



# 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

## STATICKÉ ŘEŠENÍ MONTOVANÉ HALY

STATIC SOLUTION OF PREFABRICATED HALL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Koníček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILOŠ ZICH, Ph.D.

BRNO 2020



# 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>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Jakub Koníček
<b>Název</b>	Statické řešení montované haly
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2019
<b>Datum odevzdání</b>	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

---

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

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební podklady
2. Normy pro navrhování betonových konstrukcí ČSN a EN
3. L. Gřenčík: Betonové konstrukce II. SNTL/ALFA 1986
4. D. Majdúch: Zásady vystužování betónových konstrukcí. ALFA 1984.
5. Vhodné výpočetní programy (např. Nexis, SCIA, Idea Statica apod.)
6. Zich M., Bažant Z., Montované betonové konstrukce, CERM 2018.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracovat stavební a konstrukční návrh prefabrikovaných prvků haly se zaměřením na řešení vaznic pomocí nelineárních programů. Řešení provést včetně nezbytné výkresové dokumentace (výkresy tvaru a výztuže). Rozsah bakalářské práce stanoví vedoucí práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1) Použité podklady

P2) Statický výpočet

P3) Výkresová dokumentace

P4) .....

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. Miloš Zich, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce se zabývá návrhem a optimalizací vybraných konstrukčních prvků těžkého montovaného skeletu vysoce zatížené skladovací haly. Podkladem pro řešení je konstrukce skutečné skladovací haly projektované v letech 2017-2018. Při návrhu prvků je kladen důraz na dosažení minimální hmotnosti konstrukce. Při této snaze u prefabrikátů často dochází ke vzniku tzv. D-oblastí. K jejich řešení jsou v bakalářské práci používány obecné metody řešení betonových konstrukcí jako metody příhradové analogie, nebo nelineární analýza metodou konečných prvků. Navržené konstrukční prvky jsou nakonec srovnány se skutečně navrženým řešením referenční skladovací haly. Součástí práce jsou statické výpočty střešní vaznice a stropního trámu/stropnice s rozpony 24 m, výkresová dokumentace haly a prefabrikátů v patřičném rozsahu, technická zpráva. K řešení bylo využito programů SCIA Engineer 18.1, Idea StatiCa Beam10.1, Idea StatiCa Detail 10.1, RIB Fermo, PTC MathCad a MS Excel.

## **Abstract**

The presented thesis deals with design and optimization of selected structural elements of high-load storage hall skeleton. As a basis for the solution is taken the structure of a real storage hall designed in the years 2017-2018. The structure is designed for minimum weight. For this reason, so-called D-regions are formed on the structure. For the solution of D-areas, general methods of solution, such as STM or nonlinear FEM analyses, are used in the thesis. In the final designed structural elements are compared to the original design of the hall. Thesis include static calculation of 24 m long roof beam V1, static calculation of 24 m long ceiling beam ST1, drawing documentation and technical report. Programs were used for the calculation: SCIA Engineer 18.1, Idea StatiCa Beam10.1, Idea StatiCa Detail 10.1, RIB Fermo, PTC MathCad and MS Excel.

## **Klíčová slova**

Předpjatý beton, železobeton, montovaný skelet, těžký montovaný skelet, prefabrikát, skladovací hala, prefa-monolitický strop, betonová vaznice, předpjatá betonová stropnice, spřažená stropnice, vaznice s náběhy, vaznice s velkými vylehčovacími otvory, příhradová analogie, STM, B-oblasti, D-oblasti, vyztužení ozubu, vyztužení náběhu, nelineární analýzy, optimalizace, topologická optimalizace, redukce posouvající síly v náběhu, interakce smyku a ohybu, stabilita nosníku během výstavby, výztuž, ocel, zatížení, ohybový moment, posouvající síla, dimenzování

## **Keywords**

Prestressed concrete, reinforced concrete, prefabricated skeleton, heavy prefabricated skeleton, storage hall, prefa-monolithic ceiling, concrete roof beam, prestressed concrete ceiling beam, composite ceiling beam, haunched roof beam, roof beam with large web openings, strut and tie method, STM, B-region, D-region, dapped reinforcement, haunch reinforcement, nonlinear analysis, optimization, topologic optimization, shear force reduction in hunch, shear and bending interactions, beam stability during construction, reinforcement, steel, load, bending moment, shear force, dimensioning

### **Bibliografická citace VŠKP**

Jakub Koníček. Statické řešení montované haly. Brno, 2020. 24 s., 171 s. příloh. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavení, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

**Prohlášení**

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

V Brně 05.2020

Jakub Koníček: .....

