

# 12 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA DÍLCE

Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí a dílců jsou účinným nástrojem pro prokázání únosnosti a spolehlivosti daných prvků zejména tam, kde nemusí být zcela přesné výstupy z analytického posouzení, popř. u složitých konstrukcí.

V případě jednoduchých zatěžovacích zkoušek, jako jsou např. zatěžovací zkoušky panelů, překladů apod., se pak jedná zejména o kontrolní a průkazní zkoušky ve výrobě.

K měření sledovaných charakteristik jako je síla, průhyb, protažení aj. se využívají specializované měřicí ústředny s připojenými patřičnými snímači (siloměry, průtahoměry, snímače deformací atd.).

## 12.1 Cíle zatěžovacích zkoušek

Cíle zatěžovacích zkoušek je nutné před vlastním provedením zkoušek jednoznačně stanovit, mohou to být např.:

- ověření spolehlivosti daného prvku,
- ověření výpočetních modelů,
- získání vstupních dat pro ověření výpočetních modelů,
- ověření spolehlivosti a/nebo chování prvku za předpokladu, že není možné bezpečně zjistit všechny potřebné parametry pro výpočet.

## 12.2 Druhy zatěžovacích zkoušek

Z hlediska **způsobu hodnocení výsledků** se dělí na:

- zatěžovací zkoušky prováděné do dosažení únosnosti prvku,
- zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti prvku.

Z hlediska **účelu** se dělí na:

- průkazní, sloužící k ověření spolehlivosti před zahájením výroby,
- kontrolní, sloužící k ověřování spolehlivosti v průběhu výroby,
- zkoušky existujících stavebních konstrukcí,
- ostatní, např. studijní, výzkumné apod.

## 12.3 Příprava zatěžovací zkoušky

Před zahájením zatěžovacích zkoušek se vlastní plán realizace zhotoví v souladu s příslušnými normovými předpisy, přičemž se obvykle přihlédne k:

- cílům a vlastnímu účelu zatěžovací zkoušky,
- požadavkům na vlastní provedení zatěžovací zkoušky,
- tvaru a rozměrům zkoušené konstrukce nebo dílce apod.

Příprava obvykle probíhá v několika stupních, vzhledem ke komplexnosti problému často zahrnujících činnosti od diagnostiky konstrukce, zkoušení materiálů, numerické analýzy a vlastního provedení zatěžovací zkoušky.

V rámci přípravy zatěžovací zkoušky jsou stupně přípravy a plánování následující:

- shromáždění údajů o konstrukci popř. zkušebním prvku,
- podklady pro statickou zatěžovací zkoušku,
- program statické zatěžovací zkoušky.

## 12.4 Požadavky na zatěžovací zkoušky

- Zatěžovací zkouška má být provedena tak, aby byly minimalizovány vlivy, které by mohly nepříznivě ovlivnit nebo zkreslit výsledky zatěžovací zkoušky.
- Při zkouškách ve zkušebně zabezpečit takové podmínky, které se co nejvíce přibližují reálným podmínkám působení skutečné konstrukce za provozu.
- Při zkouškách na stavbě je nutné stanovit míru spolupůsobení ostatních částí konstrukce a, pokud to podmínky umožňují, zamezit spolupůsobení nenosných součástí stavby.
- Při provádění zkoušky postupně zvyšovat intenzitu zatížení s měřením odezvy konstrukce, tj. deformace, protažení apod.
- Měřicí přístroje, metody a postupy zkoušení při zatěžovací zkoušce volit tak, aby splňovaly podmínku nezkráceného zobrazení a odpovídaly požadované přesnosti měření.
- Odchylka skutečného zatížení od požadované hodnoty nesmí přesáhnout 3 % při zkoušce v laboratorních podmínkách a 5 % při zkouškách terénních na stavbě.

## 12.5 Postup zkoušení

Jsou definovány 3 základní zatěžovací stupně silových účinků zatížení:

- a) účinek zatížení  $E_1$  – charakteristická hodnota stálého zatížení,
- b) účinek zatížení  $E_2$  – kombinace charakteristických hodnot stálého a proměnného zatížení,
- c) účinek zatížení  $E_3$  – kombinace návrhových hodnot stálého a proměnného zatížení.

### 12.5.1 Základní zatěžovací postup

- 1) Konstrukce je před zahájením zkoušky zatížena výchozím zatížením  $E_0$ .
- 2) Konstrukce se přitíží na hodnotu zatížení  $E_1$  (bod 1 v grafu na obrázku 12.1).
- 3) Po ustálení deformačního účinku (bod 2 v grafu na obrázku 12.1) se hodnota zatížení zvýší na hodnotu  $E_2$  (bod 3 v grafu na obrázku 12.1).
- 4) Po ustálení deformačního účinku (bod 4 v grafu na obrázku 12.1) se hodnota zatížení zvýší na hodnotu  $E_3$  (bod 5 v grafu na obrázku 12.1).
- 5) Po ustálení deformačního účinku (bod 6 v grafu na obrázku 12.1) se konstrukce (prvek) odlehčí na hodnotu  $E_1$  (bod 7 v grafu na obrázku 12.1).
- 6) Po ustálení deformačního účinku (bod 8 v grafu na obrázku 12.1) se hodnota zatížení zvýší na hodnotu  $E_3 + 10$  až 20 % navíc (bod 9 v grafu na obrázku 12.1).
- 7) Po ustálení deformačního účinku (bod 10 v grafu na obrázku 12.1) se konstrukce (prvek) odlehčí na hodnotu  $E_1$  (bod 11 v grafu na obrázku 12.1) a opět se po ustálení deformací odečte její hodnota (bod 12 v grafu na obrázku 12.1), viz větev „a“.
- 8) V dalších zatěžovacích cyklech se opakuje postup mezi body 8 až 12 vždy s přitížením o cca dalších 10 – 20 % z hodnoty  $E_3$ .

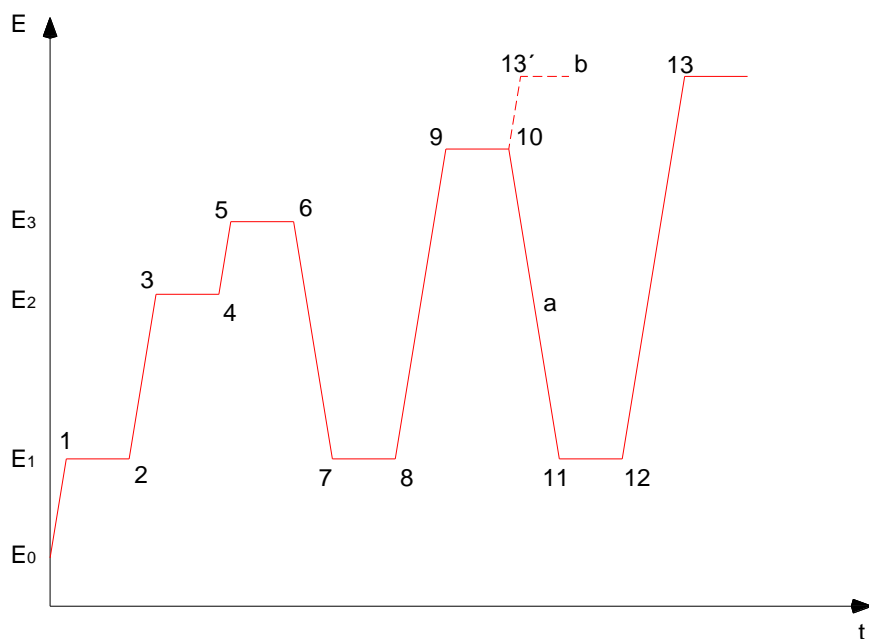
V odůvodněných případech je možné zkoušku provést tak, že v bodě 10 se již konstrukce neodlehčuje a zatížení se postupně v každém kroku zvýší o 10 – 20 % z hodnoty odpovídající zatížení  $E_3$ , viz větev „b“ na obrázku 12.1.

**Zatěžovací zkouška do dosažení únosnosti konstrukce** je provedena dle základního zatěžovacího postupu. Dosažením mezní síly je zkouška ukončena. Podmínky dosažení únosnosti konstrukce budou zadány v rámci úlohy.

**Zatěžovací zkouška bez dosažení únosnosti konstrukce** je provedena dle základního zatěžovacího postupu až do předepsaného bodu 8 na obrázku 12.1.

## 12.6 Hodnocení výsledků zatěžovací zkoušky

Výsledky zatěžovací zkoušky se u zkoušené konstrukce hodnotí z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti v závislosti na cílech, druhu a účelu zkoušky.



Obrázek 12.1: Základní zatěžovací postup.

### 12.6.1 Hodnocení výsledků z hlediska mezního stavu únosnosti

Při zatěžovací zkoušce do dosažení únosnosti konstrukce se zkoušená konstrukce považuje za spolehlivou z hlediska mezního stavu únosnosti, splňuje-li zároveň tato kritéria:

- návrhová hodnota odolnosti v rozhodujícím průřezu  $R_{ed}$  odvozená z výsledků zkoušek je větší nebo rovna účinku zatížení v rozhodujícím průřezu stanovenému podle norem pro navrhování konstrukcí,
- při zatížení na hodnotu  $E_3$  a následném odlehčení na hodnotu  $E_1$  dle zatěžovacího postupu uvedenému na obrázku 12.1 se určí celkový deformační účinek  $S_{tot,ULS}$  (rozdíl měření deformace v bodech 6 a 2) a trvalý deformační účinek  $S_{r,ULS}$  (rozdíl měření deformace v bodech 8 a 2).

Pro poměr mezi trvalým a celkovým deformačním účinkem musí platit vztah:

$$S_{r,ULS} / S_{tot,ULS} \leq \lambda_1, \quad 12.1$$

kde  $\lambda_1 = 0,25$  pro železobetonové konstrukce.

### 12.6.2 Experimentálně stanovená odolnost konstrukce

Při zatěžovací zkoušce do dosažení únosnosti konstrukce/dílce se na základě výsledků zkoušek vyhodnotí charakteristická hodnota  $R_{ek}$  veličiny  $R_e$ , která popisuje experimentálně zjištěnou odolnost konstrukce.

V případě většího počtu zkoušek je možné stanovit bodový odhad variačního koeficientu  $V_{Re}$  přímo z jednotlivých výsledků zkoušek. V případě malého počtu zkoušek se při vyhodnocení  $R_{ek}$  doporučuje vycházet z předpokladu, že je znám variační koeficient  $V_{Re}$ , a uvažovat jeho konzervativní horní odhad hodnotou 0,166.

Návrhová hodnota  $R_{ed}$  se vypočte dle následujícího postupu:

