

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Jan Tichý
Název Zatěžovací zkoušky stropních konstrukcí
Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Žítt
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu



v. a.

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] ČSN 73 2030 Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí
- [2] ČSN 731201-86 Navrhování betonových konstrukcí
- [3] EN 1992-1-1(eurocód 2)-část 1 Navrhování betonových konstrukcí
- [4] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – hodnocení existujících konstrukcí
- [5] související ČSN, EN, ISO
- [6] Schmid, P., kol, Základy zkušebnictví, FAST VUT v Brně, 2000

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Vypracování metodiky měření při zatěžovacích zkouškách stropních konstrukcí. Optimalizace rozmístění zatěžovacích břemen v závislosti na způsobu zatěžování s ohledem na tvar a typ konstrukce. Teoretické výpočty jednotlivých variant zatěžování (plošně, liniově a bodově) vybrané konstrukce. Vyhodnocení dvou variant zatěžovací zkoušky obdobné stropní konstrukce.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....
Ing. Petr Žit
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce je popis procesu přípravy, provádění a vyhodnocení statických zatěžovacích zkoušek in-situ, včetně měřících technologií a způsobu zatěžování. Práce si klade za cíl nastínit vývoj a rozbor způsobu provádění zatěžovacích zkoušek in-situ. Jako konkrétní příklad bude uvedena statická zatěžovací zkouška železobetonového deskového stropu.

Klíčová slova

Zatěžovací zkouška
Zkoušená stavební konstrukce
Zkušební zařízení
Návrhové zatížení
Stropní konstrukce

Abstract

The object of this bachelor's work is the description of preparation process, implementation and evaluation of static load test in-situ, including measurement technologies and load methods. The aim of this work is to outline the development and to analyze the ease of performing load test in-situ. A static load test of concrete iron steel-boarded floor in-situ will be mentioned as the particular example.

Keywords

load test
Test of building structure
Experimental load
design load
Ceiling structure
...

Bibliografická citace VŠKP

TICHÝ, Jan. *Zatěžovací zkoušky stropních konstrukcí*. Brno, 2013. 57 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Petr Žítt.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....

podpis autora

Jan Tichý

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15.5.2013

.....

podpis autora

Jan Tichý

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ****POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Vedoucí práce	Ing. Petr Žítt
Autor práce	Jan Tichý
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav stavebního zkušebnictví
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Název práce	Zatěžovací zkoušky stropních konstrukcí
Název práce v anglickém jazyce	
Typ práce	Bakalářská práce
Přidělovaný titul	Bc.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	PDF

Poděkování:

Za cenné rady, ochotu a pomoc při zpracování bakalářské práce děkuji panu ing. Petru Žítovi

Obsah:

1	Úvod	10
2	Zatěžovací zkoušky stropních konstrukcí	11
2.1	Diagnostika stropní konstrukce	11
2.2	Statická zatěžovací zkouška	12
2.3	Různorodost betonu v konstrukcích.....	12
2.4	Podmínky provádění.....	13
2.5	Cíle	14
3	Teorie statické zatěžovací zkoušky IN SITU	14
3.1	Časový postup	14
3.2	Metodika statické zatěžovací zkoušky.....	14
3.3	Posouzení konstrukce.....	33
3.4	Výstup zatěžovací zkoušky	36
4	Postup statické zatěžovací zkoušky in situ, dle ČSN EN 73 2030	37
4.1	Příprava zatěžovací zkoušky	37
4.2	Provádění zatěžovací zkoušky	39
4.3	Vyhodnocení zatěžovací zkoušky	40
5	Reálná varianta zatěžovací zkoušky.....	42
5.1	ÚVOD.....	42
5.2	Účel zatěžovací zkoušky	42
5.3	Popis zkoušených konstrukcí.....	43
5.4	Zkušební zatížení	43
5.5	Zatěžovací zkouška	49
5.6	Vyhodnocení naměřených dat	50
5.7	Stropní deska v sestavě A + B,	53
6	Závěr	54
7	Použitá literatura	55
8	Seznam www odkazů:	55

1 Úvod

Metoda in-situ (na daném místě), ověřuje statické chování konstrukce v reálném prostředí a stavu s předpokládaným chováním v modelovaném systému, při návrhu. Jedná se tedy o zkoušky konstrukce, před zahájením provozu nebo v době provozu.

Ověření statického chování již zhotovené konstrukce, bývá často důležitým podkladem pro další využívání toho konstrukčního systému při přestavbě, pochybnostech o shodě, havárií, dosažení životnosti konstrukce nebo na konstrukcích s vyššími požadavky na spolehlivost, např. mosty. Jak z bezpečnostních důvodů, tak hlavně pro zachování navržených vlastností konstrukce musí být zkouška prováděná podle schváleného programu zkoušky, je v něm uvedeno, jak bude konstrukce zatěžována, jakou intenzitou a požadavky kladené na měřící přístroje. Prostor, ve kterém zkoušky provádíme je důležité před zkouškou prostudovat, ovlivňuje pak dopravu a typ zatěžovacího zařízení, způsob měření deformací a výsledné zkusobní údaje. Výstupní údaje ze zkoušky pak poskytnou přehled o vlastnostech a statickém chování konstrukce, tyto údaje pak využijeme pro požadované hodnocení. Hodnotíme především funkci při zatěžování, spolehlivost (z hlediska mezních stavů, při prohlášení o shodě) nebo zkouškou doplňujeme výstupy výpočtového modelu.

V praxi se tyto zkoušky, především v České Republice, neprovádí při každé realizaci stavby. Zkoušky jsou relativně nákladné a jako reflexe primárních požadavků kladených na nízké náklady celé zakázky je snížena jakost našeho stavebnictví, jejich alternativu však můžeme najít u prefabrikátových dílců, např. komorových mostů, kde nákladné prefabrikáty nemohou být zkoušeny destruktivně nebo se jedná o modely a laboratorní zkoušení. Proto pomocí těchto zkoušek zjišťujeme vlastnosti konstrukce, za předpokladu, že k tomu máme pádný důvod.

V následujícím textu budu popisovat metodiku, včetně popisu měřících přístrojů, které se pro zkoušky in-situ dají využít. Názorně ukážu způsob stanovení zkušebního zatížení na prutové a plošné konstrukci. Vycházet budu především z aktuální normy ČSN 73 2030 [1]. Za zmínku stojí i předcházející norma z roku 1977, kterou využiji k objasnění některých situací, které nová norma nezahrnuje. Součástí práce je vyhodnocení reálné zatěžovací zkoušky in-situ, podle aktuální ČSN 73 2030.

2 Zatěžovací zkoušky stropních konstrukcí

Stropní konstrukce ztužují a rozdělují objekt po výšce a přenáší zatížení z jednotlivých pater. Výsledné reakce se přenáší do svislých konstrukcí, kde dále vyvozují účinky, které vyvolají jejich přetvoření. Jsou to důležité prvky stavebního objektu, které při porušení vyžadují neodkladnou opravu a přerušování užívání stropní konstrukce.

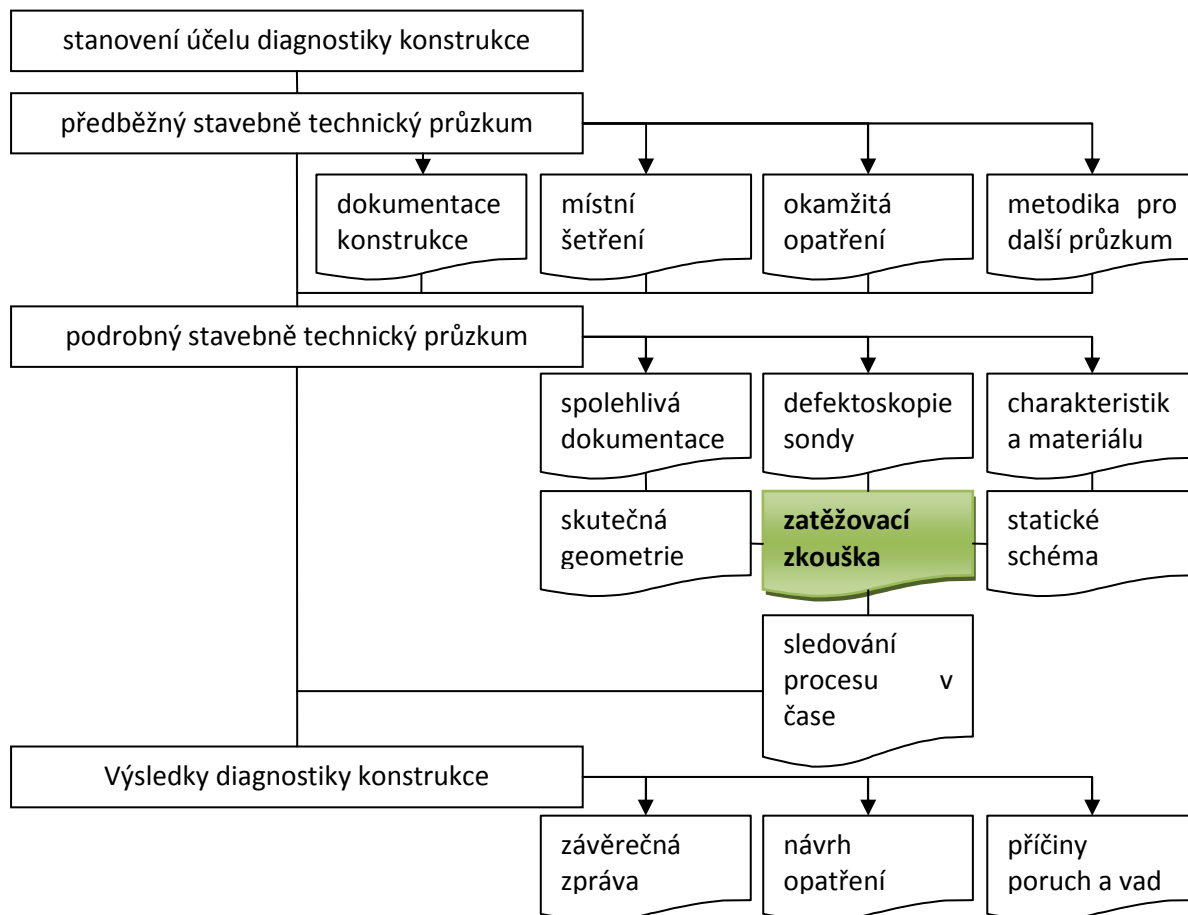
Předpokladem pro bezpečnost a spolehlivost stropních konstrukcí, jsou mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Nelze-li konstrukce posoudit jinak, provedou se zatěžovací zkoušky stropních konstrukcí. Zkoušky jsou statické (viz. kap. 2.2) a dynamické, kde zkušební zatížení mění velikost, provádí se, je-li stropní konstrukce zatěžována dynamicky, např. vibrujícím strojem a dynamické vlastnosti konstrukce nelze získat z jiných zdrojů. Dále jsou rozděleny dle požadavků na výsledné vlastnosti a parametry materiálu v konstrukci krátkodobé, dlouhodobé a opakované. Zkoušky prováděné pouze na určité části konstrukce se nazývají zkoušky výběrové, pokud se zkoušky provádí na celém objektu a ten se hodnotím, jako celek, jedná se o zkoušky stoprocentní.

Dle dosaženého stupně zkušebního zatížení dělíme zkoušky dílců a konstrukcí na:

- *zkoušky bez dosažení únosnosti zkušebního vzorku, které slouží k průkazu velikosti přetvoření, u konstrukcí rovněž k určení vzniku, rozvoje a maximální šířky trhlin.*
- *zkoušky do dosažení únosnosti zkušebního vzorku [6]*

2.1 Diagnostika stropní konstrukce

Zatěžovací zkouška je prováděná jako součást procesu Diagnostiky stavební konstrukce, znázorněný na obr. 1. *Metodický postup hodnocení se obecně seskládá z následných a na sebe navzájem navazujících kroků. Konkrétní postup a rozsah diagnostických prací závisí především na účelu hodnocení a specifických okolnostech, jako je např. dostupnost původní projektové dokumentace, rozsah poškození konstrukce, způsob využívání konstrukce v konkrétních provozních podmínkách, apod. [7]*



Obrázek 1 : Vývojový diagram Diagnostiky stavebních konstrukcí

2.2 Statická zatěžovací zkouška

Statická zatěžovací zkouška je jednou z nezákladnějších operací celého procesu diagnostiky stropní konstrukce, vyžaduje proto pečlivý přístup, znalost a orientaci statika v oboru.

Zkušební zatížení, při statické zatěžovací zkoušce roste pozvolna. Hodnota je stanovena podle požadovaného stupně zkušebního zatížení a to bez dosažení únosnosti nebo s dosažením únosnosti zatěžovaného prvku. Zkouška in-situ bývá zpravidla prováděna nedestruktivním způsobem, tj. bez dosažení únosnosti, tyto zkoušky nám poskytují data, díky kterým je možné zjistit přetvoření nebo vznik, rozvoj a maximální šířku trhlin, dle teorie betonových konstrukcí.

2.3 Různorodost betonu v konstrukcích

Diagnostika železobetonových konstrukcí se provádí na objektech různého druhu a stáří. Železobetonové konstrukce se začaly vyrábět v 90. letech 18. stol., po tak dlouhé době se dá považovat proces nárůstu pevnosti za ukončený, bohužel proti tomu působí prostředí, ve kterém se konstrukce vyskytují. Agresivita prostředí, ve kterém je konstrukce umístěna způsobuje, degradaci

materiálu tím, že postupně odebírá molekulární vazby materiálu a ten ztrácí svou pevnost. Z raného období železobetonu, bývají objekty postaveny z nekvalitních surovin, což se projevilo na nízké pevnosti v tlaku. Betonová směs se často prokládala kamenem, kde pak vznikaly kaverny nebo se použil tzv. předsádkový beton, který tvořil pouze líc konstrukce a uvnitř byl použit málo zhutněný až mezerovitý beton, většinou se jedná o masivní konstrukce. Po 1.světové válce se konstrukce začaly vyrábět úsporně, což se projevilo zmenšením průřezu a často horší kvalitou betonu v horních patrech objektů. Na tuto skutečnost je třeba brát zřetel při nadstavbách objektů, především z poválečného období, kdy ve stavebnictví jakost prakticky neexistovala, používaly se různé druhy oceli(než projektem stanovené),nebylo dodrženo krytí výztuže nebo poloha výztuže neodpovídala projektu. Dalším rizikem, vyskytujícím se u objektů z 30. až 50. let 19. století, je výskyt betonu s hlinitanovým cementem, tento druh betonu je dnes zakázaný používat. Vyznačuje se sice vysokým nárůstem pevností, ale po čase dochází k rozpadu pojiva a materiál tak ztrácí svou pevnost.[7]

Při diagnostice "pochybných" konstrukcí je na místě ověřit stejnorodost betonu v konstrukcích, např. ultrazvukovou metodou.

