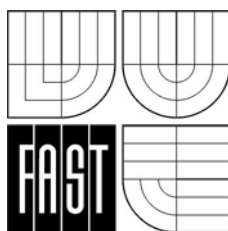


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Ing. Ondřej Antop'c' ~~hmgmk~~

ZKUŠEBNICTVÍ A TECHNOLOGIE

MODUL BI02-M24
LABORATORNÍ CVIČENÍ



STUDIJNÍ OPORY
PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA

Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídá autor
© ...Ing. Ondřej Anton

1 ÚVOD

1.1 Cíle

Tato studijní opora přímo navazuje na svazek Hobst L. s kolektivem autorů: Zkušebnictví a technologie - část zkušebnictví - opora kombinovaného studia. Na předchozí teoretické statě navazuje přímými návody k provádění praktických zkoušek stavebních konstrukcí, materiálů a dílců. Jde především o metody nedestruktivního zkoušení, bylo možno zařadit i kapitoly týkající se v poslední době nových oborů a trendů ve zkušebnictví, například problematice přirozené radioaktivity a radonu v objektech. Plně jsou v něm využity zkušenosti pracovníků Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně z výzkumu i praxe.



Studijní opora je určena pro studenty kombinovaného studia, pro předmět Zkušebnictví a technologie.

Tato studijní opora by měla být pro studenty užitečnou pomůckou, která jim umožní se nejen orientovat v praktické části oboru zkušebnictví, ale na podkladu zde uvedených informací a jejich dokonalého nastudování budou schopni samostatně provádět řadu z těchto zkoušek.

P c"wxqtd "c"nqpegr ek'vgz w'ug'f" a ng'r qf "lgnk'kpi 0lcp" Mqwnen 'E Ue0'kpi 0Nwdqo "t" X'lgm'kpi 0Rgt 'Ekntng.'Rj (F 0'kpi 0Rcxgn'Uej o kf.'Rj (F 0'kpi 0X tc'J g o a pnx'a 'c kpi 00 lej cn'Ugj i'fm

1.2 Požadované znalosti

Předpokladem pro studium je absolvování a dokonalé zvládnutí problematiky zkoušení stavebních látek, jež je náplní prvního ročníku studia. Současně se předpokládá, že student před započtím studia příslušné kapitoly v této opoře, dokonale zvládne teorii příslušné problematiky nastudováním ze studijní opory „Zkušebnictví a technologie - část zkušebnictví“.



1.3 Doba potřebná ke studiu

Požadovaná doba studia skriptu je 15 hodin (t.j. 1,5 hodiny na kapitolu)



1.6 "Mf| qx^a 'uqxc

Ucvekem "o qf wlr twfipquk" \gp| qo gt { ."| cv flqxce"|| nqw-nc. 'V'xtf quv."vntc| xw/ nqx^a "o gvqf c."tg| qpcp p"|| nqw-nc. "o ci pgvenř "kpf knř vqt { ."tcf kqi tchg. 'tcf kq/ o gtlg.'tcf qp



2 Statický modul pružnosti betonu v tlaku

Definice



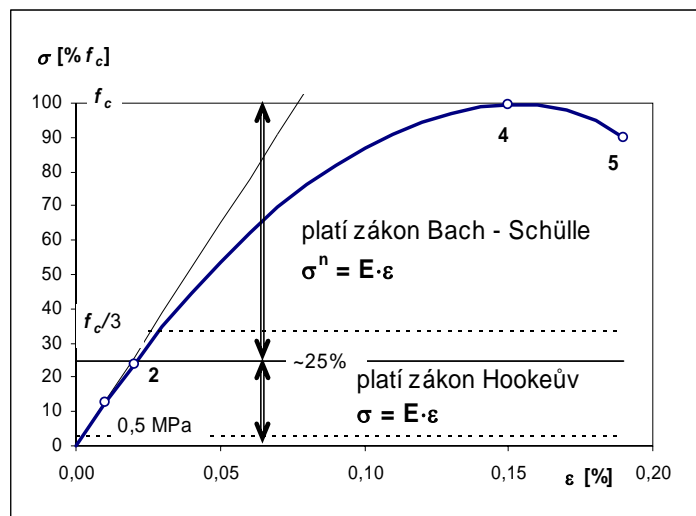
Modul pružnosti E je významná pružnostní charakteristika vyjadřující deformační vlastnosti materiálu. Zjišťuje se z deformací, které nastávají při známém zatížení, na základě Hookova zákona: „Napětí je přímo úměrné poměrnému přetvoření“, neboli $\sigma = E \cdot \varepsilon$.

2.1 Princip měření



Vzorek betonu se při zkoušce zatěžuje v lisu tlakem a měří se vznikající deformace. Úrovně zatížení se přitom volí tak, aby odpovídaly základnímu napětí $0,5 \text{ N/mm}^2$ (MPa) a hornímu napětí v hodnotě **jedné třetiny pevnosti betonu v tlaku $f_c/3$** .

Při zkoušce, prováděné v souladu s ČSN ISO 6784, se dopouští jistého zjednodušení. Hookeův zákon platí totiž pouze v pružné oblasti, zatímco v nepružné oblasti, která u obyčejného hutného betonu začíná již při 20 až 30% jeho pevnosti v tlaku, platí mocninný Bach-Schülleho zákon – viz. obr. 1. 1. Součinitel n v mocnině napětí je číslo blízké jedničce, ale pro beton vždy větší než 1.



Obr. 2.1 Pracovní (deformační) diagram betonu v tlaku

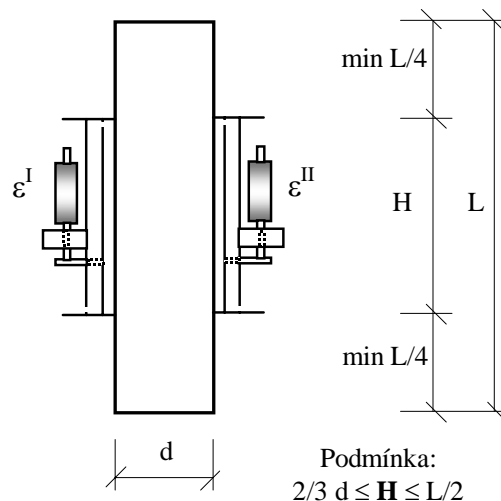
2.2 Příprava zkoušky

2.2.1 Měřicí zařízení a potřeby

K měření použijeme následující pomůcky a přístroje:

- zkušební betonové těleso ve tvaru hranolu o jmenovitých rozměrech $100 \times 100 \times 400$ mm
- posuvné měřítko a ocelové měřítko, váhy
- mechanické tenzometry typu HM s číselníkovými nebo digitálními úchylkoměry
- zkušební lis s potřebným rozsahem síly
- stopky

Přístroje pro měření změn délky musí být připevněny tak, aby měřené body byly stejně vzdálené od obou konců zkušebního tělesa a ve vzdálenosti od jeho konců rovné alespoň jedné čtvrtině délky zkušebního tělesa ($1/4 L$), protože v oblasti tlačných desek dochází při stejném zatížení k rozdílným deformacím, než ve střední části tělesa. Kvůli přesnosti však má být měřicí základna H co možná nejdelší, rozhodně nesmí být menší než $2/3 d$ (obr. 2). Přetvoření se musí měřit nejméně na dvou protilehlých stranách zkušebního tělesa, u těles zhotovených ve vodorovné poloze se měřicí základny umísťují na svislých výrobních plochách.



Obr. 2.2 Umístění měřicího zařízení na zkušebním hranolu

Jako zkušební tělesa je možné použít hranoly nebo válce, jejichž délka L je 2 až 4 násobkem příčného rozměru d . V našem případě použijeme hranoly se čtvercovou podstavou, jejichž rozměry jsou $L = 400$ mm, $d = 100$ mm. Pro úplnou zkoušku je zapotřebí šesti zkušebních těles. Na třech srovnávacích tělesech se určí pevnost betonu v tlaku f_c , potom teprve následuje měření modulu pružnosti na zbývajících třech tělesech.

2.3 Postup měření

2.3.1 Charakteristiky vzorku

Do protokolu je nutno zaznamenat popis vzorku, označení vzorku, druh betonu a stáří betonu v okamžiku zkoušky, případně další jeho známé vlastnosti. Posuvným měřítkem změříme příčné rozměry uprostřed stěn na 0,1 mm přesně a ocelovým měřítkem délku na 1 mm přesně. Hmotnost vzorku zjistíme vážením s využitím maximální citlivosti použité váhy. Z hmotnosti a všech rozměrů vypočteme objemovou hmotnost, z příčných rozměrů plochu.

2.3.2 Pevnost v tlaku srovnávacích těles f_c

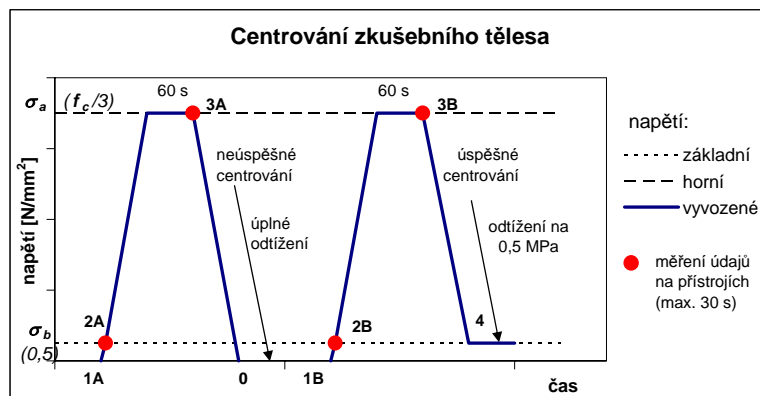
Pevnost betonu v tlaku stanovíme na třech srovnávacích zkušebních tělesech, která jsou shodná velikostí a tvarem, a která byla vyrobena a ošetřována stejným způsobem jako tělesa, která budou použita pro stanovení statického modulu pružnosti. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku srovnávacích těles f_c určuje napětí použité ke stanovení statického modulu pružnosti (horní napětí při zatěžování $= f_c/3$).

2.3.3 Stanovení zatěžovacích úrovní

Základní napětí σ_b je vždy $0,5 \text{ N/mm}^2$, horní napětí σ_a v hodnotě $f_c/3$ vypočteme z pevnosti v tlaku srovnávacích těles f_c . Z těchto napětí a z vypočtené plochy zkušebního tělesa určíme základní (F_b) a horní (F_a) sílu, které bude třeba vyvodit na zkušebním lisu. Vzhledem k dělení stupnice lisu je nutno tyto hodnoty síly upravit zaokrouhlením (dle pokynů vyučujícího) a z upravených hodnot síly znovu vypočítat skutečné hodnoty základního napětí σ_b a horního napětí σ_a . Vlastní zatěžování, které probíhá v cyklech mezi základním a horním napětím, lze rozdělit na centrování, předběžné zatěžování a zatěžování pro stanovení modulu pružnosti.

2.3.4 Centrování tělesa

Časový průběh centrování je znázorněn graficky na obr. 3. Zkušební těleso s osazenými přístroji vložíme dostředně do zkušebního lisu (1A). Vyvodíme základní napětí σ_b a ihned poté přečteme údaje na všech přístrojích (2A). Máme-li odečíst hodnoty na měřicích přístrojích, provádíme to bezodkladně, měření musíme dokončit nejpozději do 30 s, což platí také pro všechny následující zatěžovací stavy. Zatížení zvyšujeme plynule do hodnoty horního napětí σ_a . Zde udržujeme zatížení po dobu 60 s a potom opět odečteme údaje na všech přístrojích (3A). Jestliže se jednotlivá poměrná přetvoření ε (nebo přetvoření Δl) o více než 20% liší od své průměrné hodnoty (viz. též obr.4), vzorek zcela odtížíme (0). Opravíme polohu zkušebního tělesa a celý postup opakujeme (1B až 3B atd.). Proběhlo-li centrování úspěšně, odtížíme na hodnotu základního zatížení σ_b (4).



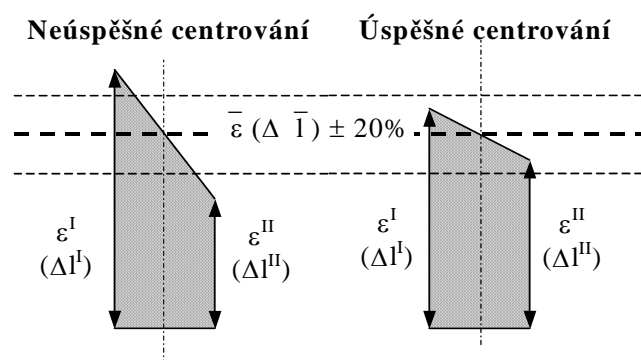
Obr. 2.3 Grafické znázornění průběhu centrování zkušebního tělesa

Příklad 2.1

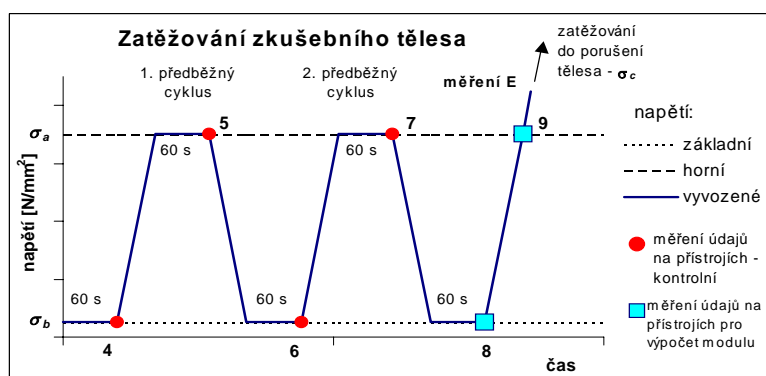
Umístění tělesa jsme vypočetli přetvoření na obou tenzometrech $\Delta l^I = 74 \mu\text{m}$ a $\Delta l^{II} = 48 \mu\text{m}$. Aritmetický průměr těchto dvou přetvoření je $61 \mu\text{m}$. Absolutní hodnota odchylky Δl^{II} od aritmetického průměru je $100\% \times (48-61)/61 = 21,3\% > 20\%$. Centrování nebylo úspěšné.

Příklad 2.2

Umístění tělesa jsme vypočetli přetvoření na jednotlivých tenzometrech $\Delta l^I = 68 \mu\text{m}$ a $\Delta l^{II} = 56 \mu\text{m}$. Aritmetický průměr těchto dvou přetvoření je $62 \mu\text{m}$. Absolutní hodnota odchylky Δl^{II} od aritmetického průměru je $100\% \times (62-68)/62 = 9,7\% < 20\%$. Centrování bylo úspěšné.



2.3.5 Zatěžování zkušebního tělesa



Obr.1.5 Grafické znázornění průběhu zatěžování zkušebního tělesa

Časový průběh zatěžování zkušebního tělesa je znázorněn graficky na obr. 1.5. Po úspěšném vycentrování tělesa udržujeme po dobu 60 s zatížení na základním napětí σ_b (4), po přečtení údajů na úhylnoměrech zatížení zvyšujeme plynule do hodnoty horního napětí σ_a , kde po 60 s opět odečteme údaje na všech přístrojích (5). Tento předběžný cyklus ještě nejméně jednou opakujeme (6 a 7) se stejnou rychlostí zatěžování a odtěžování. Po dokončení posledního předběžného zatěžovacího cyklu následuje měřený zatěžovací cyklus.

Při měřeném zatěžovacím cyklu vyčkáme 60 s při napětí σ_b a přečteme hodnoty na všech přístrojích (8). Zkušební těleso znovu plynule zatížíme na napětí σ_a

a tentokrát ihned bez minutové prodlevy přečteme údaje na přístrojích (9). Na čtení údajů máme 30 s.

Po dokončení měření a odstranění měřicích přístrojů zvětšíme zatížení zkušebního tělesa předepsanou rychlostí až do porušení. Jestliže se pevnost zkušebního tělesa σ_c liší od pevnosti srovnávacích těles f_c o více než 20%, je nutné tuto okolnost uvést v protokolu.

2.4 Zpracování naměřených hodnot

2.4.1 Výpočet napětí a poměrných přetvoření

Mechanické napětí σ v N/mm^2 vypočteme pro zatěžovací stav podle vzorce:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

kde F je působící síla odečtená na lisu, v N;
 A je tlačná plocha tělesa v mm^2 .

Dále vypočteme přetvoření jednotlivých základen (tenzometry I a II) Δl^I a Δl^{II} v mm, která jsou dána změnami čtení úchylkoměrů.

$$\Delta l = h_a - h_b \quad (2.2)$$

kde h_a je čtení úchylkoměru na horním zatěžovacím napětí, v mm;
 h_b je čtení úchylkoměru na základním zatěžovacím napětí, v mm;

Poměrná přetvoření $\Delta \varepsilon^I$ a $\Delta \varepsilon^{II}$ vypočteme nejdříve samostatně pro tenzometr I a II z přetvoření Δl^I a Δl^{II} jako poměr přetvoření a délky měřicí základny H (vzdálenosti měrných bodů mechanického tenzometru). Z obou hodnot poměrných přetvoření pak určíme aritmetický průměr.

$$\Delta \varepsilon^I = \frac{\Delta l^I}{H} \quad \Delta \varepsilon^{II} = \frac{\Delta l^{II}}{H} \quad \bar{\Delta \varepsilon} = \frac{\Delta \varepsilon^I + \Delta \varepsilon^{II}}{2} \quad (2.3, 2.4, 2.5)$$

kde $\Delta l^I, \Delta l^{II}$ jsou přetvoření zjištěná na tenzometru I a II, v mm;
 H je délka měřicí základny mechanického tenzometru ($H = 200$ mm).

2.4.2 Výpočet modulu pružnosti

Modul pružnosti je definován jako poměr změny napětí a odpovídající změny pružného poměrného přetvoření. Průměrné poměrné přetvoření vypočteme z obou měřených míst **v měřeném zatěžovacím cyklu**. Změnu napětí vypočteme jako rozdíl základního a horního vyvozeného napětí.

Statický modul pružnosti v tlaku E_c v N/mm^2 vypočítáme ze vztahu

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\Delta\varepsilon} \quad (2.6)$$

kde σ_a je horní zatěžovací napětí v N/mm²;
 σ_b je základní zatěžovací napětí v N/mm²;
 $\Delta\varepsilon$ je průměrná změna poměrného přetvoření mezi horním a zá-
kladním napětím.

2.5 Vyhodnocení zkoušky

Výsledek zaokrouhlíme na nejbližších 500 N/mm² a porovnáme s hodnotami modulu pružnosti pro danou třídu betonu, uvedenými v Eurocode 2 a v ČSN 731201 – viz. tabulka 1.

Tab. 1 Hodnoty modulu pružnosti betonu v N/mm² podle Eurocode 2 a ČSN 73 1201

Eurocode 2	-	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30
ČSN 731201	B10	B15	B20	B25	B30
E_c podle Eurocode 2	-	26 000	27 500	29 000	30 500
E_b podle ČSN 731201	18 000	23 000	27 000	30 000	32 500
Eurocode 2	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
ČSN 731201	-	B45	B50	B55	B60
E_c podle Eurocode 2	32 000	33 500	35 000	36 000	37 000
E_b podle ČSN 731201	-	37 500	39 000	39 500	40 000

Kontrolní otázky

1. Co je to modul pružnosti?
2. Jaký je postup stanovení statického modulu pružnosti betonu v tlaku?



Korespondenční úkol

Popište postup zkoušky stanovení statického modulu pružnosti betonu v tlaku na zkušební tělese o rozměrech 100x100x400 mm.



3 Tenzometrické měření napjatosti materiálu části konstrukce

3.1 Princip měření



Přímé měření není možné. Využívá se proto platnosti Hookova zákona, který definuje napětí jako součin hodnot modulu pružnosti a poměrné deformace ve směru působení napětí při jednoosé napjatosti. Poměrné deformace se zjišťují mnoha měřicími metodami, které se v souhrnu označují jako tenzometrické metody.

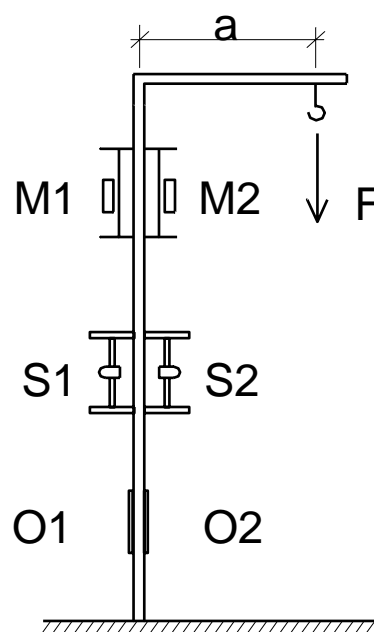
Při řešení této úlohy vycházíme ze vztahu pro výpočet napětí v krajních vláknech ohýbaného průřezu. Měření totiž budeme provádět na konzole z dutého Jäcklova profilu, upevněné ve svislé poloze. Zatěžována bude závažím, pověšeným na rameni a – viz obr. 1.1. Tím bude na konzolu působit ohybový moment. Po celé délce konzoly potom bude při určitém závaží konstantní průběh ohybového momentu a tím i stejná poměrná deformace a napětí v krajních vláknech průřezu konzoly. Pro výpočet hodnoty napětí v krajních vláknech ohýbaného profilu platí vztah

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (3.1)$$

kde W průřezový modul [mm^3],

M moment síly [N mm],

σ napětí [MPa],



Obr. 3.1 Schéma experimentu

Zatížíme-li konzolu závažím o známé hmotnosti a na všech typech snímačů provedeme odečty, můžeme určit poměrné deformace v měřených místech. Pak můžeme vypočítat hodnoty napětí v krajních vláknech σ [MPa] a následně je ověřit výpočtem teoretického napětí. Také je možno ze změřené hodnoty napětí určovat (za jistých podmínek) velikost neznámého průřezového modulu při známém momentu, resp. při známé hodnotě modulu velikost působícího

momentu, síly či hmotnosti zátěže.

Seznámíme se tak se třemi typy tenzometrů a s principy použití tenzometrie (měření poměrných deformací) v praxi.

3.2 Měřicí zařízení a potřeby

- Zkušební konzola
- Závaží se závěsy
- Mechanické tenzometry
- Strunové tenzometry
- Odporové tenzometry
- Měřicí jednotky

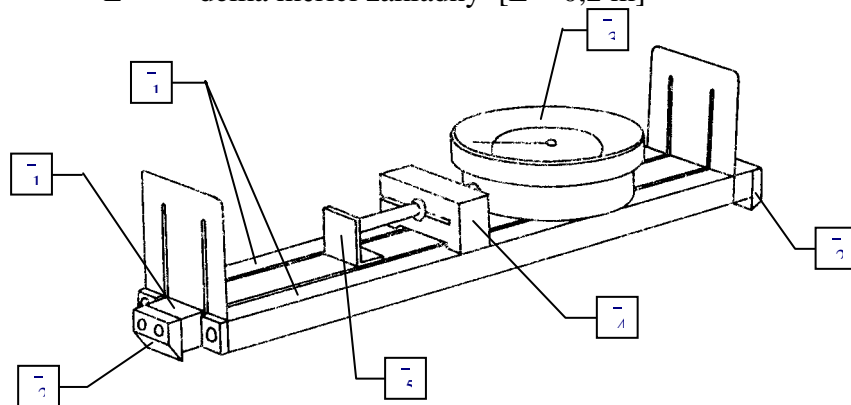
3.3 Popis použitých přístrojů a měřidel

3.3.1 Mechanický tenzometr

Mechanický tenzometr je tvořen dvěma profilovanými plechovými nosníky. Jejich přesně paralelní pohyb je zajištěn plochými pružinami. Každý nosník je na jednom konci opatřen břitěm. Přiložením břitů k materiálu se vymezí měřicí základna. V našem případě je její délka 200 mm. Jeden nosník nese držák úchylkoměru, druhý nese dotykovou plochu pro dotyk úchylkoměru. Nastává-li na materiálu pod tenzometrem deformace způsobená působením napětí, změní se i celková vzdálenost dotykových břitů. Tato změna se přenese pohybem nosníků k úchylkoměru, kde se projeví jako změna čtení. Poměrnou deformaci u tohoto přístroje počítáme ze vzorce:

$$\varepsilon_M = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.2)$$

kde ε_M poměrná deformace v měřeném místě [$\mu\text{m}/\text{m}$]
 ΔL změna délky měřicí základny [μm]
 L délka měřicí základny [$L = 0,2 \text{ m}$]



Obr. 3.2 Schéma mechanického tenzometru.

- 1 – oddělené profilované plechové nosníky,
- 2 – břity,
- 3 – úchylkoměr,
- 4 – držák úchylkoměru,

3.3.2 Číselníkový úchylkoměr 0,001 mm

Abychom získali hodnoty napětí s dostatečnou přesností, musí být mechanický tenzometr osazen úchylkoměrem s rozsahem 1 mm a dělením 0,001 mm. Vnější stupnice je dělena na 200 dílků, označených 0, 10, 20, ..., 190. Na této stupnici čteme tisíciny milimetru a odhadujeme desetitisíciny milimetru. Vykoná-li ručka přístroje celou otáčku, odpovídá to pohybu doteku úchylkoměru o 0,2 mm. Počet těchto otáček ukazuje malá ručka na vnitřní segmentové stupnici, označené 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1. Při čtení přístroje tedy z malé stupnice přečteme jen označení dílku bez další interpolace a k tomuto údaji přičteme čtení velké stupnice.

Při čtení 0,5675 mm = 567,5 μm bude malá ručička mezi 0,4 a 0,6 (čtení 0,4) a velká ručička ukazuje 167,5 dílku. Čtení je tedy 0,4+0,1675 = 0,5675 mm.

Na skle úchylkoměru jsou dvě červené ručky, ovladatelné zvenku. Jsou pro vyznačení např. mezní hodnoty anebo určitého intervalu. Na měření se nepodílí a nebudeme jim při čtení věnovat pozornost.

3.3.3 Strunové tenzometry

Strunový tenzometr typu TSR/5,5 Gage Technique je tvořen ocelovou strunou, napnutou mezi dvěma koncovými upevňovacími bloky. Struna je chráněna ocelovou trubičkou, pohyblivou v koncových blocích.

Budící/snímácí cívka je vodotěsně fixována ve středu délky tenzometru. Aktivní délka struny je 139 mm. Vlivem deformace objektu dochází ke změnám napětí struny a tím i ke změnám vlastního kmitočtu struny, který bývá v nezátíženém stavu nastaven na cca 1000 Hz.

Pro odečítání hodnot kmitání strunových tenzometrů je použit jednoduchý přenosný přístroj GT 1174 Gage Technique. Měření probíhá tak, že v první fázi je struna vybudena elektrickým impulsem (24 V, popř. 36 V) a ve druhé fázi je měřena doba trvání sta period vlastních tlumených kmitů struny T . Displej udává tuto hodnotu v desítkách [μs].

Hodnota poměrné deformace je pak určena vztahem:

$$\varepsilon_s = K \left[\frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2} \right] \cdot 10^{14} \quad [\mu\text{m}/\text{m}] \quad (3.3)$$

kde K je konstanta strunového tenzometru

$$K = 2,14 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}/\text{m} \cdot \text{Hz}^2 \quad (\text{pro TSR}/5,5)$$

T_0 je výchozí čtení na přístroji (nezatížená konstrukce)

T je čtení v zatíženém stavu konstrukce

3.3.4 Odporové tenzometry

Na konstrukci jsou nalepeny dva foliové odporové tenzometry 10/120 LY11 fy HBM na protilehlých stranách profilu. Tenzometr představuje v podstatě rezistor, jehož odpor se mění v závislosti na deformaci povrchu konstrukce, na které je fixován pomocí speciálních lepidel. Závislost mezi změnou odporu a deformací je dána vztahem

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon \quad (3.4)$$

kde K je konstanta tenzometru (pro běžné tenzometry je tato hodnota cca 2).

Jako měřicí obvod je při měření odporovými tenzometry používáno především můstkové zapojení, proto musí být individuální tenzometry doplněny dalšími rezistory či tenzometry do tzv. polovičního či celého můstku.

Pro měření je využita ústředna a přepínací skříň z řady M2000 Mikrotechny Praha. Zapojení tenzometrů je uvedeno na obr. 1.4. Aktivní tenzometry A1 a A2 jsou doplněny do polovičního mostu stejným tenzometrem K na volné části profilu pro kompenzaci teplotní chyby.

Měřená deformace je pro jednotlivé tenzometry dána vztahem:

$$\varepsilon_i = (\varepsilon_{zi} - \varepsilon_{oi}) \cdot \frac{2}{K} \quad [\mu\text{m/m}] \quad (3.5)$$

kde ε_{zi} je čtení na displeji po zatížení konstrukce pro i-tý tenzometr

ε_{oi} je tzv. nulové čtení = hodnota na displeji v nezatíženém stavu pro tentýž tenzometr

K konstanta tenzometrů, $K=2,09$

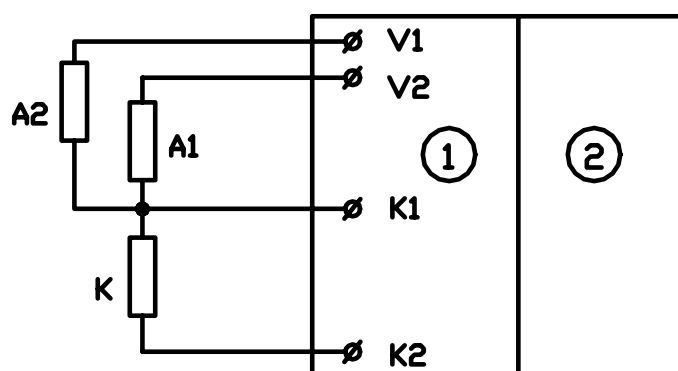
Poznámka 1

Přepínací skříň umožňuje vyvážení – vynulování jednotlivých kanálů před zatěžováním, takže poté lze odečítat z displeje přímo hodnoty měřené deformace.



Poznámka 2

Tlačítkem STEP v navoleném režimu práce ústředny CONT krokujeme postupně na jednotlivé tenzometry.



Obr. 3.4 Schéma propojení odporových tenzometrů.

3.4 Postup měření

- Při nezatížené konzole zapíšeme čtení obou úchylkoměrů mechanic-kých tenzometrů d_0 , údaj na displeji přístroje pro oba strunové tenzo-metry T_0 a nulové čtení na odporových tenzometrech ε_0 .
- Opatrně zavěsíme závaží o hmotnosti m [kg] na rameni a [mm] (viz obr. 1.1) a po uklidnění vzniklého kmitání znovu zaznamenáme čtení na sledovaných tenzometrech – d , T , ε_z .
- Závaží odstraníme, opět počkáme na uklidnění kmitání konzoly a provedeme čtení při odtížení konzole - d_0' , T_0' , ε_0' .

3.5 Zpracování výsledků měření

3.5.1 Výpočet poměrných deformací ε [$\mu\text{m}/\text{m}$]

Nejdříve vypočteme **pružné deformace** (rozdíl čtení při zatížení a po odtížení). Pro celkovou kontrolu měření určíme také případné **zbytkové deformace** (rozdíl „nulového“ čtení před zatěžováním a čtení po zatěžování).

Na mechanických tenzometrech vyčíslíme hodnoty poměrných deformací při jednotlivých čteních dle vztahu (3.2), u strunových tenzometrů postupujeme dle rovnice (3.3) a u odporových dle vztahu (3.5).

Z poměrných deformací na horním a dolním líci průřezu (viz obr. 3.5) vypočteme hledanou deformaci odpovídající ohybovému namáhání dle vztahu:

$$\varepsilon = \left| \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \right| \quad (3.6)$$

kde:

ε_1 pružná poměrná deformace měřená tenzometry v tažené části průřezu [$\mu\text{m}/\text{m}$]

ε_2 pružná poměrná deformace měřená tenzometry v tlačené části průřezu [$\mu\text{m}/\text{m}$]

ε hodnota pružné poměrné deformace odpovídající ohybovému namáhání [$\mu\text{m}/\text{m}$]

3.5.2 Výpočet napětí v krajních vláknech průřezu σ [MPa]

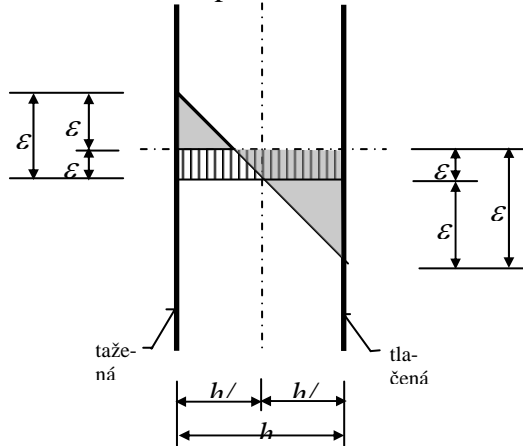
Odpovídající napětí v tahu (tlaku) krajních vláken průřezu vypočítáme dle vztahu:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \cdot 10^{-6}, \quad (3.7)$$

kde ε hodnota pružné deformace [$\mu\text{m}/\text{m}$] určená odporovými tenzometry – viz (rov. 3.5) a (3.6), strunovými tenzometry – viz (2.3) a (2.6), mechanickými tenzometry – viz (3.2) a (3.6)

E modul pružnosti oceli [$E = 210000 \text{ MPa}$]

σ napětí [MPa]



Obr. 3.5 Schéma průběhu poměrných deformací průřezu při namáhání tlakem (ε_1) a ohybem ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - měřené veličiny, ε - hledaná veličina).

3.5.3 Výpočet ohyb. mom. M [Nmm] a teoret. napětí σ_t [MPa]

Ohybový moment, kterým působí závaží na konzolu vypočteme ze vztahu:

$$M = F \cdot a = m \cdot g \cdot a, \quad (3.8)$$

kde m hmotnost závaží [kg],
 a rameno, na kterém působí síla [mm]
 g tíhové zrychlení [$g=9,81 \text{ ms}^{-2}$]
 M ohybový moment [Nmm]

Teoretickou hodnotu napětí σ_t [MPa] v krajních vláknech průřezu konzoly, které je způsobeno působením ohybového momentu M . Pro výpočet předpokládejte normovou hodnotu průřezového modulu $W = 1300 \text{ mm}^3$. Hodnoty teoretického σ_t [MPa] a měřeného σ [MPa] napětí vzájemně porovnejte!

3.5.4 Výpočet průřezového modulu W_V [mm^3]

Pro výpočet průřezového modulu použitého profilu Jäckl použijeme úpravy vztahu (2.1) pro napětí v krajních vláknech ohýbaného průřezu:

$$W_V = \frac{M}{\sigma}, \quad (3.9)$$

kde σ experimentálně určené napětí v krajních vláknech [MPa]
 M ohybový moment [Nmm] – dle (3.8)
 W_V průřezový modul [mm^3]

Výslednou hodnotu zaokrouhlete na tři platné číslice a porovnejte s normovou hodnotou v zadání úlohy.

3.5.5 Výpočet hmotnosti závaží m [kg]

Ze vztahů (2.1) a (2.8) lze odvodit vztah pro výpočet hmotnosti závaží:

$$m_v = \frac{W \cdot \sigma}{a \cdot g}, \quad (3.10)$$

kde σ experimentálně určené napětí v krajních vláknech [MPa]
 g tíhové zrychlení [$g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$],
 a rameno síly [mm],
 m_v hmotnost závaží [kg],
 W průřezový modul [mm^3].

Výslednou hodnotu zaokrouhlete na dvě platné číslice a porovnejte s reálným závažím.

Kontrolní otázky



3. *Jaké typy tenzometrů použijete ke zkoušce?*
4. *Jaké veličiny stanovujete po provedení zkoušky?*

Korespondenční úkol



Popište princip činnosti a využití jednotlivých druhů tenzometrů.

4 Zatěžovací zkouška modelu mostu

4.1 Princip měření

Definice

Cílem zatěžovací zkoušky je ověření únosnosti konstrukce pro konkrétní případ zatížení. Ověření únosnosti se provádí porovnáním teoretických vypočtených deformací a deformací skutečně naměřených na konstrukci pro stejné zatížení. Kritéria porovnání jsou dána ČSN 73 6209 - Zatěžovací zkoušky mostů.



Zatěžovací zkoušku je možno rozčlenit do několika samostatných fází:

4.1.1 Zjištění a ověření skutečného stavu zkoušené konstrukce

Provádí se zjištění skutečných rozměrů, zjištění skutečných vlastností materiálu, jako je modul pružnosti, objemová hmotnost, pevnost. Kontroluje se správnost provedení i z hlediska statického návrhu (funkce ložisek), zjišťují se všechny defekty včetně smršťovacích trhlin.

4.1.2 Volba zkušebního zatížení a postup zatěžování

Výpočet mostů se provádí pro idealizovaná zatížení. Zatěžovací zkoušku je nutno provádět v konkrétních podmínkách, kdy se malé konstrukce nebo díly zatěžují kusovým zatížením nebo lisy, mosty se zatěžují vozidly.

4.1.3 Výpočet deformací

Podle konkrétního bodu 4.1.2) provede statik, který konstrukci počítal, výpočet průhybů v místech, kde bude provedeno posouzení. Pokud jde o složitější konstrukci, jako je např. most o více polích počítaný jako spojitý nosník, nelze provádět zkoušku jen jedním zatížením, ale je nutno provádět řadu zatěžovacích stavů, z nichž každý ověřuje určitý průřez konstrukce nebo určitý způsob zatížení konstrukce.

4.1.4 Montáž měřícího zařízení

Používají se pruhyboměry METRA-FRIČ, číselníkové úchylkoměry, nivelace. Méně se zatím používají indukční a potenciometrické snímače a vyjímečně speciální zařízení, jako lasery. Měřící zařízení se montuje na samostatnou konstrukci, která není ovlivněna průhyby a pohyby (sedání) zkoušené konstrukce. Minimální počet měřících míst a jejich umístění jsou dány ustanoveními ČSN.

