

# Využití biomechaniky stromu na příkladu hodnocení provozní bezpečnosti vánočního stromu v Praze

Petr Horáček

Prolog – právní úprava  
Hodnocení provozní bezpečnosti – obecný koncept  
Složky systému stability stromu  
Vánoční strom na Staroměstském náměstí v Praze, 2003  
Závěr – hodnocení vánočního stromu  
Epilog – technické normy



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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

# Prolog

Jedním ze základních požadavků, kladených na dřeviny a zvláště pak stromy, je jejich *provozní bezpečnost*, tedy takový jejich stav, kdy neohrožují lidské životy a zdraví ani majetkové hodnoty. To platí zejména, avšak nikoliv výlučně, v urbanizovaném prostředí sídel (měst a obcí). Odpovědnost za tento stav dopadá jednoznačně především na vlastníka těchto dřevin.

Platná právní úprava odpovědnosti za škody selháním stromu je založena zejména na třech základních ustanoveních:

- *Péče o dřeviny, zejména jejich ošetřování a udržování, je povinností vlastníků.* <sup>1)</sup>
- *Každý je povinen počínat si tak, aby nedocházelo ke škodám na zdraví, na majetku, na přírodě a na životním prostředí.* <sup>2)</sup>
- *Každý odpovídá za škodu, kterou způsobil porušením právní povinnosti; odpovědnosti se zproští ten, kdo prokáže, že škodu nezavinil.* <sup>2)</sup>

Z hlediska významu posuzování provozní bezpečnosti stromů jsou nejvýznamnějšími prvky odpovědnostního vztahu požadavek *příčinné souvislosti* a subjektivní aspekt, tedy zavinění. Požadavek příčinné souvislosti znamená, že je třeba zjistit, zda ke vzniku škody došlo právě (*jen*) v důsledku porušení povinnosti, nebo (*též*) v důsledku jiných faktorů (např. vnějších vlivů). Zavinění škody pak lze přičítat každému, kdo nejenže ji způsobil nechtěl, ale třeba ani nevěděl, že ji svým jednáním může způsobit, avšak vzhledem k okolnostem a k svým osobním poměrům to vědět měl a mohl. <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody krajiny

<sup>2)</sup> zákon č. 40/1964 Sb., Občanský zákoník

<sup>3)</sup> zákon č. 141/1961 Sb., 200/2002 Sb., o trestním řízení soudním



# Prolog

A právě v této souvislosti nabývá posuzování mimořádného významu. Vyjde-li totiž při zjišťování příčin pádu stromu, v jehož důsledku vznikla jinému škoda, najevo, že strom trpěl nějakým poškozením zvyšujícím riziko jeho pádu (např. dutina v kmeni, tlakové větvení, starší neošetřený zlom apod.) nepostačí pro vyloučení odpovědnosti vlastníka takového stromu tvrzení, že o něm nevěděl.

Vlastník, aby vyloučil své zavinění, musí prokázat, že o takovém poškození vědět ani nemohl. Jinými slovy, že vynaložil přiměřené úsilí, aby zjistil skutečný a aktuální stav stromu. Přiměřenost tohoto úsilí je přitom závislá mimo jiné na „osobních poměrech“ vlastníka.

Fyzická osoba bez odborného vzdělání (např. v takových oborech jako fyziologie rostlin, statika nebo péče o dřeviny) se odpovědnosti za škodu způsobenou pádem stromu pravděpodobně zprostí, prokáže-li, že jí nebyly známy žádné okolnosti, které by svědčily o možnosti jeho pádu.

Obec disponující týmem odborně vzdělaných pracovníků pro správu zeleně, případně s řadou odborných dodavatelských subjektů, ke svému vyvinění musí prokázat provedení (nebo lépe provádění) odborného monitoringu zaměřeného na předcházení rizika pádu stromů v jejím vlastnictví.



# Hodnocení provozní bezpečnosti – definice pojmů

## Provozní bezpečnost

- kvantifikovaná, zhodnocená stabilita stromu s přihlédnutím k možným rizikům <sup>1)</sup> při selhání stromu. Nejedná se o vlastnost stromu, ale v podstatě o odborný odhad rizika existence stromu na určité lokalitě.

Hodnocení je zaměřeno především na:

- současný, případně minulý, stav stanoviště,
- změny strukturálních částí hodnoceného stromu (kořeny, kmen, koruna),
- identifikaci nejpravděpodobnějších a nejvážnějších problémů spojených s porušením stromu,
- stanovení možných škod.

Vlastní proces posuzování v sobě zahrnuje tři aspekty:

- posouzení samotného stromu,
- posouzení jeho prostředí a
- posouzení potenciálních rizik <sup>1)</sup>, která nastanou v důsledku selhání stromu.

<sup>1)</sup> Při hodnocení rizika selhání stromu je nezbytné také brát do úvahy možné následky, které způsobí pád stromu v okolí, tzn. potenciální ohrožení existujících cílů a důležitost, významnost těchto cílů (lavička pod stromem, chodník, dům, dětské hřiště atp.).



# Hodnocení provozní bezpečnosti – definice pojmů

## Fyziologická vitalita

- obdoba ekologické stability ekosystému
- schopnost organismu kompenzovat (reagovat na) vnější i vnitřní vlivy bez výrazného a trvalého narušení funkčnosti jeho jednotlivých složek (Čaboun, 1990)
- vitalita stromu tedy odráží dynamiku průběhu jeho fyziologických procesů – jeho životaschopnost (životnost)
- hodnocení vitality se provádí vždy nepřímo a vychází ze skutečnosti, že strom, aby mohl žít, musí přirůstat a musí reagovat na vnější podněty
- vitalita může být různá nejen u různých druhů na jednom stanovišti, ale mění se i v průběhu let
- ke změnám vitality dochází i v různých stádiích vývoje jednoho jedince

Při zařazování do stupňů vitality je proto třeba uvážit jak druh stromu, tak i jeho fyziologické stáří (věk) a aktuální poměry, především srážkové. Míra vitality je tedy do značné míry relativní veličinou, vztahující se k danému okamžiku hodnocení.



# Hodnocení provozní bezpečnosti – definice pojmů

## Zdravotní stav

- na rozdíl od fyziologické vitality parametr zdravotního stavu odráží stupeň mechanického oslabení a poškození jedince
- zdravotní stav je v některé literatuře označován jako vitalita biomechanická (Pejchal, 1994)
- strom je z tohoto pohledu hodnocen podle úrovně svého mechanického narušení, stupně kolonizace dřevokaznými houbami, existence dutin, deformací růstu (nepříznivé umístění těžiště, růstové defekty apod.), obecně přítomnosti jakýchkoliv defektů
- hledisko zdravotního stavu je důležité především proto, že z významné části charakterizuje provozní bezpečnost jedince, jeho stabilitu

Z pohledu mechaniky stromu lze *stabilitu* definovat jako *stav*, kdy vlivem působení vnějších (větru, vody, sněhu, člověka, dřevokazné houby, půdní podmínky) a vnitřních faktorů (morfologie kmene, růstové vady) nehrozí možnost vyvrácení, zlomení kmene nebo větví, nebo odlomení části koruny takového rozsahu, že je ohroženo přetrvání jedince na stanovišti.

Mírou (kvantitou) stability, nebo ještě lépe *odhadem pravděpodobnosti selhání stromu nebo jeho významné části*, se zabývá *provozní bezpečnost*. Je tedy měřítkem *stability* stromu a udává pravděpodobnost jeho selhání.



# Hodnocení provozní bezpečnosti – definice pojmů

## Stabilita



- mechanická stabilita stromu je vesměs posuzována a charakterizována podle geometrie kmene a materiálových vlastností, tedy o tom, zda je strom stabilní se rozhodujeme na základě jeho habitu a výskytu případných poškození
- strom je schopen reagovat na přiměřené podněty okolí, na změny prostředí
- reakcí je adaptační růst; a podněty jsou vítr a jiná mechanická zatížení, změny v proudění vzduchu, uvolnění jedince z porostu, případně poškození
- mechanická stabilita má vztah k fyziologické aktivitě stromu
- je-li stabilita stromu narušena pouze částečně (tedy např. dojde k výraznému naklonění stromu, vznikne rozsáhlé poškození, např. prasklina), strom je do určité míry schopen kompenzovat defekt modifikací růstu (napřímení terminálního výhonu, posunutí těžiště nad místo vetknutí, zvýšený radiální růst, tvorba kalusu), případně kompartmentalizací
- intenzita růstu jako nespécifické reakce na poškození (množství živin alokovaných ke kompenzaci poškození) odpovídá rozsahu narušení, ovšem za předpokladu, že tyto látky jsou dostupné

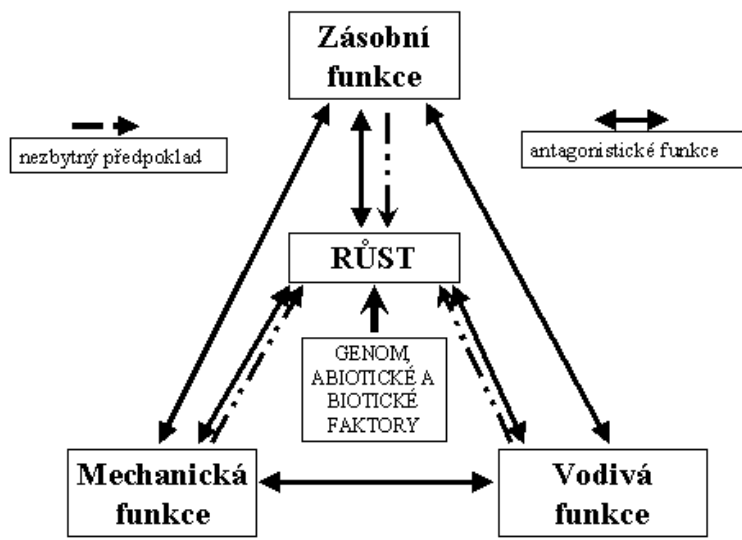
# Složky systému stability stromu

- posuzování rizika *selhání* stromu v daném prostředí s přihlédnutím k jeho funkci
- selhání stromu = *zlom* nebo *vyvrácení*
- „*subjektivní*“ proces ovlivněný znalostí příčin porušení stromu
- hodnocení platí pro danou růstovou strategii stromu
  
- při hodnocení provozní bezpečnosti přihlížíme ke stavu stromu a k jeho okolí
- **základní otázky** mohou znít:
  - Jaký je celkový stav stromu?
  - Jaké jsou jeho hlavní problémy – kde a jaká jsou jeho slabá místa?
  - Jsou tyto problémy závažné tak, že hrozí poškození, odlomení části stromu, ztráta větší části organismu či jeho zánik?
  - Hrozí poškození majetku, ohrožení zdraví nebo života?
  - Jsou případné defekty sanovatelné?
  - Jaké je srovnání hodnoty stromu (peněžní, historické, estetické, biologické a ekologickém ...) s jeho možným negativním působením?
  - ...
- **základní odpovědi** mohou znít:
  - Věk a tvar stromu (rozměr, velikost) – vitalita = kompartmentalizace, senescence, orgánové regulace, ....
  - Tvar a stav jednotlivých částí stromu – zdravotní stav koruny, kmene, kořenů = změny průřezu, zbytková stěna, dutiny, vady, ...
  - Stanovištní podmínky – směr převládajícího směru větru, hladina spodní vody, ...

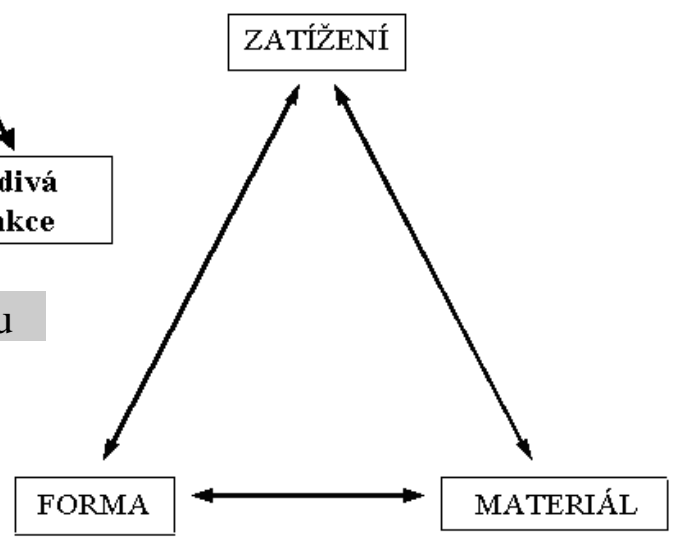




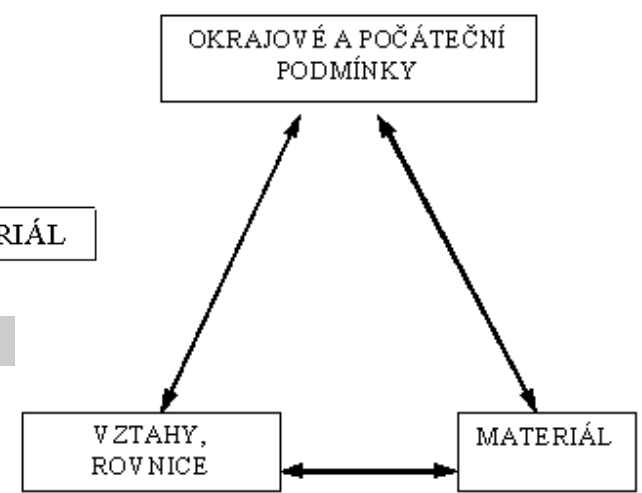
# Složky systému stability stromu



Trojúhelník funkcí stromu

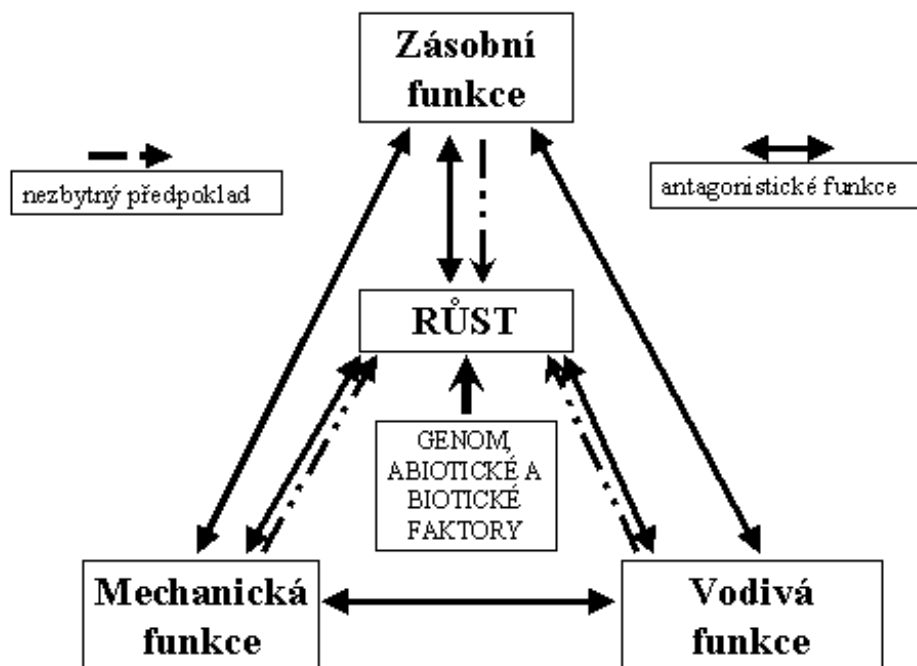


Trojúhelník statiky stromu



Trojúhelník strukturální analýzy

# Složky systému stability stromu

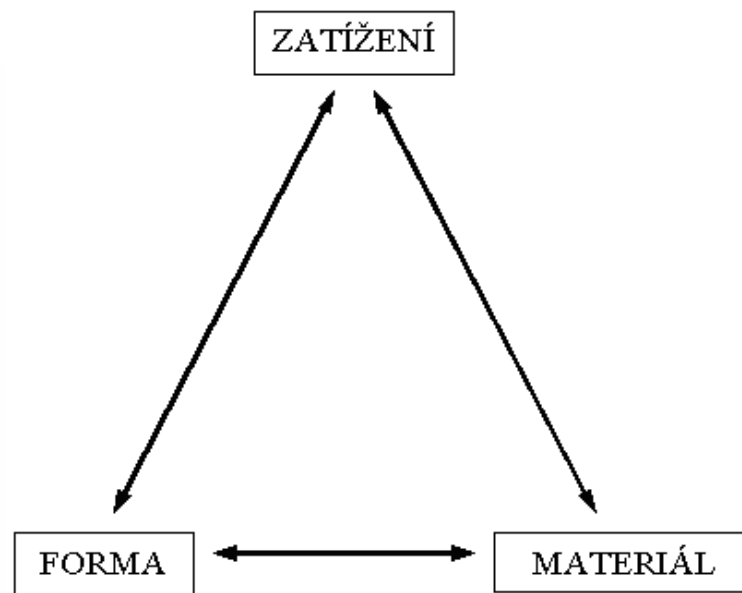


Trojúhelník růstu stromu popisuje funkce, které musí zajistit kmen a větve stromu, a které jsou v souvislosti s mechanickou funkcí.

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

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.

## Složky systému stability stromu

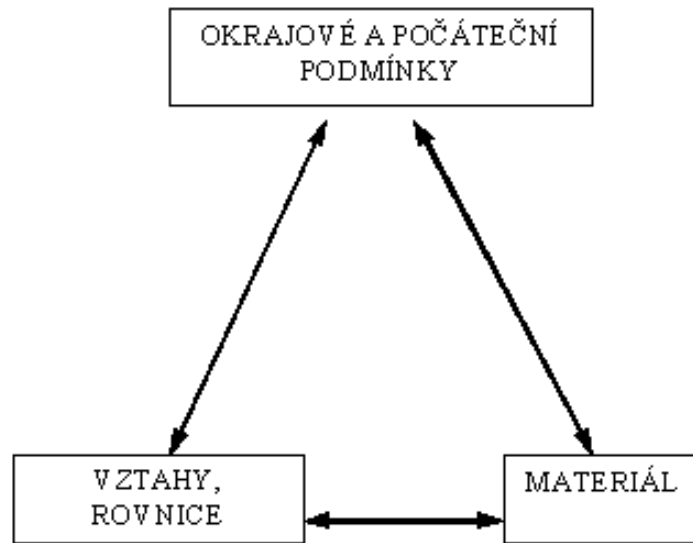


Trojúhelník stability stromu znázorňuje vztahy mezi jednotlivými složkami stability stromu.

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 spotřebována na deformaci a změnu polohy listů, větví a kmene a v posledku je inhibována 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, strom dané zatížení vydrží. Ne-li, dojde k selhání a zlomení či vyvrácení stromu.

# Složky systému stability stromu



$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X_x = \rho f_x$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + X_y = \rho f_y$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + X_z = \rho f_z$$

Trojúhelník strukturální analýzy znázorňuje postup při řešení problémů mechaniky.

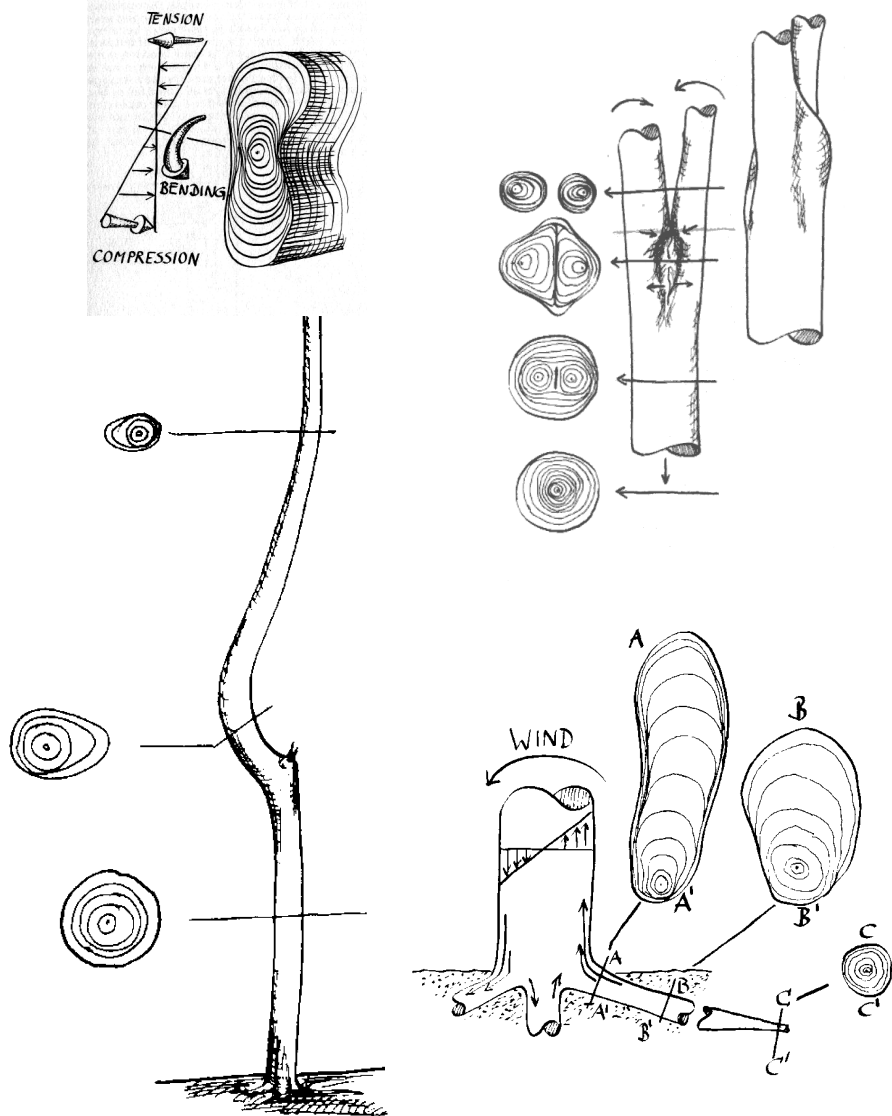
Stromy, resp. obecně rostliny, mají dvě možnosti, jak se přizpůsobit mechanickému namáhání – jak *optimalizovat* svou strukturu.

Buď změnou mechanických vlastností (*materiálová, vnitřní optimalizace*) nebo změnou geometrie (*tvarová optimalizace, vnější optimalizace*).

Obě cesty jsou rostlinami využívány.

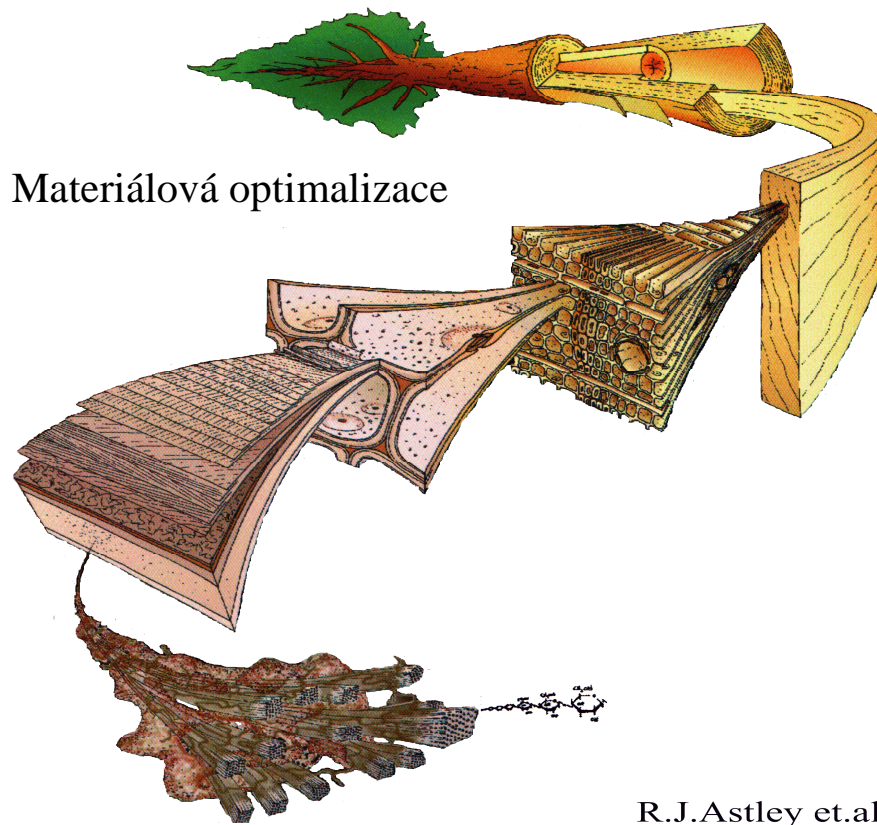
# Složky systému stability stromu

## Tvarová optimalizace

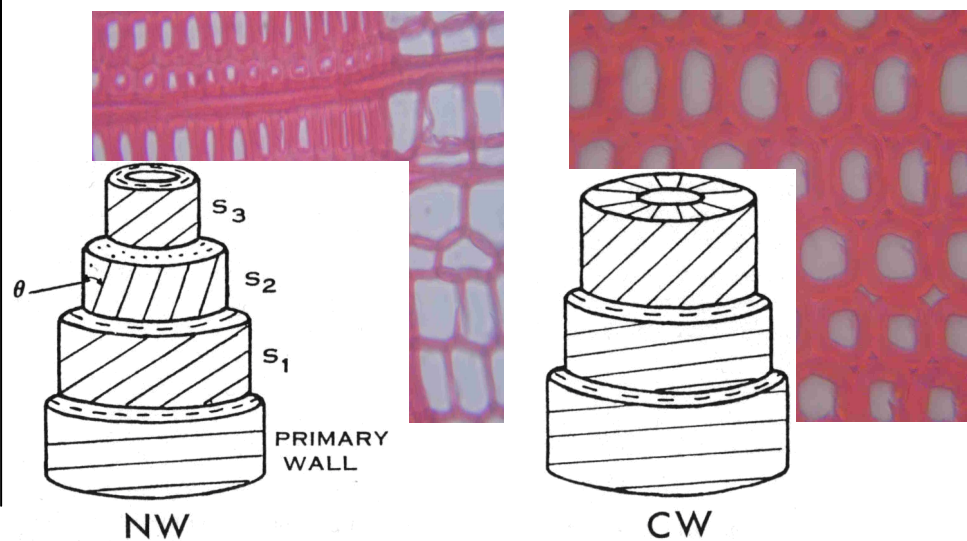


Mattheck, C. (1995)

## Materiálová optimalizace



R.J.Astley et.al.



# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 1. Počáteční a okrajové podmínky (6.12. 2003, 11.06 hod)

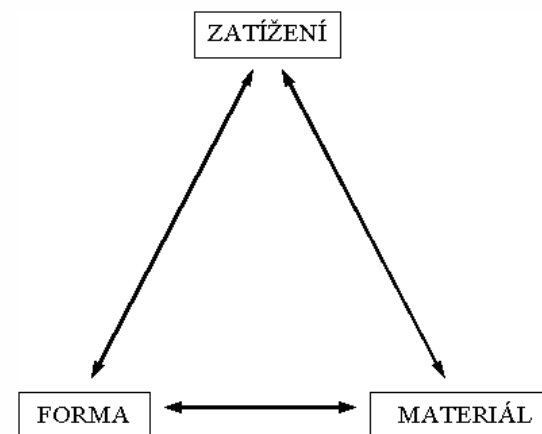
- meteorologická stanice Praha 2, Karlov:
  - teplota vzduchu 3,3°C
  - rychlost proudění vzduchu 26,3 m.s<sup>-1</sup>
  - směr proudění – západní až severozápadní
- Staroměstské náměstí:
  - tuhé ukotvení stromu v jímce 1,8 m

## 2. Geometrie stromu – smrk (*Picea abies* /L./ Karst)

- výška 24,5 m (nepravidelná sbíhavost)
- délka koruny 20,7 m
- šířka koruny 4,5 m
- průměr 44/50 cm (výčetní výška)

## 3. Vlastnosti dřeva

- vlhkost dřeva 29 % (MH)
- tlakové reakční dřevo
- křehká lomová plocha

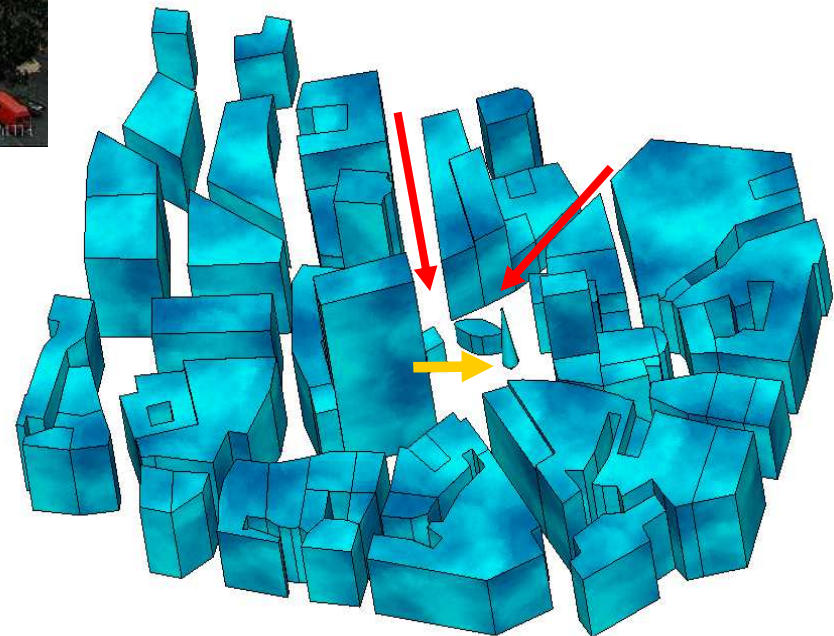


# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 1. Počáteční a okrajové podmínky

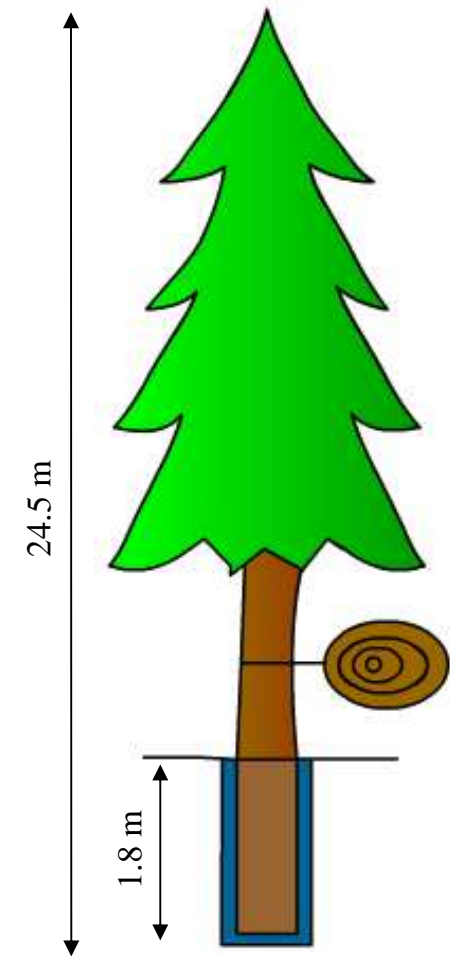
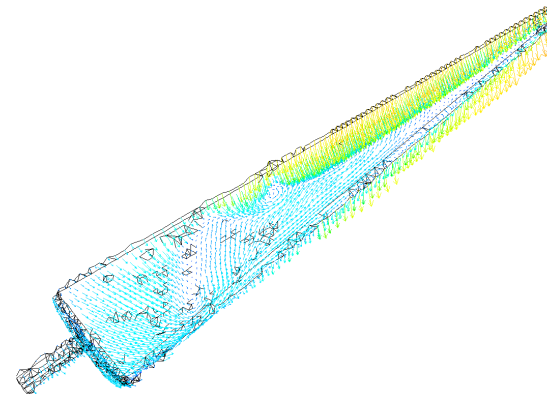


$$\Delta F_i = \frac{1}{2} \rho_v \cdot C_x \cdot v_x^2 \cdot \Delta A_i, \quad \text{pro } i=1 \dots n$$



# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 2. Geometrie stromu

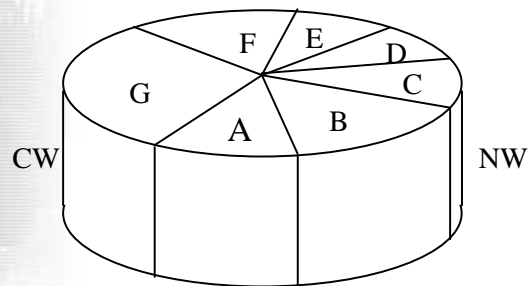




# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

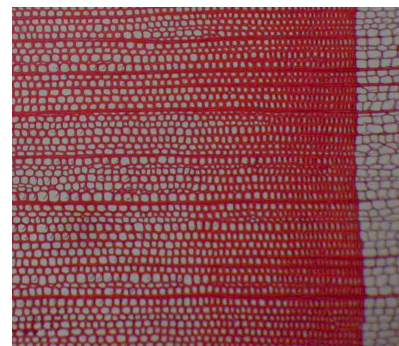
## 3. Stavba a vlastnosti dřeva

### Stavba dřeva

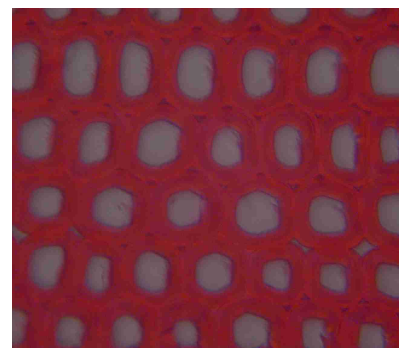


	Prům. šířka letokruhu (mm)	Zastoupení letního dřeva (%)	Přechod jarního a letního dřeva	Průřez tracheid	Úhel fibril
NW	2,1	18,9	pozvolný	hranatý	10°
CW	4,2	36,7	<b>ostrý</b>	<b>kulatý</b>	40°

### Tlakové dřevo



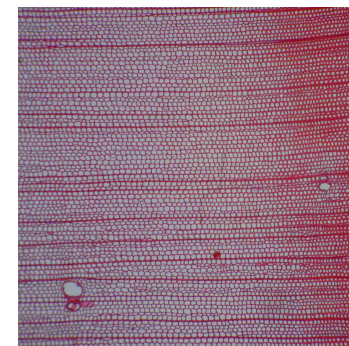
1



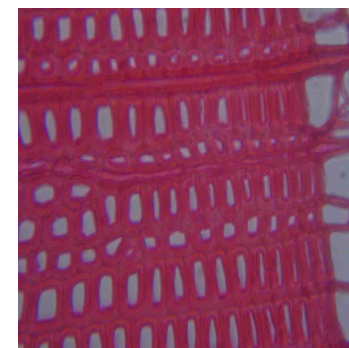
3



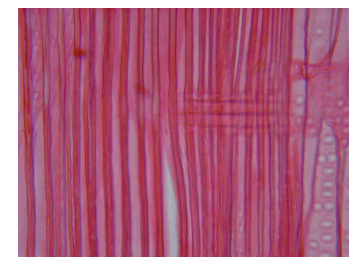
### Normální dřevo



2



4



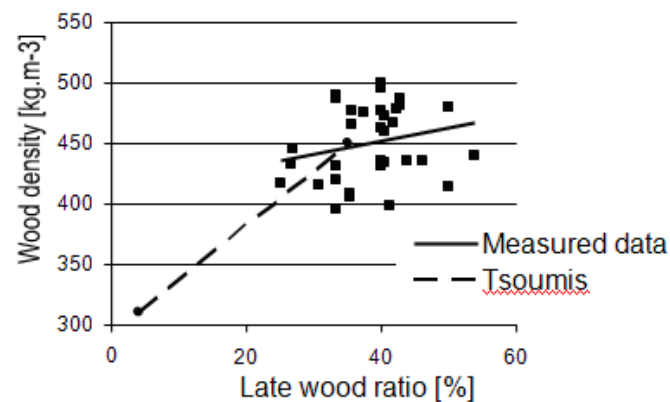
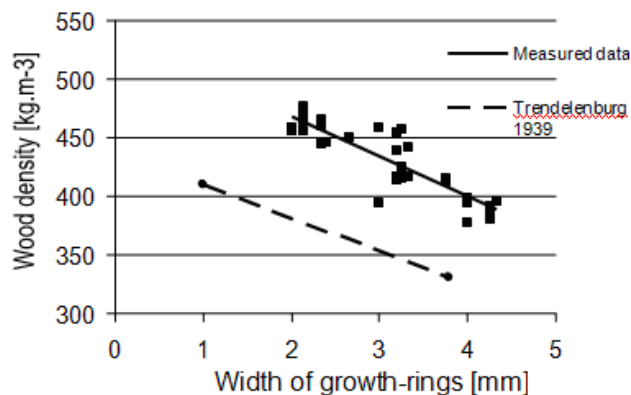
# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 3. Stavba a vlastnosti dřeva

### Fyzikální a mechanické vlastnosti



	Hustota (kg.m-3)	Tlak ve směru vláken (MPa)		Smyk v podélné rovině (MPa)		Modul pružnosti ve směru vláken (MPa)		Modu např (
		12%	30%	12%	30%	12%	30%	
Normální dřevo <sup>1)</sup>	392	34,1	22,0	6,7	5,1	13650	10037	789
Tlakové dřevo <sup>2)</sup>	436	52,0	33,6	-	-	9760	4530	-
<b>Tlakové dřevo (strom)</b>	<b>451</b>	<b>51,8</b>	<b>30,1</b>	<b>7,8</b>	<b>5,1</b>	<b>10353</b>	<b>6723</b>	<b>528</b>



# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 4. Strukturální analýza – numerické řešení

Byly testovány tři hypotézy příčin pádu stromu na Staroměstském náměstí v Praze dne 6.12. 2004:

- ke zlomu stromu došlo proto, že mechanické vlastnosti dřeva určující chování stromu při zatížení byly významně odlišné od průměrných hodnot uváděných v literatuře,
- ke zlomu stromu došlo proto, že byl strom ukotven nesprávným způsobem,
- příčinou pádu byla kombinace výše uvedených vlivů, příp. vliv dalšího faktoru.

Výsledky vycházejí z modelového přístupu aplikace metody konečných prvků, která byla použita na konstrukci virtuálních modelů chování předmětného stromu při zatížení větrem.

Po dosazení převzatých a experimentálně stanovených (1) *materiálových konstant* a (2) *charakteristik pevnosti* do virtuálního konečně prvkového modelu chování stromu byly získány hodnoty kritérií porušení (*Von Misesovo, Hillovo a Hoffmanovo kritérium*)



# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 4. Strukturální analýza – numerické řešení

Po dosazení převzatých a experimentálně stanovených (1) *materiálových konstant* a (2) *charakteristik pevnosti* do virtuálního konečně prvkového modelu chování stromu byly získány hodnoty kritérií porušení (*Von Misesovo, Hillovo a Hoffmanovo kritérium*)

Model	Pevnost			Pevnost		
	$\sigma_R$ [MPa]	$\sigma_T$ [MPa]	$\sigma_L$ [MPa]	$\tau_{TL}$ [MPa]	$\tau_{RL}$ [MPa]	$\tau_{RT}$ [MPa]
Normální dřevo	3,4	4,0	34,1	6,7	6,7	2,4
Vánoční strom	0,6	0,5	51,8	7,8	7,8	0,6

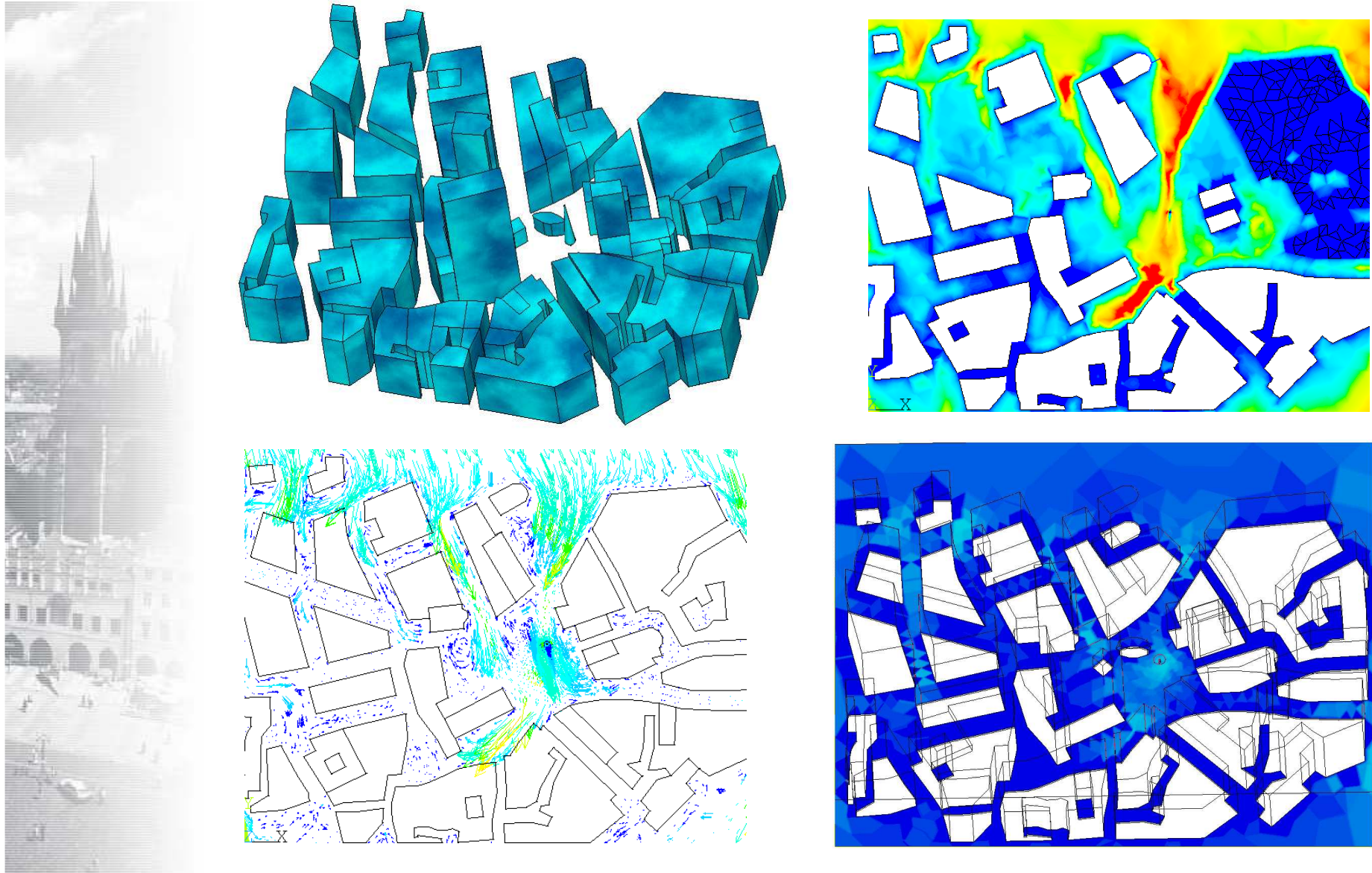
Model	Youngův modul pružnosti			Smykový modul pružnosti		
	$E_R$ [MPa]	$E_T$ [MPa]	$E_L$ [MPa]	$G_{TL}$ [MPa]	$G_{RL}$ [MPa]	$G_{RT}$ [MPa]
Normální dřevo	789	289	13650	474	573	53
Vánoční strom	529	345	10353	287	237	27

Model	Poissonovo číslo		
	$\mu_{TL}$ [-]	$\mu_{RL}$ [-]	$\mu_{RT}$ [-]
Normální dřevo	0,030	0,020	0,250



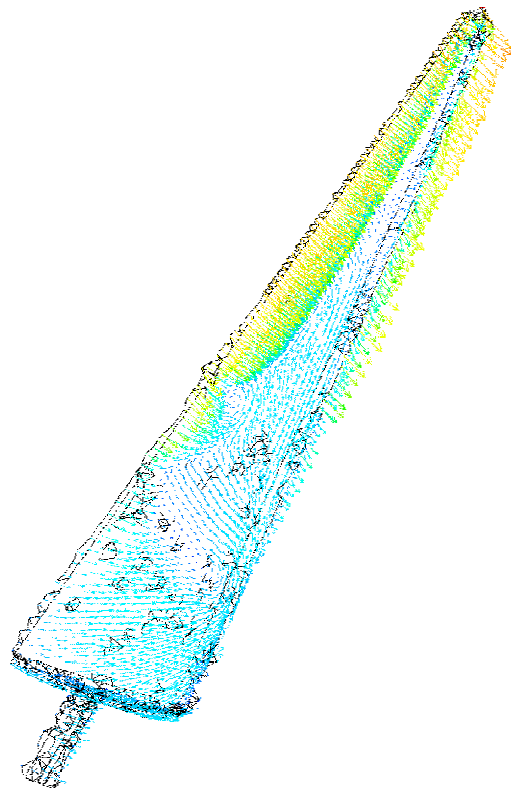
# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 4. Strukturální analýza – rychlost proudění na náměstí a v okolí stromu

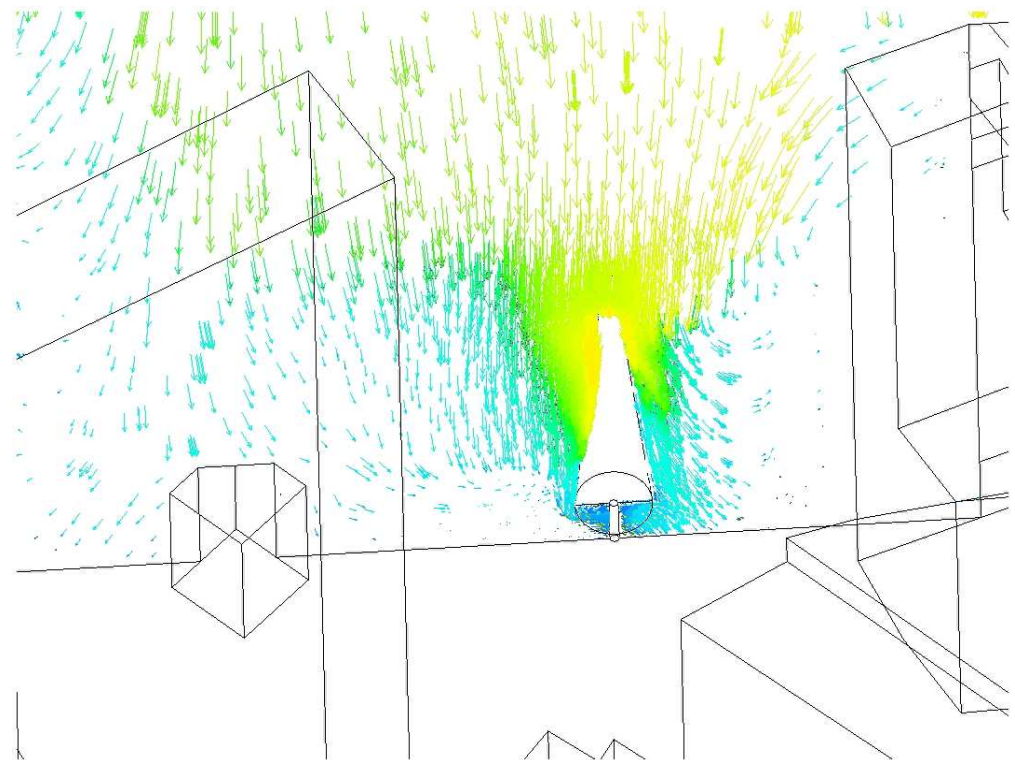


# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 4. Strukturální analýza – rychlost proudění na náměstí a v okolí stromu



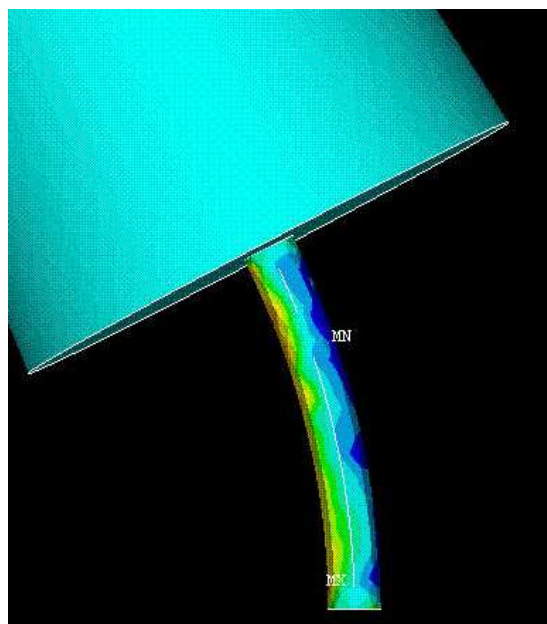
<u>Čas</u> <u>(s)</u>	<u>Rychlost</u> <u>(m.s<sup>-1</sup>)</u>
0	0,00
2	3,30
3	2,88
.	2,50



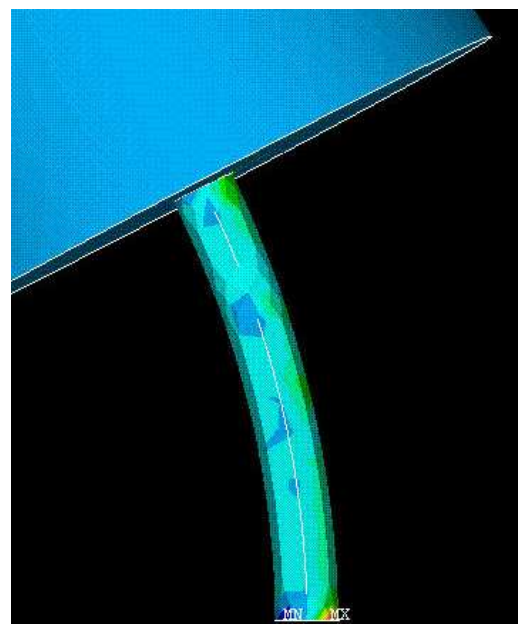
# Vánoční strom na Staroměstském náměstí, Praha

## 4. Strukturální analýza – KRITÉRIA PORUŠENÍ

Model	Hoffman [-]	Hill [-]	$\sigma_{\text{VonMiss}}$ [MPa]	$\epsilon_{\text{VonMiss}}$ [-]
I	0,3638	0,2124	11,5023	0,0015
II	<b>0,7900</b>	0,1368	11,6049	0,0024
III	0,3324	0,1636	4,4397	0,0006
IV	-	0,0494	8,1888	0,0017



Model I – normální dřevo



Model II – tlakové dřevo

Distribuce Hoffmanova  
kritéria porušení ve  
kmenu stromu

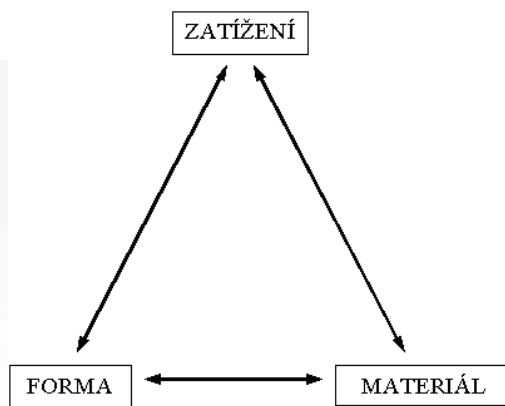
## Závěr

- Lze konstatovat, že *materiálové vlastnosti* vyšetřovaného stromu *neodpovídají běžným průměrným vlastnostem smrkového dřeva*, a že jsou odlišné od vlastností smrkového dřeva obvyklé na území ČR.
- Vysvětlení této skutečnosti lze hledat v *anatomické stavbě dřeva*. Zjištěné rozdíly mezi vybranými „průměrnými“ vlastnostmi smrkového dřeva podle literatury a vlastnostmi předmětného stromu jsou statisticky významně odlišné.
- Dřevo s uvedenými vlastnostmi vykazuje při zatížení jiné chování než je obvyklé. Vzhledem k odlišné stavbě a chemickému složení *není tak houževnaté* a proto i při relativně *vysoké pevnosti* se snadno poruší vzhledem ke své *menší tuhosti*. Výsledný lom má potom *charakter křehkého lomu* přesto, že hustota dřeva je zpravidla vysoká. Příčinou je *vysoké zastoupení ligninu* a velmi *široké letokruhy*, což jsou charakteristické znaky reakčního, tlakového dřeva.
- Dřevní hmota obsahující reakční, tlakové dřevo je *nekvalitní* (ČSN EN 844). *Není schopna naplnit požadavky na mechanické vlastnosti dřeva v případě kombinovaného způsobu namáhání (současný ohyb a krut) stromu*. Pro účely instalace stromu usazením do jímky s tuhým vetknutím (např. vánoční strom) je použití kmene obsahujícího reakční, tlakové dřevo *nevhodné*.

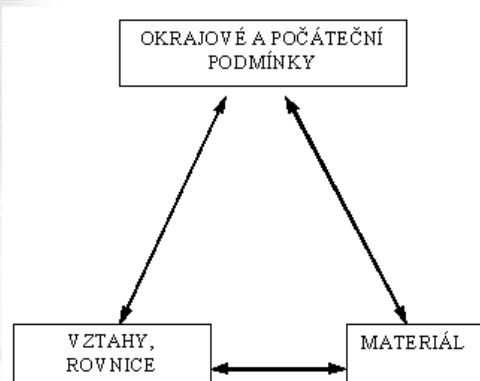




# Závěr

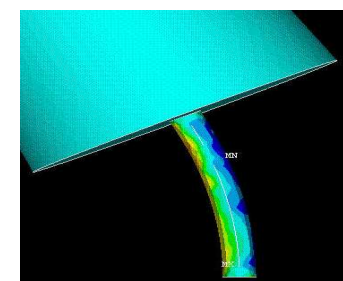
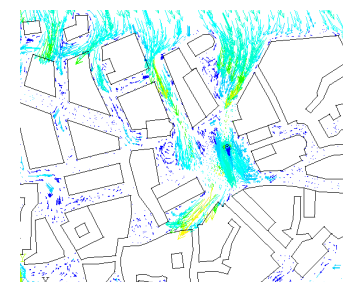
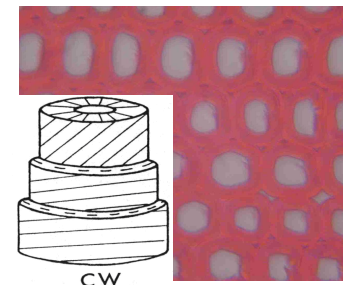


Trojúhelník statiky stromu



Trojúhelník strukturální analýzy

- Vliv materiálu – *kvality dřeva* – ve strukturální analýze i trojúhelníku statiky stromu, tj. analýze odezvy materiálu na zatížení při daném ukotvení, je velmi významný.
- V daném případě tedy příčinou porušení (zlomení) předmětného stromu byla kombinaci působících faktorů – *špatných mechanických vlastností smrkového dřeva a charakteru proudění větru na Staroměstském náměstí*.
- V případě průměrných vlastností dřeva, které lze předpokládat u stromu rostoucího v ČR, by v žádném případě nedošlo u vánočního stromu o *geometrii* odpovídající předmětnému stromu k jeho porušení.



# Epilog

Nejsou známy žádné technické normy, které by se zabývaly usazování stromu, a to ani české (ČSN) ani zahraniční (EN, DIN, ISO, ASTM). Předcházení nebezpečí neočekávaného porušení stromu je možné realizovat jen při schopnosti kvalifikovaně předvídat a zhodnotit pravděpodobnost vzniku možných mezních stavů objektu (konstrukce).

Pravidla pro určení kritérií poruch a mezních stavů pro technické objekty jsou určena podle Zákona č. 22/1997 Sb. *o technických požadavcích na výrobky* ve znění zákonů č. 71/2000 Sb., č. 102/2001 Sb. a č. 205/2002 Sb. technickými předpisy a technickými dokumenty, případně odpovídajícím stavem vědeckých a technických poznatků. Pro dřevěné konstrukce se jedná zejména o předběžné evropské normy *Eurokódu 5*, které jsou již zavedeny do soustavy ČSN.

ČSN P ENV 1995-1-1 (73 1701): Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby,

ČSN P ENV 1995-1-2 (73 1701): Navrhování dřevěných konstrukcí. Obecná pravidla. Navrhování konstrukcí na účinky požáru

ČSN P ENV 1995-2 (73 6212): Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 2: Mosty.

Žádný z těchto technických předpisů při usazování vánočního stromu *nelze aplikovat*. *Do budoucna se zdá být nezbytným definovat kritéria pro jednoznačné a objektivní určení technického stavu vánočního stromu – provozní bezpečnosti*. Osoba pověřená instalací vánočního stromu může zohledňovat pouze jeden z faktorů – geometrii kmene. Rozhodující pro chování stromu jsou ale jeho mechanické vlastnosti, které nejsou vizuálně zjištěitelné. Pro jejich určení je nutné přistoupit k experimentálnímu měření.



## Epilog

Pro rutinní hodnocení vánočních stromů (např. na celém území ČR) lze po užití například přístrojové metody založené na interpretaci *rychlosti šíření zvuku* (příp. ultrazvuku) ve dřevě. Mechanické kmitání je na jedné straně kmene emitováno buď sondou nebo prostým úderem do sondy umístěné na povrchu kmene a na straně druhé je snímáno senzorem. Přítomnost dutin, hniloby nebo dalších vad dřeva modifikuje rychlost šíření vlnění, která je porovnávána s referenční rychlostí pro daný průměr kmene. Neinvazním způsobem tak lze určit vlastnosti dřeva rozhodující pro jeho statické (dynamické) hodnocení.

Uvedený princip metody se s úspěchem používá při *hodnocení provozní bezpečnosti* u městské zeleně v obcích, a podle našeho názoru nic nebrání jeho aplikaci u *vánočních stromů*, na které jsou kladeny nemenší požadavky než na dřeviny v intravilánu obcí.