2.4 Podmínky provádění

2.4.1 Oprávnění ke zkouškám

Zatěžovací zkoušky mohou provádět pouze zkušebny, popř. laboratoře, které splňují zákonné požadavky a mají oprávněné k provozování této činnosti v oboru [1]

Tyto zkušebny se řídí normou ČSN EN ISO /IEC 17025, která je zavazuje dodržovat vysokou úroveň managementu jakosti pro všechny činnosti, které laboratoř provádí. Tato úroveň je dána osobami, které se podílejí na výsledcích, zacházením s měřicími přístroji a pracovním postupem jednotlivých činností.

2.4.2 Legislativa v diagnostice

Příprava, provádění a vyhodnocení zatěžovacích zkoušek na stavebních konstrukcích a jejich částí je stanovena v normě ČSN 73 2030. Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí [1]. Pro hodnocení existujících konstrukcí slouží norma ČSN ISO 13822 [2]. Pro určení zkušebního zatížení lze použít obecnou normu ČSN EN 1991-1 Zatížení stavebních konstrukcí. Část 1-1 obecná zatížení, objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb [4]. Dále lze využít normu pro hodnocení betonových konstrukcí EN 13791, která je spíše pro ověření jakosi nových konstrukcí a pro odběry vzorku a jejich vyhodnocení platí norma ČSN EN 12504 1-4 Zkušební metody pro beton.

2.4.3 Bezpečnost při provádění

Laboratoř, která zajišťuje přípravu, provádění a vyhodnocení zatěžovací zkoušky, odpovídá za bezpečnost sob i majetku v průběhu zkoušky. Při zkouškách in situ je objednatel zkoušky povinen provést bezpečnostní opatření podle požadavku laboratoře. [1]

Během provádění je nutné především dodržovat pravidla BOZP. Při zatěžování je pohyb osob v prostoru provádění zatěžovací zkoušky omezen na minimum. Požadavky na pracoviště stanovuje nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví na staveništích, které nabylo účinnosti 1. ledna 2007(nemá tu být odkaz?)

2.5 Cíle

Cílem zatěžovací zkoušky je kompletně zhodnotit stávající stav konstrukce, tzv. spolehlivost. Ta je prokazována na základě zadaného účelu konstrukce, který je podle požadavků objednatele stanoven s ohledem na budoucí funkčnost konstrukce.

Podle účely pak zkoušky rozdělujeme na průkazní (prototypové), které se provádí před zahájením výroby, kontrolní, které probíhají po dokončení výroby konstrukce a ostatní.[1]

Výsledkem zkoušky je pak zkušební protokol, jehož obsah nalezneme v normě ČSN 73 2030 .

3 Teorie statické zatěžovací zkoušky IN SITU

3.1 Časový postup

- příprava zatěžovací zkoušky, zahrnuje zpracování programu zkoušky
- provádění zatěžovací zkoušky
- vyhodnocení zatěžovací zkoušky [6]

Postup zatěžovací zkoušky blíže popisuje kapitola 4

3.2 Metodika statické zatěžovací zkoušky

3.2.1 Měřící přístroje

Jednotlivé metody se od sebe liší přesností, obtížností, možnostmi použití nebo výslednou veličinou, myšleno je druh deformace (absolutní nebo relativní). Ke zjišťování absolutních deformací se používají klasické snímače polohy a úhlů, pro relativní deformace se využívá tenzometrie. Volbou vhodné metody zajistíme dostatečný rozsah a přesnost výsledků zatěžovací zkoušky, pro získání

potřebných informací o konstrukci. Podstatné je umět s přístroji pracovat přesně podle požadavků na přístroj, tak aby nedošlo ke zkreslení údajů a dodržovat jejich korelaci.

Deformace měříme:

- mechanicky- průhyboměry, indikátorové hodinky, mechanické tenzometry
- hydraulicky - vodováhy
- elektricky - potenciometry, indukčnostní snímače, tenzometry(odporové, indukční, kapacitní)
- opticky - nivelace, optoelektronicky
- zvláštní způsoby - videotechnicky

Měřené statické veličiny:

- Průhyb
- pootočení, v místě vetknutí
- poměrné přetvoření na povrchu konstrukce

Umístění snímačů volíme, s ohledem na možné spolupůsobení konstrukce s ostatními nosnými konstrukcemi, viz. 3.2.5.

Mechanické měření - Při změně tvaru vytváří deformace energii, která vyvolává u snímačů mechanickou odezvu, která se pomocí snímače přenesse a zvětší do číselné formy. Většinou indikátorovými hodinami nebo pákovým zvětšením pohybů na stupnici. Výhodou těchto zařízení je jednoduchost, přístroje však musí být pečlivě kalibrovány, v případě špatné kalibrace, která je nepoznatelná, může dojít k velké odchylce naměřených hodnot.

- **klasické průhyboměry** (mostní krabicové Merta - Fryč), pevně připevňená struna, slouží jako zavěs, přes který se přenesse deformace do snímače, který strunu napíná a při pohybu struny dojde k rotaci napínacího péra a indikační stupnice pak vykazuje aktuální hodnoty, .Indikační stupnice má třicet dílů(po 2°), které odpovídají pohybu struny o 1 mm. Každý díl je dále rozdělen na 10 dílů, tj. 1/10 mm což je spolehlivá přesnost přístroje.
- Obr. 2



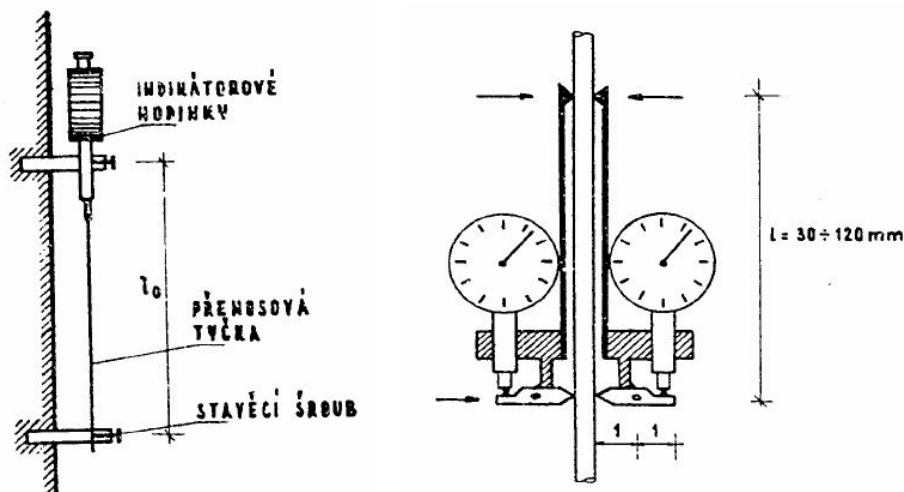
Obrázek 2 - mostní krabicový průhyboměr Metra - Fryč

- **indikátorové hodinky**, obr.3 jednoduchý přístroj, který měří odchylky na hrotu přístroje, je umístěn u spodního líce konstrukce, to může být někdy problémem, zejména při větší světlé výšce pod konstrukcí. Důležité je, aby byly hodinky připevněny k pevnému bodu, teleskopická tyč, lešení, který nebude zkouškou ovlivněn. Vyrábí se v rozsahu 5, 10, 25, 30 a 50 mm. Citlivost je 100 dílků/mm a u menších rozsahů 1-3 mm je to dokonce 1000 dílků/mm, toho vyplývá přesnost indikátorových hodin až 1 μ m. Ovšem pro absolutní měření délek se vyžaduje jejich kalibrace. Obr. 3 [6]

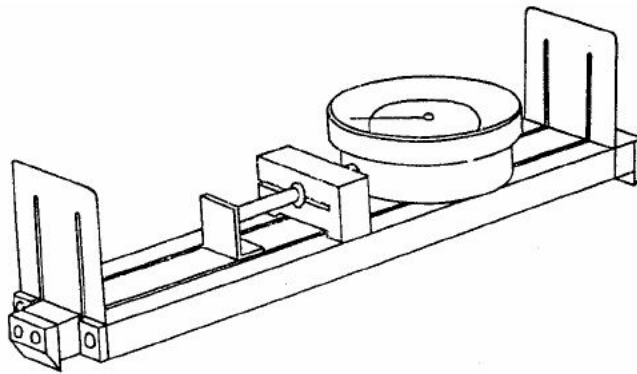


Obrázek 3

- **mechanické tenzometry**, obecně slouží tenzometry k měření relativních deformací na povrchu zkoumané konstrukce nebo v ní, z čehož se následně, pomocí hookova zákona lze jednoduše odvodit napětí, je však nutné zjistit přesnou hodnotu modulu pružnosti. Mechanické tenzometry jsou **tyčové s trny osazenými přímo do konstrukce** Obr. 4, **příložný tenzometr normální** obr. 4, **příložný můstkový tenzometr s plochými pružinami** obr.5. [6]



Obrázek 4 - tyčový tenzometr (vlevo) a příložný tenzometr (vpravo) [6]

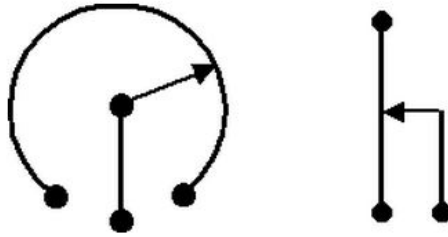


Obrázek 5 - můstkový tenzometr [6]

Hydraulické měřidla využívají hydrostatický princip kapaliny, pokud má kapalina stejnou hustotu, je výška hladin v trubici, stejná nebo vyvozuje u snížené hladiny tlak přímo úměrný rozdílu výšek obou hladin, čehož využívají **trubicové vodováhy**. Relativně malé výškové změny hladiny jsou vzhledem k nepohyblivému bodu zaznamenány, co nejpřesněji, buď manuálně **mikrometrickými šrouby** nebo **indukčními hodinami** propojenými s plováky na hladině. Přesto se hydrostatická nivelace nepovažuje za nejvhodnější metodu. Instalace je složitá a nákladná, uplatňuje se však u staveb, kde se trvalé měření požaduje, např. přehrad.

Elektrické měření, Využití elektrických snímačů patří mezi nejrozšířenější metody měření. Deformace se je vyjádřena elektrickou veličinou, jako odpor, indukčnost a kapacita, která posunem měřícího ústrojí způsobí změnu hodnot daných veličin. Data jsou přes PC zaznamenávána, rychlost snímání u běžných přístrojů je 10-20x za sekundu a u některých až 100x za sekundu a ty pak mohou spolehlivě snímat i dynamické odezvy měkkých konstrukcí. Přesnost přístrojů je podle typu a rozsahu, u přístrojů s menším rozsahem je přesnost vyšší, než u přístrojů pro větší rozsah posunu, např. 50 mm.

- **potenciometr**, pohyb konstrukce se pomocí struny přenesení k běžci potenciometru, který následně způsobí změnu odporu v cívce. Podle typu převodu pohybu rozeznáváme kruhový obr.6, kdy je struna ovinutá kolem kladky a přímý obr.6, kdy je struna připevněna k běžci sériově. Přesnost odporových snímačů, záleží na rozsahu měření, čím je rozsah menší, tím přesnější budou výsledky. U běžných typů pohybuje okolo 1%, existují však speciálně upravené typy s přesností až 0,02 % (víceotáčkový se spirálovou dráhou).



Obrázek 6 - schéma odporového snímače polohy, kruhový (vlevo) a přímý (vpravo)

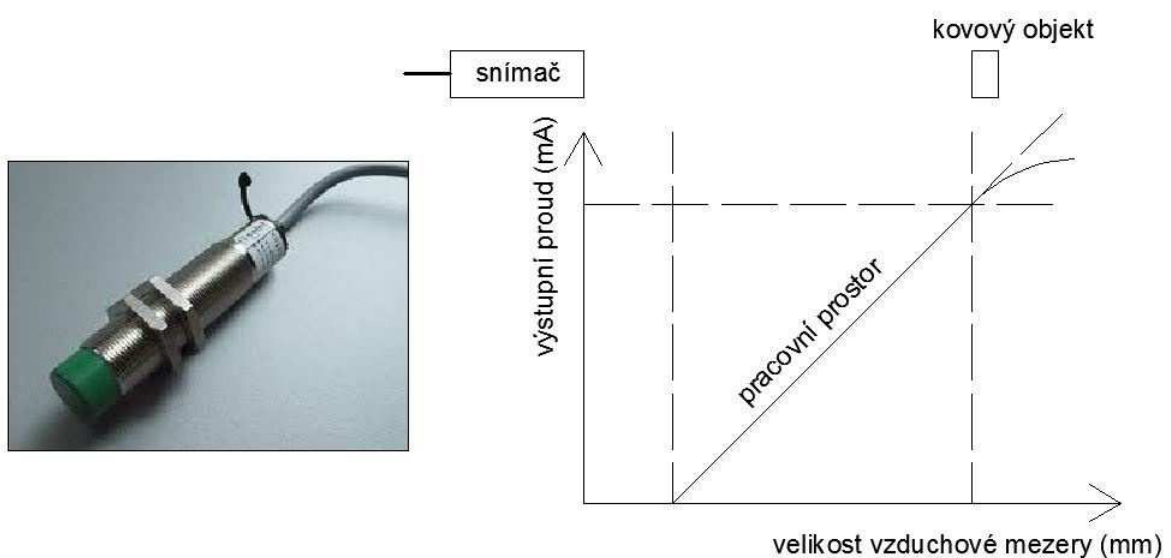
- **indukční snímače**, obr.7 při posunutí konstrukce, dojde k vzájemnému posuvu feromagnetického jádra snímače s cívkou, popř. soustavou cívek, tím se změní indukčnost soustavy cívek. Indukčnost cívky závisí na počtu závitů, elektrických a magnetických vlastnostech jádra a na geometrii cívky a jádra. Jsou-li tyto vlastnosti ovlivněny určitým pohybem, změní se indukčnost cívky. Tuto závislost lze vyjádřit vztahem $L = \frac{N_z^2}{Z_m}$. Tato skupina snímačů se dá použít i při snímání dynamických pohybů konstrukce.

