



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

**POSOUZENÍ A ZESÍLENÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE  
S PŘEDPJATÝMI VAZNÍKY**

ASSESSMENT AND THE STRENGTHENING OF THE TRUSS CONCRETE ROOF  
STRUCTURE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Jakub Rulíšek

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

**BRNO 2022**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3608R001 Pozemní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Jakub Rulišek
<b>Název</b>	Posouzení a zesílení střešní konstrukce s předpjatými vazníky
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2021
<b>Datum odevzdání</b>	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

---

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Stavební podklady – situace, půdorysy, řezy, skladby

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro jednopodlažní vícelodní halový objekt posuďte část jeho nosné konstrukce a případně navrhňte zesílení.

Proveďte statické řešení a dimenzování vybrané části: příhradové spínané vazníky, prvky střešního pláště v rozsahu určeném vedoucím práce. Statickou analýzu proveďte v některém programovém systému pro výpočet konstrukcí (včetně kontroly zjednodušenou metodou).

Vypracujte výkres tvaru dimenzované části konstrukce a podrobné výkresy zesilovaných částí včetně výkresů výztuže.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím práce).

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Má bakalářská práce je zaměřena na zpětný návrh a posouzení příhradových předpjatých vazníků, které slouží jako střešní konstrukce halového objektu depa MHD v Brně v Medlánkách. Cílem této práce je posouzení konstrukce podle současně platných norem, stanovení vlivu potencionálně špatného stavu předpínací výztuže na stabilitu konstrukce a konstrukční návrh dodatečného předpětí za účelem zajištění bezpečnosti vazníku.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Stávající konstrukce, předpjatý beton, beton, železobeton, příhradový vazník, koroze, předpjatý vazník, zpětný návrh, posouzení.

## ABSTRACT

My bachelor thesis is focused on the retrospective design and assessment of lattice prestressed trusses that serve as the roof structure of the hall building of the public transport depot in Brno in Medlánky. The aim of this thesis is to assess the structure according to currently valid standards, to determine the influence of potentially poor condition of the prestressing reinforcement on the stability of the structure and to design additional prestressing to ensure the safety of the truss.

## KEYWORD

Existing structures, prestressed concrete, concrete, reinforced concrete, lattice truss, corrosion, prestressed truss, retrospective design, assessment.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jakub Rulišek *Posouzení a zesílení střešní konstrukce s předpjatými vazníky*. Brno, 2022. 14 s., 100 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Posouzení a zesílení střešní konstrukce s předpjatými vazníky* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 6. 5. 2022

---

Jakub Rulíšek  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Posouzení a zesílení střešní konstrukce s předpjatými vazníky* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6. 5. 2022

---

Jakub Rulíšek  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ladislavu Klusáčkovi, CSc. za ochotnou pomoc, cenné rady, poskytnuté zkušenosti a velice vlídný přístup, kterými velikou mírou přispěl k vypracování této práce.

# OBSAH

<b>Obsah .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Technická zpráva.....</b>	<b>10</b>
2.1 Identifikační údaje .....	10
2.2 Konstrukční systém .....	10
2.3 Průzkum na místě .....	10
2.4 Použité materiály.....	10
2.5 Zpětný návrh .....	10
2.6 Posouzení dle současných norem.....	11
2.7 Výpočet zatížení .....	11
2.7.1 Zpětný návrh .....	11
2.7.2 Posouzení podle současných norem.....	11
2.8 Uvážení vlivu koroze .....	12
2.9 Návrh zkoušky .....	12
2.10 Návrh dodatečného předpětí.....	12
<b>3. Závěr.....</b>	<b>13</b>
<b>4. Seznam příloh .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Bibliografie .....</b>	<b>14</b>

## **1. ÚVOD**

Bakalářská práce se zabývá analýzou a návrhem zesílení střešní konstrukce depa MHD v Brně v Medlánkách. Zájem o provedení zakázky přišel od investora z důvodu upozornění na častý kolaps konstrukcí tohoto typu od Ministerstva pro místní rozvoj. Naprosto chybějící jakákoliv dokumentace práci podstatně ztížila, z tohoto důvodu jsem byl nakonec donucen přistoupit ke zpětnému návrhu podle norem platných v roce 1960, což byl rok výstavby haly.

Dále takto navržený vazník posuzuji podle současných norem, zároveň zjistím vliv koroze předpínací výztuže na mezní stav únosnosti a konstrukčně navrhnu dodatečné předpětí vazníku.

## 2. TECHNICKÁ ZPRÁVA

### 2.1 Identifikační údaje

Název stavby: Depo MHD v Brně v Medlánkách  
Adresa stavby: Hudcova 390, 612 00 Brno-Medlánky  
Rok výstavby: 1960

### 2.2 Konstrukční systém

Hala je tvořena skeletovým systémem s příhradovými prefabrikovanými předpjatými vazníky spínanými ze dvou částí, tyto vazníky jsou přivařeny pomocí ocelových úhelníků uložených v patě vazníku k ocelové plotně, kterou je opatřena hlava sloupu. Střešní konstrukce je dále tvořena prefabrikovanými železobetonovými vaznicemi, na kterých jsou uloženy číževiské desky zalité lehčeným betonem, následuje souvrství střechy s tepelně izolační vrstvou z papírové lepenky napouštěné v asfaltu a se střešní krytinou z asfaltových pásů.

Vazník je předepnut pomocí dvou kabelů z patentových drátů umístěných symetricky v těžišti spodní horizontály.

### 2.3 Průzkum na místě

Po zjištění absence jakékoliv dokumentace jsme se vydali na místo zaměřit geometrický tvar haly a vazníků, nebyly prováděné žádné zkoušky materiálů ani odkrývání výztuže. Veškerá analýza konstrukce byla tedy jen vizuální a výpočetní.

Z pořízených fotografií a změřených rozměrů bylo možno postoupit k zpětnému návrhu vazníku.

### 2.4 Použité materiály

Materiály použité na vazník jsou pouze odhadovány kvůli nemožnosti provedení jakýchkoliv zkoušek na místě. Materiálové charakteristiky byly čerpány z ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí

Předpokládané materiály:

Beton: C23/28 tehdejší značení g

$f_{ck}=23$  MPa

Ocel: 10 370

$f_{yk}=210$  MPa

Předpínací výztuž: PD 4,5 mm

$f_{pk}=1650$  MPa

$E=190$  GPa

### 2.5 Zpětný návrh

Z důvodu chybějící dokumentace a nemožnosti provést zkoušky na místě, jsem přistoupil k zpětnému návrhu vazníku.

Zpětný návrh spočíval v tom, že jsem využil geometrické zaměření konstrukce, pomocí normy ČSN 1050-1950 jsem dopočítal zatížení působící na vazník a tím jsem zjistil vnitřní síly. Konstrukci jsem zjednodušil, aby byla staticky určitá, a uvažoval jsem ji jako příhradovou. Průsečnou metodou jsem dopočítal vnitřní síly na každém prutu, navrhl jsem předpětí, tak aby při maximálním zatížení, nekleslo tlakové napětí ve spodní horizontále pod 1 MPa, přepočítal jsem vnitřní síly a na tento stav jsem navrhl výztuž do tažených prvků a posoudil, jestli vyhoví tláčené prvky na vzpěr.

## 2.6 Posouzení dle současných norem

V této části jsem vazník vymodeloval v programu SCIA engineer, uvažoval jsem ji jako rámovou konstrukci nikoliv jako příhradovou, což vedlo k namáhání prutů i ohybovým momentem. Po výpočtu zatížení, jsem začal posuzovat jednotlivé prvky interakčním diagramem. Zjistil jsem, že co do únosnosti prvky vyhoví a ke kolizi vazníku by dojít nemělo, ale ukázalo se, že pakliže nastane zatížení uvažované podle kombinace 6.10 vznikne ve spodní horizontále tahové napětí, což určitě povede k otevření spáry mezi dvěma částmi vazníku a ke vzniku tahových prasklin v betonu.

Velikým rozdílem oproti zpětnému návrhu bylo zatížení větrem v kombinaci K2, které konstrukci odlehčuje, to vede ke zmenšení tlakových napětí v některých prvcích, a tím dochází ke zvýšení vlivu momentů (viz interakční diagramy v příloze 2). Prvky nakonec i s vlivem větru vyhověly.

## 2.7 Výpočet zatížení

### 2.7.1 Zpětný návrh

Pro zpětný návrh bylo zatížení počítáno podle normy ČSN 1050-1950 Zatížení stavebních konstrukcí.

Tato norma předepisuje pro řešenou stavbu objemové tíhy, užitná zatížení sněhem a větrem. Zatížení větrem nebylo v tomto případě uvaženo, protože pro ploché střechy tato norma uvádí pouze zanedbatelné hodnoty.

### 2.7.2 Posouzení podle současných norem

#### Zatížení sněhem

Zatížení sněhem bylo počítáno dle ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Svoji polohou spadá stavba do sněhové oblasti II, které odpovídá  $s_k=0,75 \text{ kN/m}^2$

#### Zatížení větrem

Zatížení větrem bylo počítáno dle ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Vliv sedlových světlíků jsem do výpočtu zahrnul jako sedlovou střechu. Maximální dynamický tlak vyšel  $703,46 \text{ kN/m}^2$ .

#### Užitné zatížení

Norma ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Č (1)ást 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb předepisuje pro nepochůzí ploché střechy použít sílu  $1 \text{ kN}$  v nejnepríznivější poloze.

#### Kombinace zatížení

Kombinace byly sestaveny podle rovnice 6.10 z normy ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí. Tyto klíče těchto kombinací jsou součástí reportu z programu SCIA engineer, který je součástí práce jako příloha číslo 3.

## 2.8 Uvážení vlivu koroze

Součástí posouzení vazníku v příloze 2 je i uvážení vlivu koroze předpínací výztuže. Koroze je uvážena ve třech variantách, a to lokální koroze, koroze na dvou metrech délky uprostřed rozpětí a koroze po celé délce kabelů.

U lokální koroze jsem stanovil, o kolik se musí zmenšit poloměr každého z drátů, aby došlo k přetržení kabelů. Předpokládal jsem, že lokální zmenšení průřezové plochy drátů povede k zvyšování napětí na zbylé ploše kabelů.

U koroze na dvou metrech délky kabelu jsem uvažoval tak, že zmenšení průřezové plochy drátů povede v takovém průřezu ke zvýšení napětí, to povede k prodloužení této části a ke zkrácení zbytku předpínacích kabelů, s tímto zkrácením nastane i pokles předpínací síly, to povede ke vzniku tahových sil uprostřed vazníku, kde posoudím předpínací kabely na mezní napětí. Tuto variantu uvážím v možnostech s omezením plochy drátů koroze o 1 a 5 %.

U koroze po délce kabelu jsem uvažoval kosinusové rozdělení napětí po ploše drátů, což nepříznivě zvyšuje vliv koroze na velikost předpínací síly. Korozi jsem uvážil ve dvou stádiích a to odkorodování 1 % plochy kabelů a 5 % plochy kabelů. V této variantě koroze jsem předpokládal, že snížením plochy drátů v kabelech po celé délce dojde ke snížení předpínací síly, to povede k otevření spáry uprostřed vazníku. Při korozi 1 % dojde pouze k otevírání spáry uprostřed rozpětí, u 5 % koroze by ale už došlo k přetržení kabelů a ke kolizi konstrukce.

## 2.9 Návrh zkoušky

Součástí přílohy 2 je i návrh zkoušky, která by měla sloužit jako ověření správnosti zpětného návrhu výztuže. Jedná se o zátěžovou zkoušku, kde se při postupném zvyšování zatížení na vazník budou měřit průhyby ve styčnicích a poté budou porovnány s hodnotami z modelu ve SCII. Podle odchylek těchto hodnot se stanoví, jestli jsou předpokládané materiálové charakteristiky a výpočty správné.

Zkouška, včetně podpůrných konstrukcí pro případ zřícení, je zakreslena ve výkrese číslo 5.2.

## 2.10 Návrh dodatečného předpětí

Poslední kapitolou v posouzení vazníku v příloze 2 je i konstrukční popis návrhu dodatečného předpětí vazníku. Volil jsem mezi dvěma variantami, a to mezi umístěním předpínacích lan na boky spodní horizontály vazníku, nebo umístění lan na horní povrch horizontály s překřížením lan mezi sloupky, tuto variantu jsem nakonec zvolil a zakreslil do výkresu číslo 5.3. Použil jsem předpínací lana typu monostrand Y1860 S7. Ohyby lan kolem sloupků jsou zajištěny pomocí ohýbané trubky, jejíž poloměry uvádím ve výkrese. Kotvení lan bude pomocí aktivních kotev na roznášecí desky umístěné v betonových blocích na koncích vazníku, tyto bloky je nutné vybetonovat na místě a spráhovacími trny zajistit jejich propojení s betonem vazníku. Výztuž bude chráněna vybetonovanou 5 cm krycí vrstvou. Napínání bude probíhat z jednoho konce z důvodů nutnosti vyříznout otvor pro předpínací pistoli do obvodového pláště.

### **3. ZÁVĚR**

Z výpočtů v této bakalářské práci vyplývá, že v případě nezkorodované výztuže nehrozí zřícení konstrukce, vzhledem ale ke špatnému stavu střešního pláště a stopám po zatékání objevených při první návštěvě haly lze korozi výztuže očekávat. V takovém případě je nutné vazník dodatečně předeprnout a nahradit tak funkci poškozené předpínací výztuže, u takového kroku bych doporučil mnou navržené konstrukční řešení, které jsem zakreslil do výkresu číslo 5.3, výpočty je ale nejdříve nutné ověřit navrženou zatěžovací zkouškou.

## 4. SEZNAM PŘÍLOH

- 1.) Zpětný návrh vazníku
- 2.) Posouzení vazníku dle aktuálních norem
- 3.) Report ze SCIA engineer
- 4.) Fotodokumentace
- 5.) Výkresová část
  - 5.1) Výkres řezu halou
  - 5.2) Výkres zatěžovací zkoušky
  - 5.3) Výkres dodatečného předpětí

## 5. BIBLIOGRAFIE

1. **Ústav pro technickou normaizaci, metrologii a státní zkušebnictví. ČSN EN 1991-1-1** Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
2. **Vácha, Ing. Jaroslav.** *Předpjatý beton pro mostní stavby.* místo neznámé : VUT v Brně, 1984.
3. **Hruban, Ing. dr. techn. Konrád.** *Navrhování betonových konstrukcí podle stupně bezpečnosti.* Praha : Vědecko-technické nakladatelství Praha, 1950.
4. **Doc. ing. Zdeněk Kaucký, Csc.** *Navrhování konstrukcí z předpjatého betonu podle ČSN 73 1251.* Praha : SNTL, 1970.
5. **Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státního zkušebnictví. ČSN EN 1992-1-1** *Navrhování betonových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.*
6. **Ústav pro technickou normaizaci, metrologii a státní zkušebnictví. ČSN EN 1991-1-4** *Zatížení konstrukcí – Obecná část – Zatížení větrem.* 2020.
7. **Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státního zkušebnictví. ČSN EN 1991-1-3-** *Zatížení konstrukcí – Šást 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem.*
8. **Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státního zkušebnictví. ČSN 73 6221** *Prohlídky mostů pozemních komunikací.*
9. **Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. ČSN 73 0038-** *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí.* Praha : autor neznámý, 2019.
10. **Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státního zkušebnictví. ČSN 1050-1950-** *Zatížení staveb.* Praha : autor neznámý, 1950.