

# Přístrojové metody v arboristice

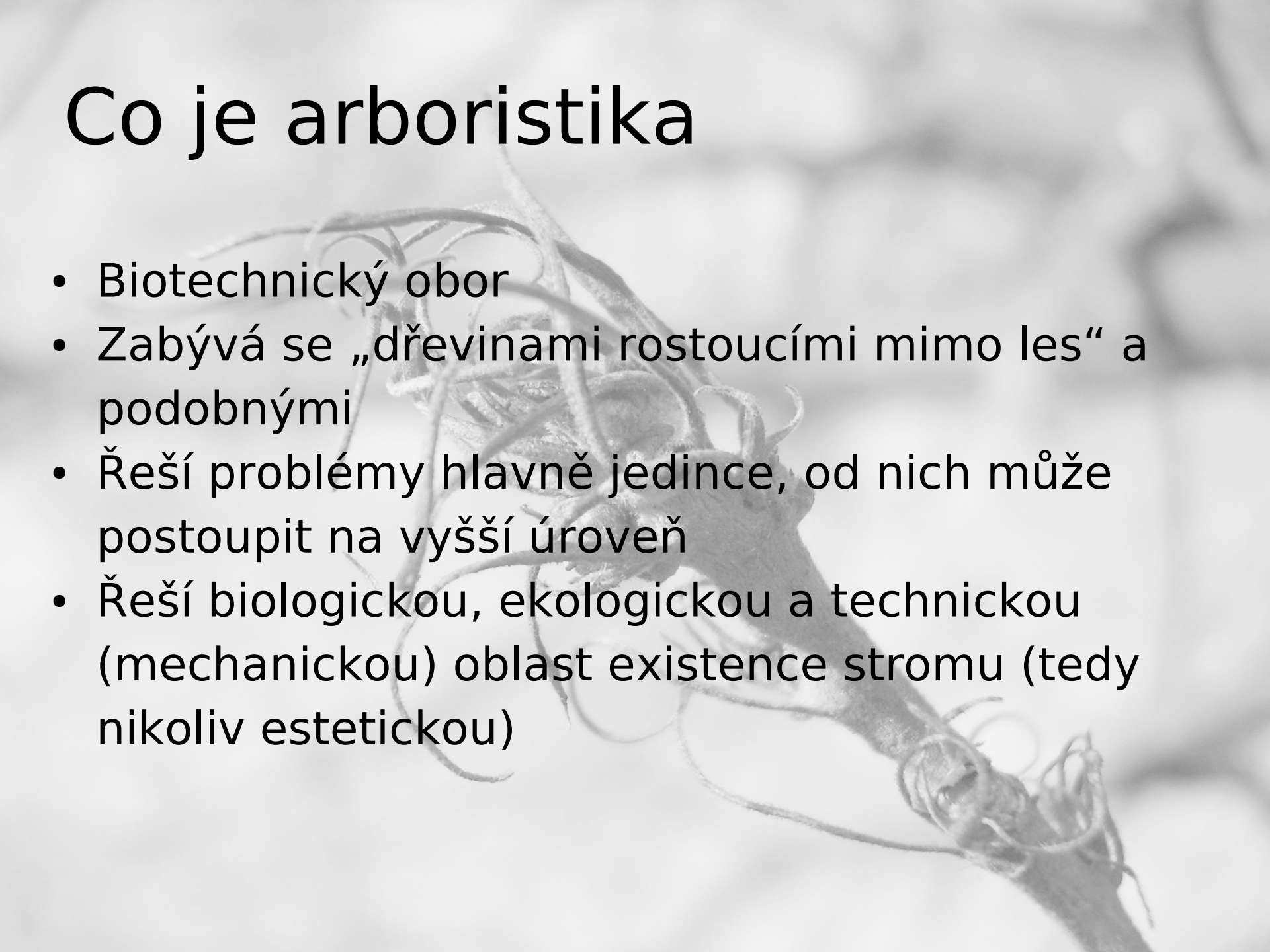
**Luděk Praus**

Ústav nauky o dřevě,  
Lesnická a dřevařská fakulta,  
Mendelova univerzita v Brně

Zemědělská 3, 613 00 Brno  
e-mail: [ludek.praus@centrum.cz](mailto:ludek.praus@centrum.cz)  
tel.: 545 134 551



# Co je arboristika

- Biotechnický obor
  - Zabývá se „dřevinami rostoucími mimo les“ a podobnými
  - Řeší problémy hlavně jedince, od nich může postoupit na vyšší úroveň
  - Řeší biologickou, ekologickou a technickou (mechanickou) oblast existence stromu (tedy nikoliv estetickou)
- 





# Přístrojové metody v arboristice

- **Proč přístroje?**
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- Základní otázka
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- Požadavky na metody
- Principy a charakteristiky vybraných metod





# Objektivní informace o stromu

**Nebezpečný,  
zdraví a majetek  
ohrožující  
jedinec, kácení  
nutné!!!**



**Esteticky i  
ekologicky  
hodnotný jedinec,  
zachování  
nutné!!!**

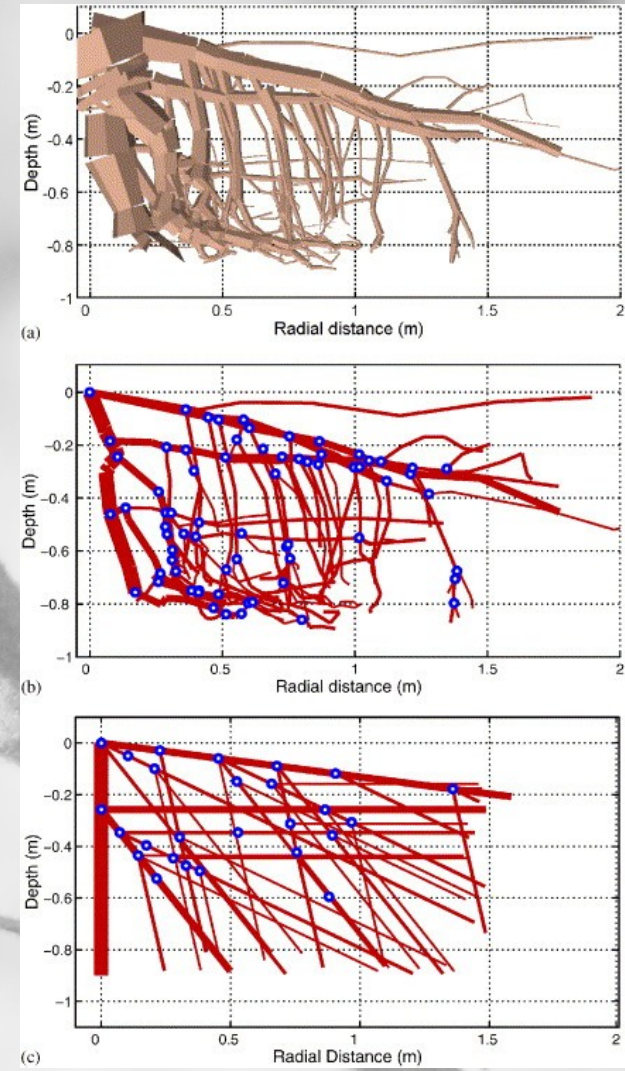
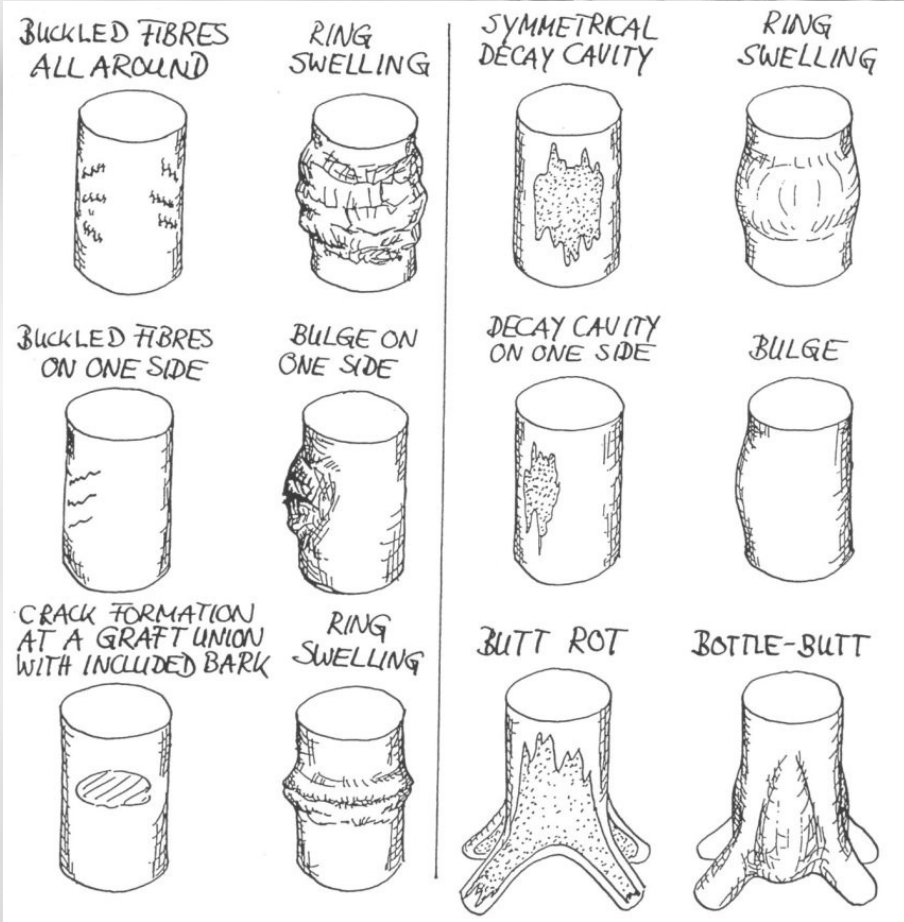
before



after



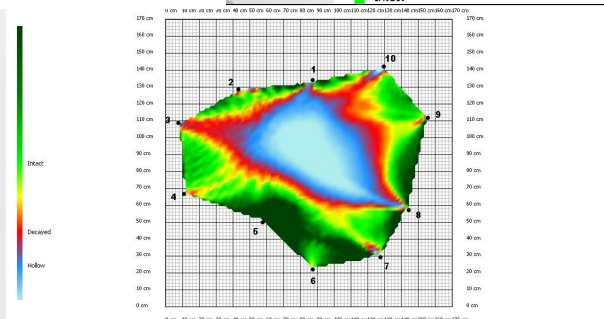
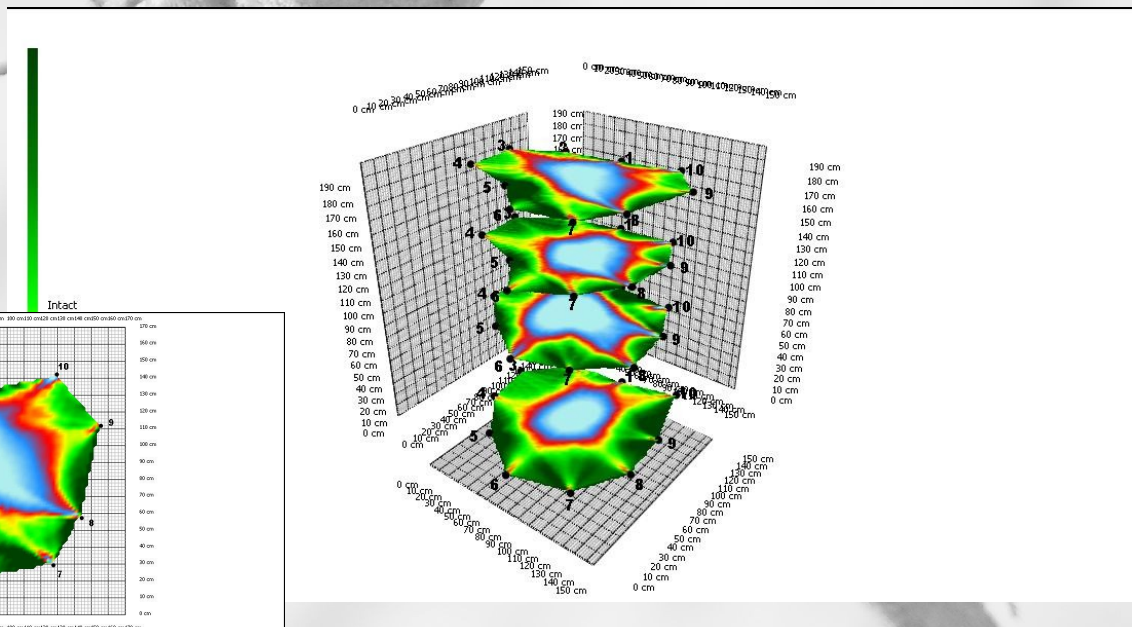
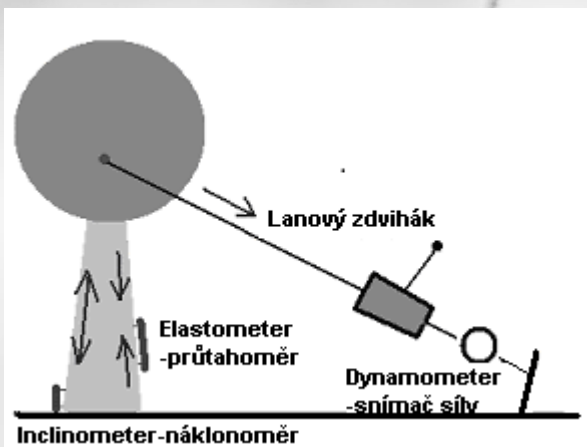
# Některé skutečnosti ani nelze pouhým okem zaznamenat.





# Přístrojové metody

- Hlavním cílem je zvýšení objektivitu informace
- Zvýšení přesnosti odhadu selhání
- Postižení skrytých stavů stromu



# Přístrojové metody v arboristice

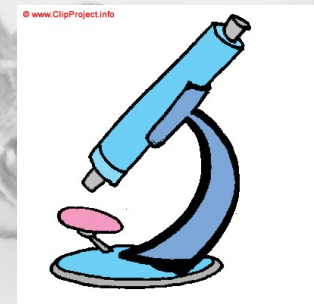
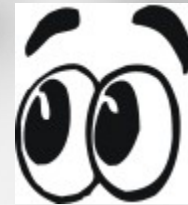
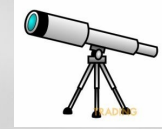
- Proč přístroje?
- **Zařazení přístrojových metod do systému péče**
- Základní otázka
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- Požadavky na metody
- Principy a charakteristiky vybraných metod





# System péče z hlediska detailu informace

- Inventarizace a pasportizace
- Evidence a hodnocení
- Podrobné hodnocení
- Přístrojové metody



# Princip hodnocení provozní bezpečnosti stromů

## 1. Inventarizace a hodnocení

- obsahuje parametr stability stromu
- navrhuje konstruktivní stabilizační zásah
- je jednoznačná a aktualizovatelná
- účelem je **nalézt symptomy** staticky významných defektů



## 2. DETAILNÍ VIZUÁLNÍ PRŮZKUM

- průzkumu vlivu nalezených symptomů na statické poměry stromu
- využití některé z metodik (SIA, VTA, QTRA, EHT)
- účelem je **kvantifikovat provozní bezpečnost** stromu



## 3. PŘÍSTROJOVÝ TEST

- exaktní prověření statických poměrů
- probíhá jak v oblasti odolnosti proti zlomu, tak i vyvrácení
- minimalizuje destruktivní/invazivní postupy
- účelem je **exaktní prověření rizika zlomu či vyvrácení** stromu s minimalizací jeho poškození



# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- **Základní otázka**
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- Požadavky na metody
- Principy a charakteristiky vybraných metod





# Na počátku byl ?

- Základním kamenem pro výběr přístrojové metody je otázka.
- Otázka definuje odpověď ve smyslu vymezení hranic
- Správně položená otázka => potenciálně správná odpověď
- Nesprávně položená otázka => jistě nesprávná odpověď

Klíčovou otázkou arboristiky je

## BEZPEČNOST STROMU

jakožto jeho vlastnost



# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- Základní otázka
- **Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit**
- Požadavky na metody
- Principy a charakteristiky vybraných metod

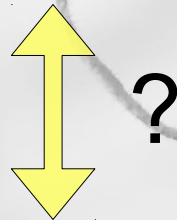




# Analýza problému



Stabilita stromu



Hodnota stanoviště

**PROVOZNÍ  
BEZPEČNOST**

# Trojúhelník stability

**ZATÍŽENÍ**

**GEOMETRIE**

**MATERIÁL**



# Cíl a jeho hodnota

- Hodnota potenciálního cíle by měla zohlednit
  - Frekvenci pohybu lidí
  - Hodnotu a nahraditelnost nemovitostí (budov apod.)
  - Hodnotu a nahraditelnost movitostí (vozidla, přemístitelné objekty)

Bezpečnost lze vyjádřit pomocí tzv. bezpečnostních koeficientů. Jsou to různá kritéria porovnávající vlastnost objektu a vznikající zatížení. Mohou být jednoduchá...

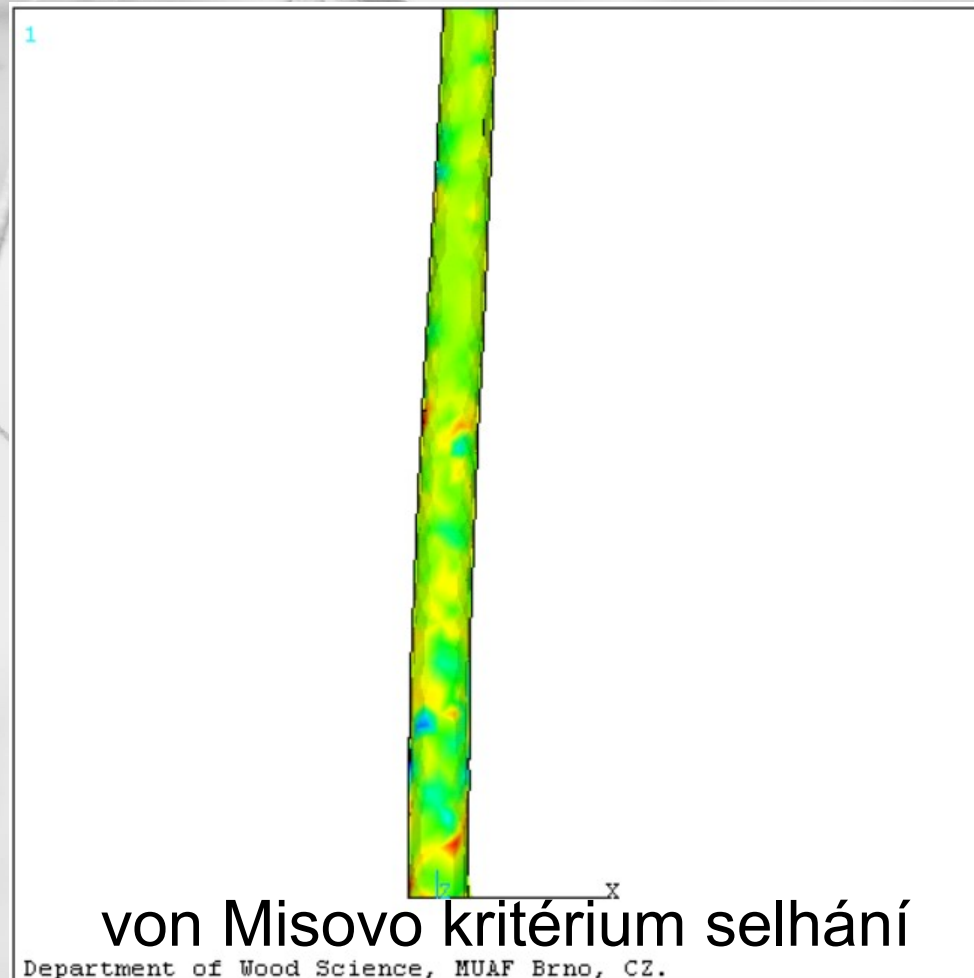
$$SF = \frac{\textit{pevnost}}{\textit{napětí}}$$

$$SF = \frac{\textit{limitní deformace}}{\textit{vznikající deformace}}$$

$$SF = \frac{\textit{maximální průhyb}}{\textit{aktuální průhyb} \dots}$$

... i složitá

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)]}$$





# Selhání stromu

- Zlom
- Vývrat
- Odlomení části







© Ing. Kateřina Nehybová







# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- Základní otázka
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- **Požadavky na metody**
- Principy a charakteristiky vybraných metod



# Požadavky na přístrojové metody

- Minimální destruktivita
- Co největší komplexnost měření
- Opakovatelnost
- Snadnost interpretace
- Rychlost měření
- Nízká cena
- Snadná manipulace
- ...



# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- Základní otázka
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- Požadavky na metody
- **Principy a charakteristiky vybraných metod**





# Principy základních metod - strukturální

- Zobrazují strukturu
  - Tomografie
    - akustická
    - elektrická impedanční
  - Radar
  - Další (rentgen)
- Penetrometrické přístroje
- Základní informace o distribuci materiálu
- Základní informace o jeho vlastnostech



# Strukturální metody



- Výhody
  - Jednoduché k prezentaci
  - Relativně nenáročné na obsluhu (AT, EIT)
  - Frekventované
- Nevýhody
  - Bez zátěžové analýzy hrozí chybná interpretace
  - Přílišná „zřejmost“
  - Na některých defektech vadné výsledky – principiálně
  - Nepřímá výpověď

# Principy základních metod - funkční

- Tahová zkouška
  - Zjištění pravděpodobnosti zlomení kmene
  - Zjištění pravděpodobnosti vývratu
- Funkční hodnocení stromu - odpovídá přímo na zadanou otázku
- Principem je zjištění reakce stromu na definované zatížení, jeho extrapolace na potenciální zatížení a porovnání s parametrem bezpečnosti.



# Funkční metody



- Výhody
  - Jednoznačná výpověď o funkci
  - Přímý vztah ke sledované problematice
- Nevýhody
  - Obtížnější interpretace
  - Vyšší nároky na odbornou úroveň obsluhy

# Stabilita



Přístrojové metody slouží ke stanovení mechanické stability stromu na základě měření objektivních parametrů geometrie stromu, kvality jeho dřeva. Pro vyhodnocení je nutný další parametr: potenciální zatížení stromu. Pouze z těchto tří informací lze poskládat kompletní informaci o pravděpodobnosti selhání.



# Metody hodnocení stability stromů

- Přímé (tahové zkoušky, Fractometer)
  - Měří přímo vlastnost dřeva, pevnost, tuhost.
  - Výsledek není odvozen z empirického vztahu
- Nepřímé (penetrografy, akustické metody)
  - Měří jinou, s vlastnostmi dřeva dobře korelovanou veličinu

# Metody hodnocení stability stromů

- Invazivní (pentrometry, Fractometer)
  - Způsobují rozsáhlá poškození stromu, narušují jeho obranné mechanismy
  - Měření nelze zopakovat na stejném místě
- Máloinvazivní (akustická a EI tomografie, tahová zkouška)
  - Způsobují poranění malého rozsahu, měření je opakovatelné na stejném místě
- Neinvazivní (termovize, radar?, rentgen?)
  - Nezpůsobují žádné poškození pletiv stromu

# Metody hodnocení stability stromů

- Bodové (penetrometry, Fractometer, některé akustické - ADD)
  - Měří pouze v bodě (linii)
- Profilové (akust. tomografie, radar, tomograf)
  - Měří v ploše
- Komplexní (tahová zkouška, akustická tomografie, termovize)
  - Měří část stromu nebo celý strom



# Poškození kořenového systému

- Tahová zkouška stanovuje přímo tuhost kořenového systému, tedy vlastnost fyzikálně nejbližší pevnosti KS.
- Metody založené na lokalizaci kořenů nemusí podávat informaci dostatečnou pro zhodnocení stability
- Akustická tomografie kmene může nepřímo ukázat na poškození KS

# Poškození kmene

- Akustická (a jiná) tomografie zobrazuje rozsah defektu
- Tahová zkouška ukazuje pravděpodobnost zlomu kmene pomocí bezpečnostního koeficientu

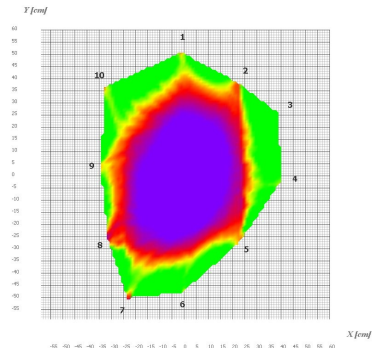
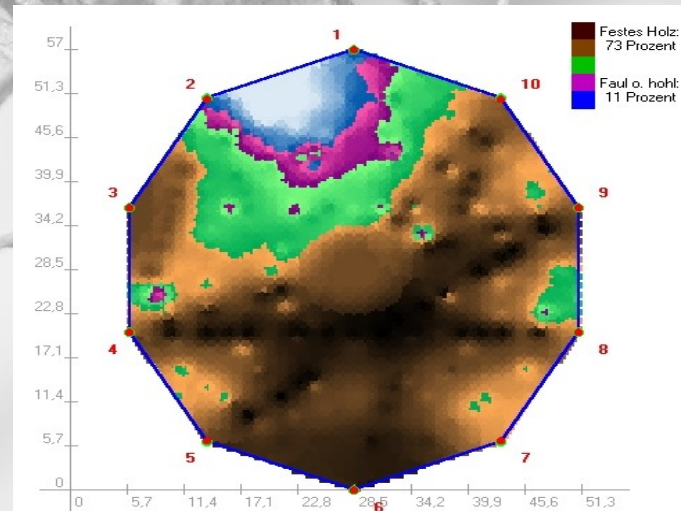
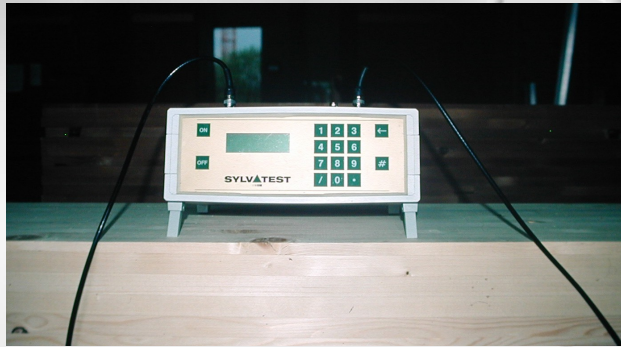
# Defekty větvení

- Akustická tomografie
- Tahová zkouška z principu nemůže stanovit bezpečnost větvení.
- Penetrometrická měření





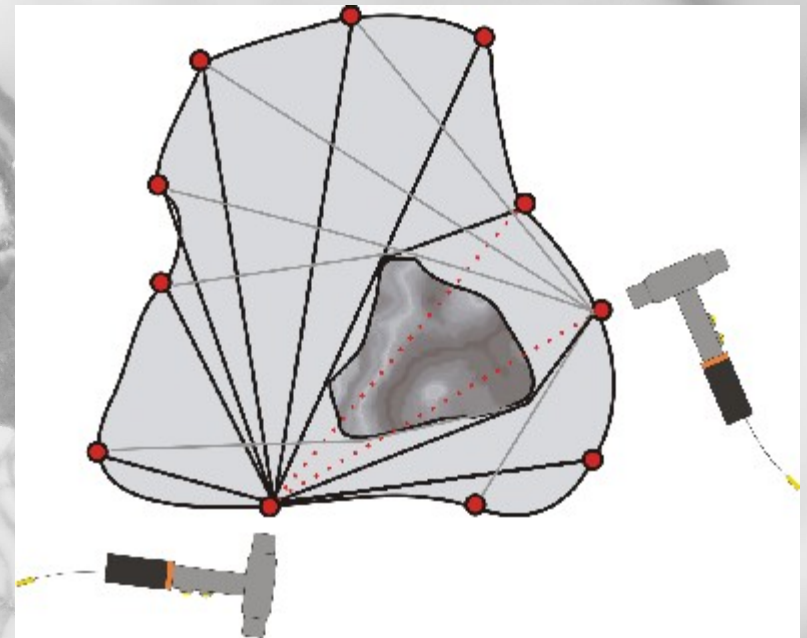
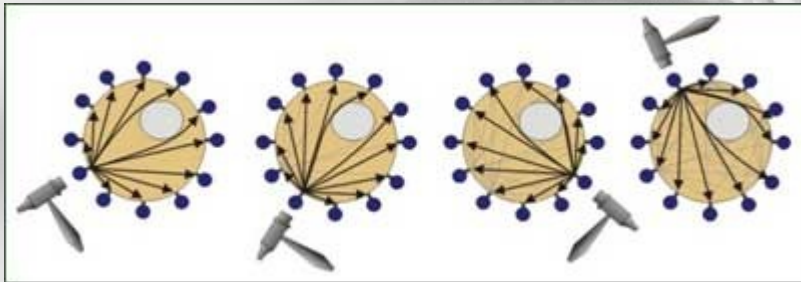
# Akustické přístroje



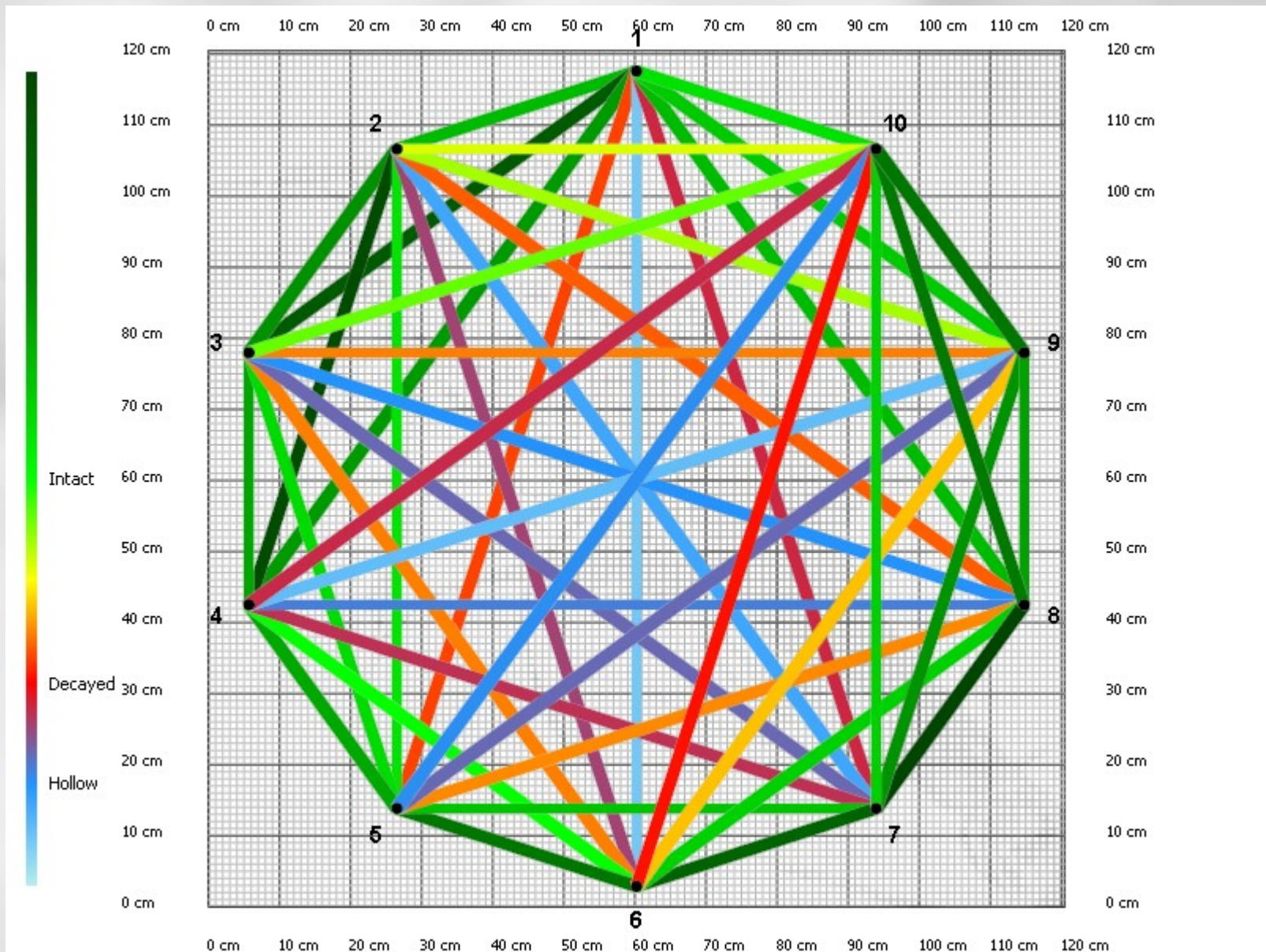
# Akustické přístroje

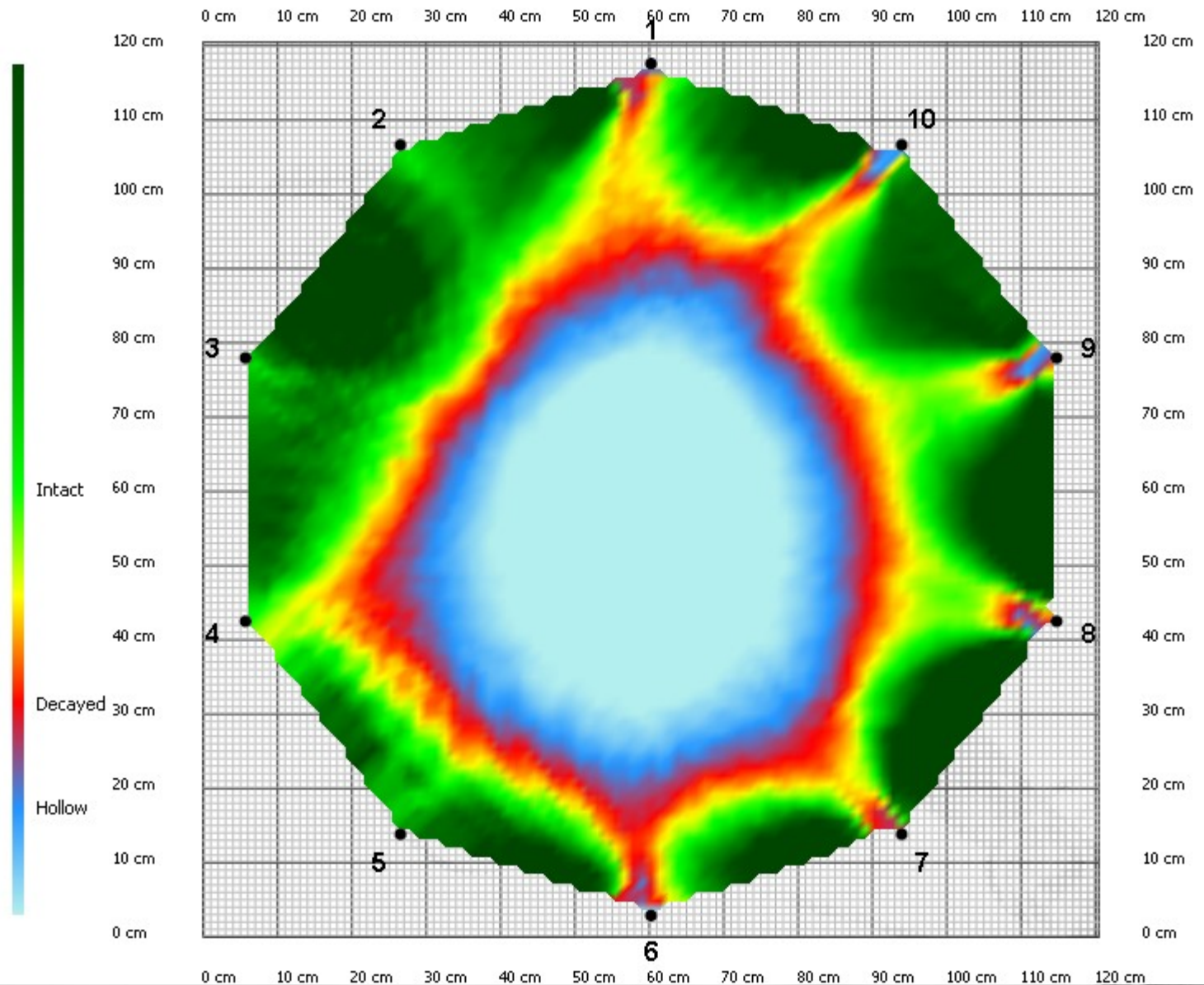
- Principem je zjišťování rychlosti průchodu akustického signálu materiálem
- Rychlost signálu je přímo úměrná tuhosti a nepřímo úměrná hustotě materiálu
- Rychlost je snížena pokud:
  - Je v cestě signálu necelistvost (musí ji obejít)
  - Vlastnosti materiálu (dřeva) jsou rozkladem zhoršeny (snížení tuhosti)

# Akustická tomografie







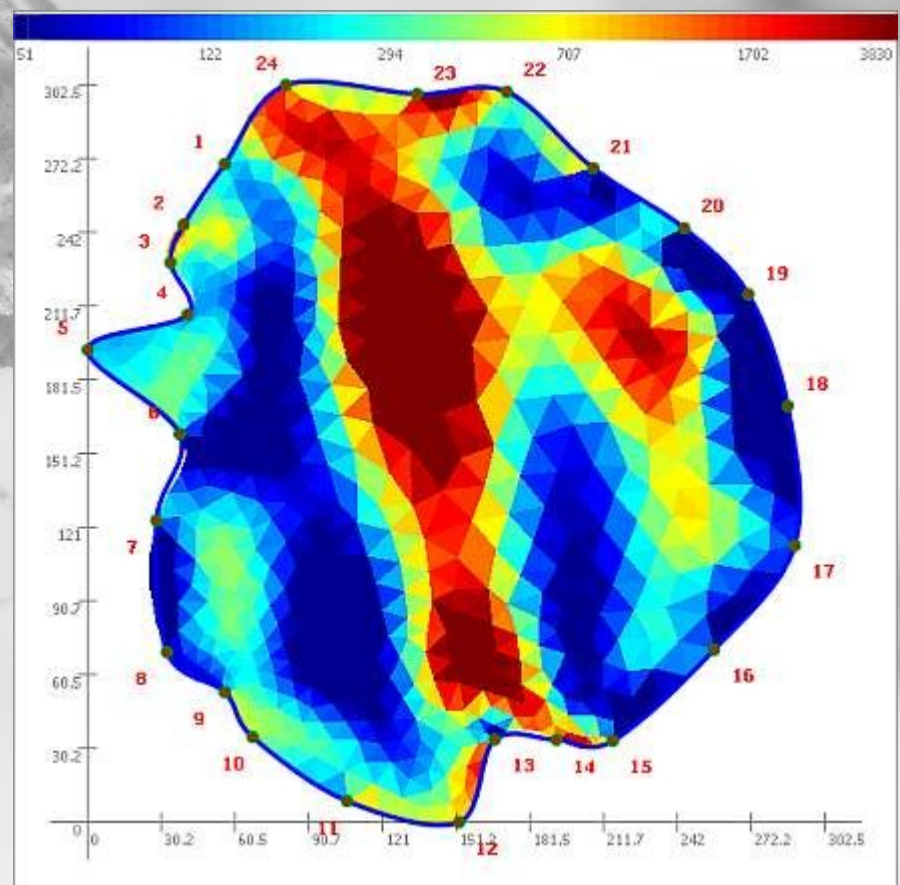
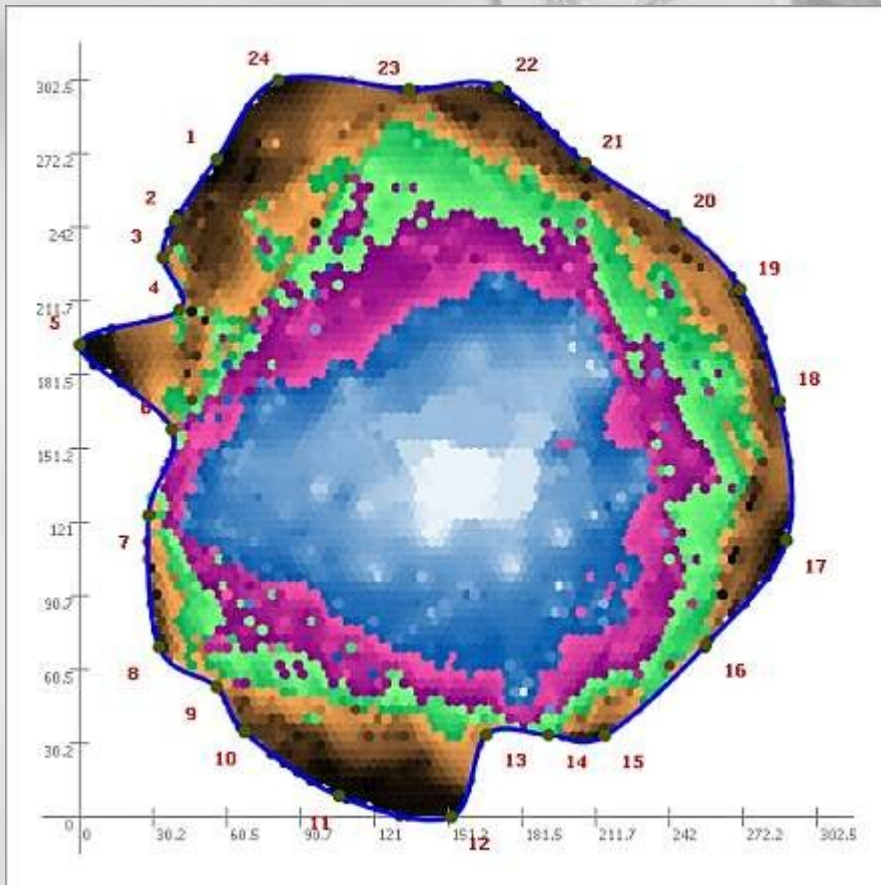
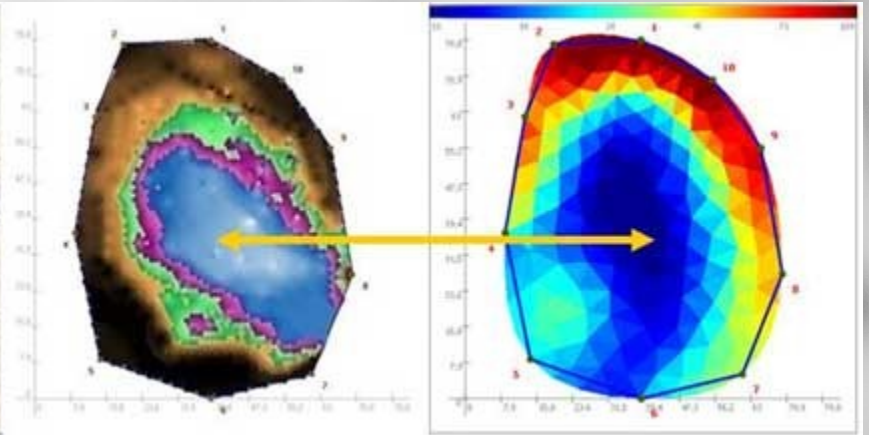




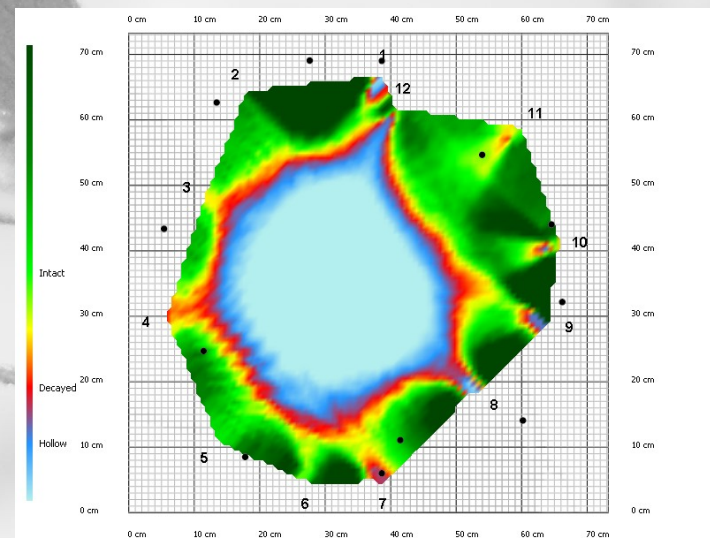
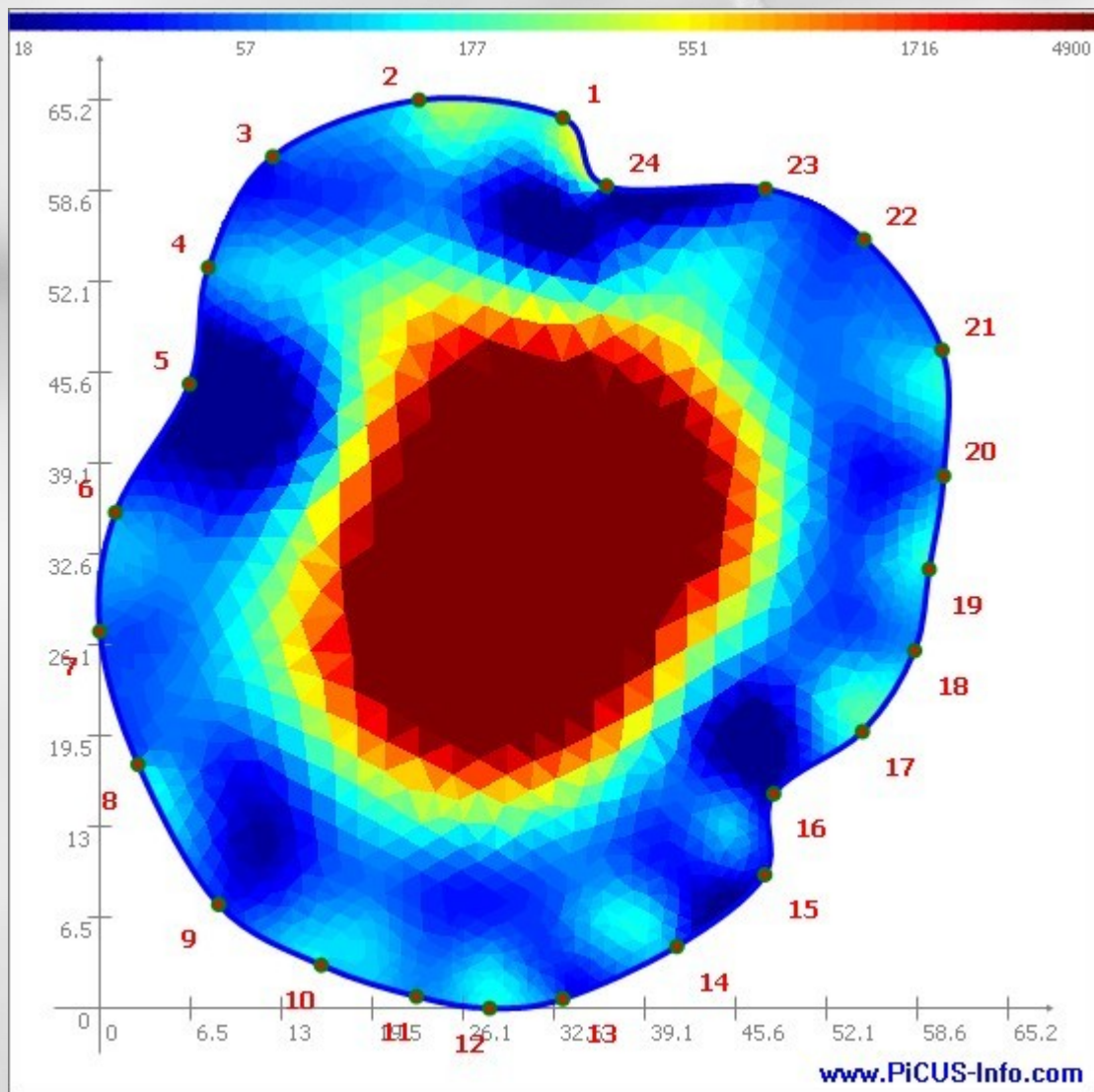




# EIT

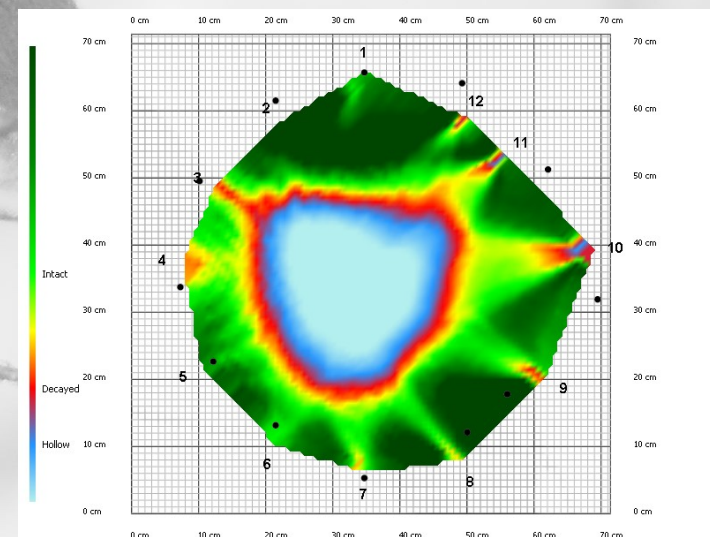
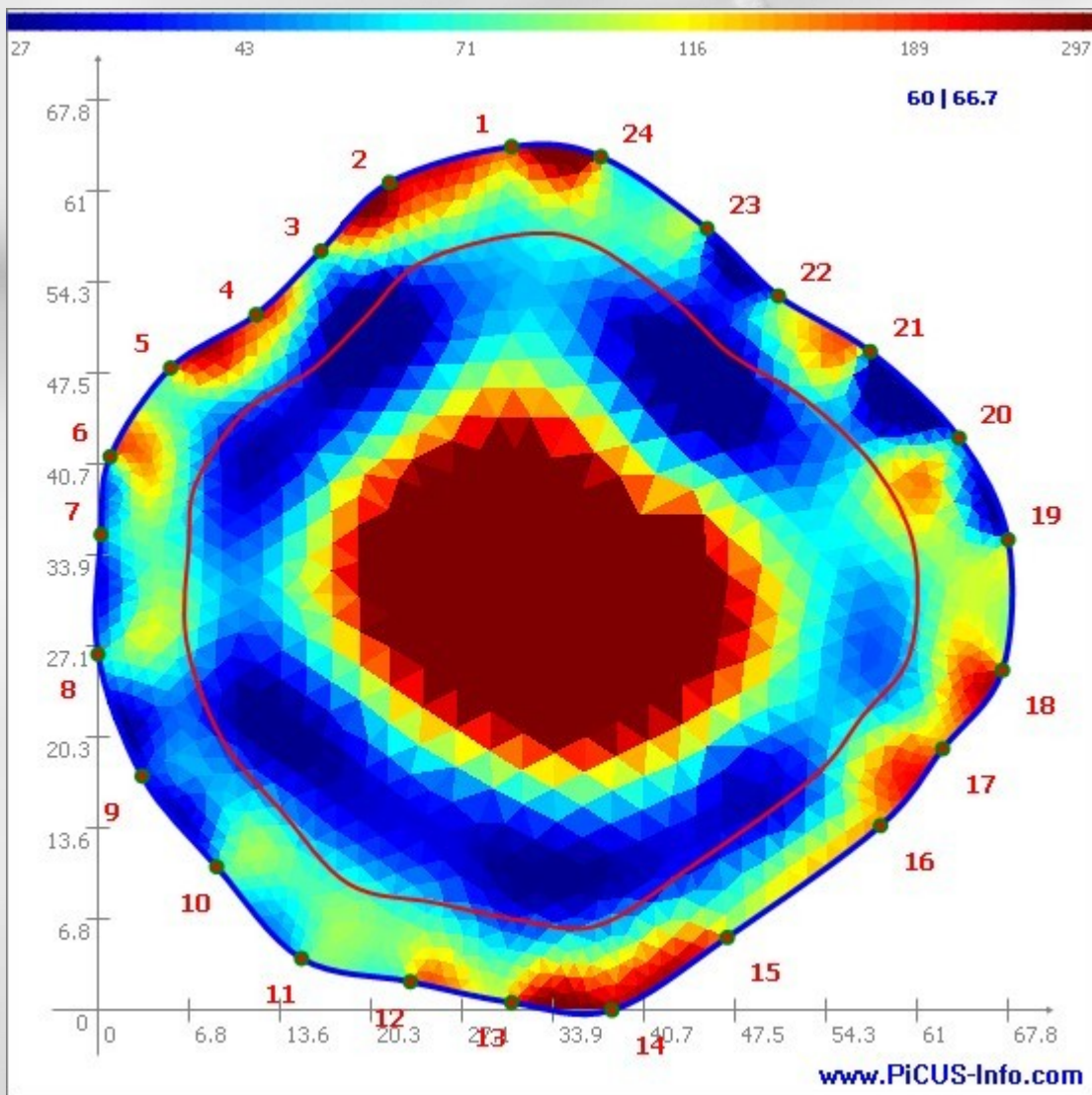


# EIT - 0,4 m





# EIT - 1,5 m

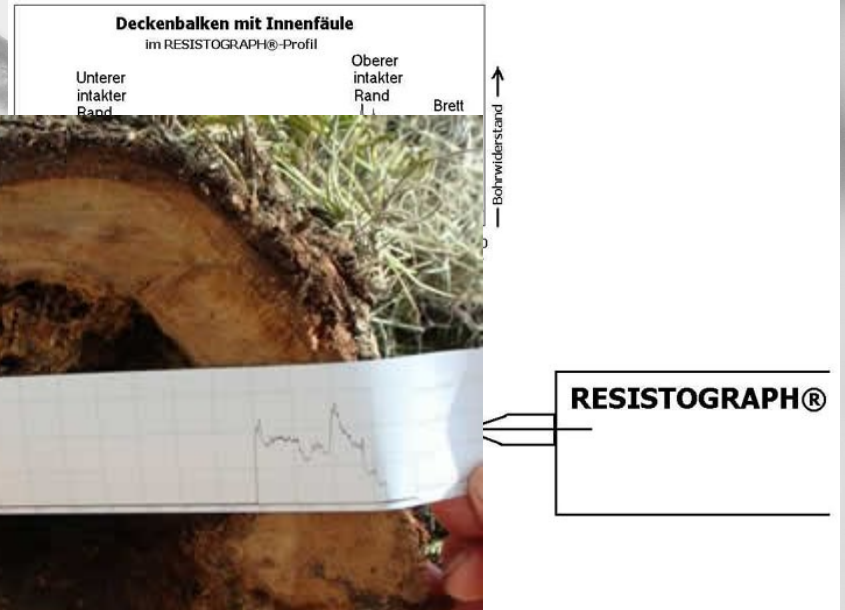
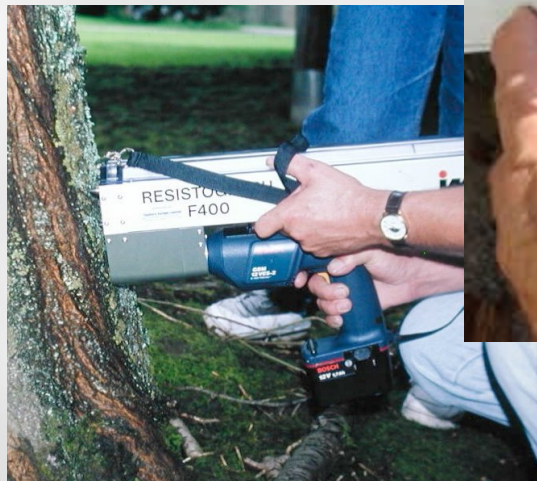




# Elektrická impedanční tomografie - aplikace

- Upřesnění výskytu dutin a vnitřních defektů
- Možná aplikace pro průzkum fyziologických vlastností dřeviny

# Penetrografy



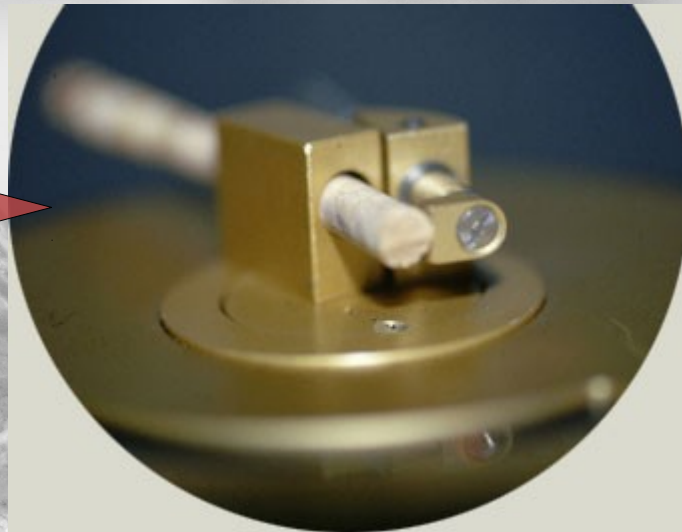


# Penetrografy





# Penetrografy



# Fractometer 2





# Tahové zkoušky - postup



- Tři kroky
  - Měření
  - Zátěžová analýza
  - Přepočet a hodnocení

Zátěžová analýza slouží k zjištění potenciálního zatížení stromu při zvolených podmínkách (u nás 12 ° Beauforta, 33 m/s)



# Tahové zkoušky - postup



Měří se:

- síla,
- deformace dřeva kmene,
- náklon báze stromu

Výsledkem je:

- pravděpodobnost zlomu kmene
- pravděpodobnost vývratu

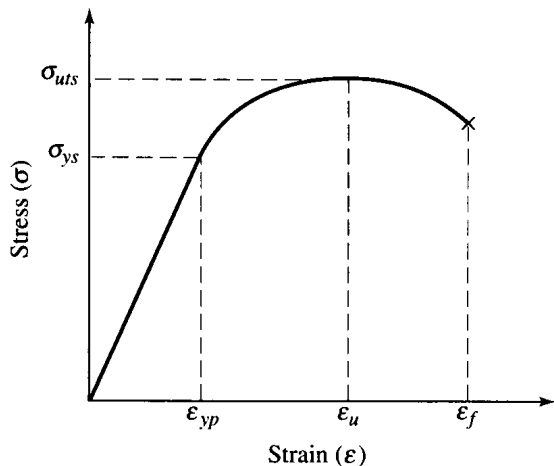
# Tahové zkoušky - zlom



Měří se:

- síla,
- deformace kmene,

Je vypočtena poměrná deformace, která je po extrapolaci porovnávána s tzv. deformací na mezi úměrnosti dřeva. Mez úměrnosti je zatížení, kdy dochází ke vzniku prvních plastických deformací. Od tohoto bodu je dřevo považováno za poškozené.





# Tahové zkoušky - vývrat

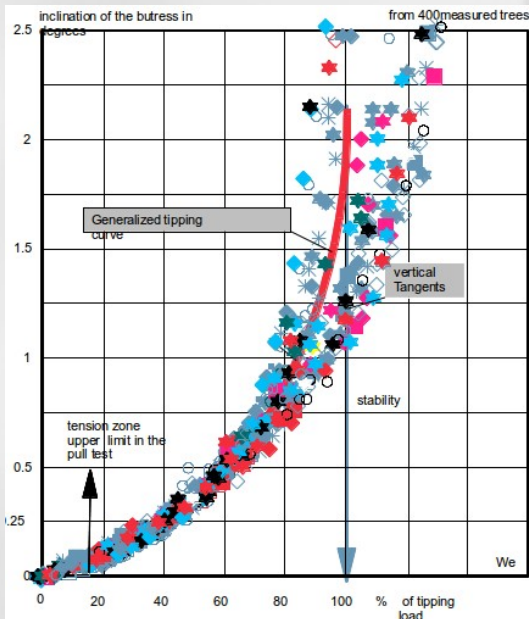


Měří se:

- síla,
- náklon báze stromu

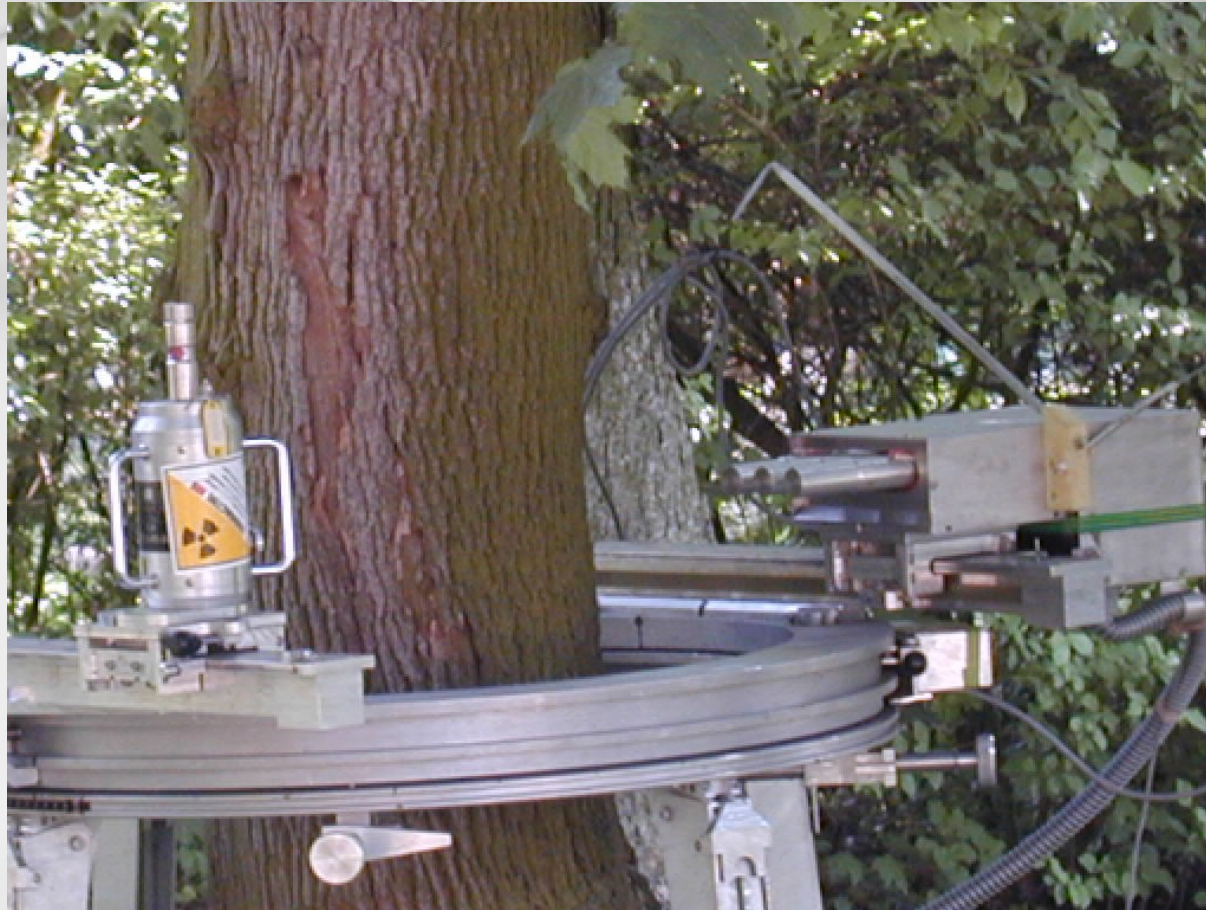
Základní teorie, zpracovaná dr.

Wessolym na základě empirických dat tvrdí, že podle reakce při určitém malém zatížení, definovaném ale náklonem, lze vypočítat náklon při potenciálním zatížení a ten pak komparovat s experimentálně zjištěnou nelineární funkcí, popisující průběh vyvrácení stromu, která má, dle autora, obecnou platnost.

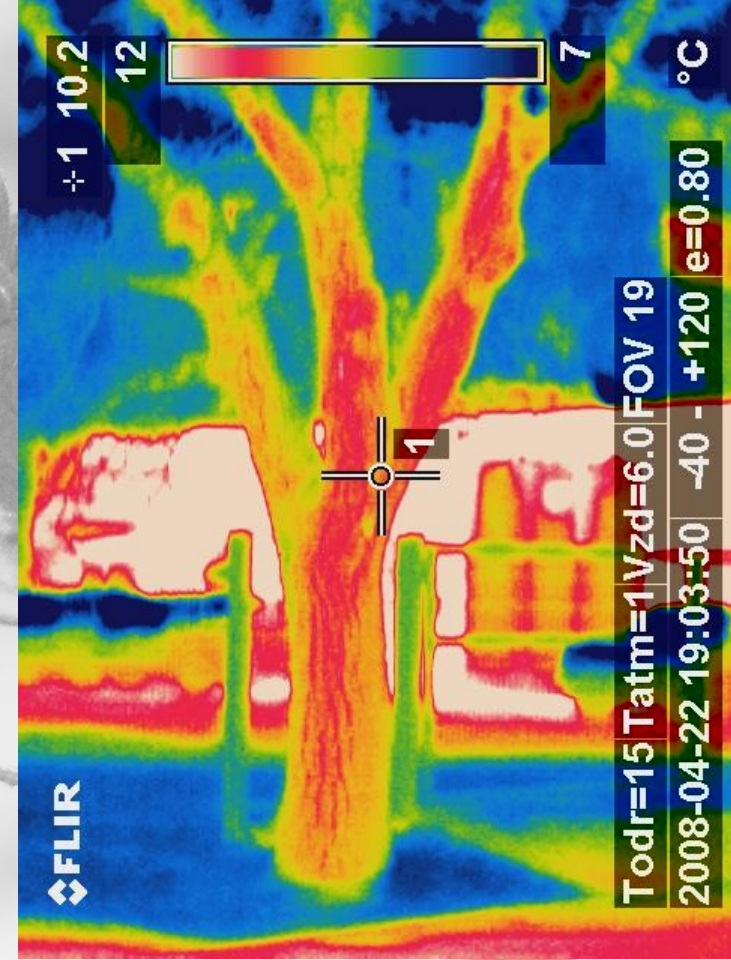




# Další metody - rentgen

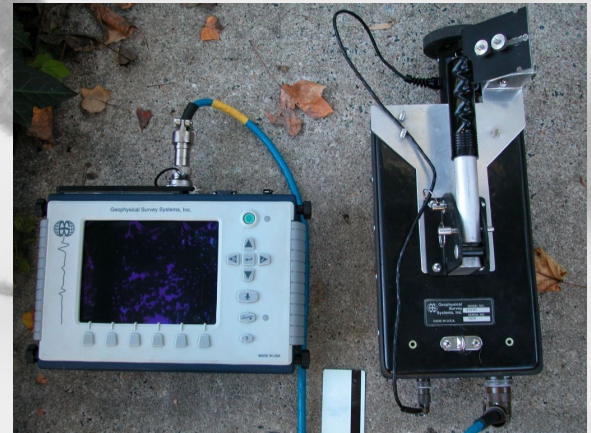


# Další metody - termovize





# Další metody - radar





# Další metody - radar

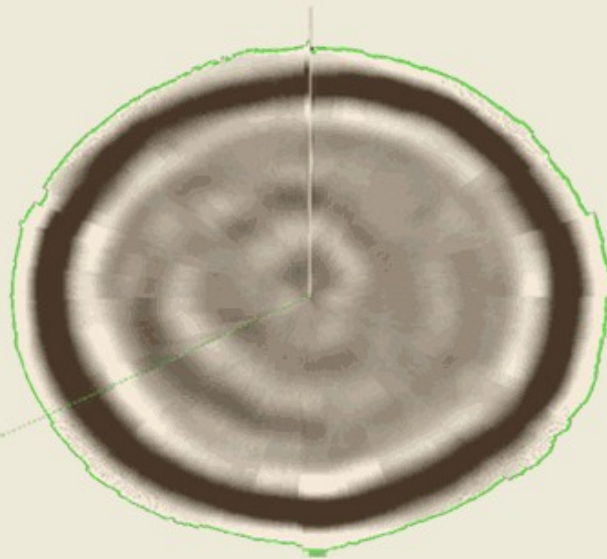
THE UNIVERSITY OF MARYLAND  
ARBORETUM AND BOTANICAL GARDEN



Tree 830  
4' Sawcut

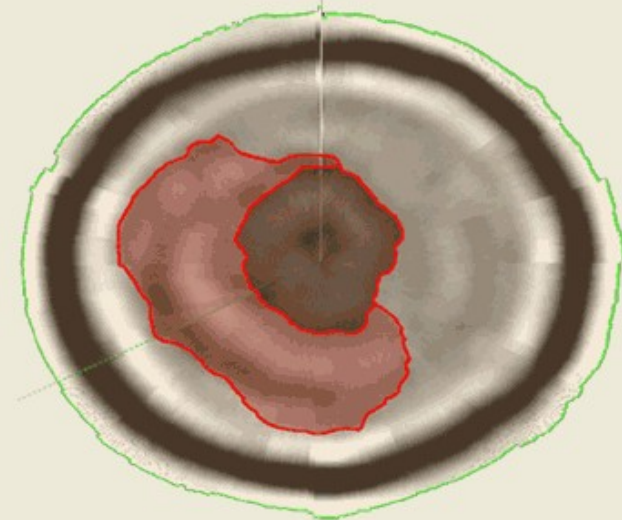
**Decay Detection 1**

THE UNIVERSITY OF MARYLAND  
ARBORETUM AND BOTANICAL GARDEN



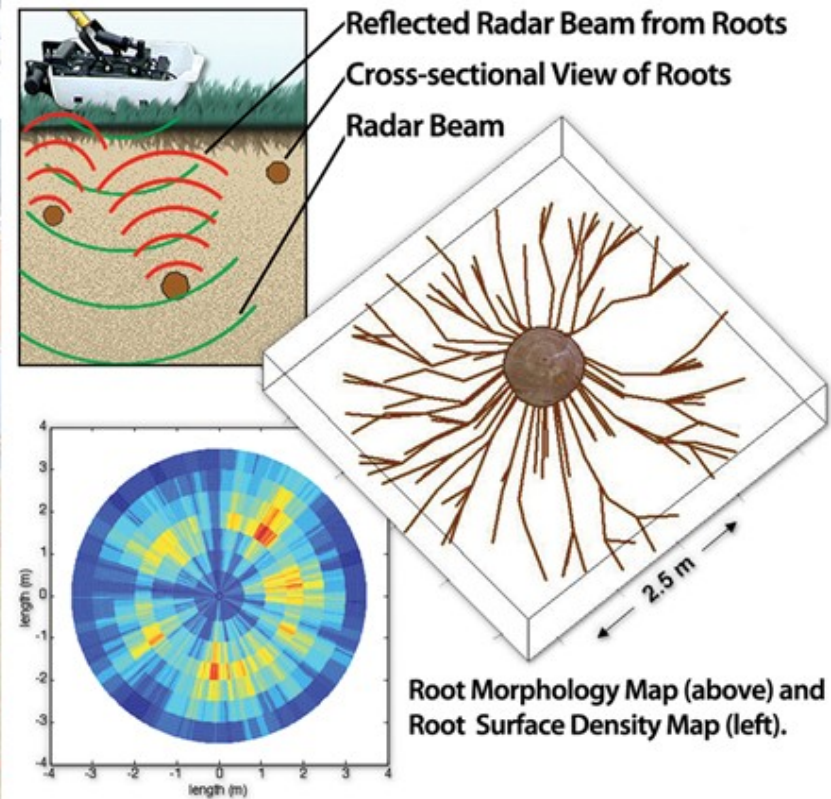
**Grayscale**

THE UNIVERSITY OF MARYLAND  
ARBORETUM AND BOTANICAL GARDEN



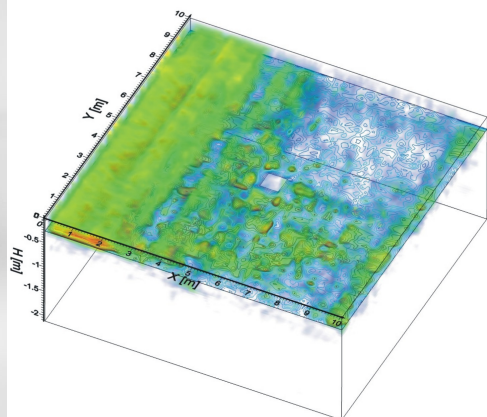
**Decay Detection Outline**

# Radar - detekce kořenů

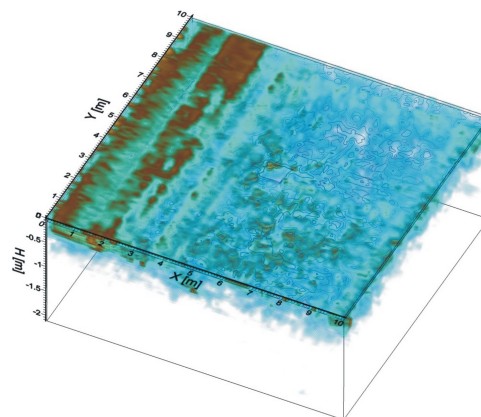




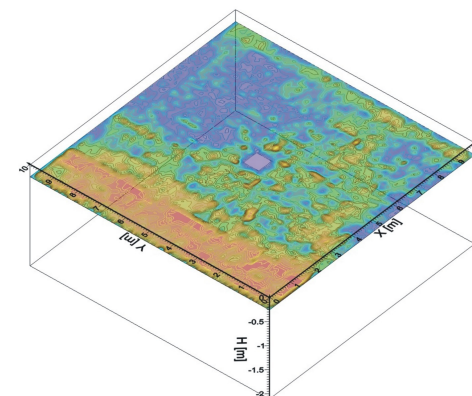
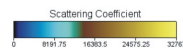
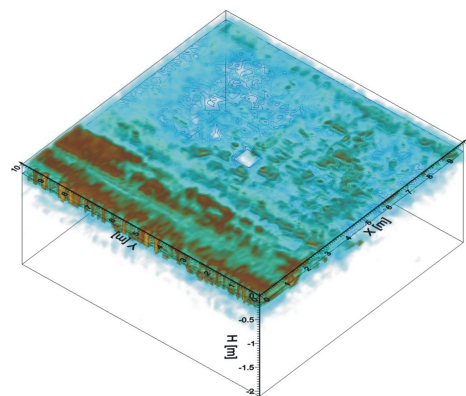
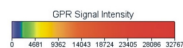
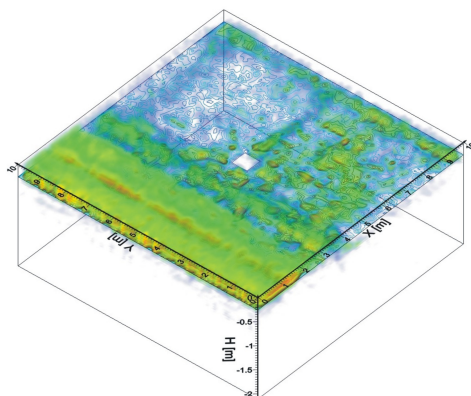
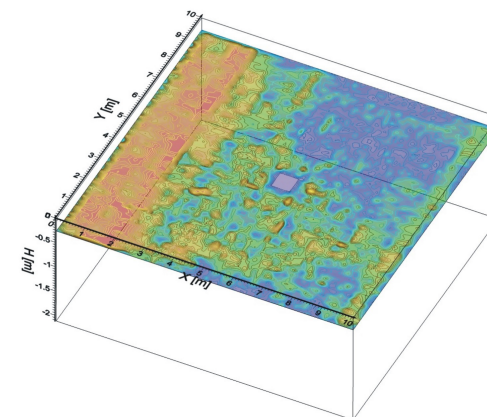
Rozložení sumární intenzity georadarového signálu



Rozložení koeficientu rozptylu georadarového signálu

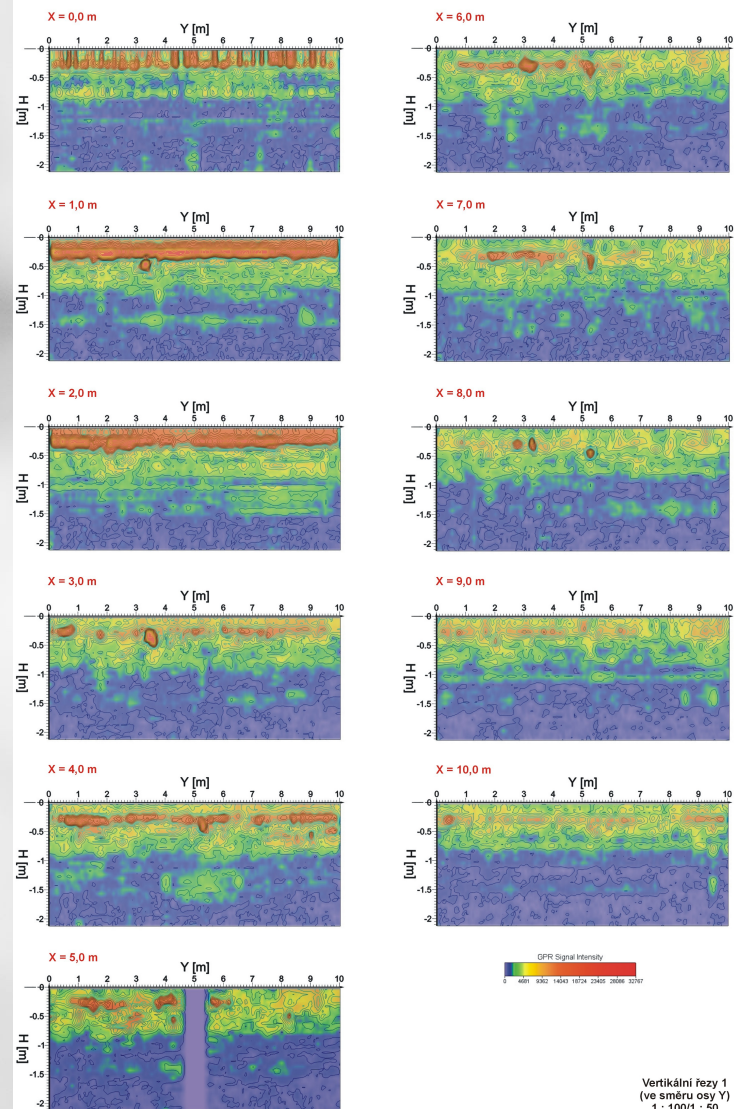


Řez v horizontální rovině

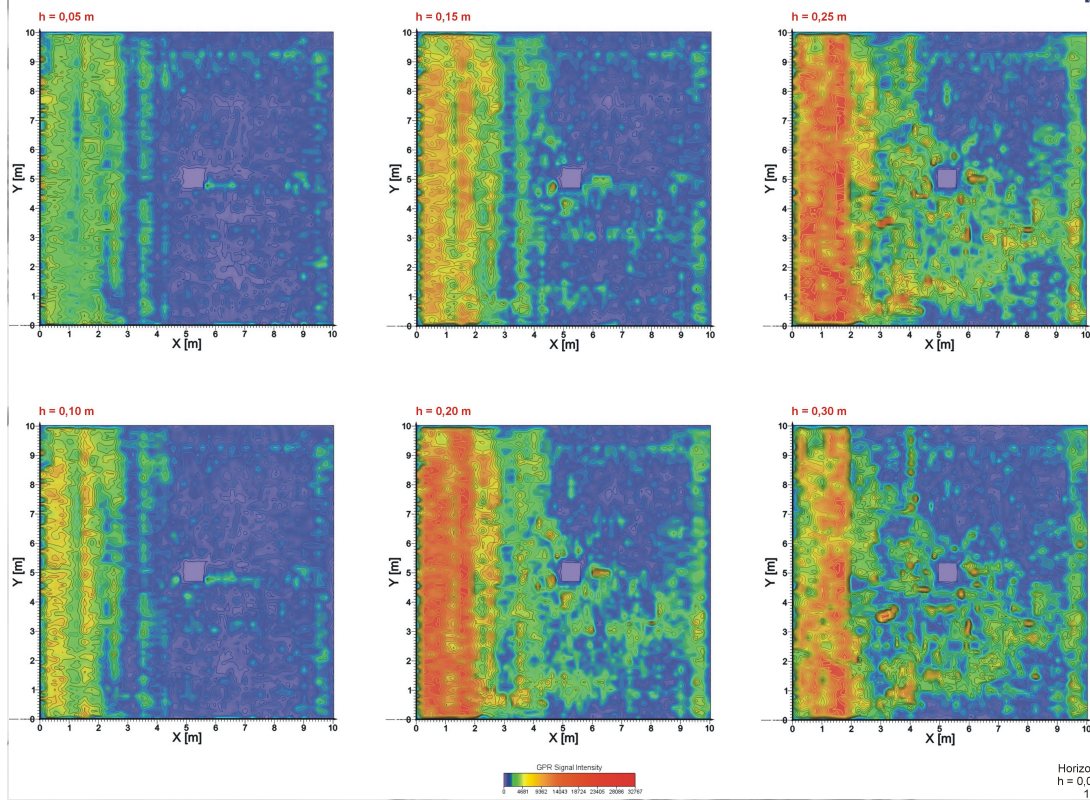




SOLEI CONSULT & SERVICE



SOLEI CONSULT & SERVICE



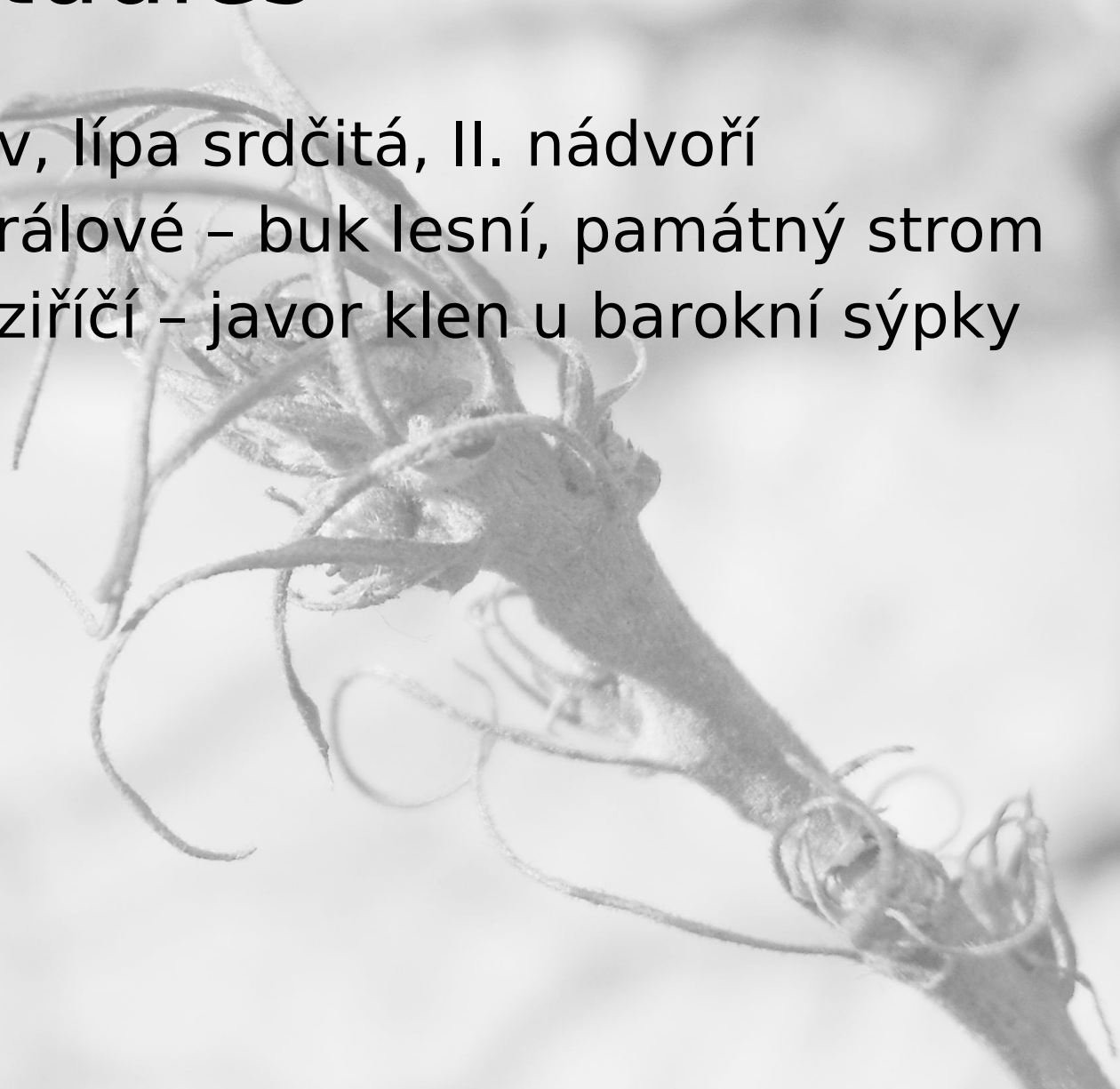


# Případové studie



# Case studies

- Č.Krumlov, lípa srdčitá, II. nádvoří
- Hradec Králové – buk lesní, památný strom
- Velké Meziříčí – javor klen u barokní sýpky

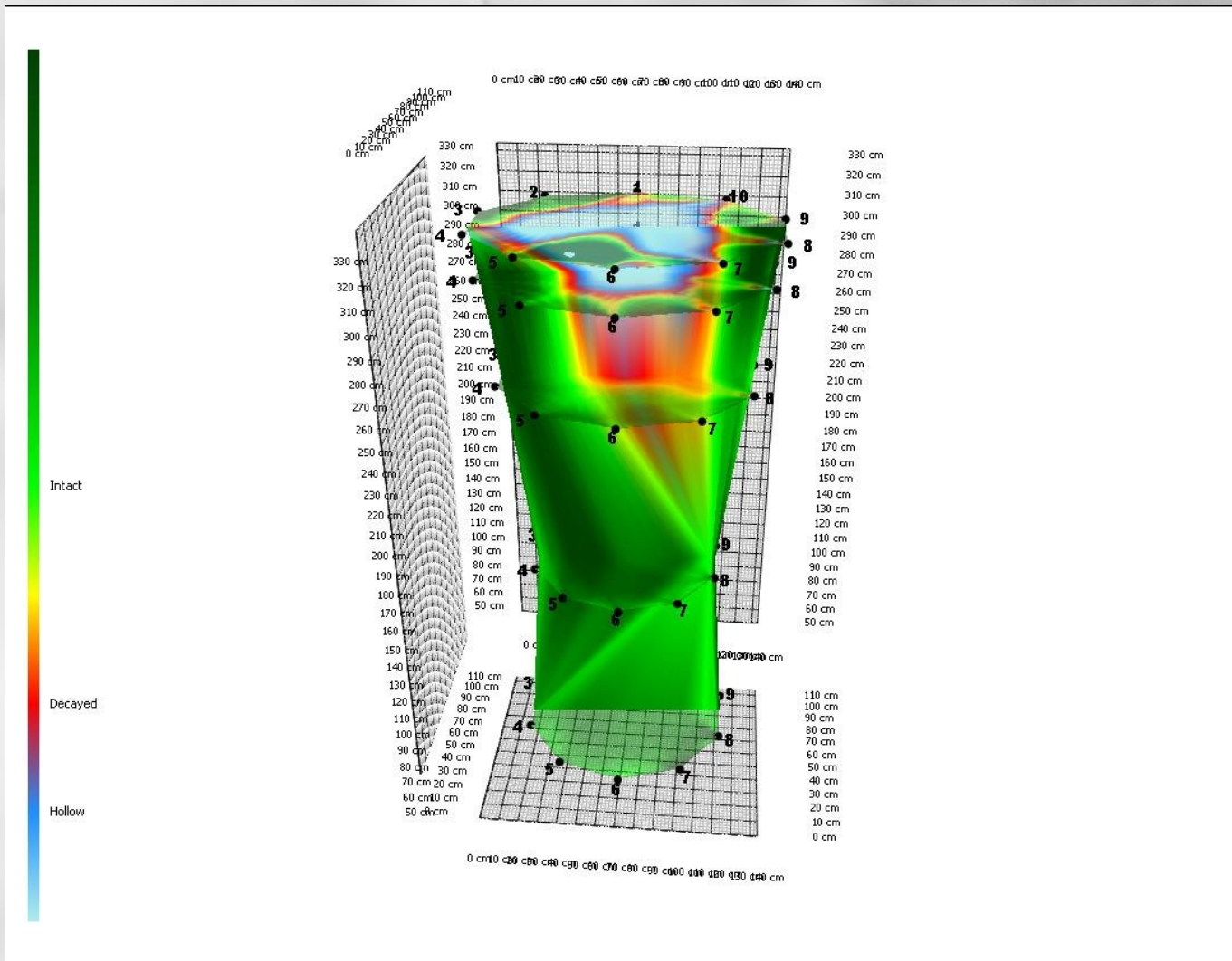




# Český Krumlov

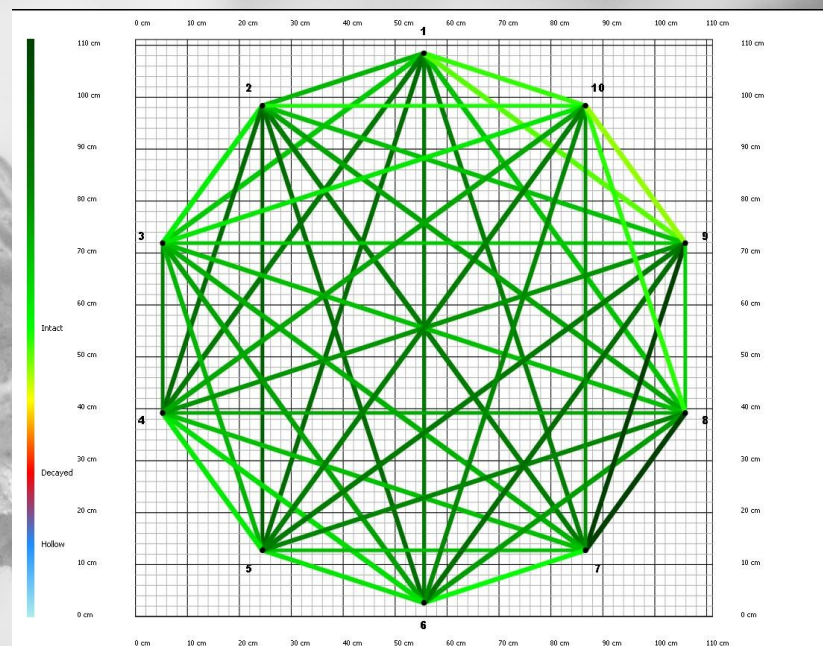
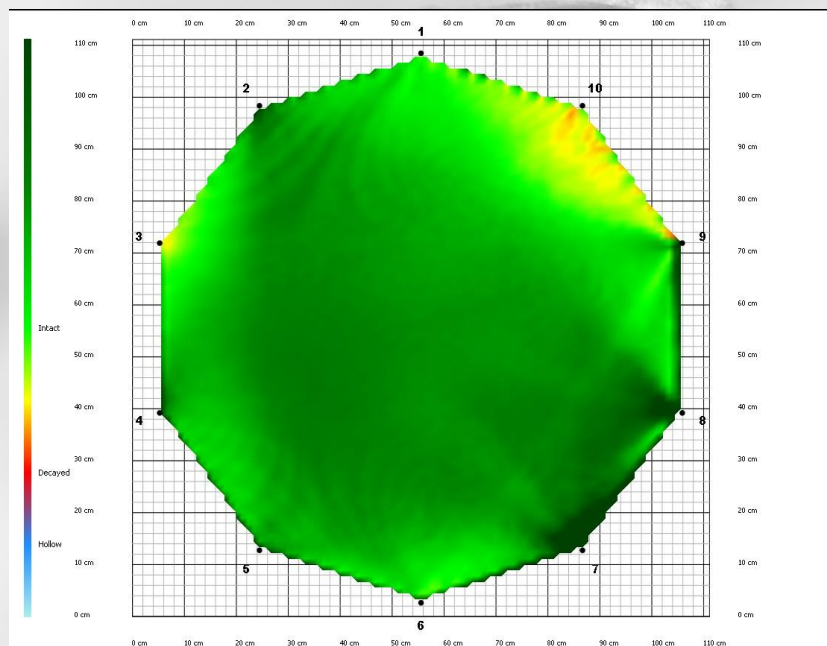


# Český Krumlov





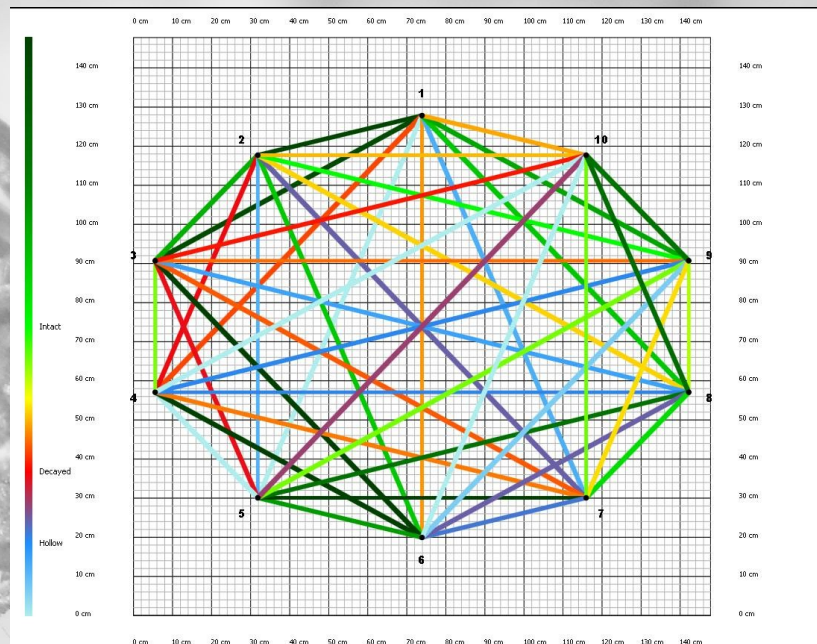
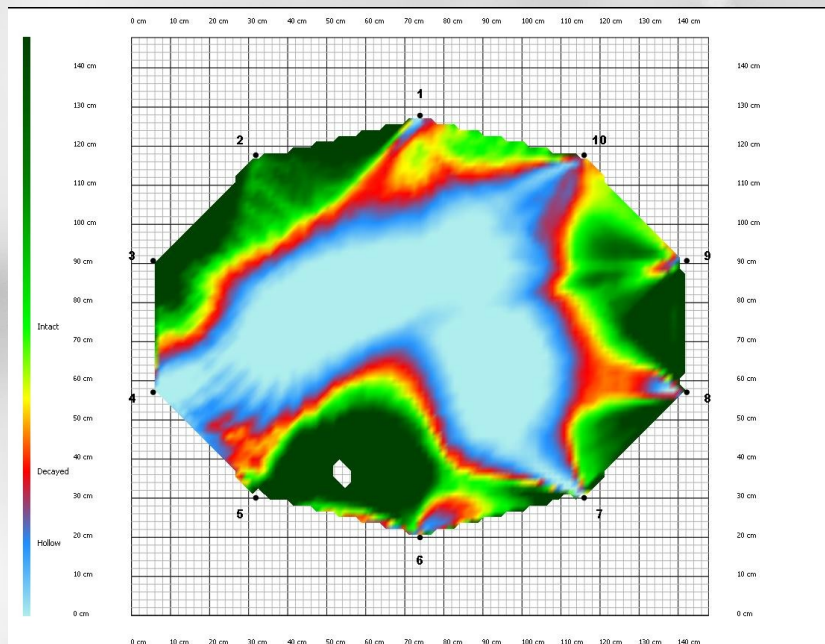
# Český Krumlov



Báze kmene stromu bez významných poškození. Síťový diagram umožňuje identifikovat hlavní směry nespojitostí průřezu, na jeho základě je vytvořen obrázek průřezu kmene

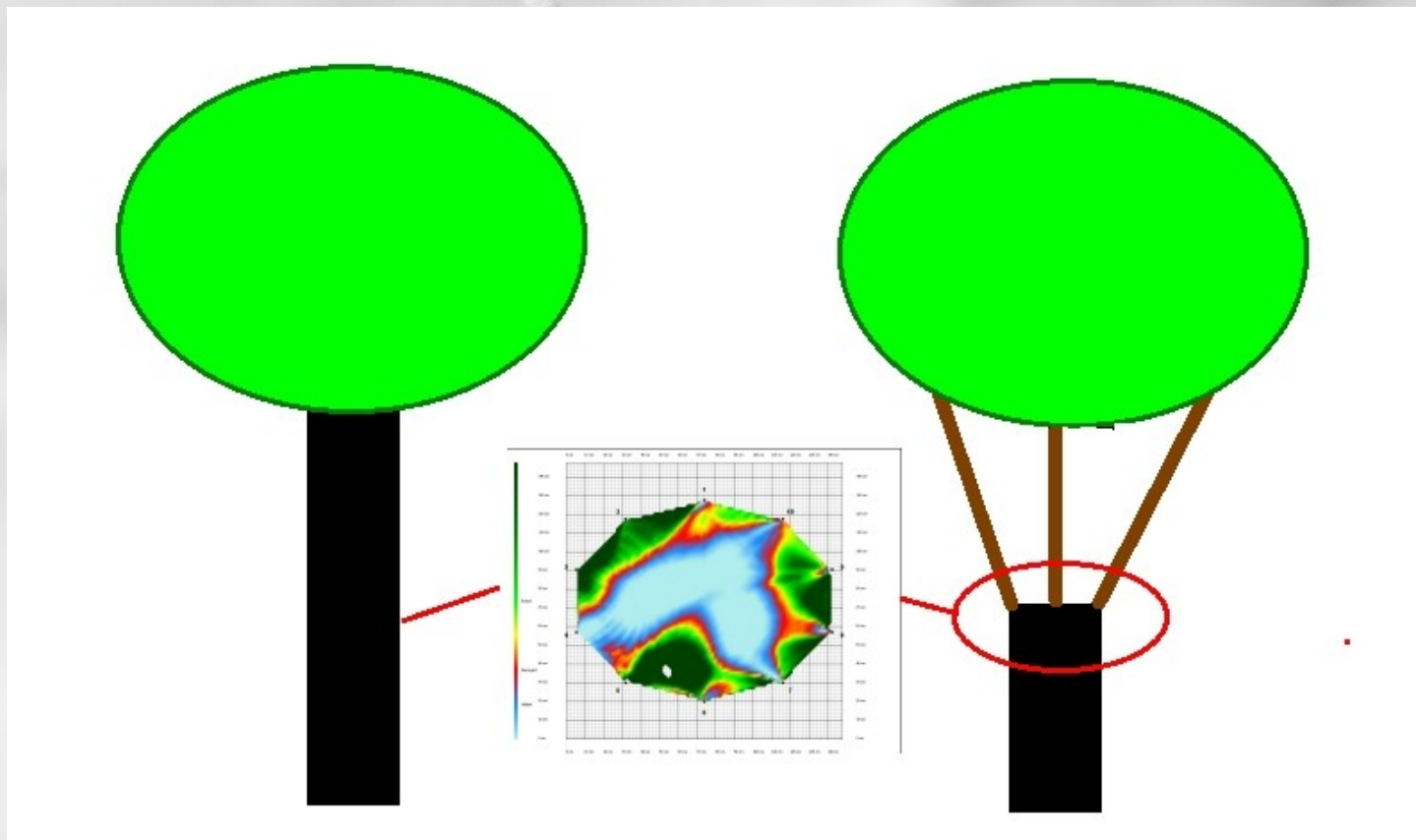


# Český Krumlov



Hlavní větvení s rozsáhlým poškozením. Model předpokládající průběžný kmen udává bezpečnost přes 1000 %. Při správné mechanické interpretaci je nutné průřez uznat jako rizikový.

# Český Krumlov





# Hradec Králové







*Meripilus giganteus*

*Tyromyces fissilis*  
(bělochoroš  
jabloňový)

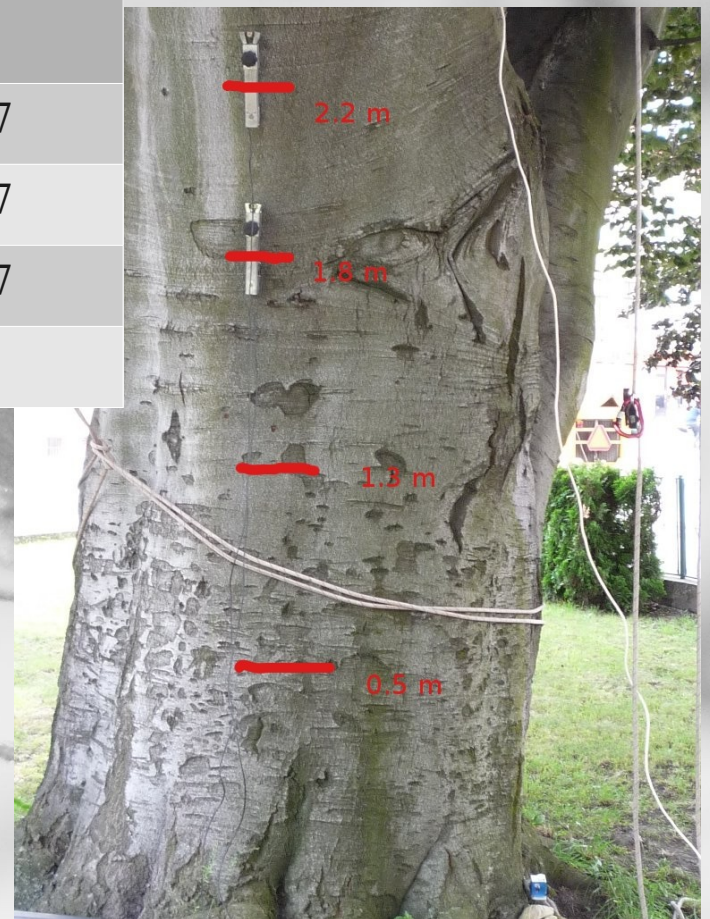




# Hradec Králové 2009

Pozice	Průměr (bez borky) [cm]	Bezpečnost proti zlomu kmene [%]	Bezpečnost proti vývratu [%]
0,5 m	158	722	76/87
1,3 m	127	-	76/87
1,8 m	127	831	76/87

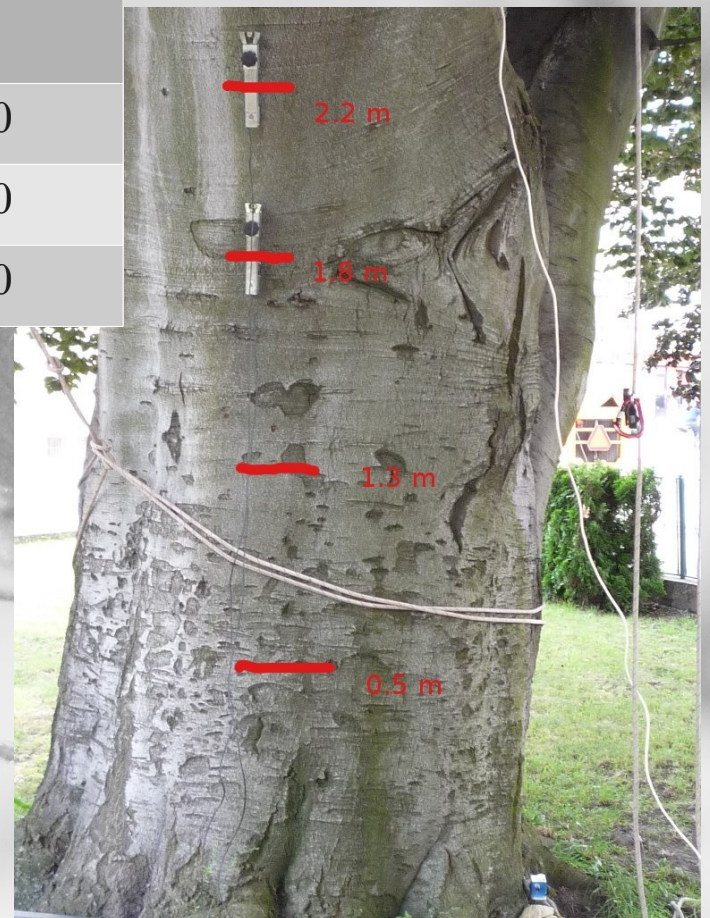
Stav před redukcí  
výška stromu = 26 m



# Hradec Králové 2011

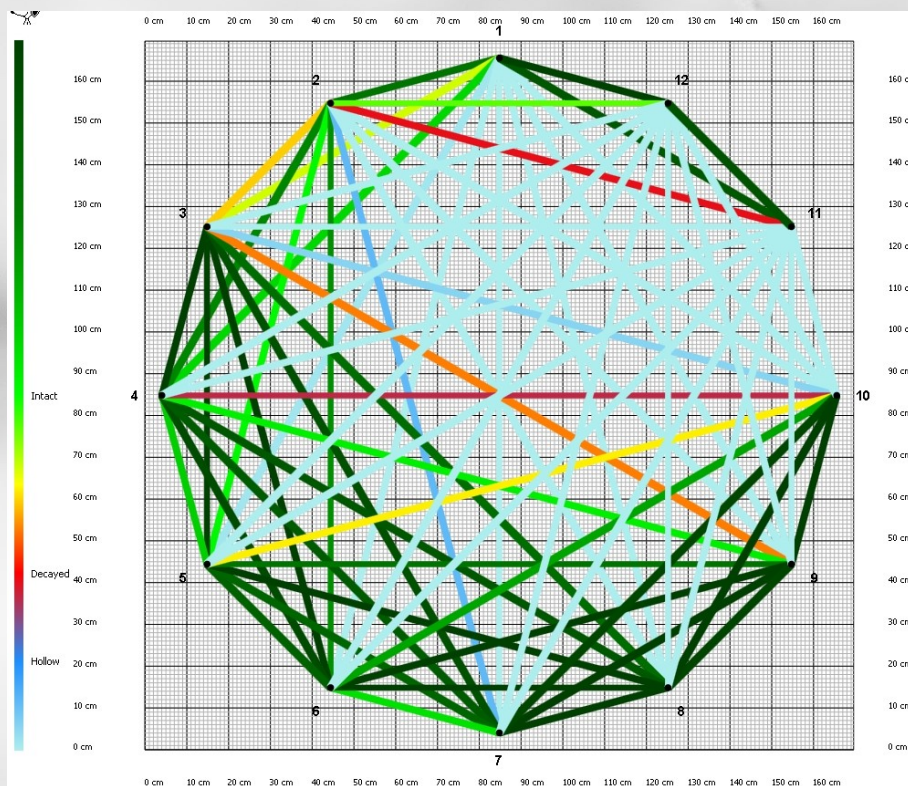
Pozice	Průměr (bez borky) [cm]	Bezpečnost proti zlomu kmene [%]	Bezpečnost proti vývratu [%]
0,5 m	158	197	61/90
1,3 m	127	281	61/90
2,0 m	127	261	61/90

Stav po redukci (!)  
M = 323 kNm (jiný profil),  
plocha koruny 262 m<sup>2</sup>  
výška stromu = 21 m

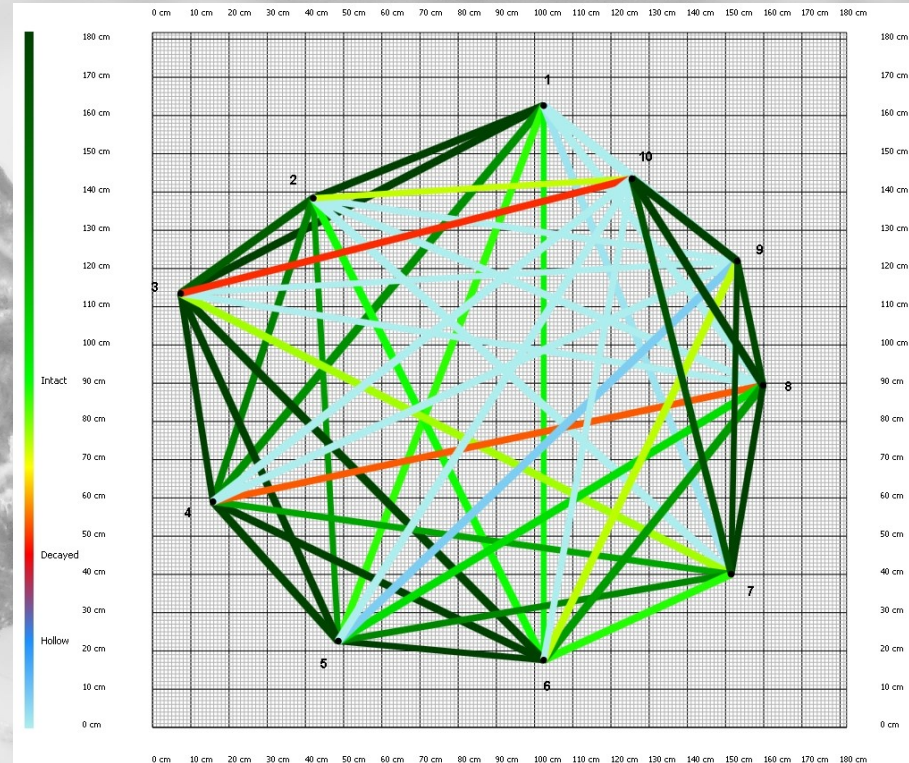
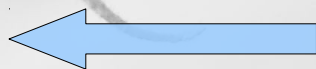




# Hradec Králové 0,2 m

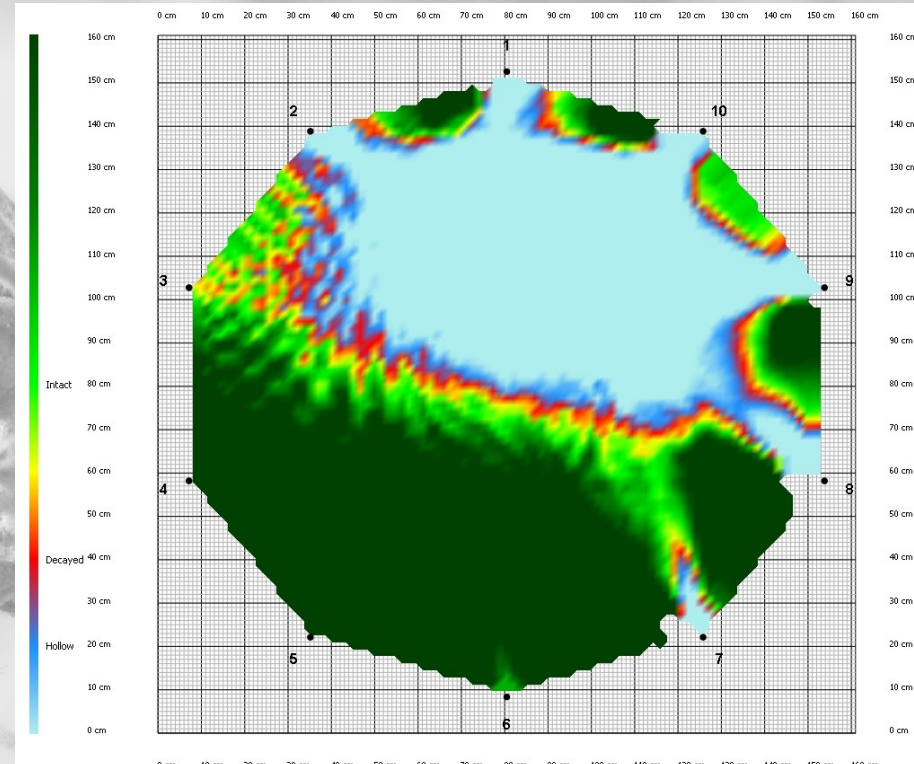
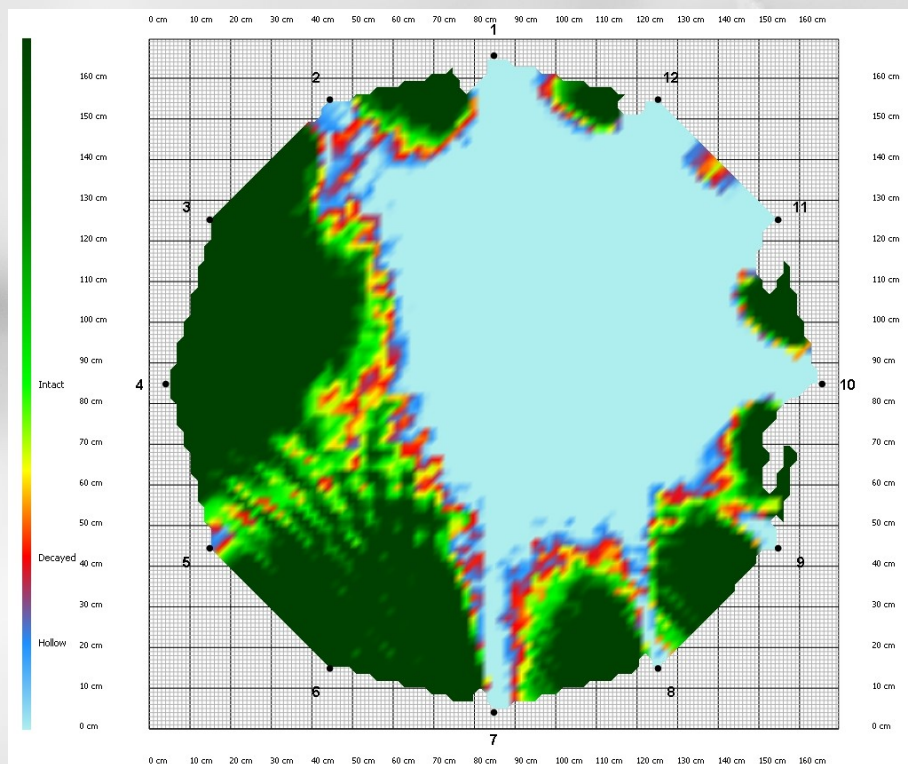


2011

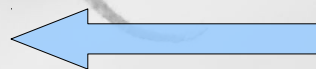


2009

# Hradec Králové 0,2 m



2011

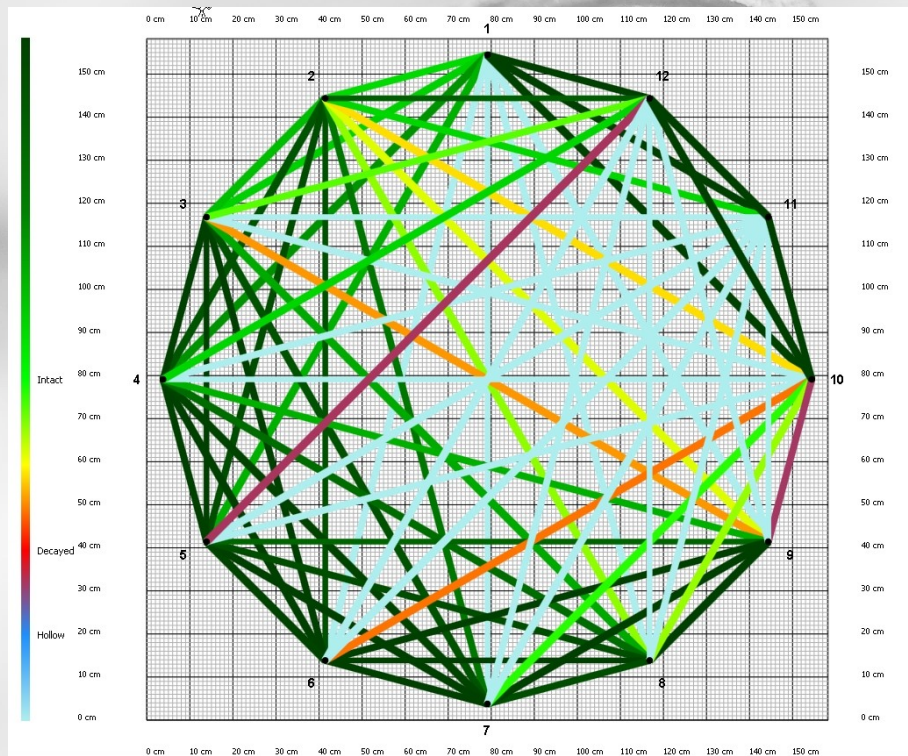


2009

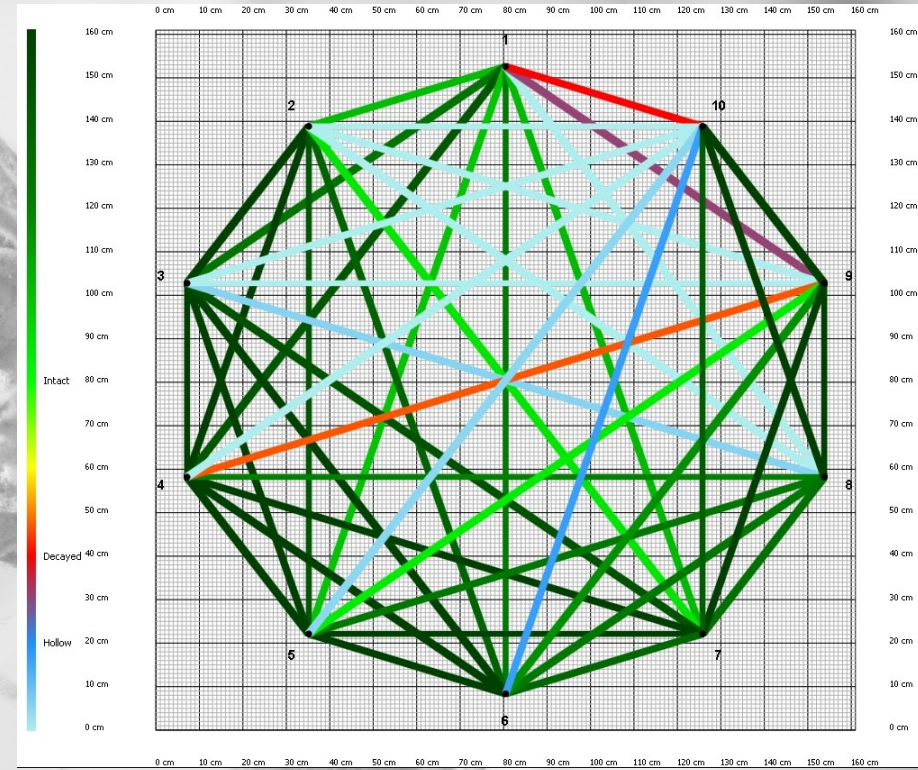
Zvětšení zasažené plochy o 12 %



# Hradec Králové 0,5 m

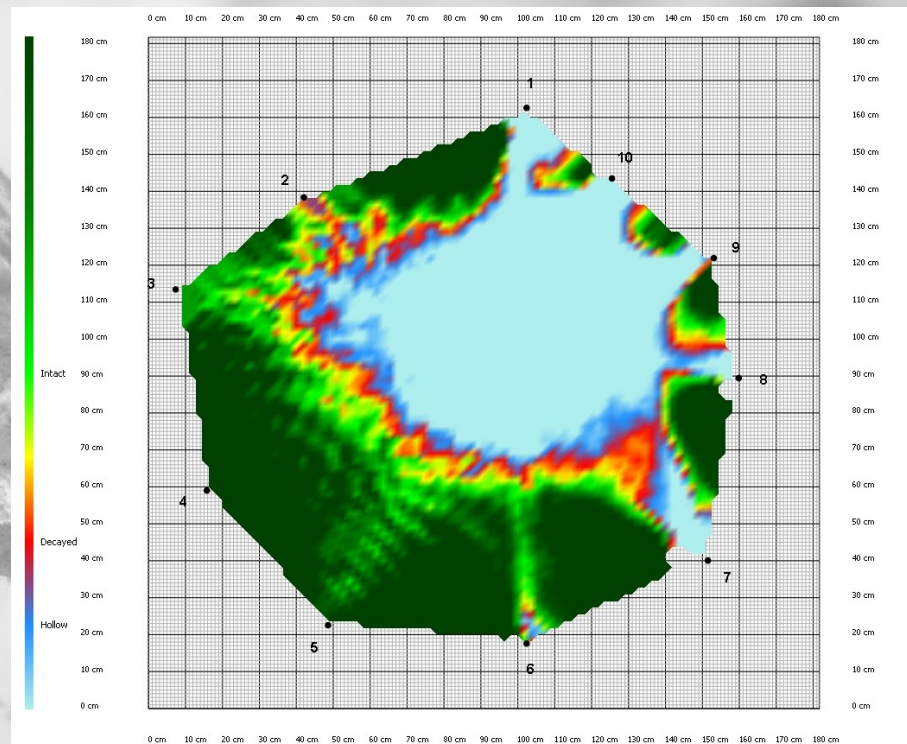
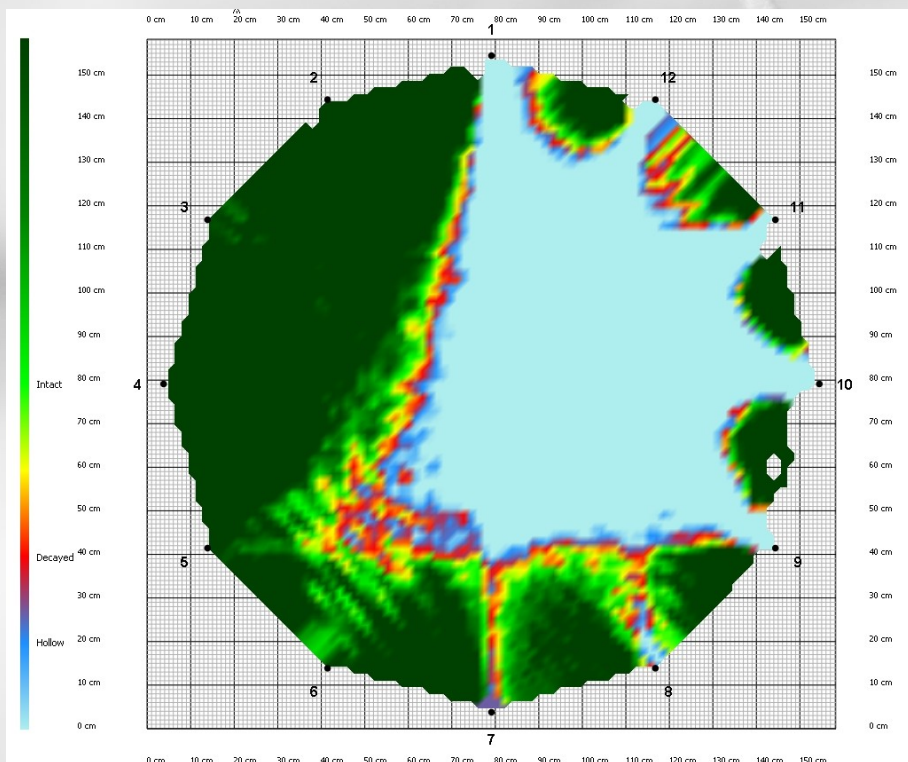


2011

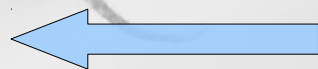


2009

# Hradec Králové 0,5 m



2011

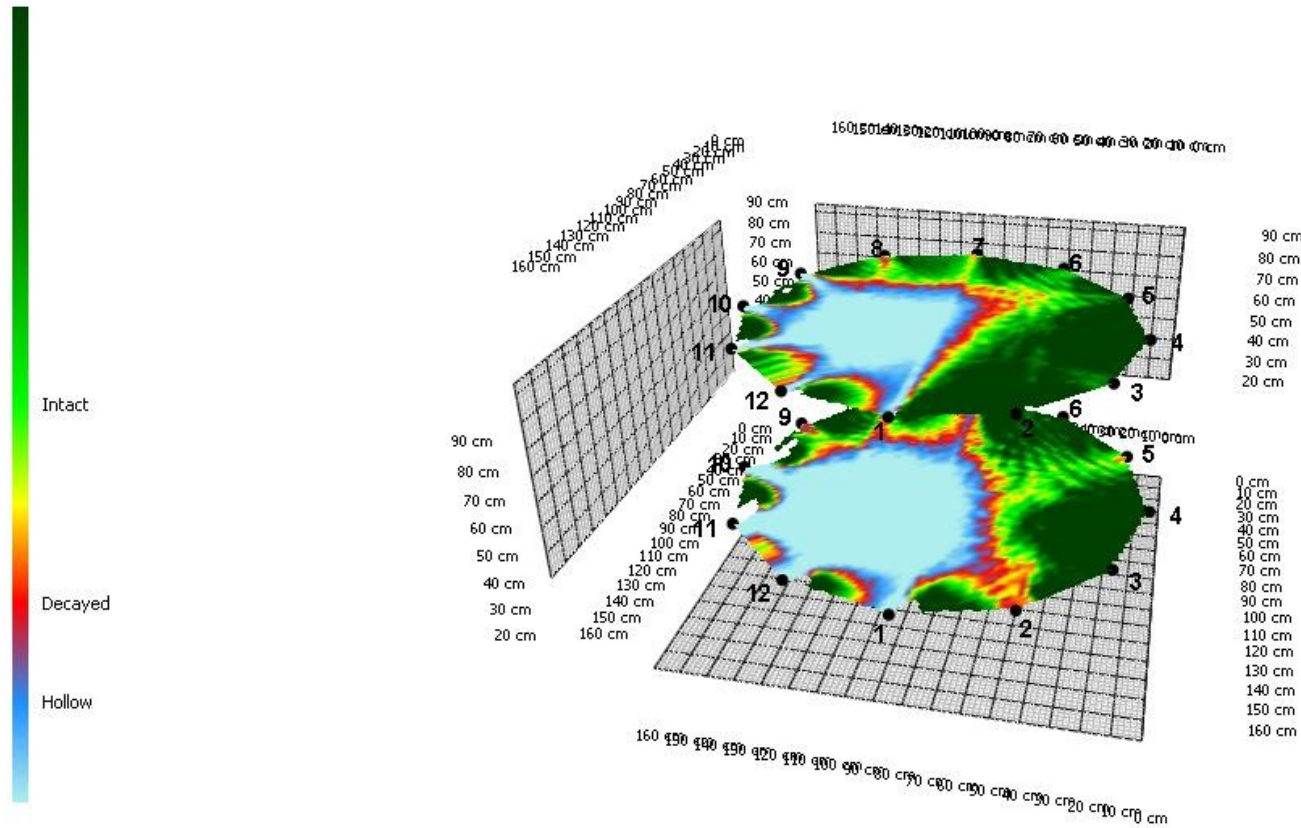


2009

Zvětšení zasažené plochy o 23 %



# Hradec Králové

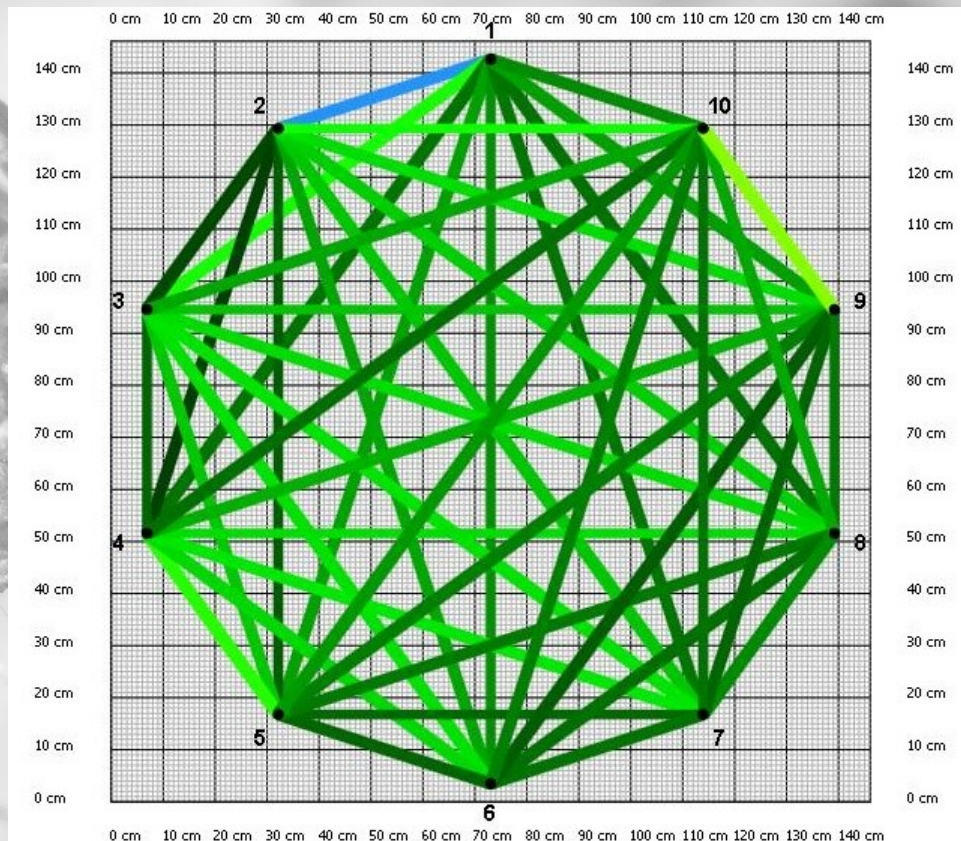
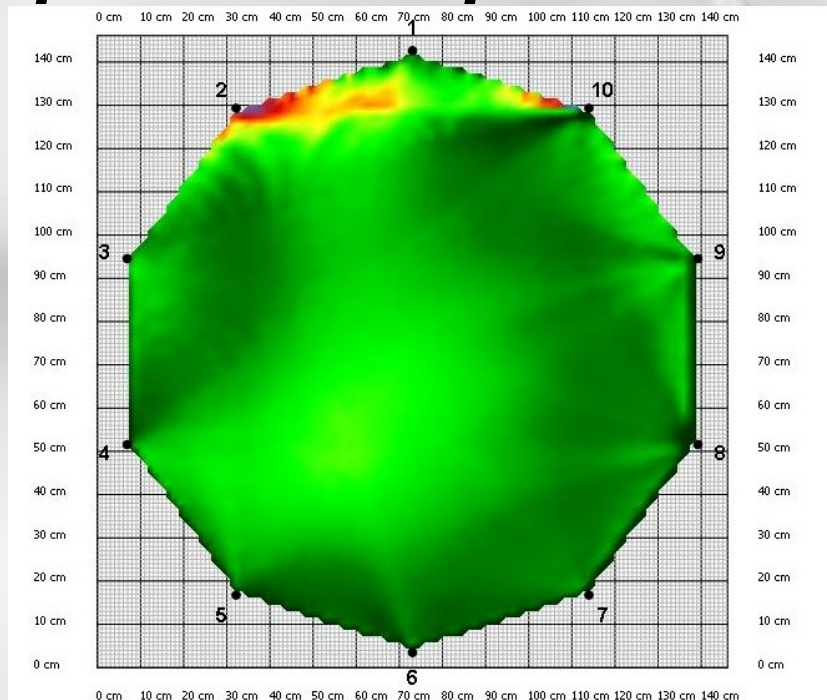


# Velké Meziříčí





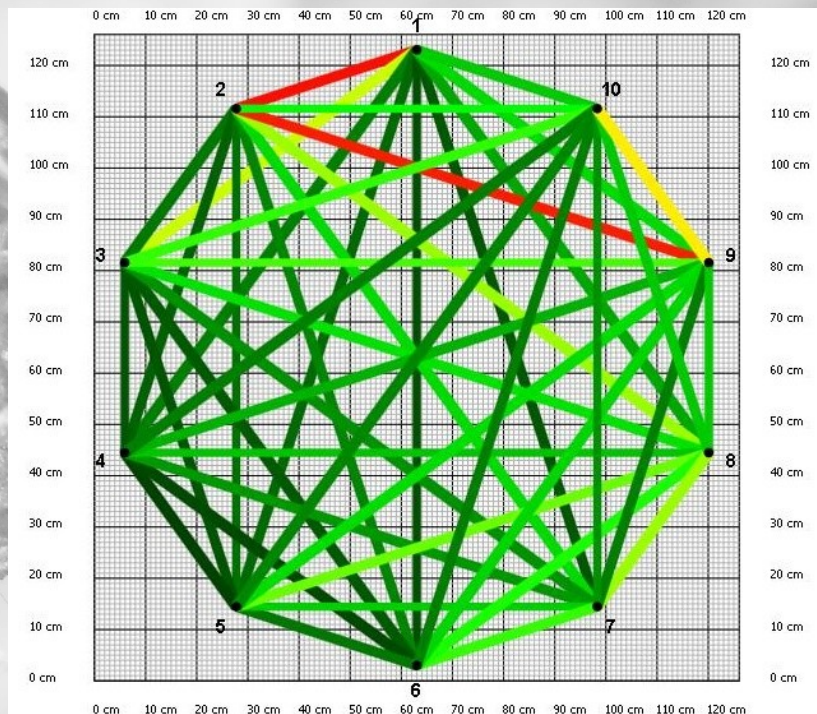
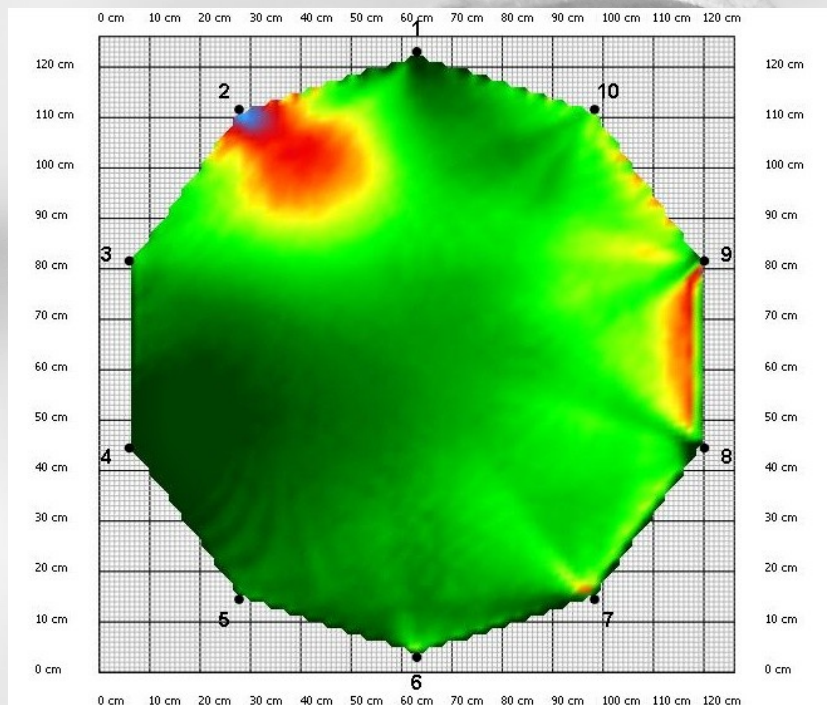
# Velké Meziříčí - *Acer pseudoplatanus* 0,25 m



Přes nepříznivý první dojem je kmen stromu téměř intaktní.

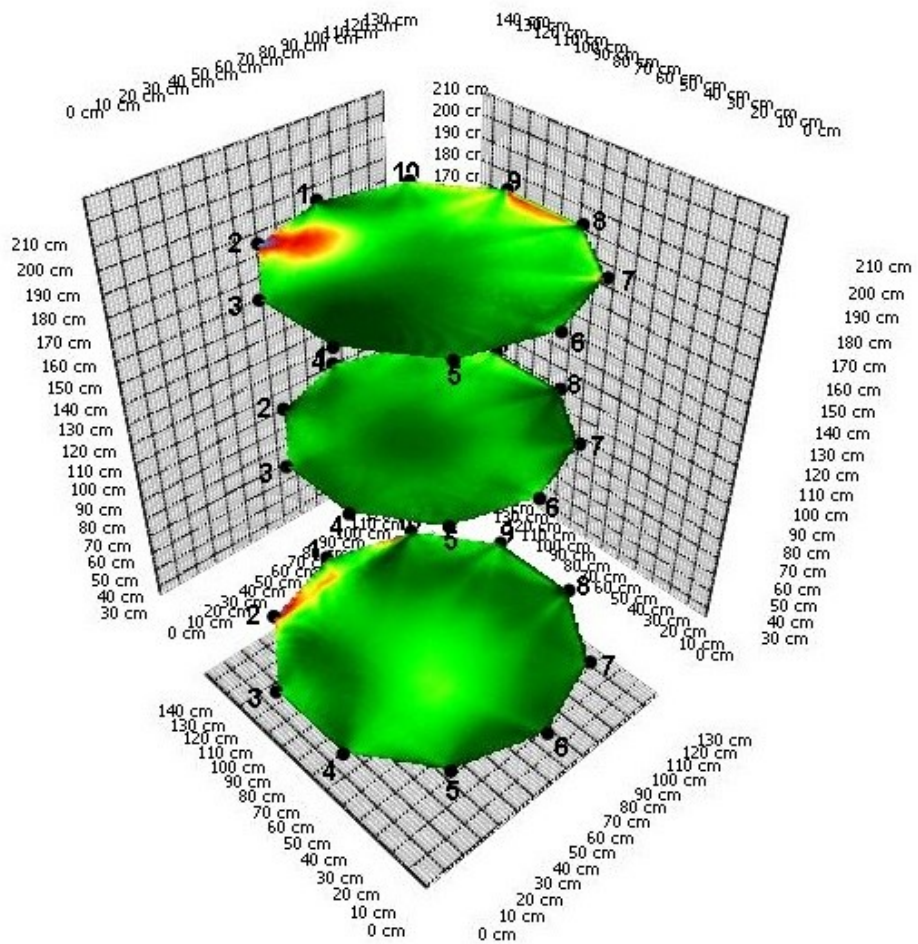


# Velké Meziříčí - *Acer pseudoplatanus* 2,10 m



Přes nepříznivý první dojem je kmen stromu téměř intaktní.





# Dostupná zařízení

- Fakopp – akustický tomograf, UNoD LDF MENDELU v Brně, VZMB, město Krnov, Thermosanace, Arbonet a další
- Arbotom, ÚHÚL LDF MENDELU v Brně
- TreeTronic (PICUS) UNoD LDF MENDELU v Brně
- Resistograph: UTAM ČSAV (Praha), UNoD LDF MENDELU
- Tahové zkoušky: Safetrees, s.r.o. nebo UNoD LDF MENDELU v Brně
- Radar: Kolejservis (Brno, Ing. Hruška)
- Termokamera: m.j. LDF MENDELU v Brně (Ing. Jan Klepárník)
- ...





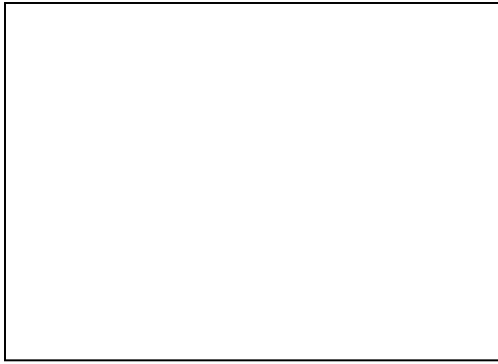
**DĚKUJI ZA POZORNOST**

**Luděk Praus**

Ústav nauky o dřevě, Lesnická a dřevařská fakulta,  
Mendelova univerzita v Brně

<http://wood.mendelu.cz/>

Zemědělská 3, 613 00 Brno  
e-mail: [ludek.praus@centrum.cz](mailto:ludek.praus@centrum.cz)  
tel.: 545 134 551

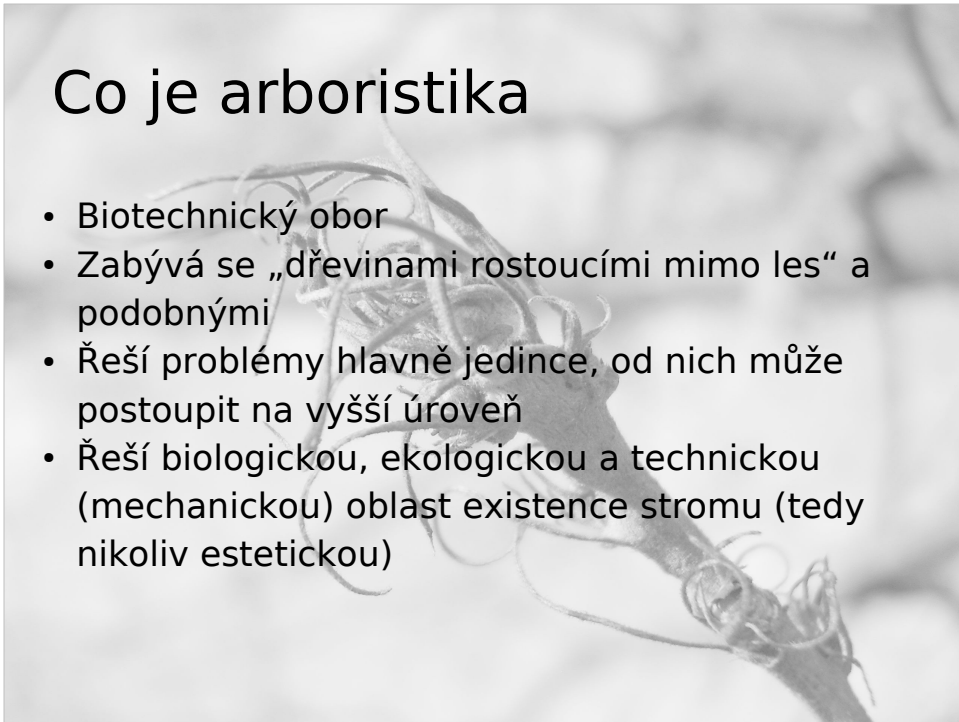


V dendronice rozeznáváme dva základní typy metod, metody strukturální a metody funkční. Strukturální metody zobrazují, zkoumají strukturu, tedy kde co je. Funkční metody zkoumají jak která část funguje.



# Co je arboristika

- Biotechnický obor
- Zabývá se „dřevinami rostoucími mimo les“ a podobnými
- Řeší problémy hlavně jedince, od nich může postoupit na vyšší úroveň
- Řeší biologickou, ekologickou a technickou (mechanickou) oblast existence stromu (tedy nikoliv estetickou)





Stromy jsou největší živé organizmy, se kterými se setkáváme. Kolize s nimi může mít fatální následky.



# Přístrojové metody v arboristice

- **Proč přístroje?**
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- Základní otázka
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- Požadavky na metody
- Principy a charakteristiky vybraných metod



Proč je nutné někdy sáhnout k přístrojovým metodám? Proč nestačí selský rozum a vizuální hodnocení.

# Objektivní informace o stromu

**Nebezpečný,  
zdraví a majetek  
ohrožující  
jedinec, kácení  
nutné!!!**



**Esteticky i  
ekologicky  
hodnotný jedinec,  
zachování  
nutné!!!**



before



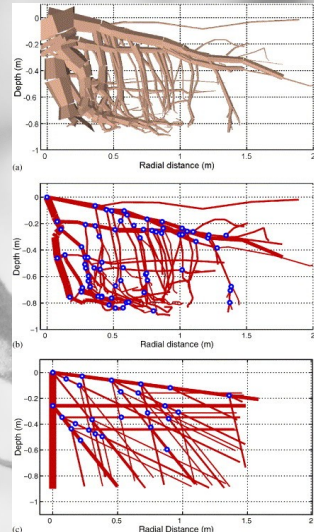
after



Při hodnocení stromů je nutno být objektivní. Tato objektivita je ovšem velmi velmi ohrožena. Často stačí nedobře naladěný hodnotitel, aby populace stromů v menší obci byla zcela zdecimována :-)



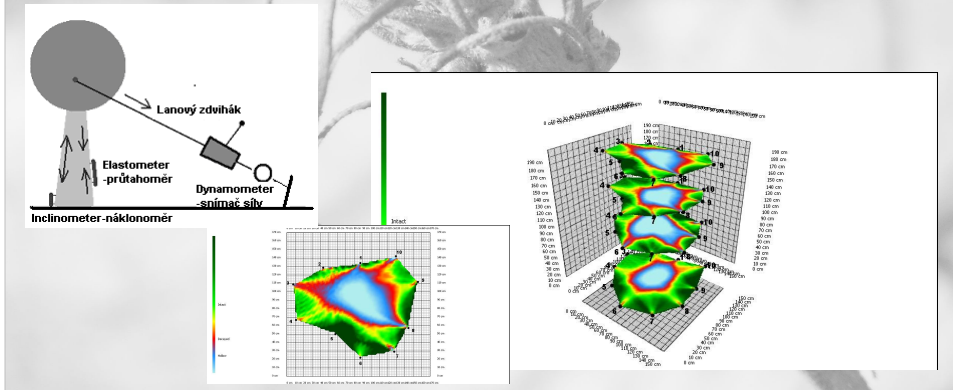
Některé skutečnosti ani nelze pouhým okem zaznamenat.



Někdy je v tom člověk nevině a objektivní informaci není schopen získat z důvodů zcela pochopitelných – například u kořenů stromu nás nepřekvapí, že je nemůžeme hodnotit vizuálně. Pokud má strom kořenový systém viditelný pouhým okem je to buď vývrat nebo havarijní strom.

# Přístrojové metody

- Hlavním cílem je zvýšení objektivity informace
- Zvýšení přesnosti odhadu selhání
- Postižení skrytých stavů stromu



Proč vlastně přístrojové metody? Protože vizuální hodnocení, jakkoliv pokryje 90 % případů naprosto dostatečně, někdy naráží na subjektivitu hodnotitele a nebo na fyzickou nemožnost hodnotit daný parametr (kdo z nás je schopen kontrolovat vizuálně kořeny?). Přístrojové metody umožňují sledovat parametry skryté zraku i sluchu, případně specifické projevy změn v organismu stromů (snížení transpiračního toku a podobně).



# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- **Zařazení přístrojových metod do systému péče**
- Základní otázka
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- Požadavky na metody
- Principy a charakteristiky vybraných metod

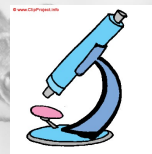


Když tedy víme proč používat přístrojové metody, je vhodný čas se ptát – jak často, u kterých stromů? U všech? Je vhodné vyšetřit tomografem celý městský park?

Pro firmy, nabízející tyto služby by to byla jistě zajímavá nabídka, ale cítíme, že by to nebylo úplně vhodné.

# System péče z hlediska detailu informace

- Inventarizace a pasportizace
- Evidence a hodnocení
- Podrobné hodnocení
- Přístrojové metody



Přístrojové metody najdou své opodstatnění u cca 5 % jedinců populace stromů ve městě. Je to čistě odhad založený na zkušenosti, nicméně by mělo být evidentní, že výraznější podíl přístrojových metod může být spíše kontraproduktivní. Je to finančně náročné a u mnoha stromů zvýšená kvalita informace neodpovídá rozdílu v ceně mezi vizuální a přístrojovou metodou.



## Princip hodnocení provozní bezpečnosti stromů

### 1. Inventarizace a hodnocení

- obsahuje parametr stability stromu
- navrhuje konstruktivní stabilizační zásah
- je jednoznačná a aktualizovatelná
- účelem je **nalézt symptomy** staticky významných defektů



### 2. DETAILNÍ VIZUÁLNÍ PRŮZKUM

- průzkumu vlivu nalezených symptomů na statické poměry stromu
- využití některé z metodik (SIA, VTA, QTRA, EHT)
- účelem je **kvantifikovat provozní bezpečnost** stromu



### 3. PŘÍSTROJOVÝ TEST

- exaktní prověření statických poměrů
- probíhá jak v oblasti odolnosti proti zlomu, tak i vyvrácení
- minimalizuje destruktivní/invazivní postupy
- účelem je **exaktní prověření rizika zlomu či vyvrácení** stromu s minimalizací jeho poškození



Základem předcházení škodám, je pravidelná kontrola, která má několik úrovní. Ty se liší detailností průzkumu a tudíž i cenou. Přístrojové metody jsou nejdetajnějším pohledem na strom a tudíž jsou i nejnáročnější jak na obsluhu, tak na peníze.

# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- **Základní otázka**
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- Požadavky na metody
- Principy a charakteristiky vybraných metod





# Na počátku byl ?

- Základním kamenem pro výběr přístrojové metody je otázka.
- Otázka definuje odpověď ve smyslu vymezení hranic
- Správně položená otázka => potenciálně správná odpověď
- Nesprávně položená otázka => jistě nesprávná odpověď

Tato zdánlivě evidentní záležitost je kamenem úrazu mnoha posudků. Každá přístrojová metoda je omezena svým principem a formou výstupů, takže je nevhodné použít tahovou zkoušku pro lokalizaci kořenů nebo akustický tomograf k zjištění pravděpodobnosti vývratu. V tomto smyslu otázka (tedy to co potřebuji u daného stromu vyšetřit) definuje, které metody použiji.

Klíčovou otázkou arboristiky je

## BEZPEČNOST STROMU

jakožto jeho vlastnost



Na rozdíl od zahradní architektury, arboristika striktně lpí na provozní bezpečnosti stromů. To ovšem neznamená, že každý nebezpečný strom musí být kácen. Záleží na lokalizaci, potenciálních cílech a dalších parametrech. Je také možné, že strom je hodnotný z jiného pohledu, pak se ovšem hledá kompromisní řešení.



# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- Základní otázka
- **Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit**
- Požadavky na metody
- Principy a charakteristiky vybraných metod

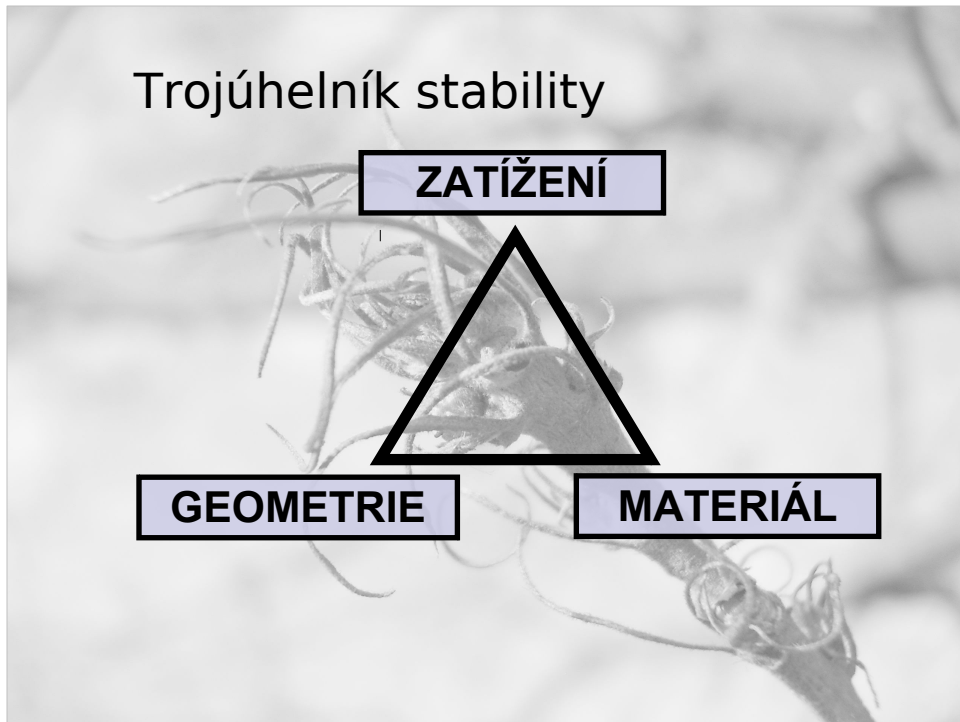


# Analýza problému



Provozní bezpečnost určuje nebezpečí, že strom selže a při tom dojde k významným škodám na majetku nebo dokonce na zdraví a životech lidí. Evidentně tedy tento parametr skrývá dva rozměry – stav stromu = pravděpodobnost selhání; a potenciální cíle = objekty potenciálně zasažitelné padajícím stromem či jeho částí.

## Trojúhelník stability



S vědomím výše uvedeného můžeme stabilitu stromu, resp. rozhodující prvky, shrnout do tohoto schématu, které nazýváme trojúhelník stability. Říká nám, že kvalita materiálu a jeho množství a distribuce musí odpovídat působícímu zatížení. Jinými slovy, pro relevantní zhodnocení pravděpodobnosti selhání musíme být schopni vyšetřit, jaké ztížení na strom a jeho část bude působit, a zda tvar a dimenze vyšetřované části a kvalita dřeva jsou schopny toto zatížení přenášet bez porušení.



# Cíl a jeho hodnota

- Hodnota potenciálního cíle by měla zohlednit
  - Frekvenci pohybu lidí
  - Hodnotu a nahraditelnost nemovitostí (budov apod.)
  - Hodnotu a nahraditelnost movitostí (vozidla, přemístitelné objekty)

U cíle je nutno stanovit jeho hodnotu a pravděpodobnost zásahu. Je-li cílem budova, je situace poměrně jednoduchá. Budovy nemají tendenci opouštět svá místa, jejich cena je dobře stanovitelná. Méně snadné je to např. u vozidel, kde je relativně snadno stanovitelná cena, hůře se stanovuje pravděpodobnost zásahu (vychází se z rychlosti, brzdné dráhy a dalších parametrů). No a nejhorší je zabývat se potenciálními zraněními či dokonce smrtí občanů.

Bezpečnost lze vyjádřit pomocí tzv. bezpečnostních koeficientů. Jsou to různá kritéria porovnávající vlastnost objektu a vznikající zatížení. Mohou být jednoduchá...

$$SF = \frac{\textit{pevnost}}{\textit{napětí}}$$

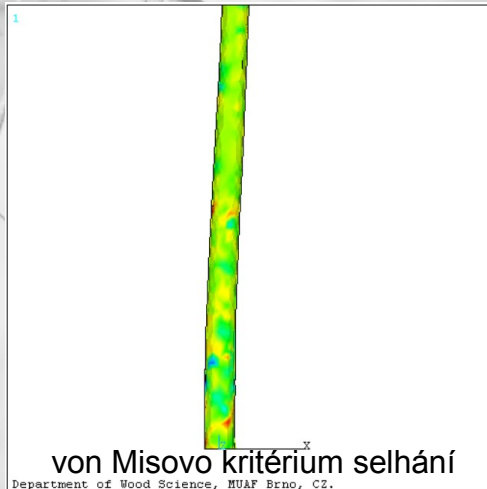
$$SF = \frac{\textit{limitní deformace}}{\textit{vznikající deformace}}$$

$$SF = \frac{\textit{maximální průhyb}}{\textit{aktuální průhyb} \dots}$$

A jak vlastně onu bezpečnost stromu vyjádříme? U přístrojových metod výsledek udává pravděpodobnost selhání dané části, vyjádřený vhodným koeficientem nebo bezpečnostním faktorem. Jsou ovšem metody, které je takto obtížné interpretovat, pak je výsledkem třeba letokruhová křivka, z nichž je nutno usuzovat na další

... i složitá

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)]}$$



Čím dál větší rozmach zažívají pokročilé metody vyhodnocování pomocí numerických metod. Pravděpodobnost selhání pak lze spočítat i pro velmi komplikované materiály, což třeba dřevo je. Nejsou dosud běžně užívány, protože jsou náročné na výkon počítačové techniky a na kvalitu obsluhy.



# Selhání stromu

- Zlom
- Vývrat
- Odlomení části



Je dobré si také uvědomit, jak strom může selhat, a to pak určuje i výběr metod a jejich nasazení. Zlom kmene, resp. jeho nebezpečí, je relativně dobře zvládnutý. Protože kmen je dostupný, většinou postačí i prosté vizuální hodnocení.



Vývrat kmene je velmi variabilní skupina defektů. Od vylomení z báze z důvodů poškození kořenů, přes vývrat způsobený špatným zakotvením (obrázek vpravo nahoře, vidíte absenci tzv. kotevních kořenů). Na posledním snímku vidíte zdravý strom vyrvaný nadměrnou silou, o tom svědčí vytržené horizontální kořeny. Zde by přístrojová metoda pravděpodobně nedokázal detekovat poškození či snížení tuhosti.



Odlomení části koruny je způsobeno hlavně vadným větvením, které lze detekovat vizuálně, jeho celkový rozsah je detekovatelný hůře, zde se bez přístrojů už neobejde.



# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- Základní otázka
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- **Požadavky na metody**
- Principy a charakteristiky vybraných metod



# Požadavky na přístrojové metody

- Minimální destruktivita
- Co největší komplexnost měření
- Opakovatelnost
- Snadnost interpretace
- Rychlost měření
- Nízká cena
- Snadná manipulace
- ...



Je však nutné při výběru metod klást určité požadavky. Základním z nich je minimální destruktivita. S trochou nadsázky lze říci, že ideálním nástrojem pro detekci dutin je motorová pila, takové šetření je ovšem poněkud destruktivní.

Hledáme tedy metody, které na položenou otázku odpoví s co nejmenším zásahem do stromu, podají informaci o co největší části stromu a to pokud možno opakovatelně, aby bylo možné sledovat třeba dynamiku šíření defektu.

Výhodou je, pokud je metoda snadno pochopitelná i pro laika, byť to nese svoje nebezpečí.

# Přístrojové metody v arboristice

- Proč přístroje?
- Zařazení přístrojových metod do systému péče
- Základní otázka
- Co je bezpečnost a jak ji vyjádřit
- Požadavky na metody
- **Principy a charakteristiky vybraných metod**





# Principy základních metod - strukturální

- Zobrazují strukturu
  - Tomografie
    - akustická
    - elektrická impedanční
  - Radar
  - Další (rentgen)
- Penetrometrické přístroje
- Základní informace o distribuci materiálu
- Základní informace o jeho vlastnostech

Jak bylo výše uvedeno, sledují distribuci struktur, například kořenů a podobně. Ideální jsou tedy pro zkoumání distribuce orgánů. Například u kořenů, zda dochází ke kolizím s potrubím, budovami. Nikoliv ovšem ke stanovení pravděpodobnosti selhání.

# Strukturální metody

- Výhody
  - Jednoduché k prezentaci
  - Relativně nenáročné na obsluhu (AT, EIT)
  - Frekventované
- Nevýhody
  - Bez zátěžové analýzy hrozí chybná interpretace
  - Přílišná „zřejmost“
  - Na některých defektech vadné výsledky – principiálně
  - Nepřímá výpověď

# Principy základních metod - funkční

- Tahová zkouška
  - Zjištění pravděpodobnosti zlomení kmene
  - Zjištění pravděpodobnosti vývratu
- Funkční hodnocení stromu - odpovídá přímo na zadanou otázku
- Principem je zjištění reakce stromu na definované zatížení, jeho extrapolace na potenciální zatížení a porovnání s parametrem bezpečnosti.

Zkoumají funkčnost orgánů, pokud se opět podíváme na kořenové systémy, pak je to pravděpodobnost vývratu. Nelze je obvykle použít na zkoumání distribuce orgánů, struktur.

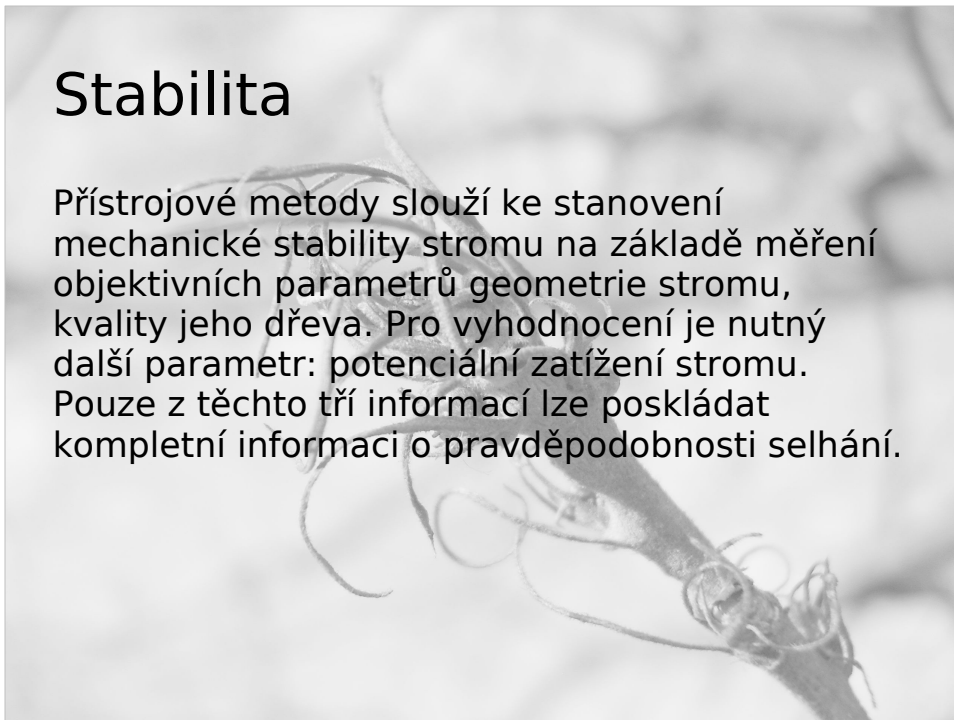


# Funkční metody

- Výhody
  - Jednoznačná výpověď o funkci
  - Přímý vztah ke sledované problematice
- Nevýhody
  - Obtížnější interpretace
  - Vyšší nároky na odbornou úroveň obsluhy

# Stabilita

Přístrojové metody slouží ke stanovení mechanické stability stromu na základě měření objektivních parametrů geometrie stromu, kvality jeho dřeva. Pro vyhodnocení je nutný další parametr: potenciální zatížení stromu. Pouze z těchto tří informací lze poskládat kompletní informaci o pravděpodobnosti selhání.



## Metody hodnocení stability stromů

- Přímé (tahové zkoušky, Fractometer)
  - Měří přímo vlastnost dřeva, pevnost, tuhost.
  - Výsledek není odvozen z empirického vztahu
- Nepřímé (penetrografie, akustické metody)
  - Měří jinou, s vlastnostmi dřeva dobře korelovanou veličinu

Další dělení metod nám umožní lepší výběr pro daný účel. Přímé metody jsou takové, které zjišťují přímo vlastnost která je zjišťována. Tedy zajímá li mne pevnost dřeva kmene, pak odebírám vzorky a měřím je ve vhodném zařízení. Nepřímé metody zkoumanou vlastnost stanovují na základě měření jiné fyzikální vlastnosti, která je s hledanou v korelaci. Například tuhost dřeva lze posuzovat podle rychlosti šíření akustického signálu.



## Metody hodnocení stability stromů

- Invazivní (pentrometry, Fractometer)
  - Způsobují rozsáhlá poškození stromu, narušují jeho obranné mechanismy
  - Měření nelze zopakovat na stejném místě
- Máloinvazivní (akustická a EI tomografie, tahová zkouška)
  - Způsobují poranění malého rozsahu, měření je opakovatelné na stejném místě
- Neinvazivní (termovize, radar?, rentgen?)
  - Nezpůsobují žádné poškození pletiv stromu

Významným parametrem pro výběr metody je její invazivita, přičemž platí, že čím méně zasahují do stromu tím lépe.

## Metody hodnocení stability stromů

- Bodové (penetrometry, Fractometer, některé akustické - ADD)
  - Měří pouze v bodě (linii)
- Profilové (akust. tomografie, radar, tomograf)
  - Měří v ploše
- Komplexní (tahová zkouška, akustická tomografie, termovize)
  - Měří část stromu nebo celý strom

Komplexnost měření vyjadřuje, jakou část stromu měření obsáhne. Krásně je to vidět na rozdílu dat z penetrometrů a akustického tomografu. Penetrometry jsou přístroje měřící odpor dřeva v jednom bodě. Představme si dutý kmen. Dutina má nepravidelný tvar a není koncentrická s kmenem. Pokud použijí penetrometr, potřebují provést několik měření, abych dostal alespoň základní obrázek o tvaru a rozsahu dutinu. Stejnou informaci získáme pomocí akustického tomografu během jednoho měření.



## Poškození kořenového systému

- Tahová zkouška stanovuje přímo tuhost kořenového systému, tedy vlastnost fyzikálně nejbližší pevnosti KS.
- Metody založené na lokalizaci kořenů nemusí podávat informaci dostatečnou pro zhodnocení stability
- Akustická tomografie kmene může nepřímo ukázat na poškození KS

Pro detekci stavu kořenového systému lze použít tahovou zkoušku jako funkční metodu a několik strukturálních metod, u nás půdní radar a akustický tomograf.



## Poškození kmene

- Akustická (a jiná) tomografie zobrazuje rozsah defektu
- Tahová zkouška ukazuje pravděpodobnost zlomu kmene pomocí bezpečnostního koeficientu

Poškození kmene nebo zjištění pevnosti kmene lze provádět mnoha metodami. Protože se jedná o snadno dostupnou část, existuje mnoho metod pro jeho zkoumání. Základní metodou detekce defektů je nějaká tomografie. Může být akustická (nejčastěji), elektrická impedanční, rentgenová. Dá se použít i radar.

Z funkčních metod je to opět tahová zkouška.

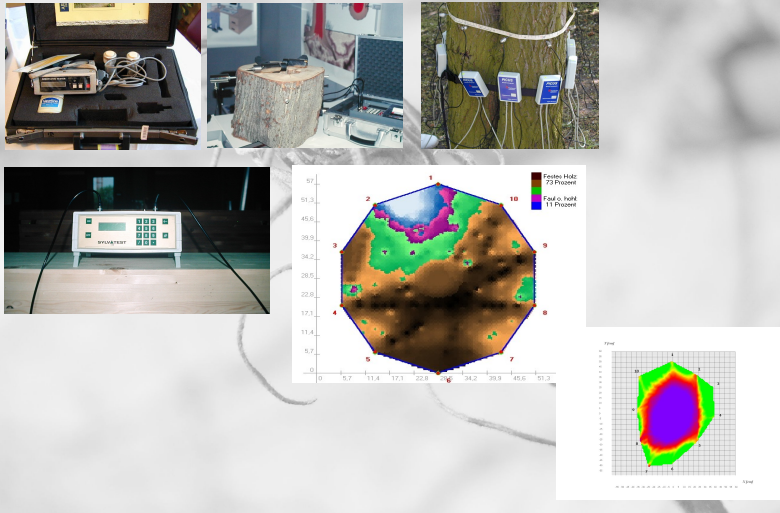
## Defekty větvení

- Akustická tomografie
- Tahová zkouška z principu nemůže stanovit bezpečnost větvení.
- Penetrometrická měření



Defekty větvení jsou vyšetřitelné opět zobrazovacími metodami typu akustického tomografu. S úspěchem lze aplikovat i penetrometrická měření. Naopak, v podstatě neaplikovatelná je tahová zkouška.

# Akustické přístroje



Nyní se podívejme na základní přístroje a jejich principy.

Jedním z nejčastěji používaných principů je vyšetření konstrukce, části stromu, měřením rychlosti průniku akustického signálu

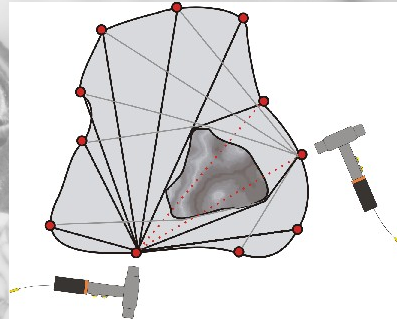
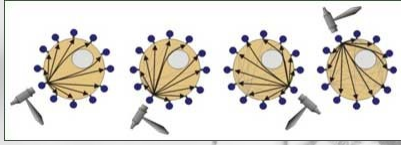


# Akustické přístroje

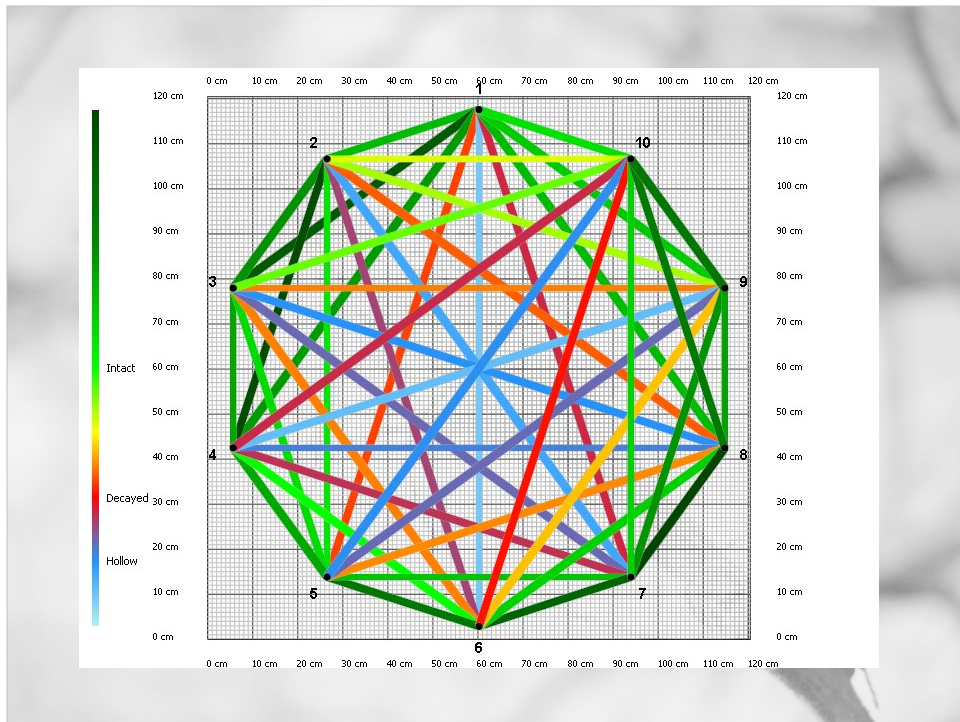
- Principem je zjišťování rychlosti průchodu akustického signálu materiálem
- Rychlost signálu je přímo úměrná tuhosti a nepřímo úměrná hustotě materiálu
- Rychlost je snížena pokud:
  - Je v cestě signálu necelistvost (musí ji obejít)
  - Vlastnosti materiálu (dřeva) jsou rozkladem zhoršeny (snížení tuhosti)

Rychlost šíření se snižuje s hustotou a zvyšuje s tuhostí materiálu. Protože obě tyto veličiny jsou postiženy případným rozkladem dřeva už v počátečních fázích, je to fyzikální princip velmi vhodný pro vyšetřování stavu kmene, větví.

# Akustická tomografie

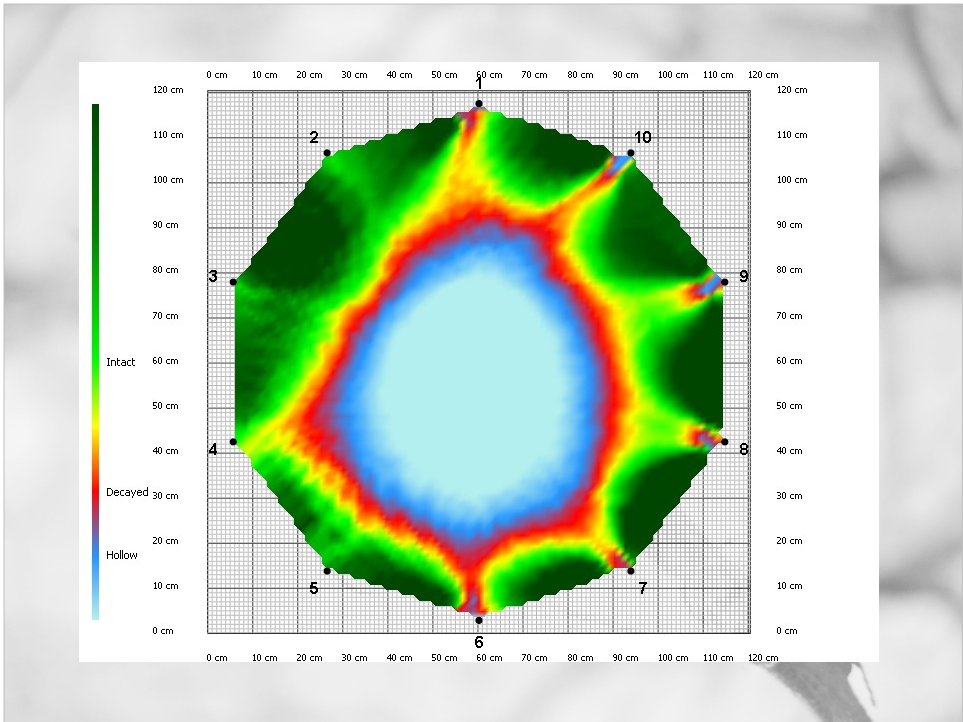


Zde vidíte základní princip zjišťování stavu kmene, pokud se v něm vyskytuje defekt. Signál musí obejít tento defekt, čímž se zvětšuje dráha a snižuje rychlost.

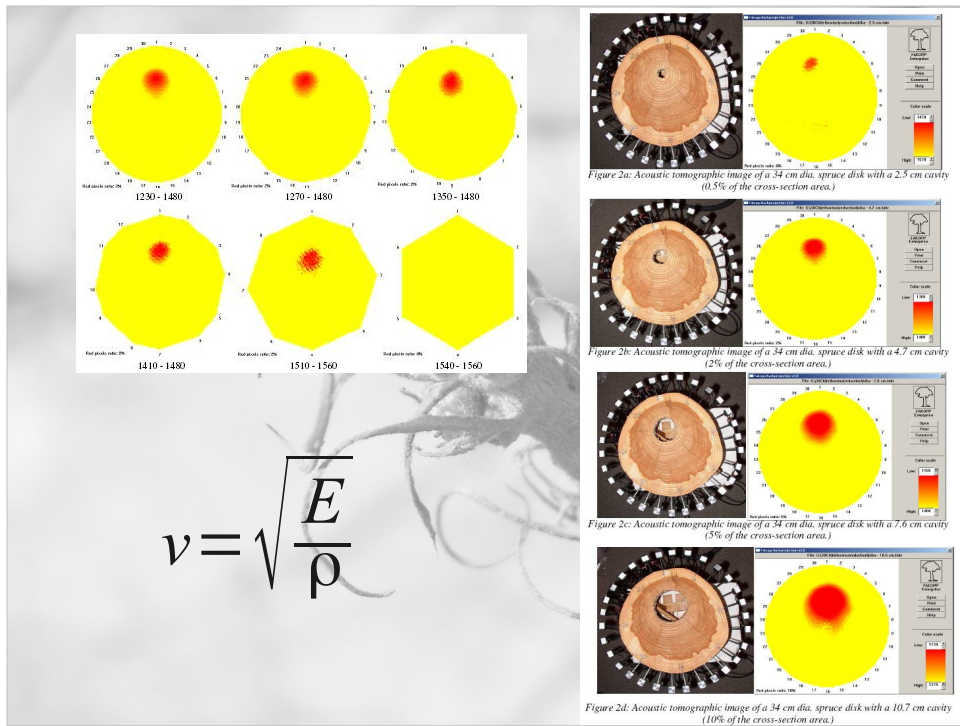


Vzniká takováto síť měření z níž je konstruován tomogram.



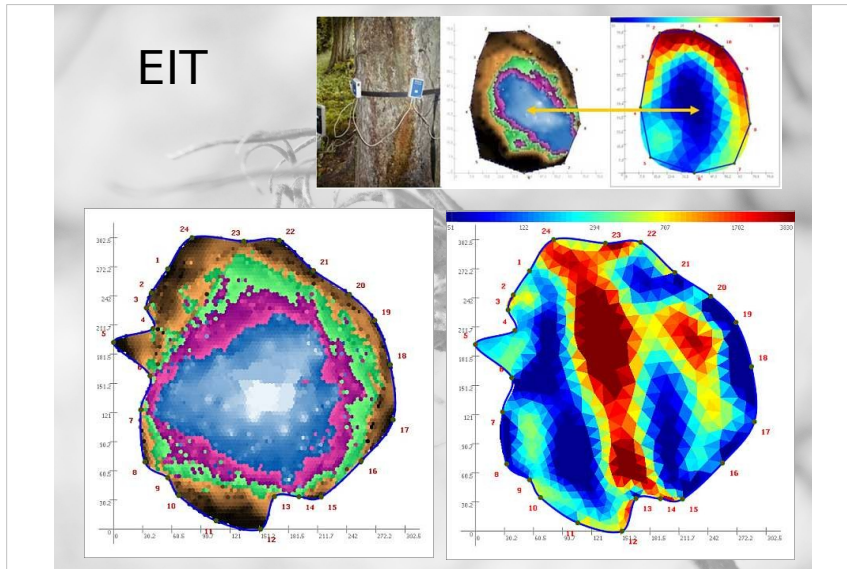


Tomogram



Přesnost závisí zejména na počtu snímačů, které umístíme na měřenou část stromu.

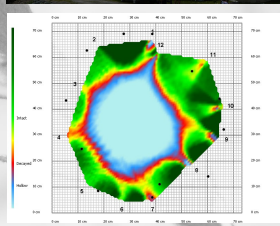
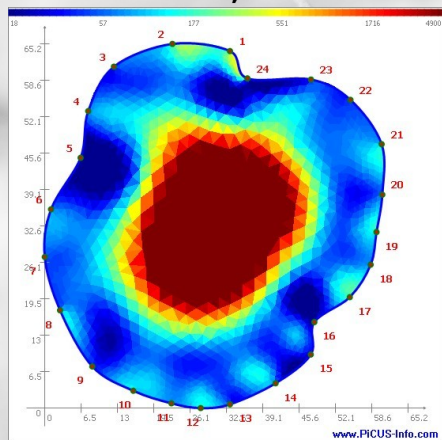
# EIT



EIT alias elektrická impedanční tomografie je další metoda, jak se „podívat dovnitř“ kmene. K zobrazení defektů dochází na základě měření rozdílů ve vodivosti v různých částech průřezu. Vodivost se mění s obsahem vody a volných iontů, což jsou parametry, které obvykle stoupají při výskytu hniloby. Závisí ovšem také na přirozeném rozložení vlhkostí ve kmeni, která se u různých dřevin liší. Interpretace je mnohem náročnější nežu klasické akustické tomografie.

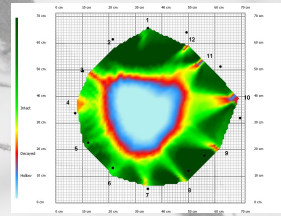
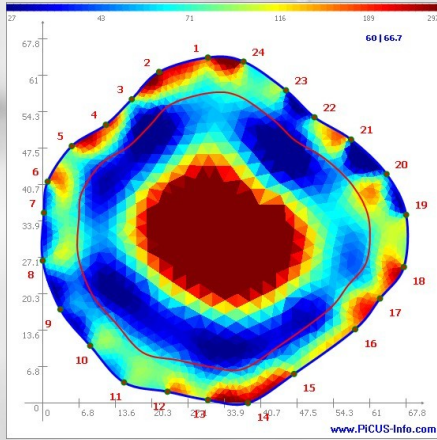


# EIT - 0,4 m



Příklad měření stromu akustickým (malé obrázky) a EIT tomografem.

# EIT - 1,5 m



## Elektrická impedanční tomografie - aplikace

- Upřesnění výskytu dutin a vnitřních defektů
- Možná aplikace pro průzkum fyziologických vlastností dřeviny

EIT není využívána jako samostatná metoda, ale spíše slouží jako prostředek ke zpřesnění analýz akustické tomografie tam, kde její princip podává defektní data (tlakové vidlice, vrstvy suchého dřeva ve kmeni a podobně).



# Penetrografy



Další velmi užívaným principem, alespoň v zahraničí, je penetrometrie – zjišťování stavu stromu na základě měření odporu proti pronikání vrtáku do dřeva. Tak je měřená pevnost dřeva a je možné získat liniový záznam odporů. U vhodných dřevin lze takto mapovat přímo střídání vrstev jarního a letního dřeva.

# Penetrografy



Jejich výhodou je snadná interpretace i použití.

# Penetrografy



Určitou variantou je použití presslerova přírůstového nebozezu. Ze získaného vývrtu lze provádět letokruhovou analýzu. Zároveň je možné zjišťovat mechanické vlastnosti dřeva.



## Fractometer 2



Takové měření se provádí pomocí přístroje Fractometer. Ten umožňuje měření různých pevností dřeva (tlaková, ohybová), což lze využít pro stanovení bezpečnosti. Nevýhodou je detruktivita odběru.

# Tahové zkoušky - postup

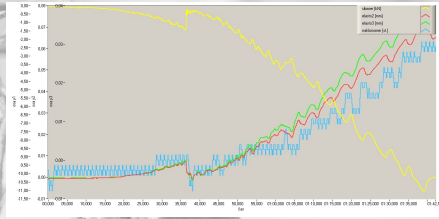


- Tři kroky
  - Měření
  - Zátěžová analýza
  - Přepočet a hodnocení

Zátěžová analýza slouží k zjištění potenciálního zatížení stromu při zvolených podmínkách (u nás 12 ° Beauforta, 33 m/s)

Tahová zkouška je funkční metoda, kde pomocí umělého zatížení zjišťji reakci stromu a tu následně extrapolují na zatížení kritickou rychlostí větru, u nás nejčastěji 33 m/s.

# Tahové zkoušky - postup



Měří se:

- síla,
- deformace dřeva kmene,
- náklon báze stromu

Výsledkem je:

- pravděpodobnost zlomu kmene
- pravděpodobnost vývratu

Metoda využívá snímače síly, snímače posunutí pro měření deformace dřeva kmene a snímače náklonu, pro zjištění pravděpodobnosti selhání kořenového systému.



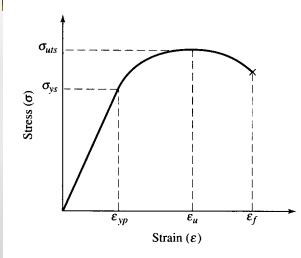
# Tahové zkoušky - zlom



Měří se:

- síla,
- deformace kmene,

Je vypočtena poměrná deformace, která je po extrapolaci porovnávána s tzv. deformací na mezi úměrnosti dřeva. Mez úměrnosti je zatížení, kdy dochází ke vzniku prvních plastických deformací. Od tohoto bodu je dřevo považováno za poškozené.



Pro stanovení pravděpodobnosti selhání kmene je zjišťována poměrná deformace, která se následně porovnává s limitní deformací daného dřeva.

# Tahové zkoušky - vývrat

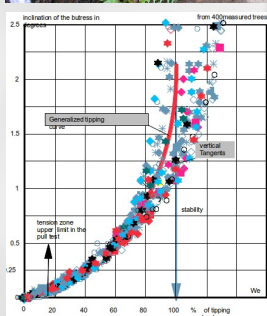


Měří se:

- síla,
- náklon báze stromu

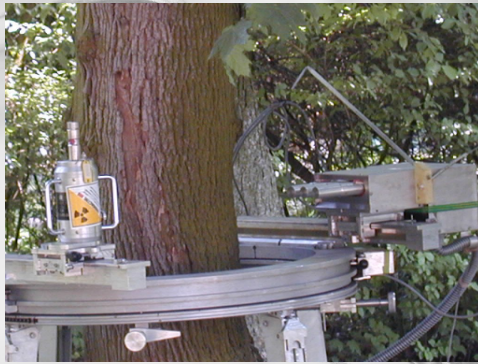
Základní teorie, zpracovaná dr.

Wessolym na základě empirických dat tvrdí, že podle reakce při určitém malém zatížení, definovaném ale náklonem, lze vypočítat náklon při potenciálním zatížení a ten pak komparovat s experimentálně zjištěnou nelineární funkcí, popisující průběh vyvrácení stromu, která má, dle autora, obecnou platnost.



Pravděpodobnost vývratu je vyhodnocována na základě tzv. všeobecné vývratové křivky. Pokud jsou naměřená data nad touto křivkou (tedy náklon při stejné síle je menší než udává rovnice), je strom považován za bezpečný, a naopak.

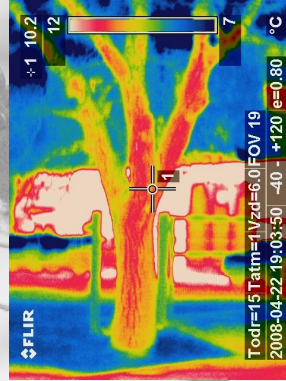
## Další metody - rentgen



Jsou samozřejmě používány i další metody, například rentgenová tomografie. Nevýhodou je omezený průměr kmene, na nějž lze přístroj instalovat, a zejména problematické zajištění bezpečnosti. Je to spíše taková hračka pro vědce.

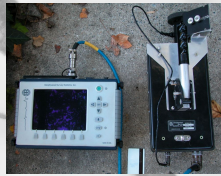


## Další metody - termovize



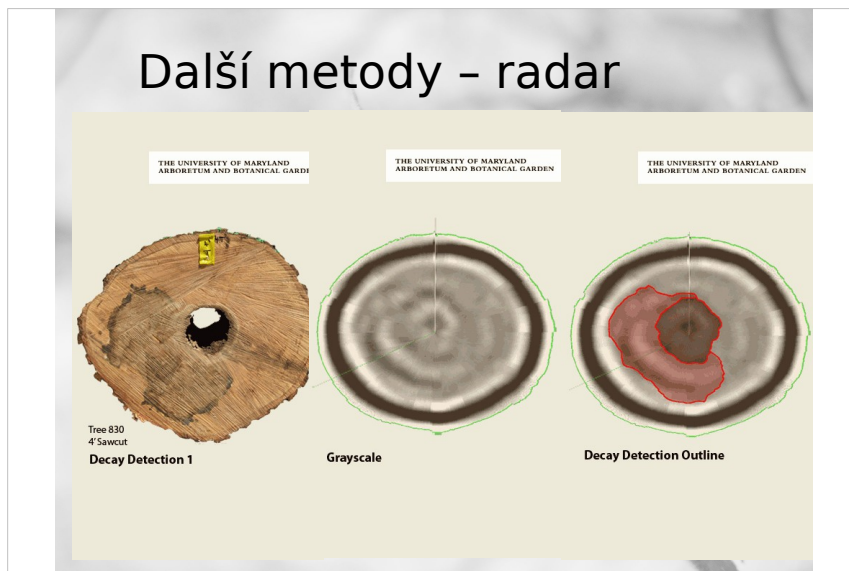
Další zkoumaná možnost je detekce dutin pomocí termovize. Některé prameny to udávají jako vhodnou metodu, dle našich zkušeností není příliš funkční. Metoda je ve fázi vývoje.

## Další metody - radar



Zcela ověřená a aplikovatelná je naopak metoda detekce kořenů a dutin ve kmeni pomocí radaru.