4.1.5 Vlastní provedení zatěžovací zkoušky

Je nutno znát skutečné hmotnosti zatěžovacích vozidel a jejich rozměrové parametry. V praxi se vozidla před zkouškou zvaží. Je nutno znát i vliv okolního prostředí, např. oslunění může způsobit v letních dnech velké tvarové změny. Podle bodů 4.1.2) a 4.1.3) se provádí zatěžování konstrukce a měření deformací. Je nutno nechat působit zatížení tak dlouho, až se deformace ustálí. Pro kontrolu funkce měřících přístrojů a pro orientační sledování chování konstrukce se obvykle bezprostředně po čtení přístrojů provádí grafické vynesení měřených hodnot. Tak lze zjistit různé závady a ještě v průběhu měření je odstranit.

4.1.6 Vyhodnocení deformací konstrukce

Z naměřených hodnot se počítají celkové, pružné a trvalé deformace, odpovídající jednotlivým zatěžovacím stavům. Tyto deformace je ovšem nutno v praxi opravit o vlivy poklesů podpor, deformací od změn teploty a podobných vlivů, které by výsledky měření nepříznivě ovlivnily.

4.1.7 Posouzení konstrukce

Pokud nedošlo k porušení anebo vzniku nedovolených trhlin, posuzuje se podle vzájemného poměru *teoreticky vypočtené deformace a naměřené pružné deformace*, dále podle poměru *naměřené trvalé a naměřené celkové deformace*. Kritéria závisí na použitém druhu materiálu a typu konstrukce.

Postup prováděného školního cvičení se řídí výše uvedenými fázemi zatěžovací zkoušky. Individualita zadání pro jednotlivce až malou pracovní skupinku (dle rozdělení vyučujícím) spočívá v individuálním umístění zatěžovacích vozidel.

4.2 Měřící zařízení a potřeby

- 1 Dřevěný model mostu
- 2 Modely vozidel pro zatěžování
- 3 Pomocná konstrukce pro umístění měřících přístrojů
- 4 Mostní průhyboměry METRA-FRIČ se závěsy
- 5 Číselníkové úchytkoměry

4.3 Popis použitých přístrojů a měřidel

4.3.1 Mostní průhyboměr METRA-FRIČ

Přístroj je mechanický, rozsah měření asi 30 mm, citlivost 0,1 mm. Pro měření je nutno přístroj upevnit pomocí šroubů nebo vrtů k pomocné konstrukci, která nesmí být ovlivněna pohyby měřené konstrukce. V měřeném místě konstrukce se zavěsí ocelový nebo invarový drát a napne se zavěšením závaží.

Výkyvné raménko přístroje se upevňuje k napjatému drátu přítlačným šroubkem. Jestliže se při zkoušce konstrukce prohne, posune se

s ní i drát a tím se přenesou pohyb konstrukce k přístroji. Raménko je vlastně dvojitá páka, na jednom konci upevněná ke drátu závěsu. Na druhém konci má ozubený segment, zapadající

do ozubeného kola, na němž je upevněna ručička přístroje. Stupnice je dělena na dílky

0,1 mm. Číselně jsou označeny sudé milimetry. Odhad čtení provádíme na 0,05 mm přesně. Jestliže je pracovní rozsah přístroje téměř vyčerpán, objeví se v kruhovém okénku v horní části stupnice červená značka.

4.3.2 Číselníkový úchylkoměr

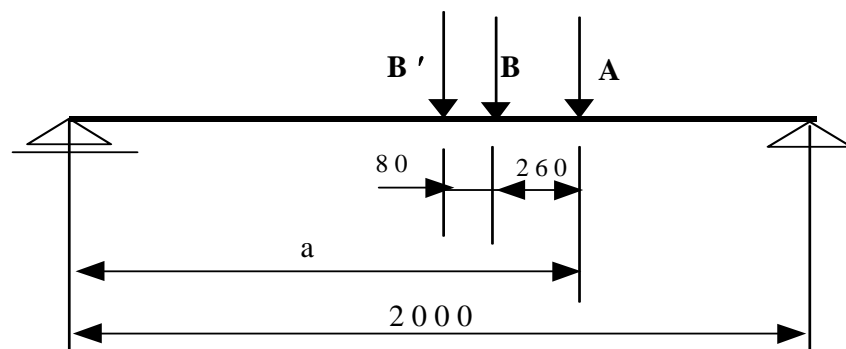
Je použit stejný přístroj jako v předcházejících úlohách. Nejmenší dílek stupnice má hodnotu 0,01 mm.

4.4 Postup měření

4.4.1 Výpočet teoretického průhybu mostu

Model reálného železobetonového mostu je proveden ze dřeva, jeho půdorysná šířka je 500mm, rozpětí 2000mm. V příčném řezu je tvořen pěti nosníky, spojenými mostovkou. Při zatížení dvěma vozidly vedle sebe se konstrukce počítá jako prostý nosník, zatížený třemi břemeny. Každé břemeno reprezentuje vždy stejné nápravy obou vozidel. Sledovaný průřez je uprostřed rozpětí a proto bude počítán průhyb v tomto místě.

Charakteristiky modelu mostu:



Obr. 4.1 Statické schéma zatížení mostu (zatížení je od obou vozidel).

rozpětí	$L = 2000 \text{ mm}$
moment setrvačnosti	$I = 8,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$
modul pružnosti	$E = 11\,000 \text{ MPa}$
zatížení přední nápravou	$A = 39 \text{ N}$
zatížení první zadní nápravou	$B = 62 \text{ N}$
zatížení druhou zadní nápravou	$B' = 62 \text{ N}$

Podle **rovnice příčinkové čáry** průhybu se vypočte postupně průhyb od břemene A, potom od B a od B'. Součet těchto dílčích průhybů dává teoretický průhyb mostu uprostřed rozpětí.

Rovnice příčinkové čáry průhybu prostého nosníku uprostřed rozpětí od síly F:

$$v_F = \frac{F \cdot p'}{48 \cdot E \cdot I} (3 \cdot L^2 - 4 \cdot p'^2) \quad (4.1)$$

kde: v_F průhyb od břemene F [m],
 F zatěžovací síla (břemeno A, B, B') [N]
 E modul pružnosti [Pa]
 I moment setrvačnosti [m⁴]
 L rozpětí mostu [m]
 p' vzdálenost síly od bližší podpory [m]

Výpočet se provádí v protokolu Z2.1. Pro správné určení hodnot p' je nutno zakódovat polohu všech tří břemen oběma podporám podle údajů z obr. 1. Zadáání individuální polohy vozidel je určeno hodnotou a (m), což je vzdálenost přední nápravy obou vozidel od podpory, přes kterou vozidla najíždějí na most. Vypočtené průhyby se zaokrouhlí na 0,001 mm.

4.4.2 Praktické měření průhybu mostovky a poklesu podpor

Nejprve se provede vstupní měření na nezátíženém mostu. Tyto hodnoty se souhrnně označí m_1 . Potom se opatrně umístí vozidla vedle sebe na most podle zadané hodnoty a. Pro tento účel je na krajním nosníku upevněno měřítko. Při najíždění vozidel i při odečítání je nutno vyvarovat se větších nárazů, mohlo by dojít k posunu celého modelu a tím k chybnému měření. Údaje přístrojů při zatíženém mostu se označí m_2 . Po provedeném měření se odtíží most a přečtou se údaje přístrojů na odtíženém mostu, hodnoty m_3 . Při každém měření se čte všech deset přístrojů. Mostní průhyboměry na 0,05 mm přesně, úchylkoměry na 0,005 mm přesně.

4.5 Zpracování výsledků měření

Pro každé měřené místo je nutno vypočíst z údajů čtených na přístrojích **celkový, trvalý a pružný průhyb**:

$$\text{celkový průhyb} \quad v_c = m_2 - m_1$$

$$\text{pružný průhyb} \quad v_p = m_2 - m_3$$

$$\text{trvalý průhyb} \quad v_t = m_3 - m_1$$

Spočtené celkové (v_c), pružné (v_p) a trvalé průhyby (v_t) nutno opravit o odpočítající poklesy podpor mostovky.

Platí, že celkový průhyb musí být součtem průhybů pružného a trvalého:

$$v_c = v_p + v_t$$

Totéž platí i o hodnotách průhybů, opravených o poklesy podpor mostovky:

$$V_{c\text{ opr.}} = V_{p\text{ opr.}} + V_{t\text{ opr.}}$$

Kriteria přetvoření pro hodnocení výsledků zatěžovací zkoušky dřevěného modelu železobetonového mostu (ČSN 73 6209) jsou následující:

$$\frac{V_{p\text{ opr.}}}{V_{teor}} \leq \alpha \quad \text{kde pro železobetonové mosty } \alpha = 1,10 \quad (4.2)$$

$$\frac{V_{p\text{ opr.}}}{V_{teor}} > \beta \quad \text{kde pro železobetonové mosty } \beta = 0,60 \quad (4.3)$$

$$\frac{V_{t\text{ opr.}}}{V_{c\text{ opr.}}} \leq \alpha_1 \quad \text{kde pro železobetonové mosty } \alpha_1 = 0,25. \quad (4.4)$$

Posouzení únosnosti modelu mostu se provede v protokolu Z2.2 porovnáním průhybů, zjištěných mostními průhyboměry číslo 3 (průhyb uprostřed rozpětí) a číslo 1 a 5 (pokles mostních podpor), s výše uvedenými kritériii přetvoření .

Do připraveného grafu v protokolu Z2.3 se vynese křivka celkových průhybů plnou čarou a křivka trvalých průhybů čarou čárkovanou. Je přípustné i spojení jednotlivých bodů přímkami.

4.6 Zatěžovací zkouška modelů konstrukcí

Důvody ekonomické a obtížnost zkoušek hotových konstrukcí vedou k uspořádání studijní zatěžovací zkoušky fyzikálního modelu konstrukce. Modelování se řídí zákony modelové podobnosti, z nichž pro modely stavebních konstrukcí se uvádí:

podobnost geometrická, charakterizovaná konstantou geometrické podobnosti

$$a = \frac{L_1}{l_1} = \frac{L_2}{l_2} \quad \text{určující geometrický vztah mezi rozměry konstrukce L a modelu}$$

fyzikální podobnost materiálů (E,μ), určující plochy konstrukčních prvků modelu za podmínky dodržení platnosti Navierovy hypotézy a Hookova zákona.

Kontrolní otázky

5. Na základě jakých podobností můžeme provádět tyto zkoušky na modelech konstrukcí
6. Jaké přístroje používáme?
7. Jaký je postup provádění zkoušky?



Korespondenční úkol

Popište postup zatěžovací zkoušky modelu mostu.



5 Tvrdost

5.1 Zkouška tvrdosti betonu Schmidovým tvrdoměrem



Teoretické základy tvrdostí materiálů byly již probrány v prvním ročníku. V našem cvičení si přiblížíme metodu zjišťování pevnosti betonového vzorku pomocí Schmidova tvrdoměru. Měření a stanovení pevnosti probíhá v souladu s ČSN 73 1373.

5.1.1 Princip měření

Pevnost betonu se určuje z tvrdosti cementové malty, spojující jednotlivá zrna kameniva v betonu. Proto se zkoušky provádí v místě malty a ne v místech kamínků. U Schmidova tvrdoměru zkoušíme odraz pružného tělesa od povrchu zkoumaného betonu.

Za zkušební místo považujeme takové místo na povrchu konstrukce anebo vzorku, kde předepsaným postupem měření a vyhodnocení získáme jeden údaj pevnosti betonu. Obvykle je to plocha asi 10 x 10 cm, která musí být hladká, suchá, s odstraněnou povrchovou vrstvou. Obvykle se zkušební místo vybrousí.

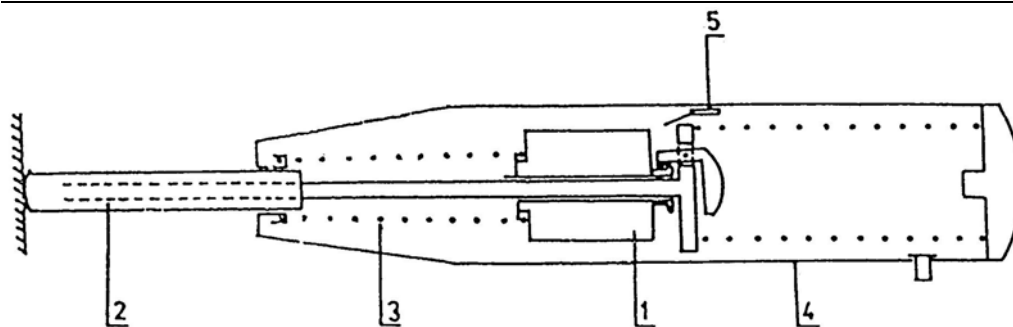
Při zkoušení konstrukce je počet a rozdělení míst volen podle požadavků ČSN a dále případně podle požadavků statika anebo objednatele.

5.1.2 Schmidův tvrdoměr - popis

Švýcarská firma vyrábí základní typy, označené N, L, M, PT a PM. Liší se energií provedeného rázu. Jsou určeny ke zkouškám různě masivních konstrukcí. Zjednodušenou funkci tvrdoměru ukazuje schéma na obr. 3.1. Beran (1) je držen v určité vzdálenosti od úderníku (2). Tažná pružina (3) je jedním koncem upnuta k pouzdru (4) a druhým k beranu (1). Při zkoušce se opře úderník svým kulovitým koncem o povrch betonu a tlakem na pouzdro směrem k betonu se napíná tažná pružina. V nastavené poloze je uvolněn beran a dopadne na úderník. Při nastalém rázu se energie pohybu beranu projeví jednak vtiskem úderníku do povrchu betonu a jednak odrazem beranu zpět. Velikost odrazu závisí na tvrdosti malty. Při zpětném pohybu beran posune značku na stupnici (5). Přístroj je možno aretovat v poloze po provedení rázu. Značka přitom zůstane na ukazateli stát. Při odaretování se posune značka na výchozí polohu, beran se znovu zavěsí a zkoušku je možno provést na dalším místě. Toto schéma platí pro typy N, L, M.

Typy NR a LR mají místo značky registrační zařízení, které zaznamená posun beranu na registrační pás v nástavbě přístroje. Typy P a PT mají beran, pohybující se po kruhové dráze. Jsou určeny pro betony nižších značek.

Výsledkem měření Schmidovým tvrdoměrem je **odraz**.



Obr. 5.1 Schéma Schmidtova tvrdoměru

5.1.3 Postup měření

Pro vyhodnocení jednoho zkušebního místa potřebujeme alespoň pět platných vtisků. Proto jich provádíme obvykle více, abychom v případě neplatných vtisků nemuseli opakovat např. měření na stavbě.

5.1.4 Práce se Schmidtovým tvrdoměrem

Na vybraném místě hmatem zkontrolujeme, zda povrch vyhovuje požadavkům na zkoušení. Přístroj opřeme úderníkem o povrch betonu. Je-li zaaretován, lehce přitlačíme pouzdro k betonu, aretace se uvolní a pouzdro se může odsunout od betonu.

Potom pomalu zatlačíme na pouzdro směrem k betonu tak dlouho, až nastane ráz, způsobený úderem beranu do úderníku. Přístroj dále držíme ve stejné poloze, stiskneme aretační knoflík a uvolníme pouzdro od betonu, aretační knoflík zůstane zasunut, značka zůstane na stupnici a úderník zůstane také zasunut v pouzdře. Čteme odraz na celé jednotky a zapíšeme. Odaretování provedeme tak, že bez manipulace s aretačním knoflíkem opřeme přístroj o beton úderníkem, lehce přitlačíme pouzdro k betonu až aretační knoflík vyskočí a přístroj uvolníme. Tím se znovu vysune úderník a ve zkoušení je možno dále pokračovat. Při použití registračního přístroje není nutno mezi jednotlivými rázy přístroj aretovat, míry odrazu je možno odečíst z registračního pásu po ukončení zkoušky.

Při zkoušce Schmidtovým tvrdoměrem je nutno zaznamenat i polohu, ve které byl přístroj při zkoušce (vodorovně, svisle nahoru – při zkoušce stropu, svisle dolů – při zkoušce podlahy). Tato skutečnost se totiž projeví při vyhodnocení ve formě opravy vlivu gravitace na funkci přístroje.

5.1.5 Zpracování výsledků měření a test platnosti odrazů

Vyhodnocení může být provedeno buď podle kalibračního vztahu, vytvořeného pro konkrétní druh betonu, anebo podle kalibračního vztahu obecného, který je uveden v ČSN 73 1373.

Při vyhodnocování se berou v úvahu výsledky, při jejichž měření byla zkouška provedena do cementové malty v betonu a nedošlo v místě zkoušky k destrukci. Přesto však mohlo dojít k ovlivnění zkoušky tím, že těsně pod po-

vrchem byl velký kámen anebo velká dutina. Výsledky měření, které se zdánlivě odlišují od ostatních nelze vylučovat, musí se zapsat a na všech výsledcích provést následující test platnosti vtisků. Pro jednotlivé vtisky zkušebního místa se vyhodnotí hodnoty pevností podle kalibračních vztahů. Potom se vypočte střední hodnota ze všech pevností. Z této střední hodnoty se vypočte jejich 80 % a dále 120%. Získáme tak meze použitelnosti výsledků z jednotlivých vtisků. Údaje, které jsou vně těchto mezí, se z protokolů vyškrtnou jako neplatné. Pevnosti zbývajících měření se znovu zprůměrují. Podle požadavku normy se tato hodnota zaokrouhlí na celé megapascaly. Výsledky tvrdoměrného zkoušení se *nesmějí* udávat přesněji.

Ke každé měřené míře odrazu se z kalibračního vztahu najde hodnota pevnosti R_{be} . Je nutno použít kalibrační vztah podle směru zkoušení. Potom se provede test platnosti vtisků.

Tab. 5.1 Předloha zápisu měření a hodnocení

Schmidtův tvrdoměr		(zkouška svislé plochy měřené krychle)									
Číslo úderu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Odraz	a										
Pevnost (MPa)	R_{be}										
	$\bar{C} R_{be}$										
	Meze	$0,8 \cdot R_{be} =$					$, 1,2 R_{be} =$				
	$\bar{C} R_{be}$										

odraz	R_{be} (MPa) při směru zkoušení				
	vodorovně	směrem dolů		směrem nahoru	
		svisle	pod úhlem 450	svisle	pod úhlem 450
14	9	14	13		
15	10	15	14		
16	12	17	15		
17	13	18	17		9
18	15	20	18		10
19	16	21	20	9	11
20	18	23	21	10	12
21	19	24	23	11	14
22	21	25	24	13	16
23	22	27	25	14	17
24	23	28	27	16	19
25	25	30	28	18	20

Tab. 5.2d Obecný kalibrační vztah pro stanovení R v MPa Schmidovým tvrdoměrem typu L

odraz	R_{be} (MPa) při směru zkoušení				
	vodorovně	směrem dolů		směrem nahoru	
		svisle	pod úhlem 450	svisle	pod úhlem 450
26	26	32	30	19	22
27	28	33	32	21	24
28	30	35	33	22	25
29	31	36	35	24	27
30	33	38	36	25	28
31	34	40	38	27	30
32	36	41	40	29	32
33	38	43	41	30	33
34	39	44	43	32	35
35	41	46	45	34	36
36	43	48	46	36	38
37	44	49	48	37	40
38	46	51	50	39	42
39	48	52	51	41	44
40	49	54	53	43	45
41	51	56	54	45	47
42	53	57	56	46	49
43	54	59	58	48	51
44	56	60	61	50	52
45	58	62	63	52	54
46	60	64		54	56
47				^{be} 56	58
48				57	60

5.1.6 Korekční součinitele

5.1.6.1 Součinitel pro stáří betonu

Je-li zkoušený beton starší 56 dnů, pak se odvozená hodnota pevnosti v tlaku vynásobí součinitelem α_t , který je:

při stáří betonu	57 – 180 dnů	$\alpha_t = 0,95$
	181 – 360 dnů	$\alpha_t = 0,93$
	nad 360 dnů	$\alpha_t = 0,90$

5.1.6.2 Součinitel pro vlhkost betonu

Je-li zkoušený beton jiný než vlhký, popř. přirozeně vlhký, vynásobí se odvozená hodnota pevnosti betonu v tlaku součinitelem α_w , který je:

u betonu suchého	$\alpha_w = 0,85$
u betonu přirozeně vlhkého a vlhkého	$\alpha_w = 1,00$
u betonu nasyceného vodou	$\alpha_w = 1,05$

5.1.6.3 Součinitel pro vlhkost betonu

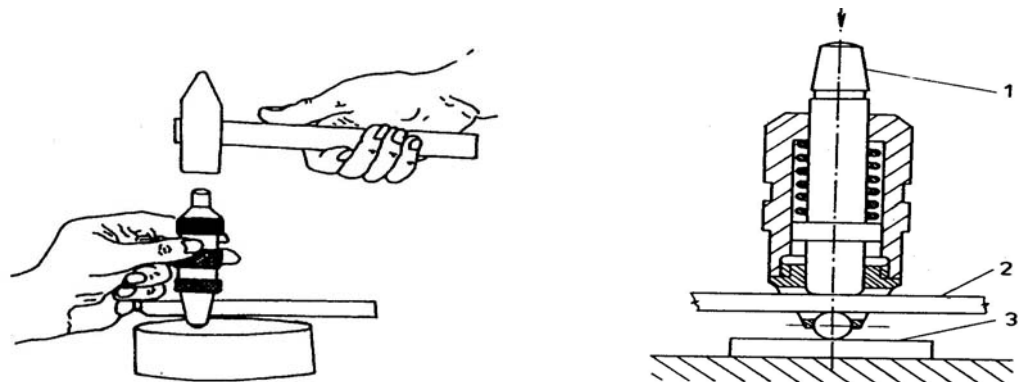
Po skončení měření Schmidovým přístrojem rozdrtí asistent zkoumanou krychli v lisu. Posluchači odečtou na ciferníku lisu maximální dosaženou silovou hodnotu a vypočtou krychelnou pevnost betonu. Krychelnou pevnost poté srovnají s pevností, dříve zjištěnou pomocí Schmidova tvrdoměru.

5.2 Zkouška tvrdosti metodou Poldi

Metoda není normována. Je však vhodná k rychlému posouzení jakosti zejména zabudovaných kovových materiálů v konstrukcích, protože zkušební přístroj je snadno přenosný.

5.2.1 Podstata zkoušky

Při zkoušce porovnáváme průměr vtisku na srovnávací tyčince o známé tvrdosti s průměrem vtisku v materiálu o neznámé tvrdosti. Aby byly oba vtisky srovnatelné, vytvoříme je jedním rázem kladiva, kterým zatlačíme ocelovou kalenou kuličku současně do tyčinky i zkoumaného materiálu.



Obr. 5.2 a) Zkouška tvrdosti metodou POLDI
 b) Schéma kladívka POLDI - 1 úderník
 - 2 porovnávací tyčinka Etalon
 - 3 zkoušený materiál

5.2.2 Zkušební zařízení a pomůcky

- přístroj POLDI;
- ocelová srovnávací tyčinka o jmenovité tvrdosti HB=197 (pevnost v tahu $70 \text{ kp/mm}^2 = \text{cca } 700 \text{ MPa}$);
- ocelová palička o hmotnosti 1 kg až 2 kg;
- měřicí lupa;
- smirkové plátno.

5.2.3 Postup při zkoušce

Přístroj se zasunutou tyčinkou postavíme kolmo na povrch očištěného zkušebního předmětu nebo části konstrukce. Zkoušený materiál musí být pevně podepřen. Ocelovou paličkou krátce uhodíme na razidlo (obr. 2). Průměr vtisku ve srovnávací tyčince (d_1) a v materiálu (d_2) změříme ve dvou navzájem kolmých směrech čtecí lupou s přesností $\pm 0,05$ mm (v případě tyčinky čteme pod úhlem 45° od podélné osy, aby rýha v ose tyčinky nezkreslila výsledky měření). Před každým dalším úhodem posuneme tyčinku v přístroji asi o 8 mm.

5.2.4 Postup při zkoušce

Skutečná hodnota tvrdosti tyčinky je vyjádřena její pevností v tahu vypočítanou z Brinellovy tvrdosti a vyznačenou blízko jejího zkoseného konce. Kromě toho je na tyčince vyznačen převodní součinitel γ , vyjadřující na tři desetinná místa poměr skutečné pevnosti ku jmenovité (70 kp/mm^2). Na obr. 3 značí hodnota 73 pevnost v tahu srovnávací tyčinky v dříve užívaných jednotkách 73 kp/mm^2 ($=73 \times 9,81 = 716,1 \text{ MPa}$), hodnota 1,042 je součinitel $\gamma = 73/70 = 1,042$.



Obr. 5.3 Srovnávací tyčinka POLDI

5.2.5 Vyhodnocení

Tvrdot kovů (u ocelových výrobků též pevnost v tahu) vyhledáme na základě změřených průměrů vtisků d_1 a d_2 v tabulkách, které ke každému přístroji dodává výrobce. Tabulky jsou zpracovány pro každý kov a jeho slitinu zvlášť. Skutečnou hodnotu tvrdosti získáme vynásobením tabulkové hodnoty součinitelem γ vyznačeným na tyčince.

Z tvrdosti podle metody POLDI lze informativně stanovit pevnost ocelí podle vzorce: $R_m = 3,4$ až $3,6$ násobek HB (MPa)

Kontrolní otázky

8. Jaký je princip Schmidtova tvrdoměru?
9. Jak se připravuje měřené místo, a jak probíhá samotná zkouška stanovení pevnosti betonu Schmidtovým tvrdoměrem?
10. Jaký je princip a postup stanovení tvrdosti oceli kladívkem Poldi?



Korespondenční úkol

Popište postup a zásady stanovení pevnosti betonu pomocí Schmidtova tvrdoměru.

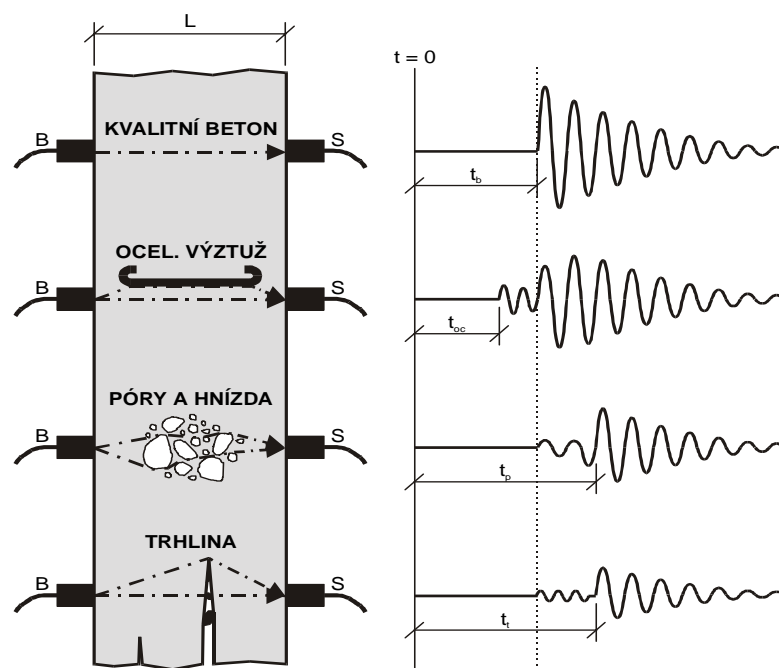


6 Ultrazvuková impulsová metoda

6.1 Teoretický základ



Ve stavebnictví se používá ultrazvukové (UZ) vlnění s kmitočty v rozmezí od 20 kHz do 150 kHz (výjimečně do 500 kHz). Výhodou UZ vlnění je, že se šíří i relativně silnými vrstvami materiálu, kde se např. slyšitelné vlnění rychle utlumí. Pro stanovení vlastností materiálů a jejich vad se v praxi používá několik druhů ultrazvukových metod (viz [1]). Ultrazvuková impulsová metoda průchodová se používá převážně tam, kde chceme zjistit pomocí rychlosti šíření ultrazvukového vlnění jakost zkoušeného materiálu, případně jeho mechanicko-fyzikální charakteristiky. Metoda je založena na opakovaném vysílání UZ impulzů do zkoušeného materiálu a zjištění impulzové rychlosti. Impulzovou rychlost šíření UZ vlnění zjistíme výpočtem z času šíření a dráhy po které se impuls UZ vlnění šířil. Tato rychlost je různá pro různé materiály a mění se s jejich vlastnostmi. Například u kvalitního betonu je impulzová rychlost UZ vlnění vyšší než u betonu méně kvalitního.



Obr. 6.1 Vliv prostředí na rychlost šíření a tvar impulzu

6.2 Popis používaného zařízení

Pro stanovení času šíření impulzu UZ vlnění se používá několik druhů ultrazvukových měřicích přístrojů (viz [1]). Ve cvičeních budeme používat obrazkový UZ měřicí přístroj. U tohoto přístroje se prošlé vlnění zobrazuje na

obrazovce osciloskopu, kde ručním nastavením měřicí značky na čelo impulzů UZ vlnění určíme čas šíření.

Dále budeme potřebovat budič, vytvářející vhodnou délku UZ vlny vzhledem k rychlosti jejího šíření v materiálu a tvaru vzorku a snímač.

Dráhu, po které se ultrazvuk šíří, měříme běžnými metodami měření délek (posuvné měřítko, ocelový metr).

6.3 Návod k provádění úloh

6.3.1 Tvarové charakteristiky vzorku, měřicí základna

Měřicí základna je nejkratší spojnice středů dotykových ploch budiče a snímače a odpovídá spojnici měřicích míst. Vhodná velikost měřicí základny je závislá na použitém měřicím přístroji a kmitočtu budiče. Měřicí místa se volí tak aby nedošlo k ovlivnění měřeného času vlivem okraje zkušebního tělesa, přítomností poruch betonu apod., není-li právě cílem měření zjištění a ohraničení nehomogenity betonu.

Do protokolu zaznamenáme označení vzorku a druh materiálu. Provedeme axonometrický náčrt vzorku, zakreslíme měřicí místa a označení jednotlivých rozměrů vzorku.

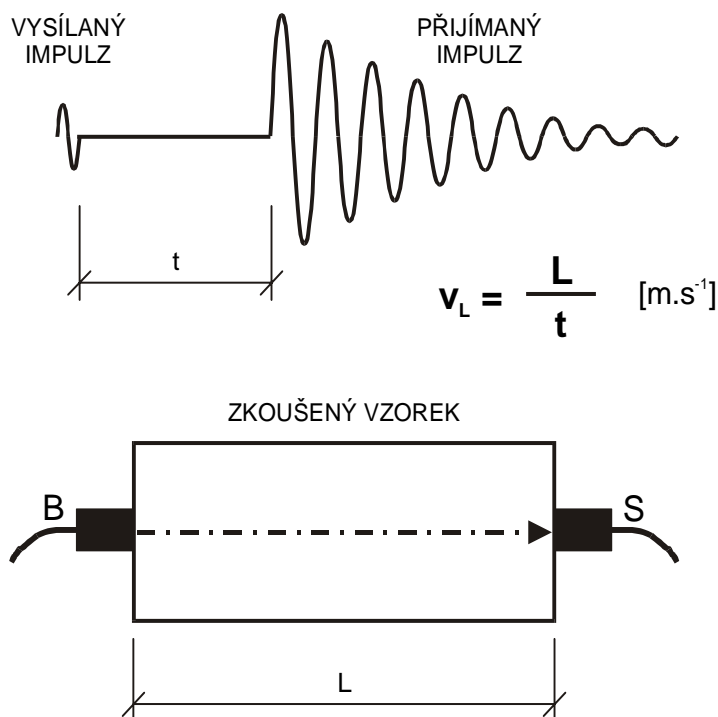
Podle označení v náčrtu vzorku provedeme měření rozměrů. Do 150 mm budou rozměry na 0,1 mm přesně zjišťovány posuvným měřítkem, delší rozměry je možno měřit ocelovým měřítkem na celé milimetry. Dodržení orientace vzorku je nutné, protože rozměrové charakteristiky budou použity pro výpočty rychlosti šíření impulzu UZ vlnění. Hmotnost vzorku zjistíme vážením, na 5 g přesně.

6.3.2 Měření doby průchodu impulzu UZ vlnění

Měření provedeme na třech měřicích základnách, rovnoběžných s podélnou osou vzorku.

Sondy s akustickým vazebním prostředkem umístíme centrovaně na značky měřicích míst a lehce je přitlačíme ke vzorku. Mírným pootočením lze opravit akustický kontakt. Na obrazovce osciloskopu se objeví elektrický obraz prošlého vlnění. Ručně nastavíme měřicí značku na čelo impulzů UZ vlnění a odečteme dobu průchodu impulzu UZ vlnění.

Pokud by byly sondy přikládány ke vzorku bezprostředně, vznikla by vždy mezi sondou a vzorkem malá vzduchová mezera. Na této dvojí hranici prostředí (kov sondy – vzduch, vzduch – materiál vzorku) by došlo ke značnému odrazu ultrazvukových vln. Dále by prošlo tak málo impulzů UZ vlnění, že by ve většině případů nestačila citlivost snímače k jejich příjmu. Proto je nutné používat akustický vazební prostředek. Jeho tenká vrstva je místo vzduchu mezi sondou a vzorkem. Při jeho použití se sníží nežádoucí odraz vln a výrazně se zvýší průchod ultrazvuku přes uvedené rozhraní. Používá se plastelína nebo sklenářský tmel, v co nejtenčí vrstvě. Při znečištění prachem a pískem přestává plnit svou funkci a je nutno ho vyměnit za čistý.



Při měření doby průchodu prochází impulzy UZ vlnění určitou dobu i vrstvou akustického vazebního prostředí a konstrukcí sondy. Tuto dobu označujeme jako „mrtvý čas“. Mrtvý čas musíme zjistit a při vyhodnocení o něj opravit všechny měřené údaje. Mrtvý čas zjišťujeme na kalibračním vzorku (etalonu), jehož časovou charakteristiku přesně známe.

Obr. 6.2 Měření doby průchodu impulzu UZ vlnění zkoušeným materiálem.

6.3.3 Vyhodnocení šíření impulsu podélných UZ vln

6.3.3.1 Mrtvý čas

Mrtvý čas t_{kor} v μs vypočteme ze vorce

$$t_{\text{kor}} = t_{\text{ME}} - t_{\text{E}} \quad (6.1)$$

kde t_{ME} je doba průchodu impulzu UZ vlnění etalonem [μs]
 t_{E} je časová charakteristika etalonu [μs]

6.3.3.2 Rychlost šíření impulsu UZ vlnění

Pro každou měřicí základnu vypočteme rychlost šíření impulsu UZ vlnění v_L v m.s^{-1} podle vorce

$$v_L = \frac{L}{t_L - t_{\text{kor}}} \quad (6.2)$$

kde L je délka měřicí základny [μ]
 t_L je naměřená doba průchodu impulzu UZ vlnění [s]
 t_{kor} je mrtvý čas [s]

Ze tří vypočtených rychlostí vypočteme aritmetický průměr a zaokrouhlíme na desítky m.s^{-1} .

6.3.3.3 Kriterium rozměrnosti

Bude-li měření UZ impulzovou metodou prováděno na velkém bloku anebo na tenké tyčce ze stejného materiálu, dostaneme různé hodnoty rychlosti šíření impulzu UZ vlnění. Tímto se projevuje se vliv rozměrnosti prostředí vzhledem k délce vlny impulzu UZ vlnění. Toto prostředí může být jednorozměrné, dvojrozměrné, trojrozměrné nebo přechodové. Prostoru určíme porovnáním délky vlny impulzu UZ vlnění s rozměry vzorku.

Délku vlny impulzu UZ vlnění λ_L v m vypočteme podle vzorce:

$$\lambda_L = \frac{v_L}{f_u}, \quad (6.3)$$

kde v_L je průměrná rychlost šíření impulzu UZ vlnění [m.s⁻¹]
 f_u je jmenovitá frekvence použité sondy [Hz]

Jako jednorozměrné uvažujeme prostředí prutů, hranolů, válců a nosníků jestliže platí

$$a \leq 0,2 \lambda_L ,$$

jako dvojrozměrné uvažujeme prostředí tenkých desek apod. jestliže platí

$$t \leq 0,2 \lambda_L ,$$

jako trojrozměrné uvažujeme prostředí prutů, hranolů, válců a nosníků jestliže platí

$$a \geq 2 \cdot \lambda_L ,$$

$$b \geq 2 \cdot \lambda_L ,$$

a při prozvučování desek z čelních ploch jestliže platí

$$t \geq 0,9 \cdot \lambda_L ,$$

kde a, b jsou rozměry kolmé na směr prozvučování [m]
 t je tloušťka desky [m]
 λ_L je délka vlny impulzu UZ vlnění [m]

6.3.4 Stanovení vlastností betonu

6.3.4.1 Dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo v tahu

Hodnotu dynamického modulu pružnosti v tlaku nebo v tahu E_{bu} v MPa vypočteme ze vzorce

$$E_{bu} = \frac{\rho \cdot v_L^2}{k^2} \cdot 10^{-6}, \quad (6.4)$$

kde ρ je objemová hmotnost betonu [kg.m⁻³]
 v_L je impulzová rychlost šíření podélného UZ vlnění [m.s⁻¹]
 k je koeficient rozměrnosti prostředí, bez rozměru.

Vypočtenou hodnotu zaokrouhlíme na tři platné číslice.

Koeficient rozměrnosti prostředí se vyjadřuje hodnotami k_1 , k_2 a k_3 .
Pro jednorozměrné prostředí platí:

$$k_1 = 1,$$

pro dvojrozměrné a trojrozměrné prostředí je závislý na hodnotě Poissonova poměru μ a vypočteme jej ze vzorců

$$k_2 = \sqrt{\frac{1}{1-\mu^2}}, \quad (6.4)$$

$$k_3 = \sqrt{\frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}}. \quad (6.5)$$

6.3.4.2 Pevnost betonu v tlaku

Pro výpočet pevnosti betonu v tlaku R_{be} v MPa použijeme kalibrační vztah určený dle ČSN 73 1370

$$R_{be} = 9,9 \cdot v_{L3}^2 - 56 \cdot v_{L3} + 87,8 \quad (6.6)$$

kde v_{L3} je rychlost šíření impulzu UZ vlnění v trojrozměrném prostředí [km.s⁻¹]

Vypočtenou hodnotu zaokrouhlíme na tři platné číslice.

Pro tento výpočet pevnosti betonu v tlaku potřebujeme znát rychlost šíření impulzu UZ vlnění z trojrozměrného prostředí v_{L3} v m.s⁻¹. Pokud ji přímo nena-
měříme, musíme ji vypočítat podle jednoho ze vzorců

$$v_{L3} = k_3 \cdot v_{L1}, \quad (6.7)$$

$$v_{L3} = \frac{k_3}{k_2} \cdot v_{L2}, \quad (6.8)$$

kde v_{L1} je impulzová rychlost šíření UZ vlnění v jednorozměrném prostředí [m.s⁻¹]
 v_{L2} je impulzová rychlost šíření UZ vlnění v dvojrozměrném prostředí [m.s⁻¹]
 k_2 je koeficient pro dvojrozměrné prostředí, bez rozměru;
 k_3 je koeficient pro trojrozměrné prostředí, bez rozměru.

Vypočtenou hodnotu zaokrouhlíme na jednotky m.s⁻¹ přesně.

6.3.5 Stanovení stejnorodosti betonu

Stanovení stejnorodosti betonu ve stavebních dílcích, prvcích a konstrukcích pomocí ultrazvukové impulzové metody používáme pokud je konstrukce přístupná z obou stran. Pokud konstrukce není z obou stran přístupná, kombinujeme měření s jinými metodami.

Na protilehlých stranách konstrukce si vyznačíme měřící síť. Oka této sítě mají mít rozměr srovnatelný s délkou měřící základy, maximálně však 500 mm. Stanovíme si délky jednotlivých měřících základů, naměříme doby průchodu impulzů UZ vlnění a spočítáme impulzové rychlosti šíření.

Impulzové rychlosti šíření UZ vlnění vyneseme do výkresu prvku a sestrojíme izovely - čáry stejných rychlostí. Z jejich průběhu lze posoudit stejnoměrnost betonu v konstrukci.

Matematicky lze vyjádřit stejnoměrnost pomocí variačního koeficientu impulzové rychlosti šíření UZ vlnění V v % takto

$$V = \frac{S}{\bar{v}_L} \cdot 100, \quad (6.9)$$

kde S je směrodatná odchylka rychlosti šíření impulzu UZ vlnění [m.s^{-1}]

\bar{v}_L je aritmetický průměr rychlosti šíření impulzu UZ vlnění [m.s^{-1}]

Směrodatnou odchylku rychlosti šíření impulzu UZ vlnění S v m.s^{-1} vypočítáme dle vzorce

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_{Li} - \bar{v}_L)^2}, \quad (6.10)$$

kde v_{Li} je impulzová rychlost šíření UZ vlnění [m.s^{-1}]

\bar{v}_L je aritmetický průměr impulzové rychlosti šíření UZ vlnění [m.s^{-1}]

n je počet měřících základů.

Vypočtenou hodnotu variačního koeficientu zaokrouhlíme na celá procenta a stejnoměrnost betonu vyhodnotíme podle Tabulky 1.

Tabulka 6.1 Informativní hodnocení stejnoměrnosti betonu

Variační koeficient V [%]	Stejnoměrnost betonu
< 10	velmi dobrá
10 ~ 14	dobrá
14 ~ 18	dostatečná
> 18	nedostatečná

Kontrolní otázky

11. Jak stanovíte pomocí ultrazvukové metody dynamický modul pružnosti betonu v tlaku nebo v tahu?



12. Jak stanovíte pomocí ultrazvukové metody pevnost betonu v tlaku?

13. Jak stanovíte pomocí ultrazvukové metody stejnorodost betonu?

Korespondenční úkol

Popište postup stanovení pevnosti betonu v tlaku ultrazvukovou zkouškou.



7 Rezonanční zkouška zkušební vzorku betonu

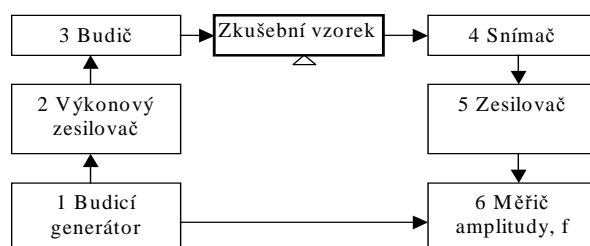
7.1 Princip rezonanční metody zkoušení



Každý předmět z tuhého materiálu se po mechanickém impulsu rozkmitá. Toto kmitání se může uskutečnit mnoha způsoby, k vyhodnocení dynamických materiálových charakteristik pravidelných těles používáme vlastní kmitočty **podélného** f_L , **krouživého** f_t a **příčného** f_f kmitání. Jako **rezonanci** (vlastní kmitočty) označujeme jev vzrůstu amplitudy vynucených kmitů zkoušeného tělesa na maximum, ke kterému dochází v případě, kdy kmitočet vnější budicí síly je shodný s vlastním (rezonančním) kmitočtem tělesa.

Z naměřených vlastních kmitočtů, objemové hmotnosti a rozměrů zkoušených vzorků určíme charakteristiky pružnosti materiálu – dynamické **moduly pružnosti v tahu a tlaku** E_{dr} , **ve smyku** G_{dr} , dynamický **Poissonův koeficient** ν_{dr} .

Rezonanční přístroj vysílá do materiálu vzorku mechanické kmitání. Kmitočet je plynule laditelný, obvykle od 30 Hz do 30 kHz. Přístroj dále měří odezvu vzorku na vysílaný kmitočet, měří a případně zobrazuje amplitudu kmitání vzorku. Měřicí sestava pro zkoušení materiálů rezonanční metodou je schématicky znázorněna na obr. 1. Sestává se z budicího obvodu (1 až 3) a snímacího obvodu (4 až 6).



Obr. 7.1 Blokové schéma měřicí sestavy přístrojů pro rezonanční metodu

7.2 Provedení zkoušky

7.2.1 Postup měření

Záznam naměřených hodnot i vyhodnocených údajů bude prováděn přímo do formuláře protokolu. Protože jednotlivá dílčí měření navazují na vyhodnocení předcházejících částí úlohy, je při měření nutno postupovat přesně podle následujících bodů:

- nákres vzorku s označením rozměrů;
- stanovení rozměrů, stanovení hmotnosti vzorku;
- výpočet očekávaného kmitočtu podélného kmitání f_L' , např. z doby průchodu ultrazvuku;
- rezonanční zkouškou se změří skutečný podélný kmitočet f_L ;
- pro kontrolu se změří druhý vlastní podélný kmitočet – ke zvýšení amplitudy kmitání by mělo dojít na frekvenci $2 \times f_L$;

- ze **skutečného** podélného kmitočtu f_L se vypočtou očekávané kmitočty kroutivého f_t' a příčného f_f' kmitání;
- rezonanční zkouškou se změří skutečný kroutivý f_t a skutečný příčný f_f kmitočet vzorku;
- provede se výpočet dynamických charakteristik a vyhodnocení celé rezonanční zkoušky.

7.2.2 Rozměry a hmotnost vzorku

Příčné rozměry vzorku a , b (b je větší z nich) změříme na 0,1 mm přesně posuvným měřítkem, délku vzorku L změříme na 1 mm přesně ocelovým měřítkem. Do protokolu zapíšeme zjištěné údaje v metrech! Vážením stanovíme hmotnost m vzorku na 5 g přesně.

7.2.3 Stanovení podélné rezonanční frekvence f_L

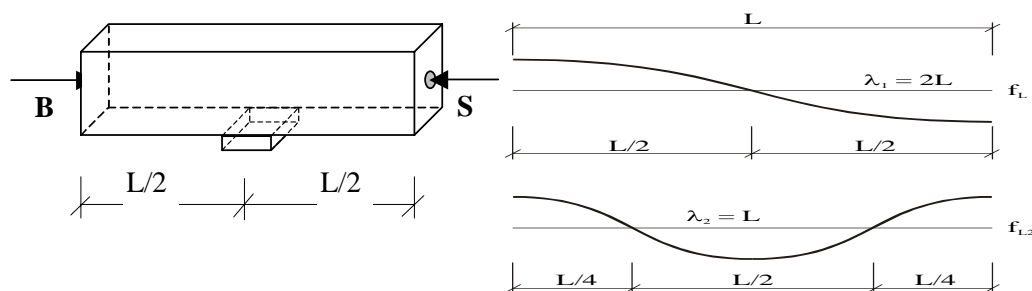
Vzhledem k obtížnému určení hodnot vlastních frekvencí neznámého vzorku materiálu je vhodné **nejprve vypočíst přibližnou hodnotu** vlastních frekvencí a teprve potom v jejich okolí hledat skutečnou vlastní frekvenci měřením na rezonančním přístroji. Při měření neznámého materiálu totiž těžko odlišíme skutečnou rezonanční frekvenci od nepravých rezonančních frekvencí, způsobených jinými druhy kmitání vzorku.

Přibližnou hodnotu podélné frekvence f'_L v kHz určíme výpočtem z doby průchodu ultrazvukového vlnění vzorkem ve směru jeho délky (přehled je vedle zkušebních vzorků).

$$f'_L = \frac{500}{T} \quad (7.1)$$

kde T je doba průchodu ultrazvuku ve směru "L", v μs ;
 f'_L je přibližná hodnota podélné frekvence, v kHz.

Při měření rezonančních frekvencí se dostává vzorek do kmitání, při němž jsou známa místa, v nichž vznikají **uzly** a **kmitny**. Podle sledovaného kmitání ukládáme vzorek na podložky v místě uzlů kmitání a sondy přikládáme v místech největších amplitud – kmiten. Preferujeme tím sledované kmitání a ostatní druhy kmitání potlačujeme. Způsob podepření hranolů pro zjištění prvního vlastního kmitočtu podélného kmitání f_L a vlastní tvary prvního f_L a druhého f_{L2} rezonančního kmitočtu jsou uvedeny na obr. 6.2. Sondy musí být v místě dotyku se vzorkem opatřeny tenkou vrstvou plastelíny, aby byl zajištěn akust. kontakt.



Obr.7.2 Způsob podepření hranolu, umístění budiče „B“ a snímače „S“ při měření prvního vlastního kmitočtu podélného kmitání f_L Vpravo tvary prvního f_L a druhého f_{L2} vlastního kmitočtu

Přístroj nastavíme na vypočtenou hodnotu podélné rezonanční frekvence f'_L . Údaj ověříme na digitronech čítače. Zesilovače nastavíme tak, aby amplituda kmitání (svislý rozměr signálu) byla menší než 15 mm. Potom pomalu plynule snižujeme nebo zvyšujeme vysílanou frekvenci, až se v blízkosti hledané rezonanční frekvence začne stopa na obrazovce zvyšovat. Přesáhne-li okraj obrazovky, přerušíme ladění a zesilovači snížíme zesílení. Skutečná rezonanční frekvence podélného kmitání f_L je charakterizována největší výchylkou obrazu na obrazovce. Naměřený údaj zapíšeme do formuláře v kilohertzích (kHz). Kontrola naměřené frekvence se provádí nastavením druhé vlastní frekvence kmitání vzorku (jejíž hodnota je dvojnásobkem f_L), při které by opět mělo dojít ke zvětšení amplitudy kmitání.

7.2.4 Stanovení krouživé a příčné frekvence

Pro určité podmínky byl odvozen vzájemný vztah podélné, krouživé a příčné rezonanční frekvence vzorku. I když v našem případě nebudou tyto podmínky přesně splněny, využijeme koeficientů vyjadřujících poměr frekvencí pro stanovení přibližných hodnot krouživé a příčné frekvence:

$$f'_t = \alpha \cdot f_L \quad f'_f = \beta \cdot f_L \quad (7.2, 7.3)$$

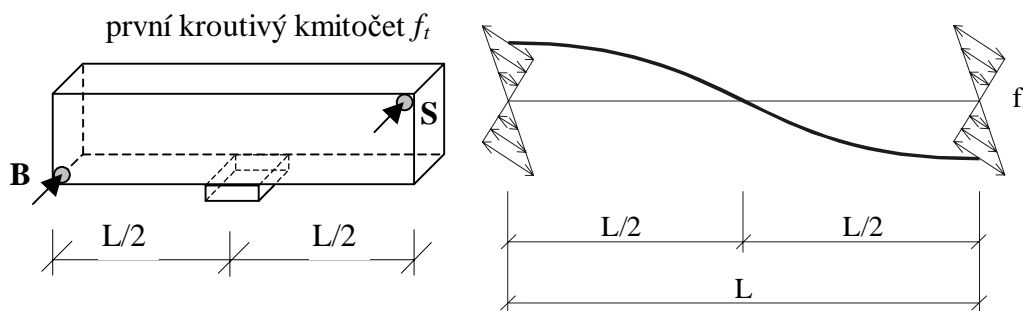
kde f_L je měřením zjištěná frekvence podélného kmitání;
 f'_t přibližná frekvence krouživého kmitání;
 f'_f přibližná frekvence příčného kmitání.

koeficient α má hodnotu $\alpha = 0,59$, koeficient β závisí na délce hranolu a je vzhledem k poměru $a : L$ uveden v tab. 1:

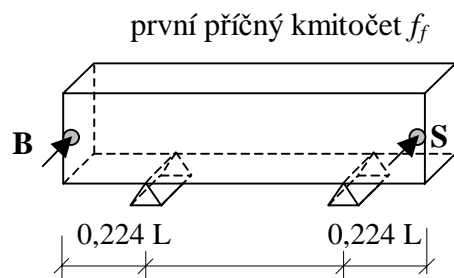
$a : L$	1 : 3	1 : 4	1 : 5
β	0,52	0,43	0,36

Tab. 7.1 Hodnoty koeficientu β pro různě dlouhé hranoly

Umístění položek a sond provedeme pro jednotlivá kmitání podle obr. 7.3 a 7.4. Postup měření je dále shodný s postupem měření podélné frekvence. Rezonanční frekvence krouživého kmitání f_t a příčného kmitání f_f uvedeme do protokolu v kHz.



Obr.6.3 Způsob podepření hranolů, umístění budiče „B“ a snímače „S“ při měření prvního vlastního kmitočtu krouživého f_t



Obr. 6.4 Způsob podepření hranolů, umístění budiče „B“ a snímače „S“ při měření prvního vlastního kmitočtu příčného f_f kmitání

7.3 Zpracování výsledků měření

7.3.1 Objemová hmotnost ρ

Objemovou hmotnost ρ v kg/m^3 vypočteme ze vztahu

$$\rho = \frac{m}{a \cdot b \cdot L} \quad (7.4)$$

kde: m je hmotnost vzorku, v kg;
 a, b, L jsou rozměry vzorku, v m.

7.3.2 Dynamický modul pružnosti v tahu – tlaku E_{br}

Hodnotu dynamického modulu pružnosti v tahu a tlaku E_{br} v MPa stanovíme z rezonančních frekvencí kmitání podélného (E_{brL}) a příčného (E_{brf}).

Z podélného kmitání $E_{brL} = 4 \cdot L^2 \cdot f_L^2 \cdot \rho \quad (7.5)$

Z příčného kmitání $E_{brf} = 0,0789 \cdot c_1 \cdot L^4 \cdot f_f^2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{i^2} \quad (7.6)$

kde: f_L, f_f jsou naměřené vlastní frekvence podélného a příčného kmitání v kHz;

i je poloměr setrvačnosti průřezu v m; $i = \frac{a}{\sqrt{12}} \quad (7.7)$

L je délka vzorku v m;

c_1 je korekční součinitel, zahrnující vliv smyku a setrvačnosti, jehož hodnoty jsou pro odhad $\nu = 0,20$ uvedeny v následující tabulce. Pro výpočet musíme hodnotu c lineárně interpolovat.

Tab. 7.2 Hodnoty korekčního součinitele c_1

i / L	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
c_1	1,21	1,29	1,40	1,51	1,64	1,78

Abychom zjistili, jak se vzájemně liší vypočtené hodnoty dynamických modulů pružnosti E_{br} , vypočteme odchylku ΔE_{br} v %:

$$\Delta E_{br} = \frac{E_{brf} - E_{brL}}{E_{brL}} \cdot 100 \quad (7.8)$$

Hodnota ΔE_{br} může být jak kladná, tak i záporná; přesahuje-li však při správně provedeném výpočtu hodnotu 10 %, znamená to, že je vzorek nehomogenní.

7.3.3 Dynamický modul pružnosti ve smyku G_{dr}

Dynamický modul pružnosti ve smyku G_{dr} v MPa se vypočte ze vztahu

$$G_{br} = 4 \cdot k \cdot L^2 \cdot f_t^2 \cdot \rho \quad (7.9)$$

kde k je součinitel, závislý na tvaru průřezu vzorku, pro čtverec $k = 1,183$.

7.3.4 Dynamický Poissonův poměr ν_{br}

Dynamický Poissonův poměr ν_{br} (bez rozměru) se vypočte ze vztahu

$$\nu_{br} = \frac{E_{brL}}{2 \cdot G_{br}} - 1 \quad (7.10)$$

Poissonův poměr ν může nabývat pouze hodnot v intervalu (0 ; 0,5). Po výpočtu zaokrouhlíme hodnotu ν_{br} na 0,02.

Kontrolní otázky



14. Jaký je teoretický princip této metody?
15. Jak stanovíte pomocí rezonanční zkoušky dynamický modul pružnosti v tlaku - tahu?
16. Jak stanovíte pomocí rezonanční zkoušky dynamický modul pružnosti ve smyku?

Korespondenční úkol



Popište stanovení dynamického modulu pružnosti v tahu – tlaku rezonanční zkouškou.

8 Zjištění polohy a krytí výztuže magnetickými indikátory

8.1 Úvod

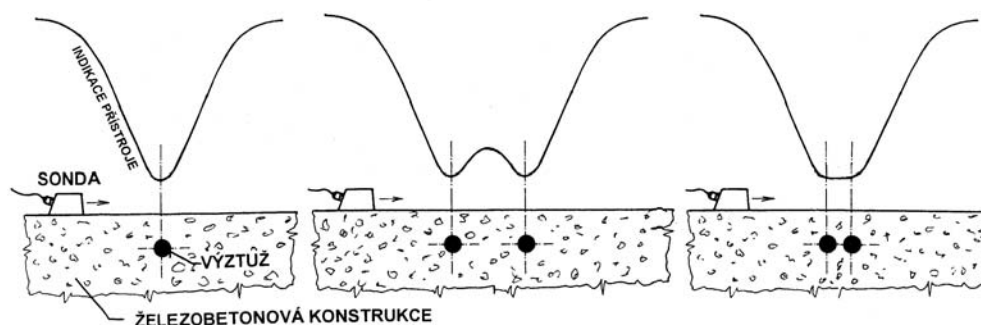
Jednou ze základních podmínek dosažení očekávaných užitných vlastností železobetonových konstrukcí je dodržení projektovaného množství, profilu a třídy oceli a rozmístění ocelových výztuží. Stejně tak je třeba znát tyto parametry u konstrukcí, u nichž se nedochovala projektová dokumentace.



Pro prvotní orientační informaci o těchto vlastnostech konstrukce slouží magnetické indikátory výztuže. Jejich předností je rychlost a jednoduchost kontroly polohy výztuže, nevýhodou řada omezení vyplývajících z možností přístrojů, jež jsou dána fyzikálními principy této měřicí metody.

Magnetická metoda zjišťování neznámých parametrů výztuže je založena na využití feromagnetického jevu nebo vířivých proudů, které způsobují změnu charakteristik magnetického pole sondy při jejím přiblížení k prutům výztuže.

V případě hustého vyztužení (malá vzdálenost prutů výztuže) a nebo vyztužení v několika vrstvách tato metoda zjišťování polohy výztuže zčásti, nebo zcela selhává!



Obr. 8.1 Schematické znázornění použití magnetického indikátoru výztuže, a jeho omezení vyplývající z malé vzdálenosti jednotlivých prutů výztuže.

8.2 Měřicí zařízení a potřeby

- přístroj Pachometr TEBA 06
- přístroj Profometer 4
- model části konstrukce
- vzorek oceli použité v modelu
- dřevěné podložky
- ocelové měřítko
- posuvné měřítko s noniem

8.3 Popis použitých přístrojů a měřidel

8.3.1 Pachometr TEBA 06

Napájecí část přístroje je propojena se sondou tvaru „U“, ve které je okolo jádra navinuta cívka. V okolí sondy vzniká magnetické pole, jemuž odpovídá základní stav indikátoru přístroje. Přítomností feromagnetického materiálu (ocelová výztuž) v dosahu přístroje se magnetické pole sondy deformuje. Tomu odpovídá změna indikace na displeji přístroje.

Sonda má směrový účinek, lze tedy najít i směr výztužného prutu. Kalibrováním, nebo podle grafu na přístroji lze zjišťovat buď profil, nebo krytí výztuže, jestliže druhý z údajů známe.

Přístroj je bateriový, zdroje se zapínají tlačítkem M. Po zapnutí se na analogovém indikátoru zobrazí výchylka. Sondu umístíme tak, aby 50 cm v žádném směru od ní nebyl feromagnetický materiál (ani např. propisovací tužka, hodinky, ocelová spona na oblečení a podobně). Korekčním knoflíkem nastavíme ukazatel přístroje na maximum stupnice (hodnota 50). Kontrolu nastavení korekce je nutno provádět pravidelně i během měření.

Při vlastním měření pohybujeme sondou po povrchu zkoumané konstrukce. Vyhodnocování se provádí podle změn výchylky ukazatele na stupnici přístroje.

8.3.2 Profometr 4

Patří k současné špičce v tomto oboru. Princip funkce je podobný, jako v případě Pachometru.

Disponuje však pevnou pamětí 1MB s kapacitou pro 100 000 naměřených hodnot a integrovaným software pro tisk statistických hodnot a přenos na PC. Přístroj má grafický LCD displej, na němž se přehledným způsobem zobrazují veškeré funkce přístroje. Kromě základní bodové sondy výrobce dodává k zařízení i sondu hloubkovou a průměrovou.

Profometer 4 nabízí uživateli velmi přehledný výběr volitelných hodnot ve svém menu., je možno nastavit průměr prutu, při hledání výztuže se na displeji objevuje vzdálenost sondy od výztuže, současně pohyblivý indikační sloupec (nahrazuje analogový ukazatel) nárůstem délky upozorňuje, zda se sonda pohybuje od výztuže či k výztuži, v okamžiku, že se nachází přímo nad výztuží vydá přístroj akustický signál.

8.4 Postup měření – Pachometr TEBA 06

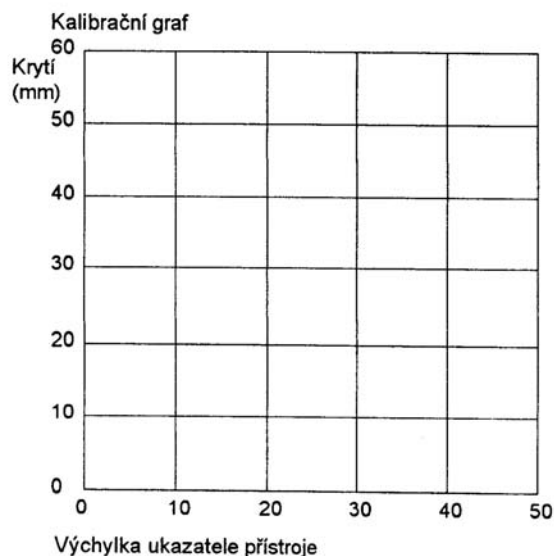
8.4.1 Vytvoření kalibračního vztahu pro zvolenou ocel

Měřením zjistíme na vzorku ocelové výztuže skutečný a jmenovitý průměr. Spolu s číselným označením druhu oceli zaznamenáme do protokolu. Přístroj

nastavíme pro měření a sondu položíme na stůl obráceně, aby měřila směrem nahoru. Na sondu umístíme dřevěnou podložku a na ni výztužný prut tak, aby osa sondy a osa prutu byly rovnoběžné. V této pozici čteme údaj přístroje a zaznamenáme. Měření provádíme pro tloušťky podložek 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5 a 6 cm. Údaje zaznamenáme do tabulky a poté vyneseme do grafu. Jsou-li v modelu použity dva druhy výztuže, provedeme měření a sestojení grafu pro každou výztuž samostatně.

Tab. 8.1 Kalibrační graf

A,B	A	B
krytí mm	výchylka	
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
50		
60		



8.4.2 Určení polohy výztuže

Část konstrukce je modelována dřevěnou krabicí se skleněným víkem. Tato sestava imituje betonovou konstrukci. V této modelové pomůcce jsou umístěny výztužné pruty. Jejich poloha je skryta papírovým krytem.

Při hledání polohy výztuže pohybujeme sondou po povrchu modelu. V okolí prutu výchylka ukazatele přístroje klesá. Sonda se nachází nad prutem, když je výchylka hodnotově nejmenší. V místě polohy prutu pak sondou otáčíme kolem osy kolmé ke zkoumanému povrchu. Je-li směr sondy shodný se směrem prutu, je reakce přístroje největší, to jest nastane nejvýraznější snížení hodnoty čtené na stupnici přístroje. Neplatí to ale v místě křížení prutů. přístroj také nerozliší dva pruty umístěné blízko sebe (obr. 8.1).

Polohu výztuže zakreslíme na papírový přebal tužkou. Postupujeme ve dvou na sebe kolmých směrech.

8.4.3 Určení krytí výztuže

Po zakreslení polohy výztuže na povrchu modelu konstrukce každý prut přístrojem v několika místech přeměříme. Přístrojem indikovanou hodnotu vyhledáme na sestojeném grafu a odečteme jí odpovídající hodnotu krytí výztuže v mm.

Kontrolu správnosti provede po skončení měření vyučující srovnáním se skutečností po odstranění papírového přebalu modelu.

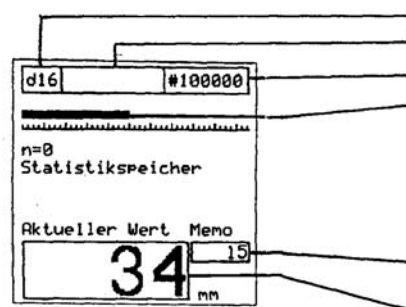
Poznámka: Při provádění měření je třeba brát v úvahu, že model simuluje skutečný stav uložení výztuže v konstrukci, to jest, pruty výztuže nemusí být vzájemně vodorovné, nebo na sebe kolmé, případně nemusí mít konstantní krytí, jde o jevy v reálných konstrukcích běžné.

8.5 Postup měření – Profometr 4

Provedeme určení polohy výztuže na stejném modelu, jako v úloze 8.5.

Podle pokynů vyučujícího se přístroj uvede do chodu, a v menu se nastaví známý průměr výztuže. Práce s přístrojem je velmi jednoduchá, jakmile se sonda ocitne nad výztuží, ohlásí o přístroj krátkým akustickým signálem. Současně se na displeji přístroje zobrazí tloušťka překrytí betonem (tzv. krytí výztuže).

Na displeji se zobrazí



předvolený průměr tyče
mezí hodnota
objekt č.
pohyblivý indikační sloupec
ukáže, zda se sonda pohybuje k výztuži, či od ní;
osu tyče výztuže lze stanovit s vysokou přesností

v paměti uložená výška překrytí betonem
vzdálenost sondy od výztuže je neustále indikována v mm

Obr. 8.2 Znáznornění údajů na displeji přístroje Profometer 4

Kontrolní otázky



17. Jaký je princip funkce magnetických indikátorů výztuže?
18. Jak vytvoříte kalibrační vztah pro zvolenou ocel?
19. Jak postupujete při určení polohy výztuže?

Korespondenční úkol



Popište princip funkce magnetického indikátoru výztuže a postup stanovení polohy ocelové výztuže v železobetonové konstrukci.

9 Radiografické určení polohy, profilu výztuže

9.1 Úvod

Radiografický průzkum uložení a profilu jednotlivých prutů výztuže je vhodný především v silně vyztužených železobetonových konstrukcích, v nichž jsou pruty výztuže uloženy těsně vedle sebe, popř. v několika vrstvách nad sebou a v konstrukcích, v nichž je ocelová výztuž kryta tlustou vrstvou betonu.



Radiografická metoda průzkumu je založena na specifických vlastnostech ionizujícího záření, které je rozptylováno a absorbováno prostředím, kterým prochází. Míra zeslabení při stejné energii záření je závislá na tloušťce a na objemové hmotnosti prostředí. Je tedy zeslabováno výrazněji ocelovou výztuží, nežli betonem. Míra zeslabení záření po průchodu materiálem je dosud obvykle zaznamenávána na rentgenovém filmu, který po vyvolání zobrazuje vnitřní strukturu kontrolovaného místa. U železobetonu se rozložení výztuže v prozařované části konstrukce projevuje světlejšími stopami zmenšeného zčernání na vyvolaném filmu, způsobeným centrálním průmětem výztuže na rentgenový film. Rentgenové filmy, používané při kontrole stavebních konstrukcí mají zpravidla rozměry 300x 400 mm. Jsou umísťovány buď do kovových či plastových kazet, nebo je výrobce dodává v denním balení.

Obecně platí, že při průzkumu železobetonových konstrukcí je výhodné volit gamazářič s velkou energií E , s velkým poločasem rozpadu $T_{1/2}$ a velkou aktivitou A . Těmto požadavkům vyhovuje radioaktivní kobalt $Co\ 60$ ($E = 1,25\ MeV$, $T_{1/2} = 5,3$ roku). Gamazářič je umístěn v defektoskopickém krytu, který se v současné době nejčastěji zhotovuje z ochuzeného uranu. Velikost krytu limituje aktivitu zářiče. Gamazářiče umožňují prozařovat železobetonové konstrukce až do tloušťky 500 mm. Velkou předností gamazářičů je jejich mobilnost a nezávislost na zdrojích energie. Používají se proto převážně při pracích v terénu. Pomocí dálkového ovládání lze zářič zasunout i do nesnadno přístupných míst. Doba expozice se určuje z expozičního nomogramu nebo početně na základě vstupních údajů, kterými jsou: energie a dávkový příkon záření γ ze zářiče, ohnisková vzdálenost, tloušťka prozař. betonu a citl. použitého filmu.

Pokud jsou k tomu vhodné podmínky, je možné použít místo gamazářiče zdroj rentgenového záření – technický rentgen. Jeho výhodou je vyšší jakost zhotovených radiogramů, nevýhodou značné rozměry zařízení, které je předurčují spíše k provádění radiografie ocelových konstrukcí a výrobků, nebo k použití na stabilních defektoskopických pracovištích.

9.2 Popis měřících přístrojů a zařízení

9.2.1 Určení krytí výztuže

vyučující zvolí vhodný zdroj záření, kterým bude buď radioaktivní zářič, izotop $Co60$, nebo Makrostrukturální rentgem Andrex, Constant Potential CP-160

9.2.1.1. Gamagrafický kryt TECH/OPS se zářičem Co60

Souprava pro provádění radiografie sestává ze stínícího krytu, obsahujícího vlastní izotop, sady výsuvných hadic a manipulačního zařízení.

Samotný stínící kryt je vyroben z ochuzeného uranu, což je materiál s velkou objemovou hmotností ($\rho = 19\,000\text{ kg/m}^3$), který tvoří stínění proti záření gama. Ve středu krytu se nachází izotop Co60. Stínícím krytem prochází kanál ve tvaru písmene S, kterým je možno za pomoci výsuvného zařízení vysunout izotop do koncovky hadice, která se předtím umístí do místa ohniska prozařování.

Bezpečnost při činnosti s tímto zařízením je třeba zajistit nepřetržitým užíváním akustických indikátorů záření.

9.2.1.2. Rentgen Andrex CP-160

Je to mobilní technický rentgen, přepravovaný na transportním vozíku. Jde o typ rentgenového přístroje, kde rentgenka je umístěna externě, se zdrojem vysokého napětí je spojen svazkem vysokonapěťových kabelů.

Samotným zdrojem záření je rentgenka, v níž dochází k transformaci kinetické energie elektronů, urychlovaných elektrickým potenciálem mezi katodou a anodou rentgenky, na teplo a energii rentgenového záření.



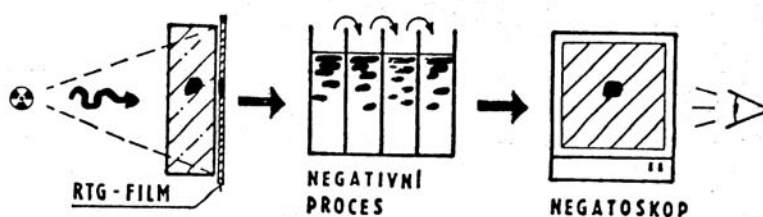
Obr. 9.1 Defektoskopický kryt se zářičem Co60



Obr. 9.2 Technický rentgen Andrex CP 160

9.3 Postup provádění zkoušky

Cílem zkoušky je určit polohu a profil ocelové výztuže v železobetonu. Jako model poslouží křížem vyztužená železobetonová deska o tloušťce 50 mm.



Obr. 9.3 Schema postupu provádění radiografie

9.3.1 Určení krytí výztuže

9.3.1.1. Příprava železobetonové desky

Po dohodě s vyučujícím zvolí studenti na železobetonovém prvku místo pro provedení radiografie. Pomocí olověných značek provedou označení průřezu. Olověnými křížky se označí místa pod ohnisky prozařování, dále označení bude obsahovat identifikaci studijní skupiny a datum. Při provádění druhého radiogramu bude navíc přiložena značka S.

9.3.1.2. Příprava radiografického filmu

Pro provádění úlohy bude použita dvojice radiografických filmů, formátu 300 x 400 mm, v komorovém balení. Před prováděním úlohy studenti nabijí filmy dvojicí kazet v temné komoře. Filmy budou vkládány mezi olověné zesilovací folie.

9.3.1.3. Příprava zdroje záření

Vyučující rozhodne o volbě zdroje záření. Studenti pomohou připravit zdroj záření tak, aby mohla být provedena radiografie stereoskopickou metodou ze dvou ohnisek (obr. 9.4). Poté odejdou s vyučujícím do ovladovny.

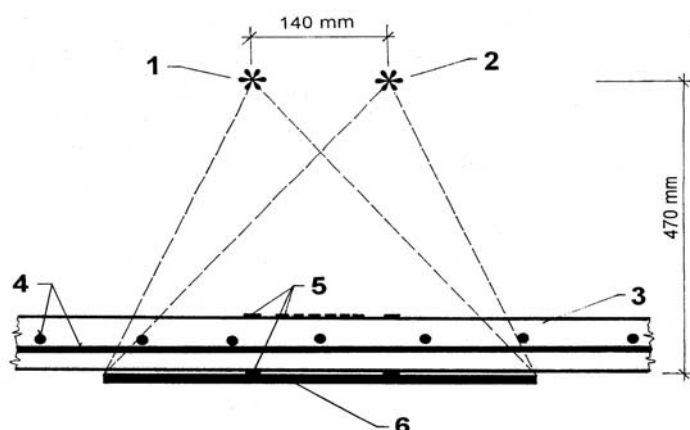
Informace

Upozornění: veškerá manipulace se zdrojem záření je výhradně záležitostí vyučujícího, studenti nesmí v žádném případě provádět jakoukoli manipulaci, ke které nejsou přímo vyzváni!



Obr 9.4 Schema geometrie prozařování betonové desky

- 1 – první ohnisko prozařování
- 2 – druhé ohnisko prozařování
- 3 – zkoumaný železobetonový prvek
- 4 – ocelová výztuž
- 5 – olověné značky
- 6 – kazeta s radiografickým filmem



9.4 Radiografická kontrola

Studenti se shromáždí u ovladače zdroje záření v ovladovně. Vyučující zkontroluje geometrii prozařování v ozařovně, a uzavře stínící dveře. Po rozsvícení výstražných světel uvede do činnosti zdroj záření pro první expozici. Po dokončení expozice vyučující nejprve zkontroluje správnost vypnutí rentgenu, případně zasunutí izotopu (podle toho, jaký zdroj záření zvolil) a teprve potom vyzve studenty ke vstupu do ozařovny a přípravě druhé expozice. Druhá expozice proběhne stejným způsobem jako první.

9.5 Vyvolání filmů

Účelem vyvolání snímku je učinit viditelným latentní obraz, vytvořený ozářením citlivé vrstvy filmu rentgenovým zářením, nebo zářením gama.

Po ukončení prozařování se studenti odeberou s kazetami s filmy do temné komory. Nejprve si připraví potřebné nádoby pro vyvolání filmů. Kazety s filmy budou otevřeny při osvětlení komory červeným světlem, na které nejsou filmy citlivé. Oba filmy budou umístěny do vyvolávacích rámců, spolu s nimi ponořeny do vývojky (na dobu 5 min.) , poté vyprány v nádobě s přerušovací lázní, dále na 5 minut ponořeny do ustalovače a následně vyprány v nádobě s tekoucí vodou.

Poté je možno rozsvítit v temné komoře normální osvětlení, a po důkladném vyprání oba filmy vysušit.

9.6 Vyhodnocení radiogramů

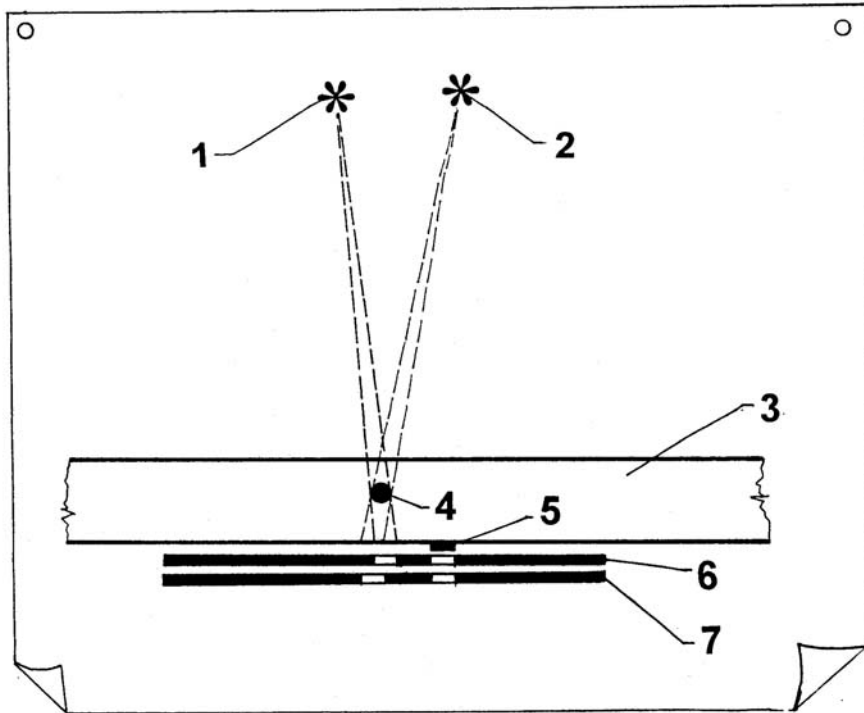
Vyvolané filmy se prohlíží a vyhodnocují na prohlížečkách – negatoskopech.

Rozložení výztuže v průřezích zkoumaných konstrukcí se nejčastěji zjišťuje graficky, vnesením geometrie, při kterém byly průřezy snímkovány, na výkres.

U průřezů menších rozměrů se při vyhodnocování volí měřítko 1:1, u průřezů větších rozměrů je výhodné měřítko 1:2, popřípadě menší. Na výkres se vykreslí řez konstrukcí, poloha ohniska zářičů během snímkování a umístění fixačních olověných značek.

Právě od fixačních olověných značek na výkrese se začnou vynášet stopy výztuže, zjištěné po vyvolání rentgenových filmů. Zakreslené stopy výztuže se postupně propojují s oběma ohnisky. Průsečíky příslušných spojnic ohniska se stopami výztuže ohraničují polohu výztuže. (obr. 9.5).

Studenti vyhodnotí popsanou metodou dva stereoradiogramy na připravený výkres. Určí přesné rozložení výztuže a její průřez.



Obr. 8.5 Schema vyhodnocování radiografické kontroly

- 1 – první ohnisko prozařování
- 2 – druhé ohnisko prozařování
- 3 – železobetonová deska
- 4 – prut ocelové výztuže
- 5 – olověné značení
- 6 – radiografický film z první expozice
- 7 – radiografický film z druhé expozice

Kontrolní otázky

- 20. Jaký je princip radiografie?
- 21. Jaký je postup provádění radiografické kontroly výztuže?
- 21. Jaký je postup a princip vyhodnocení radiogramů (určení počtu prutů, polohy a průměru výztuže)?



Korespondenční úkol

Popište postup radiografické kontroly výztuže v trámu železobetonové konstrukce vysvětlete princip vyhodnocení polohy a profilu výztuže.



10 Radiometrické určení objemové hmotnosti a vlhkosti stavebních materiálů

10.1 Teoretický základ



Radiometrická měření se používají všude, kde z nejrůznějších důvodů klasické měření objemové hmotnosti a vlhkosti není možné, nebo by bylo příliš pomalé. Radiometrické měření umožňuje měřit obě veličiny bez porušení materiálu.

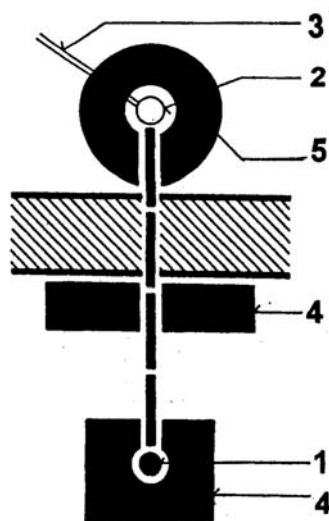
Měření objemové hmotnosti je založeno na principu zeslabení záření gama v materiálu. Jako zdroje záření se používá běžně cesium Cs137, jako detektor se obvykle užívají Geiger – Müllerovy počítače, nebo scintilační detektory.

Radiometrické určování objemové vlhkosti je založeno na principu moderace rychlých neutronů, převážně atomy vodíku. Jako zdroje záření se využívá směsných zářičů, jde o směs dvou prvků, jeden z nich, nejčastěji americium Am241, je zdrojem záření alfa, druhý, většinou Berylium, je materiálem terčovým, který při zásahu částicemi záření alfa emituje rychlé neutrony.

10.2 Určení objemové hmotnosti materiálu v konfiguraci úzkého svazku

10.2.1 Úvod

Pro rychlé a přesné určování objemové hmotnosti stavebních materiálů se často používají metody měření zeslabení záření gama v úzkém svazku jeho průchodem materiálem.



Obr. 10.1 Schema měření v úzkém svazku záření (šrafovaně znázorněn měřený materiál)

- 1 – gamazářič
- 2 – detektor záření (G-M trubice)
- 3 – výstup vyhodnocovací jednotce
- 4 – kolimátor zářiče
- 5 – kolimátor detektoru

Prochází-li svazek záření látkou o tloušťce d , zeslabí se záření průchodem touto látkou. Zeslabení primárního svazku závisí na objemové hmotnosti ρ a tloušťce materiálu d . Zeslabení úzkého svazku záření lze vyjádřit vztahem:

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu d} \quad (10.1)$$

kde:

- N_0 - četnost impulzů stanovená ve vzduchu bez přítomnosti měřené ho materiálu [imp/min]
- N - četnost impulzů stanovená po průchodu měřeným materiálem [imp/min]
- μ - lineární součinitel zeslabení [m^{-1}]
- d - tloušťka prozařovaného materiálu [m]

Zeslabení úzkého svazku lze vyjádřit také vztahem:

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu_m \rho_A} \quad (10.2)$$

- kde: μ_m - hmotnostní součinitel zeslabení [$m^2 kg^{-1}$]
 ρ_A - plošná hmotnost [$kg m^{-2}$]

Plošná hmotnost je pak rovna:

$$\rho_A = d \cdot \rho \quad (10.3)$$

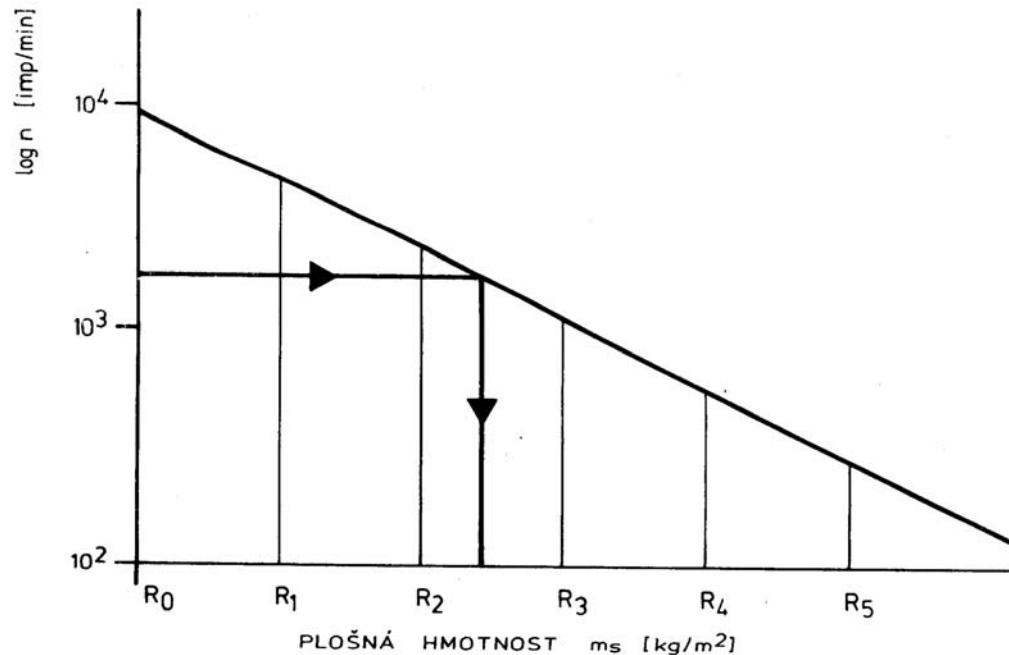
- kde: d - tloušťka vrstvy látky [m]
 ρ - objemová hmotnost měřené látky [$kg m^{-3}$]

Radiometrické určování plošné hmotnosti [kg/m^2] se provádí z kalibračního vztahu, který se stanoví měřením v laboratoři pro daný materiál. Kalibrační vztah pro určitý beton se získá proměřením řady vzorků betonových desek z tohoto betonu vyrobených, u nichž se stanoví vážením a měřením rozměrů plošná hmotnost betonu ve směru průchodu záření. Kalibrační vztah mezi plošnou hmotností látky a prošlým počtem fotonů za časovou jednotku se zobrazuje graficky v soustavě souřadnic tak, že logaritmy četnosti $\log n$ [imp/min] se vynesou v závislosti na plošné hmotnosti [kg/m^2] a nazývá se kalibrační křivka. Příklad kalibrační křivky je vyobrazen na obr. 10.2. Pro konstrukci kalibrační křivky musí být k dispozici alespoň pět betonových desek, jejichž celková tloušťka je 1,5 násobek tloušťky, která se bude zařízením proměřovat v praxi. Všech pět desek se proměří, stanoví se jejich plošná hmotnost a pak se postupně po jedné přidávají do svazku záření počínaje od detektoru.

Prostorové uspořádání, tj. vzájemná poloha zářiče a detektoru, jakož i zkoušeného prvku, musí být během zkoušek neměnná.

K dosažení geometrie úzkého svazku je třeba dokonalého stínění zářiče mimo výstupní prostor kolimovaného svazku, i dokonalého stínění detektoru mimo vstupní otvor pro kolimovaný svazek. Pro stínění záření gama jsou vhodné materiály těžkých kovů jako olovo, wolfram a měď.

Za úzký svazek lze považovat takový, který při vzdálenosti zářiče od detektoru 80 až 100 cm má průměr menší než 10 cm. Obecně má být pro úzké svazky tangens polovičního úhlu kužele svazku záření 0,05. Povrch zkoušeného místa musí být alespoň 20/20 cm. Proměřovaná místa musí být minimálně 8 cm od kraje, aby byl vyloučen okrajový efekt (ČSN 73 1375 Radiometrické zkoušení objemové hmotnosti a vlhkosti čl.56).



Obr. 9.2 Příklad kalibrační křivky proměření objemové hmotnosti v úzkém svazku

10.2.2 Měřicí zařízení a potřeby

- Laboratorní měřicí souprava sestávající z Geiger – Müllerova počítače, čítače impulzů, dvojice kolimátorů se zářičem Cs 137 a G-M trubicí.
- Série pěti kalibračních betonových desek.
- Zkušební vzorek lehkého betonu (vzorek 1)
- Zkušební vzorek obyčejného betonu (vzorek 2)
- Metr, posuvné měřítko.
- Váha

10.2.3 Postup měření

Nejprve studenti změří a zváží pětici kalibračních betonových desek, označených A, B, C, D, E.

Do tabulky 1 zaznamenají hmotnosti a rozměry, vypočítají objemové hmotnosti a plošné hmotnosti jednotlivých desek, zapíší do tabulky a na závěr vypočtou součtové objemové hmotnosti.

Podle pokynů vyučujícího zahájí měření četností impulsů. Délka měřicího intervalu je 100 s.

První měření je bez vloženého vzorku, poté studenti vkládají mezi zářič a detektor betonové desky od detektoru k zářiči postupně v tomto pořadí:

A, A+B, A+B+C, A+B+C+D, A+B+C+D+E, A+B+C+D+E, A+B+C+D, A+B+C, A+B, A

Měří se četnosti impulsů [imp/min]. Hodnoty se zapisují do formuláře tabulky 10.2. Na závěr studenti provedou opět měření bez materiálu.

V tabulce 10.2 se zprůměrují dvojice hodnot četností impulsů pro odpovídající konfigurace prozařovaných desek.

Na semilogaritmický papír vynesou studenti kalibrační křivku, na svislou osu (logaritmickou) nanášejí četnosti impulsů z tab. 10.2, na vodorovnou osu (lineární) odpovídající součtové plošné hmotnosti z tab. 10.1.

Nyní studenti změří a zvážejí dva neznámé vzorky betonu, označené 1 a 2. Do tab. 9.1 zapíšejí jejich hmotnosti, rozměry a objemové hmotnosti.

Každý vzorek vloží postupně třikrát do měřicí aparatury, aby záření procházelo všemi třemi možnými směry ve vzorku, zaznamenávají se četnosti impulsů a prozařovaná tloušťka materiálu (do tab. 2).

Pro získané četnosti impulsů se z kalibrační křivky odečtou odpovídající plošné hmotnosti, a to se zaznamená se do tabulky 9.3. Vydělíme-li každou plošnou hmotnost příslušnou prozařovanou tloušťkou, získáme pro každý vzorek trojici objemových hmotností, které porovnáme s objemovou hmotností určenou na základě měření a vážení (tab. 10.3)

Tabulka 9.1

Označení vzorku	Rozměry [m]			Objem V [m ³]	Hmotnost m [kg]	Objemová hmotnost ρ [kg m ⁻³]	Plošná hmotnost ρ _A [kg m ⁻²]	ρ _A součtové [kg m ⁻²]
	a	b	c					
A								A
B								A+B
C								A+B+C
D								A+B+C+D
E								A+B+C+D+E
1							-	-
2							-	-

Tabulka 9.4c

Číslo měření	Sestava	Četnost impulsů N [imp. s ⁻¹]	Četnost impulsů N [imp. s ⁻¹]
1	Zářič		
2	A		
3	A+B		
4	A+B+C		
5	A+B+C+D		
6	A+B+C+D+E		

Tabulka 9.2d

7	A+B+C+D+E		
8	A+B+C+D		
9	A+B+C		
10	A+B		
11	A		
12	Záříč		Tloušťka d [m]
13	Vzorek 1		
14			
15			
16	Vzorek 2		
17			
18			

Tabulka 9.3

Označení vzorku	Ploš. hmot. z diagramu ρ_A [kg m ⁻²]	Objemová hmotnost		Odchylka	
	a	Průchodem ρ' [kg m ⁻³]	Vážením a měřením ρ [kg m ⁻³]	[kg m ⁻³]	[%] ($\rho=100\%$)
	b				
	c				
Vzorek 1					

Kontrolní otázky

22. Jaký je princip radiometrického určení objemové hmotnosti a vlhkosti?
23. V čem se liší měření v úzkém a širokém svazku záření?
24. Jaký je princip povrchového měření objemové hmotnosti a vlhkosti sondou Troxler?

Korespondenční úkol

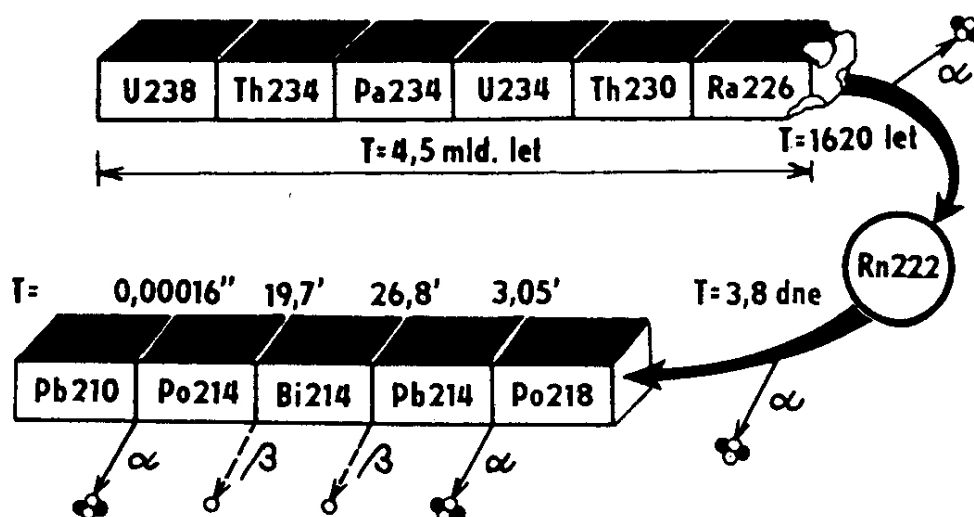
Popište postup stanovení objemové hmotnosti materiálu prozařováním v konfiguraci úzkého svazku.

11 Měření radonu

11.1 Teoretický základ

11.1.1 Základní pojmy v problematice radonu

Radon je inertní radioaktivní plyn, který vzniká postupnou radioaktivní přeměnou izotopu uranu U238 (poločas přeměny 4,5 miliardy let). Tento prvek je v různém množství zastoupen v řadě hornin v podloží.



Obr. 11.1 Vznik radonu – uranová rozpadová řada

Tato rozpadová řada tvořená produkty radioaktivní přeměny U238 má jednu anomálii. Všechny prvky od uranu až po olovo jsou pevné látky, které při přeměně prakticky nemění svůj objem, pouze radon Rn222 je plyn. Tento plyn má tendenci expandovat do volných prostorů v hornině, a takto se dostává až na zemský povrch. Samotný radon, nemůže způsobit při kontaktu vážnější ozáření organismu. Radon se však dále rozpadá a produkty jeho přeměny (tzv. **dceřiné produkty radonu**) mají tendenci se usazovat na povrchu aerosolů v ovzduší a spolu s nimi se usazovat na povrchu plicního epitelu. Ten ozařují (zejména zářením alfa) a toto může přispět u exponovaných osob ke vzniku zhoubného nádoru plic. Dle odhadu až třetinu výskytu tohoto onemocnění je možno přičíst vlivu radonu.

Radon vzniklý v hornině má trojí možnost:

- Zůstane uzavřen v hornině, a po relativně krátké době se rozpadá na dceřiné produkty.
- Difunduje horninou k zemskému povrchu. Pokud se dostane do volné atmosféry, je rozptýlen do ovzduší, kde postupně neškodně vymizí. V případě, že se ale dostane do styku se základovou konstrukcí stavby, mů-

že netěsnostmi proniknout dovnitř. Právě tento případ tvoří základní expozici osob.

- c) Dostane se do styku s podzemní vodou, v ní se rozpustí a i tímto způsobem se posléze může v pitné vodě dostat do objektu

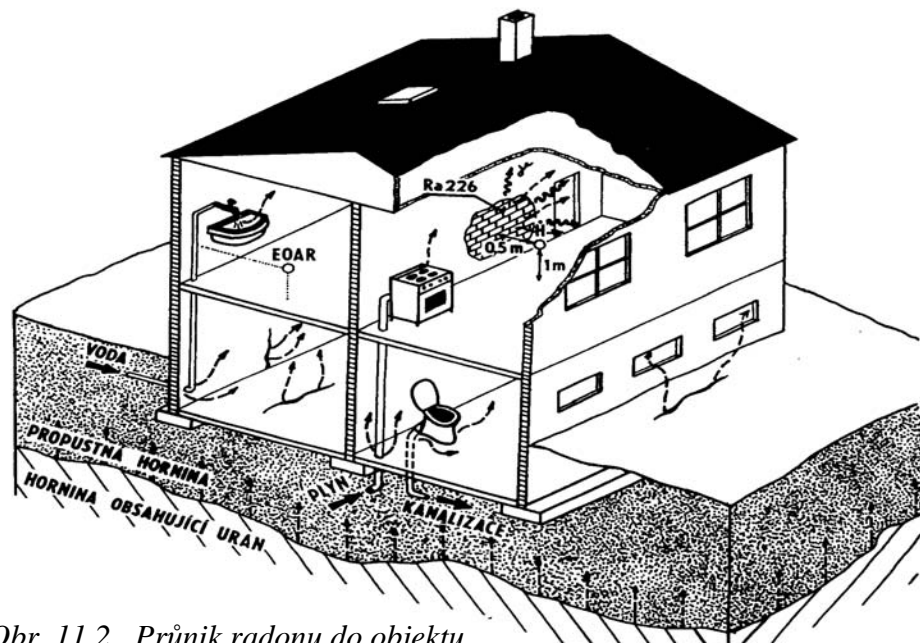
11.1.2 Způsob průniku radonu do objektu

Zemní vzduch – který vyplňuje póry v hornině je nejvýznamnějším zdrojem radonu. Radon proniká do objektu nejčastěji podlahou, nebo stěnami, které jsou ve styku se základovou horninou, nebo často špatně utěsněnými prostupy inženýrských sítí.

Stavební materiál - může být vyroben z např. popílku nebo škváry s vysokým obsahem rádia. V tomto případě se z něj do interiéru může uvolňovat poměrně velké množství radonu.

Pitná voda – z podzemních zdrojů. radon se pak uvolňuje především při praní, koupání a sprchování.

K méně významným zdrojům radonu patří zemní plyn a okolní ovzduší.



Obr. 11.2 Průnik radonu do objektu

11.1.3 Způsoby měření radonu

Vzhledem k tomu, že úroveň koncentrace radonu v interiéru se mění v průběhu dne, týdne i roku v závislosti na způsobu užívání objektu a klimatických podmínkách, bylo by ideální měřit hodnotu ekvivalentní objemové aktivity radonu jako roční průměr. Z důvodu prodlžení v případě např. kolaudace objektu, nebo udělení stavebního povolení to není reálné a je nutno měření urychlit.

Měření v interiéru stávajícího objektu proto probíhá po dobu jednoho týdne, v předepsaném počtu pobytových místností (všechny místnosti pod úrovní terénu, třetina v přízemí a v každém dalším podlaží alespoň jedna).

Před zahájením novostavby se provádí takzvané měření radonu v půdním vzduchu, na jehož základě je možno stanovit kategorii radonového rizika a poté projektovat protiradonová opatření budoucího objektu.

11.1.4 Legislativní opatření

Problematikou ochrany obyvatelstva proti účinkům ionizujícího záření se zabývá Zákon č. 18/97Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (tzv. Atomový zákon), a v návaznosti na něj vešla v roce 1997 v platnost Vyhláška č.184/97 Sb. o požadavcích na zajištění radiační ochrany. Tato se podrobně zabývá výskytem radonu v půdě, objektech, vodě a stavebních materiálech.

Radon v interiéru budov: byly stanoveny tzv. směrné hodnoty objemové aktivity radonu v obytných místnostech.

Směrná hodnota – hodnota určité veličiny, při jejímž překročení jsou zvažována odpovídající opatření.

Pobytová místnost – místnost v objektu, ve které alespoň 1000 h v průběhu roku pobývají osoby.

Směrné hodnoty OAR v obytných místnostech dle vyhlášky č.307/2002 Sb.:

400 Bq/m³ – pro obytné prostory staveb, kde kolaudační rozhodnutí nabylo právní moci před účinností vyhlášky

200 Bq/m³ – pro obytné prostory staveb, kde kolaudační rozhodnutí nabylo právní moci po účinnosti vyhlášky

Tab. 11.1 Směrné hodnoty pro provedení zásahu ke snížení přírodního ozáření z výskytu radonu a produktů jeho přeměny ve vnitřním ovzduší

OAR [Bq/m ³]	Přiměřený typ zásahu
400 - 600	Jednoduchá opatření, např. zvýšení přirozeného větrání, případně zavedení nucené ventilace
600 - 1200	Složitější opatření, např. středně nákladné stavební úpravy, nucená ventilace s rekuperací
1200 -4000	Zásadní stavební úpravy objektu
nad 4000	Vyloučení pobytu osob

Tab. 11.2 Směrné hodnoty pro ozáření zářením gama ze stavby

Dávkový příkon ze vzduchu [μGy/h]	Přiměřený typ zásahu
1 – 2	Úprava způsobu užívání prostoru
2 – 10	Stavební úpravy, nebo omezení pobytu osob
nad 10	Vyloučení pobytu osob

Tab. 11.3 Radon v půdním vzduchu – kategorie radonového rizika

Kategorie rizika	Objemová aktivita radonu v půdním vzduchu v kBq/m ³ v základových půdách dle propustnosti půdy pro plyny		
	málo propustné	středně propustné	dobře propustné
malé	< 30	< 20	< 10
střední	30 - 100	20 - 70	10 - 30
velké	> 100	> 70	> 30

11.2 Stanovení objemové aktivity radonu v objektu

11.2.1 Úvod

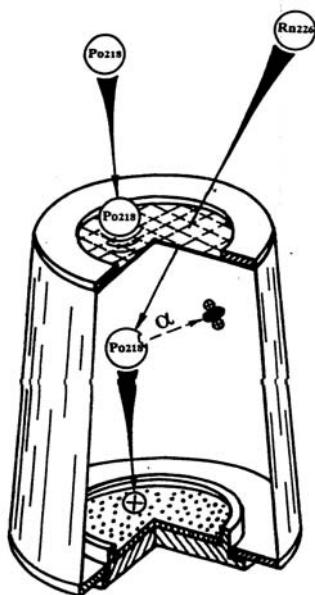
Cílem úlohy je stanovení ekvivalentní objemové aktivity radonu pomocí integrálního měřicího zařízení RM-1.

11.2.2 Popis přístroje

Základem soupravy RM-1 jsou expoziční komory o objemu 200 ml případně 1000 ml, detektory radonu (tzv. elektrety) a čtecí zařízení, umožňující odečítat napětí na elektretech.

Princip činnosti soupravy je následující.

Elektret je pomocí koronového výboje nabit na pracovní napětí (mezi 150 až 1000 V). Jeho napětí je změřeno na čtecím zařízení a elektret je umístěn do měřicí komory.



Kladný elektrický náboj elektretu vytváří uvnitř komory elektrostatické pole. Atomy radonu přítomné v ovzduší difundují filtrem v horní části komory do jejího detekčního objemu. Rozpad radonu a jeho dceřiných produktů v komoře je doprovázen vznikem primárních iontů ve vzduchu. Silovým působením elektrického pole jsou záporné ionty přitahovány volným povrchem elektretu. Při tomto procesu dochází postupně k vybíjení elektretu. Úbytek náboje elektretu je úměrný počtu rozpadlých atomů radonu, a slouží jako míra průměrné koncentrace radonu v ovzduší.

Obr. 11.3 Schema měřicí komory s vloženým elektretem

11.2.3 Postup měření

Každá skupina studentů dostane přidělenou dvojici expozičních komor, RM 200, s vloženým elektretem. Pod dohledem vyučujícího provede každá skupina odečet konečného napětí na elektretu, a z přiložené tabulky si opiše počáteční napětí příslušných elektretů, změřené před začátkem expozice, a rovněž hodnotu dávkového příkonu záření gama.

Informace

!Upozornění! Je naprosto nepřijatelné, dotýkat se expozičního povrchu elektretu! Po změření napětí bude elektret opět zašroubován do měřicí komory.



11.2.4 Výpočet objemové aktivity radonu

Průměrná **objemová aktivita radonu** v měřeném místě se na základě měření elektretovým systémem určí následovně.

Nejprve je třeba stanovit **průměrné objemové aktivity radonu** pro každou z dvojice měřících komor A_1 a A_2 dle vzorce:

$$A_i = \frac{U_P - U_K}{t_E \cdot K_R} \left[\frac{U_P + U_K}{2} \right]^{-0,4} - K_G \cdot \dot{D}_G \quad (11.1)$$

kde: U_P – počáteční napětí elektretu [V]

U_K – konečné napětí elektretu [V]

t_E – doba expozice [h]

K_R – citlivost komory na radon = $1,24 \cdot 10^{-4}$ [$V^{0,6} Bq^{-1} m^3 h^{-1}$]

K_G – citlivost komory na záření gama = 380 [$Bq m^3 \mu Gy^{-1} h$]

\dot{D}_G – dávkový příkon záření gama [$\mu Gy h^{-1}$]

Ze získaných hodnot A_1 a A_2 vypočteme **průměrnou objemovou aktivitu radonu**:

$$A_V = A_1 \cdot f[A_2 / A_1] \quad (11.2)$$

kde A_2 a A_1 jsou hodnoty průměrné objemové aktivity radonu v jednotlivých expozičních komorách, uspořádané tak, že:

$$A_1 \leq A_2$$

a funkce $f [A_2 / A_1]$ je dána níže uvedenou tabulkou, Tab 11.4

A_2/A_1	$f[A_2/A_1]$	A_2/A_1	$f[A_2/A_1]$	A_2/A_1	$f[A_2/A_1]$
1,01	1,005	1,13	1,050	1,26	1,044
1,02	1,010	1,14	1,052	1,26	1,041
1,03	1,015	1,15	1,053	1,27	1,039
1,04	1,019	1,16	1,053	1,28	1,036

Tab. 11.4.

1,05	1,024	1,17	1,054	1,29	1,034
1,06	1,028	1,18	1,054	1,30	1,031
1,07	1,032	1,19	1,053	1,32	1,027
1,08	1,036	1,20	1,052	1,34	1,022
1,09	1,040	1,21	1,051	1,36	1,018
1,10	1,043	1,22	1,049	1,38	1,015
1,11	1,046	1,23	1,048	1,40	1,012
1,12	1,048	1,24	1,046	1,42	1,009

11.2.5 Závěr

Porovnejte zjištěnou hodnotu OAR se směrnými hodnotami OAR danými vyhláškou č. 307/2002 Sb., a proveďte návrh doporučených opatření.

11.3 Stanovení radonového rizika pozemku

11.3.1 Úvod

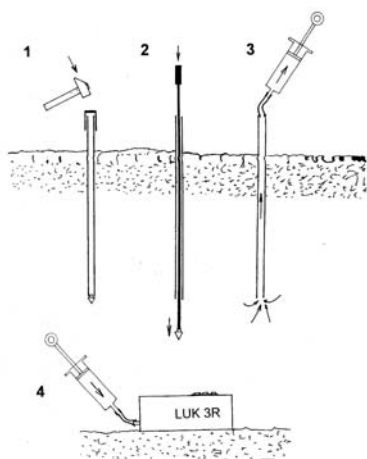
Cílem úlohy je stanovení radonového rizika na zvoleném pozemku pomocí měřicího zařízení LUK 3R.

11.3.2 Popis přístroje LUK 3R

Přístroj slouží k měření objemové aktivity radonu v půdním vzduchu, za účelem stanovení radonového rizika pozemku a následně návrhu protiradonových opatření budoucího objektu.

K odebrání vzduchu slouží speciální ocelové pažnice opatřené oddělitelným hrotem. Ty se zarazí do půdy, do hloubky 80 cm, poté se ocelovou tyčkou zarazí jejich hrot hlouběji do půdy, čímž je umožněna komunikace vnitřního prostoru pažnice s půdním prostředím. Předepsaným způsobem je odebrán půdní vzduch a dopraven do evakuované komory přístroje opatřené detekční vložkou V145 (Lucasova komora). Přístroj následně v automatickém režimu provede stanovení objemové aktivity dodaného vzduchu v kBq/m³.

Součásti: přístroj LUK 3R, sada komor – vložek, vakuovací pumpa, sada pažnic, oddělitelné hroty, kladivo pro zatloukání pažnic, sada pro vytahování pažnic, stříkačka Janete, propichovač pro vytlačení hrotu



Obr. 11.4
Schematické znázornění postupu měření radonu v půdním vzduchu

- 1 - zaražení měřící pažnice
- 2 - vyražení hrotu pažnice
- 3 - odsátí půdního vzduchu
- 4 - vpuštění půdního vzduchu do měřící komory přístroje a zahájení měření

11.3.3 Postup měření

Studenti podle pokynů vyučujícího umístí do půdy na zkoumaném pozemku pažnice do předepsané hloubky, a propichovací tyčí odstraní jejich hroty. Zároveň zakreslí půdorys pozemku s vyznačením míst měření.

Vyučující připraví měřící zařízení, připraví vložku V145 a ruční pumpou provede evakuaci komory.

Studenti pomocí stříkačky Janete odeberou půdní vzduch z první komory tak, že nejprve dvakrát odeberou plný objem stříkačky, a teprve třetí odběr použijí pro měření.

Odebraný půdní vzduch vyučující přenese do přístroje, a automaticky se spustí měřící cyklus.

Poté, co přístroj na displeji ukáže hodnotu objemové aktivity radonu se celé měření zopakuje u následujících pažnic.

11.3.4 Vyhodnocení

Na základě zjištěných hodnot objemové aktivity radonu v půdním vzduchu a na základě vyučujícím zadané propustnosti půdy pro plyny mohou studenti zatřídit zkoumaný pozemek do příslušné kategorie radonového rizika, a obecně navrhnout rozsah protiradonových opatření budoucího objektu (Tab. 11.3).

Kontrolní otázky

25. Co je radon, jak vniká do objektu a jak může ohrozit lidské zdraví?
26. Jak dlouho je nutno měřit objemovou aktivitu radonu v objektu?
27. Jaký je princip stanovení radonového rizika objektu?



Korespondenční úkol

Popište zásady a postup stanovení objemové aktivity radonu v objektu.



12 Závěr

12.1 Shrnutí

Tento čtvrtý modul studijní opory předmětu Technologie a stavební látky logicky uzavřel celou probíranou problematiku. Po předchozím probrání teoretických podkladů se podrobně věnoval samotným zkouškám, praktickému využití řady přístrojů, běžně používaných v oblasti zkoušení stavebních konstrukcí a jejich částí.

Po důkladném prostudování a absolvování soustředění během semestru by měli být studenti schopni víceméně samostatně provést zmíněné zkoušky.

12.2 Klíč

Z důvodu velkého rozsahu odpovědí je řešení formou odkazů, kde v modulu odpovědi nalézt.

1. viz. strana 7 – definice
2. viz. qf uxcxge"2.3.-2.4
3. viz. qf uxcxge"3.3.1 – 3.3.4
4. viz. qf uxcxge"3.5.1 – 3.5.5
5. viz. qf uxcxge"4.6
6. viz. qf uxcxge"4.3.1 – 4.3.2
7. viz. qf uxcxge"4.4.2
8. viz. qf uxcxge"5.1.2
9. viz. qf uxcxge"5.1.1, 5.1.4
10. viz. qf uxcxge"5.2.1
11. viz. qf uxcxge"6.3.4.1
12. viz. qf uxcxge"6.3.4.2
13. viz. qf uxcxge"6.3.5
14. viz. qf uxcxge"7.1
15. viz. qf uxcxge"7.3.2
16. viz. qf uxcxge"7.3.3
17. viz. qf uxcxge"8.1
18. viz. qf uxcxge"8.4.1
19. viz. qf uxcxge"8.4.2
20. viz. qf uxcxge"9.1
21. viz. qf uxcxge"9.3
22. viz. qf uxcxge"9.6
23. viz. qf uxcxge"10.1
24. viz. qf uxcxge"10.2.1
25. viz. qf uxcxge"11.1.1 – 11.1.2
26. viz. qf uxcxge"11.1.3
27. viz. qf uxcxge"11.3

13 Studijní prameny

13.1 Seznam použité literatury

- [1] Adámek, J., Novotný, B., Koukal, J.: *Stavební materiály*, skriptum VUT, CERM Brno, 1997
- [2] Cikrle, P., Ambrosová, V., Havlíková, D.: *Zkoušení stavebních materiálů*. Laboratorní cvičení, skriptum VUT v Brně, CERM Brno, 1997
- [3] Habarta, J.: *Experimentální ověřování konstrukcí*. Návod do cvičení, skriptum VUT v Brně, SNTL Praha, 1986
- [4] Hönig A., Zapletal V.: *Nedestruktivní zkušebnictví*, Skripta VUT Brno, 1982
- [5] Jiránek M., Pospíšil S.: *Radon a dům*, nakladatelství ARCH, Praha 1993
- [6] Mejzlík, L.; Crha, M.: *Experimentální pružnost*, SNTL Praha, 1961
- [7] Polák, M.: *Experimentální ověřování konstrukcí*, Vydavatelství ČVUT Praha, 1999
- [8] Schmid, P., s kolektivem autorů: *Základy zkušebnictví*. skriptum VUT, CERM Brno, 2000
- [9] Vejchoda, J.: *Zkoušení materiálů rezonanční metodou, učební text Nedestruktivní zkušebnictví ve stavebnictví*, Dům techniky ČSVTS České Budějovice, 1988
- [10] Zapletal, V.: *Zkušebnictví I*, skriptum VUT v Brně, Ediční středisko VUT Brno, 1982



13.2 Seznam použitých a souvisejících norem

- [1] ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách
- [2] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí
- [3] ČSN 01 1308 Veličiny a jednotky v jaderné fyzice
- [4] ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení;
- [5] ČSN 73 13 71 Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu.
- [6] ČSN 73 1372 Rezonančná metóda skúšania betónu;
- [7] ČSN 73 1373 Tvrdoměrné metody zkoušení betonu;
- [8] ČSN 73 1375 Radiometrické zkoušení objemové hmotnosti a vlhkosti
- [9] ČSN 73 1376 Radiografie betonových konstrukcí a dílců
- [10] ČSN 73 2011 Nedestruktivne skúšanie betónových konštrukcií



- [11] ČSN 73 2030 Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí.
- [12] ČSN 73 6209 Zatěžovací zkoušky mostů
- [13] ČSN ISO 6784 Beton. Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku
- [14] ČSN ISO 1000 Jednotky SI a doporučení pro užívání jejich násobků a pro užívání některých dalších jednotek
- [15] ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu
- [16] ČSN P ENV 1992-1-1 (Eurocode 2) Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby