



Nedestruktivní metody

210DPSM

Jan Zatloukal



Diagnostické nedestruktivní metody

- proces stanovení určitých charakteristik materiálu či prvku bez jeho destrukce
- opakovatelnost
- pomocí metod založených na principu interakce energie a materiálových vlastností
- nutná tvorba kalibračních vztahů

Motivace využití nedestruktivních metod

- Záruka kvality provedení
 - Krycí vrstva, poloha výztuže, rozměry prvku (piloty),...
- Posouzení stávajícího stavu a odhad škod
 - Pevnost prvku, koroze výztuže, vlhkost, deformace,...



Metody pro nedestruktivní ověřování stavebních materiálů

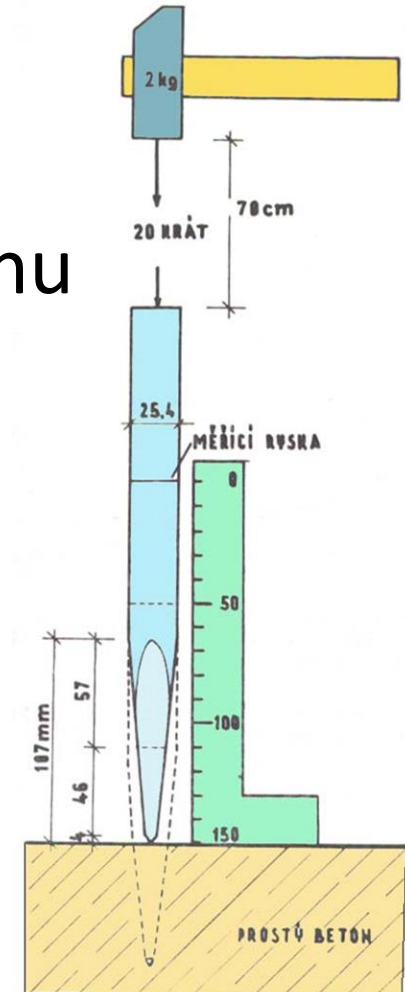
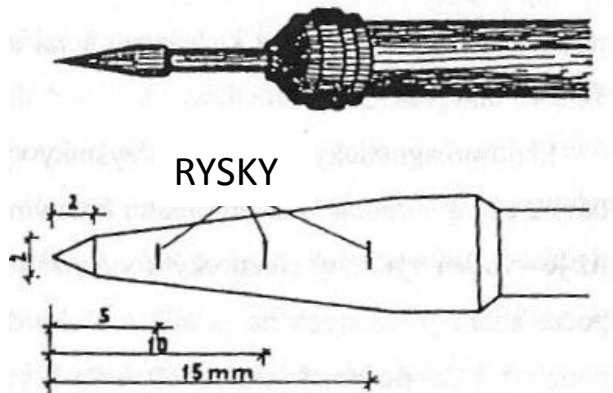
- Existují různé metody pracující na rozdílných principech

- mechanické
- dynamické
- optické
- termovizní
- elektrické
- elektromagnetické
- radiační



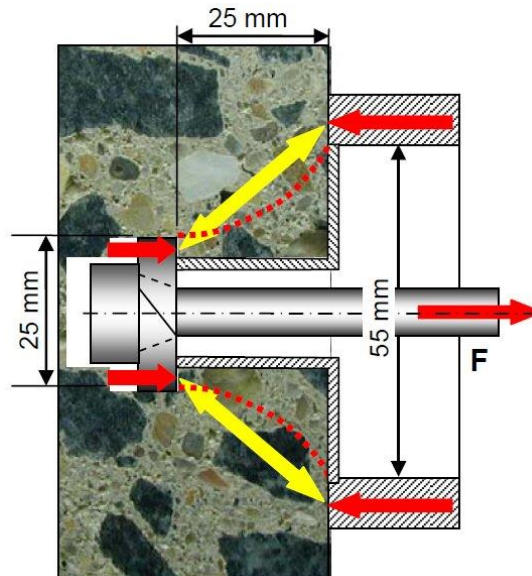
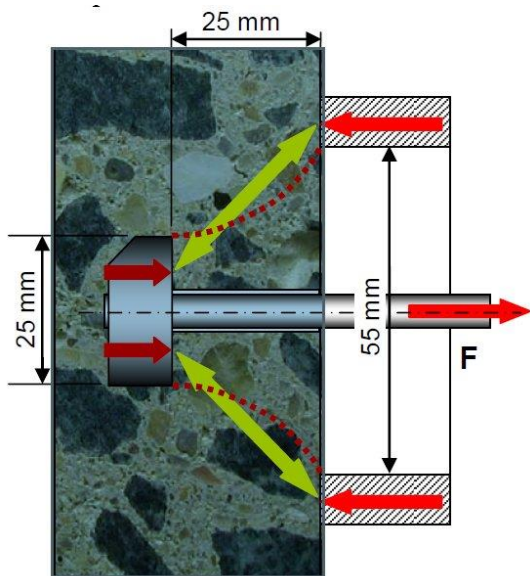
Metody špičákové

- Mechanické tvrdoměrné vnikací metody
- Zanedbatelné místní narušení povrchu
- Měřený parametr: hloubka vniku špičáku
 - 20 rázů, kladivo 2kg, rozmach 70cm

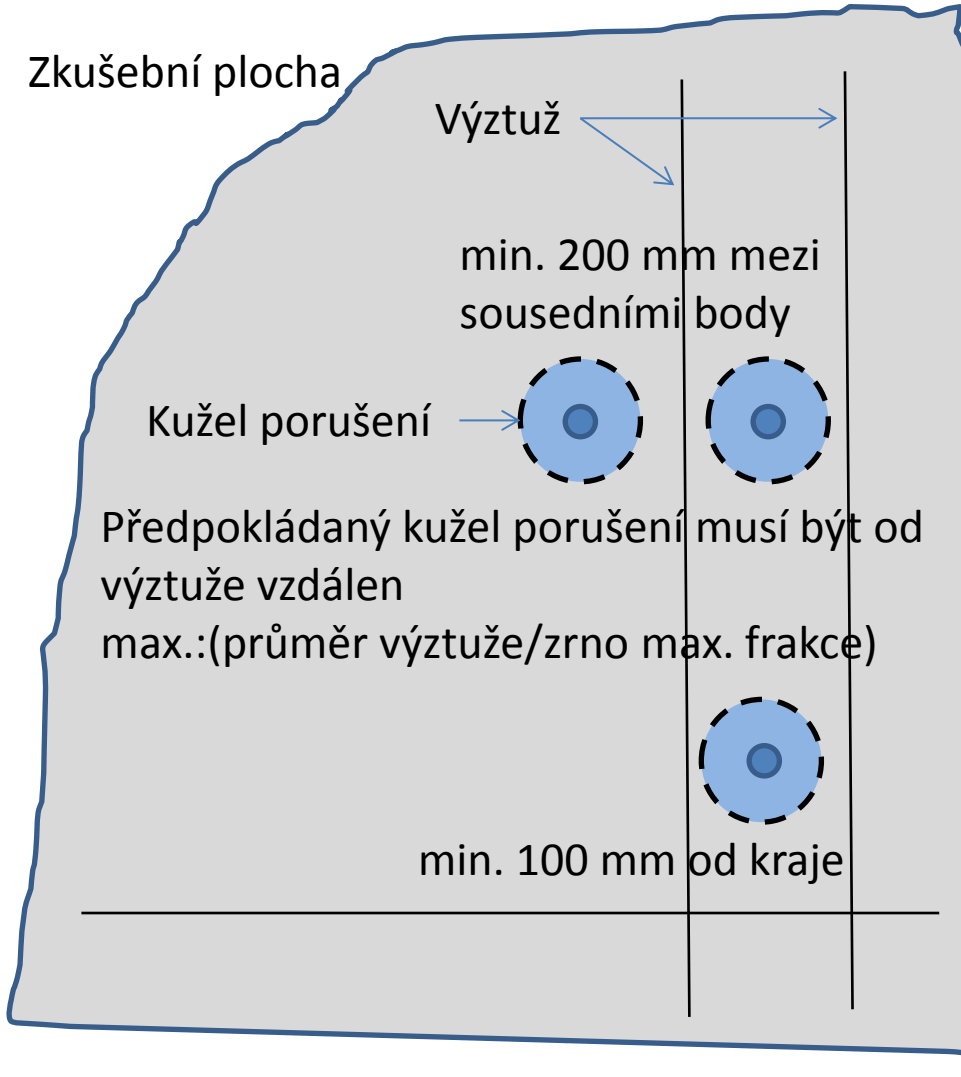


Vytrhávací zkoušky - LOK test, CAPO test

- Mechanická metoda místního porušení
- Měření maximální síly v tahu
- Předem zabetonovaná kovová vložka
- Dodatečně vyvrtaný výklenek
- Trhlina kruhového tvaru (konec testu)



Vytrhávací zkoušky - LOK test, CAPO test



- Nejmenší tloušťka betonu je 100 mm
- Počet zkoušek je závislý na variabilitě betonu a požadované přesnosti
- Zkouška se nesmí provádět na zmrzlém betonu
- Po ukončení zkoušky se ponechává kovová vložka v konstrukci

Vytrhávací zkoušky - LOK test, CAPO test

Pevnost při vytřetí lze vypočít (ČSN EN 12504-1)

$$f_p = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi (d_2 + d_1) \sqrt{4h^2 + (d_2 - d_1)^2}$$

f_p pevnost při vytržení

F síla při vytržení

A plocha povrchu v místě porušení

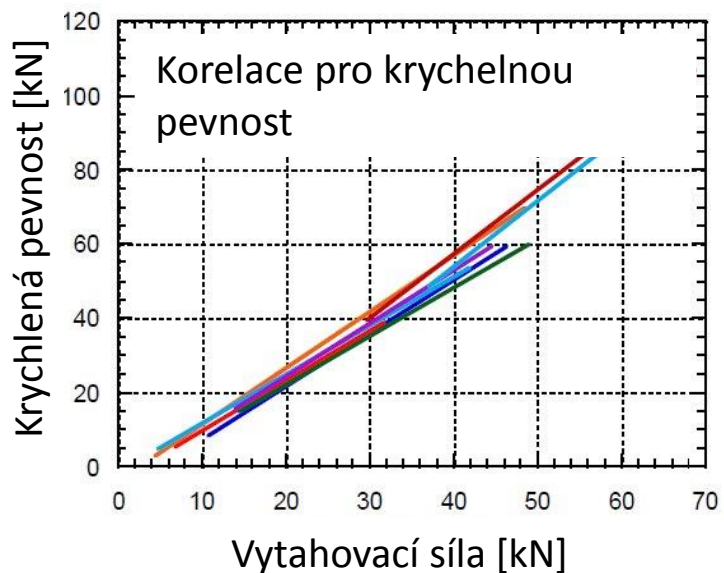
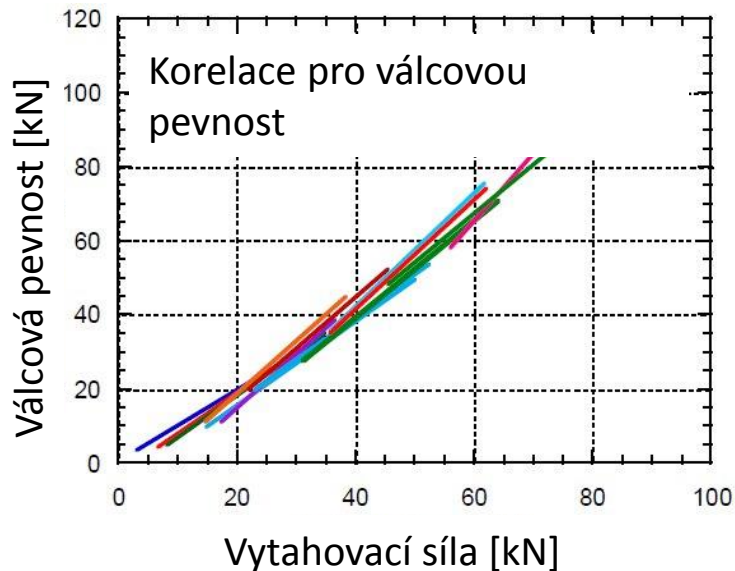
d_2 vnitřní průměr opěrné podložky, v milimetrech (55 mm)

d_1 průměr hlavy kotouče vloženého do betonu, v milimetrech (25 mm)

h vzdálenost hlavy kotouče od povrchu betonu, v milimetrech

Vytrhávací zkoušky - LOK test, CAPO test

- Velmi dobře ohraničená korelace s destruktivními zkouškami v tlaku



Vytrhávací zkoušky - LOK test, CAPO test

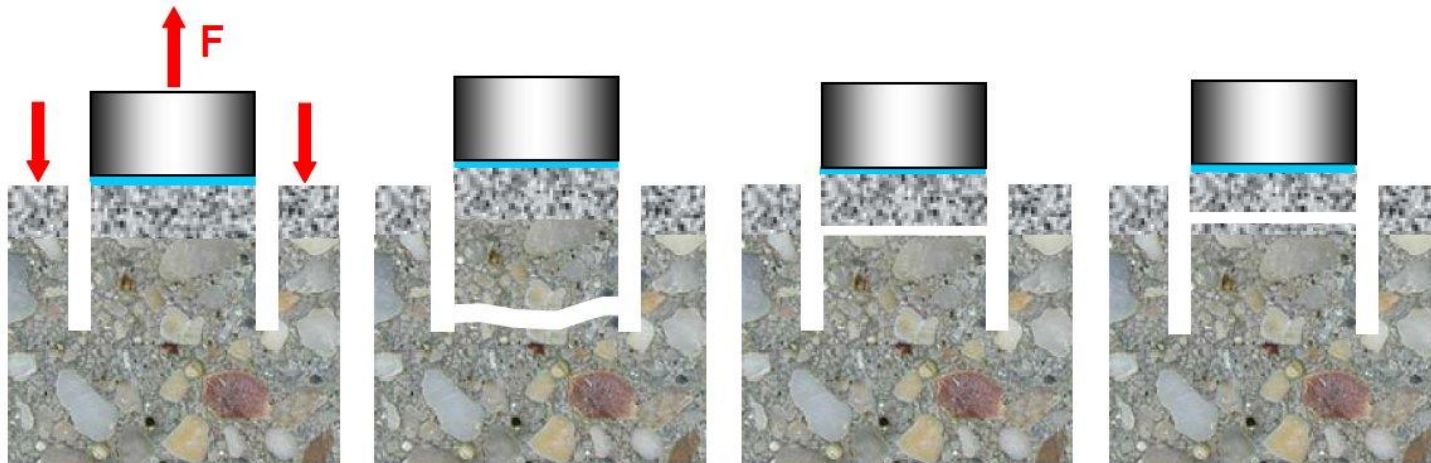
- Ověření pevnosti na hotové konstrukci v případě, kdy referenční vzorky betonu selhaly
- Odhad zbytkové pevnosti betonu ve stávajících konstrukcích
- Odhad pevnosti betonu na konstrukcích zasažených požárem
- Tahové pevnosti mívají zpravidla větší rozptyl než tlakové pevnosti

Vytrhávací zkoušky - BOND test

Pevnost vazby mezi podkladem a novou vrstvou

Odhad pevnosti v tahu betonu či jiných materiálů

Odhad pevnosti v tlaku pomocí přibližného vztahu



BOND test

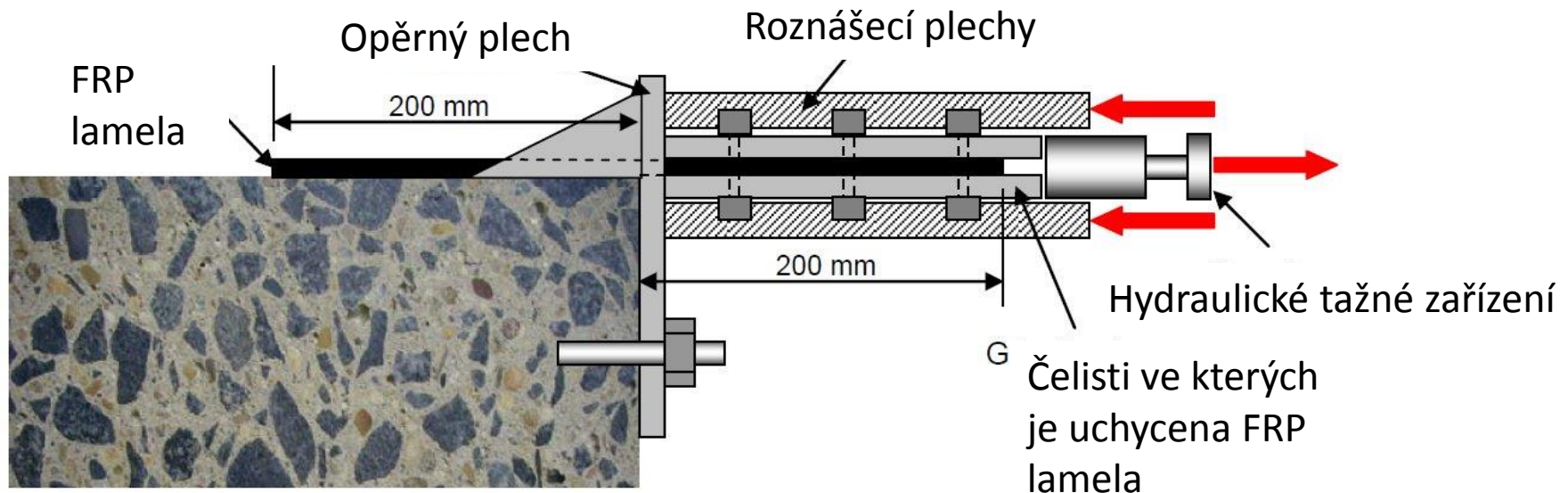
Tahová kapacita
podkladního
materiálu

Rozhraní podkladu
a povrchové vrstvy

Tahová kapacita
povrchové vrstvy

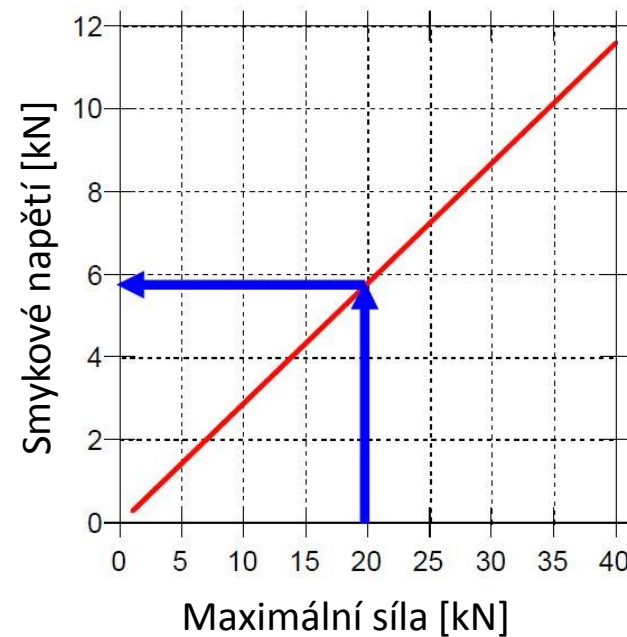
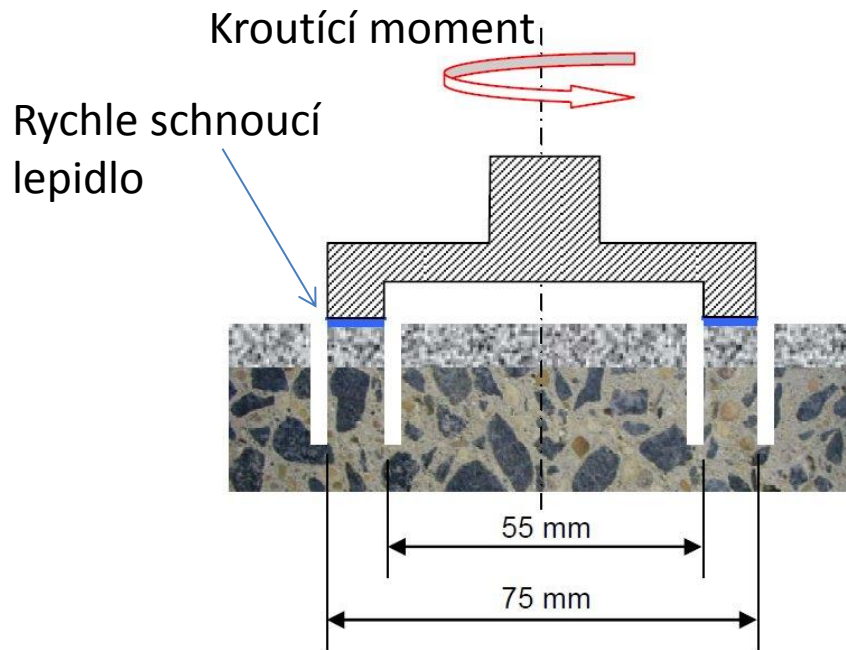
Vytrhávací zkoušky – Vazební pevnost

- Vazební smyková pevnost vlákný vyztuženého polymeru (CFRP, GFRP) připevněného k povrchu dřeva, oceli, cihly nebo betonu



Vytrhávací zkoušky – TORQ test

- Odhad pevnosti ve smyku

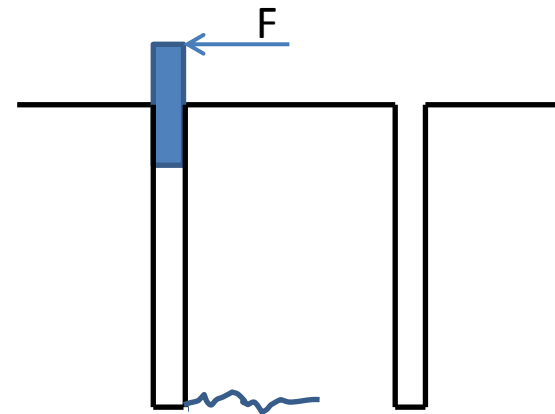


Jádrové vývrty – metody místního porušení



Jádrové vývrty

- Počet vývrtů se řídí velikostí konstrukce
 - Posouzení konstrukce jako celku vs. posouzení jednotlivých konstrukčních prvků (sloupy, stěny, trámy, desky) ?
 - Do 10 m³ minimálně 3 jádrové vývrty
 - Do 50 m³ minimálně 6 jádrových vývrtů
 - Nad 50 m³ minimálně 9 jádrových vývrtů
- Dynamický modul pružnosti
- Pevnost v tlaku
- Vylamovací zkoušky
 - Vylomení vývrtu boční silou

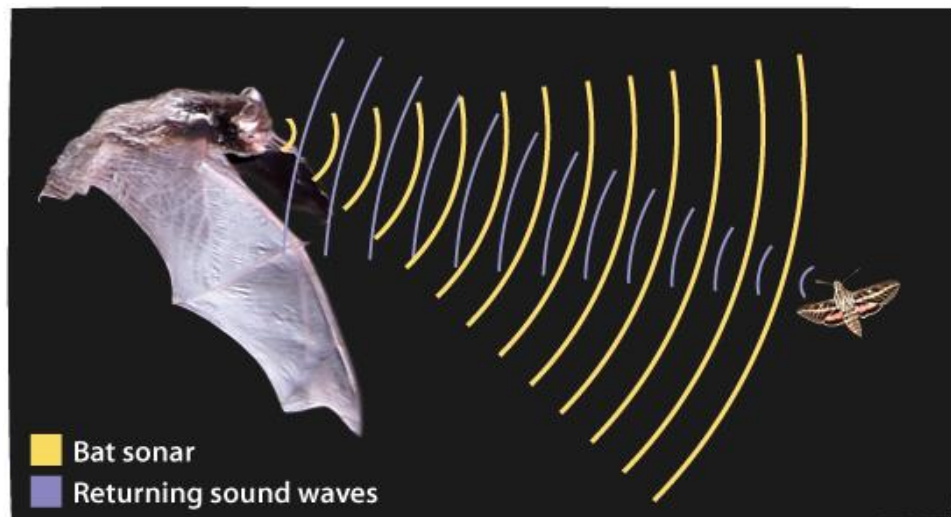


Metody dynamické

- Metody pulzní (Ultrazvuková metoda)
- Metody rezonanční (Modální analýza)
 - Zjišťování mechanicko-fyzikálních vlastností z rychlosti šíření akustického vlnění ve vzorku nebo konstrukci
 - Naměřené rychlosti souvisí s pružnými charakteristikami materiálu (dynamické moduly pružnosti, Poissonovo číslo, pevnosti apod.)
 - Metoda je měřítkem homogenity materiálu a slouží k určování defektů v konstrukci (trhliny, hnízda, dutiny apod.)

Ultrazvuková metoda

- Dynamická pulzní metoda
- Zjišťování vlastností z rychlosti šíření akustického (podélného) vlnění
- Doba potřebná pro průchod UZV vlnění vyšetřovaným prostředím
- Rychlosti průchodu souvisí s pružnými charakteristikami materiálu



Ultrazvuková metoda

- Z rychlost šíření UZ vln zjišťujeme
 - Dynamický modul pružnosti
 - Dynamický Poissonův koeficient
 - Pevnostní charakteristiky
 - Mikrostrukturní vlastnosti
 - Míra narušení materiálu

materiálové
charakteristiky

pozice výztuže

dutiny a trhliny

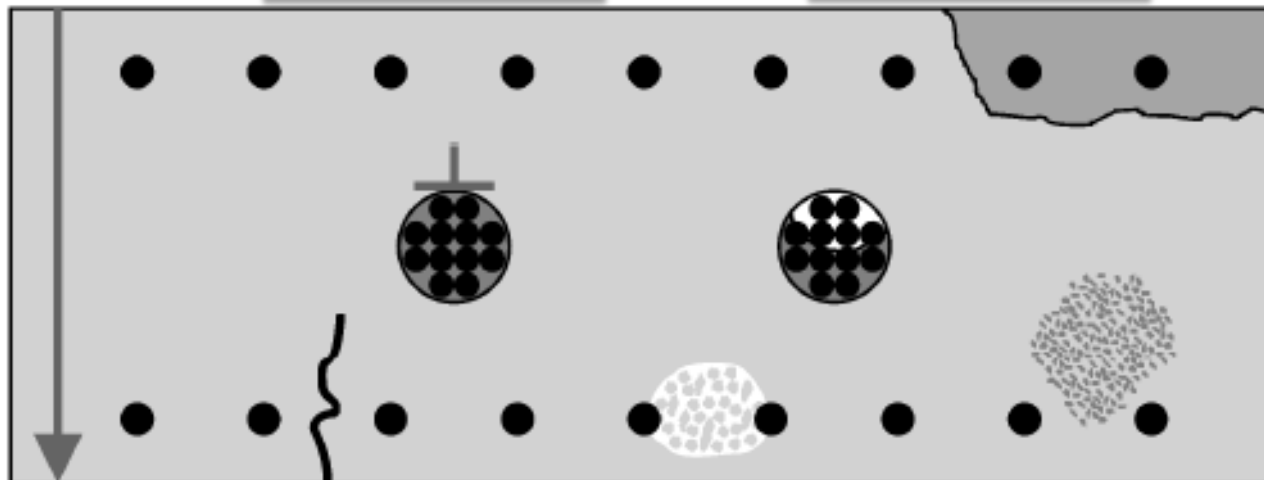
drolení vrstev

tloušťka

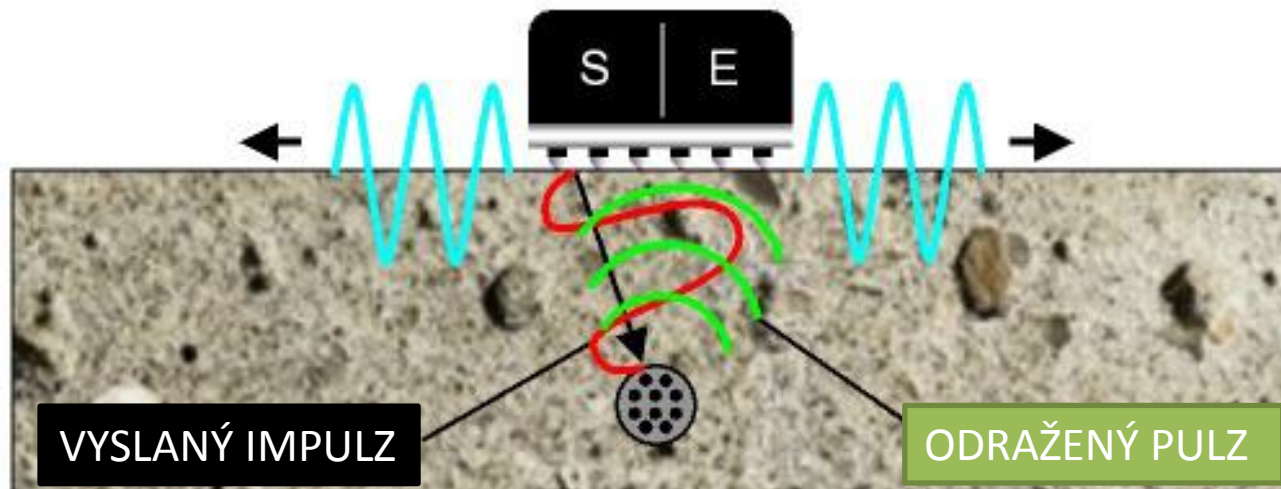
mikrotrhliny

hloubka trhliny

Kavitační účinky



Ultrazvuková metoda



$$v_L = \lambda f$$

v_L impulzová rychlost podélného UZ vlnění [km/s]

λ délka vlny [m]

f jmenovitá frekvence použité sondy [Hz]

- typická frekvence
 - Ocel 2MHz
 - Beton 100 kHz
- délka vlny
 - Ocel 5,8 km/s
 - Beton 4 km/s

(1 MHz = 3mm, 1kHz = 40mm)

Ultrazvuková metoda

- Faktory ovlivňující měření rychlosti šíření impulsu
 - Vlhkost (způsob ošetřování, volná voda v pórech)
 - Teplota zkušebního vzorku ($+10^{\circ}\text{C}$ až $+30^{\circ}\text{C}$)
 - Měřicí základna
 - Tvar a velikost tělesa
 - Vliv výztužných ocelí
 - Trhliny a dutiny



Ultrazvuková metoda

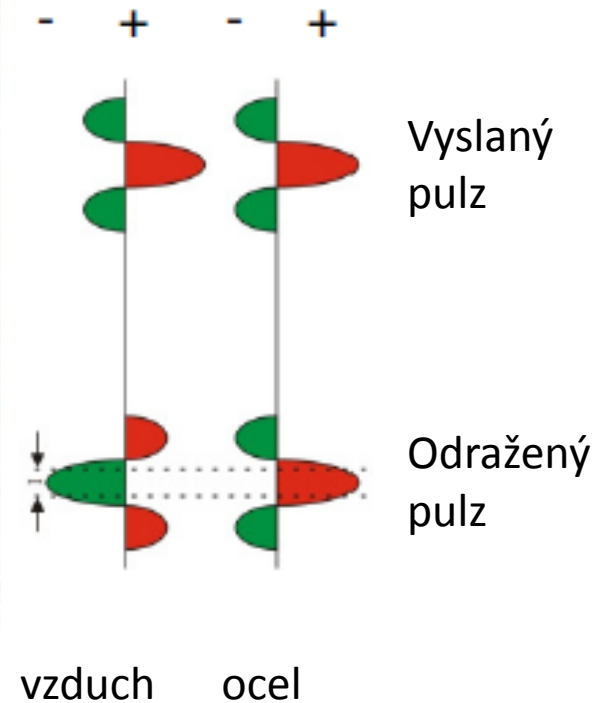
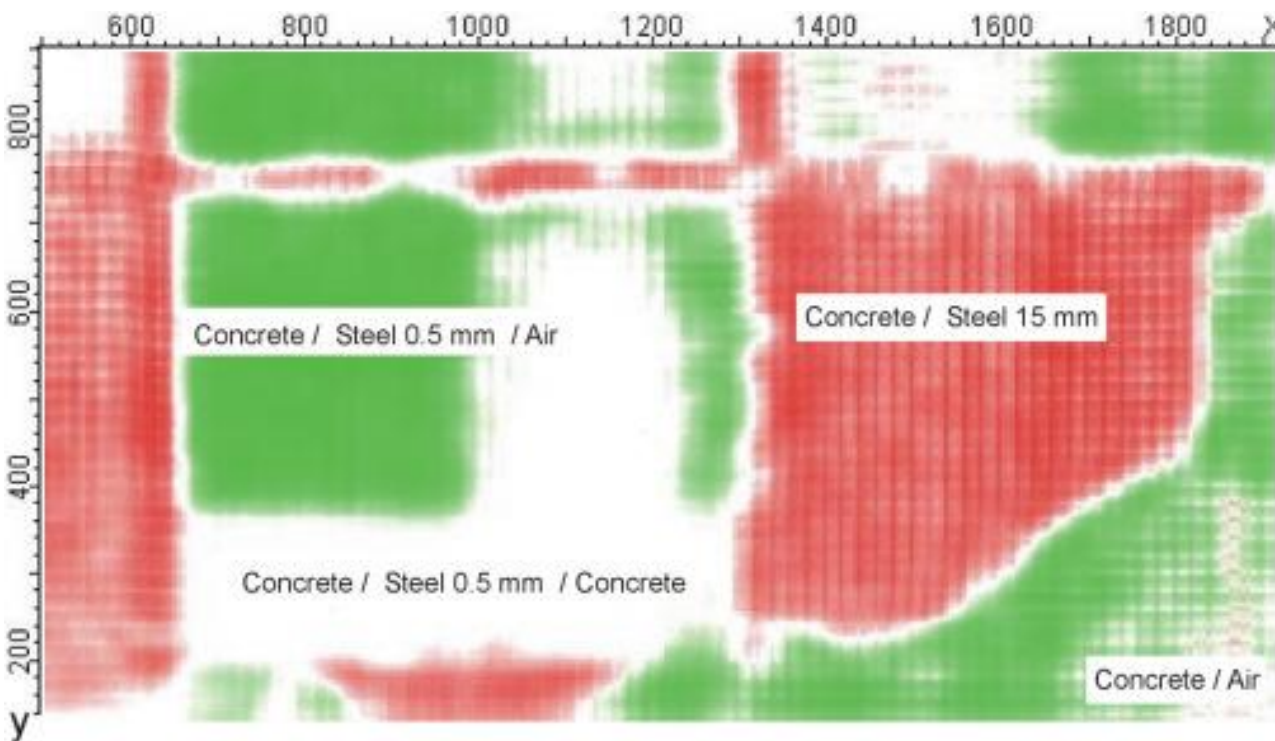
kvalita betonu	rychlost podélných vln [m/s]	orientační pevnost [MPa]
velmi špatná	pod 2000	-
špatná	2000 - 3000	do 1
nedobrá	3000 - 3500	do 15
dobrá	3500 - 4000	do 25
velmi dobrá	4000 - 4500	do 40
výborná	nad 4500	nad 40

Kvalita materiálu v konstrukci se posuzuje:

- podle modulu pružnosti, a to na základě jejich pružných vlastností,
- empirickými závislostmi, určenými z korelačního vztahu mezi naměřenou rychlostí a pevností betonu.

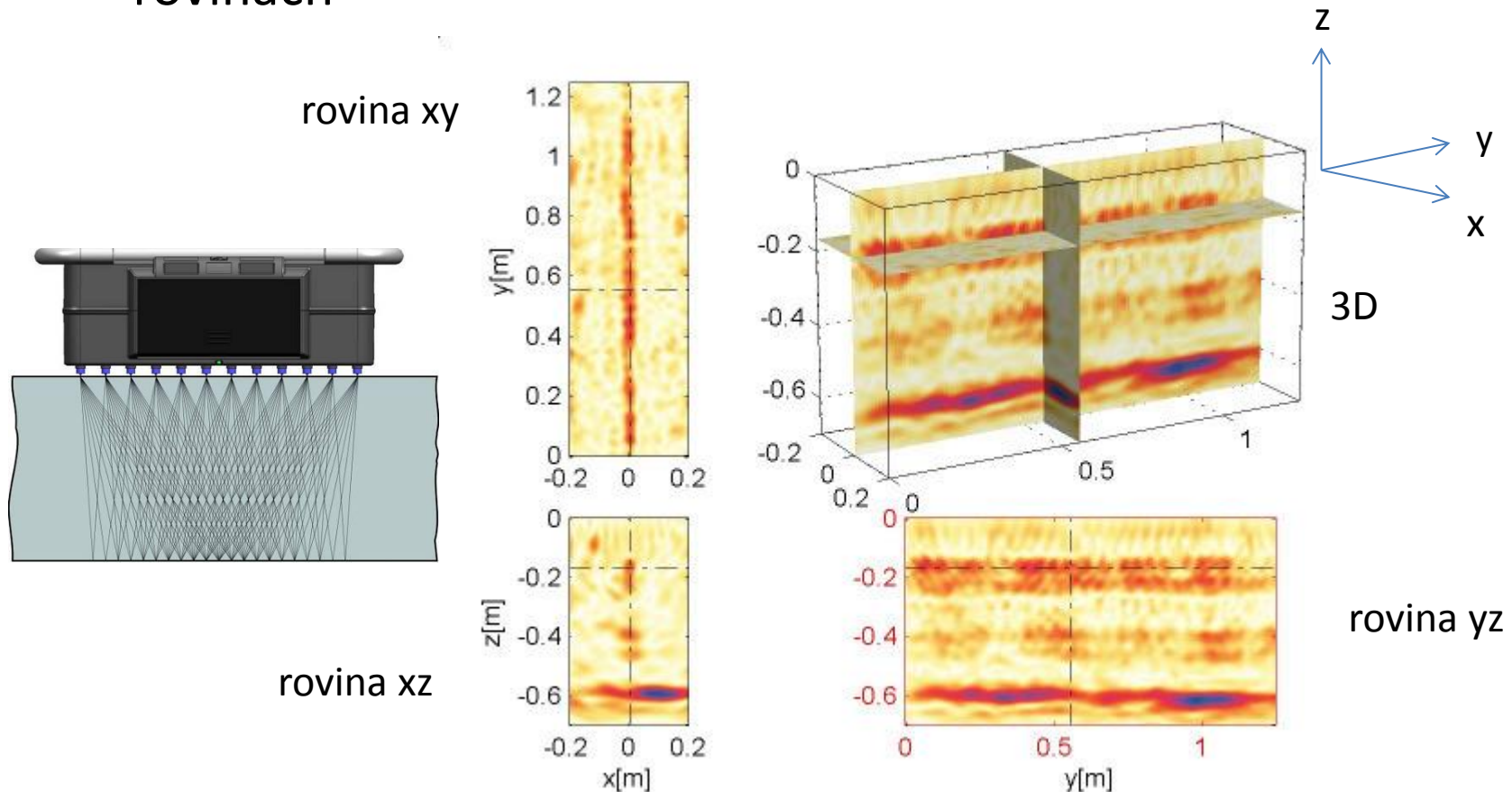


Ultrazvuková metoda



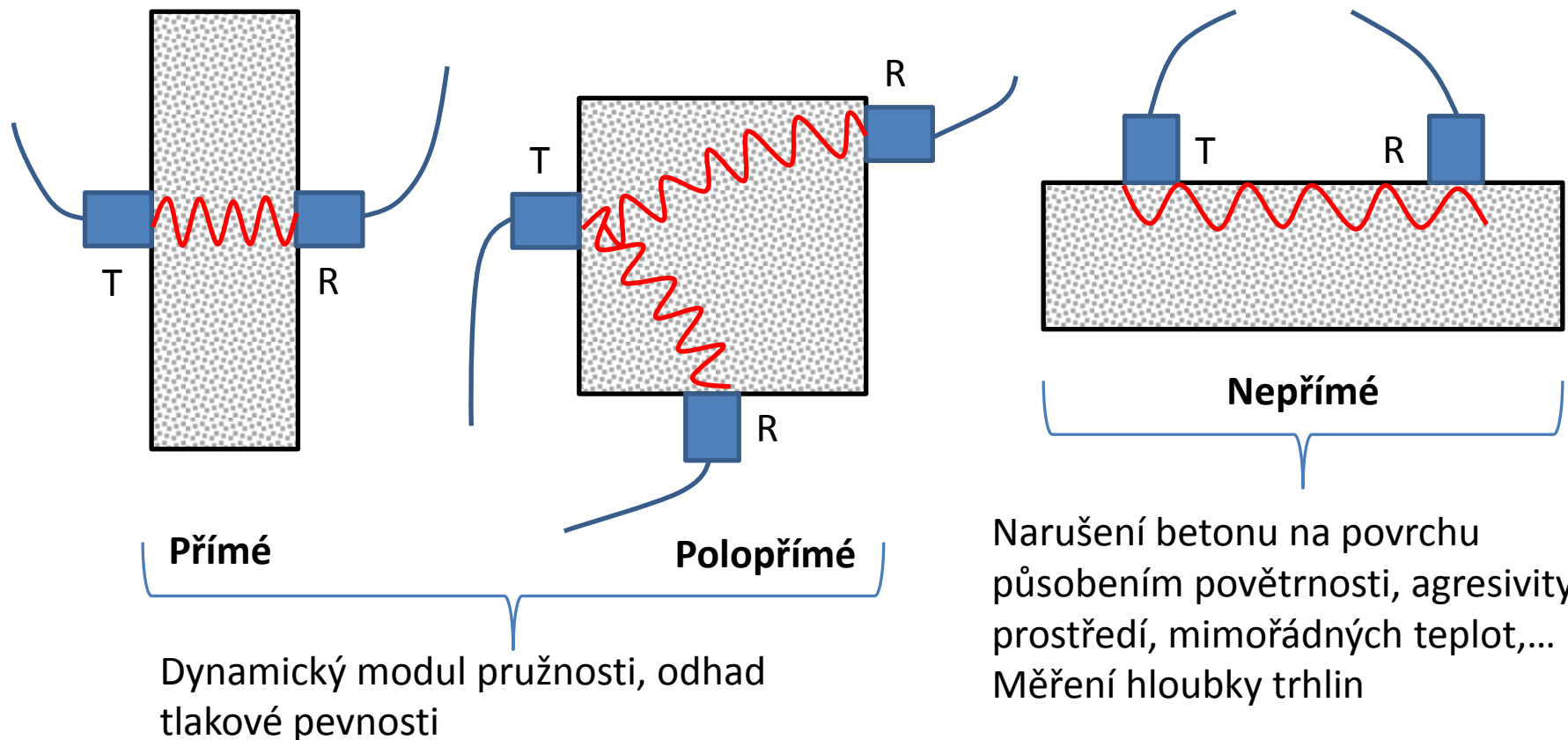
Ultrazvuková metoda - SAFT

- Výstupy měření ultrazvukovými metodou SAFT v různých rovinách



Ultrazvuková metoda

- Uspořádání sond budiče (T) a snímače (R)



Ultrazvuková metoda

- Dynamický modul pružnosti v tlaku a tahu

$$E_{CU} = \rho v_L^2 \frac{1}{k^2}; v_L = \frac{L}{T}$$

ρ objemová hmotnost betonu [kg.m^{-3}]

v_L impulzová rychlost podélného UZ vlnění [km.s^{-1}]

k součinitel rozměrnosti prostředí (k_1, k_2, k_3)

L délka měřicí základny [mm] (optimum 200 - 600 mm)

T čas který uplyne při průběhu impulsu měřicí základnou [s]

$$k_1 = 1; k_2 = \sqrt{\frac{1}{1-\vartheta_{cu}^2}}; k_3 = \sqrt{\frac{1-\vartheta_{cu}}{(1+\vartheta_{cu})(1-2\vartheta_{cu})}}$$

ϑ_{cu} Poissonův koeficient (uveden v literatuře pro jednotlivé materiály)

Ultrazvuková metoda

- Informativní výpočet pevnosti betonu v tlaku

$$f_{be} = 9,9v_{L3}^2 - 56v_{L3} + 87,8; \quad v_{L3} = \frac{k_3}{v_{L1}}; \quad \lambda = \frac{v_L}{f}$$

v_{L3} impulzová rychlost podélného UZ vlnění v trojrozměrném prostředí [km.s^{-1}]

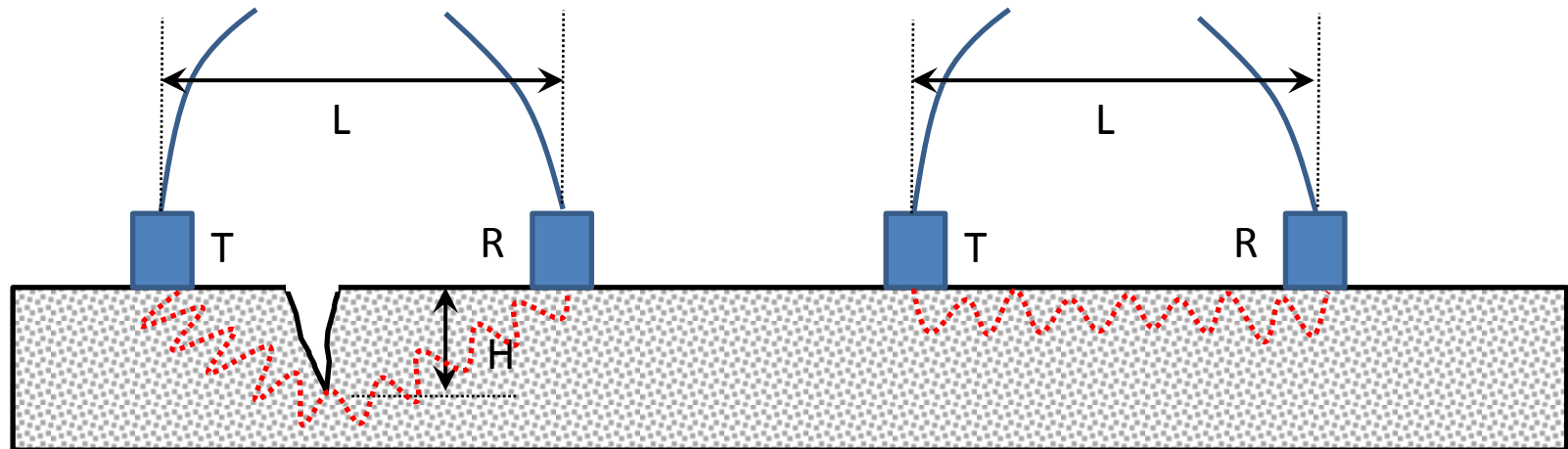
λ délka vlny [m]

f jmenovitá frekvence použité sondy [Hz]

- Jednorozměrné prostředí
pruty, hranoly, nosníky, kde mim. rozměr příčného řezu je menší nebo roven $0,2 \lambda$ ()
- Dvojrzměrné prostředí
tenké desky, kde tloušťka desky je menší nebo rovna $0,2 \lambda$
- Trojrozměrné prostředí
krychle, kvádry, válce nosníky – rozměry příčného řezu kolmého na směr prozvučování jsou větší než 2λ

Ultrazvuková metoda

- Měření hloubky trhlin v betonu



$$H = \frac{1}{2} v_L \sqrt{t_{u1}^2 - t_{u2}^2};$$

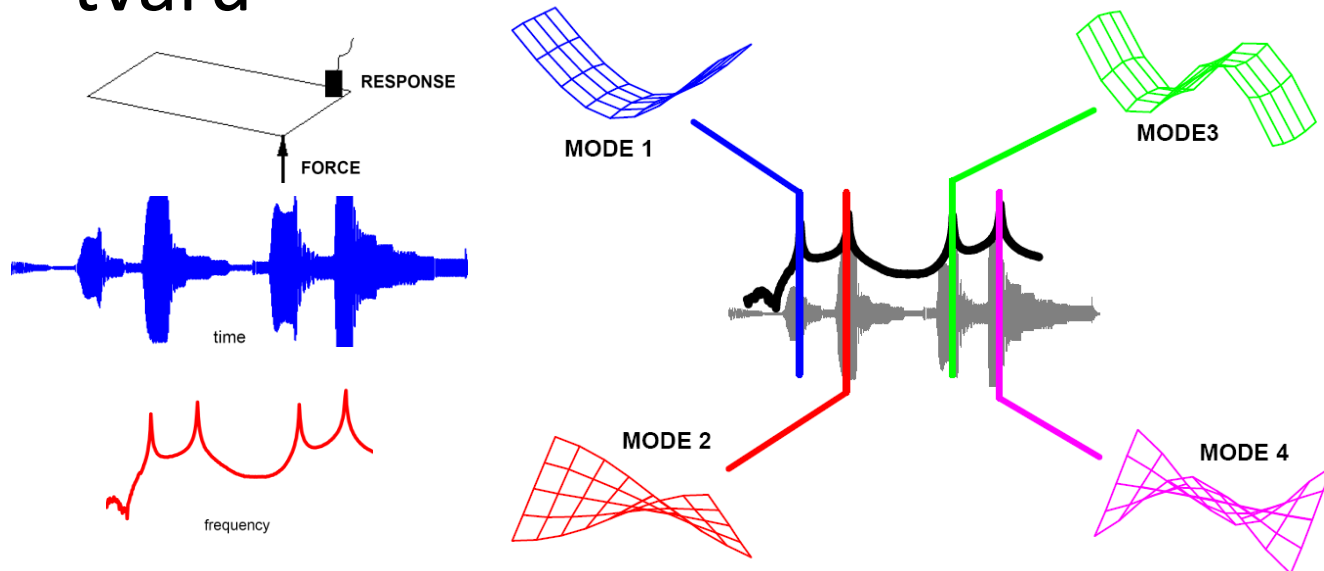
$$v_L = \frac{L}{t_{u2}}$$

t_{u2} je doba přechodu UZ impulsu v neporušeném betonu [s]

t_{u1} je doba přechodu UZ impulsu v místě trhliny [s]

Modální analýza

- Dynamická metoda studie vlastních frekvencí a tvarů



- Vlastní frekvence a tvary původní vs. naměřené

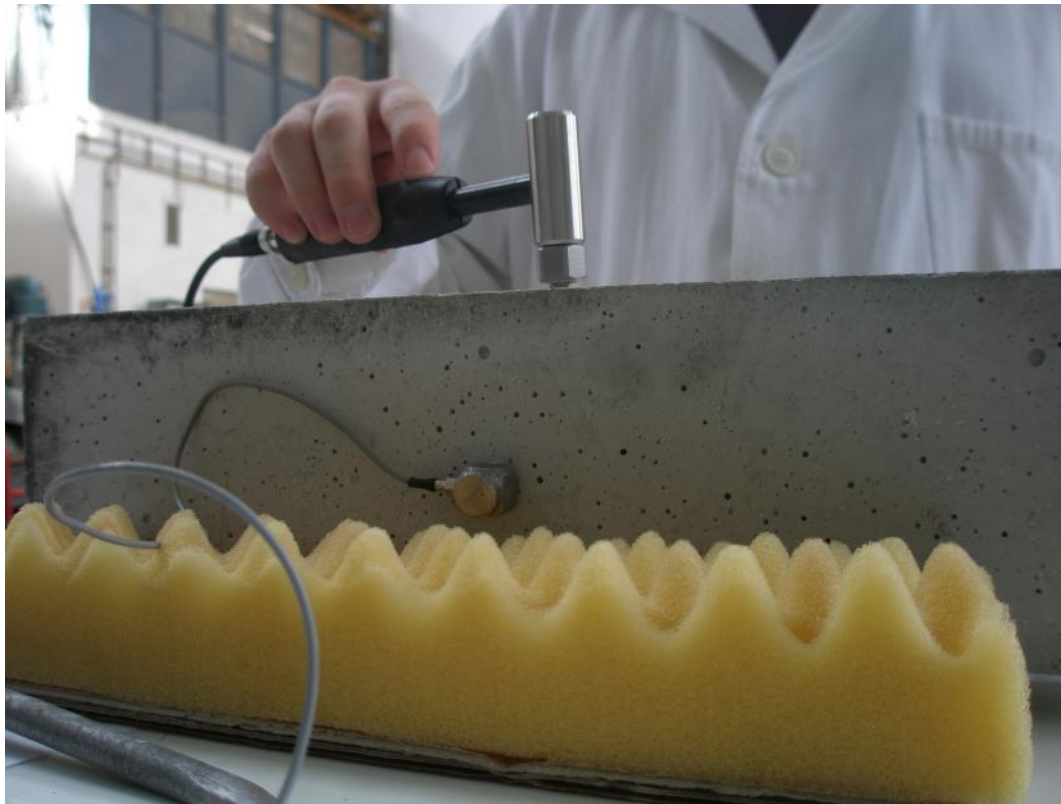


Modální analýza





Modální analýza



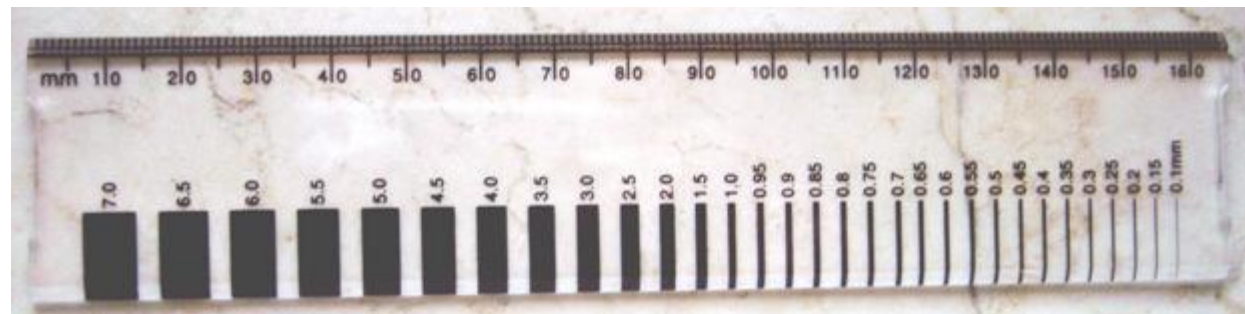
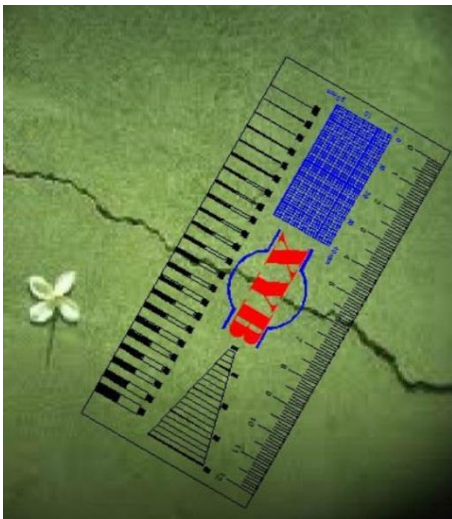
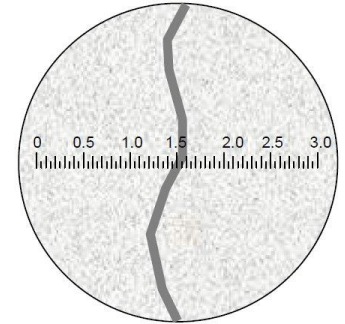
Modální analýza – Impact Echo

- Měření tloušťky od 10 cm do cca 100cm
- Výhodný zejména v hustě vyztužených konstrukcích
- Detekce a umístění míst s rozrušenými vrstvami materiálu
- Spolehlivý výhradně v laboratorních podmínkách

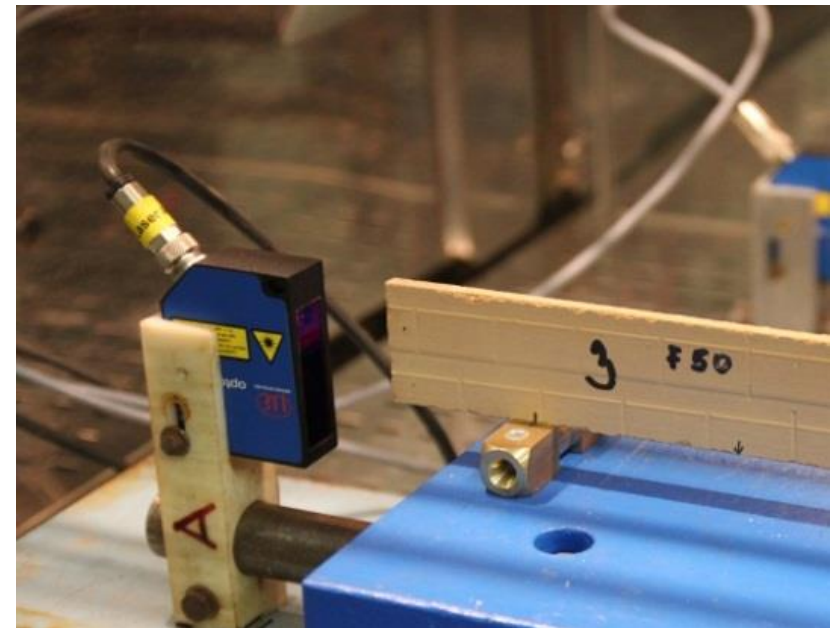
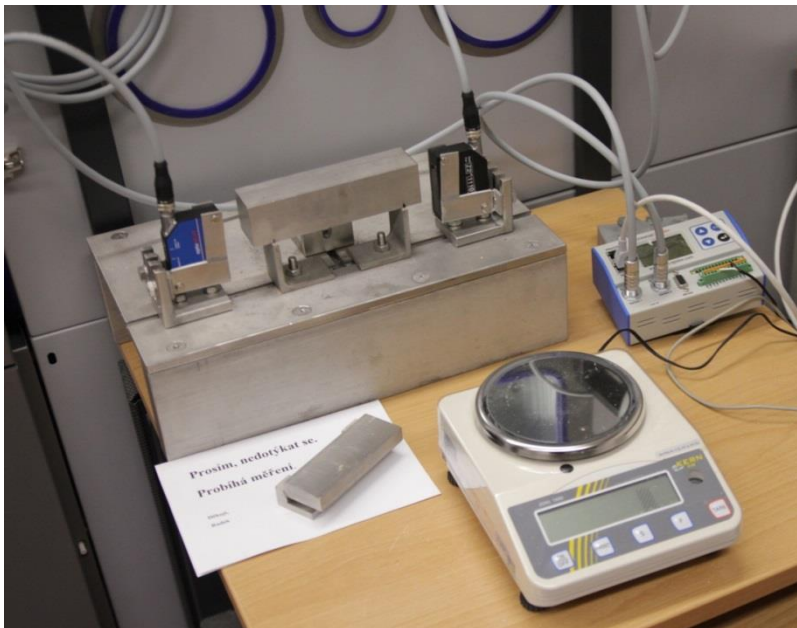


Trhlinový mikroskop

- Optická metoda přesného měření
 - šířky povrchových trhlin
 - hloubky povrchových děr
- 25 násobné zvětšení



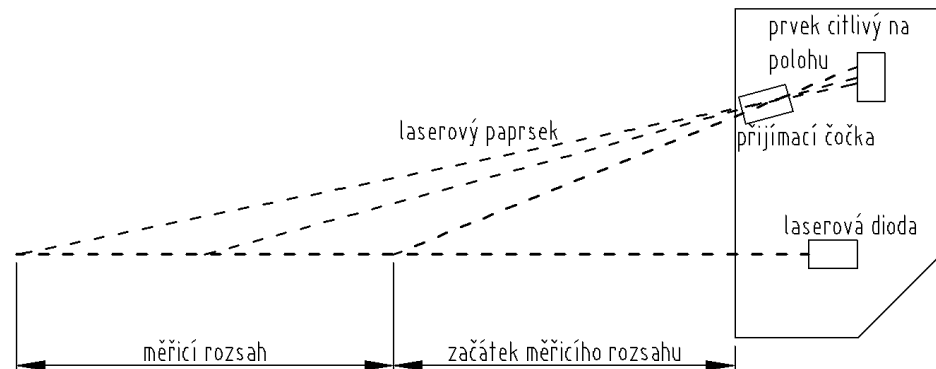
Laserové snímače polohy



Měřicí rozsah	5mm
Začátek/konec měřicího rozsahu	20/25 mm
Provozní teplota	0...+50°C
Provozní vlhkost	5...95%
Rozlišení	0,6 mm

Laserové snímače polohy

- Laserové snímače vzdálenosti a polohy pracují na triangulačním principu
- Na různé povrchy
- Měření
 - vzdálenost
 - výška
 - deformace



Endoskopické metody

- Vizuální kontrola obtížně přístupných nebo nepřístupných míst
- Mechanické vady, stupeň opotřebování, stav a postup koroze nebo eroze, kvalitu svarů (zejména oblast kořene), kvalitu opracování, povrchovou úpravu, toxické zasažení, apod.



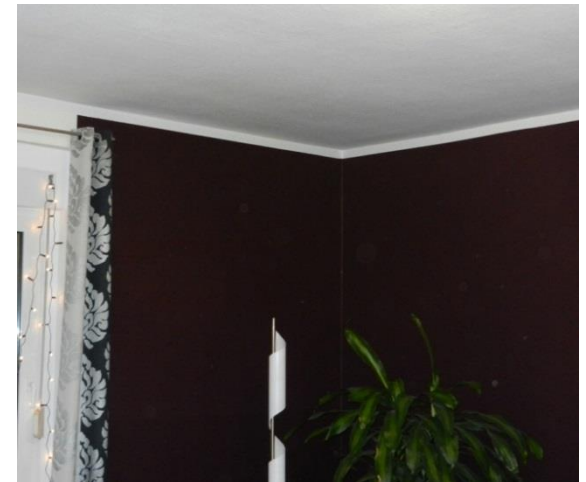
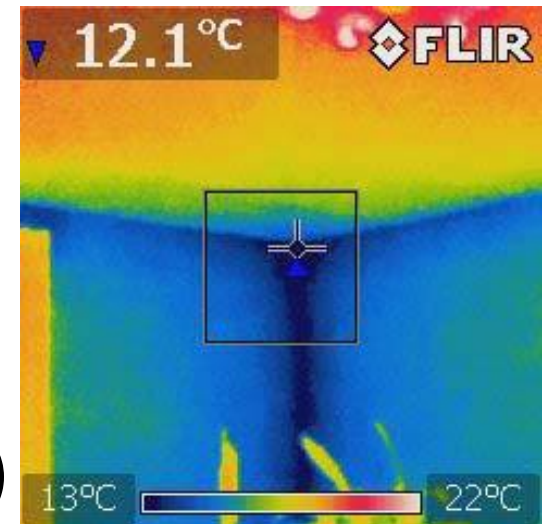
Endoskopické metody

- Endoskopy se vyrábí sondami od průměru 0.64 mm a do délek až 60 m



Termokamera

- Termovizní metoda
- Nedestruktivní a bezdotyková metoda
- Odchytky a slabá místa na budovách
- Zajištění kvality novostaveb
- Hodnocení stavu stárnutí staveb
- Odhalení skrytých vad (tepelné mosty)



Termokamera

- Pasivní

- omezení

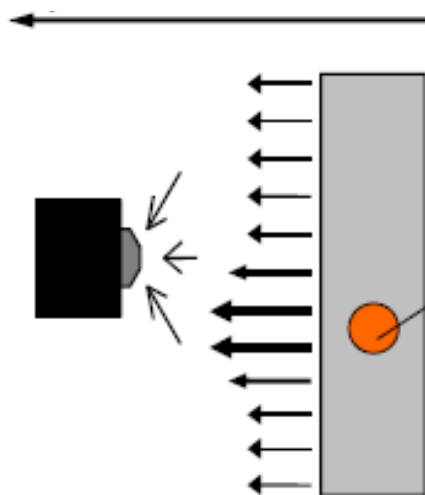
- Nízký tepelný rozdíl mezi místy s vadou a bez závad

- Aktivní

- výhody

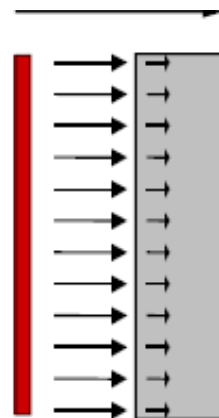
- Vysoká flexibilita
 - Lepší použitelnost

Není ovlivněna možnými
tepelnými toky

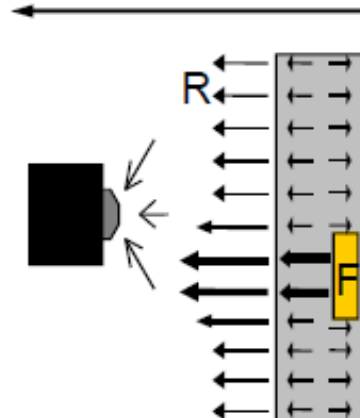


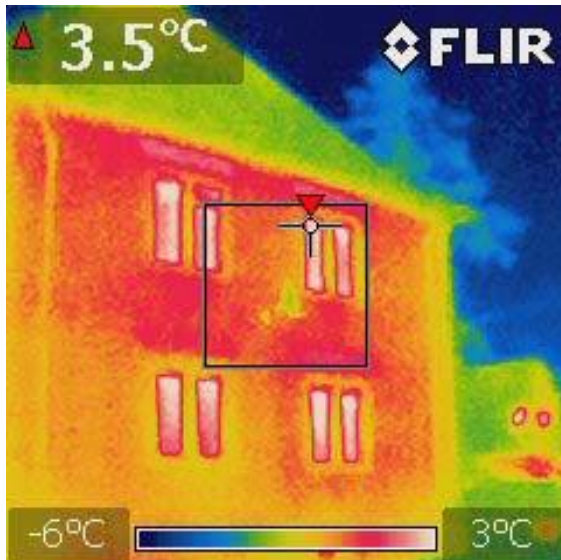
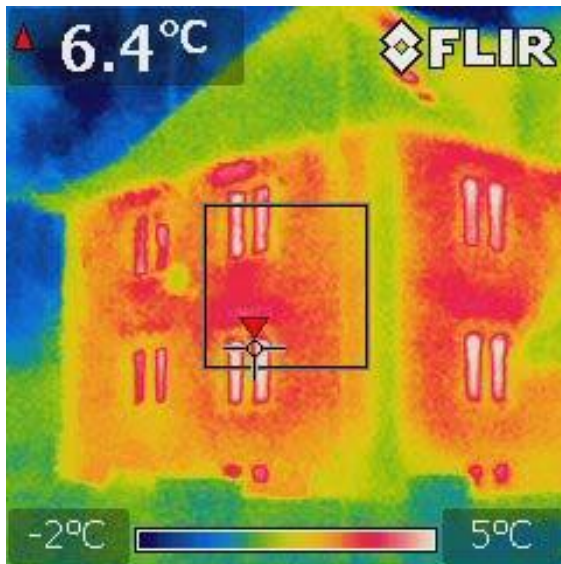
Zdroj tepla je
umístěn uvnitř
konstrukčního
prvku

Aktivní energetický vstup



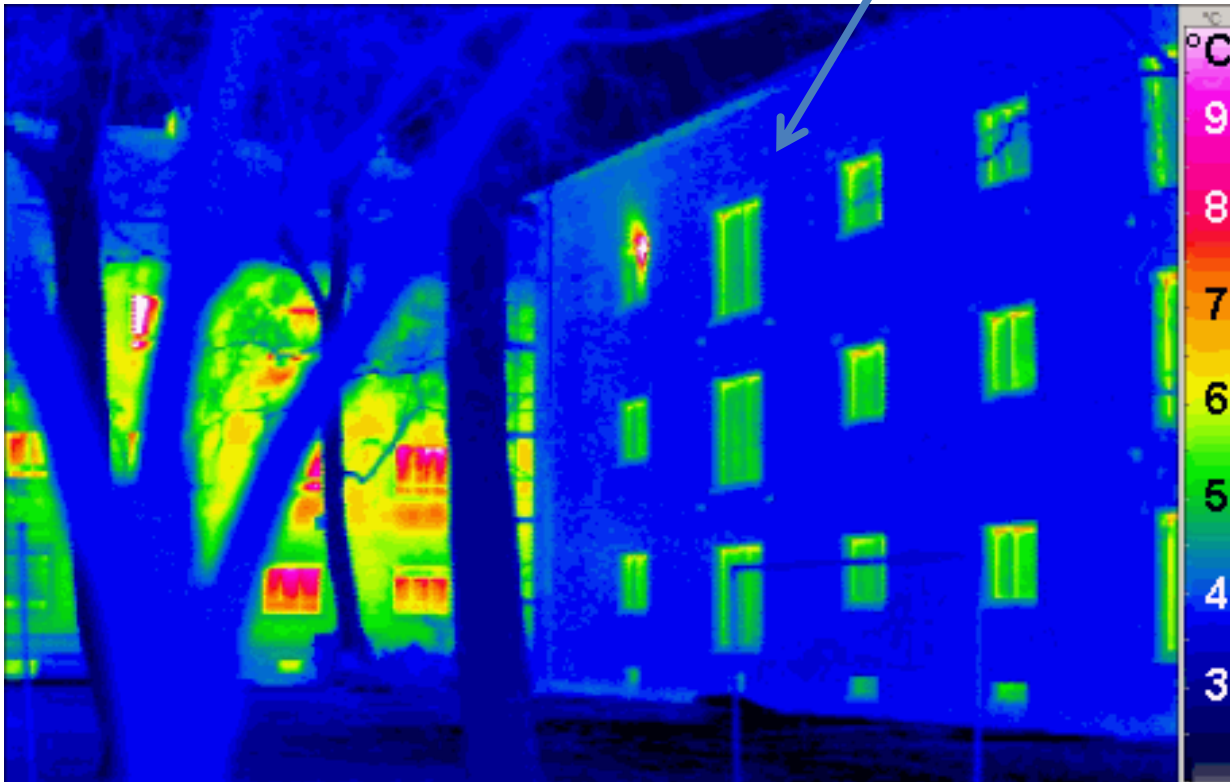
Aktivní změna tepelného toku
Záznam vyzařovaná energie





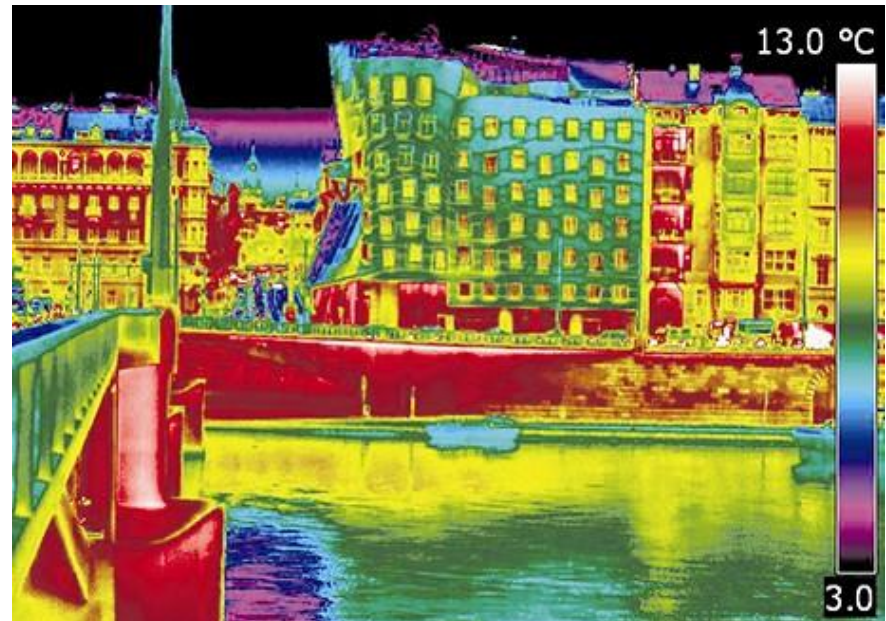
Termokamera

Pasivní dům



Termokamera

- Typické problémy u využití termokamer:
 - Lokalizace dutin v betonových konstrukcích
 - Lokalizace místa rozvrstvení struktur (betonu a uhlíkového výztužného pásu, omítky na betonu a zdiva)
 - Zvýšená vlhkost na povrchu v blízkosti měřené oblasti
 - Záření je ovlivněno povrchovými anomáliemi (zakřivený povrch, nečistoty)
 - Vlivy okolního prostředí (je vítr nebo vlhkosti)



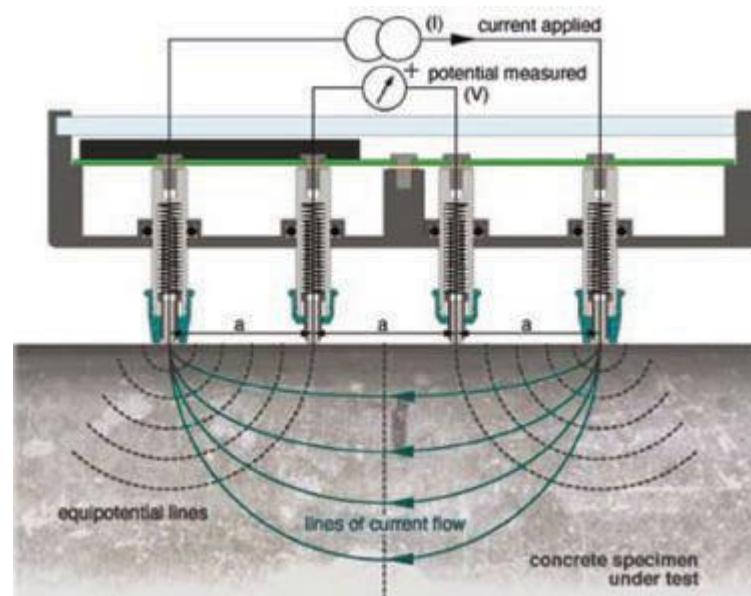
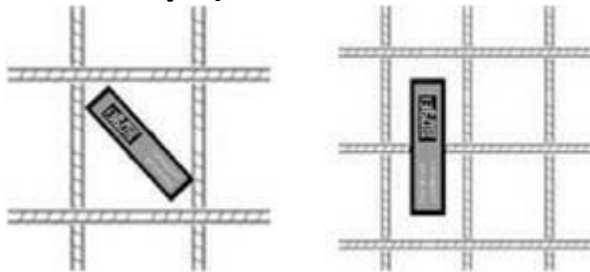


Odporové metody

- Elektrické odporové metody (měření vlhkosti, teploty a deformací)
- Elektrický odpor je závislý na vlhkosti materiálu
- Tyto metody nelze použít v prostředí se zvýšeným obsahem solí (ionty soli jsou vysoce vodivé)

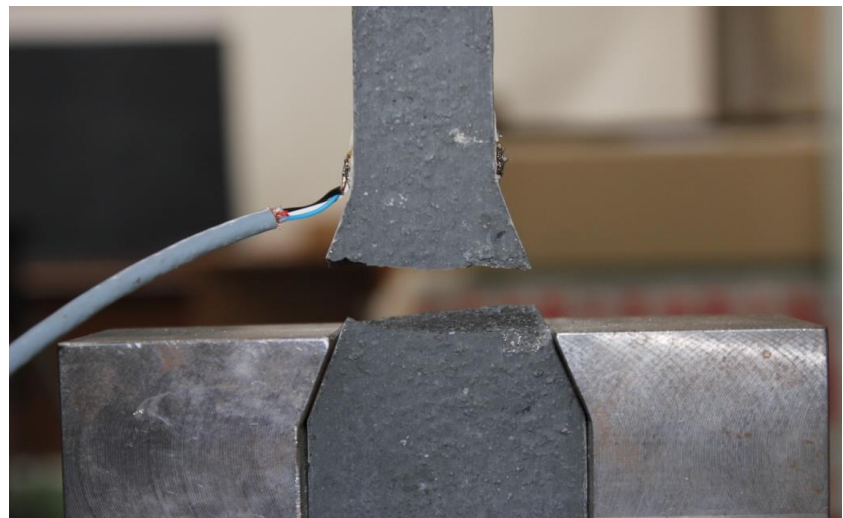
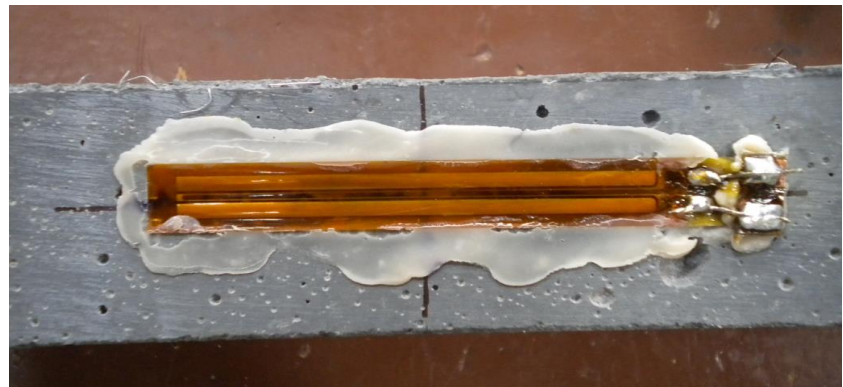
Odporové metody

- Elektrické odporové metody (měření vlhkosti, teploty a deformací)
 - 2 nebo 4 elektrody
 - Očištěný povrch
 - Kalibrační křivky



Elektrické metody

- Měření deformace



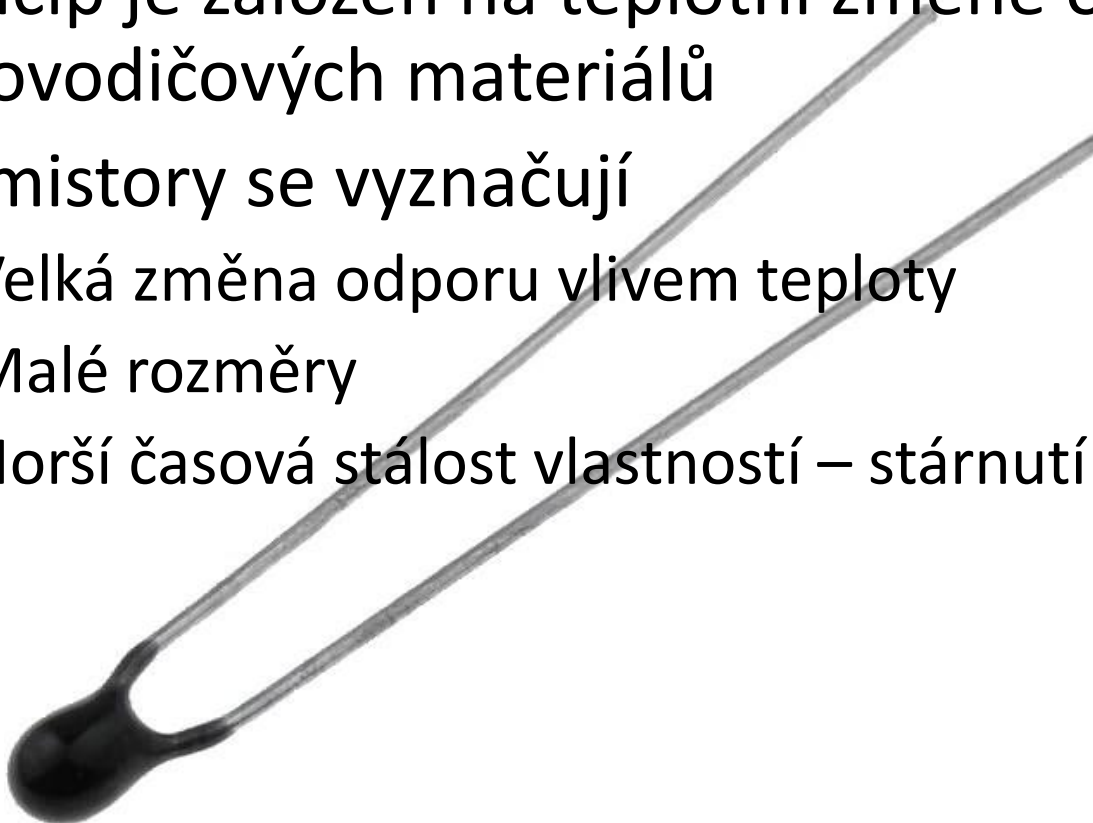
Kapacitní metody

- Elektrické kapacitní metody (měření vlhkosti)
- Závislost relativní permitivity na obsahu vlhkosti v materiálu
- Princip – kondenzátor (kapacitní vlhkoměr) a dielektrikum (měřený materiál)
- Tyto metody nelze použít v prostředí se zvýšeným obsahem solí
- Hloubka dosahu měření cca 5 cm
- ➔ povrchová vlhkost
- Nelze využít u vodivých materiálů



Polovodičové metody

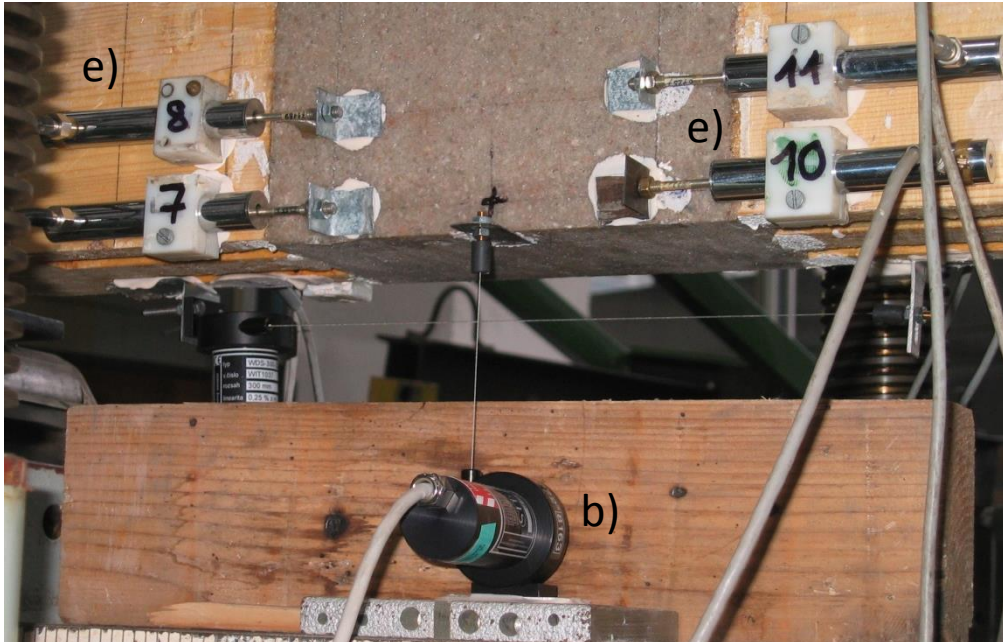
- Elektrické polovodičové metody (měření teploty)
- Princip je založen na teplotní změně odporu polovodičových materiálů
- Termistory se vyznačují
 - Velká změna odporu vlivem teploty
 - Malé rozměry
 - Horší časová stálost vlastností – stárnutí čidel



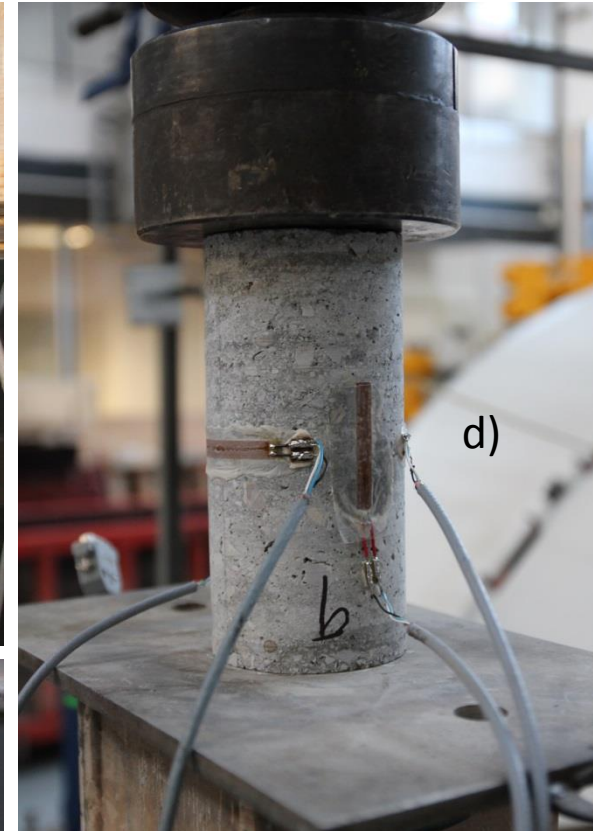
Metody elektrické



a)



b)



d)



b)



c)

- a) Platínový teploměr
- b) Potenciometrický snímač (lankový snímač polohy)
- c) Siloměr (snímač zatížení)
- d) Fóliový odporový tenzometr
- e) Induktivní snímač polohy

Radiační metody

- Neutronová radiografie
- Měření vlhkosti
- Schopnost ionizujícího záření procházet konstrukcí v různé hustotě toku, která se mění v závislosti na objemové hmotnosti, chemickém složení a tloušťce materiálu