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Miloši Zichovi, Ph.D za jeho rady, připomínky a obrovskou ochotu, se kterou mou bakalářskou práci vedl. Díky rovněž patří doc. Ing. Jaroslavu Navrátilovi, CSc, který mě v samých počátcích zpracování daného tématu pomocí STM a nelineárních metod utvrdil ve správnosti zvolené cesty. Velké díky patří i společnosti S-Projekt Zlín, zejména Ing. Přemyslu Gajdošíkovi, jelikož bez příležitostí a zkušeností, které jsem díky nim mohl získat by tato práce jistě nevznikla.



## Obsah

<b>1</b>	<b>PRŮVODNÍ ZPRÁVA</b>	<b>10</b>
1.1	POUŽITÉ NORMY A LITERATURA	10
1.2	POUŽITÝ VÝPOČETNÍ SOFTWARE	10
1.3	PODKLADY	10
1.4	POŽADAVEK ZADAVATELE (INVESTORA) A TÍM VZNIKLÁ PROBLEMATIKA	10
1.5	POPIS KONSTRUKCE	11
1.5.1	CELKOVÉ ŘEŠENÍ	11
1.5.2	SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE	11
1.5.3	VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE	12
1.6	ZÁKLADNÍ NÁVRHOVÉ PARAMETRY	13
1.7	IDENTIFIKACE RIZIK	13
1.8	ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY	13
1.8.1	BETON	13
1.8.2	BETONÁŘSKÁ OCEL	13
1.8.3	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ	13
<b>2</b>	<b>POPIS DÍLCŮ A MONTÁŽE</b>	<b>14</b>
2.1	SLOUPY	14
2.2	PŘEDPJATÉ NOSNÍKY	14
2.3	ŽELEZOBETONOVÉ NOSNÍKY	15
2.4	PREFA-MONOLITICKÁ SPŘAŽENÁ STROPNÍ DESKA	15
<b>3</b>	<b>ZATÍŽENÍ</b>	<b>16</b>
3.1	STÁLÁ ZATÍŽENÍ	16
3.1.1	STÁLÁ ZATÍŽENÍ STŘECHY	16
3.1.2	STÁLÁ ZATÍŽENÍ STROPU SKLADU	16
3.2	PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	17
3.2.1	DYNAMICKÝ TLAK VĚTRU	17
3.2.2	TÍHA SNĚHU NA STŘEŠE	18
3.2.3	PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ NA STŘEŠE	18
3.2.4	PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ NA STROPU	18
3.2.5	PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ SCHODIŠTĚ	18
3.2.6	PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ STROPU PŘÍSTAVKU	18
<b>4</b>	<b>MODELOVÁNÍ A STATICKÁ ANALÝZA</b>	<b>19</b>
4.1	MODELY VYUŽITÍ PRO ŘEŠENÍ	19
4.2	GLOBÁLNÍ MODEL HALY	19
4.3	STM VAZNICE V1 A STROPNICE ST1	20
4.4	MNM MODELY VAZNICE V1 A STROPNICE ST1	21
4.5	TDA MODELY STROPNICE ST1	22
<b>5</b>	<b>ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR</b>	<b>23</b>





---

<b>5.1</b>	<b>ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ</b>	<b>23</b>
5.1.1	VHODNOST POUŽITÝCH METOD	23
5.1.2	VAZNICE	23
5.1.3	STROPNICE A STROP SKLADU 190	23
<b>5.2</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>24</b>

# 1 Průvodní zpráva

## 1.1 Použité normy a literatura

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991 – 1 – 1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991 – 1 – 3 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991 – 1 – 4 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1991 – 1 – 6 Zatížení konstrukcí – Část 1-6: Zatížení konstrukcí během provádění
- [6] ČSN EN 1992 – 1 – 1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] ČSN EN 1992 – 2 Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady
- [8] ČSN EN 1992 – 4 Navrhování betonových konstrukcí – Část 4: Navrhování kotvení do betonu
- [9] ČSN EN 206 + A1 Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [10] Fib Bulletin 41 Treatment of imperfections in precast structural elements
- [11] Fib Bulletin 43 Structural connections for precast concrete buildings
- [12] Fib Bulletin 61 Design examples for strut-and-tie models
- [13] PCI Journal MJ 1986 Toward a consistent design of structural concrete
- [14] PCI Journal ND 1987 Handling and shipping of long span bridge beams
- [15] PCI Journal JF 1989 Lateral stability of lonh prestressed concrete beam – part 1
- [16] PCI Journal JF 1993 Lateral stability of lonh prestressed concrete beam – part 2
- [17] Ernst a Sohn Precast concrete structures
- [18] Ernst a Sohn Computational methods for reinforced concrete structures
- [19] Beton Kalender Precast concrete structures
- [20] ČVUT Praha, Fsv Modelování a vyztužování betonových prvků
- [21] ČVUT Praha, Fsv Betonové vícepodlažní a halové konstrukce

