



Fakulta lesnická
a dřevařská



Stabilita stromu

*(úvod do problematiky z pohledu
„lesníka – dřevaře – arboristy“)*

Přednáška (verze 10/2023)

doc. Ing. Vlastimil Borůvka, PhD., Dipl. Mgmt.



Co strom vlastně potřebuje?

- **Zajistit dostatek energie.**
- **Zajistit rozptyl semen.**
- **Omezit protivníky.**
- **Zajistit zásobení vodou a živinami.**

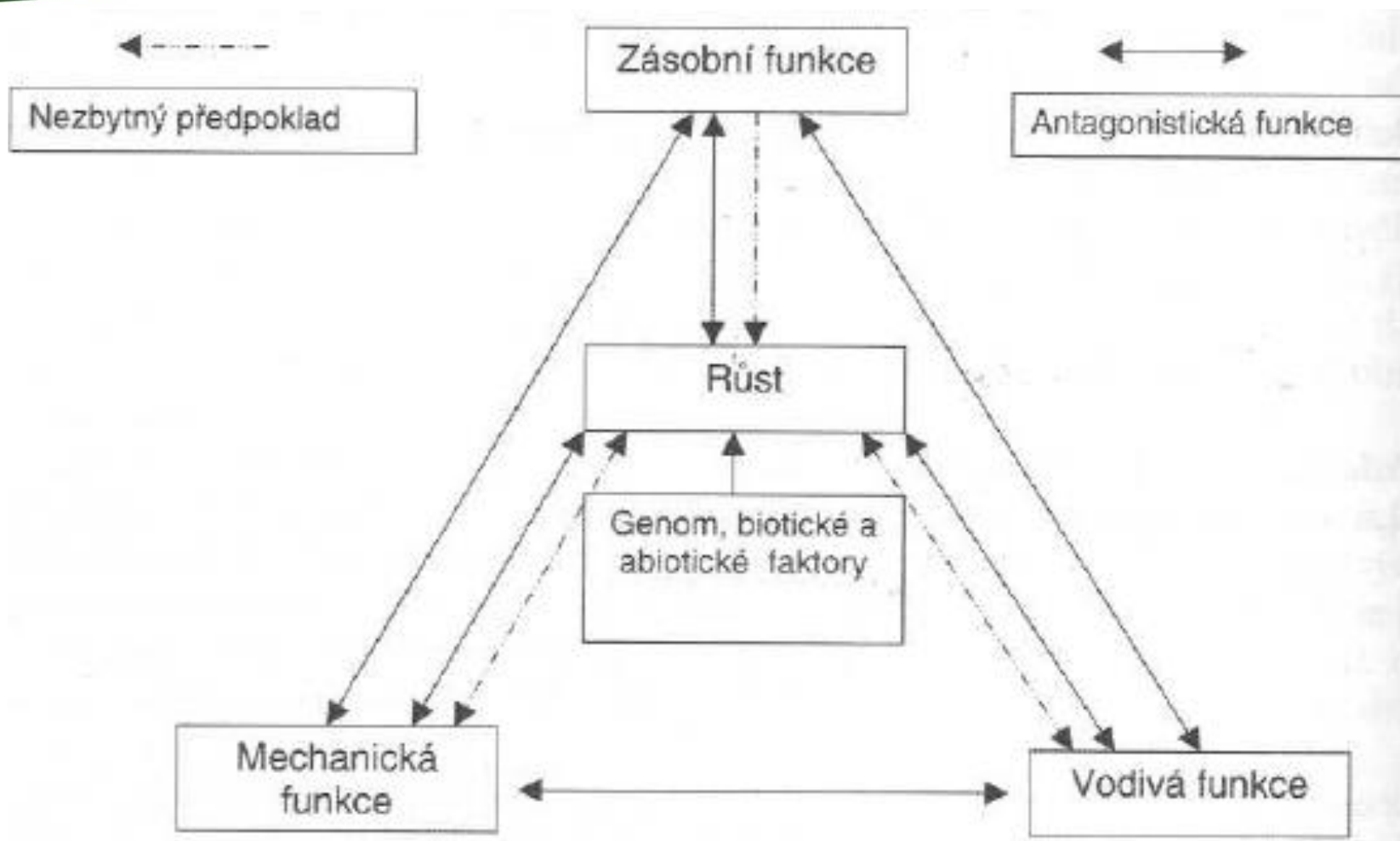
PODPORA × KOMPETICE × TRANSPORT
PŘEDIMENZOVÁNÍ

Jak je mechanická stabilita zapojena do systému „vnitřní kontroly“ stromu?

Můžeme to znázornit pomocí dvou základních schémat, které nám ozřejmí tyto vztahy. Jedná se o trojúhelník růstu stromu a trojúhelník stability stromu.

Trojúhelník růstu stromu popisuje funkce, které musí zajistit kmen a větve stromu, a které souvisí s mechanickou funkcí. Kmen a větve slouží k dálkovému transportu vody a v ní rozpuštěných látek z kořenů k listům a fotosyntátů od míst jejich vzniku ke kořenům (tento tok probíhá v lýku). Dále kmen a větve představují prostor pro uchování a uskladnění energetických zásob stromu. V neposlední řadě musí zajistit dostatečnou stabilitu stromu a umožnit zabránění dostatečného prostoru pro asimilační aparát a disperzi diaspor. Musí vynést asimilační aparát nad ostatní vegetaci.

Zajištění stability stromu je obtížné, a to vzhledem k velkým rozměrům (výška, velikost koruny) stromu a velkým silám, které na strom působí (vlastní hmotnost stromu, přídatné zátěže, ale především vítr).

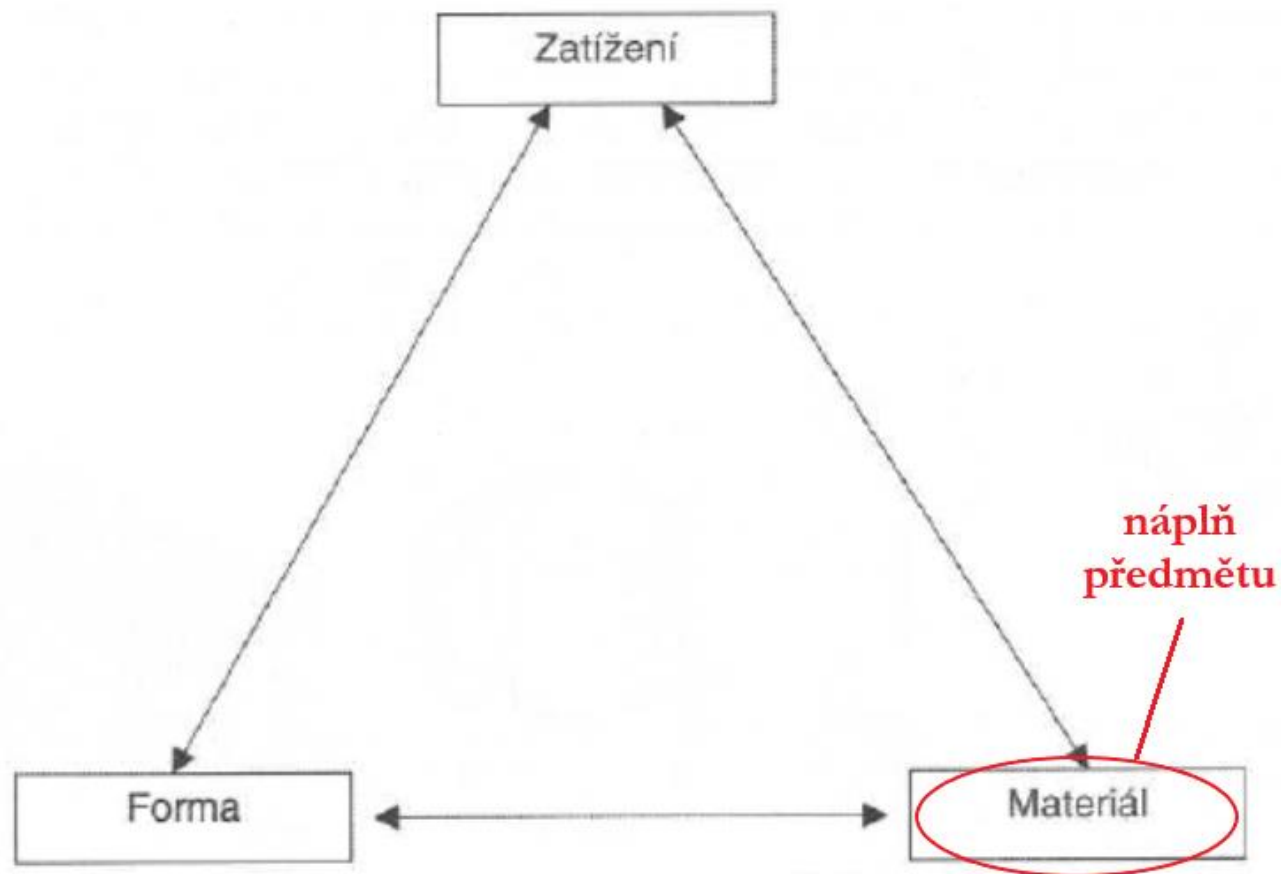


Trojúhelník propojení funkcí stromu.

Všechny tyto faktory jsou důvodem specifické struktury dřeva, která je schopná plnit všechny uvedené funkce. Výsledkem je vláknitý kompozit, struktura, která se opakuje na úrovni chemické, submikroskopické a mikroskopické. Pouze na úrovni makroskopické se jedná spíše o vrstevnatý materiál (střídání letokruhů a v nich vrstev jarního a letního dřeva).

Trojúhelník stability stromu znázorňuje vztahy mezi jednotlivými složkami stability stromu. Uvádí se, že tvar i materiálové vlastnosti jsou ve srovnání s proměnlivostí zatížení velmi málo proměnlivé.

Interpretovat tento trojúhelník lze následujícím způsobem. Na strom působí zatížení, hlavně větrem. Jeho velikost je závislá na velikosti stromu, jeho výšce, tvaru a rozměrech koruny, druhu, a na stanovišti a jeho podmínkách (typ proudění, rychlost proudění, atd.).



Trojúhelník stability stromu.

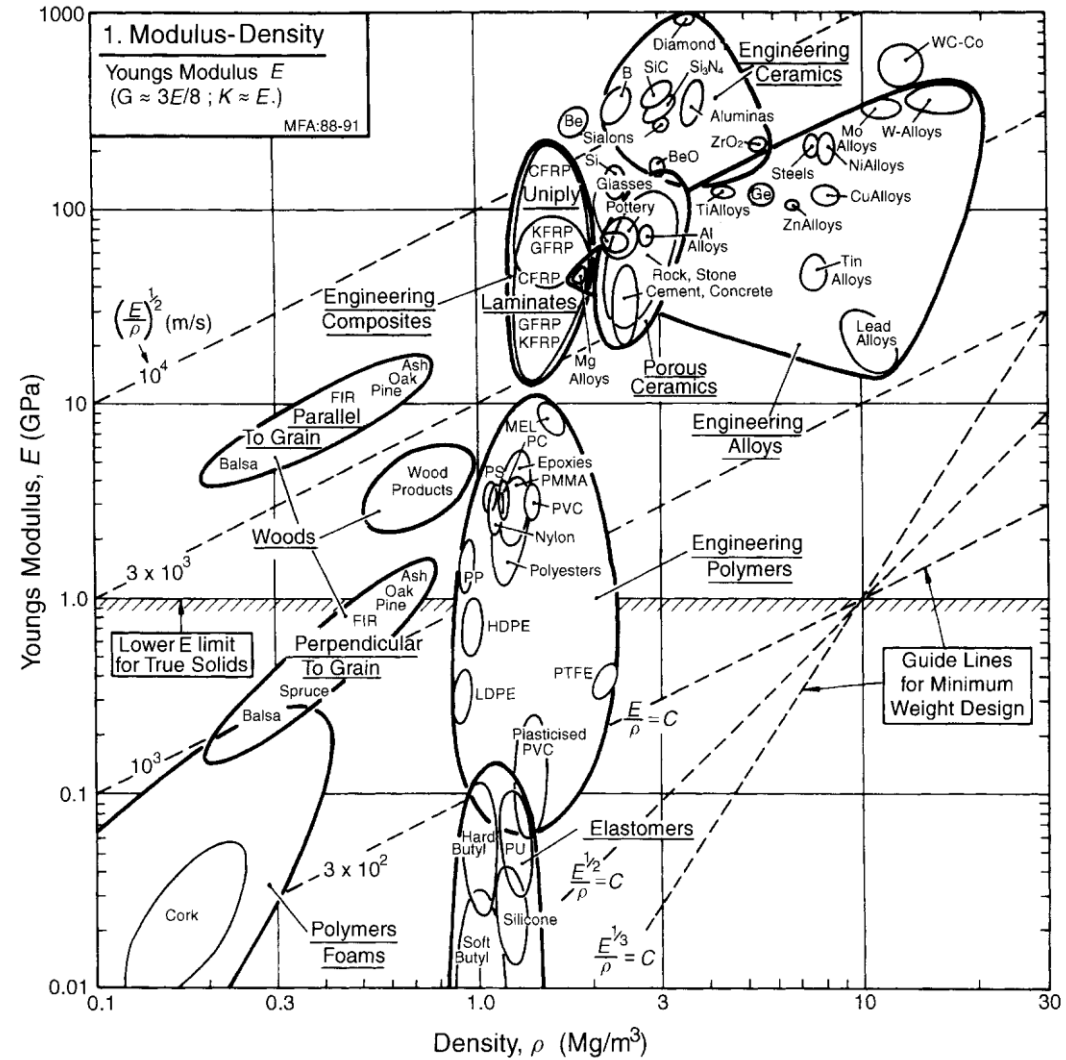
Zatížení působí na strom a vznikající síly musí být přeneseny z koruny větvemi na kmen a jím do kořenového systému, kde se rozptýlí. Pohybová energie přijatá z proudění vzduchu je spotřebovaná na deformaci a změnu polohy listí, větví a kmene a nakonec je inhibovaná rozptýlením v prostoru kořenového systému, přetvořením na teplo třením mezi kořeny a půdními částicemi.