$$m_{Re} = \Sigma R_{e,i} / n \quad 12.2$$

$$s_{Re} = [\Sigma (R_{e,i} - m_{Re})^2 / (n - 1)]^{1/2} \quad 12.3$$

$$V_{Re} = s_{Re} / m_{Re} \quad 12.4$$

$$R_{ek} = m_{Re} (1 - k_n V_{Re}) \quad 12.5$$

$$R_{ed} = R_{ek} / \gamma_R \quad 12.6$$

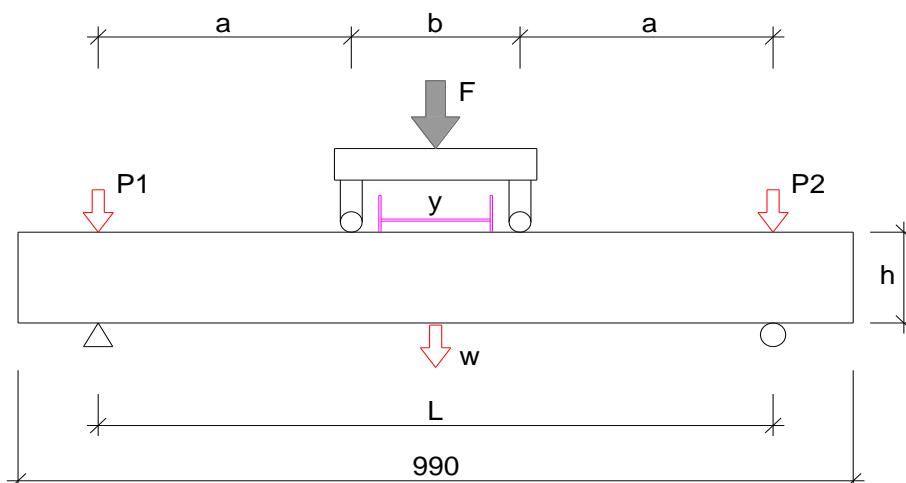
kde:  $m_{Re}$  je průměrná hodnota souboru výsledků,  
 $R_{e,i}$  je jednotlivé výsledky,  
 $n$  je počet výsledků,  
 $s_{Re}$  je výběrová směrodatná odchylka,  
 $k_n$  je součinitel odhadu 5% kvantilu, pro 6 vzorků je roven 1,77  
 $V_{Re}$  je variační koeficient,  
 $R_{ek}$  je charakteristická hodnota normálního rozdělení odolnosti,  
 $\gamma_R$  je součinitel odolnosti pro beton = 1,5,  
 $R_{ed}$  je návrhová hodnota normálního rozdělení odolnosti.

## 12.7 Zatěžovací zkouška stavebního dílce

Proveďte a vyhodnoťte kontrolní zatěžovací zkoušku železobetonového dílce z lehkého betonu o jmenovitých rozměrech 990 x 115 x 115 mm. V rámci úlohy budeme provádět následující úkoly:

- 1) geometrické uspořádání zkoušky
- 2) stanovení teoretické únosnosti železobetonového prvku
- 3) zatěžovací rozvaha
- 4) příprava a provedení zatěžovací zkoušky
- 5) vyhodnocení zatěžovací zkoušky

### 12.7.1 Geometrické uspořádání zkoušky, měření deformací



Obrázek 12.2: Geometrické uspořádání zkoušky.

Na obrázku 12.2 je znázorněno geometrické uspořádání zatěžovací zkoušky a způsob zatěžování daného prvku. Rozmístění snímačů deformace je znázorněno obrysovými šipkami. Měřený průhyb  $w$  je v průběhu vyhodnocení upraven o příslušný průměrný pokles v podporách. Součástí měření je sledování deformací betonu v horních tlačných vláknech uprostřed rozpětí prvku.

## 12.7.2 Základní charakteristiky zkoušeného prvku

Tabulka 12.1: Tabulkové charakteristiky zkoušeného prvku.

rozměry překlady	délka uložení	moment únosnosti	maximální síla v 1/2 rozpětí	průhyb od zatížení	limitní průhyb L/250	únosnost ve smyku
[mm]	[mm]	[kNm]	[kN]	[mm]	[mm]	[kNm]
115 x 115 x 990	120	1.31	6.99	0.7	3.5	5.1

## 12.7.3 Zatěžovací rozvaha

Na základě provedené teoretické momentové únosnosti prvku a jeho známé geometrie při plánované zatěžovací zkoušce lze provést teoretický výpočet velikosti jednotlivých zatěžovacích kroků s ohledem na statické uspořádání zkoušky.

Reálné zatížení na prvek je uvažované jako spojitě. Pro studijní účel zatěžovací zkoušky je nezbytné silový účinek zatížení uprostřed rozpětí přepočítat na zatížení dvou silových účinků, tj. uspořádání ve formě čtyřbodového ohybu, tak aby zůstalo zachováno totožné ohybové namáhání na průřezu uprostřed rozpětí.

Ohybový moment od maximální síly v 1/2 rozpětí prvku:

$$M = 1/4 \cdot F \cdot L \quad 12.7$$

Ohybový moment ze zatěžovací zkoušky:

$$M = 1/2 \cdot F \cdot a \quad 12.8$$

## 12.7.4 Napětí v betonu při horním zatěžovacím stupni E<sub>3</sub>

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta L}{L} \quad 12.9$$

kde:  $\varepsilon_m$  je poměrná deformace v měřeném místě [μm/m],  
 $\Delta L$  je změna délky měřicí základny [μm],  
 $L$  je délka měřicí základny [L = 0,12 m].

Odpovídající napětí v tahu nebo tlaku (v tomto případě v tlaku) průřezu vypočítáme dle vztahu:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad 12.10$$

kde:  $\varepsilon$  je hodnota pružné deformace určená odporovými tenzometry – viz vztah (12.9),  
 $E$  je modul pružnosti betonu, pro lehký beton překlady uvažujte hodnotu **12 GPa**,  
 $\sigma$  je napětí [N/mm<sup>2</sup>].

Protokol <b>ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA DÍLCE</b>	<b>ZD</b>
Vyučující:	

**Geometrie prvku, uspořádání zatěžovací zkoušky:**

**Přepočet max. síly v 1/2 rozpětí z tabulkových charakteristik na reálné uspořádání zatěžovací zkoušky:**

<b>Zatěžovací rozvaha:</b>	
1) zatížení výchozím zatížením	$E_0 = \dots\dots\dots$ kN
2) charakteristickou hodnotou stálého zatížení	$E_1 = \dots\dots\dots$ kN
3) kombinace charakteristických hodnot stálého a proměnného zatížení	$E_2 = \dots\dots\dots$ kN
4) kombinace návrhových hodnot stálého a proměnného zatížení	$E_3 = \dots\dots\dots$ kN
5) odtížení charakteristickou hodnotou stálého zatížení	$E_1 = \dots\dots\dots$ kN

**Výstupy ze zatěžovací zkoušky:**

Zatížení [kN]		Odpovídající deformace [mm]				tenzometr
		podpora P1	střed W	podpora P2	průhyb prvku	Y [mm]
E <sub>0</sub>						
E <sub>1</sub>						
E <sub>2</sub>						
E <sub>3</sub>						
E <sub>1</sub>						
E <sub>3</sub>						
E <sub>3</sub> + 3kN						
E <sub>3</sub> + 6kN						
E <sub>3</sub> + 9kN						
Max F						
S <sub>r,ULS</sub>						
S <sub>tot,ULS</sub>						

**Průběh zatěžovací zkoušky, graf (závislost zatížení/průhyb):**

**Vyhodnocení zatěžovací zkoušky z hlediska mezního stavu únosnosti:**

**Experimentálně stanovená odolnost konstrukce:**

Maximální zatěžovací síla prvku č. 1	$R_{e,1} =$	kN
Maximální zatěžovací síla prvku č. 2	$R_{e,2} =$	kN
Maximální zatěžovací síla prvku č. 3	$R_{e,3} =$	kN
Maximální zatěžovací síla prvku č. 4	$R_{e,4} =$	kN
Maximální zatěžovací síla prvku č. 5	$R_{e,5} =$	kN
Maximální zatěžovací síla prvku č. 6	$R_{e,6} =$	kN

**Napětí v tlačeném betonu při horním zatěžovacím stupni  $E_3$ :**

Závěr:

.....

.....

.....

Zkoušky provedl/a a protokol zpracoval/a: \_\_\_\_\_