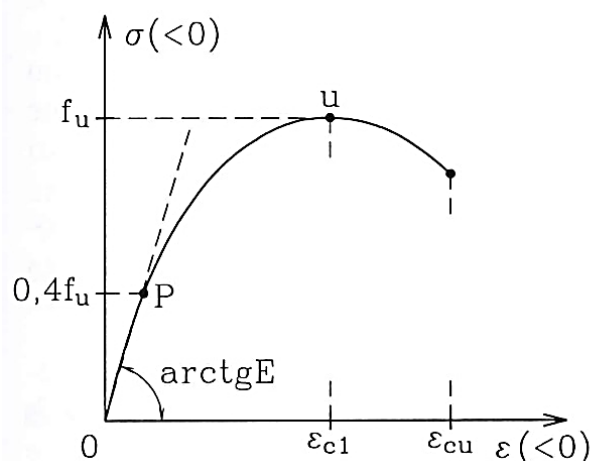


11 MODUL PRUŽNOSTI BETONU

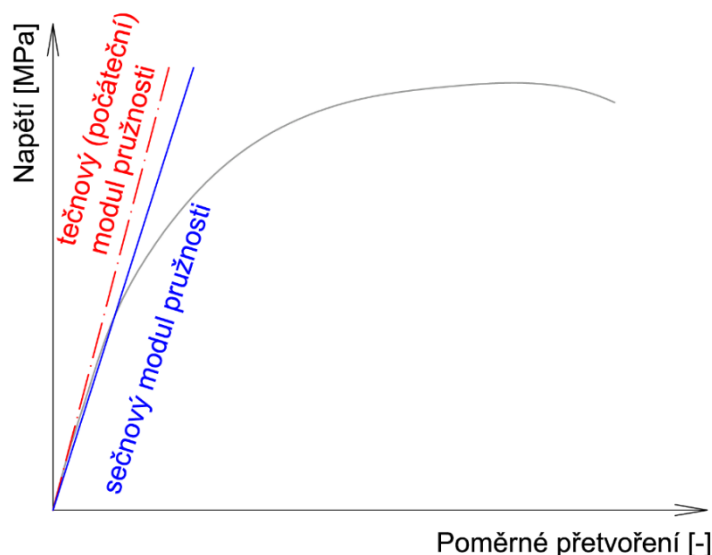
V mezích Hookova zákona je modul pružnosti konstantou úměrnosti normálového napětí a poměrného podélného přetvoření, u betonu tedy směrnici přímky proložené počáteční částí deformačního diagramu betonu v tlaku, viz obrázek 11.1.

Obecně lze říci, že modul pružnosti je **měrná veličina tuhosti pevné látky** v tlaku (tahu). Jedná se tedy o poměrně důležitou charakteristiku betonu, která ovlivňuje chování konstrukcí, především štíhlých či předpjatých (z hlediska průhybů, dotvarování apod.). Platí, že čím vyšší je modul pružnosti, tím nižší jsou deformace materiálu při daném zatížení.



Obrázek 11.1: Idealizovaný deformační diagram betonu v tlaku – směrnice přímky, která je proložena počáteční částí, je graficky znázorněn modul pružnosti betonu.

Modul pružnosti lze rozdělit dle způsobu určení (a následného využití při návrhu konstrukcí) na dynamický a statický. Dynamický modul pružnosti může být vnímán jako tzv. tečnový modul pružnosti, což znamená, že se jedná o směrnici tečny deformačního diagramu v jeho počátečním bodě. Statický modul pružnosti je naopak většinou definován jako sečnový, viz obrázek 11.2. Dynamický modul pružnosti proto nabývá vyšších hodnot než modul pružnosti statický.



Obrázek 11.2: Grafické znázornění rozdílu mezi dynamickou a statickou hodnotou modulu pružnosti betonu v tlaku – dynamický modul pružnosti je znázorněn jako tečnový (červená čerchovaná přímka) a statický jako sečnový (modrá plná přímka).

11.1 Stanovení dynamického modulu pružnosti ultrazvukovou impulzovou metodou

11.1.1 Postup měření

Ultrazvuková impulzová metoda je podrobně popsána v kapitole 7.4. Modul pružnosti se obvykle stanovuje pomocí přímého měření na zkušebních tělesech tvaru válce či hranolu a vypočte se dle normy ČSN 73 1371. Pro potřeby cvičení budou použity hranoly s jmenovitými rozměry 100 × 100 × 400 mm. Příčné rozměry zkušebních hranolů budou zjišťovány posuvným měřítkem s přesností alespoň 0,1 mm, délku je možné změřit ocelovým pravítkem s přesností alespoň 0,5 mm. K výpočtu dynamického modulu pružnosti je nutné znát objemovou hmotnost betonu, proto bude určena i hmotnost zkušebních hranolů.

Na konstrukci, prvku anebo zkušebním tělese se měření provádí tak, že se na protilehlé strany prvku přiloží sondy ultrazvukového přístroje (budič a přijímač) osově proti sobě. Jedná se tedy o přímé měření pomocí průchodové metody měření ultrazvukovou impulzovou metodou. Následně se změří doba průchodu ultrazvukového vlnění materiálem. Při vyhodnocení se nejdříve vypočte **rychlost šíření ultrazvukového vlnění** a poté hledaná fyzikálně-mechanická vlastnost materiálu, v tomto případě dynamický modul pružnosti.

Měření pomocí přímého prozvučování bude probíhat na měřicích základnách o známé délce, v tomto případě se jedná o délku zkušebních hranolů. Samotné měření na zkušebních hranolech probíhá v jeho podélné ose ve třech měřicích základnách s označením 1, 2 a 3, viz obrázek 11.3. Sondy je nutné lehce přitlačit k povrchu betonu, přičemž mírným pootočením lze opravit akustický kontakt.



Obrázek 11.3: Schématické zobrazení měření doby průchodu ultrazvukového vlnění s vyznačenými měřicími liniemi; T je budič (transmitter) a R je přijímač (receiver).

Určitou dobu prochází ultrazvuk i vrstvičkou akustického vazebného prostředí (např. gelu, plastelíny) a konstrukcí sondy. Tato doba je označována jako „mrtvý čas T_0 “ a při měření musí být vždy stanovena. Všechny naměřené údaje je nutné o tuto dobu při vyhodnocení opravit. Mrtvý čas se zjišťuje pomocí etalonu – jedná se o těleso (většinou plastové, ale není to nutná podmínka), jehož časová charakteristika E je přesně známa. Nejdříve se změří doba T_e průchodu ultrazvuku etalonem a následně se vypočte mrtvý čas:

$$T_0 = T_e - E, \quad 11.1$$

kde T_0 je mrtvý čas v μs , T_e je doba průchodu ultrazvuku etalonem v μs a E je časová charakteristika etalonu, také v μs .

Pro každou měřenou základnu se vypočte rychlost UZ vlnění podle vztahu:

$$v_L = \frac{L_i}{T_i - T_0}, \quad 11.2$$

kde v_L je rychlost šíření ultrazvuku v m/s, L_i je délka měřicí základny v m, T_i je naměřená doba průchodu betonem v s a T_0 je mrtvý čas v s.

Ze tří vypočtených rychlostí se poté určí průměrná hodnota rychlosti šíření ultrazvuku v_L v m/s se zaokrouhlením na jednotky m/s.

11.1.2 Vyhodnocení

U měření rychlosti ultrazvukového vlnění betonem hraje důležitou roli tzv. rozměrnost prostředí. Bude-li měření ultrazvukovou metodou prováděno na velkém bloku anebo na tenké tyčce ze stejného materiálu, zjištěné hodnoty rychlosti šíření ultrazvuku se budou lišit. Projeví se právě vliv rozměrnosti prostředí, neboli charakteristiky závislé na vztahu rozměrů měřeného objektu a délky vlny ultrazvukového vlnění. V případě měření na hranolu může být prostředí trojrozměrné, jednorozměrné anebo neurčité (přechodová oblast mezi oběma uvedenými typy). Pochopitelně existuje také prostředí dvojrozměrné, jedná se však o případ desky, což je u hranolu vyloučeno.

Aby bylo možné rozměrnost prostředí stanovit, musí se nejdříve vypočítat délka vlny ultrazvukového vlnění v měřeném zkušebním tělese dle vztahu:

$$\lambda_L = \frac{v_L}{f} \quad 11.3$$

kde λ_L je délka vlny v m, v_L je průměrná stanovená rychlost šíření ultrazvukového vlnění v m/s a f je jmenovitá frekvence použitých UZ sond v Hz. Ve cvičení budou použity sondy s pracovní frekvencí 150 kHz.

Prostředí je **jednorozměrné**, jestliže pro rozměry tělesa, kolmé ke směru šíření ultrazvukového vlnění, platí:

$$a, b, \text{ nebo } d \leq 0,2 \cdot \lambda_L \quad 11.4$$

Prostředí je **trojrozměrné**, jestliže platí:

$$a, b, \text{ nebo } d \geq 2 \cdot \lambda_L \quad 11.5$$

Na rozměrnosti závisí koeficient k . Pro jednorozměrné prostředí je $k_1 = 1$, pro trojrozměrné je koeficient k_3 závislý na hodnotě Poissonova čísla μ . Pro vybrané stavební materiály je hodnota Poissonova čísla uvedena v tabulce 11.1 a hodnoty koeficientu k_3 jsou pro beton uvedeny v tabulce 11.2.

Tabulka 11.1: Poissonovo číslo μ vybraných stavebních materiálů.

materiál	μ	materiál	μ
ocel	0,27-0,30	beton	0,20
dřevo	0,14	pórobeton	0,20
keramika (cihla)	0,18	agloporitbeton	0,16
sklo	0,24	barytový beton	0,20

Tabulka 11.2: Koeficient k_3 v závislosti na Poissonově čísle betonu.

μ	k_3	μ	k_3	μ	k_3	μ	k_3	μ	k_3
0,00	1,0000	0,12	1,0168	0,22	1,0685	0,32	1,1963	0,42	1,5978
0,04	1,0017	0,14	1,0236	0,24	1,0857	0,34	1,2406	0,44	1,8002
0,06	1,0039	0,16	1,0319	0,26	1,1061	0,36	1,2964	0,46	2,1502
0,08	1,0070	0,18	1,0420	0,28	1,1307	0,38	1,3682	0,48	2,9637
0,10	1,0113	0,20	1,0541	0,30	1,1602	0,40	1,4639	0,50	-

Ve cvičení bude použit ultrazvukový přístroj se sondami o frekvenci 150 kHz, a proto se bude vždy jednat o trojrozměrné prostředí (pokud stanovená rychlost ultrazvukového vlnění nepřesáhne přibližně 7500 m/s, což u betonu nepřesáhne, bude při zkoušení hranolu 100x100x400 mm vždy platit vztah 11.5).

Hodnota dynamického modulu pružnosti v tlaku a tahu se vypočte pomocí vztahu:

$$E_{cu} = D \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \quad 11.6$$

kde E_{cu} je dynamický modul pružnosti v Pa (nebo N/mm²), D je objemová hmotnost betonu v kg/m³, v_L je rychlost šíření ultrazvukového vlnění v m/s (nebo km/s) a k je koeficient rozměrnosti prostředí (bezrozměrný). Vypočtená hodnota dynamického modulu pružnosti se zaokrouhlí na tři platné číslice.

11.2 Stanovení statického modulu pružnosti betonu v tlaku

Statické moduly pružnosti jsou významné charakteristiky betonu vyjadřující deformační vlastnosti materiálu. Zjišťují se z deformací, které nastávají při známém zatížení. Jsou také nazývány „sečnové“ moduly pružnosti (viz obrázek 1.2), a proto nabývají menších hodnot než moduly pružnosti dynamické.

11.2.1 Princip měření

Zkušební těleso určené pro stanovení statického modulu pružnosti betonu v tlaku dle normy ČSN ISO 1920-10 může mít tvar hranolu nebo válce. Jeho štíhlost, tedy poměr mezi délkou a příčným rozměrem, však musí být rovna minimálně 2.

Principem zkoušení je zatěžování zkušební tělesa ve zkušebním lisu tlakem za současného měření vznikajících deformací. Zkouška probíhá cyklicky – jsou provedeny minimálně 3 cykly, přičemž zkušební těleso je během nich vystaveno měnícímu se zatížení. Úrovně zatížení, mezi kterými se cykluje, se volí tak, aby nedošlo k úplnému odtižení tělesa a současně aby zatěžování probíhalo v pružné oblasti (v oblasti platnosti Hookova zákona). Základní (nižší) hladina napětí je dle normy ČSN ISO 1920-10 vždy $\sigma_b = 0,5 \text{ MPa}$ (N/mm²) a horní hladina napětí by měla odpovídat hodnotě **jedné třetiny pevnosti zkoušeného betonu v tlaku** $\sigma_a = f_c/3 \text{ MPa}$ (N/mm²). Jedna třetina pevnosti v tlaku je zvolena právě z důvodu teoretického předpokladu, že beton se chová do této meze pružně.

11.2.2 Stanovení pevnosti v tlaku srovnávacích těles a zatěžovacích hladin

Z předchozího odstavce je jasné, že před zkouškou je nutné znát pevnost zkoušeného betonu v tlaku, aby mohla být korektně zvolena horní zatěžovací hladina napětí σ_a . Dle normy ČSN ISO 1920-10 se pevnost betonu v tlaku stanoví 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.

Z průměrné hodnoty zjištěné pevnosti v tlaku srovnávacích těles f_c se určuje napětí použité ke stanovení statického modulu pružnosti ($f_c/3$). Ve cvičení sdělí informace o stanovení pevnosti betonu v tlaku na srovnávacích tělesech vyučující.

Během zkoušky, kdy je ve zkoušeném betonu cyklicky měněna úroveň napětí v tlaku ze **základního napětí** σ_b na hodnotu **horního napětí** σ_a , se sleduje deformační odezva tělesa. Z úrovní napětí, která jsou již známa (σ_b je vždy 0,5 MPa a σ_a je 1/3 zjištěné pevnosti srovnávacích těles v tlaku), a ze zatěžované plochy zkušební tělesa se vypočte **základní a horní síla**:

$$F_b = 0,5 \cdot A \quad 11.7$$

$$F_a = \frac{f_c}{3} \cdot A \quad 11.8$$

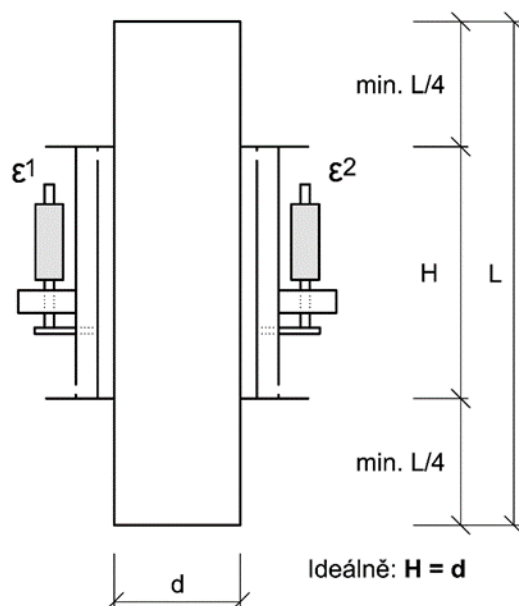
kde F_b je základní síla v N, 0,5 je základní napětí v MPa, A je zatěžovaná plocha zkušební tělesa (vypočtená ze stanovených rozměrů tělesa) v mm², F_a je horní síla v N a f_c je průměrná pevnost v tlaku srovnávacích těles v MPa.

Hodnoty síly je nutné upravit zaokrouhlením podle stupnice použitého zkušební lisu (v tomto případě na celé kN). Skutečné hodnoty základního napětí σ_b a horního napětí σ_a je nutné znovu vypočítat dle upravených (zaokrouhlených) hodnot síly.

11.2.3 Příprava zkušebních těles a centrace

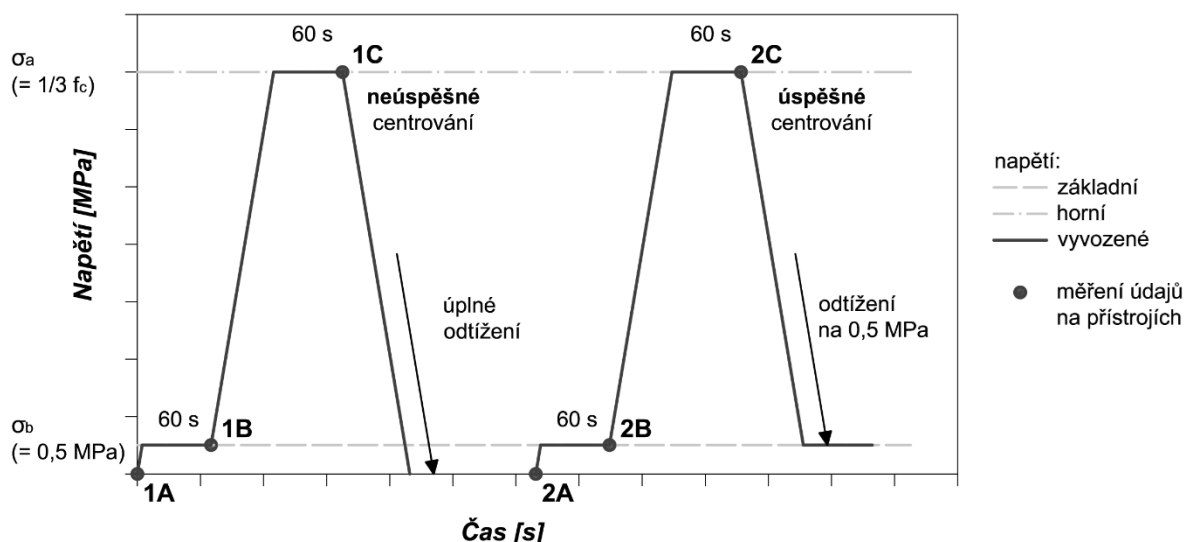
Zkušební těleso se musí před samotnou zkouškou připravit. Velmi důležitá je rovinnost zatěžovaných ploch. Pokud těleso na zatěžovací desce lisu nestojí stabilně, musí se jeho plochy upravit – nejvhodnějším způsobem je zabroušení (např. pomocí korundového prášku). Přístroje pro měření změn délky, tzv. tenzometry (v případě cvičení se bude jednat o mechanické tenzometry – tzv. Hollanovy můstky – s digitálními úchylkoměry) musí být na bočních stranách tělesa připevněny tak, aby měřené body byly stejně vzdálené od obou konců zkušební tělesa a aby byly v podélné ose tělesa. Měřené body musí být současně umístěny tak, aby jejich vzdálenost od konců tělesa byla rovna alespoň jedné čtvrtině délky zkušební tělesa ($1/4 L$ – viz obrázek 11.4). Důvodem je skutečnost, že v oblasti tlačných desek lisu dochází ve zkušebním tělese při stejném zatížení k rozdílným deformacím než ve střední části tělesa. Dle normy ČSN ISO 1290-10 je ideální, pokud $L = d$.

Přetvoření se musí měřit nejméně na dvou protilehlých stranách zkušební tělesa, přičemž u těles zhotovených ve vodorovné poloze se měřicí základny umísťují na svislých výrobních plochách.



Obrázek 11.4: Umístění měřicího zařízení na zkušebním hranolu.

Při zatěžování zkušební tělesa je nesmírně důležité, aby zatížení působilo pokud možno rovnoměrně na celou jeho zatěžovanou plochu – tedy aby zatížení bylo centrické. Při zatěžování je tedy centraci tělesa nutné ověřit. Časový průběh centrování je znázorněn graficky na obrázku 11.5. Zkušební těleso s osazenými tenzometry se vloží dostředně do zkušební lisu (bod 1A). Následně se vyvodí základní napětí σ_b a po 60 s se odečtou údaje na všech přístrojích (bod 1B). Ve chvíli, kdy se mají odečíst hodnoty na měřicích přístrojích, provádí se odečet bezodkladně – určení hodnot musí být dokončeno nejpozději do 30 s. To platí pro všechny následující zatěžovací stavy celé zkoušky.



Obrázek 11.5: Grafické znázornění centrování zkušebního tělesa.

Následně se plynule zvyšuje napětí do hodnoty horního napětí σ_a a po době 60 s se opět odečtou údaje na všech přístrojích (bod 1C). **Jestliže se jednotlivá poměrná přetvoření ε (nebo přetvoření Δl) liší o více než 20 % od své průměrné hodnoty, zkušební těleso není vycentrováno, a proto se musí zcela odtížit.**

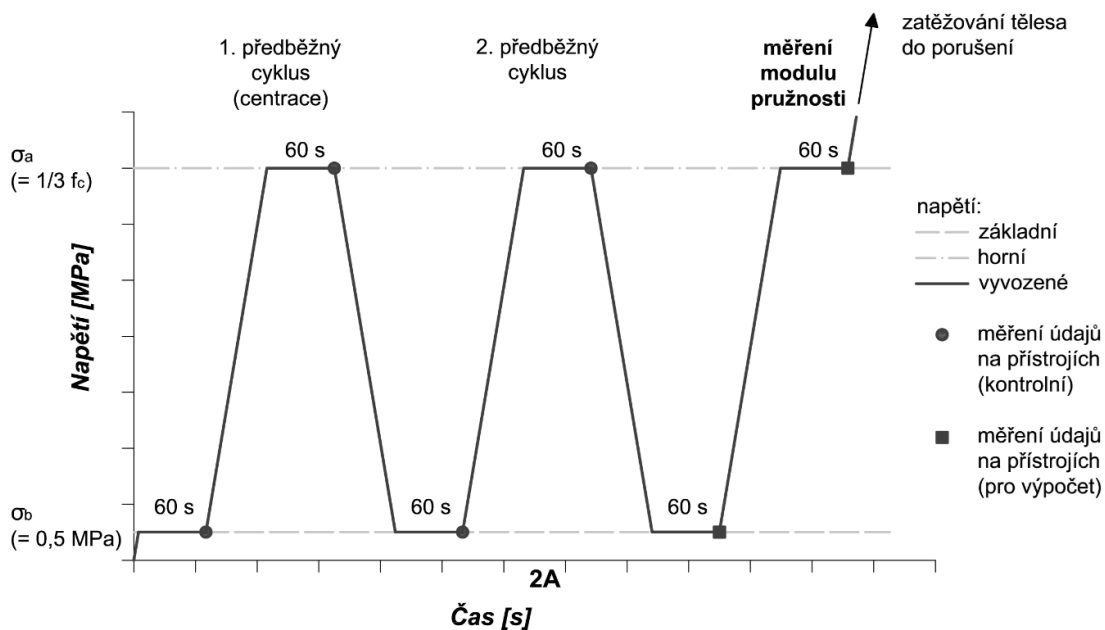
Na základě odečtených hodnot na jednotlivých tenzometrech se upraví poloha zkušebního tělesa v lisu a celý postup se opakuje (body 2A až 2C). Pokud je zjištěno, že těleso opět není vycentrováno, celá procedura se znovu opakuje. Pokud proběhlo centrování úspěšně, odtíží se zkušební těleso na úroveň základního napětí σ_b a dokončí se celá zkouška, viz dále.

11.2.4 Zatěžování zkušebního tělesa

Časový průběh zkoušky statického modulu pružnosti je znázorněn graficky na obrázku 11.6. Po úspěšném vycentrování tělesa se udržuje po dobu 60 s zatížení na základním napětí σ_b , po přečtení údajů na tenzometrech se zatížení zvyšuje plynule do hodnoty horního napětí σ_a , kde se po 60 s opět odečtou údaje na všech přístrojích.

Zatížení spodním napětím po dobu 60 s, odečtení hodnot, zatížení horním napětím po dobu 60 s a odečtení hodnot je jeden cyklus. Celá zkouška se skládá z minimálně 2 předběžných zatěžovacích cyklů, po nichž následuje měřicí zatěžovací cyklus. Hodnoty odečtené z tohoto poslední cyklu slouží pro výpočet statického modulu pružnosti E_c . Cyklus, při němž byla úspěšně ověřena centrace, lze považovat za 1. předběžný cyklus.

Po dokončení měření a odstranění měřicích přístrojů se zvětšuje 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.



Obrázek 11.6: Grafické znázornění průběhu zatěžování zkušební tělesa.

11.2.5 Zpracování naměřených hodnot, výpočet napětí a poměrných deformací

Délkové změny jednotlivých základů (tenzometry 1 a 2) Δl_1 a Δl_2 jsou dány změnami čtení úchylkoměrů:

$$\Delta l_{1(2)} = l_a - l_b \quad 11.9$$

kde $\Delta l_{1(2)}$ je délková změna 1.(2.) základny v mm (nebo μm), l_a je čtení úchylkoměru na horním zatěžovacím napětí v mm (nebo μm) a l_b je čtení úchylkoměru na základním zatěžovacím napětí v mm (nebo μm).

Průměrná délková změna zkušební tělesa Δl je určena následujícím vztahem:

$$\Delta l = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2} \quad 11.10$$

Je nutné si při dalším výpočtu dát pozor, zda je délková změna zkušební tělesa Δl na měřené základně určena v mm nebo v μm !

Průměrné poměrné přetvoření $\Delta \varepsilon$ se vypočte z následujícího vztahu:

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \quad 11.11$$

kde Δl je průměrná délková změna základů v mm nebo v μm , viz vztah (11.10) a L_0 je délka měřicí základny mechanického tenzometru (ve cvičení budou použity mechanické tenzometry délky $L_0 = 200 \text{ mm}$).

11.2.6 Výpočet modulu pružnosti

Modul pružnosti je definován jako poměr změny napětí a odpovídající změny pružného poměrného přetvoření, přesně v souladu s Hookovým zákonem. Průměrné poměrné přetvoření bylo vypočteno z obou měřených míst **v měřeném zatěžovacím cyklu**, viz vztahy (11.10) a (11.11). Změna napětí se určí jako rozdíl základního a horního vyvozeného napětí:

$$\Delta \sigma = \sigma_a - \sigma_b \quad 11.12$$

Statický modul pružnosti v tlaku E_c se poté vypočte ze vztahu:

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad 11.13$$

kde $\Delta\sigma$ je rozdíl napětí při zatěžování v MPa a $\Delta\varepsilon$ je průměrná změna poměrného přetvoření mezi horním a základním napětím v m/m (!).

Výsledný modul pružnosti E_c se poté uvádí v GPa (!) se zaokrouhlením na nejbližších 0,1 GPa.

11.3 Vyhodnocení

Jak již bylo uvedeno, dynamický modul pružnosti se od statického liší. Poměr mezi statickou a dynamickou hodnotou (tzv. **zmenšovací součinitel κ**) závisí především na kvalitě a stáří betonu. Obecně platí, že čím je beton méně kvalitní (nebo velmi mladý), tím je poměr mezi statickým a dynamickým modulem pružnosti nižší (může dosahovat hodnot nižších než 0,6), zatímco velmi kvalitní (a dostatečně vyzrálé) betony mohou mít tento poměr relativně vysoký (číslo přesahující hodnotu 0,9).

Navíc platí, že ani obě dynamické metody (ultrazvuková impulzová vs. rezonanční – viz kapitola 8) neposkytují shodné výsledky. Rozdíly ve výsledcích dynamických modulů pružnosti z obou standardizovaných postupů připouští i norma ČSN 73 2011, ve které jsou uvedeny odlišné zmenšovací součinitele κ_u (pro ultrazvukové měření) a κ_r (pro rezonanční měření) pro stejné pevnostní třídy betonu, viz tabulka 11.3.

Tabulka 11.3: Zmenšovací koeficienty κ_u a κ_r pro přepočet dynamické hodnoty modulu pružnosti betonu na hodnotu statickou pro zjištěné třídy betonu dle normy ČSN 73 2011.

Třída betonu	Zmenšovací koeficient κ_u	Zmenšovací koeficient κ_r
C 8/10	0,62	0,81
C 12/15	0,71	0,86
C 16/20	0,76	0,88
C 25/30	0,81	0,90
C 30/37	0,83	0,91
C 35/45	0,86	0,93
C 40/50	0,88	0,94
C 45/55	0,90	0,95

Hodnoty zmenšovacích koeficientů pro mezilehlé pevnostní třídy betonu je nutné lineárně interpolovat. Pro ve cvičení zkoušené betony si můžete pro zajímavost zmenšovací součinitel κ_u vypočítat dle vztahu:

$$\kappa_u = \frac{E_c}{E_{cu}} \quad 11.14$$

Výsledek zkoušky statického modulu pružnosti lze porovnat se směrnou (tzn. průměrnou) hodnotou modulu pružnosti, kterou ke každé pevnostní třídě uvádí ČSN EN 1992-1-1 ed. 2 (Eurokód 2), viz tabulka 11.4. Eurokód používá pro výpočet směrné hodnoty modulu pružnosti E_{cm} vztah, který je založený pouze na pevnosti betonu v tlaku:

$$E_{cm} = 22 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} \quad 11.15$$

kde E_{cm} je směrný modul pružnosti v tlaku a f_{cm} je (charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku $f_{c,cyl} + 8$) v MPa. Dlouhodobě se však ukazuje, že modul pružnosti na pevnosti betonu v tlaku není přímo závislý, proto je možné hodnoty E_{cm} v ČSN EN 1992-1-1 ed. 2 vnímat spíše pouze orientačně.

Ve cvičení bude porovnání mezi tabulkovou hodnotou modulu pružnosti E_{cm} a reálně změřenou hodnotou E_c provedeno.

Tabulka 11.4: Směrné hodnoty modulů pružnosti podle Eurokódu 2.

Pevnostní třída betonu	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
E_{cm} [GPa]	26,0	27,5	29,0	30,5	32,0	33,5	35,0	36,0	37,0

Protokol MODULY PRUŽNOSTI BETONU	E
Vyučující:	

DYNAMICKÝ MODUL PRUŽNOSTI BETONU V TLAKU (TAHU)

Stanovte dynamický modul pružnosti E_{cu} zkoušených betonů pomocí ultrazvukové impulzové metody. Uvažujte, že se bude jednat o trojrozměrné prostředí.

Rozměry, hmotnost, výpočet objemové hmotnosti, nákres měření:

hranol	b []	h []	L []	m []
LWC1				
OC1				

Stanovení mrtvého času a doby průchodu UZ vlnění zkušebními tělesy (nezapomeňte doplnit jednotky):

hranol	t_E []	etalon []	t_0 []
LWC1			
OC1			

hranol	t_1 []	t_2 []	t_3 []	opr. t_1 []	opr. t_2 []	opr. t_3 []
LWC1						
OC1						

Vyhodnocení v_L :

hranol	v_{L1} []	v_{L2} []	v_{L3} []	průměrná rychlost v_L []
LWC1				
OC1				

Hodnoty Poissonova čísla jsou:

- pro beton LWC: $\mu = 0,22 \rightarrow k_3 =$ _____
- pro beton OC: $\mu = 0,20 \rightarrow k_3 =$ _____

(Pozn.: Pokud při použité frekvenci sond 150 kHz a měření na hranolu $100 \times 100 \times 400$ mm nepřesáhne vypočtená rychlost v_L hodnotu přibližně 7500 m/s, jedná se o trojrozměrné prostředí a součinitel rozměrnosti prostředí k je roven k_3 , viz str. 3).

Vyhodnocení v_L a následně E_{cu} :

Dílčí závěr k E_{cu} :

STATICKÝ MODUL PRUŽNOSTI BETONU V TLAKU

Stanovte statický modul pružnosti E_c zkoušených betonů. Nutné informace sdělí vyučující.

Určení zatěžovacích hladin napětí σ_b a σ_a a odpovídajících sil F_b a F_a :

Srovnávací hranol	b [mm]	h []	F_c []	f_c []
LWC2				
OC2				

hranol	b []	h []	σ_b []	$1/3 f_c = \sigma_a$ []	F_b []	F_a []
LWC1						
OC1						

Měření deformací:

	Δl_1	Δl_2	
1. p. c. (cen.)			(F_B)
			(F_A)
2. p. c.			(F_B)
			(F_A)
m. c.			(F_B)
			(F_A)

	Δl_1	Δl_2	
1. p. c. (cen.)			(F_B)
			(F_A)
2. p. c.			(F_B)
			(F_A)
m. c.			(F_B)
			(F_A)

Výpočet statického modulu pružnosti E_c :

Dílčí závěr k E_c :

CELKOVÉ VYHODNOCENÍ STANOVENÝCH MODULŮ PRUŽNOSTI

Porovnejte vypočítané statické moduly pružnosti E_c s normovými hodnotami E_{cm} (viz tabulka 11.4).

Beton:	LWC	OC
pevnostní třída		
E_c [GPa]:		
E_{cm} [GPa] – Eurokód 2:		
Rozdíl [GPa]:		

Lze porovnat statickou a dynamickou hodnotu modulu pružnosti (vypočítat zmenšovací součinitel κ_u).

Závěr:

Zkoušky provedl/a a protokol zpracoval/a: