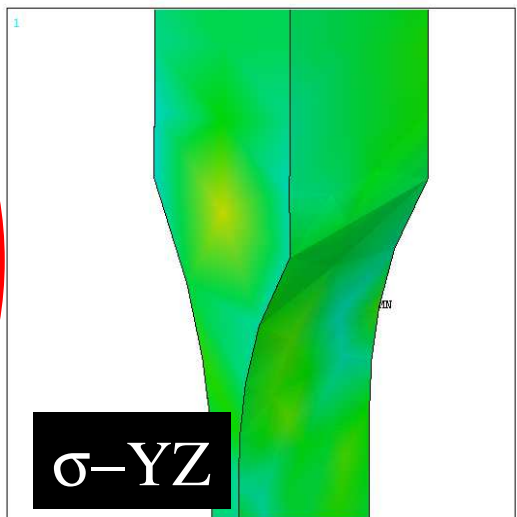
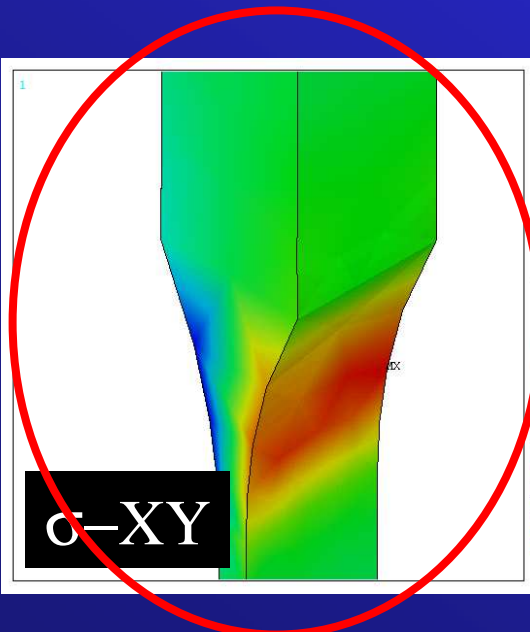
U-sum



ANSYS 5.5.3
DEC 4 2000
22:32:36
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SZ (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.003423
SMN =-883701
SMX =.216E+07

PRES
-.400E+08

Blue	-883701
Light Blue	-545142
Cyan	-206583
Green	131976
Yellow-Green	470534
Yellow	809093
Orange	.115E+07
Red-Orange	.149E+07
Red	.182E+07
Dark Red	.216E+07



ANSYS 5.5.3
DEC 4 2000
22:33:51
MODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SXZ (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.003423
SMN =-232181
SMX =311680

PRES
-.400E+08

Blue	-232181
Light Blue	-171752
Cyan	-111323
Green	-50894
Yellow-Green	9535
Yellow	69964
Orange	130393
Red-Orange	190822
Red	251251
Dark Red	311680

Odklon vláken

1



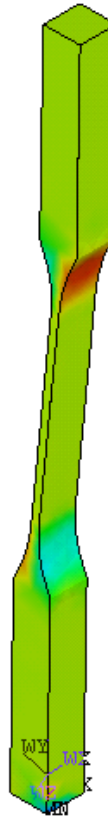
ANSYS 5.5.3
DEC 4 2000
22:40:46

1



ANSYS 5.5.3
DEC 4 2000
22:37:04

1



ANSYS 5.5.3
DEC 4 2000
22:39:43
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SXY (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.085094
SMN =-.621E+08
SMX =.295E+08

Blue	-.621E+08
Light Blue	-.519E+08
Cyan	-.417E+08
Green	-.316E+08
Light Green	-.214E+08
Yellow-Green	-.112E+08
Yellow	-.102E+07
Orange	.916E+07
Red-Orange	.193E+08
Red	.295E+08

Usum

σ -VonMises

σ -XY

Základní parametry

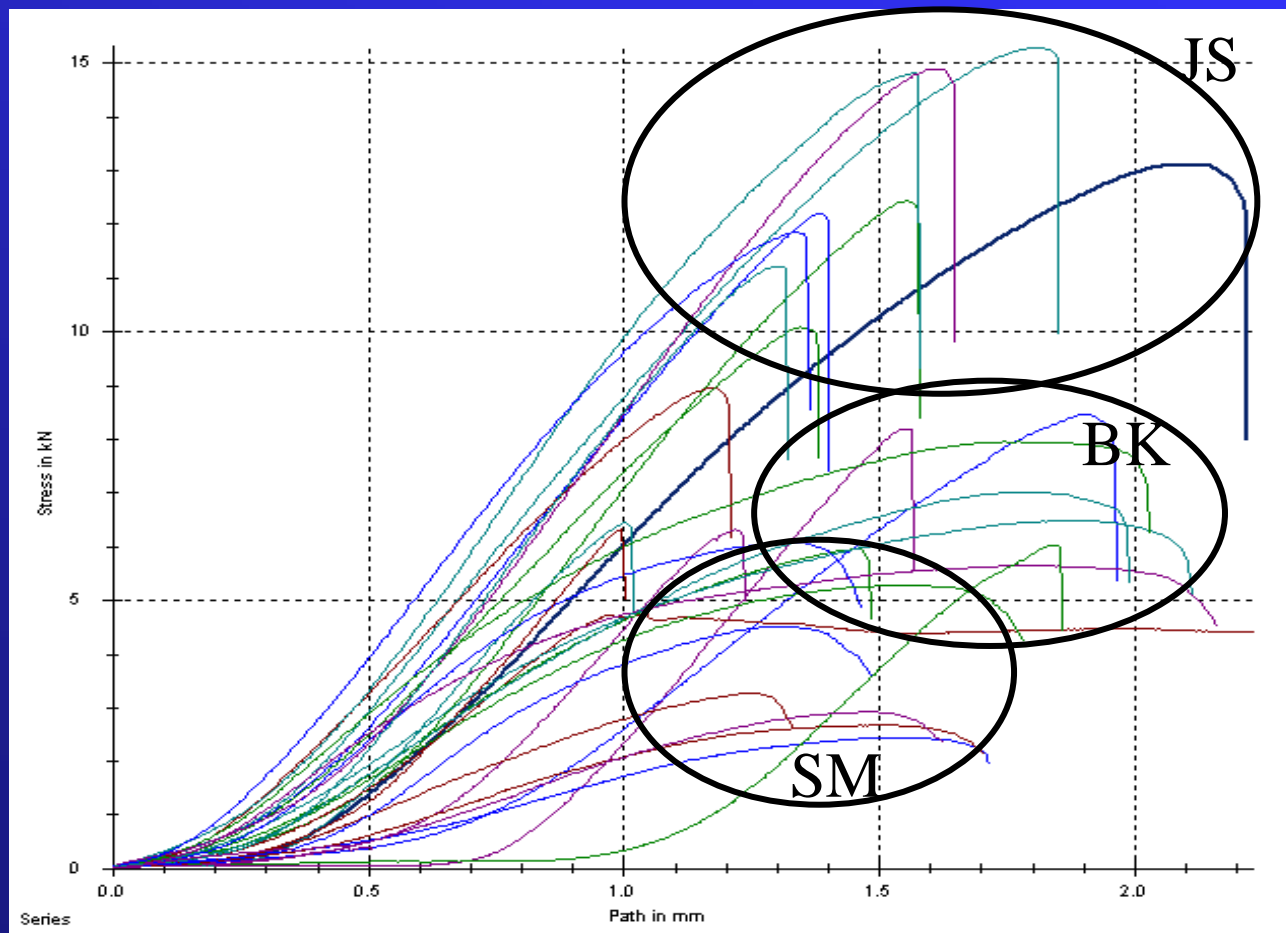
(převzato z Požgaj a kol.,1998)

dřevina	Pevnost (L/R/T) [MPa]	Modul pružnosti (L/R/T) [MPa]
SM	74,4/2,2/1,7	14956/3088/555
BK	133,5/3,4/4,4	16750/1588/613
DB	59,8/11,0/8,5/	-



Smyk

Srovnání pracovních diagramů

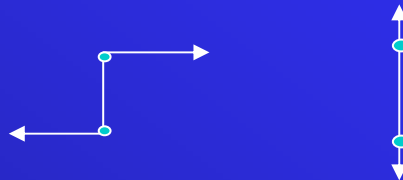


Proč?

Na předchozím snímku máte možnost si všimnout, že mnohem lépe odpovídá na působící zatížení JS a kruhovitě pórovité obecně, které se nám zatím v žádném případě zatěžování neukázaly jako výrazné vzhledem k pevnosti. Příčinu lze opět nalézt na grafech průběhu chyby, které se dopustíme zanedbáme-li odklon vláken. Předpokládejme odklon vláken jako jednoho reprezentanta možných imperfekcí ve dřevě. Potom můžeme konstatovat, že vyskytne-li se ve dřevě nějaká lokální porucha a my ji poměrně logicky zanedbáme dopustíme se při smykovém zatěžování relativně nejvyšší chyby (oproti ostatním jednoduchým způsobům zatěžování). Už na základě tohoto faktu, lze konstatovat, že vnitřní porucha se projeví výraznější změnou pružnostně pevnostních parametrů. O tom jestli změna parametrů bude pozitivní nebo negativní můžeme opět rozhodnout velmi jednoduchou úvahou. Ve dřevě na chemickém měřítku jsou namáhány chemické vazby, které nejsou přímo určeny pro přenos majoritního napětí (pohybujeme se stále v případě smyku podél vláken), tím pádem mají výrazně nižší odolnost vůči porušení.

Proč?-pokračování

(Představíme-li dva hmotné body vázané vazbou o nějaké tuhosti-viz. obr.



je pro pevnost takové vazby zanedbatelný způsob namáhání tah či smyk, je-li tuhost vazeb zanedbatelná s tuhostí majoritních vazeb a způsobů zatěžování. Takový případ se vyskytuje také např. při zatěžování tahem napříč vláken, kdy opět zatěžujeme minoritní vazby nepředpokládaného(minoritního) způsobu zatěžování. Z tohoto důvodu lze smyk podél vláken a tah kolmo na vlákna považovat za podobný. A jelikož víme, že pevnostní charakteristiky tahu kolmo na vlákna jsou velmi nízké, lze oprávněně to samé předpokládat i u smyku podél vláken). Jinými slovy lze pevnost ve smyku opět považovat za jednu z nejhorších. Vyskytne-li se tedy ve dřevě nějaká porucha, lze předpokládat redistribuci napětí i do jiných směrů než jen rovnoběžně v sousedních rovinách(u smyku), a ty mají jak jsme ukázaly vyšší schopnost odolávat. Tím se tedy při výskytu poruchy z globálního hlediska zlepšují pevnostní vlastnosti dřeva ve smyku, protože bude namáháno i ostatními způsoby, ve kterých je napětí dokonaleji přenášeno.

Proč?-závěr

Jehličnaté dřeviny - vzhledem k jejich minimální vzájemné provázanosti vnitřní struktury a tím tedy minimální schopnosti odolávat mimořádným zatěžovacím stavům je můžeme považovat za dřeva s unitárně=homogenní stavbou-tím tedy zcela logicky dedukujeme jejich minimální pevnost ve smyku.

Roztroušeně pórovité – mají určitý výskyt imperfekcí v podobě (z mechanického hlediska „nesystematicky“ uspořádaných) vodivých elementů popř. dřevných paprsků(BK) a tím zase zlepšují pevnostní vlastnosti.

Kruhovitě pórovité - cévy jsou zde systematicky rozmístěny a nelze je považovat za lokální zanedbatelnou imperfekci. Resp. imperfekcí ve smyslu definice na snímku 3 dále zůstávají, ale pozbývají lokální charakter a mi můžeme dokonce přírodu podezírat z účelového využití cév s minimálními mechanickými vlastnostmi na místně cílenou disipaci vnější energie rozsáhlými přenosy(vzpomeňme si na délku cév a jejich koncentraci u kruhovitě pórovitých), tím tedy zvyšování akčního povrchu a snižování pravděpodobnosti výskytu nějaké poruchy.

Výskyt smyku

Na cvičení jsme se již se smykem setkali a bylo to právě v případech kombinovaného zatěžování např. ohybu. Z toho co již bylo naznačeno lze smyk předpokládat u dřeva jako typický a s ohledem na imperfekce jakéhokoliv druhu všudypřítomný při jakémkoliv způsobu zatěžování.

Z hlediska kvantifikace smyku rozlišujeme 3 základní stavy, pomocí jejichž stavové superpozice lze dosáhnout „všech“ možných stavů=rozuměj způsobů zatěžování jejichž hlavním důsledkem je právě výskyt smyku.

Těmito základními, „výrazně“ odlišnými stavy jsou:

- smyk při krutu
- smyk v ohybu
- prostý smyk (který u dřeva lze označit vhodně jako teoretický)

Prostý smyk

Vzhledem k vysoké nespolehlivosti tohoto parametru je vhodné rozlišovat všechny stavy způsoby zatěžování (ve všech smykových rovinách) individuálně:

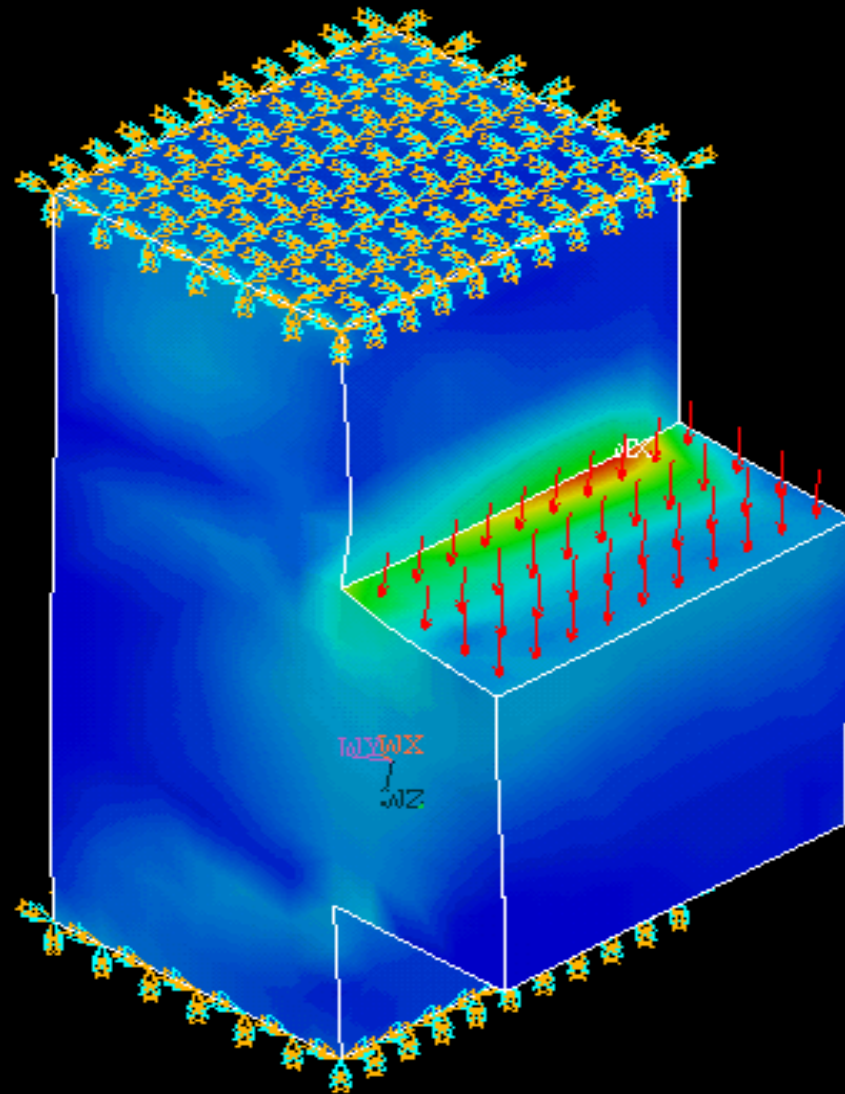
-v rovině (3-stavy=L,R,T) & vzhledem k vláknům (2-stavy=podél x kolmo)

-radiální	podél
-tangenciální	podél
-příčné	podél
-3x dtto.	kolmo x3

viz. Požgaj str.378

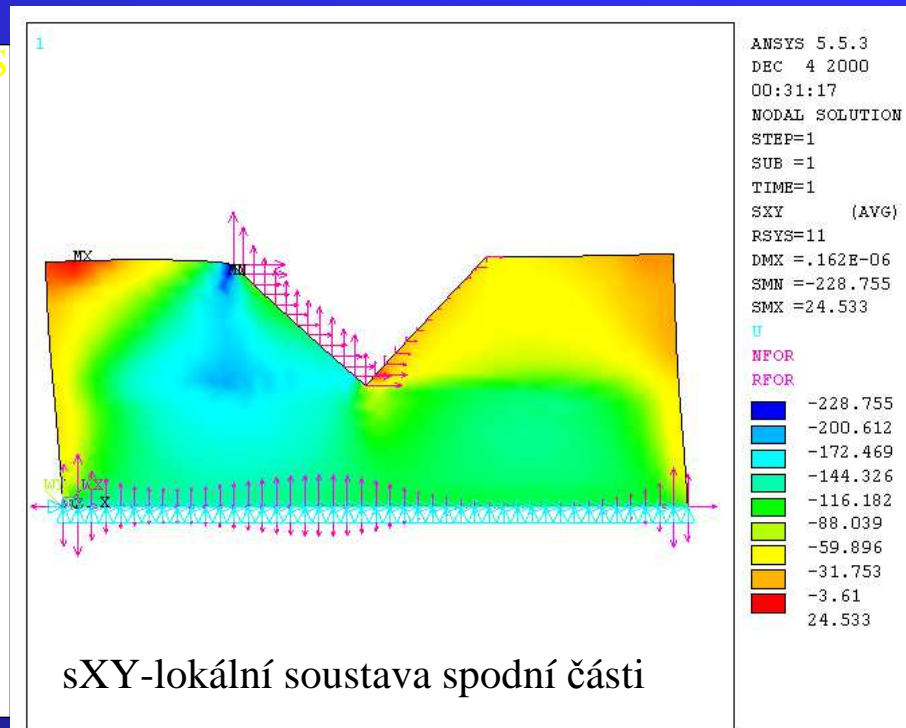
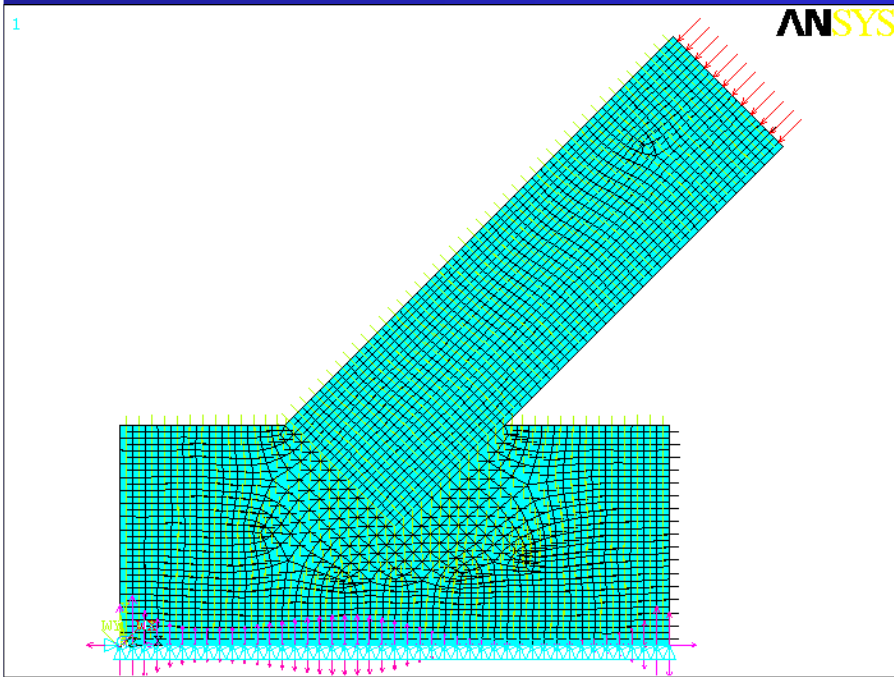
Vzhledem k symetrii napětí v protilehlých rovinách, existují na elementární Hookově krychli pouze tři nezávislé roviny. Jejich napěťový stav lze opět popsat minimálně dvěma navzájem kolmými složkami napětí a tím jsme na potřebném počtu šesti smykových složek napětí, které potřebujeme pro úplné popsání elementární krychle.

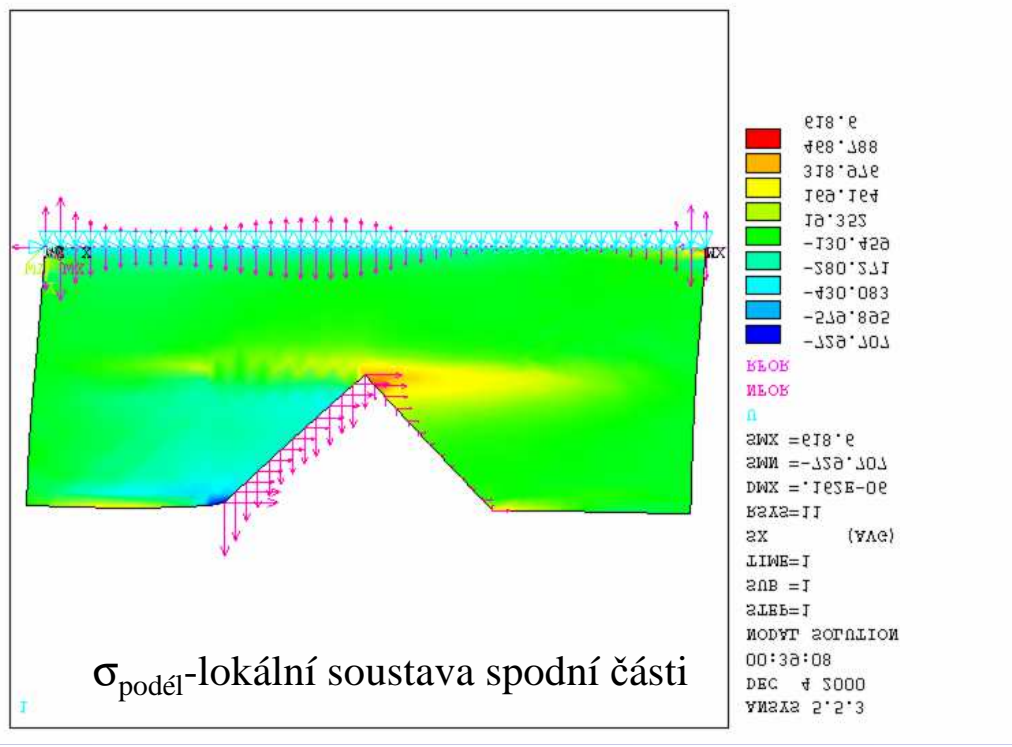
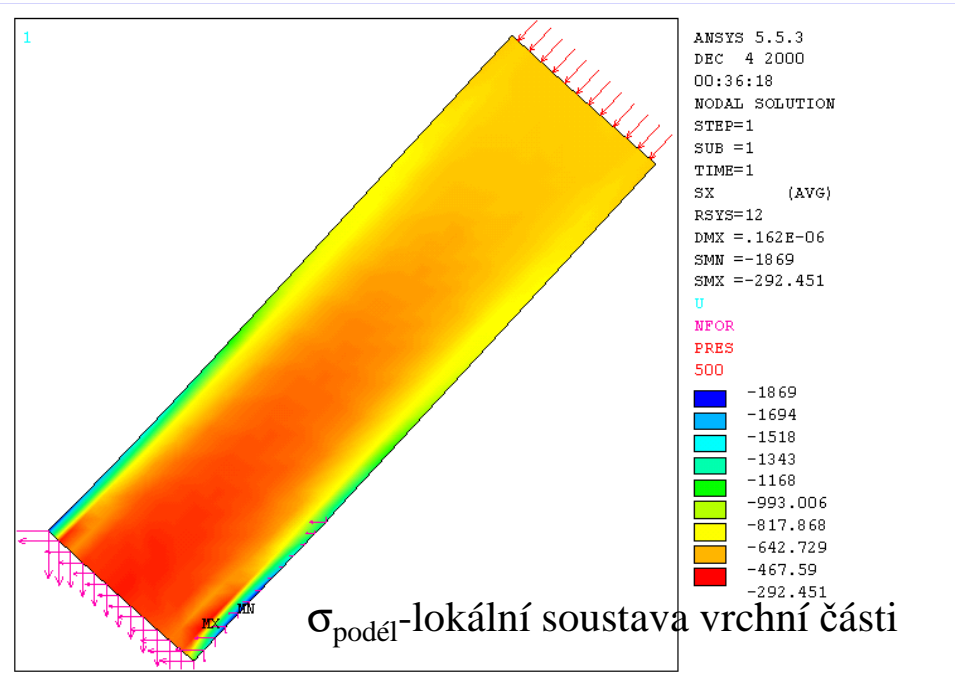
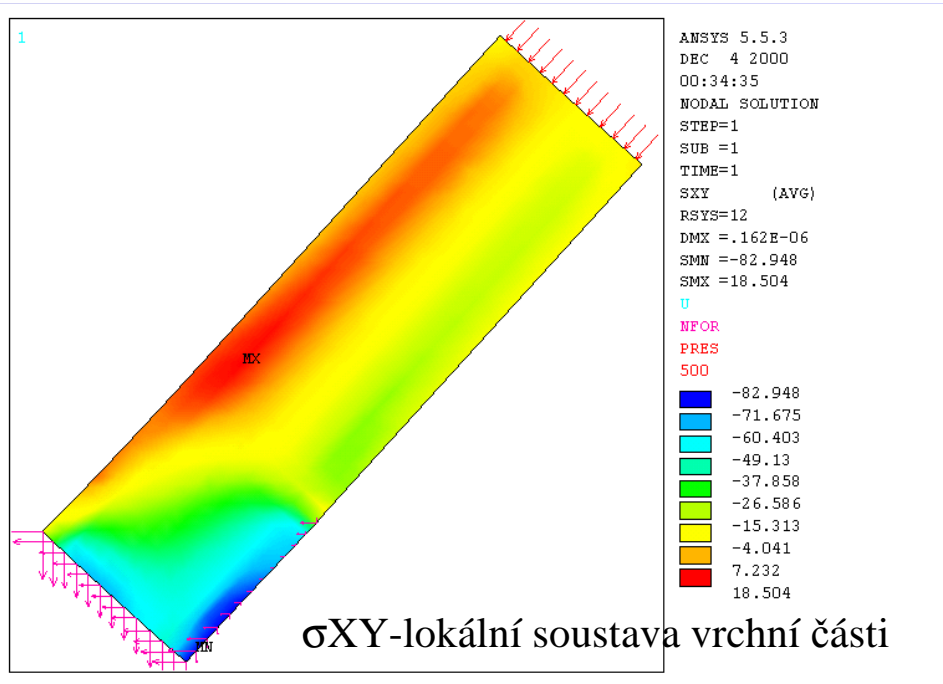
1



Nejbližší podoba prostého smyku

v reálném světě se lze se zmiňovanou podobou smyku setkat např. u čelního zapuštění trámů





Základní parametry

(převzato z Požgaj a kol.,1998)

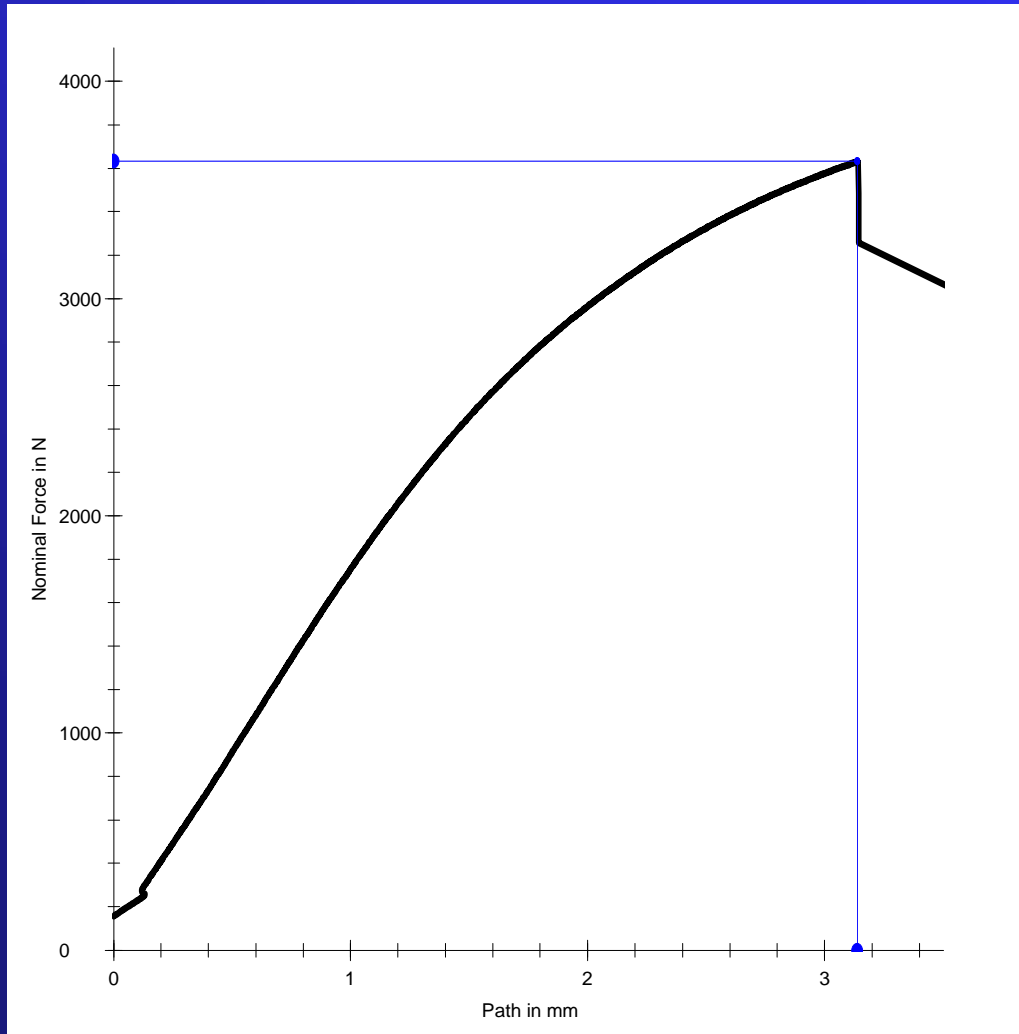
dřevina	Pevnost [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
SM	6,7/2,1/2,4	573/474/53
BK	12,6(15,1)/14,2/10,2	-
DB	13,3(14,9)/7,9/7,5	-
JS	-	1324/1082/254

Hodnoty jdou v pořadí: smyk podél (v závorce tang.)/smyk kolmo radiálně/tangenciálně



Ohyb

Pracovní diagram



Chování dřeva v ohybu je do určité míry kombinací chování v tlaku a v tahu. Stejně jako v tlaku ve směru vláken má dřevo výrazně viscoelastické chování – chová se jako kujný materiál. Nakonec se ale poruší zlomem jako v tahu. Protože modul pružnosti i napětí nelze počítat podle běžného vzorce $\sigma = F/A$ a stejně i měřené posunutí – průhyb – není poměrná deformace, zobrazuje se obvykle v pracovním diagramu na ose X průhyb v mm, na ose Y působící síla v N.

ČSN 49 0115

Výpočet pevnosti ve statickém ohybu MOR

Pevnost dřeva ve statickém ohybu se dle ČSN zjišťuje při tzv. tříbodém ohybu. Při konstantní rychlosti zatěžování se zjistí síla při porušení zkušebního tělesa. Podle níže uvedené rovnice se vypočte pevnost dřeva při statickém ohybu.

Přepočet na 12-ti % vlhkost se provádí podle běžného vzorce, kde $\alpha_w=0,04$ pro všechna dřeva.

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha(w - 12)]$$

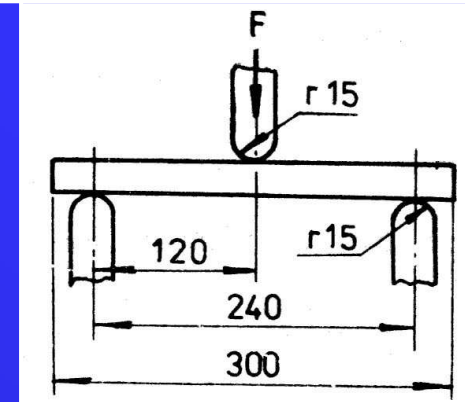
$$\sigma_w = \frac{3F_{\max} l}{2bh^2}$$

F_{\max}lomové zatížení v N

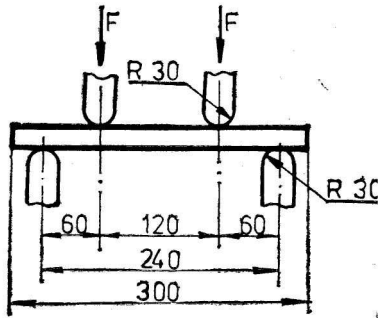
l ...vzdálenost mezi středy podpěr [mm]

h ...výška zkušebního tělesa [mm]

b ... šířka zkušebního tělesa [mm]



Pevnost dřeva ve statickém ohybu (MOR) se pohybuje mezi 65 – 150 MPa.



ČSN 49 0116

Výpočet modulu pružnosti ve statickém ohybu MOE

I výpočet modulu pružnosti se liší od ostatních druhů namáhání, zejména od tlaku a tahu. Při výpočtu se totiž vychází z průhybu nosníku, tedy z rovnice ohybové čáry (viz dále). Podle ČSN se zkouška provádí čtyřbodovým ohybem, kdy je ve středové části eliminován ohybový moment, jedná se o ohyb navozený smykem. Při tříbodém ohybu tomu tak není.

Hodnota modulu pružnosti se vypočítává z průměrné hodnoty průhybu ze čtyř po sobě následujících měření deformace v elastické oblasti dřeva. Modul pružnosti se pak vypočte podle vztahu:

$$E_w = \frac{3Fl^3}{64bh^3 f}$$

F...zatěžovací síla

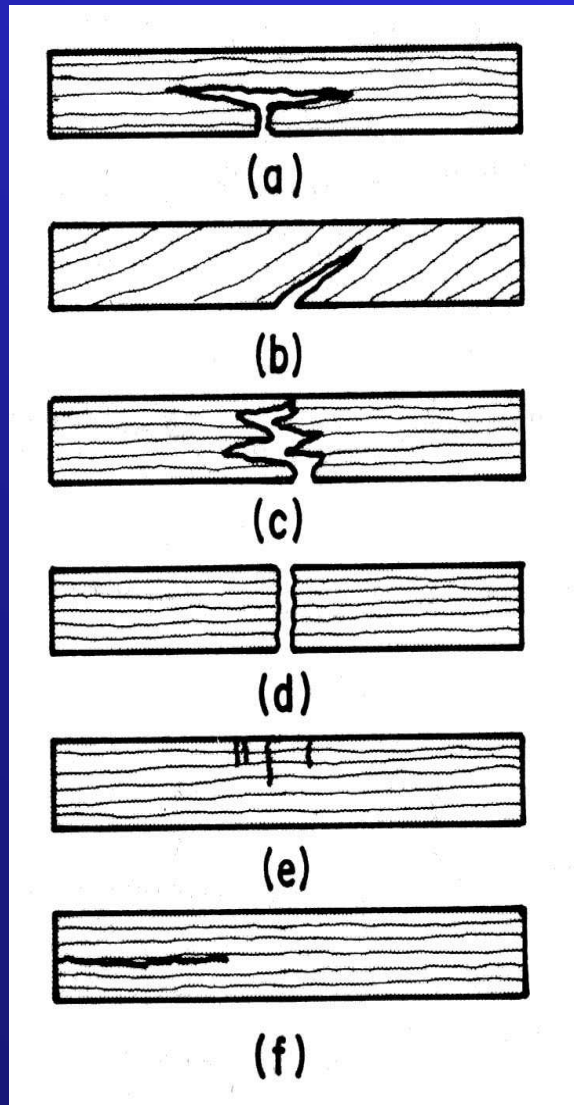
l...vzdálenost podpěr

f...průhyb zkušebního tělesa v zóně čistého ohybu

b,h...příčné rozměry tělesa

MOE dřeva dosahuje hodnot od 8000 do 13 000 MPa. (Až 16 000 u břízy!).

Porušení v ohybu



- Porušení na tahové straně – trhlina se šíří v neutrální rovině (a)
- Porušení tahem kolmo na směr vláken při odklonu (b)
- Vlákňitý a nebo tupý lom (c, d)
- Selhání utlačením na tlakové straně (e)
- Smykové porušení v neutrální rovině (f)

Základní parametry

(převzato z Požgaj a kol.,1998)

dřevina	Pevnost (R/T) [MPa]	Modul pružnosti (R/T) [MPa]
SM	70,4/72,59	8210
BK	124	12966
DB	85,2	13066 (<i>Quercus cerris</i>)



Vliv faktorů na mechanické vlastnosti dřeva

Vliv chemického složení

Dřevo se skládá ze dvou základních složek – anorganické a organické. Anorganickou složku tvoří popel a inkrustační látky. Podíl anorganické složky je asi 5 %. Při **běžném malém množství** nemají na mechanické vlastnosti dřeva výrazný vliv.

Organická složka dřeva (cca 95 %) je tvořena cukernou (cca 70 %) a aromatickou složkou.

Cukerná složka je tvořena celulózou (43 – 52 %) a hemicelulózami (20 – 35 %), aromatická složka je tvořena ligninem (20 – 30 %).

Podíl jednotlivých komponentů a jejich orientace (u celulózy) ovlivňují konečné chování dřeva.

Chemické složení některých druhů dřev

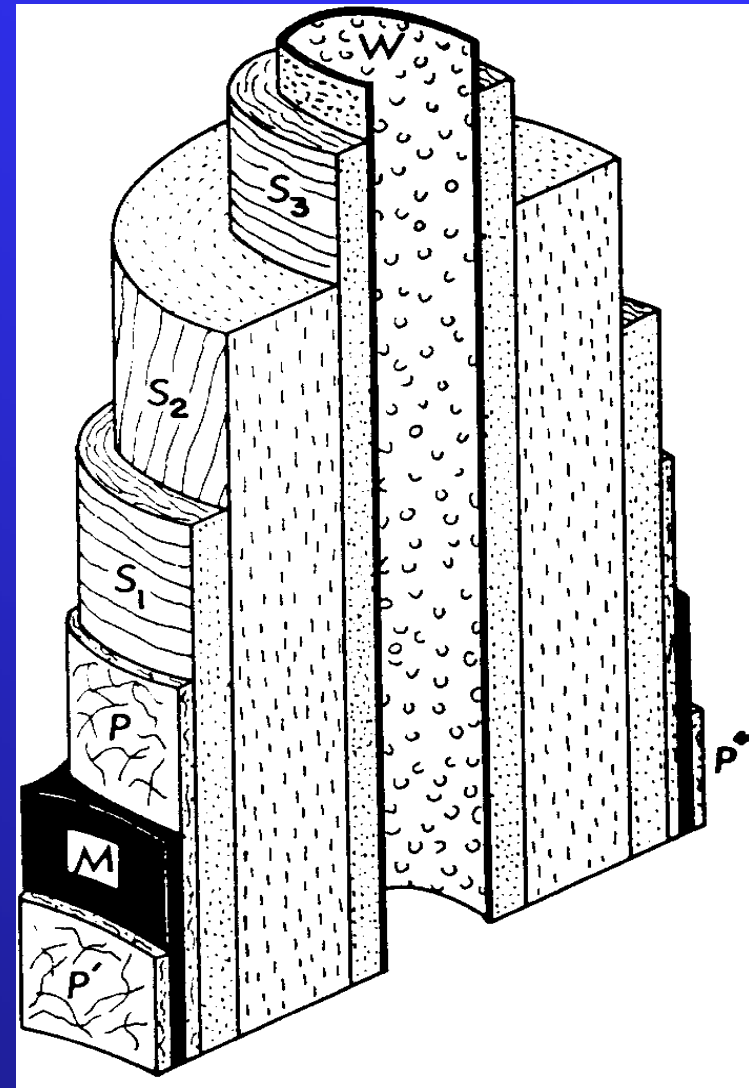
Složka	SM (<i>Picea abies</i> Karst.) [%]	BO (<i>Pinus sylvestris</i> L.) [%]	BK (<i>Fagus sylvatica</i> L.) [%]
Celulóza	45,6	43,2	39,2
Hemicelulóza	27,6	28,0	35,3
Lignin	26,9	26,6	20,9

Blažej et al (1975) in Požgaj et al (1997)

Submikroskopická stavba

Struktura a stavba buněčné stěny je důležitým faktorem ovlivňujícím vlastnosti dřeva. Důležitá je hlavně síla S_2 vrstvy a odklon mikrofibril v ní i v ostatních vrstvách.

Vliv stavby buněčné stěny na vlastnosti dřeva lze dokumentovat na tlakovém reakčním dřevě jehličnanů.



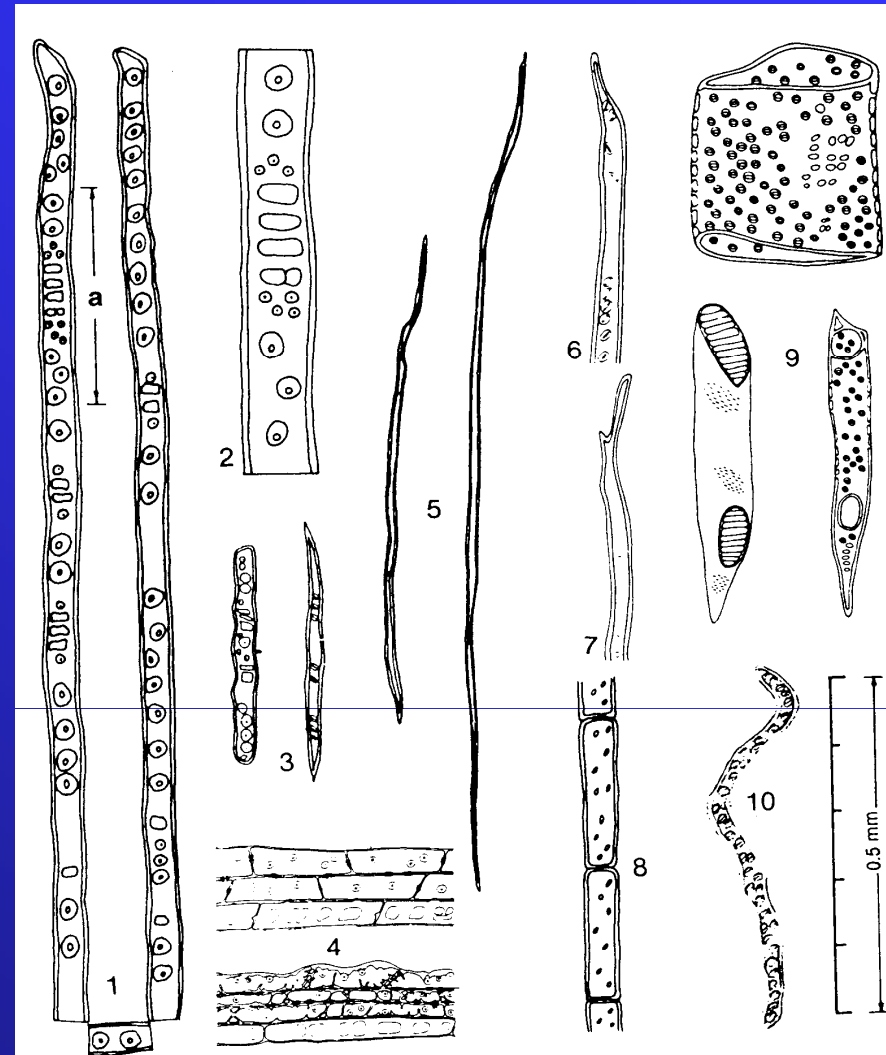
Vliv submikroskopické stavby dřeva.

Rozhodujícím faktorem, který na této úrovni ovlivňuje chování dřeva je **úhel odklonu v jednotlivých vrstvách sekundární buněčné stěny** anatomických elementů, a to zejména ve vrstvě S_2 . Rozdíl mezi pevnostmi stavebních struktur (kovalentní/vodíkové vazby, krystaly celulózy a amorfní matrice, fibrily a lignin) je základem změn tuhosti a pevnosti se změnou úhlu (viz transformace tenzoru napětí a deformací). Rozdíl pevností je při namáhání tahovým výrazně větší než u tlaku, proto i malá změna úhlu má velký vliv na tuhost a pevnost buněčné stěny a tím i celého dřeva (viz Hankinsonova rovnice). Také krystalické části celulózy přerušovány amorfními částmi, které snižují teoretickou pevnost dřeva.

Podle toho, které prvky struktury dřeva se zapojují do přenosu napětí, (elementární fibrily, mikrofibrily, makrofibrily, matrice), reaguje dřevo různým způsobem na působící napětí a to je znázorněno typický pracovním diagramem dané vlastnosti.

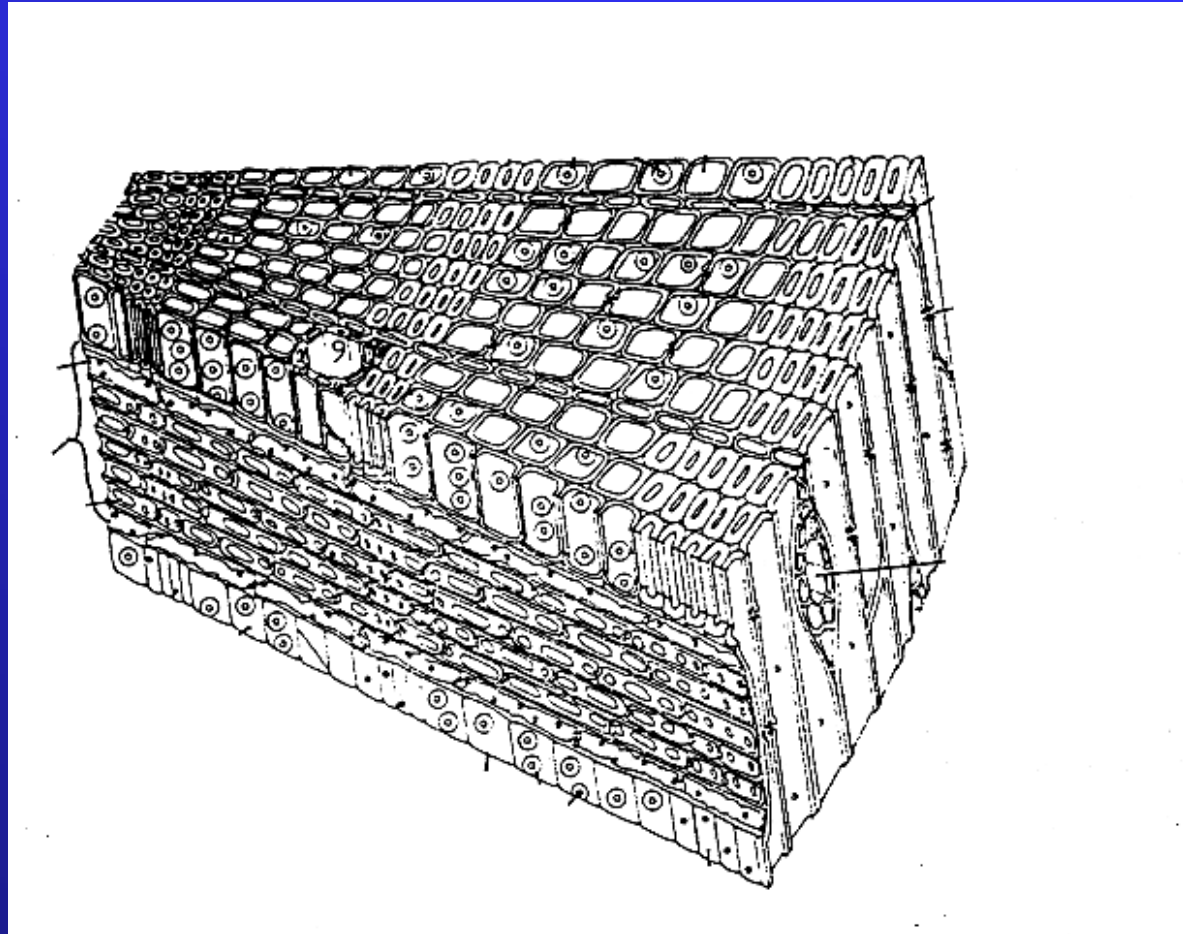
Mikroskopická stavba

Vlastnosti dřeva jsou do značné míry také určeny stavebními elementy, respektive jejich prostorovým uspořádáním v objemu. Ze znalosti druhů elementů, jejich stavby a uspořádání se lze domýšlet na vlastnosti dřeva. Jak to tedy bude?



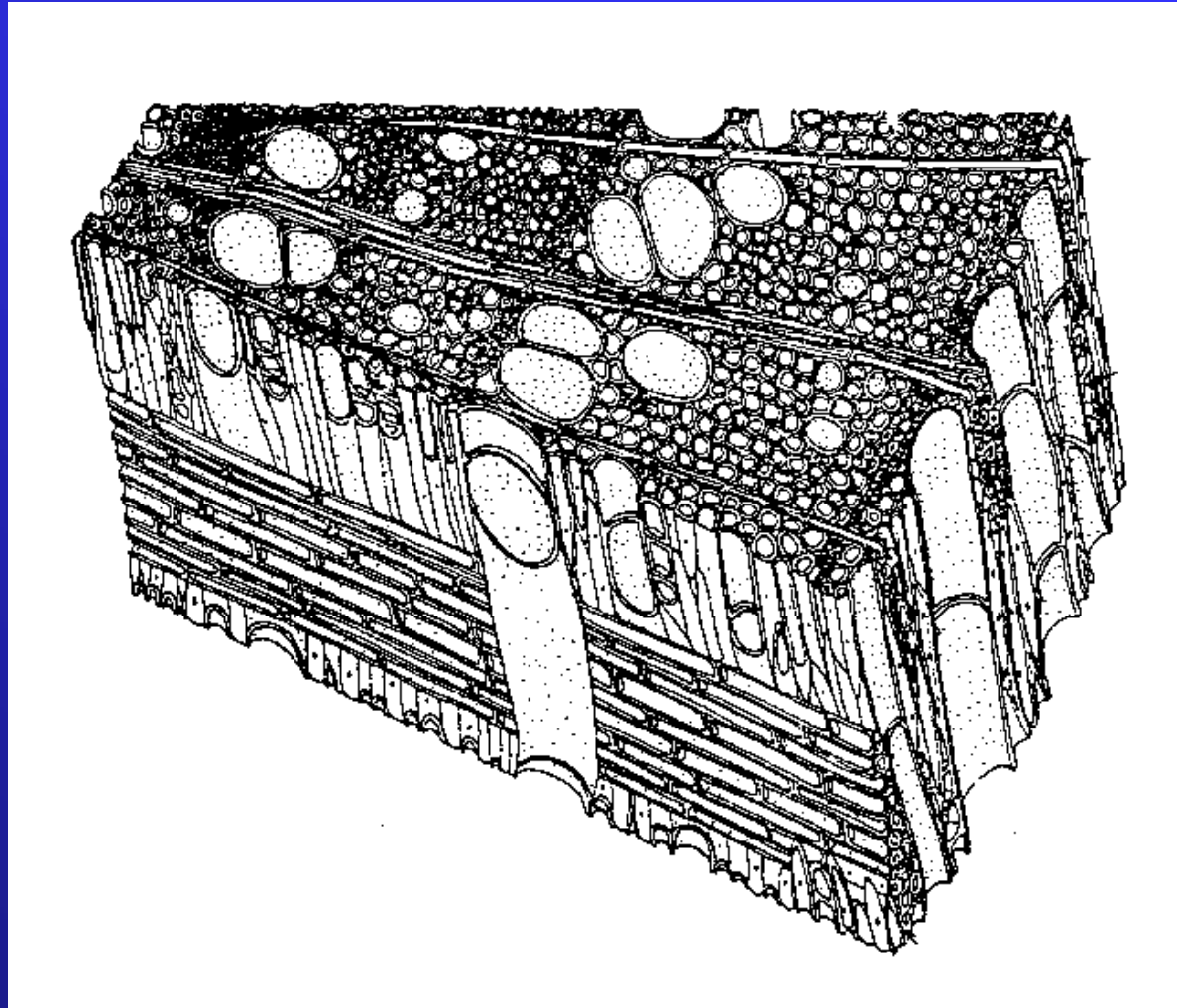
Dřevo jehličnanů

- ✓ Co je typické pro strukturu jehličnanů?
- ✓ Jak se tato struktura projevuje na mechanickém chování dřeva?



Dřevo listnáčů

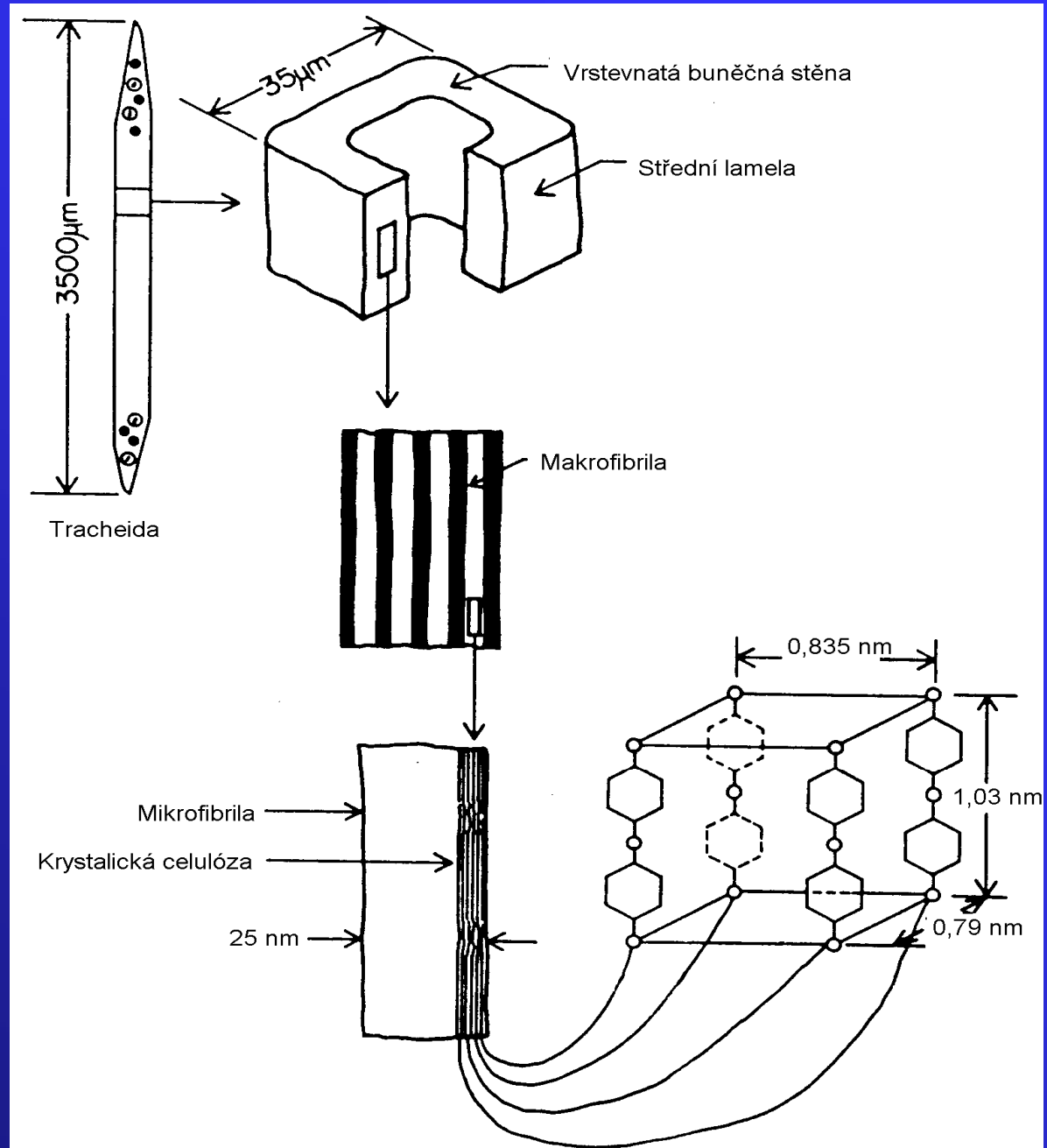
- ✓ Co je typické pro strukturu listnáčů?
- ✓ Jak se tato struktura projevuje na mechanickém chování dřeva?



Makroskopická stavba

- Důležitým parametrem je podíl jarního a letního dřeva.
- O vlastnostech dřeva spolurozhoduje podíl jádra a běli.
- Významný je podíl juvenilního a zralého dřeva a běli pro jejich odlišnou stavbu.
- Vlastnosti dřeva ovlivňuje též výskyt vad dřeva a např. reakčního dřeva.

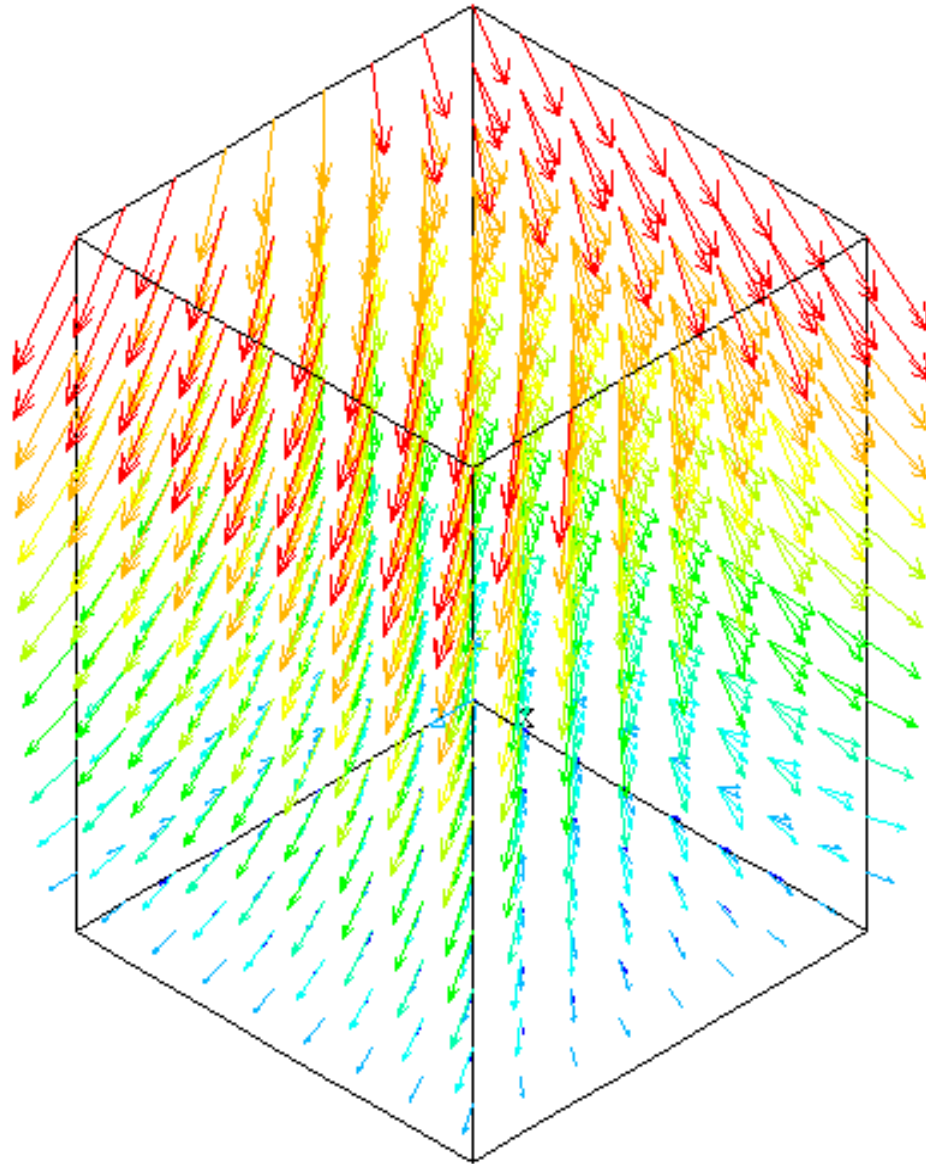
Dřevo je hierarchická struktura s podobným způsobem uspořádanosti na všech úrovních.





Odklon vláken

1



ANSYS 5.5.3

DEC 4 2000

21:17:57

VECTOR

STEP=1

SUB =1

TIME=1

U

NODE=1

MIN=0

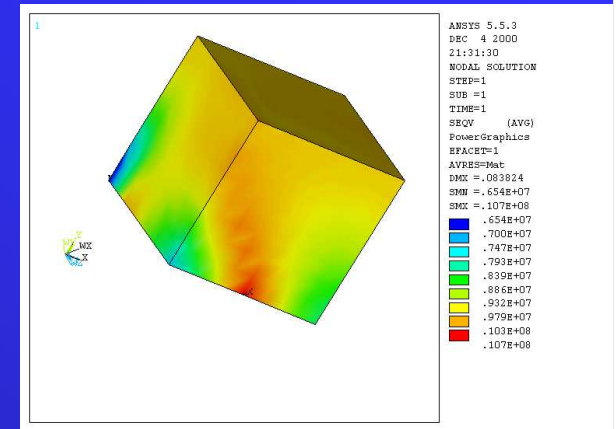
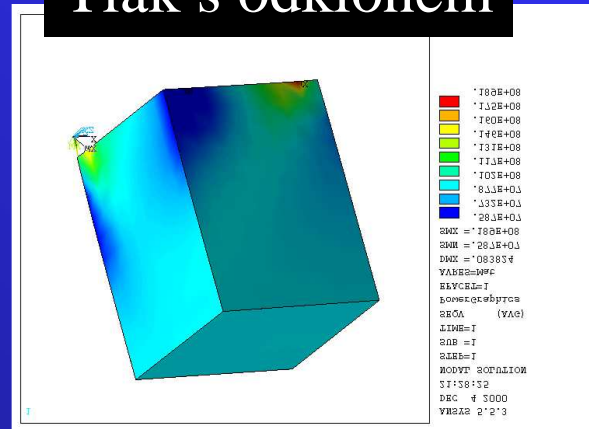
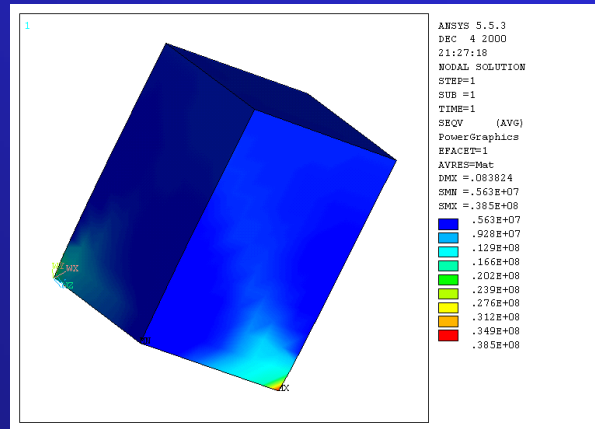
MAX=.002494



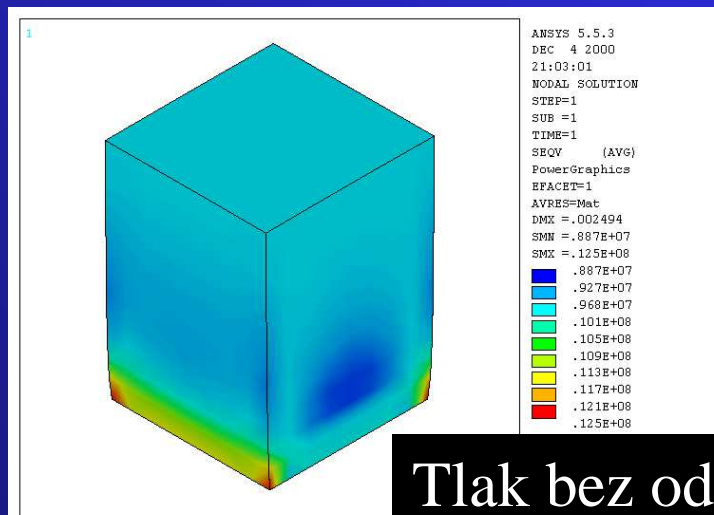
Vliv odklonu vláken

- v praxi velice častý, ideální tělísko s jednoznačnou orientací je spíše výjimkou

Tlak s odklonem



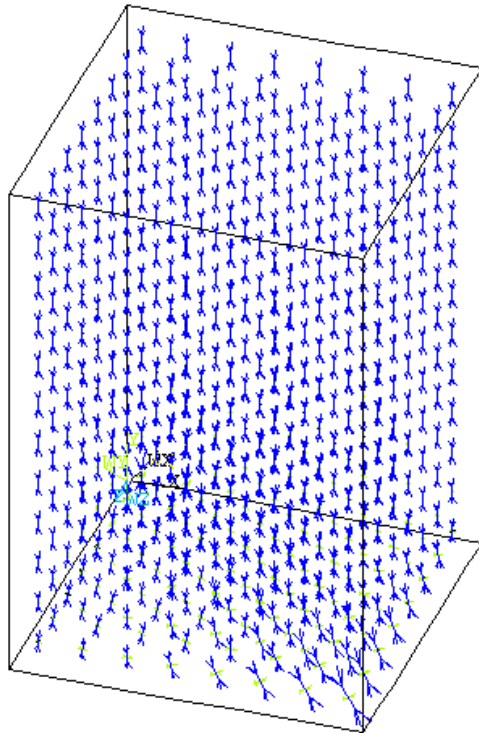
VonMisses ekv.



Tlak bez odklonu

Odklon

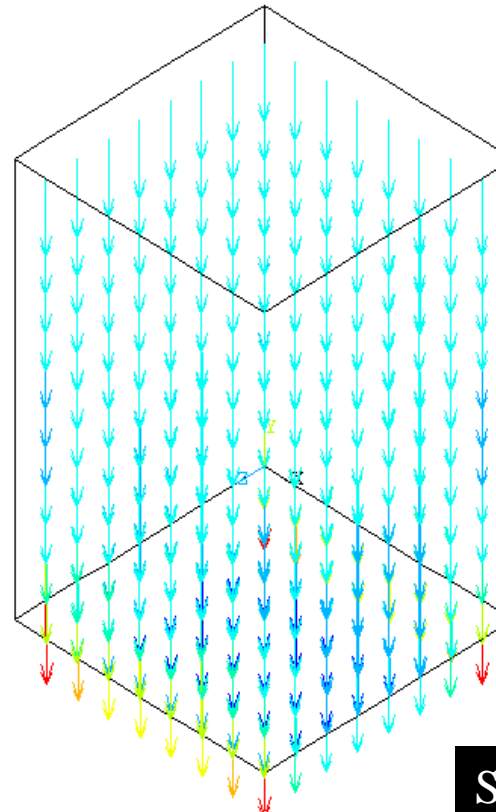
1



```
ANSYS 5.5.3  
DEC 4 2000  
21:39:04  
VECTOR  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
S
```

S_{princ} - s odklonem

1

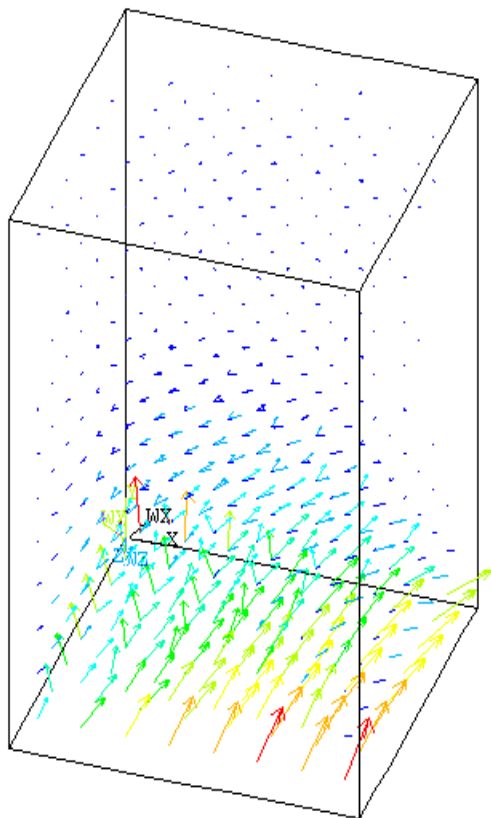


```
ANSYS 5.5.3  
DEC 4 2000  
21:08:44  
VECTOR  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
S1  
ELEM=1  
MIN=.958E+07  
MAX=.110E+08  
Legend:  
.958E+07 (Blue)  
.974E+07 (Light Blue)  
.990E+07 (Cyan)  
.101E+08 (Green)  
.102E+08 (Light Green)  
.104E+08 (Yellow-Green)  
.105E+08 (Yellow)  
.107E+08 (Orange)  
.109E+08 (Red-Orange)  
.110E+08 (Red)
```

S_{princ} - bez odklonu

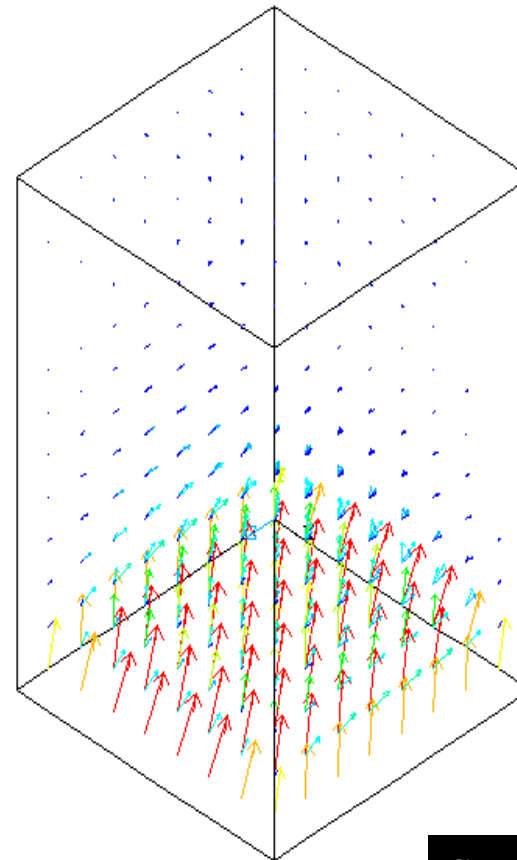
Odklon

1



$S_{\text{prv rovině}}$ - s odklonem

1

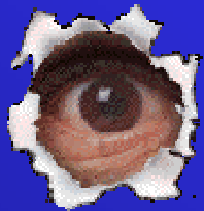


$S_{\text{prv rovině}}$ - bez odklonu

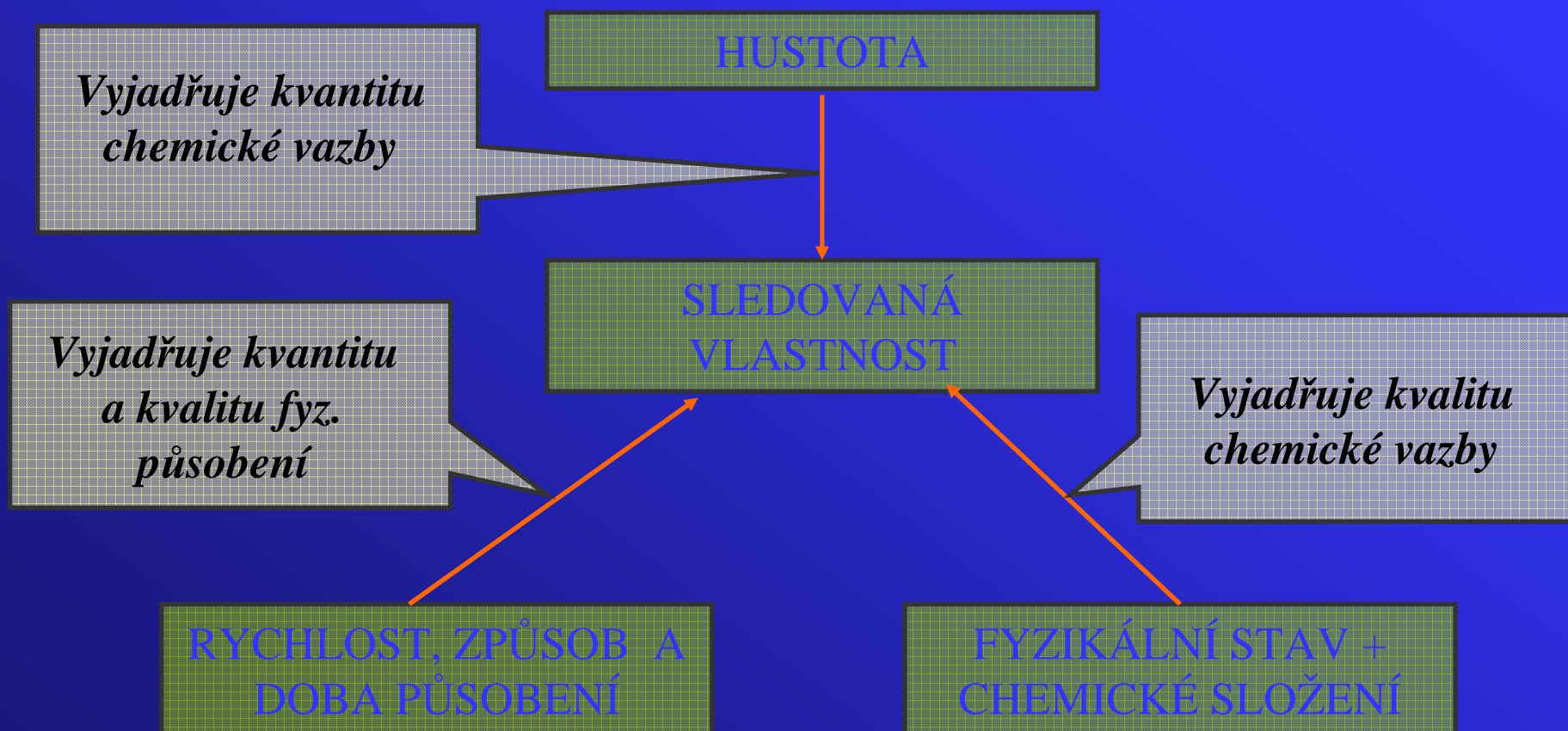
ANSYS 5.5.3
DEC 4 2000
21:12:51
VECTOR
STEP=1
SUB =1
TIME=1
S1
ELEM=292
MIN=881.921
MAX=645851

881.921
72545
144208
215872
287535
359198
430861
502524
574188
645851

Fyzikální faktory prostředí



Možný úhel pohledu

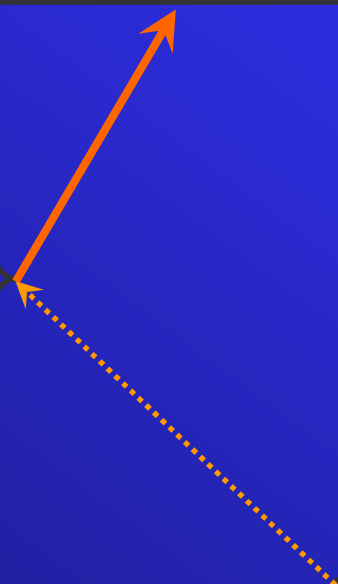


Hustota

HUSTOTA DŘEVA

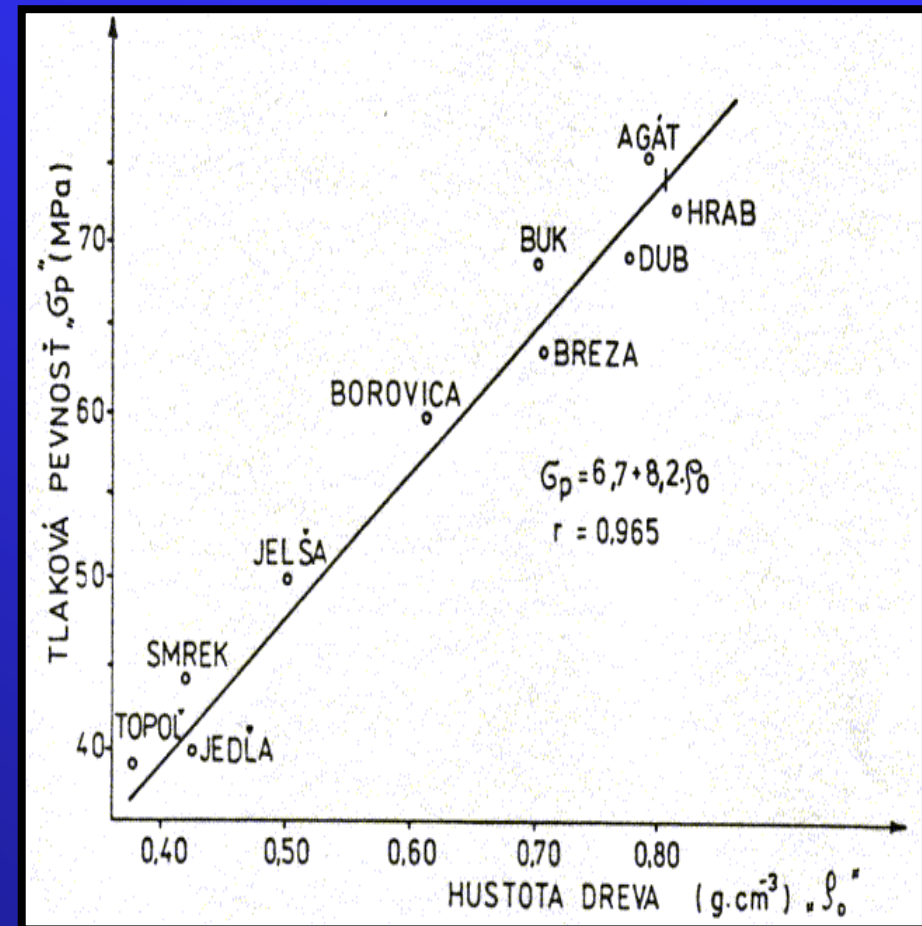
- Chemické složení*
- Submikroskopická stavba*
- Mikroskopická stavba*
- Makroskopická stavba*

- Podíl jarního a letního dřeva
- Šířka letokruhu
- Typ dřeva
- Druh dřeviny
- Stanoviště a sociální postavení jedince



Vliv hustoty na mechanickou pevnost dřeva

Se zvyšováním hustoty dřeva dochází ke zvyšování pružných a pevnostních vlastností dřeva, zvětšuje se modul pružnosti v tlaku podél vláken. S rostoucí hustotou stoupá podíl letního dřeva, je zde více tlustostěnných buněk s převážně mechanickou funkcí, stoupá množství nosných elementů dřeva (mikrofibril, fibril, makrofibril), více vazeb pro přenos energie deformace.



Vliv vlhkosti

Voda ve dřevě je schopna se vázat vodíkovými můstky na amorfní části celulosy a hemicelulos. Amorfní část celulosy je místo které se nepodílí na přenosu mechanické energie, ale spíše na její absorpci. Vodíkové můstky mají za úkol kompenzovat tuto vlastnost a zvyšují téměř nulovou tuhost amorf.celulosy jejím zapojením do lignin sacharidového komplexu.

Navázáním vody na H-můstky se tedy tuhost této části snižuje až téměř na nulu a amorfní celuloza se stává místem lokální diskontinuity (poruchy).

Navázaná voda tím zvyšuje mobilitu celulosových částí, jelikož kolem nich vytváří ochranný obal, kterým navzájem separuje „nevodní“ části, mezi kterými tak již působí jen smyková síla od tření vrstev vody mezi sebou, jež je samozřejmě zanedbatelná ve srovnání s vazbou kterou takto navázaná voda porušila. Tento zjednodušený model narušuje lignin, což je polymer fenypropanových jednotek, jehož jednou z významných vlastností je hydrofóbnost. Jelikož lignin zabezpečuje navázání sacharidových jednotek a zároveň odpuzuje vodu, je zřejmé proč se tuhost amorfních částí celulosy nesníží zcela.

Vlhkost



Vlhkost dřeva

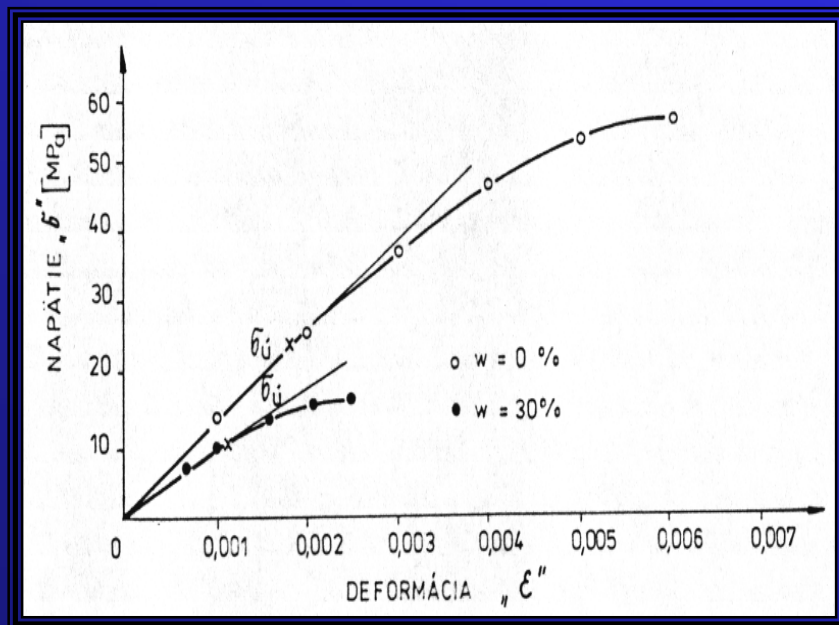
Kovalentní vazba

Kovalentní vazbu voda
nemůže narušit
Podélný přenos energie

Vazba H⁺ můstky

Vazbu H⁺ voda narušuje!
Přenos energie v příčném
směru

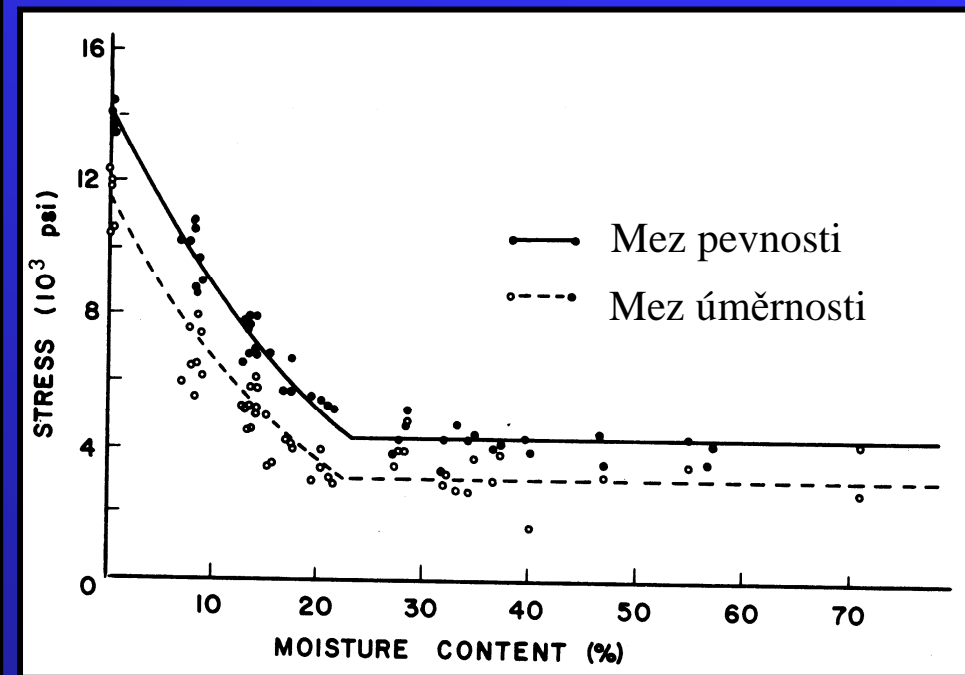
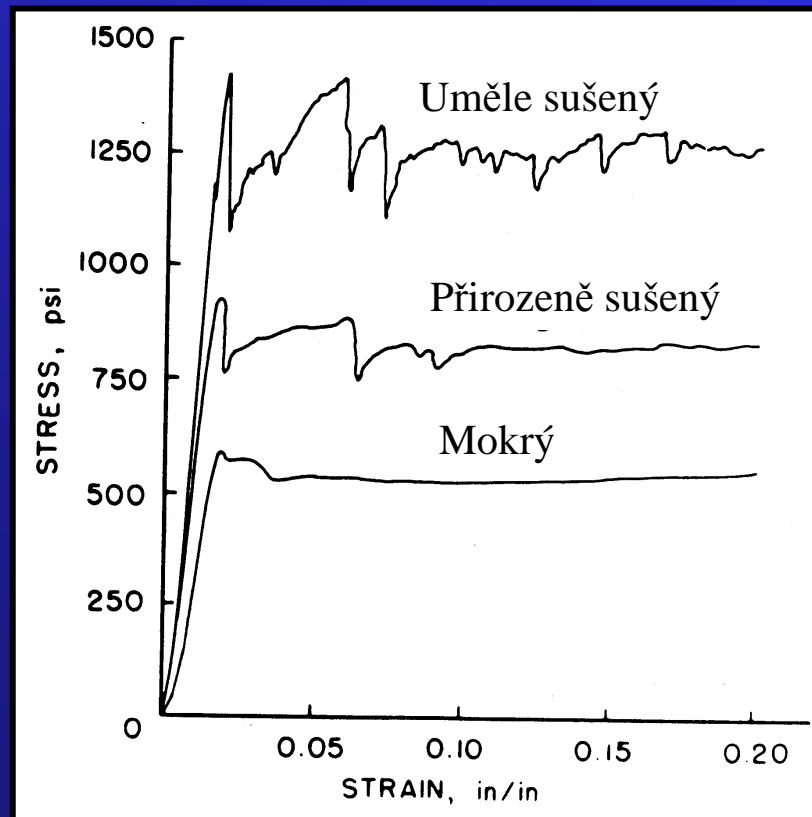
Vliv vlhkosti na mechanickou pevnost dřeva



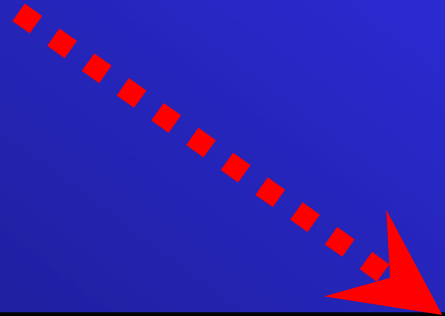
Poklesem vlhkosti dřeva pod BNDV klesá objem dřeva a zvyšují se pevnostní vlastnosti dřeva. Při tlaku jsou namáhány i vazby, které mohou být zeslabené navázáním vody na volné OH skupinami celulóзовých a hemicelulóзовých řetězců. Vzájemné spojení celulóza-voda-celulóza má nižší pevnost než přímá vazba celulóza-celulóza. S přibývajícím počtem molekul vody úměrně klesají vazebné síly udržující molekuly v příčné rovině. Při vlhkosti na MNBS klesne je vliv vlhkosti maximální a pevnost dřeva na minimum. Další zvyšování vlhkosti nemá vliv na mechanické vlastnosti dřeva.

$$\sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha_w (w - 12)]$$

Vliv vlhkosti – grafické znázornění



T Teplota



CHEMICKÁ VAZBA

= zvýšení entropie

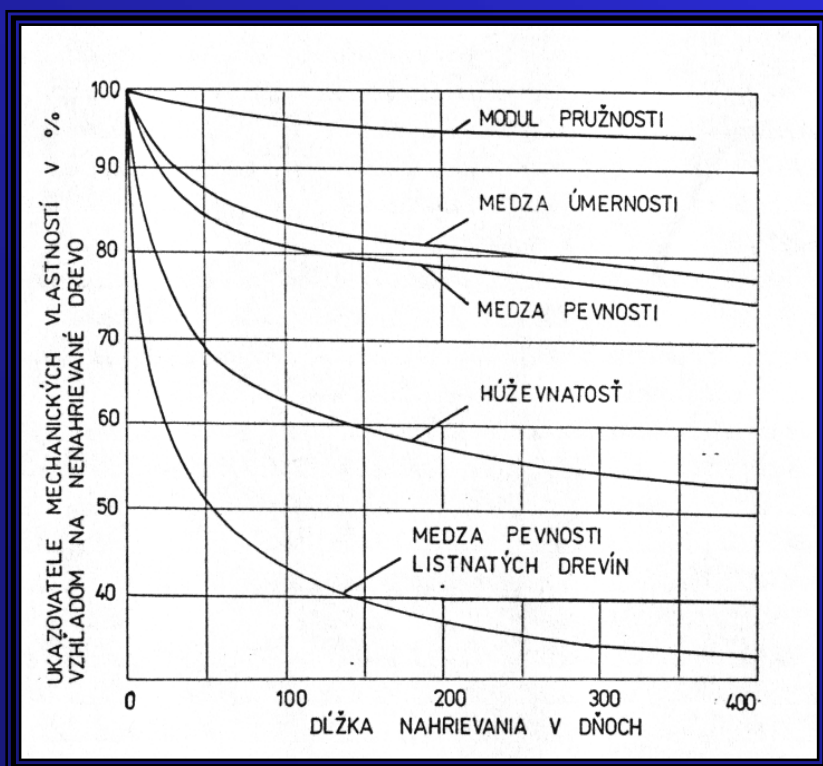
EXCITACE chemické vazby

**ROZVOLNĚNÍ lignin sacharidového komplexu, nové vazby
nevznikají!**

PLASTIFIKACE, resp. tání ligninu, sacharidové střední lamely

Vliv teploty

S rostoucí teplotou a dobou působení klesá modul pružnosti dřeva, pevnost dřeva. Při vyšší vlhkosti dřeva je vliv teploty výraznější. Působením vysokých teplot (200 C) se dřevo stává křehkým z důvodů termického rozkladu dřeva (pyrolýzy).



Graf: vliv nahřívání ve vodě 93 C, zkoušeno při 20 C, 12 % vlhkosti dřeva.

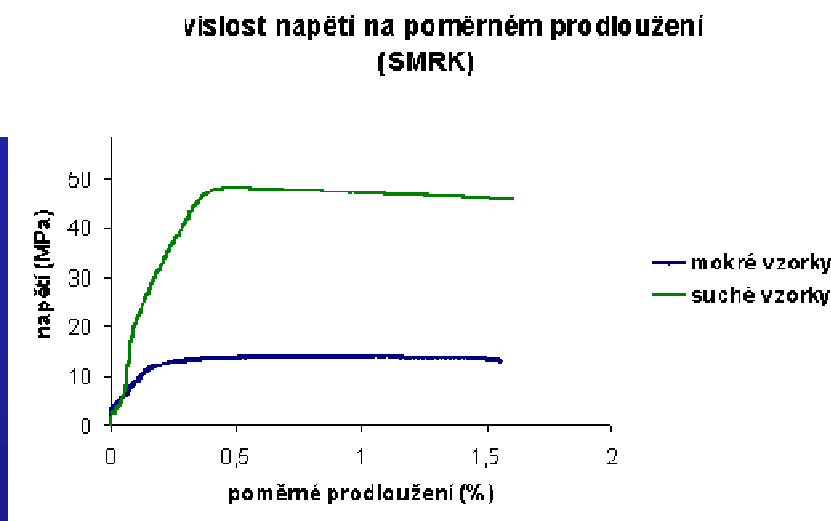
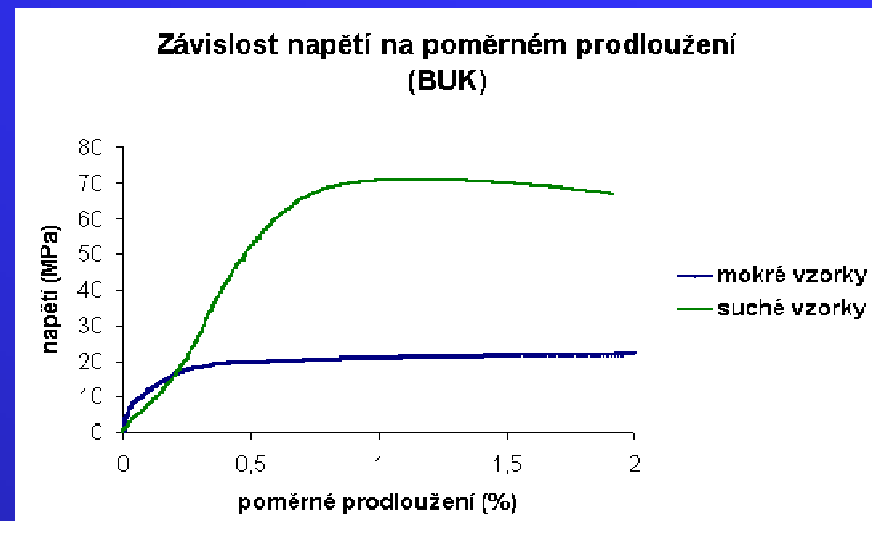
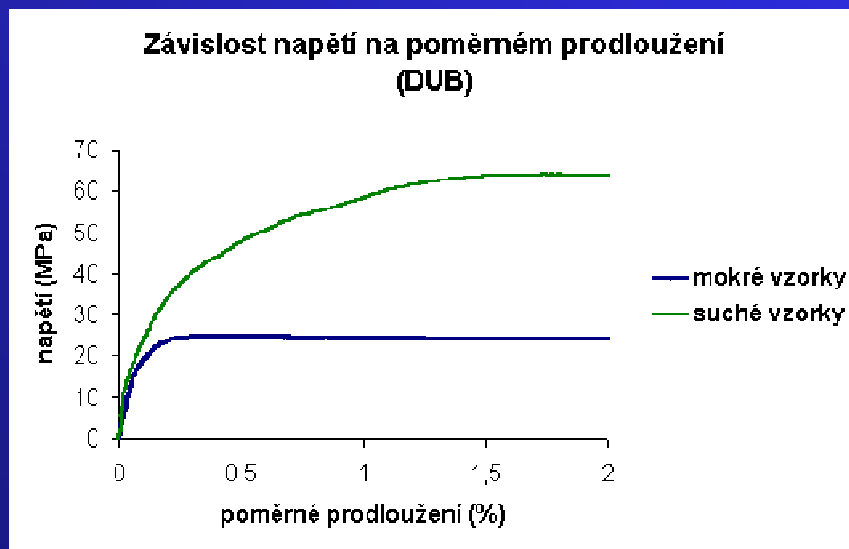
Přepočtový vztah vlivu teploty:

$$\sigma_{20} = \sigma_T \left[1 + \alpha_t (T - 20) \right] \quad \alpha_T = 0,001 [\% / 1\%]$$

Kombinace

- Společným působením uvedených faktorů dochází k zvýraznění jejich vlivu.
Principem fungování této kombinace je, že v teplotou narušeném a rozvolněném lignin sacharidovém komplexu mohou vznikat nové vazby, zprostředkované vodou.

Grafy sestavené z hodnot zjištěných při cvičeních



Vliv doby namáhání dřeva na mechanickou pevnost dřeva

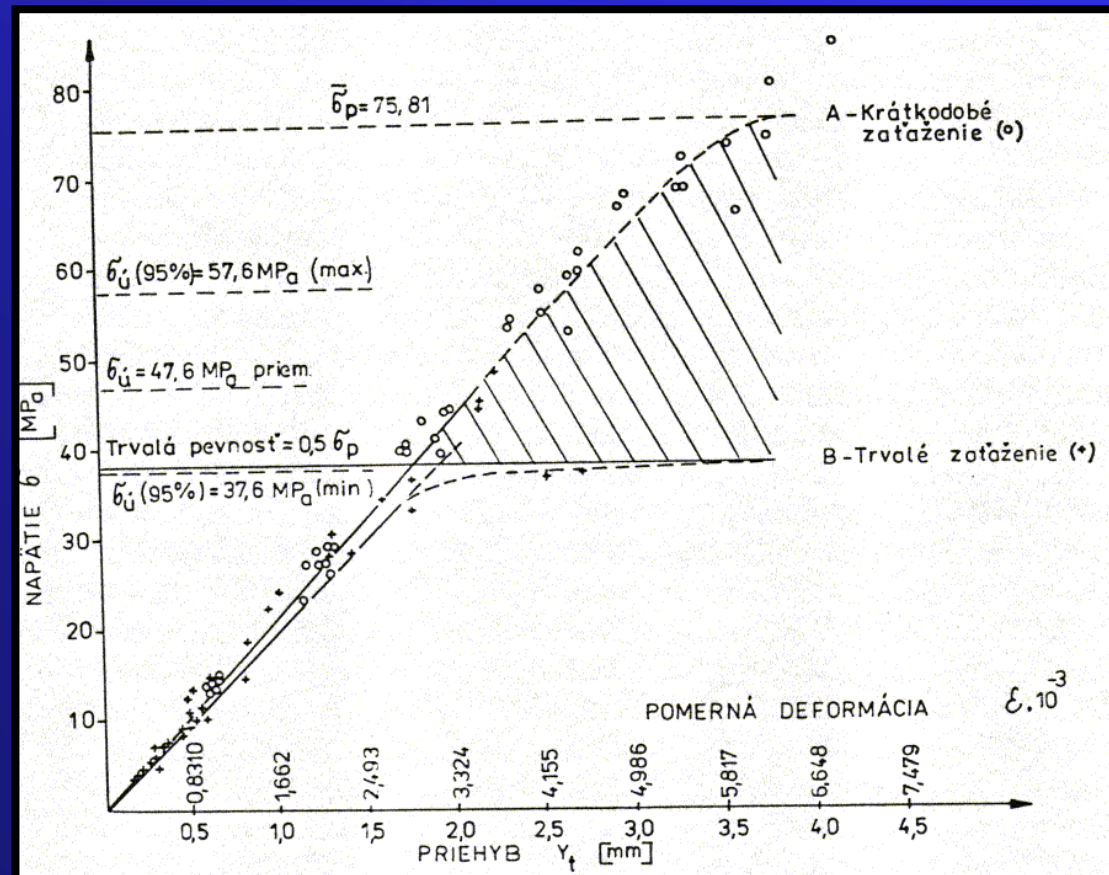
Dynamické namáhání – sekundy –
největší pevnost i tuhost.

Statické namáhání - minuty

Trvalé namáhání – dlouhodobé
namáhání (hodiny, dny, týdny, měsíce,
roky, ...) – *nejmenší pevnost i tuhost.*

Trvalá pevnost dřeva

Trvalá pevnost je napětí, které je dřevo schopno snášet trvale, tedy po jakoukoliv dobu.



Za mez trvalé pevnosti lze považovat hodnotu meze úměrnosti. Důvodem je předpoklad vzniku pouze elastických – dočasných deformací – před dosažením $\sigma_{\dot{u}}$.