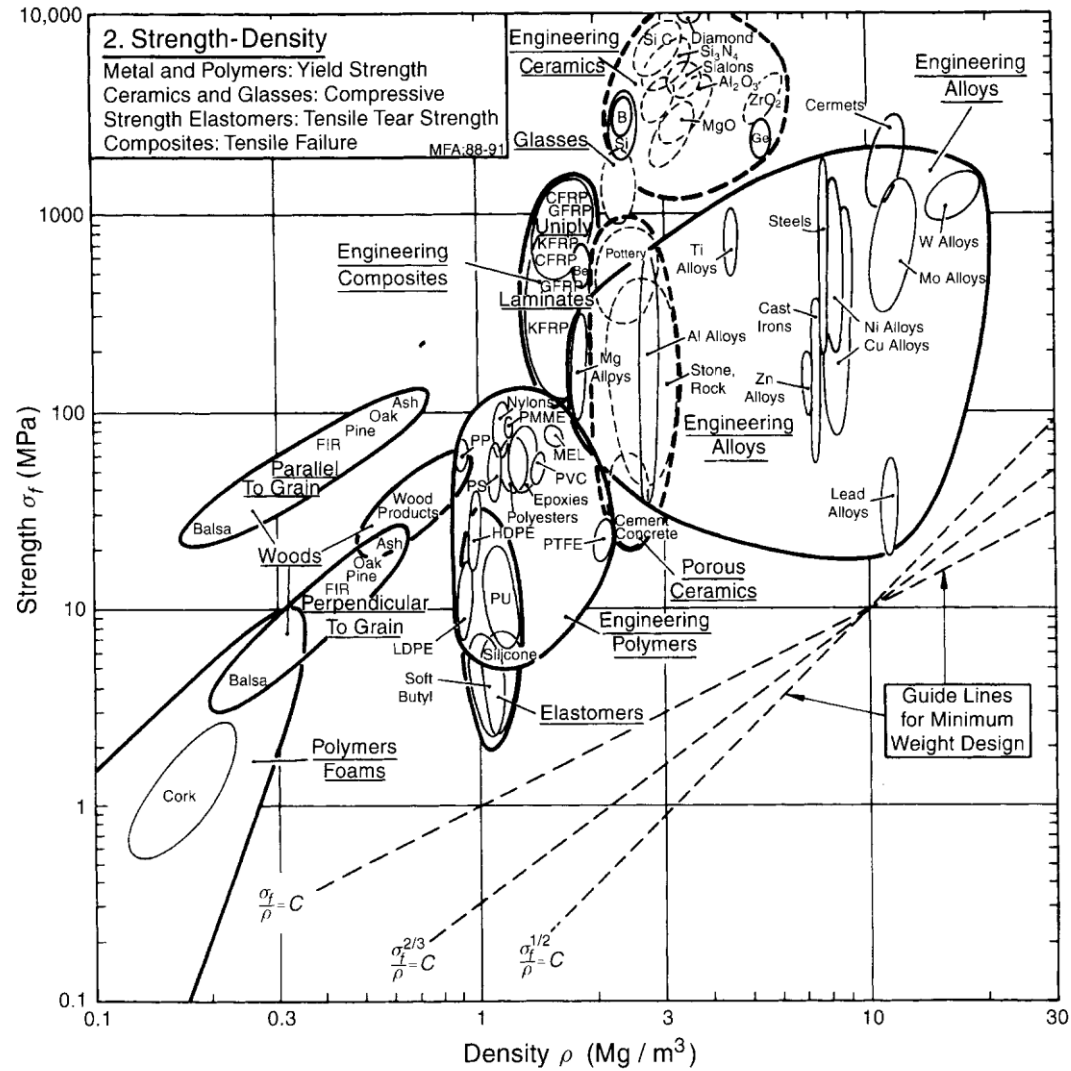
Síly vzniklé v koruně způsobují vznik napětí (tlakové, tahové i smykové), pro jehož přenos je zapotřebí dostatečná nosnost kmene a větví. Ta je dána dostatečně pevným materiálem a dostatečně dimenzovaným kmenem a větvemi. Pokud jsou splněny tyto podmínky, tak strom dané zatížení vydrží. Pakliže ne, dojde k selhání a zlomení či vyvrácení stromu.

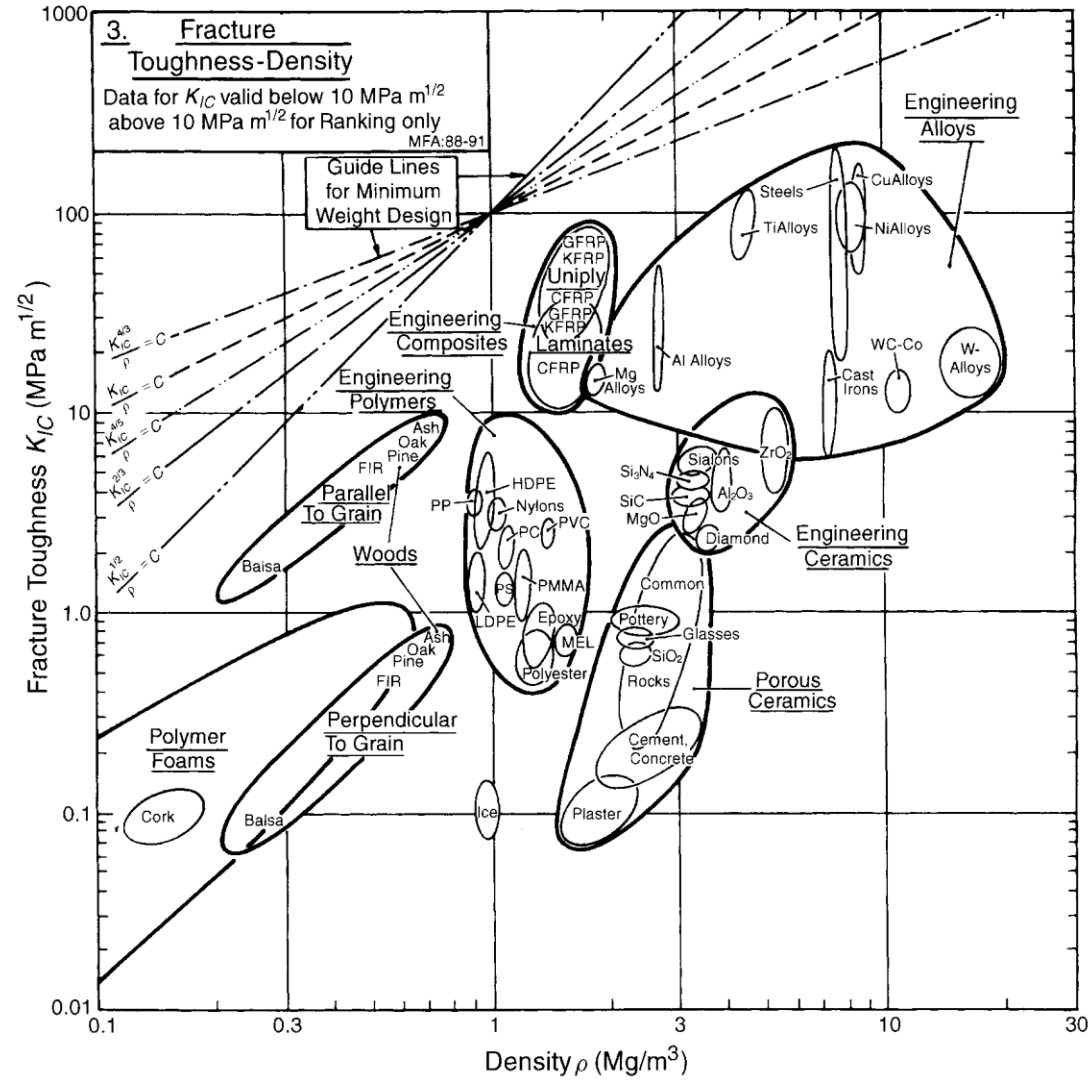
Výsledná reakce stromu na zatížení bude významně ovlivněna strukturou dřeva, z níž vyplývá jeho vláknitý charakter a směrovost vlastností. Bude ovlivněna jeho specifickou reakcí na různé způsoby zatěžování, anizotropií vlastností, ...

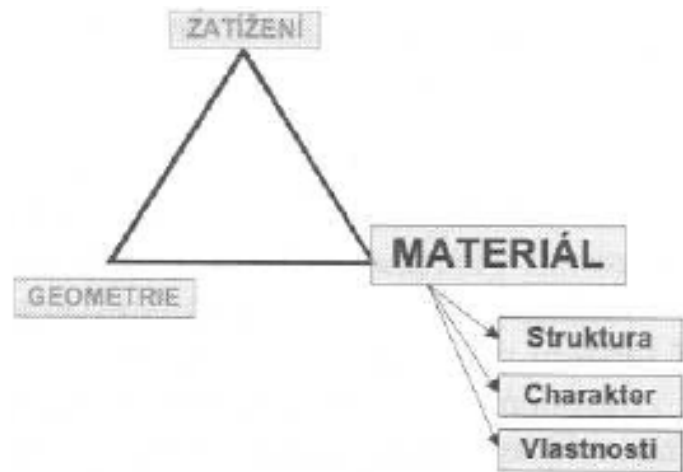
Dřevo není jednoduché!

- Dřevo je vláknitý bio-kompozit.
- Dřevo je kompromis.
- Dřevo je optimalizovaný materiál pro strom.
- Vlastnosti dřeva závisí na lokální souřadné soustavě.
- Dřevo je hierarchická struktura, bohužel velmi komplikovaná.

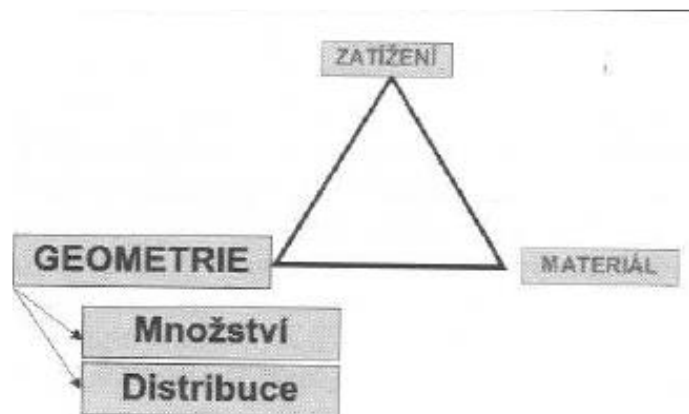








Materiál v trojúhelníku statiky.

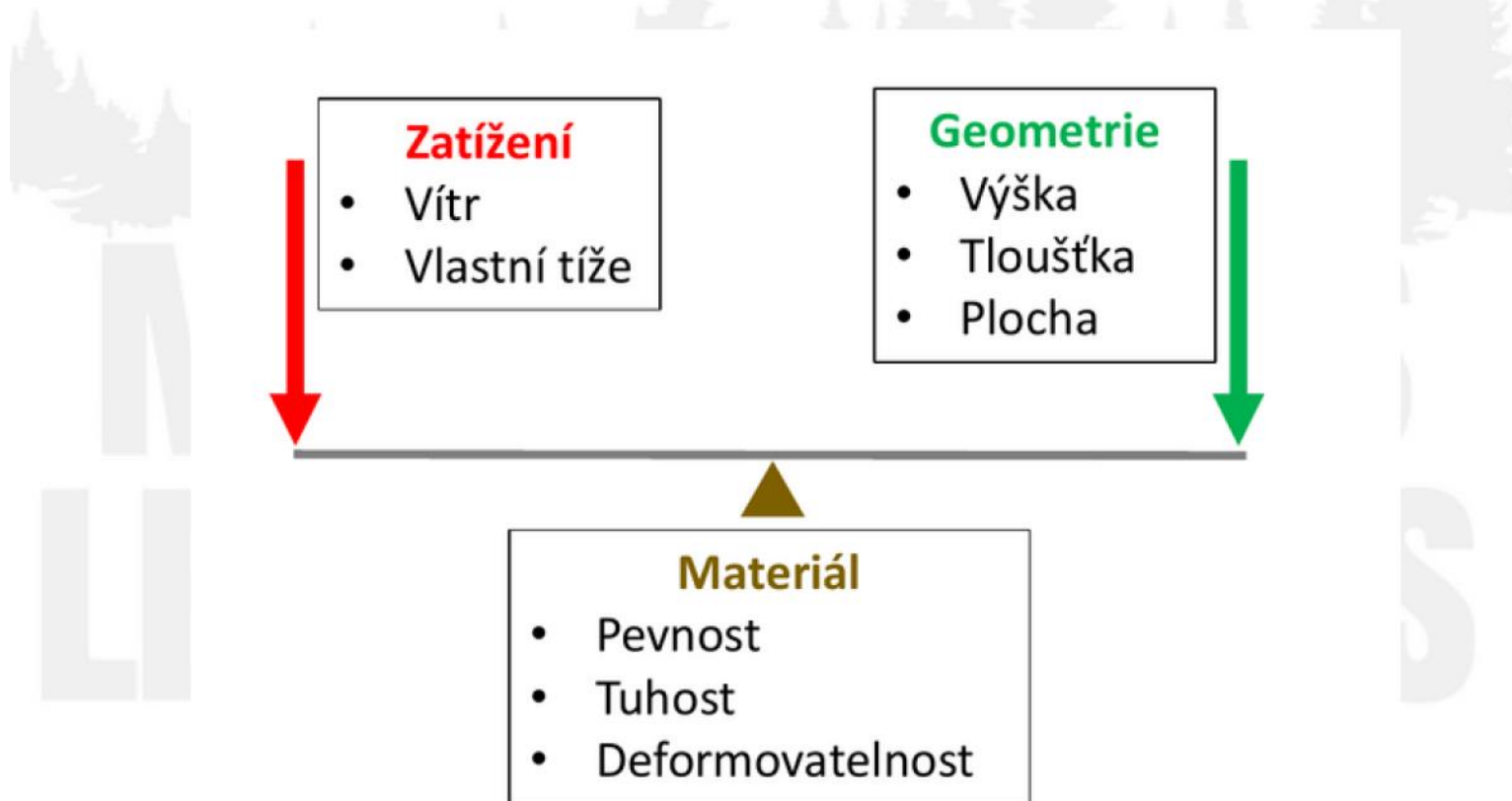


Geometrie v trojúhelníku statiky.

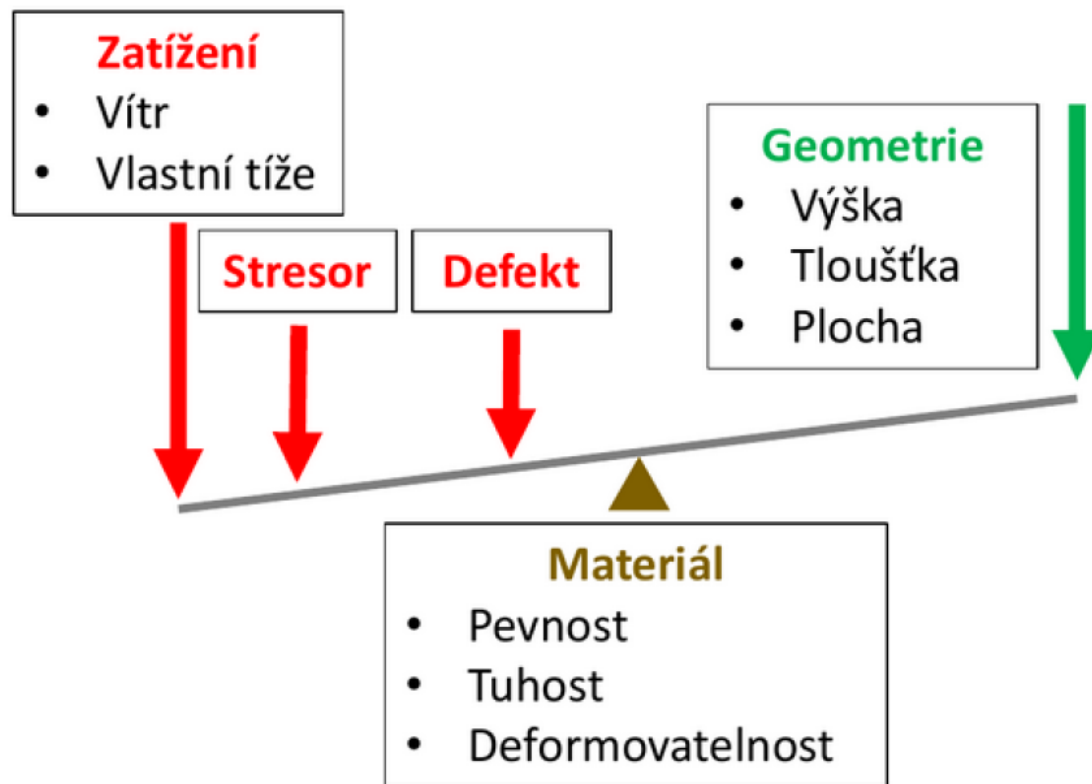


Zatížení v trojúhelníku statiky.

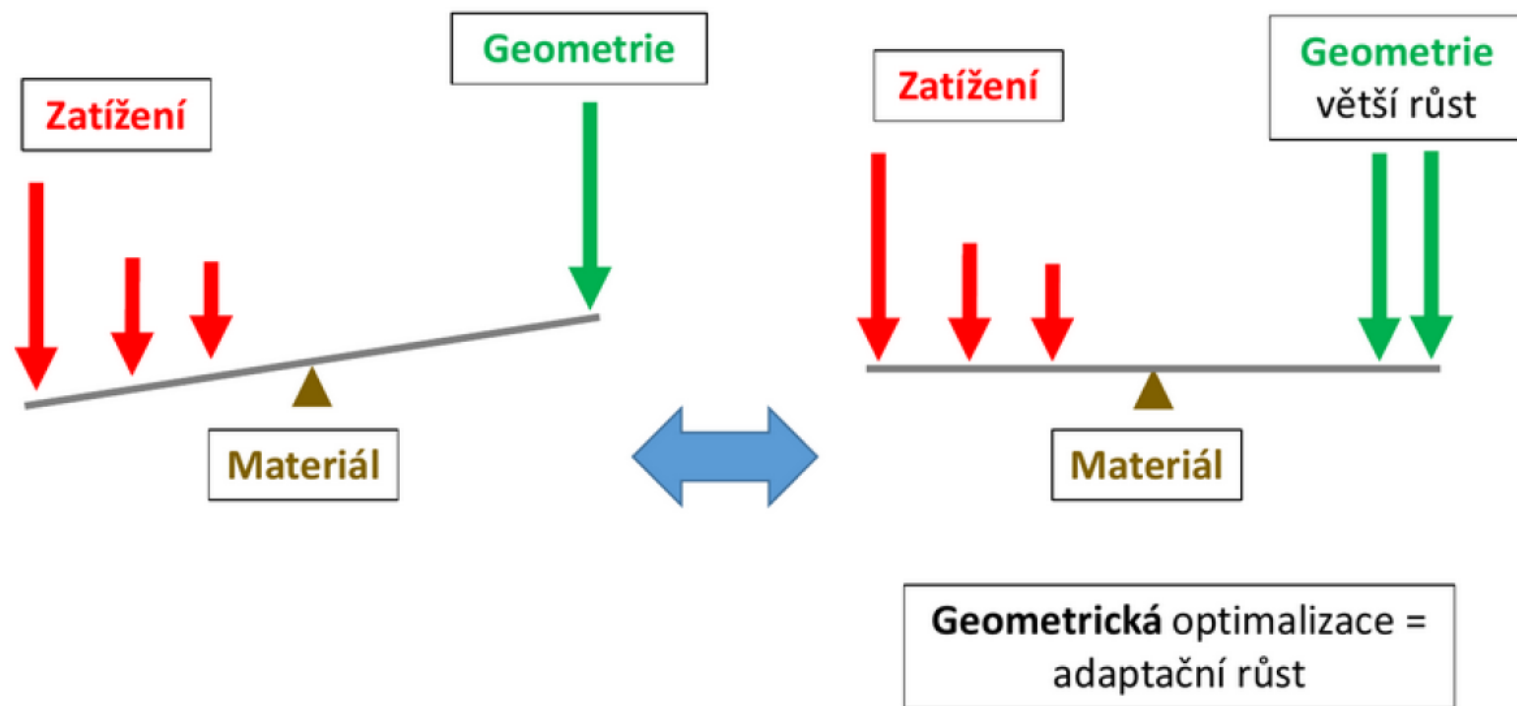
Stabilita stromu



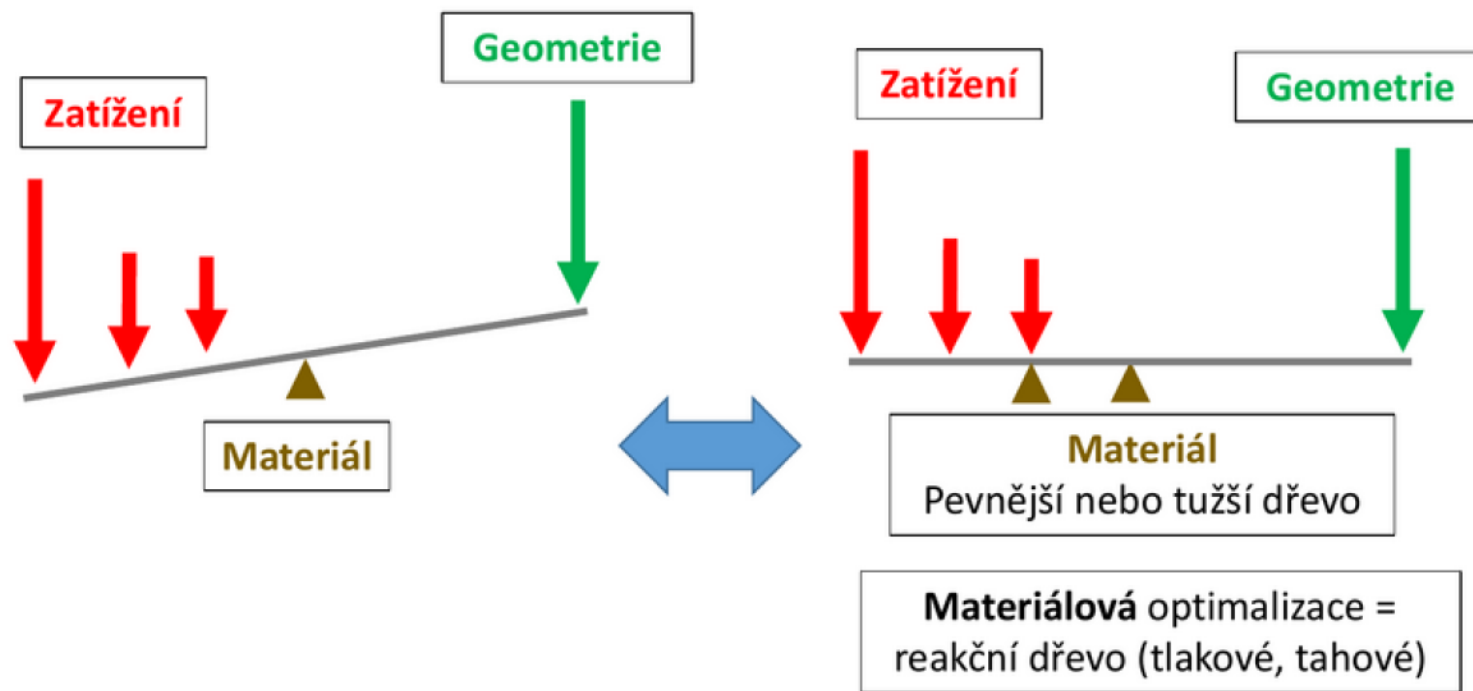
Stabilita stromu



Stabilita stromu



Stabilita stromu









Biomechanika stromu

Strom si z pohledu mechaniky můžeme popsat jako jednostranně vetknutý neprismatický nosník, zatížený nerovnoměrným spojitým zatížením. Tento nosník – sloup, je ukotven v zemi pomocí kořenového systému. Uložení není v reálu úplně tuhé, což znamená, že by neumožňovalo deformování, posunutí, ale lze je přirovnat k uložení na pružině nebo čepu. Toto uložení umožňuje určitý reponibilní náklon, tedy chování podobné elastickému chování materiálu.

Na strom tedy působí určité síly, jejichž zdrojem je vítr, vlastní hmotnost, voda, sníh a námraza. Tyto síly, respektive napětí, které jejich působením vzniká, můžeme rozdělit podle:

- I. druhu namáhání, a to na tlakové, tahové, smykové (jednoduché způsoby namáhání), ohyb, krut a vzpěr (kombinované způsoby namáhání),
- II. délky působení na dlouhodobé (trvalé) zatížení (zatížení vlastní hmotností, vlivem náklonu, sněhem a ledem), statické (trvá několik minut) a dynamické namáhání (je kratší než minuta – vítr, kmitání vlivem větru).

Napětí vznikající ve kmeni

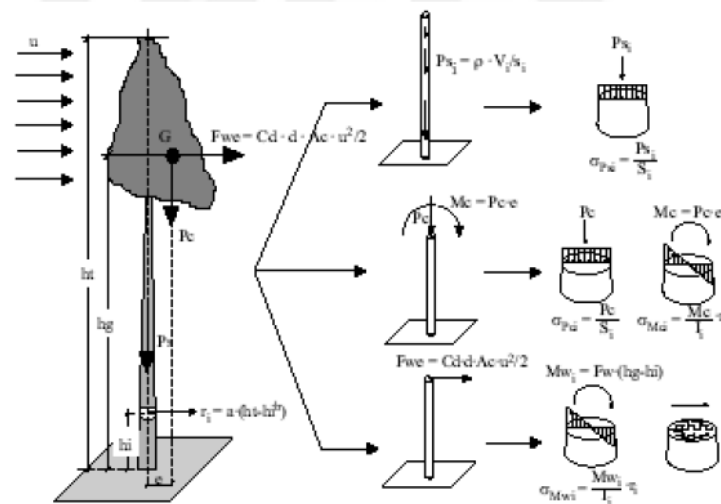
Ohyb
$$\sigma_{\max}^o = \frac{Mr}{I} = \frac{M}{W};$$

$$M = F \cdot L; \quad F = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot A \cdot v^2$$

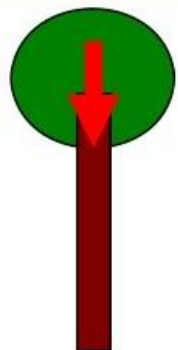
Krut
$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} = \frac{T}{W_T}$$

Vzpěr
$$\rho_{\max} = \frac{\pi^2 EI}{4l^2}$$

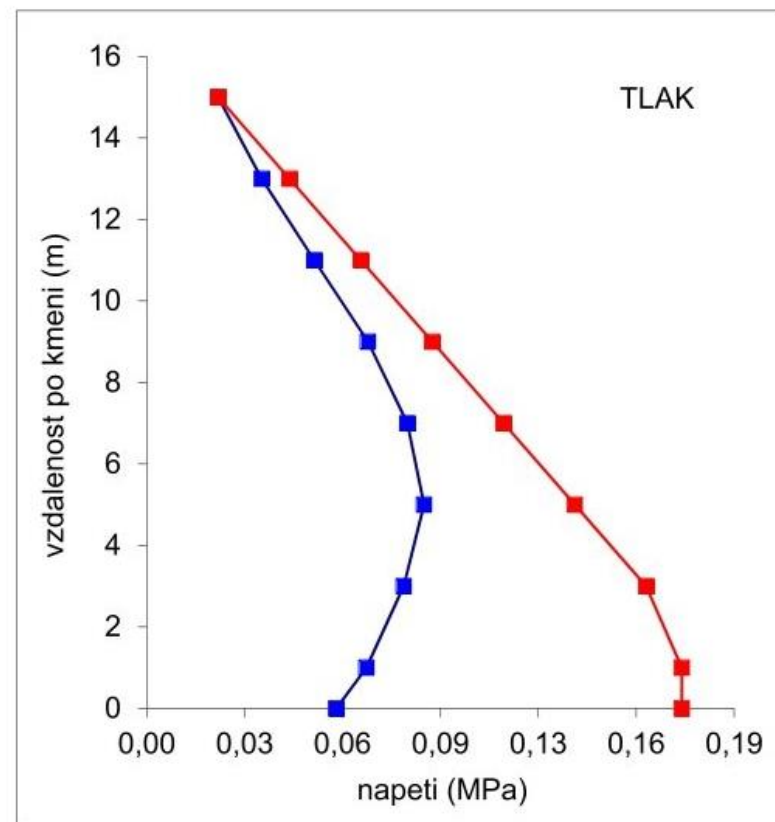
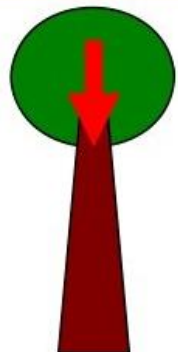
Tlak/tah
$$\sigma_{\max}^t = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi r^2}$$

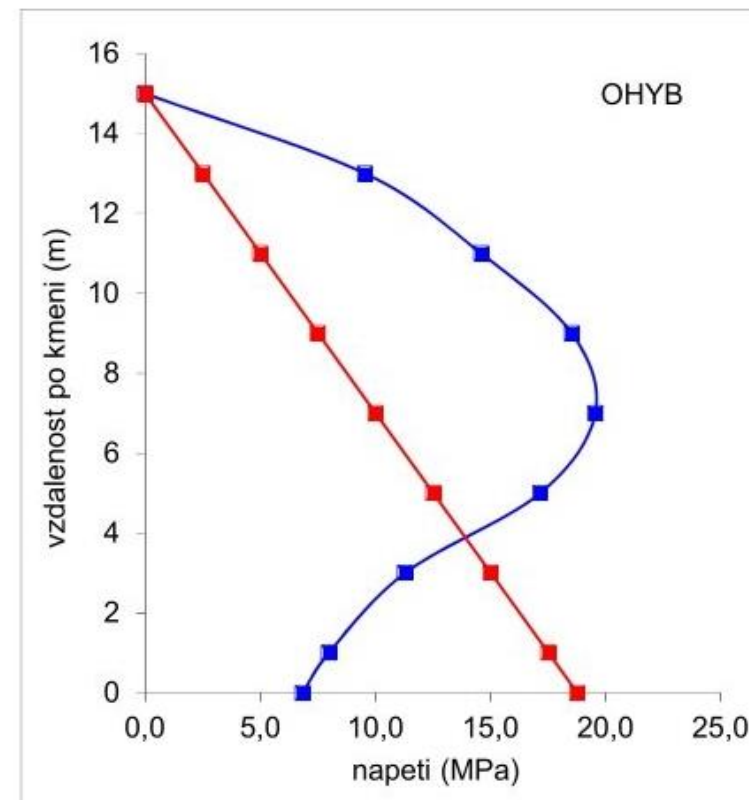


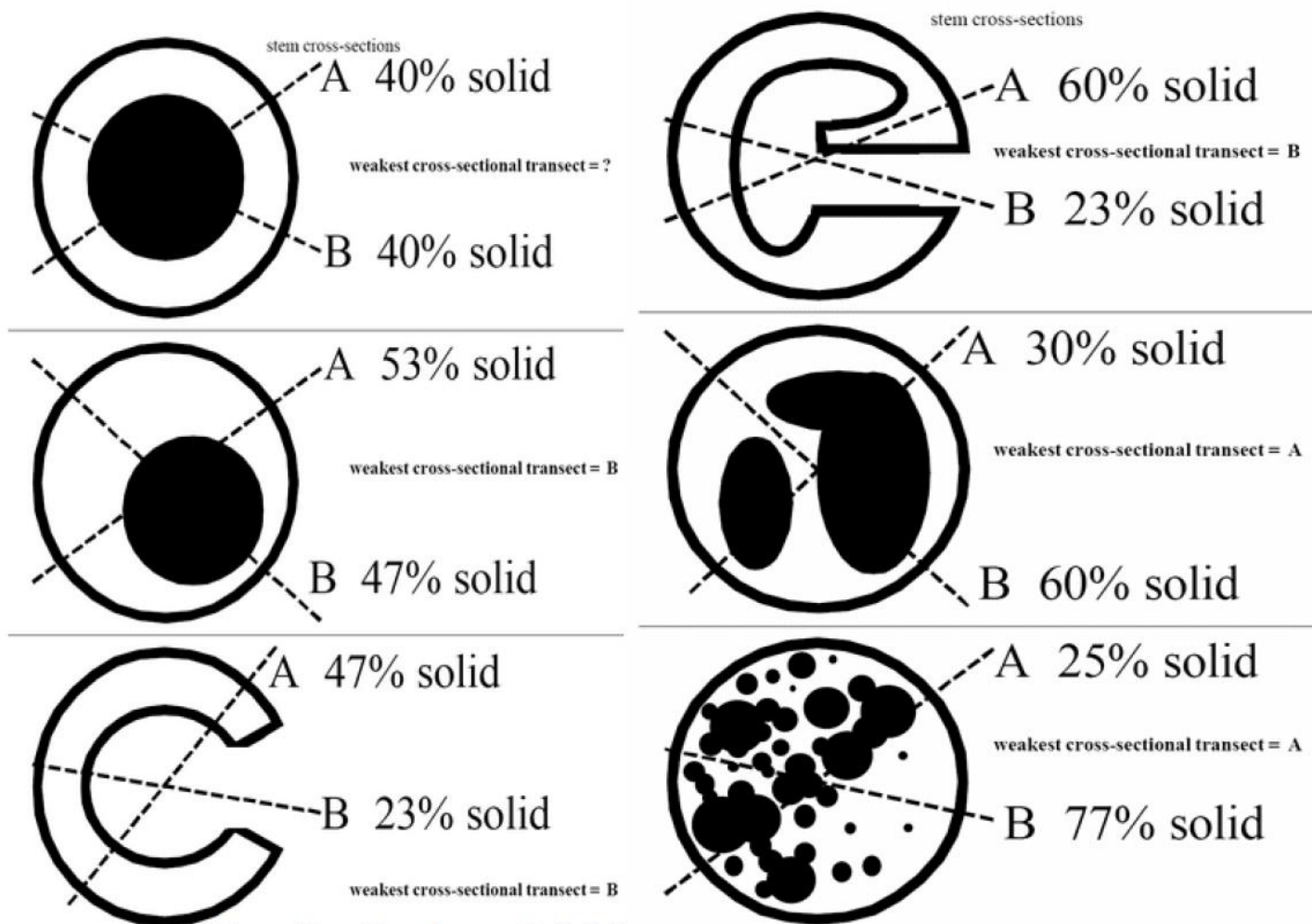
| hustota (kg.m-3) | teziste (m) h (m) | d (m) | F (N) | A (m2) | σ (Pa) | σ (MPa) |
|------------------|-------------------|-------|-------|---------|---------------|----------------|
| 900 | 15 | 15 | 4507 | 0,19635 | 22955 | 0,02 |
| | | 13 | 9015 | 0,19635 | 45911 | 0,05 |
| | | 11 | 13522 | 0,19635 | 68866 | 0,07 |
| | | 9 | 18029 | 0,19635 | 91822 | 0,09 |
| | | 7 | 22536 | 0,19635 | 114777 | 0,11 |
| | | 5 | 27044 | 0,19635 | 137732 | 0,14 |
| | | 3 | 31551 | 0,19635 | 160688 | 0,16 |
| | | 1 | 33805 | 0,19635 | 172166 | 0,17 |
| | | 0 | 33805 | 0,19635 | 172166 | 0,17 |



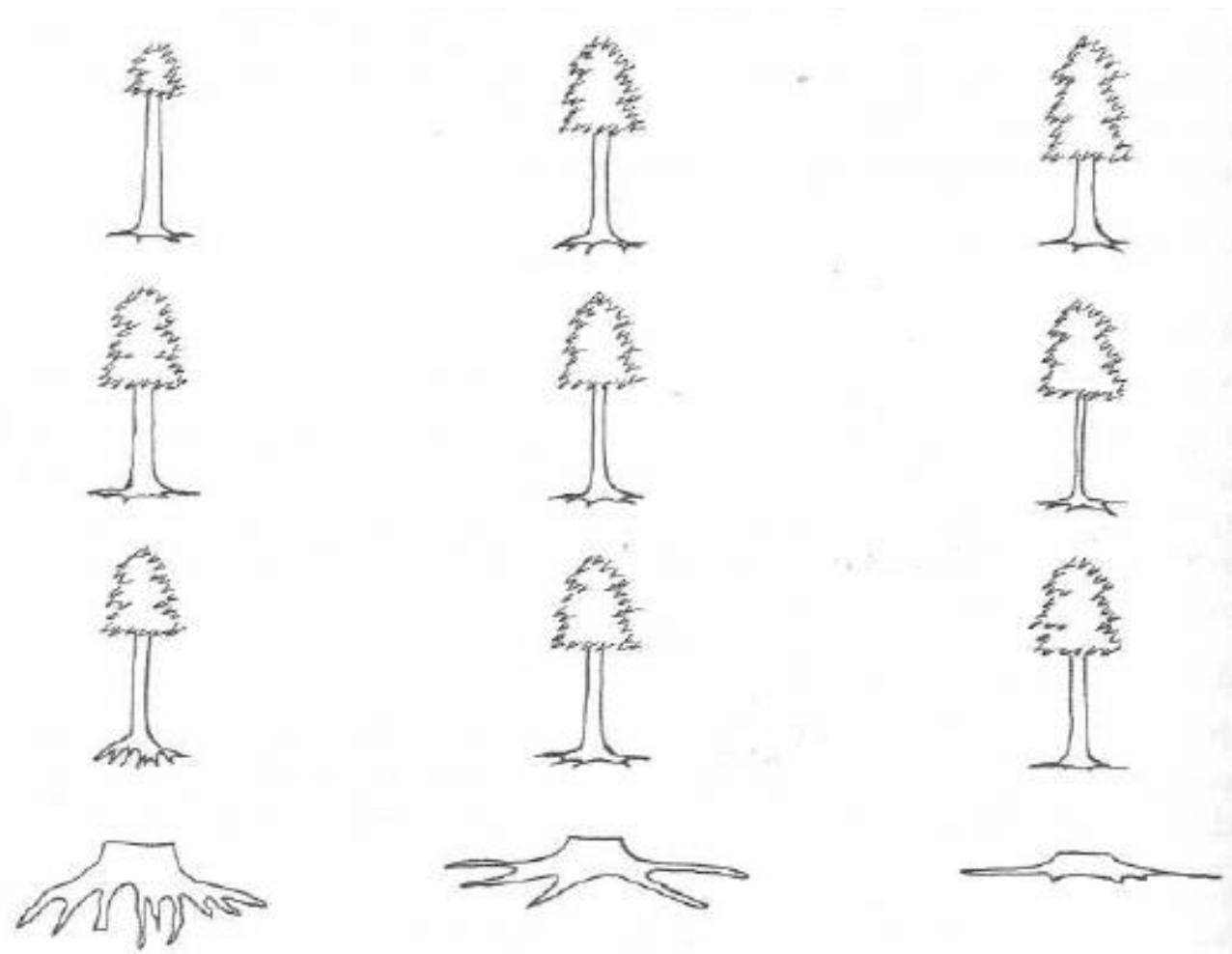
| hustota (kg.m-3) | teziste (m) h (m) | d (m) | F (N) | A (m2) | σ (Pa) | σ (MPa) |
|------------------|-------------------|-------|-------|----------|---------------|----------------|
| 900 | 15 | 15 | 1127 | 0,049087 | 22955 | 0,02 |
| | | 13 | 2973 | 0,080425 | 36966 | 0,04 |
| | | 11 | 5182 | 0,096211 | 53856 | 0,05 |
| | | 9 | 7650 | 0,107521 | 71147 | 0,07 |
| | | 7 | 10534 | 0,125664 | 83830 | 0,08 |
| | | 5 | 14185 | 0,159043 | 89192 | 0,09 |
| | | 3 | 19639 | 0,237583 | 82662 | 0,08 |
| | | 1 | 23448 | 0,331831 | 70662 | 0,07 |
| | | 0 | 23448 | 0,384845 | 60928 | 0,06 |



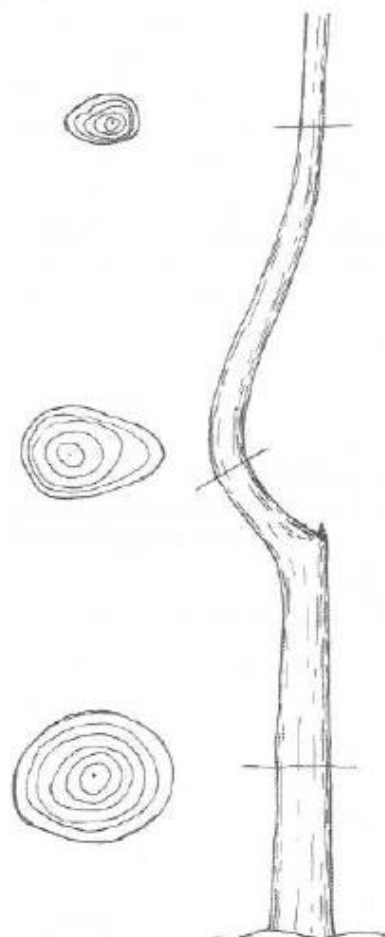




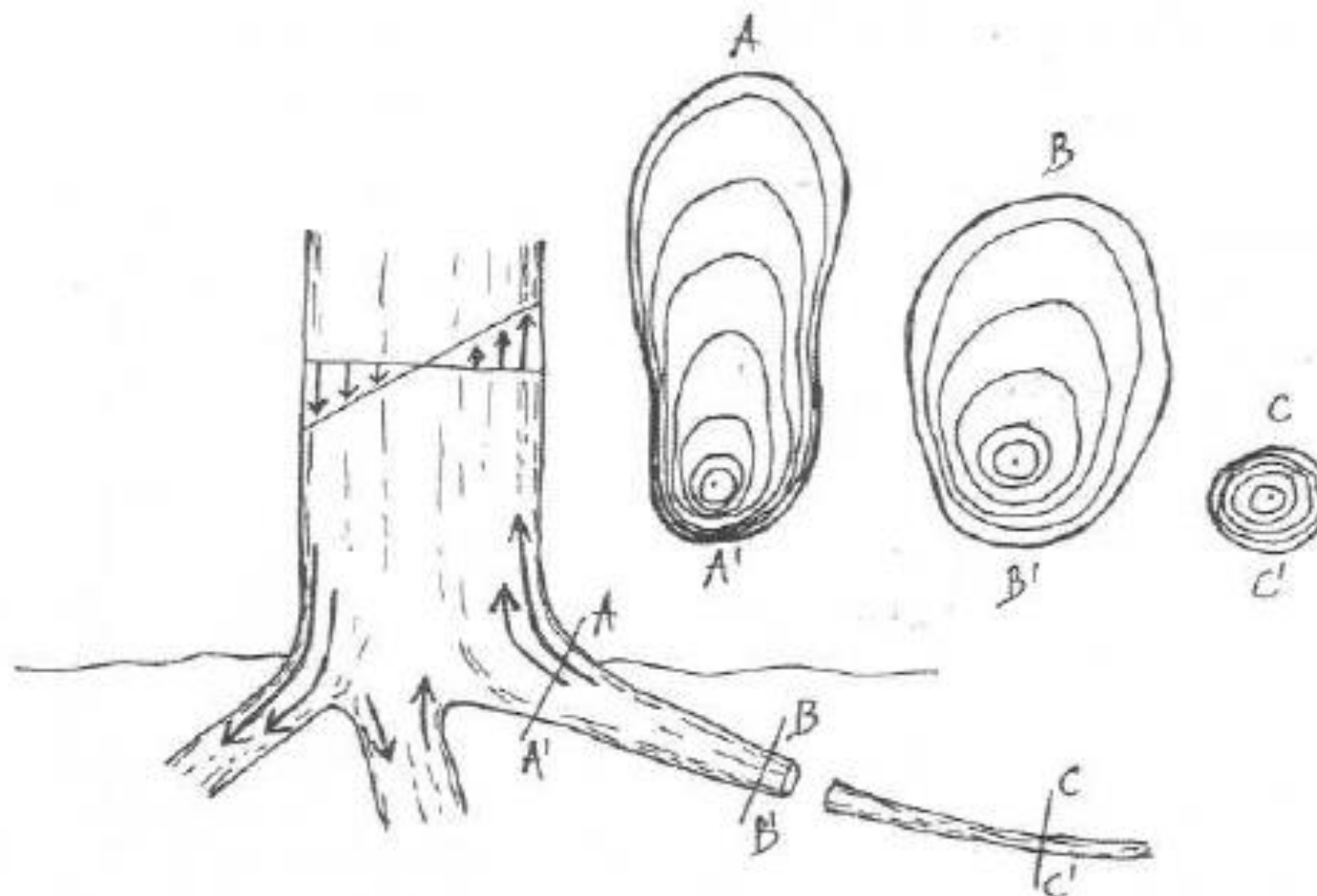
Dr. Kim D. Coder, 2000



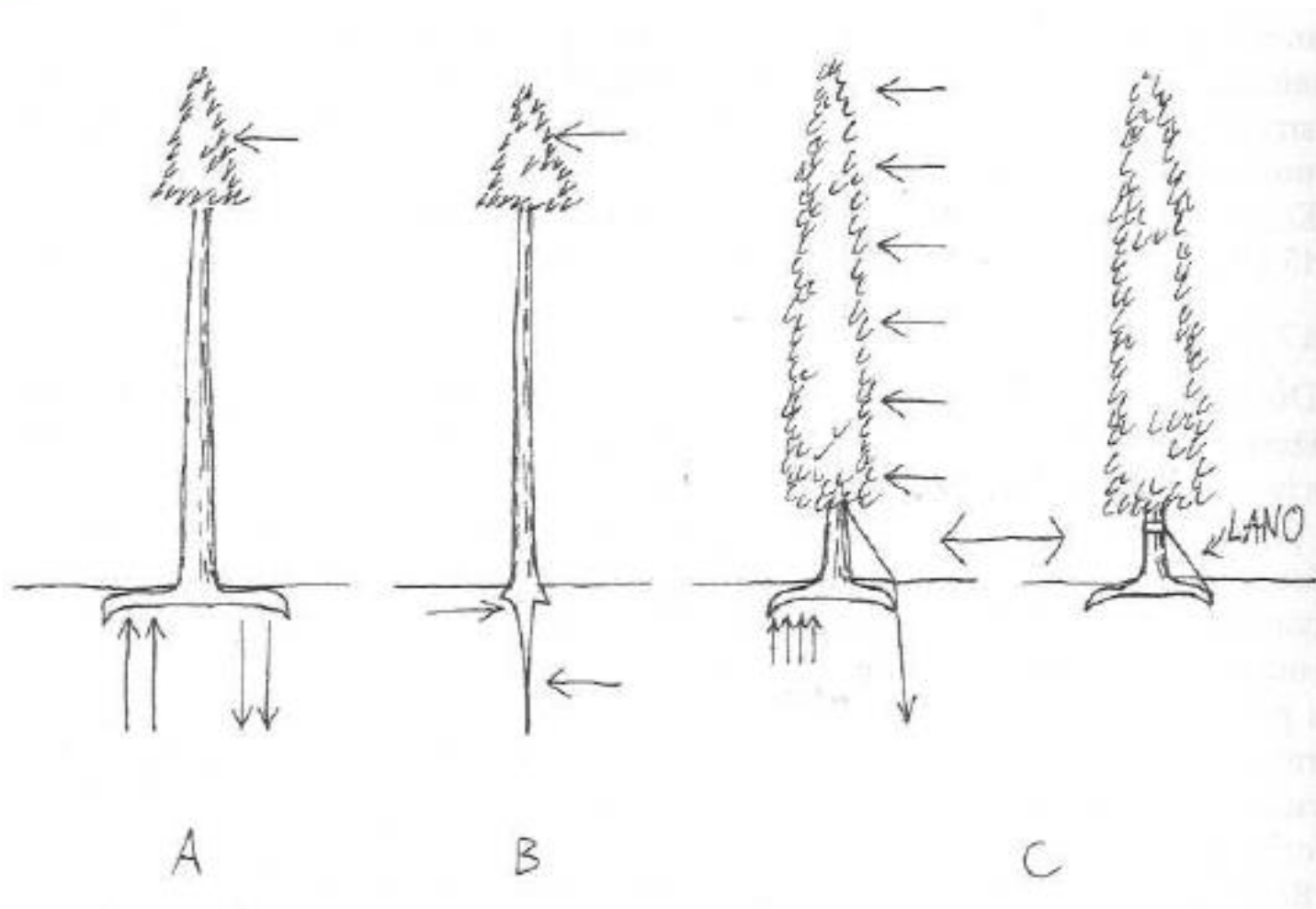
Schematické znázornění tvarových typů korun a kořenového systému stromů.



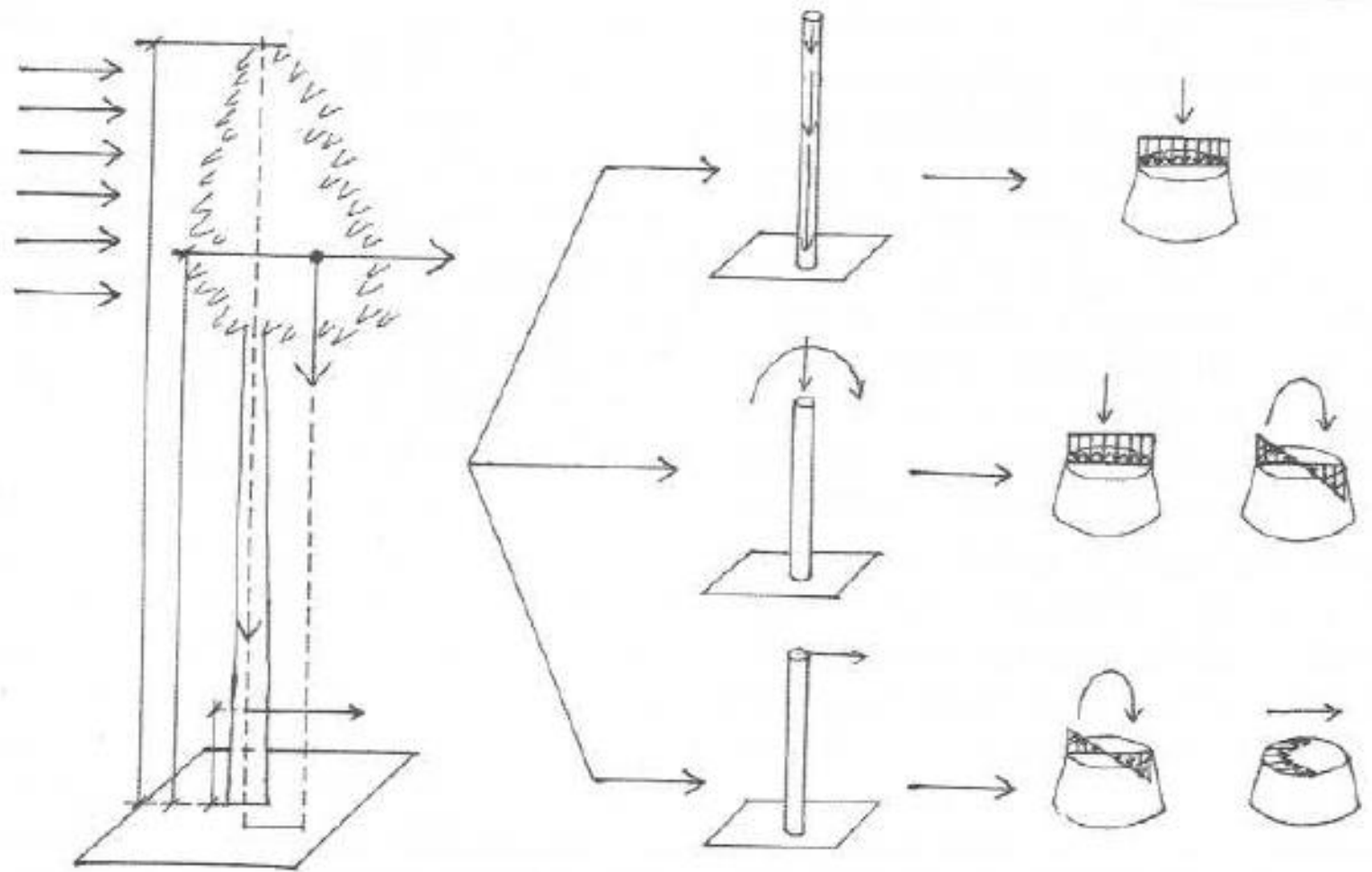
**Modifikace geometrie kmene
v různých částech stromu.**



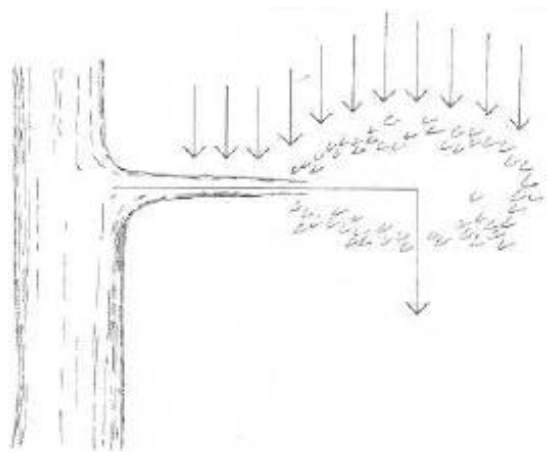
Modifikace geometrie nosných částí kořenového systému.



Znázornění vlivu tvary koruny a kořenového systému na přenos sil.

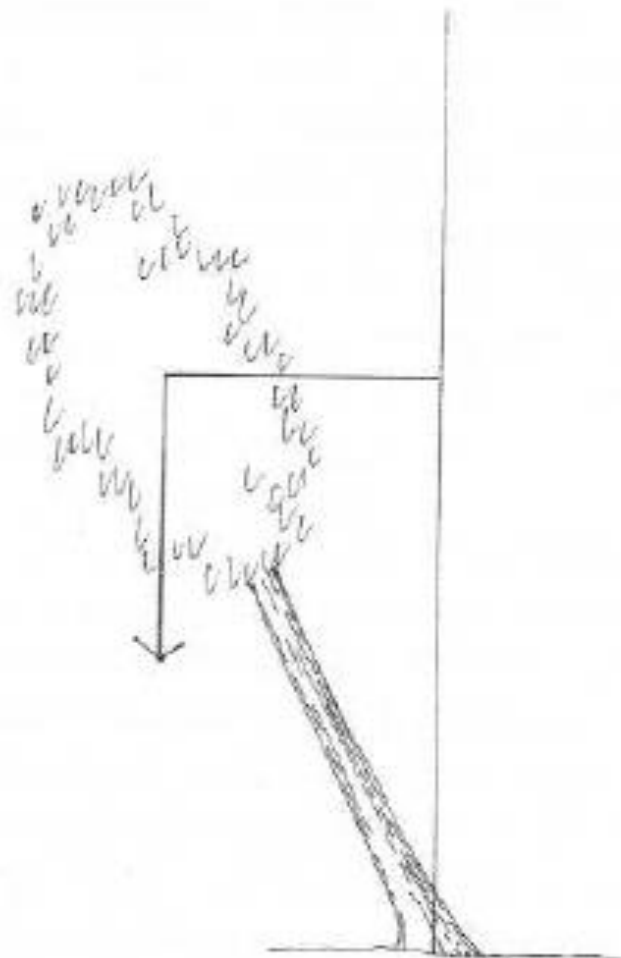


Schematické znázornění různých typů zátěže působící na stromy.

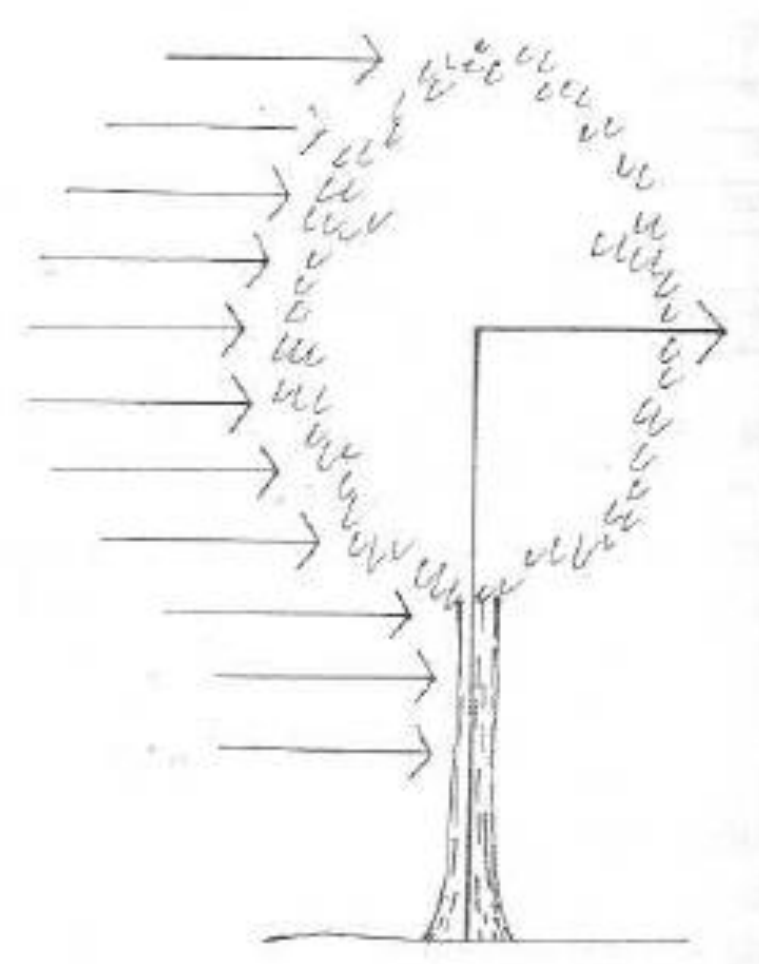


**Ohybový moment
u větve.**

Kolařík a kol. 2010



Ohyb vlivem náklonu.



**Ohybový moment působící
na stromě vlivem větru.**

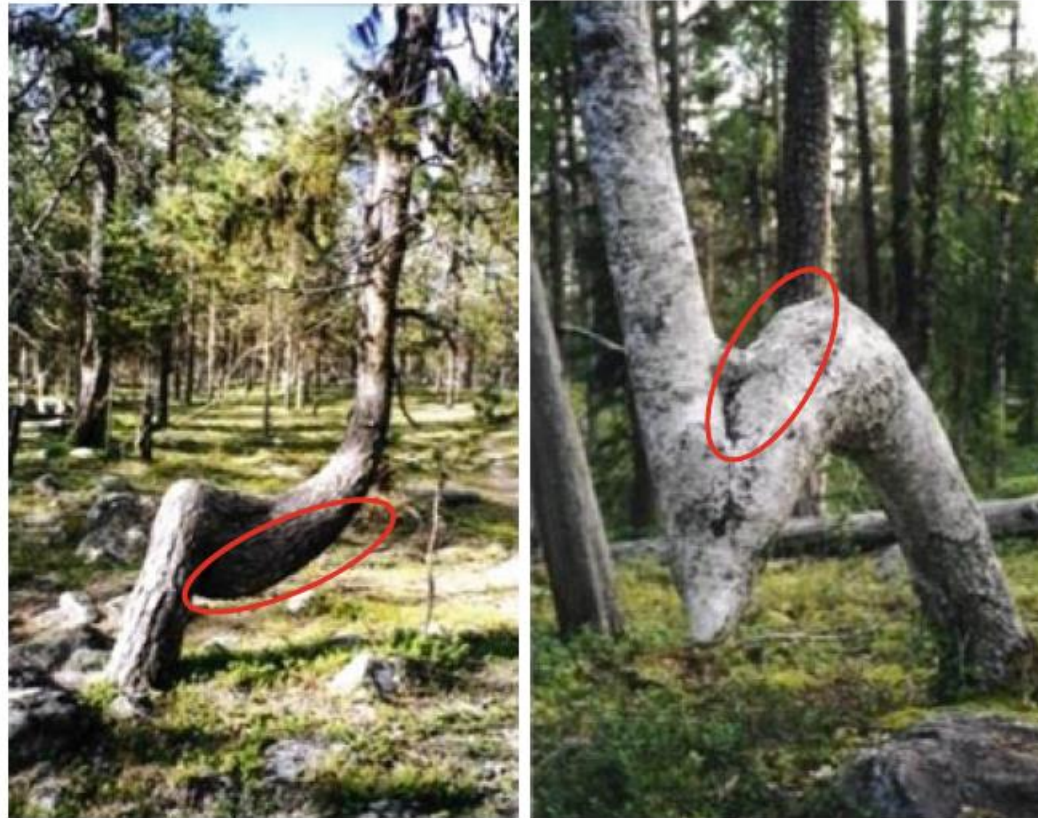
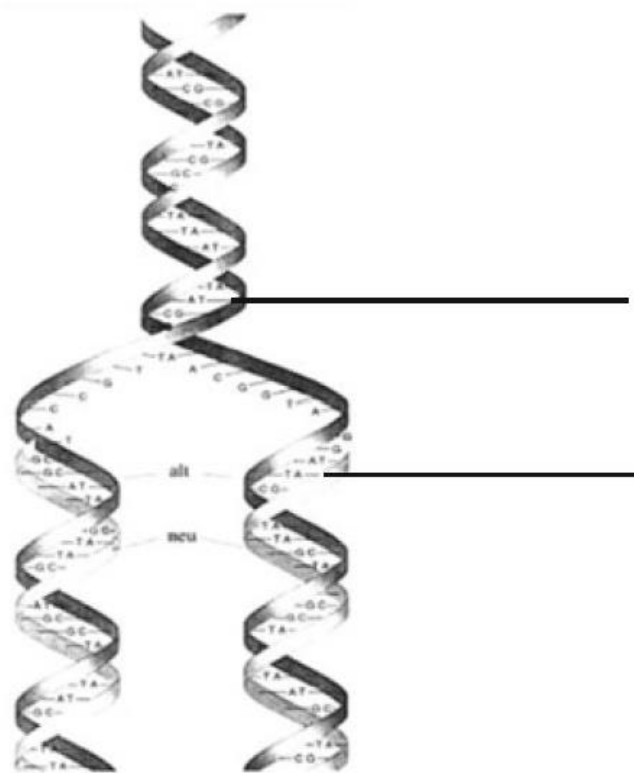


Fig. 3.47 Pine (*Pinus*) (left) and birch (*Betula*) (right) crowns broken by snow pressure. The stems stabilized by forming compression wood and extreme cross-sectional changes in the pine (*Pinus*) and tension wood in the birch (*Betula*) (Finnmark, Finland) (Richter 2003b)

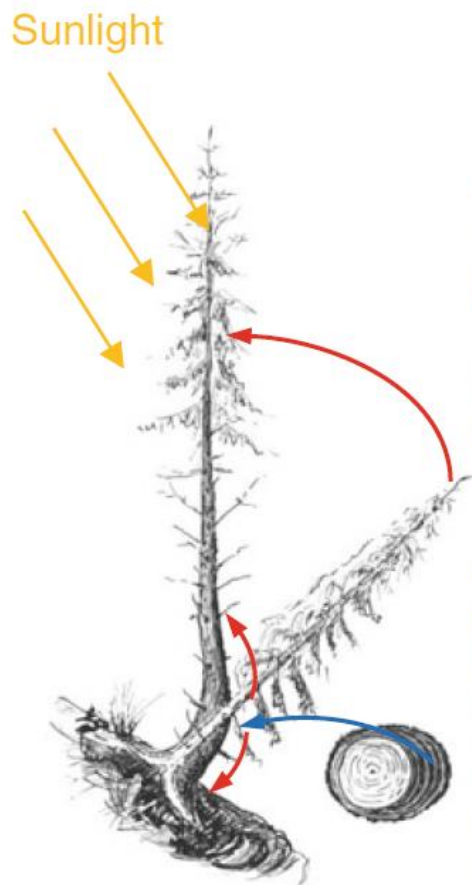


A tree's hereditary information is fixed in its genes, deoxyribonucleic acid molecules (DNA). During replication, the double helix typically divides into two new, identical strands.

Errors occurring in DNA replication can lead to modified growth. If these errors continue on to the offspring, it is called a mutation.

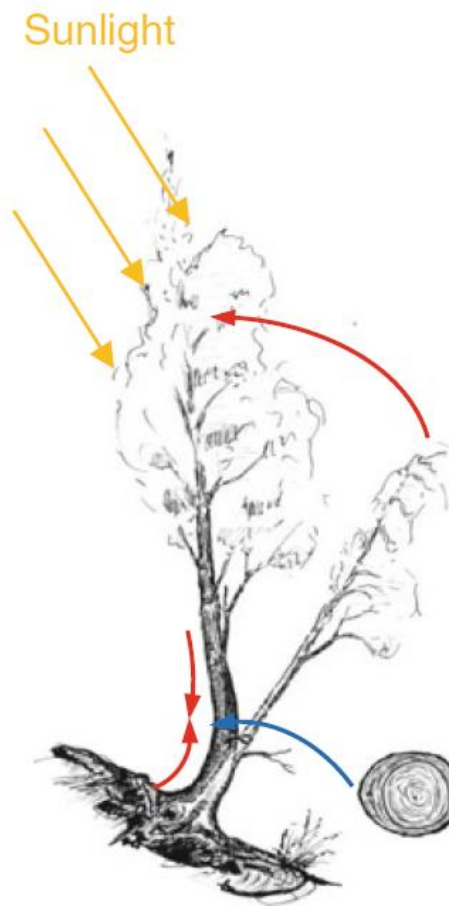
Fig. 3.1 DNA replication (a section of a DNA double helix structure model)
(Buchner 2008)

Fig. 3.22 Principle of direction change in the stand: reaction wood formation, appears in softwoods (*right*) as compression wood, in hardwoods (*right outside*) as tension wood with simultaneous modifications to the stem cross section



A tilted softwood stem (due to soil movement) is “pushed” upright again by compression wood.

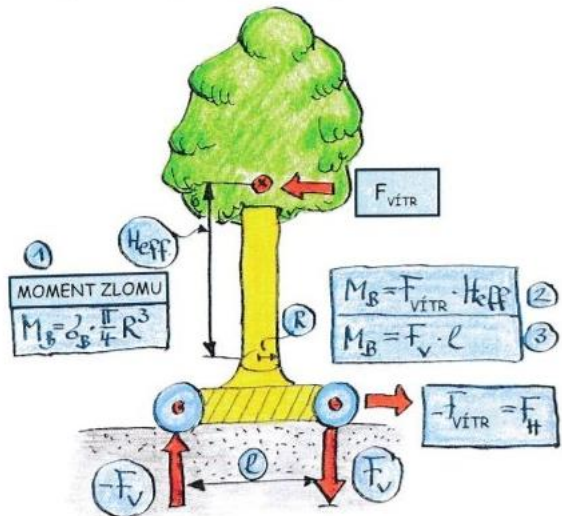
Compression wood forms in the newly developed growth rings. This leads to an asymmetric stem cross section.



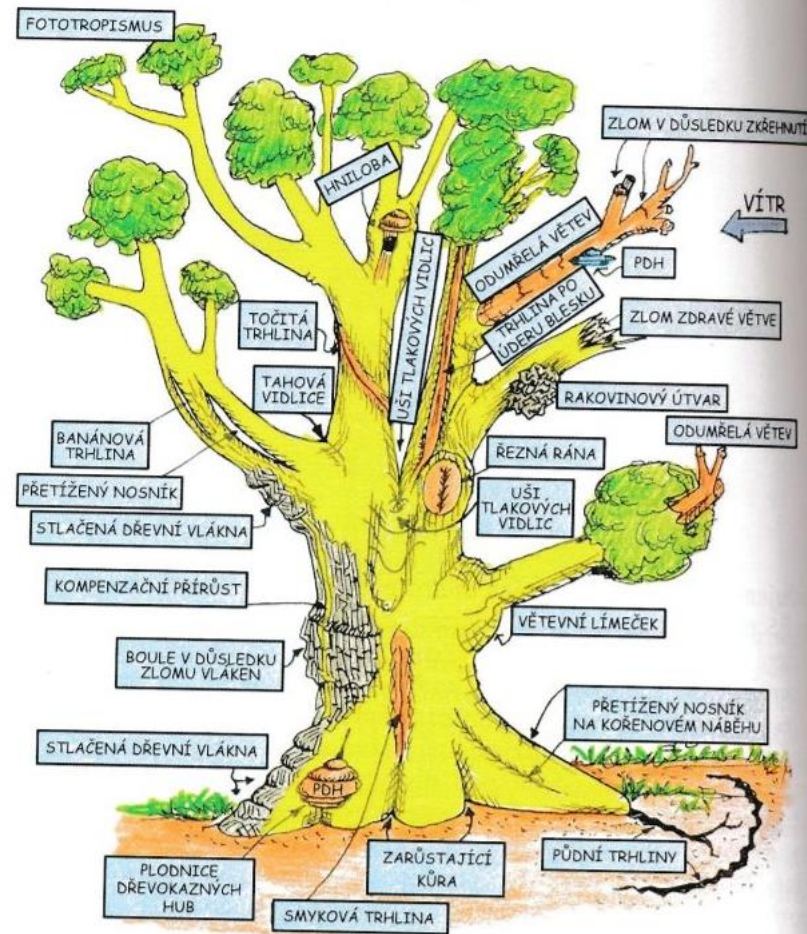
A tilted deciduous stem (due to soil movement) is “pulled” upright again by tension wood.

Tension wood forms in the newly developed growth rings. This leads to an asymmetric stem cross section.

Stromový inženýring - analýza limitního zatížení



Na první pohled

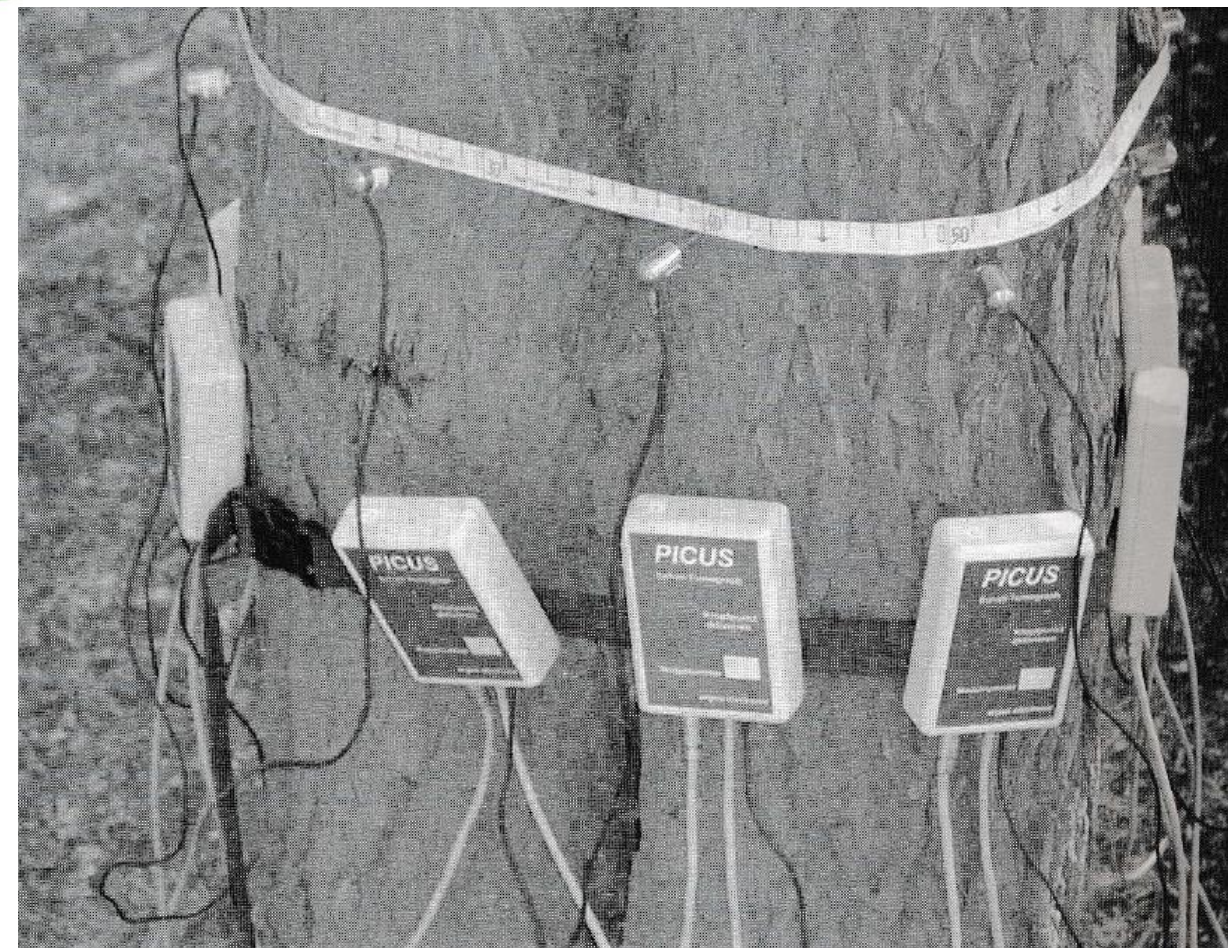


Zatížení a růst stromů
vytváří ze dřeva
nevratné varovné signály.
Řeč jejich těla
to však prozradí
jen očím znalých.

Poselství obra,
tiché útěchy v osamělé hodině,
přítele v časech bezradných,
může však vyřknout
slovo osudu,
který pohrbí tělo človíčka
a štěstí jeho rodiny
pod řítící se korunou...

Tvé oči necht' jsou ušima!





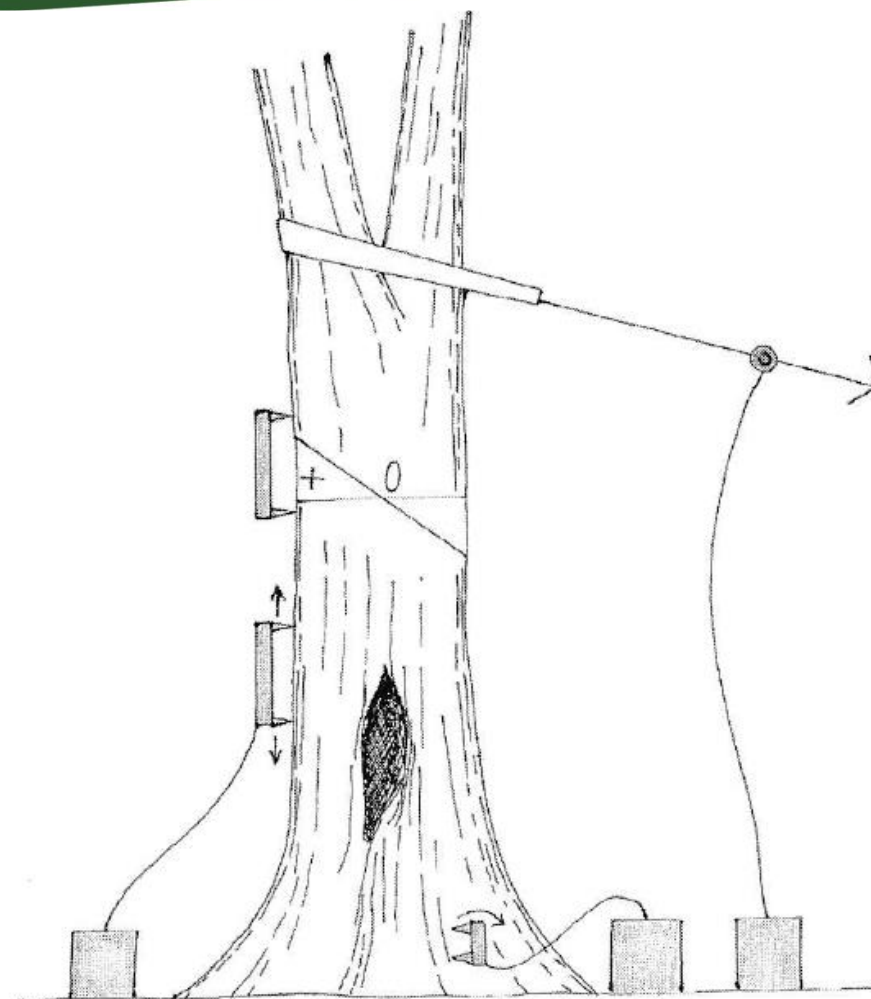
Umístění sond na kmeni při použití metody odporové tomografie.

Přístroje pracující na bázi šíření ultrazvukových vln umístěné na kmeni stromu v průběhu testu.



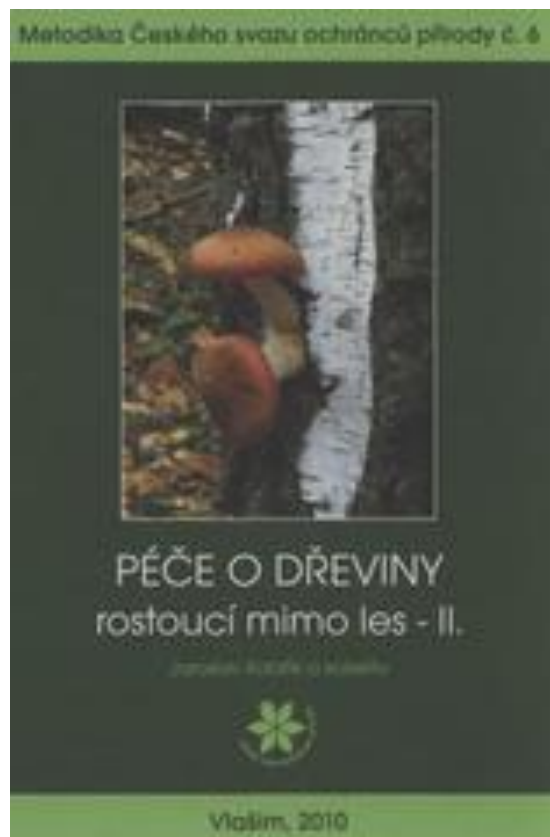
Přístroje využívané při realizaci tahových zkoušek (nahore elastometr, vlevo inklinometr).

Kolařík a kol. 2010



Princip realizace tahové zkoušky v rámci zátěžové analýzy.

Dostupný základní zdroj informací ...



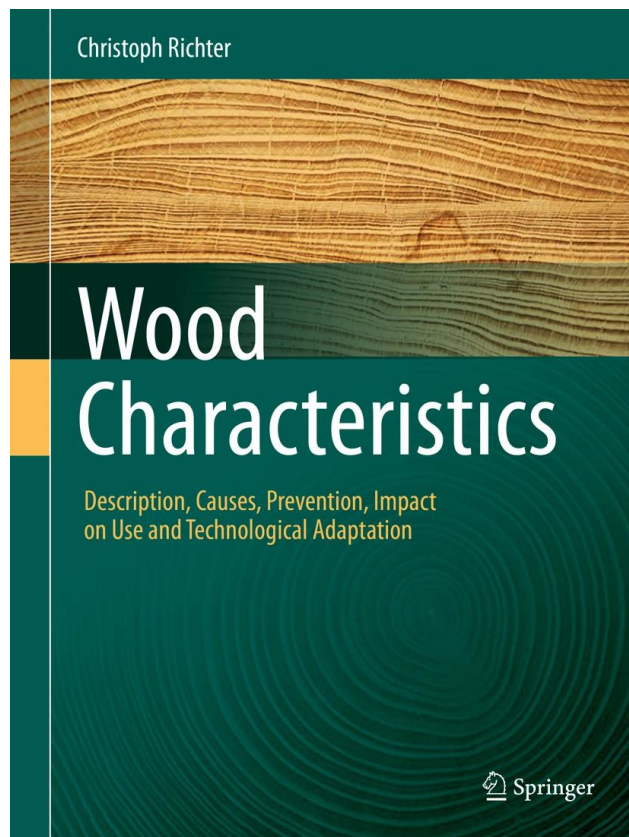
**Kolařík, J. a kol. Péče o dřeviny rostoucí mimo les - II.
2010, Český svaz ochránců přírody Vlašim, s. 696.
ISBN 978-80-86327-85-3**

Dostupný základní zdroj informací ...



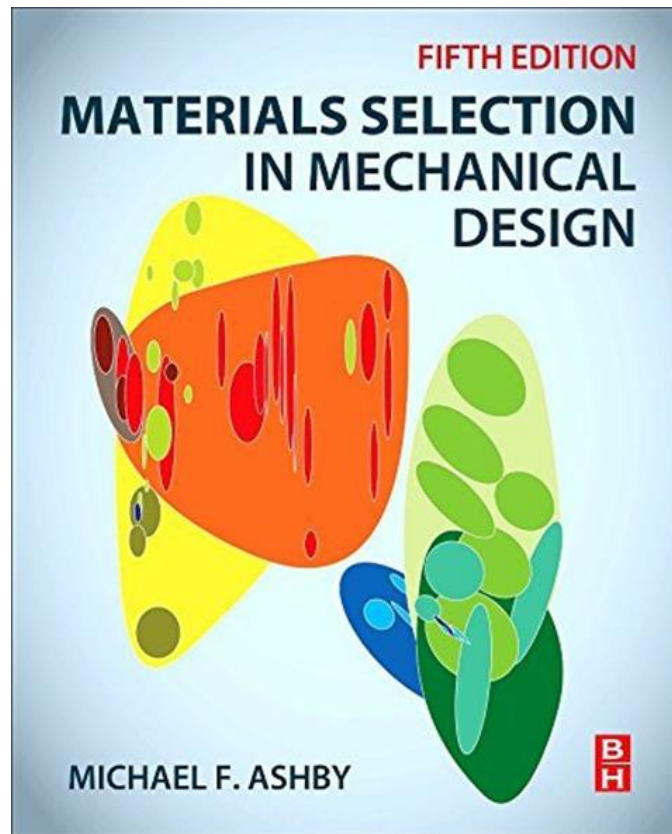
**Mattheck, C. (překlad z německého originálu - Srovnal, M.).
Příručka k vizuálnímu hodnocení stavu stromů s metodou Visual
Tree Assessment. 2007, s. 170. ISBN 978-80-270-9553-7**

Dostupný zdroj informací ...



**Richter, Ch. Wood Characteristics - Description, Causes, Prevention,
Impact on Use and Technological Adaptation. 2015, Springer
International Publishing Switzerland, p. 222. ISBN 978-3-319-07422-1**

Dostupný zdroj informací ...



Ashby, M.F. Materials Selection in Mechanical Design. Butterworth-Heinemann, 2017, p. 660. ISBN 978-0-08-100599-6



Fakulta lesnická
a dřevařská

Děkuji za pozornost