Lindukčnost

N_z počet závitů na cívce

Z_m magnetická impedance cívky

Přesnost indukčnostních snímačů se pohybuje v rozmezí 1 - 5 mm

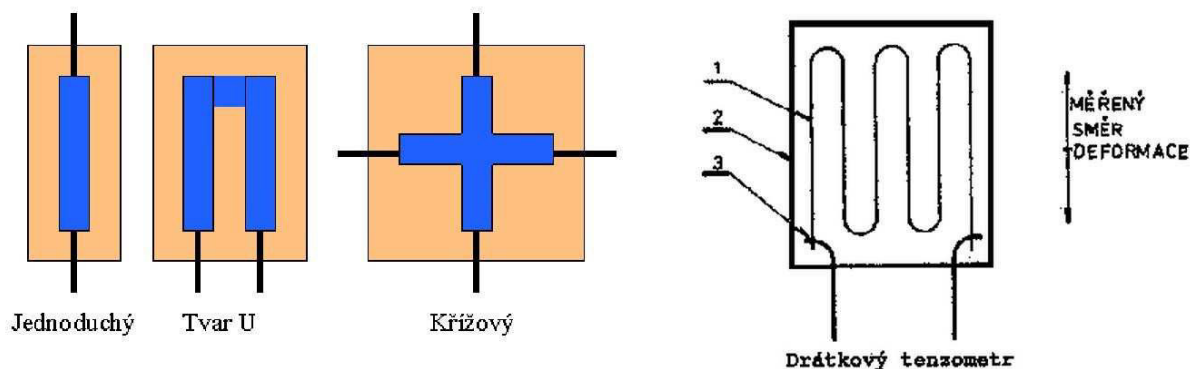


Obrázek 7 - indukční snímač (vlevo) , závislost vzduchové mezery na proudu (vpravo).

- **elektrické tenzometry**, Jedná se o nejpřesnější způsob snímání poměrných deformací, avšak instalace je poměrně náročná, u typových zkoušek in situ se prakticky nevyužívá. Ve velké míře se však využívají při laboratorních zkouškách dílců, při průkazných zkouškách typových

dílců sériové výroby nebo u zkoušek mostních konstrukcí. Přesnost tenzometrů, jak elektrických, tak mechanických je závislá na správné korekci chyb způsobené negativními vlivy okolního prostředí, převážně teplotou.

- **Příložné tenzometry** fungují na mechanickém principu vzájemného posuvu dvou břitů vůči sobě. Pohyb je převeden na elektrický signál. Pracují s přesností $\pm 2,5\%$ z měřeného rozsahu.
- **Odporové tenzometry** (obr. 8) vychází ze změny odporu způsobené mechanickou deformací. Dělí se na kovové a polovodičové. Změna odporu se měří odporovým můstkem. Jednotlivé tenzometry mají svou přesnost danou podle použitého materiálu a rozsahu. Ta může dosáhnout hodnoty až 0,03 měřené hodnoty. Podle $\Delta R/R = k \cdot \Delta l/l = K \cdot \epsilon$ se vypočte poměrná deformace. Pro reálný tenzometr je tato hodnota udávána výrobcem, jako reálný parametr dané série a označujeme ji K (konstanta tenzometru, gage faktor). [6] Tato hodnota se nejčastěji ohybuje okolo 2.



Obrázek 8 - Odporové tenzometry kovový, drátkový (vpravo), polovodičový (vlevo, uprostřed)

- **Indukční tenzometry** měří změnu impedance cívky způsobenou změnou indukčnosti, jako tomu je u indukčních snímačů. Přesnost je různá, záleží na počtu závitů na cívce, intenzitě cívky daného modelu.
- **Strunové tenzometry** (obr.9), při změně napjatosti předpjaté, integrované struny mezi dvěma pevnými body dochází ke změně frekvence kmitů, pro buzení a snímání frekvence kmitů slouží cívky umístěné na obou koncích struny, podle počtu cívek pak rozeznáváme systém jednocívkový a dvoucívkový. Pro zajištění harmonického kmitání cívky je v blízkosti struny umístěn magnet, který zajišťuje stálost magnetického pole v okolí cívky. Délka základny strunového tenzometru je 50 - 400 mm. Přesnost strunových tenzometrů je vysoká i

pro relativně malé deformace zkušebních dílců. Strunové tenzometry patří mezi nejpřesnější, ale nejdražší metody. Negativním jevem se pak stává, jako u většiny tenzometrických metod, teplota. Při naměření deformace je potřeba ještě odečíst deformaci struny vlivem teploty, která je dána vztahem, převzatého z [6]

$$\rho \dots \text{ hustota struny } f = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{\rho}} = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{E\varepsilon}{\rho}} = c\sqrt{\varepsilon}$$

potom lze jednoduše odvodit měřenou veličinu : $\Delta\varepsilon = (f^2 - f_0^2) \cdot K$

Deformace vlivem teploty: $\Delta\varepsilon_t = (\alpha_m - \alpha_s) \cdot \Delta T$

výsledná deformace: $\varepsilon_{\text{celk}} = \Delta\varepsilon - \Delta\varepsilon_t$



Obrázek 9 - Strunový tenzometr

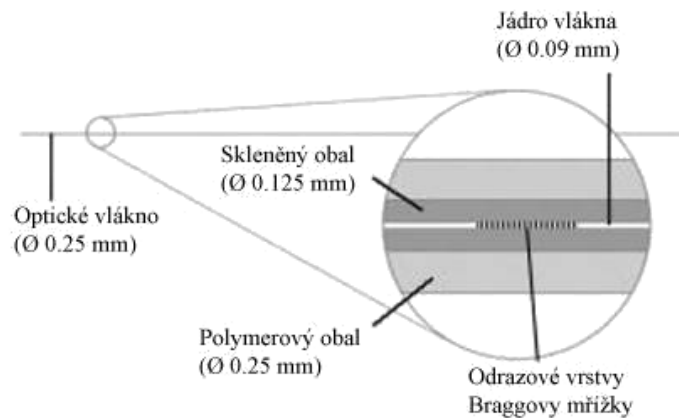
Při užití strunového tenzometru na ohýbaných prutech, namáhaných ohybovým momentem je třeba k celkovému přetvoření připočítat odchylku způsobenou vlastním natočením tenzometru pevně připevněného k povrchu konstrukce. $\delta_\varepsilon = \frac{2d}{h} \cdot 100$, kde

d vzdálenost struny od povrchu

h konstrukční výška konstrukce

- **optické tenzometry**, obr. 10 jedná se o skleněné vlákno opatřeno odrazovou mřížkou, aplikovanou na konstrukci přilepením nebo umístěním přímo do konstrukce. Optické tenzometry umožňují měření v oblastech velkých deformací. Při zatížení se mění velikost toku světla, přes odrazovou (Braggovu) mřížku a zbytek světla se od mřížky odrazí. Měřicí zařízení tento rozdíl porovnává s velikostí referenčního toku světla, o stejné vlnové délce a převádí na výsledné deformace. Jedná se o velmi přesnou metodu měření, až 1mm, která je

však velmi citlivá na změny teplot. Dalším negativem metody je velice nákladný speciální software pro měření a převod toku světla na deformace.



Obrázek 10 - optický tenzometr

- **akcelerometry**, používají se k měření dynamické odezvy konstrukce, tyto přístroje jsou umístěny na přesně stanovených místech, Dokážou zaznamenat data až 100x za sekundu.

Optické měření,

- **geodeticky** pomocí nivelačního přístroje obr. 11, kde přesnost u běžných přístrojů kolísá kolem 1 mm a která klesá s rostoucí vzdáleností záměry. Běžné nivelační přístroje, disponují přiblížením 17-20x, což pro udržení přesnosti 1 mm odpovídá vzdálenosti záměry 20-25m. Přesnější přístroje jsou vybaveny planparalelními destičkami, které umožňují jemné nastavení natočení, tato úprava zvýší přesnost na 0,1 mm. Výhodou je rychlost nivelace a netečnost podmínek pod zkoušenou konstrukcí, proto se tato metoda nejvíce využívá u zatěžovacích zkoušek vysokých konstrukcí, nevýhodou je menší počet zkoušených míst a prakticky nemožné zjistit příčnou tuhost u roštového systému. Optické metody je možné realizovat, jak na horním, tak na spodním líci konstrukce. Pokud jsou přístroje napojeny na počítač, pak mohou být data zaznamenávány do tabulek, grafů apod. U zkoušek běžných konstrukcí in situ se běžně nepoužívají pro nedostatek místa pro záměry a malou přesnost pro relativně malé deformace.



Obrázek 11 - nivelační přístroj Berger PAL26D s přiblížením 26x a přesností 0,1 mm/m

- **optoelektronické** metody, na místo nivelačního přístroje se dá použít **laser** obr. 12, který měří deformace pomocí elektromagnetických vln, který se odráží od povrchu konstrukce s přesností 0,25 μm , rychlost snímání je poměrně velká, u nejvýkonnějších laserů je vzorkovací rychlost snímání až 49 kHz, což umožňuje měření dynamických deformací. Měřicí rozsah mají přístroje různé podle typu přístroje, obvykle v rozsahu od 2 - 600 mm. Měření pomocí laserů je rychlé a efektivní, přesnost se samozřejmě liší dle použitého typu přístroje.



Obrázek 12 - laserový snímač polohy optoNCDT 1402 s přesností až 0,6 μm

Zvláštní metody

- **CCD kamera**, kamera osadí, provede se kalibrace snímání. Snímány jsou reflexní terče osazené na konstrukci, viditelně na kameru, kamera zachycuje pohyb v souřadnicích x,y. Kamery jsou schopny snímat více bodů najednou, takže při jednom měření lze získat více dat najednou. Mohou také snímat dynamické pohyby konstrukce (rychlost snímání až 4000 snímků/sec) a přesností měření 0,1 mm.

3.2.2 Zkušební zatížení, Optimalizace zkušebního zatížení

U většiny zatěžovacích zkoušek bývá zkušební zatížení z větší části složeno, jako zatížení užité, může být doplněno zatížením stálým, které představuje zatížení od souvisejících konstrukcí nebo trvalé prvky, které před zkouškou nebyly provedeny, ale statický výpočet s nimi počítá, například v tomto procesu se jedná o podlahy. Toto zatížení se na konstrukci ukládá s předstihem, aby došlo k ustálení požadovaného přetvoření. Pokud zatížení užité tvoří 20% a míň hodnoty doplňkového zatížení, lze provést zatížení najednou. Zatížení, které už na konstrukci působí, jako např. vlastní tíha, se nazývá výchozí zatížení. Hodnoty jsou stanoveny v ČSN EN 1991-1-1 Zatížení stavebních konstrukcí část 1-1: obecná zatížení - objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. [4].

Zkušební zatížení - základní přehled:

- Doplňkové stálé - budoucí nenosné konstrukce, příslušenství G_s [kN]
- provozní účinné Q_s [kN]
- extrémní účinné Q_d [kN]

Základní skutečné zatížení

- Doplňkové stálé - budoucí nenosné konstrukce, příslušenství g_s [kN/m²]
- provozní účinné q_s [kN/m²]
- extrémní účinné q_d [kN/m²]

Doplňkové zatížení může být doplněno o zatížení, které vyvodí stejné přetvoření konstrukce, jako účinek teploty, popř. vlhkosti. Jedná se o konstrukce trvale vystavené působení teploty, popř. vlhkost, jsou to konstrukce, které trvale rozdělují prostory s rozdílem teploty. Zkouška se provádí, pokud účinek působí na stranu nebezpečnou.

Skutečné zatížení nesmí vyvozovat odchylku od zkušebního zatížení více, jak 5 %, při zkouškách in situ. [1]

Zkušební zatížení:

- hydraulickými lisami obr.13- vhodná metoda do podmínek, kde je možno zkušební lisy opřít o vyšší konstrukci, která svým přetvořením neovlivní průběh zkoušky, vytvoří se tak bodové

zařízení. Hydraulické válce jsou napojeny na centrální čerpadlo s ověřeným tlakoměrem stupně přesnosti $\pm 1\%$. [7]



Obrázek 13 - zatěžování hydraulickými lisami

- nádrže s vodou, vodní vaky- Nahrazují spojité zatížení, za určitých podmínek lze dosáhnout plynulého zatížení přilíváním vody, plochu lze zatěžovat pouze konstantně zatížením prováděné ve více úrovních v jednom kroku, prakticky nelze provést. Metoda je však poměrně pracná a zdoluhavá, při opakování zatěžovacích cyklů se voda musí buď nechat vypustit nebo přečerpat do jiné nádrže.
- Volný materiál - jako výplň se používá nejčastěji písek, objemová hmotnost volně sypaného písku $14 - 19 \text{ kg / m}^3$. [3]. Materiál musí být uložen tak, aby nevytvořil samostatnou nosnou konstrukci. Při ukládání kusové zátěže, by mohlo dojít ke vzniku klenby, čímž by došlo ke nakupení účinků v místě paty klenby.



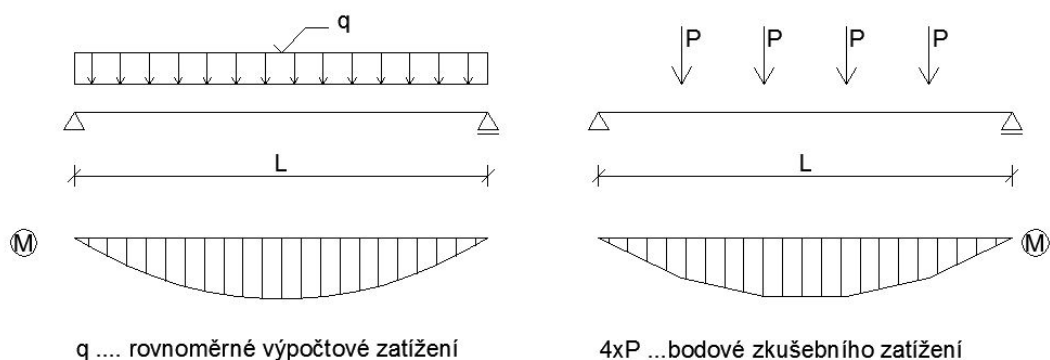
Obrázek 14 - zatěžování volným materiálem

- Závaží - Velice přesný způsob nahrazení plošného zatížení, kusově se pokládají na zatěžovací plochu musí mít takové parametry, aby celkové zkušební zatížení splňovalo požadovanou přesnost, viz. . Ke zkouškám jsou užívány například betonové závaží viz obr.15.



Obrázek 15 -kusové závaží (VUT - Fakulta Stavební)

Uspořádání zkušebního zatížení, je v souladu s budoucím účelem konstrukce. Optimálně rozmístěné zkušební zatížení je takové, které odpovídá zatížení pro které je konstrukce dimenzována. Při zkoušce však tento požadavek prakticky nejde splnit, proto se musí nahradit takový zatížením, které vyvodí v měřeném průřezu stejnou napjatost nebo poměrné přetvoření, jako zatížení návrhové. Při hodnocení konstrukce je potřeba brát ohled na odlišné průběhy ohybových momentů, obr. 16.



Obrázek 16 - odlišné ohybové momenty

Návrhové zatížení F_n ,počítá se podle aktuálně platných norem a zvětšuje součinitelem zatížení “ γ ” . U starších konstrukcí navrhovaných podle neplatných norem se může hodnota požadovaného zatížení lišit od hodnoty stanovené na základě aktuální normy. Starší norma ČSN EN 73 2030 (1997) povolovala stanovit hodnotu zkušebního zatížení Z, pro mezní stav únosnosti jako $Z = \frac{1+\gamma}{2} \cdot F_n$, kde

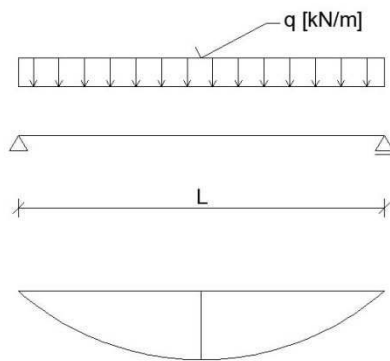
γ ... součinitel zatížení podle ČSN EN 1990 [3]

F_n ...zatížení stanovené na základě aktuální normy

3.2.2.1 Převod Návrhového zatížení na zkušebního zatížení

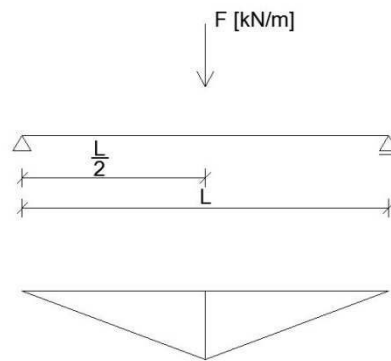
3 bodový ohyb

Návrhové schéma



$$M_{\text{náv}} = \frac{1}{8} q \cdot L^2$$

Zkušební schéma



$$M_{\text{zkuš}} = \frac{1}{4} F \cdot L$$

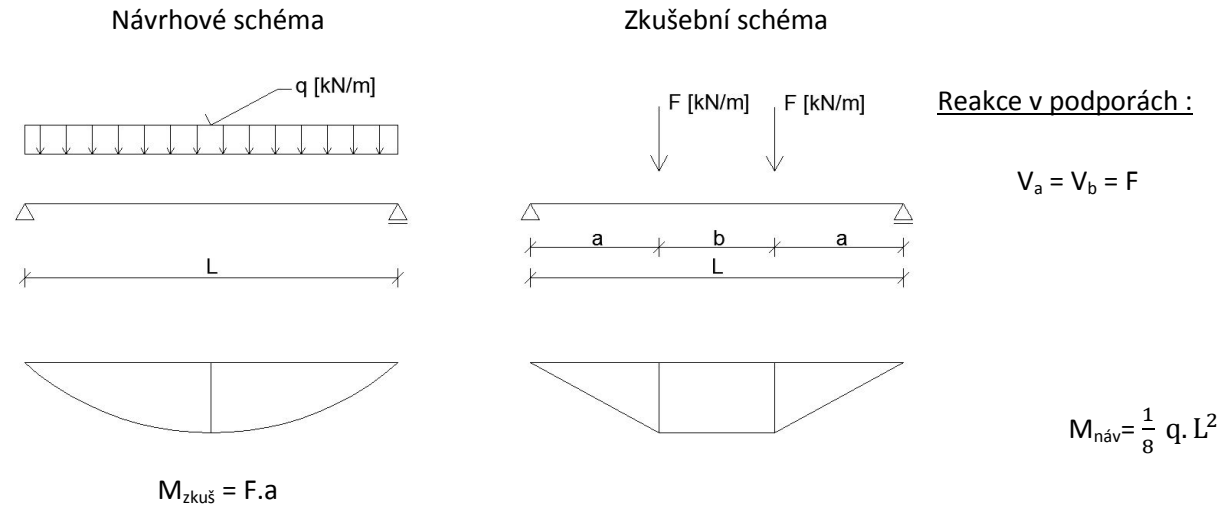
Reakce v podporách :

$$R_a = R_b = \frac{F}{2}$$

$$M_{\text{náv}} = M_{\text{skut}}$$

$$\frac{1}{8} q \cdot L^2 = \frac{1}{4} F \cdot L$$

Požadovaná zkušební síla $F = \frac{q \cdot L}{2} = Q$ Požadované zkušební zatížení

4 bodový ohyb

$$M_{náv} = M_{zkuš}$$

$$\frac{1}{8} q \cdot L^2 = F \cdot a$$

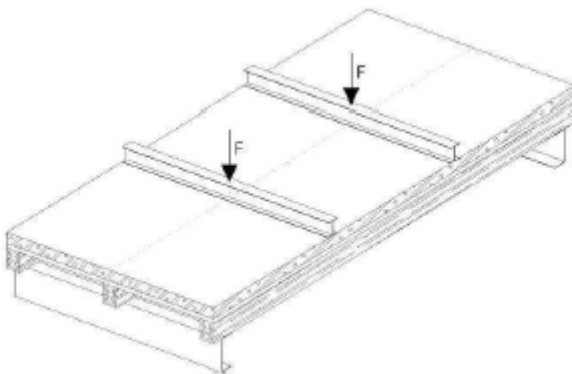
Požadovaná zkušební síla $F = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot a}$

Požadované zkušební zatížení: $Q = 2 \cdot F = \frac{q \cdot L^2}{4 \cdot a}$

Deska prostě podepřena

- pnutá v jednom směru

V podstatě se jedná o čtyřbodový ohyb , jako v předchozím příkladě, jenže na desku nepůsobí bodová síla, ale liniové zatížení uložené kolmo na směr vyztužení, viz obr.17.



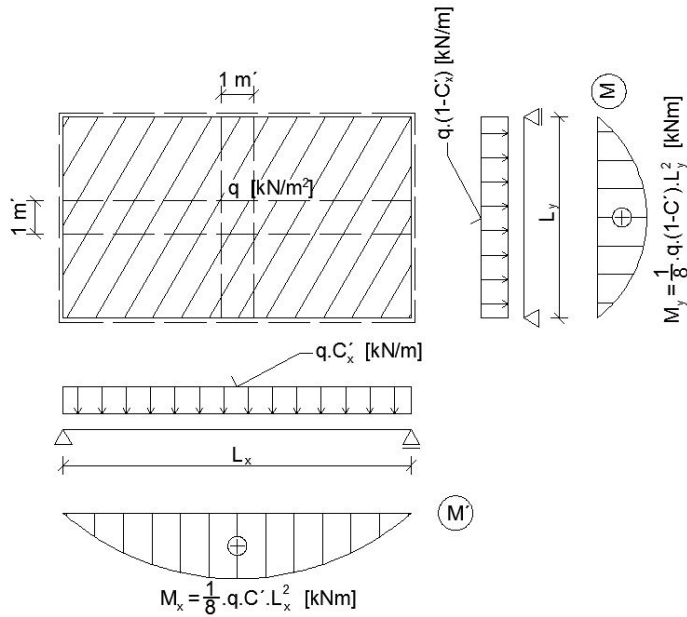
Obrázek 17 - zatěžování prostě podepřené desky

Deska po obvodě prostě podepřená - oboustranně pnutá

- řešení metodou náhradních nosníků
- na poddajných podporách

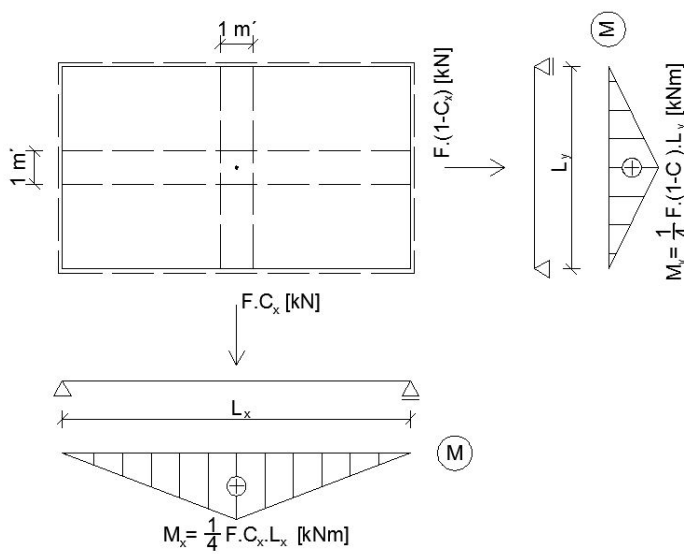
1. Stanovení součinitele pro přerozdělení zatížení „C_x“

- Návrhové schéma



$$C_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \dots [9]$$

- Zkušební schéma



$$w_y \left(\frac{L}{2}\right) = \frac{F \cdot (1 - C_x) \cdot L_y^3}{48}$$

$$w_x \left(\frac{L}{2}\right) = \frac{F \cdot C_x \cdot L_x^3}{48}$$

Při určení součinitele „C_x“ vycházím z podmínky:

$$w_x = w_y$$

$$\frac{F \cdot C_x \cdot L_x^3}{48} = \frac{F \cdot (1 - C_x) \cdot L_y^3}{48}$$

$$L_x^3 \cdot C_x = L_y^3 - L_y^3 \cdot C_x$$

$$C_x \cdot (L_x^3 + L_y^3) = L_y^3$$

$$C_x = \frac{L_y^3}{L_x^3 + L_y^3}$$

2. Stanovení požadované zkušební síly:

- Přerozdělovací součinitele:

$$C_x = \frac{L_y^3}{L_x^3 + L_y^3} \quad ; \quad C_y = \frac{L_x^3}{L_x^3 + L_y^3}$$

$$C_x' = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \quad ; \quad C_y' = \frac{L_x^4}{L_x^4 + L_y^4}$$

- Podmínka zachování momentů:

$$\mathbf{M_{F,x} = M_{g,x}} \quad ; \quad \mathbf{M_{F,y} = M_{g,y}}$$

$$M_{F,x} = \frac{1}{4} \cdot F \cdot C_x \quad ; \quad M_{F,y} = \frac{1}{4} \cdot F \cdot C_y$$

$$M_{p,x} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L_x^2 \cdot C_x' \quad ; \quad M_{p,y} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L_y^2 \cdot C_y'$$

$$\frac{1}{4} \cdot F \cdot C_x = \frac{1}{8} \cdot q \cdot C_x' \quad ; \quad \frac{1}{4} \cdot F \cdot L_y \cdot C_y = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L_y^2 \cdot C_y'$$

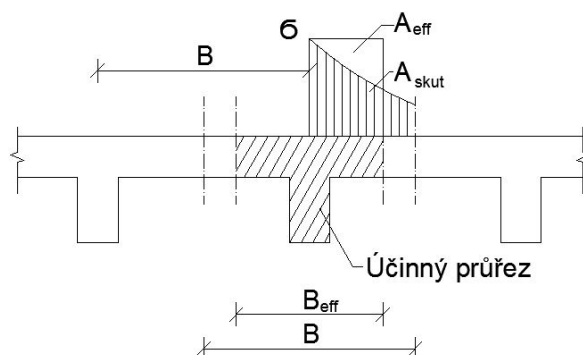
$$F = \frac{4}{8} \cdot q \cdot \frac{L_x^2}{L_x} \cdot \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot \frac{L_x^3 + L_y^3}{L_y^3} \quad ; \quad F = \frac{4}{8} \cdot q \cdot \frac{L_y^2}{L_y} \cdot \frac{L_x^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot \frac{L_x^3 + L_y^3}{L_x^3}$$

Výsledná zkušební síla:

$$F = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L_x \cdot L_y \cdot \frac{L_x^3 + L_y^3}{L_x^4 + L_y^4} = F = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L_y \cdot L_x \cdot \frac{L_x^3 + L_y^3}{L_x^4 + L_y^4}$$

3.2.3 Předpisy pro zatížení podle ČSN 73 2030 (1977)

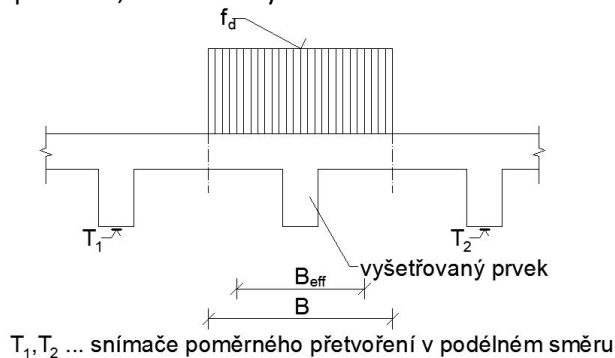
Zatížení trémových nosníků T- průřezu, se provádí s ohledem na působení efektivní šířky průřezu, kde lze předpokládat redistribuci účinků v příčném směru, obr. 18. Skutečnou účinnost příčného spojení lze získat například předběžnou zatěžovací zkouškou příčného roznosu sil.



Obrázek 18 - redistribuce účinků v příčném směru

Tento princip je stanoven na základě ČSN 73 2030 z roku 1977. Nová norma už s tímto spolupůsobením nepočítá. V souladu s novou normou by zkušební zatížení mělo být uloženo liniově na ose trámu.

Předběžná zkouška příčného roznášení - Zkouška definuje poměrnou část uloženého zatížení, kterou vyšetřovaný prvek přenese., schématicky znázorněna na obr. 19.



Obrázek 19 - předběžná zkouška příčného roznášení, rozmístění snímačů

Pro prostě uložený trám platí následující vztah, je-li ϵ_1 poměrné přetvoření uprostřed délky spolupůsobícího nosníku a známe-li hodnotu modulu pružnosti.

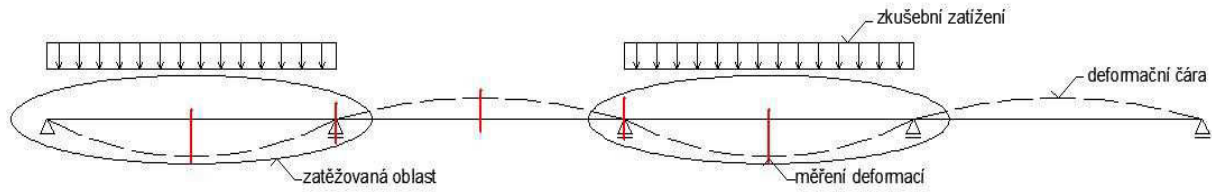
$$\epsilon_1 = \frac{\sigma}{E} = \frac{M}{W \cdot E} = \frac{f' \cdot L^2}{8 \cdot W \cdot E} \rightarrow \rightarrow \rightarrow f' = 8 \cdot \frac{\epsilon_1 \cdot E \cdot W}{L^2}$$

kde: f' ... část zatížení f_d přenášená spolupůsobícím trámem

Předběžná zatěžovací zkouška se neprovádí, aktuální norma jí nepředepisuje.

Desky se zatěžují po celé ploše zkoušeného pole, pokud se jedná o desku pnutou v jednom směru, jejíž šířka je 3x větší než délka rozpětí, zatíží se na plochu o šířce trojnásobku rozpětí nebo se provede výpočet náhradního zatížení. V případě spojitě desky o více, jak třech polích se deska zatíží v krajním poli na hodnotu vyvozující účinek shodný s účinkem při zatížení umístěným tak, aby vyvolalo extrémní přetvoření, např. obr. 20.

U složitějších konstrukcí se zatěžování neprovádí jen jedním zatížením, ale uskuteční se více zatěžovacích stavů, cílem je získat maximální ohybový moment od zkušebního zatížení v měřených místech. Jedná se o spojitě nosníky nebo rámové konstrukce hodnocené, jako stoprocentní zkouška.



Obrázek 20 - umístění zkušebního zatížení pro maximální ohybový moment, spojitý nosník

Rozmístění zkušebního zatížení je také vhodné volit s ohledem na pracovní prostor, tak aby bylo možné dodržovat předepsané zatěžovací stupně.

3.2.4 Zatěžování

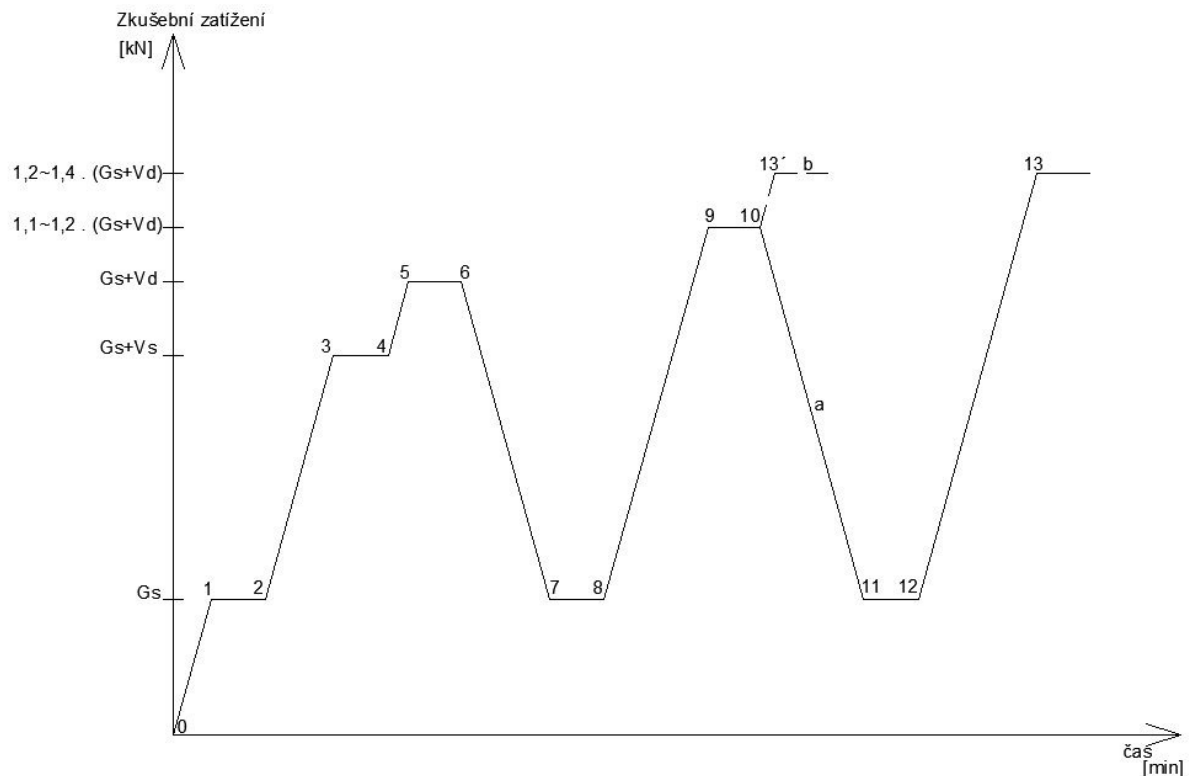
Samotnému zatěžování by měl předcházet test měřících přístrojů a zkušebního zařízení, ten se provede tak, že se konstrukce zatíží do maximálně 20 % požadované hodnoty zkušebního zatížení. Přesnost zatěžovacího systému musí být větší, než 5 % požadované hodnoty zkušebního zatížení, viz. 3.2.2. [6]

Zatěžování konstrukce nabývá zkušebních hodnot plynule, bez dynamických otřesů, ale zároveň v co nejkratší době, dokud nebude dosažena požadovaná hodnota zatížení. Zetřování zátěže provádíme symetricky, za předpokladu rovnoměrného návrhového zatížení. Mezi jednotlivými kroky probíhá měření hodnoty deformace a kontroluje se stav porušení. Požadované hodnoty pro základní zatěžované konstrukce in situ jsou složeny z provozního stálého zatížení a extrémního nahodilého zatížení. Zatěžovací postup zatěžování je uveden na obr. 21 a vychází z ČSN 73 2030 [1].

Základní zatěžovací postup dle ČSN 73 2030 [1]:

- *Konstrukce, která je při začátku zkoušky zatížena vlastní tíhou, popř. tíhou zkušebního zařízení se zatíží na hodnotu G_s , která odpovídá provozní hodnotě stálého zatížení. (bod 1).*
- *Po ustálení přetvoření (bod 2) se zatížení zvýší na hodnotu G_s+V_s , která odpovídá součtu provozní hodnoty stálého zatížení a nahodilého zatížení. (bod 3).*
- *Po ustálení přetvoření (bod 4) se zatížení zvýší na hodnotu G_s+V_d , která odpovídá součtu provozní hodnoty stálého zatížení a extrémní hodnoty nahodilého zatížení. (bod 5)*
- *Po ustálení přetvoření (bod 6) se konstrukce odlehčí na hodnotu G_s . (bod 7).*
- *Po ustálení přetvoření (bod 8) se zatížení zvýší na hodnotu, která je podle povahy případu o 10 až 20% vyšší než hodnota G_s+V_d (bod 9).*

- Po ustálení přetvoření (bod 10) se konstrukce odlehčí na hodnotu G_s (bod 11) a opět se zjistí (po ustálení) velikost přetvoření (bod 12). Větev „a“ na obrázku.
- Při dalších zatěžovacích cyklech se opakuje postup mezi body 8 až 12 s tím, že se při každém zatěžovacím cyklu zatížení zvýší o dalších 10 až 20% z hodnoty G_s+V_d . [1]



Obrázek 21 - průběh zkušebního zatížení v čase

U zatěžovacích zkoušek bez dosažení únosnosti se zkouška provádí jen do bodu 8. Dále je možné zkoušku provádět, za zpřísněných podmínek, např. sledováním rozvoje šířky trhlin a napětí v krajních vláknech nosné konstrukce.

Zatěžovací kroky - zatěžování se provádí v krocích, jejichž velikost nemá přesáhnout 25 % základního zatížení. Odlehčování je pak provedeno v jednom kroku.

3.2.5 Spolupůsobení částí konstrukce

Při zkouškách *in situ* je nutné omezit spolupůsobení ostatních částí konstrukce a pokud možno zamezit spolupůsobení nenosných částí stavby. V případech, kdy nelze teoreticky předem určit míru spolupůsobení ostatních nosných částí, je toto předem experimentálně ověřit. [1]

Při zatěžování stropních konstrukcí se jedná o poklesy podpor, kdy reakce od statického systému konstrukce vyvozují na podporách deformace, které se projeví na měřených hodnotách. Je nutné tyto deformace měřit, ostatně to udává i norma.

Zatěžovací zkouška má být provedena tak, aby byly, pokud možno omezeny vlivy, které by mohly nepříznivým způsobem zkoušku ovlivnit nebo zkreslit výsledek zatěžovací zkoušky. Pokud nelze tyto vlivy bezpečně vyloučit, je nutno po dobu zkoušky tyto vlivy sledovat a přihlídnout k nim při vyhodnocení zatěžovací zkoušky. [1]

Měření provedeme umístěním snímačů v místě podpor a zjistíme změnu polohy v místě zkoumané konstrukce. Abychom zjistili teoretické hodnoty konstrukce, které potřebujeme pro posouzení II. mezního stavu, tak naměřené hodnoty použijeme například, při integraci ohybové čáry, kdy naměřené poklesy zavedeme do okrajových podmínek, už při zjišťování konstant po integraci momentové rovnice, poté získáme funkci ohybové čáry, která zahrnuje již poklesy podpor.

Ovšem daleko jednodušeji, lze návrhový průhyb zjistit pomocí modelování v programu (scia, FEM, ansys), vzhledem ke složitosti diferenciálních rovnic při aplikaci výše znázorněné metody na složitější konstrukce, jsou tyto programy nedílnou součástí při posuzování a návrhu konstrukcí.

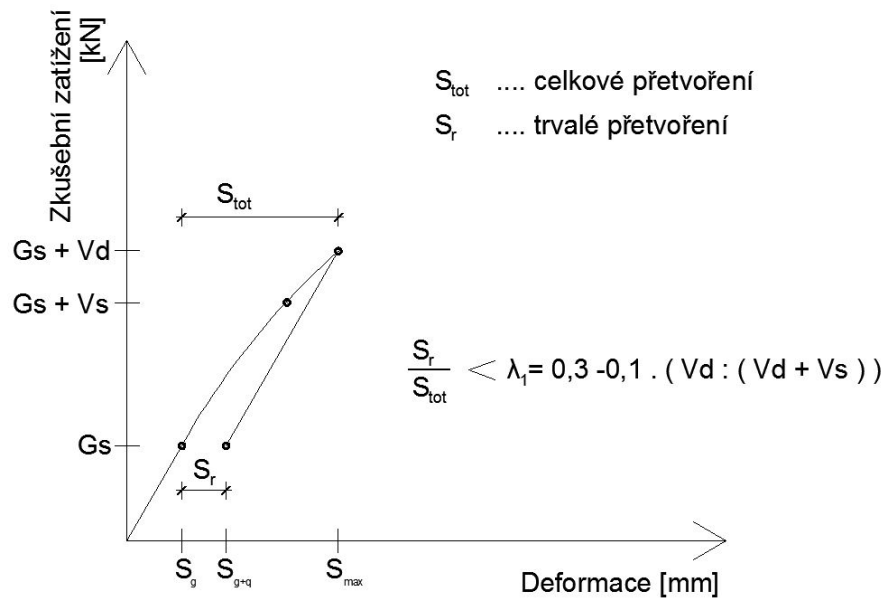
3.3 Posouzení konstrukce

3.3.1 Posouzení mezního stavu únosnosti

Posuzuje se poměr trvalého a celkového přetvoření λ_1 . Pokud se prokáže, zejména u nových konstrukcí, že je poměr větší než λ_1 , ale menší než $2 \lambda_1$, je možné zkoušku opakovat, maximálně však třikrát. [1]

výpočet součinitele λ_1 : $\lambda_1 = 0,3 - 0,1 \cdot (V_d : (V_d + V_s))$ (pro železobetonvé konstrukce) [1].

Tato hodnota platí po první zatěžovací zkoušce, pokud konstrukce nevyhoví při další zkoušce se vždy hodnota součinitele sníží na polovinu předchozí hodnoty λ .



Obrázek 22 - Deformační diagram betonu

3.3.2 Posouzení mezního stavu použitelnosti

Konstrukce vyhoví pro II. mezní stav, pokud se přetvoření konstrukce od zkušebního zatížení, provozní nahodilé:

- neliší od teoretického přetvoření o více, jak ± 1 násobek, pro železobetonové konstrukce to znamená o 40 %.
- je menší, než normou, případně rozbořem konstrukce stanovená hodnota maximálního přetvoření dané konstrukce, viz obr. 23.

Zatížením provozního napětí v průřezu dosahuje meze, při provozním působení, menší než:

- při vzniku trhlin, jedná-li se o objekty, posuzované na vznik meze trhlin.
- mezní hodnota šířky trhlin u objektů posuzovaných na mezní šířku trhlin. [1]

V případě železobetonových konstrukcí EC 2 [5], trhliny přípouší a limituje jejich šířky, obr. 24, ovšem nesmí konstrukci nijak narušovat a ohrožovat správnou funkci nebo životnost. Maximální šířky trhlin, jsou stanoveny v normě ČSN EN 1992-1-1 [5], s hledem s na charakter konstrukce a prostředí.

Mezní průhyby stropních konstrukcí:

Tabulka D.80. Mezní průhyby prvků stropních konstrukcí

Řádek	Konstrukce	Mezní průhyb	Průhyb uvažovaný při posuzování
1	prvky stropů v bytových a v občanských stavbách, prvky střech průmyslových budov	$l < 6 \text{ m}$	průhyb po provedení podhledu nebo podlahy ¹⁾
2		$6 \text{ m} \leq l \leq 9 \text{ m}$	
3		$l > 9 \text{ m}$	
4	prvky stropů pod prostory určenými k pobytu lidí, kromě prvků v řádcích 5 a 6 ²⁾	$\frac{l}{350}$	krátkodobý průhyb od nahodilého pohyblivého zatížení ^{3) 4)}
5	prvky stropů pod tělocvičnami, tanečními sály apod. ²⁾	$\frac{l}{700}$	
6		$\frac{l}{600}$	průhyb po provedení podlah

Obrázek 23 - mezní průhyby stropních konstrukcí [3]

Maximální šířky trhlin:

Tabulka 7.1N – Doporučené hodnoty w_{\max} (mm)

Stupeň vlivu prostředí	Železobetonové prvky a prvky předpjaté nesoudržnou výztuží	Prvky předpjaté soudržnou výztuží
	Kvazi-stálá kombinace zatížení	Častá kombinace zatížení
X0, XC1	0,4 ¹⁾	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²⁾
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Dekomprese
¹⁾ Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a uvedená hodnota má zajistit přijatelný vzhled. Pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit.		
²⁾ Pro tyto stupně vlivu prostředí má být kromě toho posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.		

Obrázek 24 - doporučené hodnoty maximální šířky trhlin podle EC 2. [5]

3.3.3 Přetvoření

Přetvoření se považuje za ustálené, pokud 30 minut po dosažení příslušného zatěžovacího stupně je změna přetvoření menší než:

- 20 % ze změny přetvoření v předchozím časovém intervalu deseti minut.
- 2 % z celkové změny přetvoření příslušné zatěžovacímu stupni
- 0,5 nejmenší jednotky měřícího přístroje. [1]

3.4 Výstup zatěžovací zkoušky

Výsledkem celého procesu se stává zkušební protokol, který laboratoř vydává, na základě poznatků uskutečněných měření. Zkušební protokol udává ČSN 73 2030, podle níž má obsahovat tyto informace:

- *„identifikační data laboratoře, a jména pracovníků, kteří zkoušku prováděli*
- *identifikační data objednatele*
- *časové údaje*
- *účel, pro který se zkouška provádí*
- *údaje o zatížení, na které je konstrukce navržena a o zatížení, na které má být zkoušena*
- *údaje o statickém působení konstrukce v provozu a při zkoušce*
- *technický popis zkoušených konstrukcí, jejich počet, způsob výroby, použité materiály, dimenze apod.*
- *popis zkušebního zařízení*
- *popis měřících přístrojů*
- *údaje o teplotách a dalších vlivech, které mohou ovlivnit výsledek zkoušky*
- *způsob zatěžování*
- *způsob zkoušení*
- *hodnoty měřených veličin a popis sledovaných jevů*
- *způsob přerušení*
- *přesnost měření*
- *fotografickou dokumentaci, nebo videozáznam*
- *vyhodnocení zkoušky*
- *komentář ke zkoušce" [1]*

4 Postup statické zatěžovací zkoušky in situ, dle ČSN EN 73 2030

4.1 Příprava zatěžovací zkoušky

Cílem tohoto kroku je zpracovat program zkoušky, který zpravidla obsahuje

a) *stanovení účelu a rozsahu zatěžovací zkoušky* [1]

Průkazní, prototypové, kontrolní (viz 2.5).

Dle účelu konstrukce se stanoví rozsah, tj. množství snímačů, popř. dalších prostředků (ke zjištění materiálových charakteristik), velikost zkušebního zatížení (kg), počet pracovníků, odhadovaný termín zhotovení, apod.

Při zkoumání souboru konstrukcí se označí hodnocené konstrukce, v dalších krocích se pak k těmto konstrukcím přistupuje individuálně až do závěrečného hodnocení, kde se provede hodnocení souboru konstrukcí.

b) *údaje o skutečném stavu konstrukce, tj. údaje o geometrii konstrukce, charakteristikách materiálů, statickém a dynamickém chování, shodě s návrhem, porušení, apod.,* [1]

Provede se vizuální defektoskopická prohlídka konstrukce, záměra polohy a metrických hodnot částí konstrukce. Zjistí se hodnoty materiálových charakteristik, provede se statický výpočet konstrukce, podle zjištěných hodnot s přihlédnutím na porušení konstrukce. Objeví-li se v konstrukci trhliny, je třeba při výpočtu zavést oslabený průřez. Veškeré poruchy budou uvedeny do protokolu. Pokud vizuální prohlídka prokáže poruchy za havarijní, viz obr. 25, je nutné navrhnout taková opatření, aby nedošlo k ohrožení veřejnosti [4].

Kvalitativní hodnotící stupně		Popis
1	Běžné opotřebení	dobrá bezpečnost, dobrá jakost
2	Závada	dobrá bezpečnost, zhoršená jakost
3	Nevýznamná porucha	podstatnější snížení bezpečnosti, mírné zhoršení jakosti
4	Významná porucha	podstatnější snížení bezpečnosti i jakosti, není bezprostřední ohrožení
5	Havarijní porucha	bezpečnost je vážně bezprostředně ohrožena stejně jako jakost

Obrázek 25- Příklad kvalitativní hodnotící stupnice konstrukčních prvků, při vizuální defektoskopické prohlídce [4]

c) *zjištění požadavků na konstrukci z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti včetně kontroly, popř. doplnění statického a dynamického výpočtu. [1]*

Kromě vlastních požadavků objednavatele zatěžovací zkoušky se stanoví základní požadavky na stropní konstrukce (za statického hlediska):

- zatížení je stanoveno, dle EN 1991.

- posuzování je na základě metody dílčích součinitelů “ γ „ (pravidle v EN 1990)

- Splňuje mezní stav únosnosti

- nedojde k překročení přípustného přetvoření konstrukce, viz. obr. 23

- u konstrukcí které to vyžadují, bude posudek na vznik, šířku trhlin , viz obr. 24

- na trvanlivost konstrukce, viz EN 1992-1-1, kap. 4. Jedná o to, aby byla provedena dostatečná krycí vrstva c_{min} , která zajistí odolnost výztuže proti oceli, soudržnost oceli s betonem a dostatečnou požární odolnost konstrukce (viz. 1992-1-2)

Dle EN 1990 má být konstrukce navržena tak, aby měla požadovanou:

- únosnost

- použitelnost

- trvanlivost

d) *určení druhu a intenzity zatížení při zatěžovací zkoušce a stanovení zatěžovacích stupňů a délky působení zkušebního zatížení. [1]*

viz. 3.2.2 a 3.2.1 .

e) *určení měřených veličin, způsobu jejich snímání přenosu a zpracování, včetně údajů o použitých měřidlech a vyhodnocovacích přístrojích. [1]*

Určuje se modul pružnosti, poměrné přetvoření, průhyb, pootočení, poklesy

V programu jsou dále uvedeny typy měřidel a jejich přesnost.

f) *stanovení způsobu hodnocení výsledků zatěžovací zkoušky [1]*

- dle ČSN ISO 13822 - Zásady navrhování - hodnocení existujících konstrukcí [3]

g) *stanovení způsobu výběru zkoušených konstrukcí [1]*

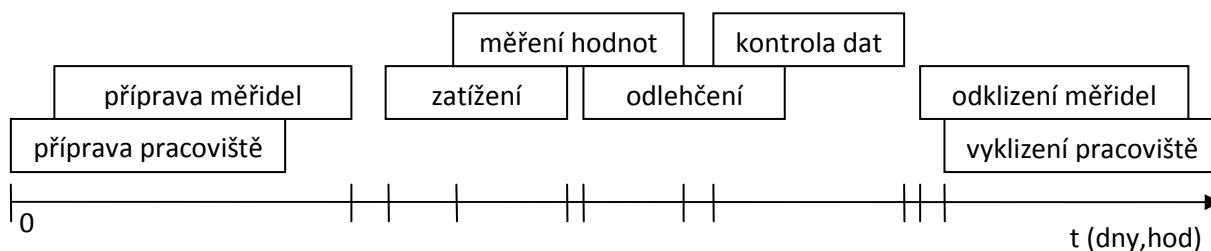
Hodnotí-li se souboru konstrukcí, popřípadě spojitých nosníků uvádí se způsob a postup, jakým byla konstrukce vybrána.

h) *specifikace konstrukcí, popř. určení časového období výroby, pro které se zatěžovací zkoušky provádějí [1]*

Stanovit Rizika existující konstrukcí, vzhledem období, ve kterém je konstrukce vyrobena, viz. kap. 2.3.

i) *předpokládaný harmonogram zkoušky [1]*

Rozdělit provádění zkoušky do časových úseků znázorněných na obr. 25 .



Obrázek 26 - časový harmonogram provádění zatěžovací zkoušky

4.2 Provádění zatěžovací zkoušky

Postup dle harmonogramu na obr. 26 .

4.2.1 Příprava pracoviště

Jedná se o vyklizení prostor od nadbytečných břemen, které by mohly ovlivnit zatěžovací zkoušku. Nachystání zatěžovacího zařízení a materiálu do pracovního prostoru, mimo zatěžovanou plochu, popř. mimo spolupůsobící konstrukce. Jde o to aby při zatěžování došlo k co nejplynulejšímu nárůstu zkušebnímu zatížení

4.2.2 Příprava měřidel

Osazení lze provádět v souběhu s přípravou pracoviště, ale měřidla po instalaci v žádné případě nesmí dojít ke snížení přesnosti, je vhodné v co nejkratší době začít po tomto kroku se zatěžováním konstrukce. Měřidla musí být umístěna tak, aby jejich umístění neovlivnilo výsledek zkoušky a nedošlo ke zkreslení údajů, a dosáhlo se tak jejich maximální přesnosti.

Měřicí přístroje, metody a postupy zkoušení při zatěžovací zkoušce musí být voleny tak aby splňovaly podmínky nezkresleného zobrazení a odpovídaly požadované přesnosti měření. [1].

4.2.3 Zatížení konstrukce

Při zatěžování je na konstrukci omezen provoz, výhradně pro potřebu zatěžovacího zařízení, Jedná se především o pojižděné plochy nebo o plochy se stroji vyvolujícími dynamické účinky v konstrukci. Zároveň při pohybu na měřené konstrukci nedochází k prudkým rázům a nadměrným vibracím.

Nárůst zkušebního zatížení je plynulý, dle kap.3.2.3 Při zatěžování volným materiálem je tedy důležité, bez prostojů navyšovat zatížení, s ohledem na pracovní prostor je potřeba respektovat navržené rozmístění zkušebního zatížení (viz kap. 3.2.2), které zpětně respektuje manipulační prostor, už při samotné návrhu a rozmístění zkušebního zatížení.

Při zatěžovací zkoušce se postupně zvyšuje zatížení a měří se odezva konstrukce. Měření musí být provedeno v rakovém rozsahu a přesnosti, aby byly získány potřebné informace o konstrukci. [1]

4.2.4 Měření hodnot

Probíhá kontinuálně se zatěžováním a odlehčováním.

4.2.5 Odlehčení konstrukce

Odlehčení se provede až po ustálení přetvoření od zkušebního zatížení

4.2.6 Kontrola dat

Velkou úsporu času a sil může přinést předběžná kontrola celkového a trvalého přetvoření pro 1. mezní stav se tak zjišťuje, jestli se zkouška bude nebo nebude opakovat.

4.2.7 Odklizení měřidel

Odstraní se dočasná měřidla.

4.2.8 Vyklizení pracoviště

Poslední krok celé fáze provádění. Vyklidí se použité zatěžovací zařízení. Zkouška dále pokračuje vyhodnocením získaných dat.

4.3 Vyhodnocení zatěžovací zkoušky

Při vyhodnocení zatěžovací zkoušky se zkoušená konstrukce hodnotí z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti. [1]

Zkoušku zatřídit, podle základního rozdělení v kap. 2:

4.3.1 Zkoušky do dosažení únosnosti - konstrukce je spolehlivá z hlediska MSÚ, pokud:

- a) *experimentální hodnota únosnosti je větší než výpočtová hodnota únosnosti násobená součinitelem spolehlivosti γ_{exp} .*
- b) *při zatížení na hodnotu , která odpovídá zatížení G_s+V_d a následném odlehčení na hodnotu, která odpovídá zatížení G_s , je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením menší než λ_1 .[1]*

Hodnoty součinitelle γ_{exp} a λ_1

Součinitel γ_{exp} se uvažuje podle způsobu porušení zatěžovaného prvku:

- při porušení ohybem $\gamma_{exp}= 1,6$
- při porušení tlakem a smykem $\gamma_{exp}= 1,4$
- při porušení jiným způsobem $\gamma_{exp}= 1,4$

Součinitel λ_1 limitující poměr celkového přetvoření a trvalého přetvoření (zejména u nových konstrukcí), je :

- pro konstrukce za železobetonu $\lambda_1= 0,3 -0,1 \cdot (V_d : (V_d + V_s))$

- pro konstrukce z předpjatého betonu $\lambda_1= 0,25 -0,1 \cdot (V_d : (V_d + V_s))$

- omezen pro možnost opakování zkoušky, pokud je větší než λ_1 a zároveň menší než $2 \lambda_1$. Pak lze zkoušku opakovat, nanejvýš třikrát.

4.3.2 Zkoušky do dosažení únosnosti - konstrukce je spolehlivá z hlediska MSP, pokud:

- a) *experimentální hodnota přetvárného účinku od zkušebního zatížení, které odpovídá provoznímu nahodilému zatížení, se neliší od teoretické hodnoty přetvárného účinku téhož zatížení o více, jak $\pm \mu$ násobek. Hodnota součinitele μ je uvedena v přílohách A až D. [1]*
- b) *experimentální hodnota přetvárného účinku od zkušebního zatížení, které odpovídá provoznímu nahodilému zatížení, je menší než odpovídající část mezní hodnoty přetvoření stanovené v normách pro navrhování konstrukcí, nebo určená rozbořem podmínek pro použití konstrukce. [1]*

- V případě železobetonových a předpjatých konstrukcí, platí pro mezní stav použitelnosti, další podmínky:

- c) *u konstrukcí, u kterých je třeba posuzovat vznik a šířku trhlin, nevzniknou trhliny před dosažením meze trhlin; mez trhlin se stanoví podle normy pro navrhování [1]*

d) u konstrukcí, u kterých je třeba posuzovat šířku trhlin, nepřesáhnou šířky trhlin, při provozní hodnotě zatížení mezní hodnoty šířky trhlin uvedené pro různé kategorie konstrukce v normě pro navrhování. [1]

Hodnota součinitele μ se bere: pro železobeton $\mu=0,4$

pro předpjatý beton ... $\mu=0,3$

4.3.3 Zkoušky bez dosažení únosnosti - konstrukce je spolehlivá z hlediska MSÚ, pokud:

Splňuje podmínky uvedené v 4.3.1 b)

4.3.4 Zkoušky bez dosažení únosnosti - konstrukce je spolehlivá z hlediska MSP, pokud:

Splňuje podmínky uvedené v 4.3.2.

5 Reálná varianta zatěžovací zkoušky

5.1 ÚVOD

Na základě objednávky byla provedena statická zatěžovací zkouška vybrané části železobetonové monolitické stropní konstrukce nad 1. PP zděné stavby. Zkouška proběhla v únoru roku 2012, podle aktuální normy ČSN 73 2030. Tato kapitola se zabývá hodnocenou konstrukcí, realizací a vyhodnocením zkoušky.

Při realizaci zakázky byly prováděny následující kroky:

- 1) zatěžovací rozvaha dle požadované zatížitelnosti
- 2) příprava zatěžovacích sestav
- 3) provedení zatěžovací zkoušky stropní desky ve variantě A
- 4) provedení zatěžovací zkoušky stropní desky ve variantě A + B

V předkládané zprávě je podrobně komentován navrhovaný rozsah a způsob zkoušení posuzovaných konstrukcí, který je v souladu s metodickými pokyny ČSN 73 2030 [1] a ČSN 73 2031 [10].

5.2 Účel zatěžovací zkoušky

Cílem zkoušky je nově vytvořené stropní konstrukce nad podlažím 1PP bylo prokázat, jestli budoucí zatížení na konstrukci, tj. doplňkové stálé ($g_d=2,70 \text{ kN/m}^2$) v kombinaci s extrémní hodnotou užitečného zatížení ($q_d=10,2 \text{ kN/m}^2$) konstrukce spolehlivě přenesou a vyhoví na mezní stav únosnosti.

Podnět k zatěžovací zkoušce vyvolalo odbednění konstrukce, kdy nejspíš vlivem nedodržení distanční vzdálenosti a špatné konzistence betonu, došlo k protlačení výztuže na bednění, čímž došlo k

minimalizaci krycí vrstvy betonu, předmětem hodnocení se tak stane i trvanlivost konstrukce a návrh opatření.

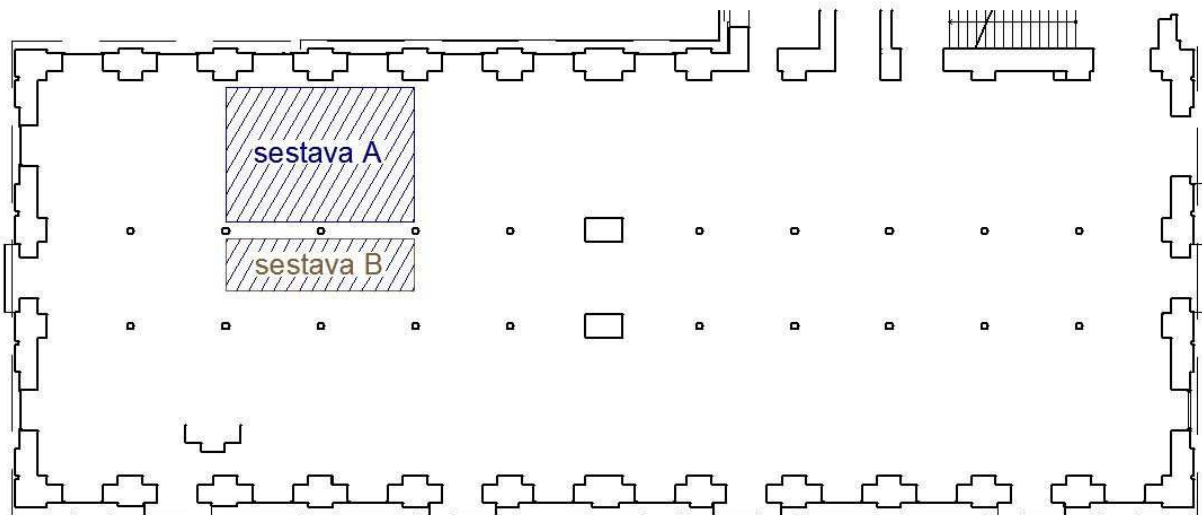
Vzhledem k rozmístění podpor spojitě desky, se při zatěžování zkouška zaměří na jedno krajní pole v příčném směru a prostřední pole v podélném směru.

5.3 Popis zkoušených konstrukcí

Stropní deska je umístěna ve zděné 4 patrové budově nad 1. PP.

Stropní konstrukce je nově vybetonovaná železobetonová, monolitická deska, prostě uložená do kapes na zdivo tvořeno z cihel PP, uprostřed příčného rozpětí podepřena dvěma sloupy z CPP. Uložení na sloupech je provedeno formou objímky nasazené na sloupech, monoliticky spojené s deskou. Tloušťka desky je 220 mm, vyztužena běžnou betonářskou výztuží. Dle projektové dokumentace je deska pnutá v obou směrech. Na konstrukci, krom vlastní tíhy g_0 nepůsobí žádné jiné stálé zatížení. Zbývá část stálého zatížení, tj. podlahy a předpokládané krycí vrstvy v podhledu jsou nahrazeny hodnotou stálého zatížení g_s .

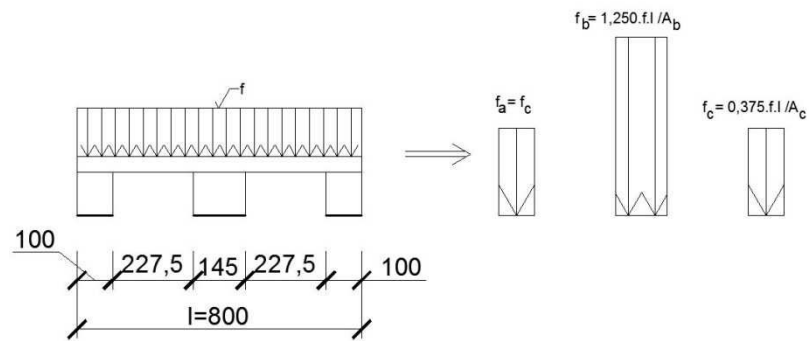
Stropní deska byla vybetonována dne 13. 11. 2011. Dotvarování proběhlo z části do dne zatěžování, tj. 1.2.2012.



Obrázek 27 - poloha zatěžovací zkoušky

5.4 Zkušební zatížení

Provedeno formou volného materiálu obr.28. Jedná se o 25 kg pytle uloženy na EURO paletách o rozměrech 1200x800 mm. Úložná plocha pod jednou paletou tvořena třemi obdélníky o rozměrech 2x 100x 1200 a 1x 145x1200, viz obr.28. Za předpokladu blízkého uložení palet se při řešení výpočtového průhybu desky může přistoupit, ke spojitému zatížení.

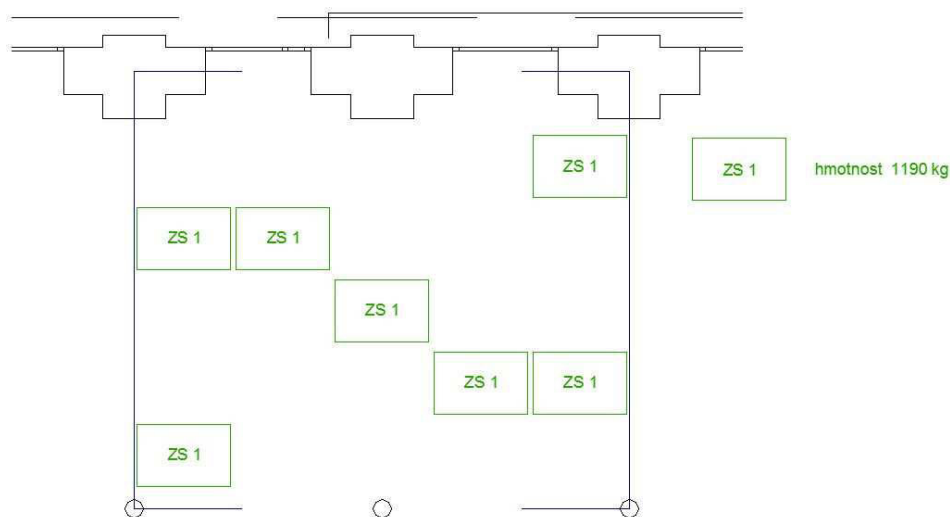


Obrázek 28 - zatížení pod jednou paletou

Stropní deska, sestava A

Zatížení stropní desky v předepsaném místě A bylo realizováno formou plošného zatížení o předepsané intenzitě viz. příloha A. V průběhu zatěžovací zkoušky byly pro vyhodnocení zatěžovací zkoušky sledovány následující zatěžovací stavy:

- zatížení na hodnotu stálého zatížení, obr.29 $G_s = 2,70 \text{ kNm}^{-2}$
- zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení, obr.31 $G_s + V_s = 7,70 \text{ kNm}^{-2}$
- zatížení na hodnotu extrémního nahodilého zatížení, obr.33 $G_s + V_d = 10,2 \text{ kNm}^{-2}$
- odtížení na hodnotu stálého zatížení, obr. 35 $G_s = 2,70 \text{ kNm}^{-2}$



Obrázek 29 - schéma rozmístění provozního stálého zatížení



Obrázek 30 - provozní stálé



Obrázek 31 - schéma rozmístění stálého provozního a nahodilého provozního zatížení



Obrázek 32 - stálé provozní + nahodilé provozní



Obrázek 33 - schéma rozmístění sestavy A

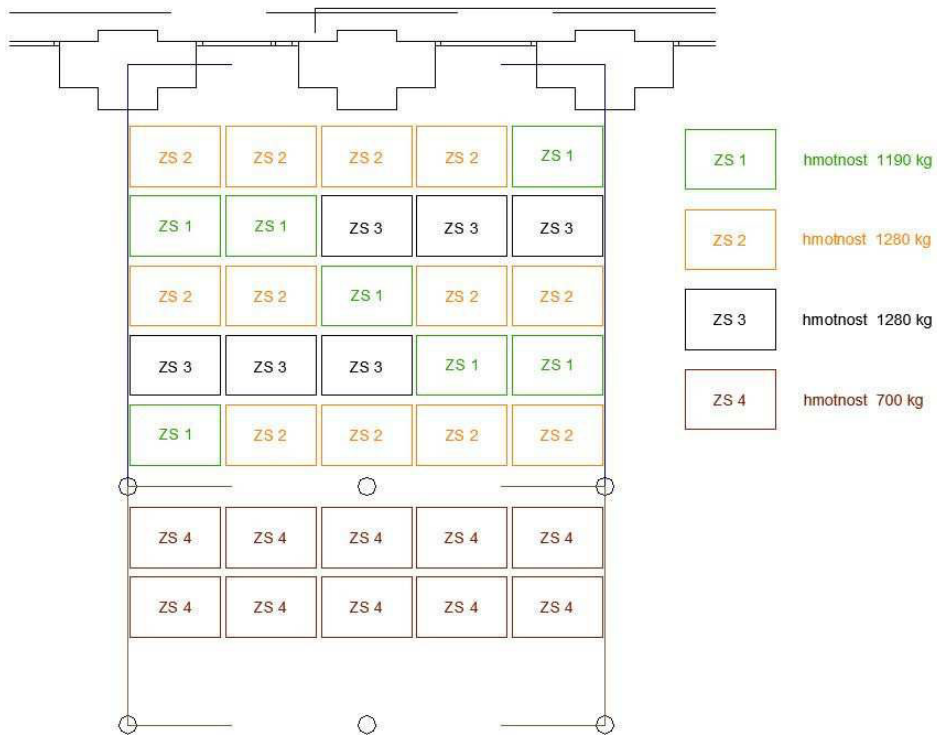


Obrázek 34 - zkušební zatížení, sestava A

Stropní deska, sestava A+B

Zatížení stropní desky v předepsaném místě A + B bylo realizováno formou plošného zatížení o předepsané intenzitě viz příloha A. V průběhu zatěžovací zkoušky byly pro vyhodnocení zatěžovací zkoušky sledovány následující zatěžovací stavy:

- zatížení na hodnotu extrémního nahodilého zatížení v poli A 10,2 kNm^{-2}
- zatížení na dosaženou hodnotu ve 2/3 pole B dle schématu v příloze A 5,40 kNm^{-2}



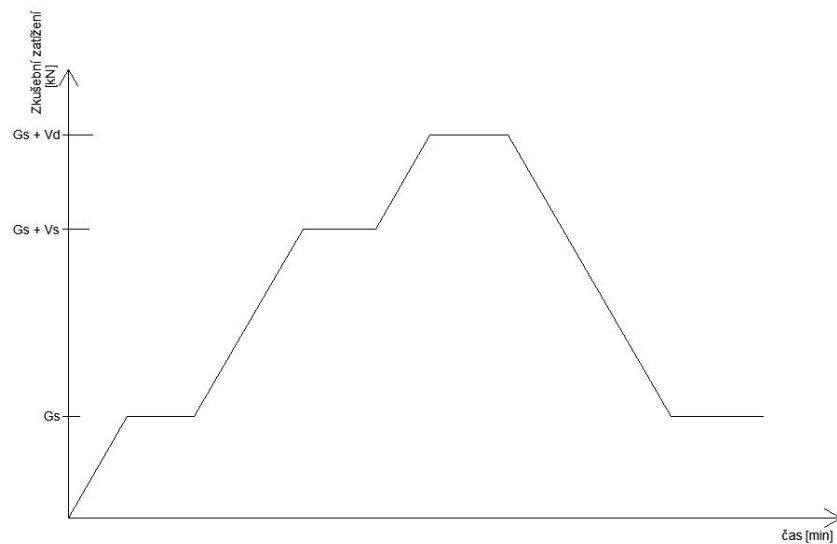
Obrázek 35 - rozmístění sestavy A+B



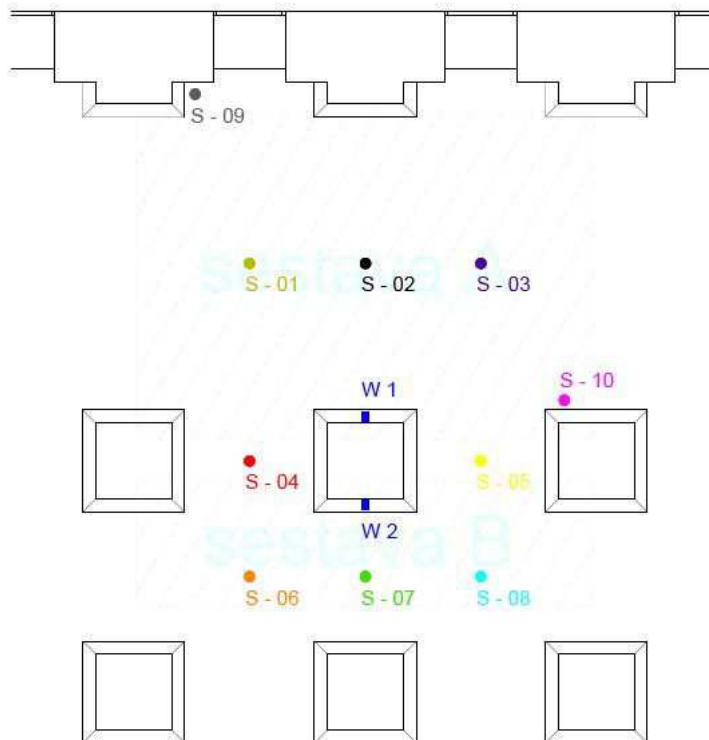
Obrázek 36 - Zkušební zatížení, sestava A+B

5.5 Zatěžovací zkouška

Podle aktuální platné normy ČSN 73 2030 [1] byla zkouška realizována, jako zatěžovací zkouška bez dosažení únosnosti. Zatížení na desku bylo realizováno, jako spojitě rovnoměrné. Rozmístění snímačů je uvedeno na obr. 38.



Obrázek 37 - průběh zatížení v závislosti na čase



Obrázek 38 - rozmístění snímačů

S_i... potenciometr

w_j... indukční snímač

5.6 Vyhodnocení naměřených dat

Podle ČSN 73 2030 [1] čl. 3.1 bylo účelem realizovaných zatěžovacích zkoušek posouzení spolehlivosti stávajících vodorovných nosných konstrukcí v případě, že není možno bezpečně zjistit všechny potřebné parametry pro výpočet.

Podle ČSN 73 2030 [1] čl. 3.2.1 se jedná o zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti posuzovaných konstrukčních prvků.

Spolehlivost prvku z hlediska mezního stavu únosnosti, pokud je zkouška realizována bez dosažení meze únosnosti, je prokázána, pokud splňuje kritérium b) čl. 6.3 ČSN 73 2030 [1].

Tato norma jasně udává: při zatížení na hodnotu odpovídající provozní součtu hodnot stálého a extrémní hodnoty nahodilého (užitého) zatížení a následném odlehčení je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením (průhybem) menší než λ_1 viz dílčí hodnoty vyhodnocení jednotlivých typů konstrukcí.

Zatěžovací zkoušky byly realizovány na konstrukcích reálně zatížených stálým zatížením od vlastní tíhy konstrukčních prvků a stávajících skladby podlah.

Podle čl. 4.1 bod f) a čl. 6.3 až 6.6 ČSN 73 2030 [1] (viz předcházející text tohoto oddílu) zvolena pro vyhodnocení zkoušek následující kritéria:

- Trvalá deformace po odtížení zatěžovaného prvku je menší než hodnota součinitele λ_1 , který je proměnný dle jednotlivých zatěžovacích stavů a je určován podle 4.3.1 b)
- Na zkoušeném prvku nevzniknou smykové nebo tahové trhliny větší než 0,2 mm.

V případě zjištění neshody s některým z výše uvedených kritérií je výsledek zkoušky považován a hodnocen jako nevyhovující.

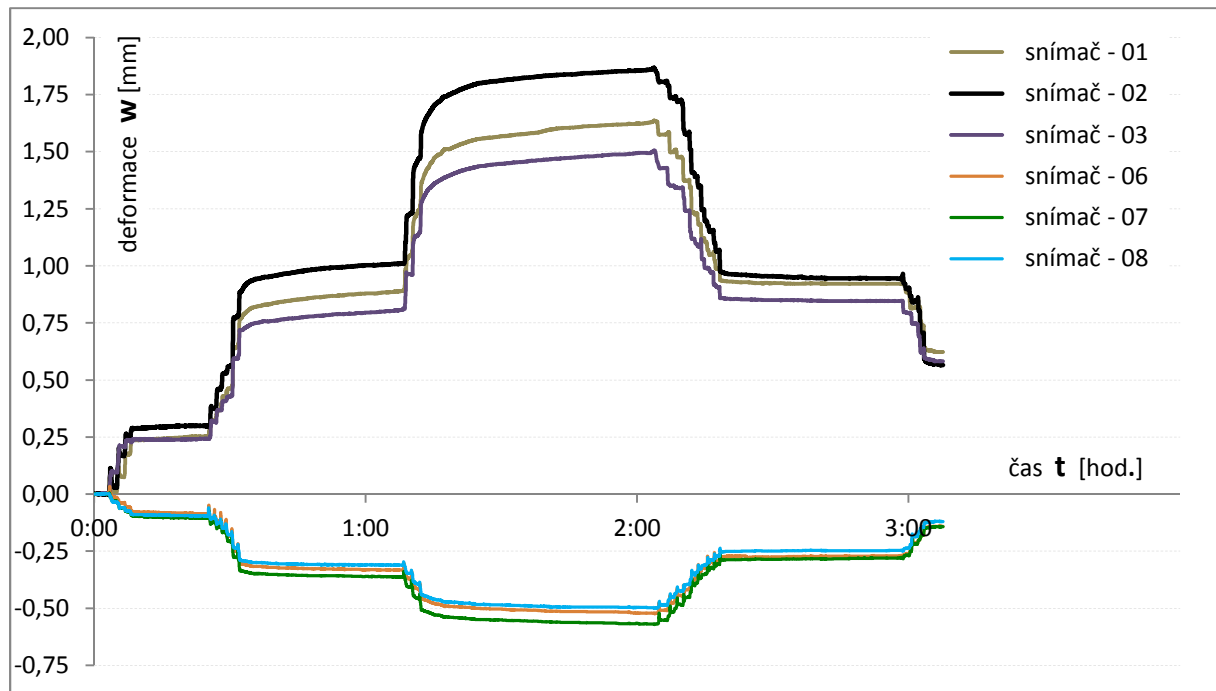
5.6.1.1 Stropní deska v sestavě A

V průběhu zatěžovacích zkoušek stropních desky nebyly zaznamenány trhliny při postupném zatížení.

Celkové hodnoty naměřených deformací se pohybují v hodnotách do 2 mm, což je hodnota výrazně nižší nežli 1/600 světlého rozpětí zkoušeného prvku v kratším rozponu

Tab. 7.1 Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek stropní desky v sestavě A

popis měřeného místa	deformace prvku					vyhodnocení			
	ZATÍŽENÍ G_s	ZATÍŽENÍ Q_s	ZATÍŽENÍ Q_d	ODTÍŽENÍ G_s	trvalá deformace	celková deformace	poměr trvalé a celkové deformace	součinitel λ_1	hodnocení (kritérium)
					S_r	S_{tot}	S_r / S_{tot}	λ_1	$S_r / S_{tot} < \lambda_1$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]
snímač 1	0.253	0.890	1.636	0.921	0.668	1.382	0.483	0.274	NE
snímač 2	0.297	1.011	1.867	0.945	0.648	1.570	0.412	0.274	NE
snímač 3	0.241	0.813	1.505	0.846	0.604	1.264	0.478	0.274	NE
snímač 6	-0.085	-0.333	-0.521	-0.270	-0.185	-0.436	0.425	0.274	NE
snímač 7	-0.098	-0.364	-0.568	-0.280	-0.182	-0.471	0.387	0.274	NE
snímač 8	-0.076	-0.311	-0.497	-0.247	-0.170	-0.420	0.405	0.274	NE



Obrázek 39 - průběh deformace první zkoušky v závislosti na čase

Z provedené zatěžovací zkoušky sestavy A lze vyzorovat nesoulad z hlediska vyhodnocení součinitele γ_1 . Z provedené zatěžovací zkoušky lze vyslovit následující fakta:

- v případě postupu vyhodnocení dle kritérií uvedených ve vzorcích 5.1 a 5.2 je provedená zatěžovací zkouška nevyhovující
- v případě stanovených hodnot poměrů trvalé a celkové deformace v rozmezí $\gamma_1 < s_r/s_{tot} < 2\gamma_1$ lze zatěžovací zkoušku opakovat při snížení hodnoty součinitele γ_1 na jeho polovinu

Z důvodu velmi nízkého stáří konstrukce se jedná o očekávaný průběh vyhodnocení zatěžovací zkoušky a to především z následujících důvodů:

- vysoká tuhost stropní desky (na tuto skutečnost poukazují velmi malé celkové deformace dosažené při maximálním zatížení)
- stropní deska po jejím zhotovení nebyla před provedenou zatěžovací zkouškou podrobena zatížení o vyšších intenzitách

Z výše popsaných důvodů a splnění podmínky pro opakovatelnost zkoušky vycházející z předpokladu hodnot poměrů trvalé a celkové deformace v rozmezí $\gamma_1 < s_r/s_{tot} < 2\gamma_1$ lze opakování zkoušky se sníženou hodnotou součinitele γ_1 doporučit

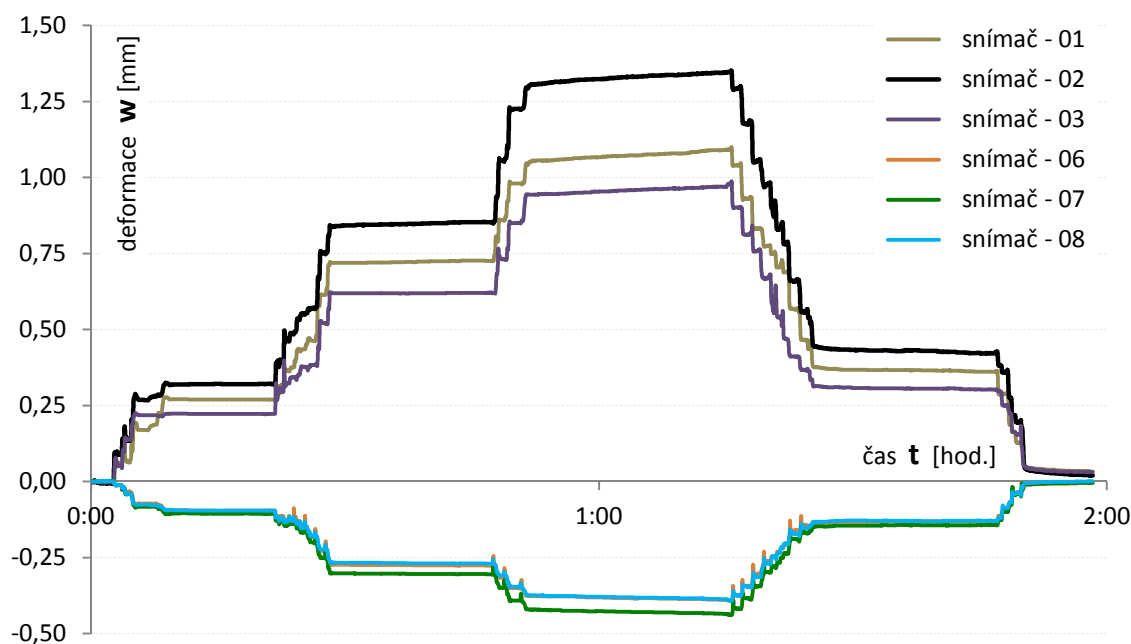
5.6.1.2 Stropní deska v sestavě A, opakovaná zkouška

V průběhu opakované zatěžovací zkoušky stropní desky nebyly zaznamenány trhliny při postupném zatížení.

Celkové hodnoty naměřených deformací se pohybují v hodnotách do 2 mm, což je hodnota výrazně nižší nežli 1/600 světlého rozpětí zkoušeného prvku v kratším rozponu

Tab. 7.2 Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek stropní desky v sestavě A, opakovaná zkouška

popis měřeného místa	deformace prvku					vyhodnocení			
	ZATÍŽENÍ G_s	ZATÍŽENÍ Q_s	ZATÍŽENÍ Q_d	ODTÍŽENÍ G_s	trvalá deformace	celková deformace	poměr trvalé a celkové deformace	součinitel λ_1	hodnocení (kritérium)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	S_r	S_{tot}	S_r / S_{tot}	λ_1	$S_r / S_{tot} < \lambda_1$
snímač 1	0.270	0.727	1.092	0.361	0.091	0.822	0.111	0.137	ANO
snímač 2	0.321	0.854	1.347	0.422	0.101	1.026	0.098	0.137	ANO
snímač 3	0.222	0.620	0.978	0.303	0.081	0.756	0.107	0.137	ANO
snímač 6	-0.095	-0.275	-0.391	-0.131	-0.036	-0.296	0.121	0.137	ANO
snímač 7	-0.106	-0.304	-0.438	-0.142	-0.036	-0.332	0.109	0.137	ANO
snímač 8	-0.096	-0.270	-0.391	-0.128	-0.033	-0.295	0.110	0.137	ANO



Obrázek 40 - průběh deformace opakované zkoušky v závislosti na čase

Z provedené opakované zatěžovací zkoušky sestavy A lze vypočítat velmi významné snížení hodnot celkové deformace.

Poměr trvalé a celkové deformace byl při opakované zatěžovací zkoušce v maximální hodnotě 11,1%, přičemž přísně kritérium dovolovalo hodnotu 13,7%. V průběhu provádění zatěžovací zkoušky nebyly zjištěny žádné trhliny popř. deformace v uložení.

Z výše uvedených důvodů lze opakovanou zatěžovací zkoušku vyhodnotit jako vyhovující.

5.7 Stropní deska v sestavě A + B,

Cílem zatěžovací zkoušky stropní desky v sestavě A+B bylo maximálně desku přitížit v okolí podepření desky. Podepření je realizováno stávajícími zděnými pilíři v 1. PP objektu.

Při zatěžovacím stavu A+B byly sledovány jednak deformace desky totožné s provedenou sestavou A. Dále bylo provedeno svislé měření posunu desky vůči zděnému pilíři.

6 Závěr

Cílem této práce bylo seznámení s metodikou zatěžovacích zkoušek, optimalizací zkušebního zatížení, získat přehled o normativních dokumentech souvisejících k ČSN 73 2030 a provést vyhodnocení zatěžovací zkoušky in-situ.

Během provádění zatěžovací zkoušky nedošlo k závažnějšímu narušení konstrukce, které by mohlo ovlivnit hodnocení konstrukce, tedy nebyly zjištěny trhliny v betonové desce ani ve zdivu.

Při první zatěžovací zkoušce byl zjištěn poměr trvalých a celkových deformací větší než přípustný λ_1 , ale menší než $2\lambda_1$. Dle ČSN 73 2030 čl. 6.3, se mohlo přistoupit k opakování zkoušky. Druhou zkouškou byla zkoušená konstrukce dle čl. 6.3, b) ČSN 73 2030 shledána za vyhovující z hlediska mezního stavu únosnosti. Konstrukce tak vyhovuje pro stanovenou intenzitu stálých a užitných zatížení, dle účelu konstrukce. Průhyby se pohybovaly do 2 mm, tj. 24 % povolené hodnoty průhybů. Doporučují se provést nutné sanační úpravy povrchu beton v podobě krycí vrstvy c_{min} stanovené na základě ČSN EN 1992-1-1, aby se dosáhlo požadované trvanlivosti konstrukce. Veškeré stavební úpravy nosné stropní konstrukce, popř. zásahy do ní (prostupy, otvory atd.) je nutné bezpodmínečně konzultovat se statikem.

V Příloze A je uvedeno rozmístění zatěžovacích sestav. zatěžovací sestavy byly voleny s ohledem na pracovní prostor, ukládání palet probíhalo symetricky. Při zkoušce nebyly zjištěny materiálové charakteristiky výztuže a betonu, proto nebyl proveden posudek únosnosti konstrukce dle teorie železobetonu.

7 Použitá literatura

- [1] ČSN 73 2030. Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 1993. . 16 s.
- [2] ČSN ISO 13822 - Zásady navrhování - Hodnocení existujících konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2005. 72 s.
- [3] ČSN EN 1990 - Zásady navrhování, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2011. 100 s.
- [4] ČSN EN 1991-1. Zatížení stavebních konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení, Objemové tíhy, vlastní tíha, a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004. 44 s.
- [5] ČSN EN 1992 - Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006. 210 s.
- [6] SCHMID, Pavel. Zkušebnictví a technologie, Modul BI02-M02. Brno: Nakl. CERM, 2005. 48 s.
- [7] SCHMID, Pavel. Diagnostika Stavebních konstrukcí, kap.7. Brno: Nakl. CERM, 2005. s. 57-78.
- [8] BAŽANT, Zdeněk. ZICH, Miloš. Plošné betonové konstrukce nádrže a zásobníky. Brno: Akademické vydavatelství CERM, 2010. 161 s.
- [9] HOŘEJŠÍ, Jiří. Šafka, Jan. Statické tabulky. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987. 685 s.
- [10] ČSN 73 2031. Zkoušení stavebních objektů, konstrukcí a dílců. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1985. 16 s.
- [11] ČSN 73 2031. Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí, Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977. 34 s.

8 Seznam www odkazů:

<http://www.kompozity.infoindex.phppr=44&uid=>

<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/profesionalni-merici-technika-cst-berger/>