

# NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ

Definice

Nejdůležitější typy:

- a) dynamické – rezonanční
  - ultrazvukové
  - impedanční
- b) radiometrické – měření hutnosti
  - vlhkosti
  - obj. hmotnosti
- c) rentgenografie a radiografie
- d) sklerometrie
- e) magnetické
- f) tenzometrické
- g) zatěžovací statické a dynamické

## DYNAMICKÉ NEDESTRUKTIVNÍ METODY

Princip - zjištění mech. vlastností pomocí měření rychlosti šíření mechanického kmitání (vlnění) ve zkušebním tělese.

Rychlost šíření vlnění

$$v = \frac{L}{t} \quad \begin{array}{l} \text{dráha} \\ \text{doba} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{ultrazvuk. impulsová metoda} \end{array}$$

$$v = f \cdot l \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{rezonanční metoda} \end{array}$$

$f$  - frekvence

$l$  - délka vlny při volném kmitání

## ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA

Z naměřené rychlosti určujeme:

- dynam. moduly pružnosti a Poissonova čísla
- pevnost
- jiné vlastnosti (stejnorodost, strukturální změny, skryté vady, stupeň sycení atd.)

Vztahy odvozeny – Newtonův pohybový zákona

- Hookův obecný zákon

Řešením parciální diferenciální rovnice je rychlost podélného vlnění

$$v_{L_{1,2,3}} = k_{1,2,3} \sqrt{\frac{E}{r}}$$

$E$  - modul pružnosti

$r$  - objemová hmotnost

$v_{L_1}$  - rychlost v jednorozměrném prostředí

$v_{L_2}$  - rychlost ve dvourozměrném prostředí

$v_{L_3}$  - rychlost ve třírozměrném prostředí

$k_1 = 1$  pro  $v_{L_1}$

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \text{ pro } v_{L_2}$$

$$k_3 = \sqrt{\frac{1-m}{(1+m) \cdot (1-2m)}} \text{ pro } v_{L_3}$$

kde  $m$  je Poissonovo číslo

a rychlost příčného vlnění

$$v_T = \sqrt{\frac{G}{r}}$$

$G$  - modul pružnosti ve smyku

$$m = \frac{E - 2G}{2G}$$

Nároky na používaná zařízení:

- kmitočet  $20 \approx 600$  kHz

- měření času do 20  $h_s$
- stanovení rychlosti  $\pm 1\%$

Způsob měření rychlosti:

- protilehlé
- šikmé
- na ploše

Důležitost vazby budič – vzorek – snímač

Prostředí je jednorozměrné pokud

$$a \leq 0,2l \quad \text{/pruty, trámce, válce/}$$

$a$  - rozměry příčného řezu kolmého ke směru prozvučování

$l$  - délka podélné vlny

$$l = \frac{v}{f_0}$$

$f_0$  - kmitočet vlnění

$v$  - impulsová rychlost

Prostředí je dvourozměrné pokud

$$h \leq 0,2l \quad \text{/tenké desky/}$$

$h$  - tloušťka desky

Prostředí je třírozměrné pokud

$$a \geq 2l \quad \text{/krychle, kvádry, válce/}$$

Prostředí pro desky prozvučované z čelních ploch

$$h \geq 0,9l$$

## Měření útlumu ultrazvukového vlnění

Zmenšení amplitudy vlny na velikost

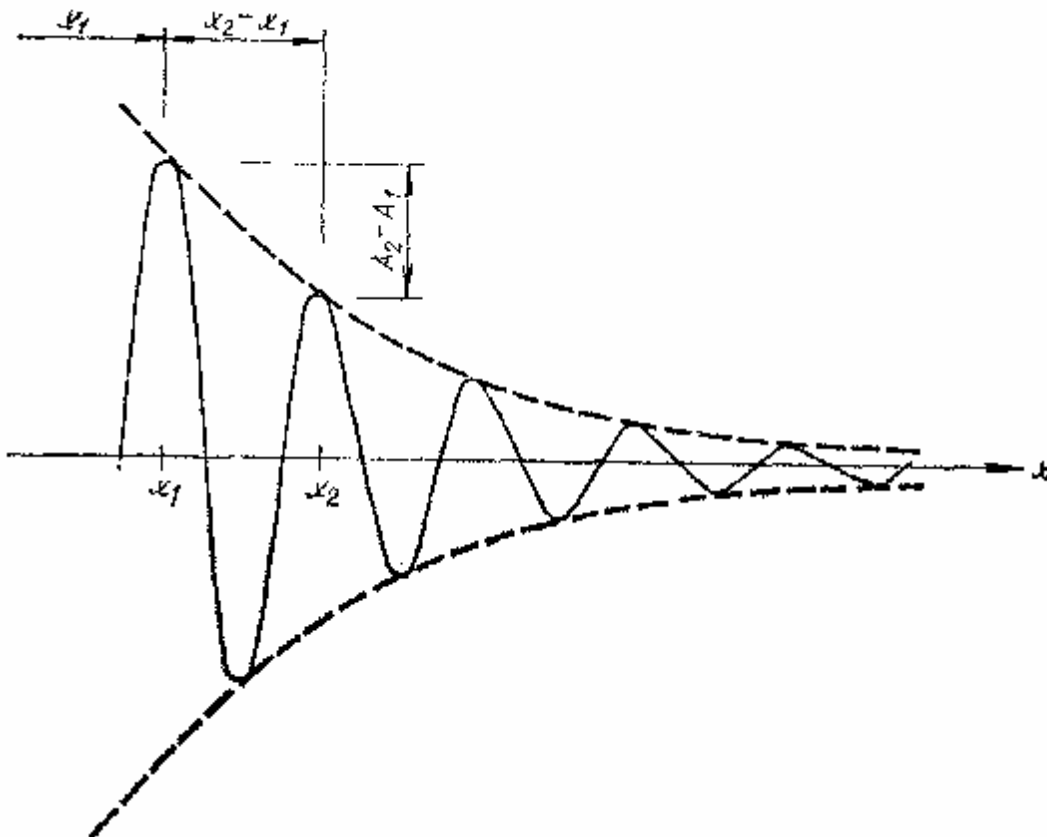
$$A_x = A_0 e^{-ax}$$

$x$  - vzdálenost od zdroje

$A_0$  - poč. amplituda vlny

$a$  - koef. útlumu

$$a = \frac{1}{x_2 - x_1} \lg \frac{A_1}{A_2}$$



Obr. 1. Útlum vlnění při ultrazvukové zkoušce

## Dynamické moduly

- pružnosti v tlaku-tahu E

$$E = r \cdot v_L^2 \cdot k_1^{-2}$$

- pružnosti ve smyku G

$$G = r \cdot v_T^2$$

$$m = 0,5 \left( \frac{v_L^2}{v_T^2 \cdot k_i^2} - 2 \right)$$

Stupeň zhutnění asfaltobetonového krytu

kalibrační křivky jako  $f = (r, v_L, T)$

prozvučování na ploše

$$t = k + v_L \cdot L$$

$k$  - konst. (plocha budiče a snímače)

$L$  - délka měřící základny

$t$  - naměřený čas průchodu

pravděpodobný stupeň zhutnění  $\Rightarrow$  srovnání naměřené rychlosti a kalibrační křivky  
provádění kontrolních vývrtů v neodpovídajících místech

## REZONANČNÍ METODA

Pro zk. cementového betonu

Princip: vztahy mezi kmitočty vzorku a pružnými vlastnostmi (E)

Přístroje:

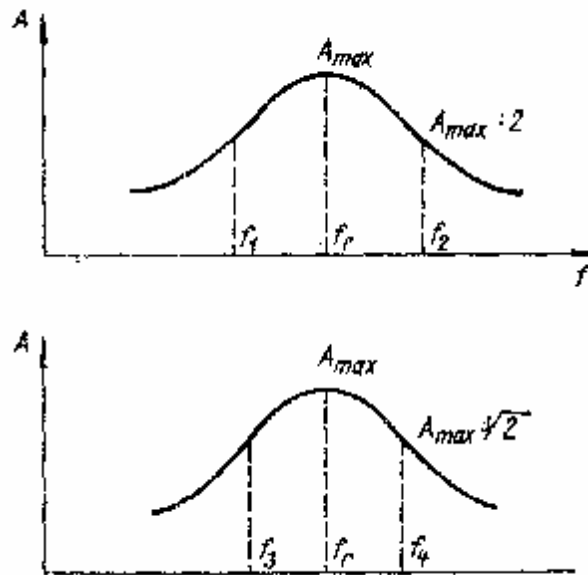
oscilátor proměnného kmitočtu, zesilovač, budič

**budící obvod**

**snímací obvod**

snímač

Měření:



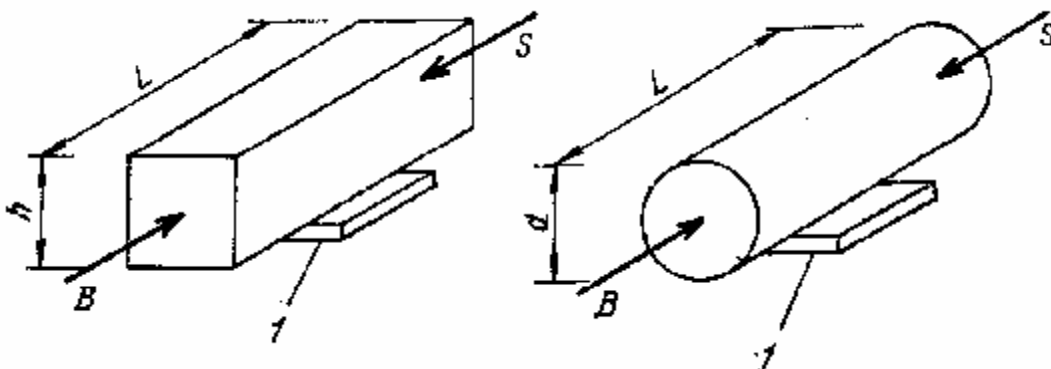
Obr.2. Rezonanční křivka

Útlum ovlivňuje tvar rezonanční křivky. Charakterizován logaritmickým dekrementem útlumu  $d$  (viz. obr.2a)

$$d = \frac{p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_r}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

Určení dynamického modulu pružnosti v tlaku-tahu  $E$



Obr.3. Uspořádání zkoušky při stanovení dynamických modulů rezonanční metodou –  
podélné vlnění

1 – podložka; B – budič; S - snímač

$$E = 4L^2 \cdot f_{po}^2 \cdot r$$

L – délka vzorku

$f_{po}$  - nejnižší kmitočet podél. kmitání (Hz)

$r$  - objemová hmotnost

Určení dynamického modulu pružnosti ve smyku  $G$

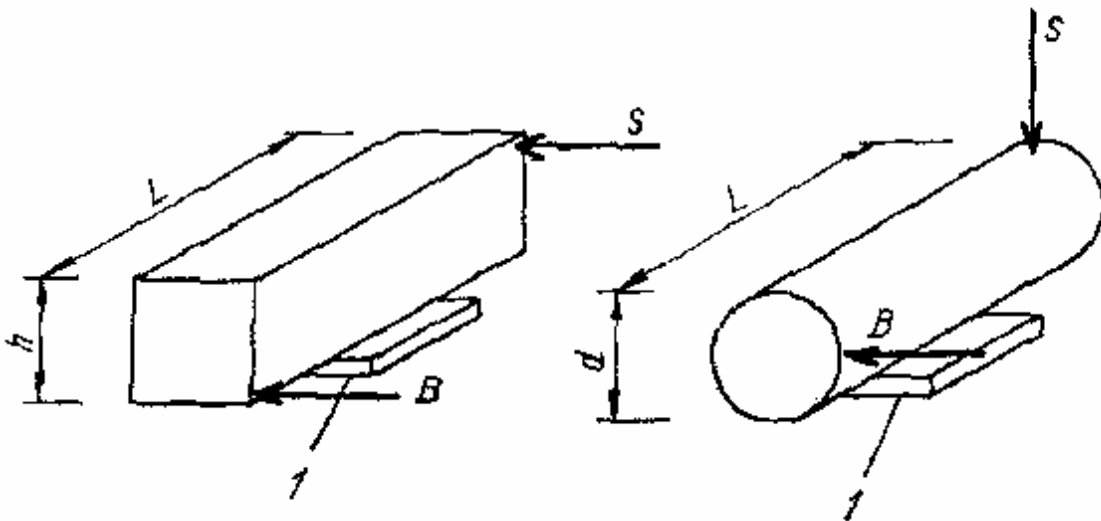
$$G = 4k \cdot L^2 \cdot f_{kr}^2 \cdot r$$

$k$  – souč. tvaru příčného průřezu vzorku

$k = 1$  - pro válec

$k = 1,183$  - čtvercová základna

$f_{kr}$  - první vlastní frekvence vzorku (Hz)



Obr. 4. Uspořádání zkoušky při stanovení dynamických modulů rezonanční metodou  
– kroucí vlnění

1 – podložka; B – budič; S - snímač

Určení Poissonova čísla

$$m = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{k} \cdot \frac{f_{po}^2}{f_{kr}^2} - 2 \right)$$

## ASFALTOVÝ BETON

Cíl: stanovení komplexního modulu

Zařízení:

- elektromagnetický vibrátor
- snímač síly
- fázoměr
- osciloskop
- klimatizační prostor

Stanovíme složky komplexního modulu  $E_1$  a  $E_2$

$$S = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

## SKLEROMETRICKÉ METODY

Pro cementový beton

Princip:

experimentálně odvozené vztahy mezi tvrdostí cem. malty a pevností cem. betonu

Určení:

- metoda trvalých vtisků: vnik špičáku (kuličky) stat. tlakem nebo dyn. rázem
- metody odrazová: odraz pruž. tělesa od povrchu

### METODA TRVALÝCH VTISKŮ KULIČKOU

Princip: zjištění velikosti vtisku kuličky

Metody:

- Waitzmanovo kladívko – určení energie vtisku na srovnávací ocel. tyčce
- kuličkové kladívko – energie konst. 5J

Postup: očištěné místo min. 100 cm<sup>2</sup> od hrany min. 3 cm

Vyhodnocení: velikost prům. vtisku měřením na otiskové fólii (tyčce) ve dvou na sebe kolmých směrech

Pevnost materiálu: kalibrační vztah



## ODRAZOVÉ METODY

Schmidtovo kladívko

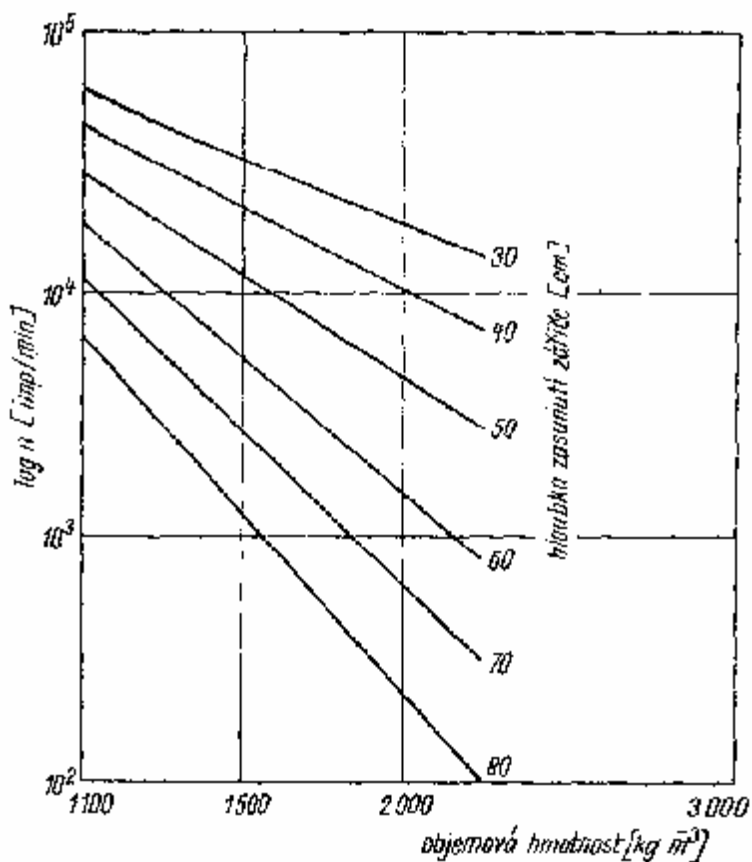
Typy:

- N – energie 2,25 J
- L – energie 0,75 J
- M – energie 30 J

Oprava pro nevodorovnou polohu

## **RADIOMETRICKÉ NEDESTRUKTIVNÍ METODY**

založeny na



Obr. 5. Závislost objemové hmotnosti na počtu impulsů

## Radiometrické soupravy

### 1) hloubkové detekční jednotky – pro

- zeminy a G s  $d_{\max} = 1/5$  vnějšího prům. pažnic
- cementobetonové směsi
- cem. směsi

### 2) povrchové detekční jednotky

### 3) detekční jednotky s přímým zeslabením – druhy

- detekční jednotky pro měření v úzkém svazku
- lyzometrické detekční jednotky
- vpichovací detekční jednotky

### 4) kombinované detekční jednotky

## Bezpečnost

## ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Statická zatěžovací zkouška podloží a podkladních vrstev

Dynamická zatěžovací zkouška podloží a podkladních vrstev