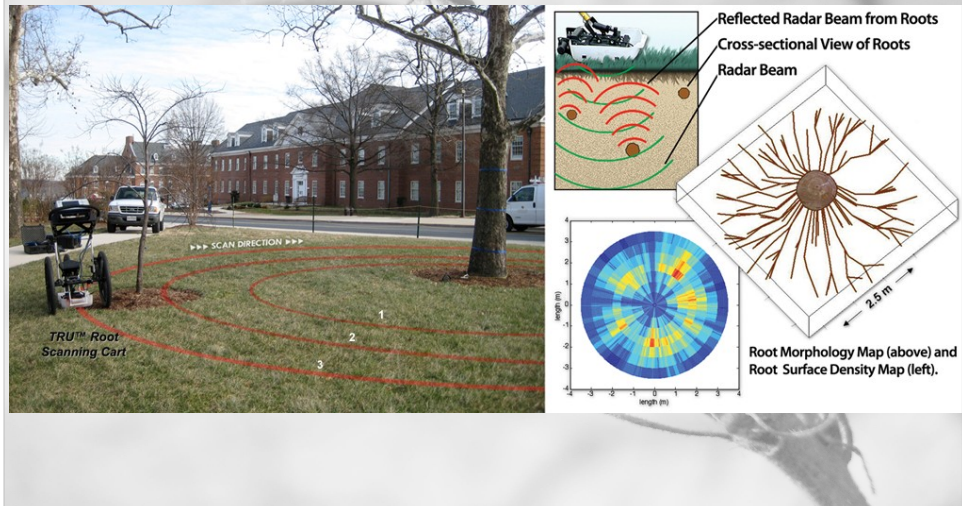
## Další metody - radar



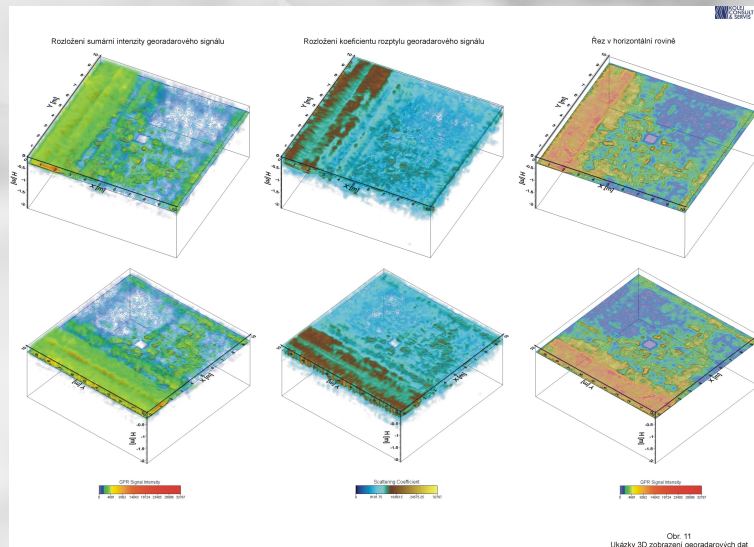
Radarem lze hledat jak dutiny a vnitřní rozklad dřeva ve kmenech...



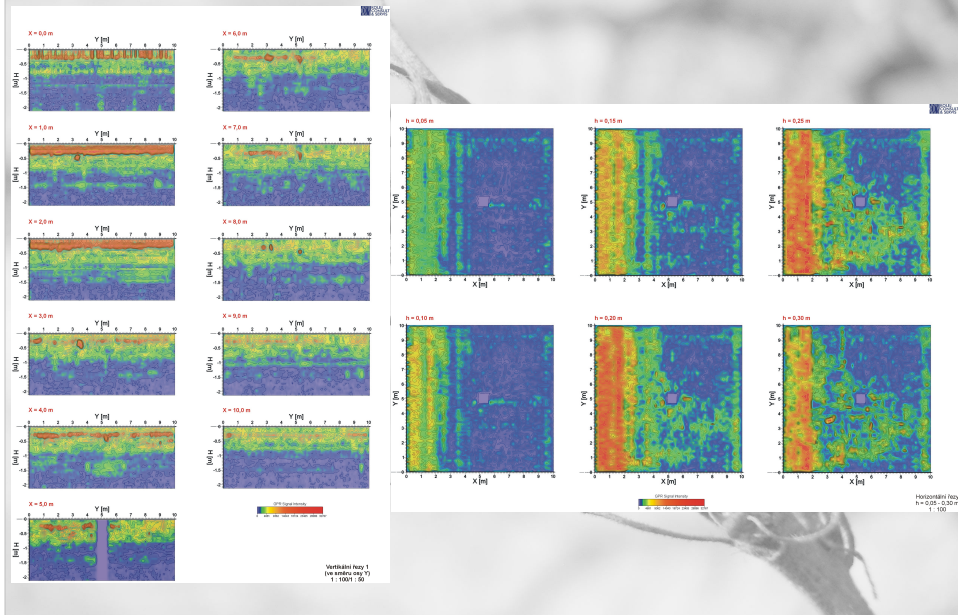
# Radar – detekce kořenů



Tak i detekovat kořeny v půdě. Je nutné si uvědomit, že lokalizace kořenů není zcela v korelaci s jejich mechanickou funkcí a vzájemný převod těchto informací je velmi problematický.



Zde vidíte reálné snímky kořenového systému stromu (čtvereček uprostřed) v různých hloubkách. Je vidět vrstvu navážky v přední části obrazu a pak trojúhelníkovou oblast s ozvami kořenového systému.



Tentýž strom, tentokrát s vertikálními řezy.

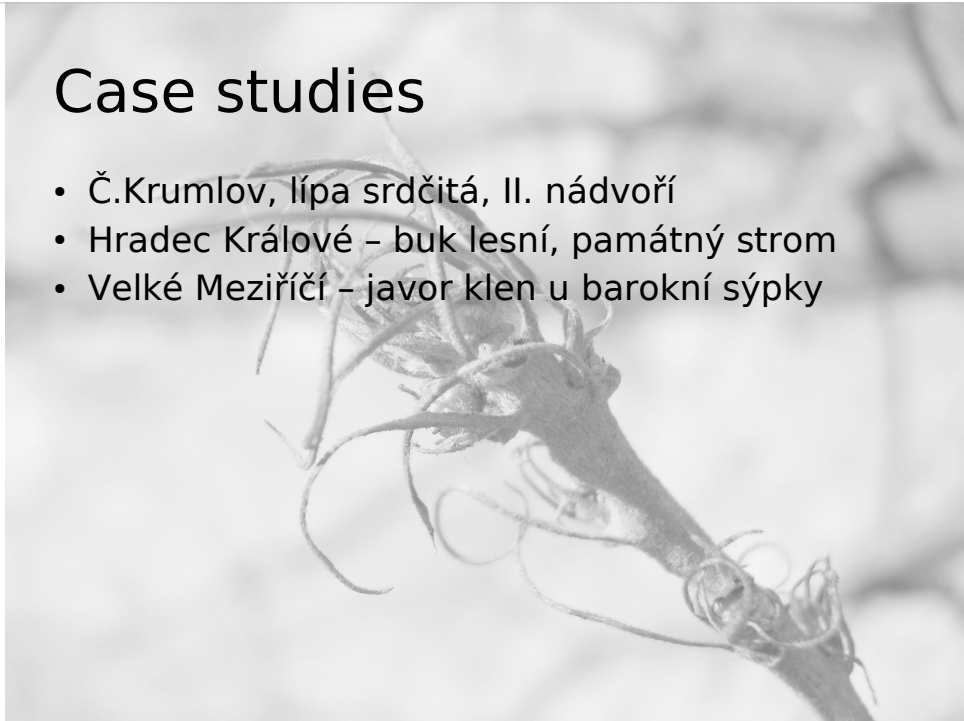


# Případové studie



## Case studies

- Č.Krumlov, lípa srdčitá, II. nádvoří
- Hradec Králové - buk lesní, památný strom
- Velké Meziříčí - javor klen u barokní sýpky



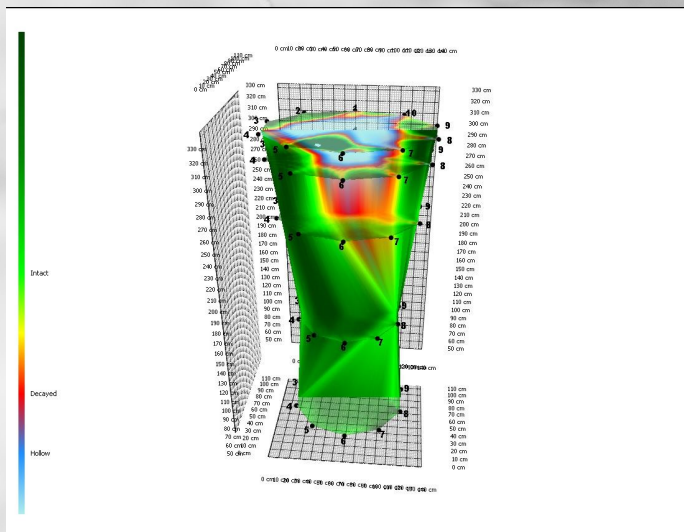
# Český Krumlov



V této případové studii ukážeme, že interpretace výsledků je důležitější než vlastní měření. Bylo zjišťováno rozložení dutin ve kmeni stromu na II. Nádvoří státního zámku Český Krumlov.

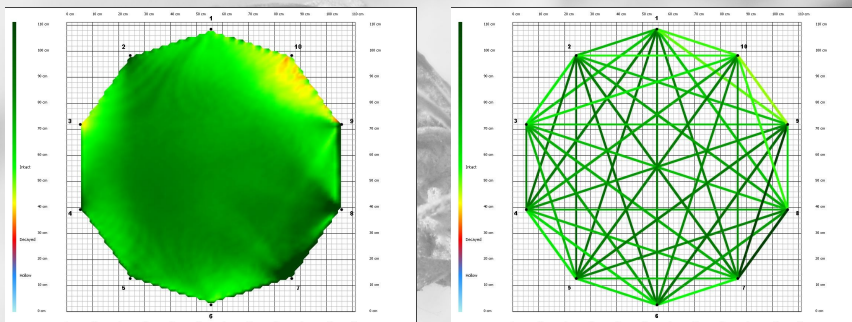


# Český Krumlov



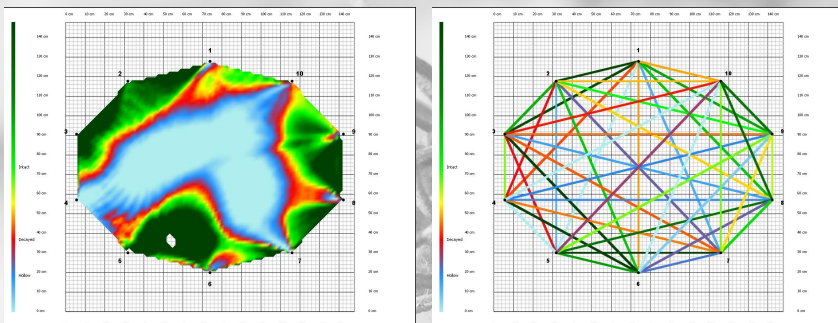
Byla zjištěna poškozená část, zashující z hlavního větvení dolů, v bazální části kmene nebyly zjištěny defekty.

# Český Krumlov



Báze kmene stromu bez významných poškození. Síťový diagram umožňuje identifikovat hlavní směry nespojitostí průřezu, na jeho základě je vytvořen obrázek průřezu kmene

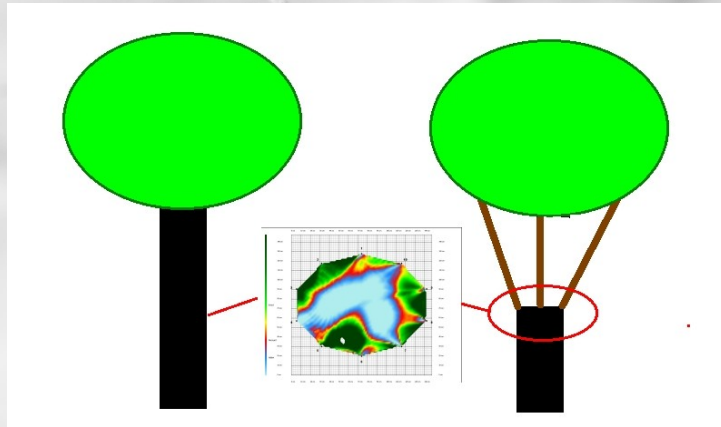
# Český Krumlov



Hlavní větvení s rozsáhlým poškozením. Model předpokládající průběžný kmen udává bezpečnost přes 1000 %. Při správné mechanické interpretaci je nutné průřez uznat jako rizikový.



# Český Krumlov



Při standardní interpretaci, kterou provádí software, se vychází z modelu vlevo a předpokládá se, že měření se týká průběžného kmene. V takové situaci byla vyhodnocena bezpečnost jak je uvedeno výše. Protože ale skutečný stav je jiný, jedná se o defektní větvení, oslabené hnilobou, je nutné interpretovat situaci jakou rizikovou a navrhováno bylo odstranění stromu.

# Hradec Králové



Následující případová studie ukazuje výhodnost možnosti sledovat dynamiku rozvoje. Sledovaný strom, památný buk, červenolistá varieta, rostoucí v Hradci králové.



*Meripilus giganteus*

*Tyromyces fissilis*  
(bělochoroš  
jabloňový)



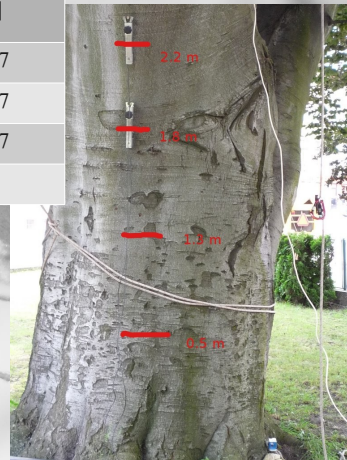
Na stromě idetifikovány dvě dřevokazné houby: vějířovec obrovský a bělochoroš jabloňový. První je parazit kořenového systému, druhý houba parazitovala v tlakovém větvení.



# Hradec Králové 2009

Pozice	Průměr (bez borky) [cm]	Bezpečnost proti zlomu kmene [%]	Bezpečnost proti vývratu [%]
0,5 m	158	722	76/87
1,3 m	127	-	76/87
1,8 m	127	831	76/87

Stav před redukcí  
výška stromu = 26 m

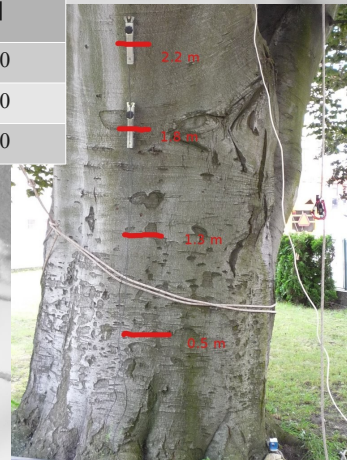


Měření ukázala, že strom je ohrožen vývratem. Vzhledem k významu byla doporučena redukce, i když to není ideální zásah pro daný taxon.

# Hradec Králové 2011

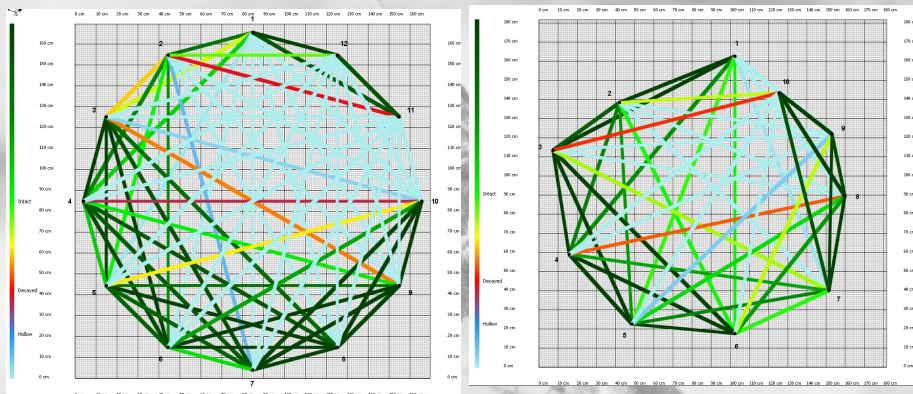
Pozice	Průměr (bez borky) [cm]	Bezpečnost proti zlomu kmene [%]	Bezpečnost proti vývratu [%]
0,5 m	158	197	61/90
1,3 m	127	281	61/90
2,0 m	127	261	61/90

Stav po redukci (!)  
M = 323 kNm (jiný profil),  
plocha koruny 262 m<sup>2</sup>  
výška stromu = 21 m

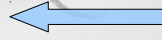


Měření o dva roky později ukázlo, že nedošlo ke stabilizaci, kořenový systém je nestabilní (strom je po redukci). Navíc dochází k šíření druhé dřevokazné houby.

# Hradec Králové 0,2 m



2011

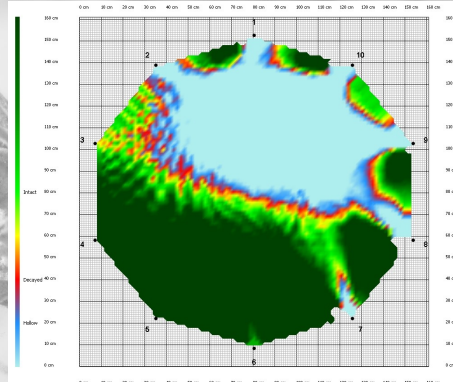
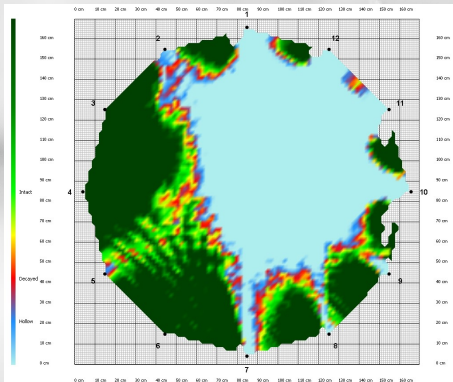


2009

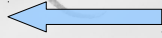
Toto jsou snímky z roku 2009 a 2011, ukazující změnu napadené plochy průřezu.



# Hradec Králové 0,2 m



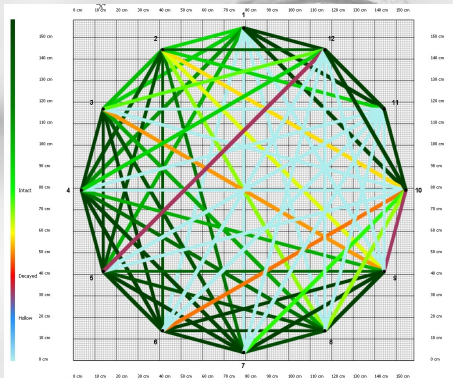
2011



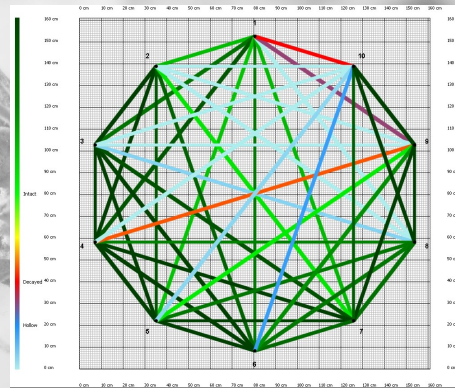
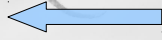
2009

Zvětšení zasažené plochy o 12 %

# Hradec Králové 0,5 m

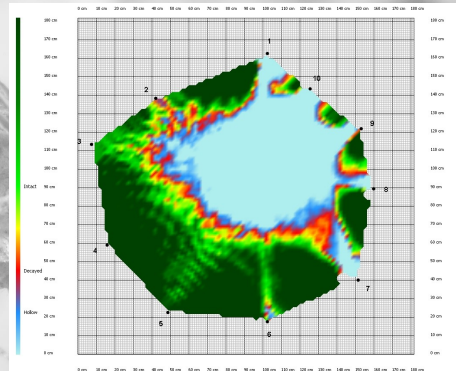
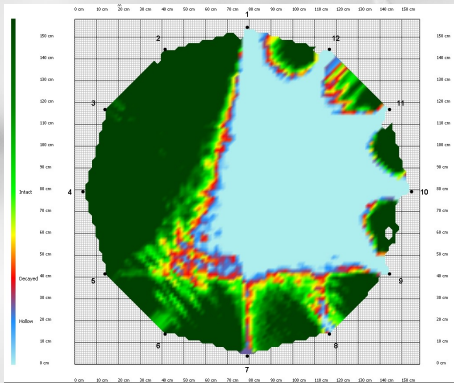


2011

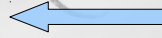


2009

# Hradec Králové 0,5 m



2011

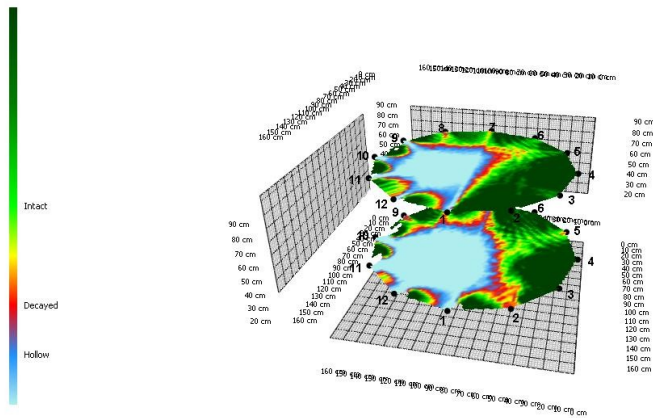


2009

Zvětšení zasažené plochy o 23 %



# Hradec Králové



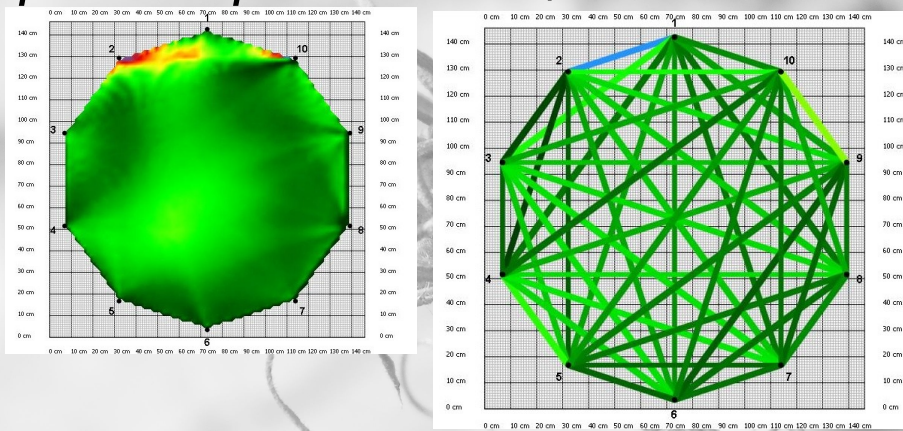
Vzhledem k potvrzené dynamické změně stavu bylo rozhodnuto strom pokácet a nahradit.

## Velké Meziříčí



A poslední studie ukazuje, že přístrojové metody neslouží jen k ospravedlňování kácení stromů. Vyšetřovaný strom byl javor. Vizuálně bylo detekováno poškození kmene s předpokládánou dutinou, spojené se silným náklonem nad soukromý pozemek. Bylo rozhodnuto vytvořit snímky:

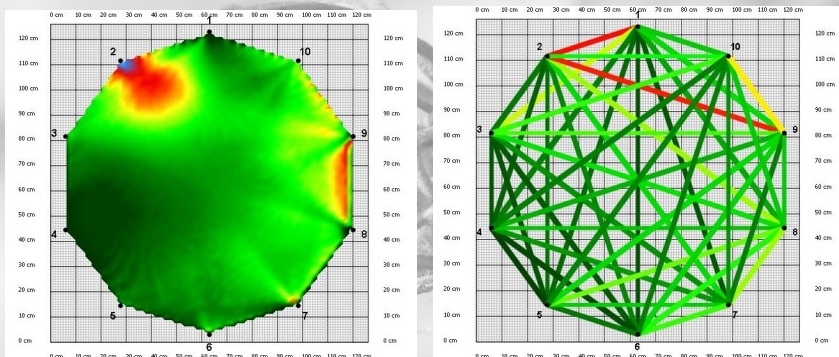
# Velké Meziříčí - *Acer pseudoplatanus* 0,25 m



Přes nepříznivý první dojem je kmen stromu téměř intaktní.

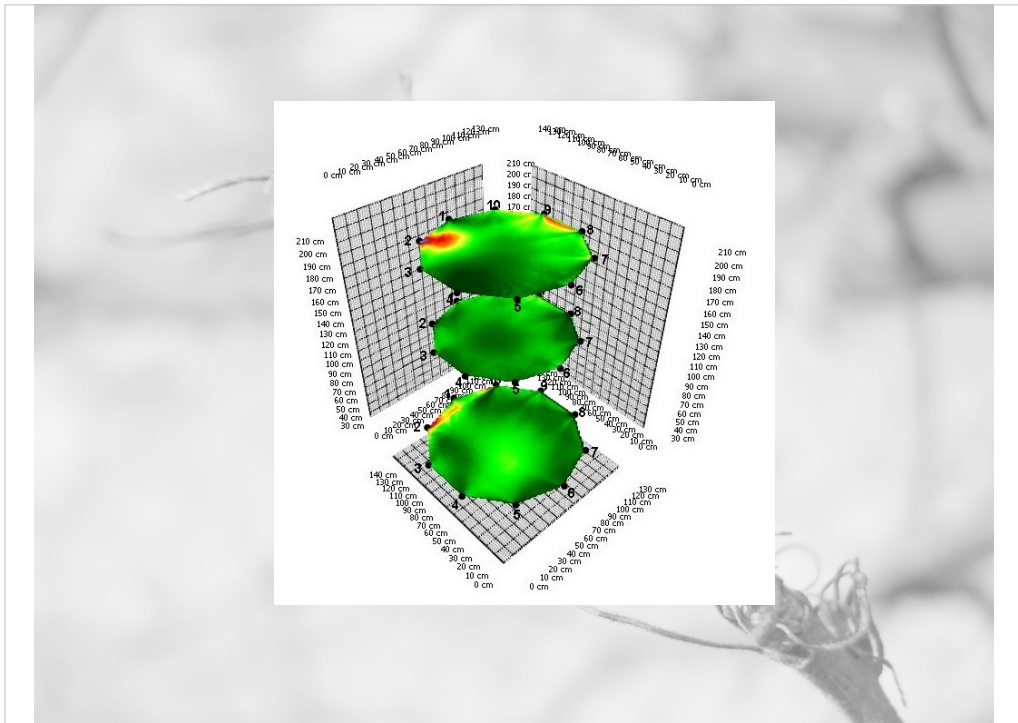
Žádný významný defekt nebyl nalezen.

# Velké Meziříčí - *Acer pseudoplatanus* 2,10 m



Přes nepříznivý první dojem je kmen stromu téměř intaktní.





Strom mohl být tedy ponechán jen s drobnou korekcí asymetrie koruny.

## Dostupná zařízení

- Fakopp – akustický tomograf, UNoD LDF MENDELU v Brně, VZMB, město Krnov, Thermosanace, Arbonet a další
- Arbotom, ÚHÚL LDF MENDELU v Brně
- Treetronic (PICUS) UNoD LDF MENDELU v Brně
- Resistograph: UTAM ČSAV (Praha), UNoD LDF MENDELU
- Tahové zkoušky: Safetrees, s.r.o. nebo UNoD LDF MENDELU v Brně
- Radar: Kolejservis (Brno, Ing. Hruška)
- Termokamera: m.j. LDF MENDELU v Brně (Ing. Jan Klepárník)
- ...



**DĚKUJI ZA POZORNOST**

**Luděk Praus**

Ústav nauky o dřevě, Lesnická a dřevařská fakulta,  
Mendelova univerzita v Brně

<http://wood.mendelu.cz/>

Zemědělská 3, 613 00 Brno  
e-mail: [ludek.praus@centrum.cz](mailto:ludek.praus@centrum.cz)  
tel.: 545 134 551