## 1.2 Použitý výpočetní software

- Nemetschek SCIA Engineer 18.1 Globální FEM analýzy, TDA, posudky dle EC2
- Idea Statica Beam 10.1 FEM analýzy prvků, TDA, posudky dle EC2
- Idea Statica Detail 10.1 Nelin. FEM analýzy prvku, posudky dle EC2
- RIB Fermo FEM analýzy prvků, TDA, posudky dle EC2
- PTC MathCad Prime 4.0 Analytické matematické výpočty
- MS Excel 2020 Analytické zpracování větších souborů dat

## 1.3 Podklady

### [22] Mladá Boleslav, Sklad výlisků

S-Projekt plus Zlín a.s, DUPROCON s.r.o.

Ing. Arch. M. Šlesinger, Ing. P. Vondra, Ing. J. Dubčák, Ing. M. Mahdal, Ing T. Dospíšil

- Stavební část referenčního projektu – část D1.1.
- Statické řešení referenčního projektu – část D1.1a

## 1.4 Požadavek zadavatele (investora) a tím vzniklá problematika

Ze strany investora vnikl požadavek na návrh a posouzení nosné železobetonové prefabrikované konstrukce pro záměr výstavby dvoupodlažní skladovací haly. Hala má být navržena v modulu 12x24 m, s tím že na podlaze 2.NP má být v ploše umožněno skladování 3,5 tun/m<sup>2</sup>.

**Poznámka ke zpracování bakalářské práce:** V rámci bakalářské práce jsou navrhovány a posuzovány pouze tzv. dlouhé nosníky skeletu, tedy střešní vaznice a stropnice (rozteč podporových prvků cca 24 m). Ostatní prvky jsou převzaty z původního projektu.

## 1.5 Popis konstrukce

### 1.5.1 Celkové řešení

Dle požadavků investora se konstrukce navrhuje, jako dvoulodní, dvoupodlažní hala s administrativní přístavbou. Takto navržený objekt má obdélníkový půdorys s modulovými rozměry přibližně 119,5 x 56,5 m. V příčném směru je objekt členěn tak, že na skladovací halu připadá modulová šířka 48,1 m (dvě podélné lodě o šířce 24,5 m), zbylých 8,4 m poté zabírá administrativní přístavba. V příčném směru tedy v osách 1–6 tvoří konstrukce jeden dilatační celek [21].

V podélném směru (osy A'–K) jsou lodě haly délky 119,5 m členěny sloupy v osách 2 a 6 po 12 m a v ose 4 po 12 m v přízemí, resp. po cca 24 m v patře (nad strop je vytažen každý druhý sloup). Atypické rozteče sloupů jsou navrženy mezi osami J–K 11,975 m, A'–B 10,475 m a v místech objektové dilatace. Objektová dilatace je navržena v ose G (resp. G–G') a je řešena zdvojením nosné konstrukce na společném základu. Rozteč zdvojených sloupů je 1,05 m, mezi sloupy je ponechána mezera 50 mm. Ve štítových osách A' a K jsou do os 3 a 5 doplněny mezilehlé sloupy. Pro vynesení opláštění jsou navíc do poloviny roztečí sloupů doplněny ocelové mezisloupy, tak aby max. rozteč podpor opláštění byla 6 m. Roh haly v poli 5–6 je uskočen od osy A' k zapuštěné ose A. Ke štítovému sloupu je zde v ose 5 přidán jeden vnitřní sloup pro vynesení koutu ve vodorovných konstrukcích. U obou štítů jsou mezi osami 3–4 ze stěnových prefabrikátů navrženy 5,1 m široké šachty pro zvedací plošiny. U štítové osy A' je šachta dvoukomorová na celou šířku pole. U druhého štítu (osy K) je navržena šachta jednokomorová dotažená pouze k pomocné ose 3' odsazené 2,625 m od osy 3. Pro vynesení šachet jsou přidány sloupy do pomocných os J' a A'' odsazených vždy o 4,65 m od hlavních os [22].

### 1.5.2 Svislé nosné konstrukce

Svislou nosnou konstrukci skladovací haly tvoří železobetonové hlavní nosné sloupy v osách 2, 4 a 6, které se dělí na sloupy vnitřní (osa 4) a sloupy krajní (osy 2 a 6). Vnitřní hlavní nosné sloupy mají v přízemí průřez 1200x950 mm a v patře 800x950 mm. Nad strop 1.NP je vytažen každý druhý sloup, jak již bylo zmíněno v textu výše. Zdvojené sloupy objektové dilatace a sloupy ve štítech jsou navrženy s průřezem 1000/950 mm na celou výšku. Obvodové hlavní sloupy jsou v osách 2 a 6 jsou uvažovány obdélníkové s rozměry 1000x850 mm a horním dílem (v patře) 800x850 mm. Horní díly všech sloupů mezilehlých jsou zarovnané na osu, u krajních sloupů (štít a dilatace) poté s vnější hranou. Mezilehlé štítové sloupy se navrhují s průřezem 1000x500 mm po celé délce. Pomocné rohové sloupy šachet v osách A'' a J' mají vždy průřez 600x600 mm [22].

Paty sloupů jsou vetknuty do kalicha v základu. Horní hrana kalicha je navržena v úrovni - 0,900. Atypické je řešení u šachet pro zvedací plošiny, kde mají kalichy horní hranu v úrovni - 2,000 [22].

Po obvodu haly jsou mezi základy standardně navrženy sendvičové základové panely, resp. plnostěnné základové nosníky či opěrné stěny. Tyto prvky jsou navrženy pro vytvoření bet. soklu a jako podpora pro opláštění. Základové nosníky plnostěnné jsou navrženy pouze v ose A', která navazuje na sousední halu, tyto nosníky mají průřez s tloušťkou 170 mm. U všech ostatních

os po obvodu objektu jsou navrženy panely, či opěrné stěny složené z 170 mm tlusté nosné desky, 100 mm tepelné izolace a 70 mm tlusté pohledové desky. Opěrné stěny jsou oproti panelům doplněny monolitickou betonovou patou šířky 1000 mm. Opěrné stěny se uvažují podél osy K a za rohem v ose 6/J-K, tedy v místech sníženého venkovního terénu. Horní úroveň výše uvedených základových prvků je ve výšce +1,200. V prostoru, kde jsou navržena vjezdová vrata a dveře jsou prvky sníženy až pod podlahu 1.NP. Spodní úroveň základových prvků se odvíjí podle průběhu terénu, respektive výškové úrovně přilehlých hlavic pilot. Jsou navrženy tři základní spodní úrovně a to -1,200; -1,700 a -2,000. Panely jsou na plnou šířku profilu vysunuty před sloupy a k nim u horní hrany kotveny [22].

### 1.5.3 Vodorovné nosné konstrukce

Stropní konstrukce patra je navržena prefa-monolitická trámová s horní úrovní desky +10,850. Tato úroveň umožní světlou výšku v 1. i 2.NP 8,850 m. Trámy jsou tvořeny 1,8 m vysokými předpjatými prefabrikáty průřezu „I“ o rozteči 2,0 m s celkovou délkou 24,28 m. Na ně má být uložena prefa-monolitická deska o celkové výšce 200 mm. Deska je složena z filigránových panelů výšky 60 mm a monolitické nabetonávky výšky 140 mm. V trámech je dle požadavku stavby uvažováno variantně až se čtveřicí kruhových prostupů  $\phi 380$  mm. Kratší trámy do délky cca 12,5 m u štítu u osy A mají obdélníkový průřez 1000/450 mm, trámy do délky cca 15,0 m u štítu u osy K průřez 1200/450 mm. Krajiní trámy mají tvar obráceného „L“ výšky 900 mm se stěnou šířky 350 mm a horní deskou šířky 800 mm nebo 1000 mm. V podélném směru (v osách 2,4 a 6) jsou trámy skrze 600 mm vysoko a 500 mm dlouhé koncové ozuby uloženy na cca 11,57 m dlouhé prefabrikované předpjaté průvlaky. Průvlaky v ose 4 se navrhuje zdvojené. Všechny průvlaky mají průřez 2000x470 mm a jsou uloženy buď na krátké konzoly průběžných sloupů, nebo na zhlaví sloupů neprůběžných. Spodní hrana průvlaků je navržena na kótě +8,040. V místech, kde navazuje trám přímo na sloup je uložena na krátkou konzolu sloupu. V desce jsou mimo objektovou dilataci navrženy i dilatace příčné v os C, E a I a podélná dilatace v ose 4.

Střešní konstrukce je prefabrikovaná roštová, tvořená podélnými přímopasovými vazníky a příčnými náběhovanými vaznicemi se sedlovými nástavci. Vazníky v ose 4 mají rozpon 24 m, jsou navrženy prefabrikované předpjaté s průřezem tvaru „I“ vysokým 1,8 m a spodní úrovní 18,89 m. Ve vaznicích v ose 4 je navržena čtveřice kruhových vylehčovacích a instalačních prostupů  $\phi 900$  mm, a to vždycky tak, aby vaznice byly uloženy do středu mezi prostupy. Šířka hlavy vazníku je 600 mm. Atypické jsou vazníky v kratších krajiních modulech, specificky vazník v modulu A'-C, který je navržen pouze s trojicí prostupů. Vazníky v osách 2 a 6 mají rozpory 12 m a jsou navrženy železobetonové s průřezem tvaru „T“ výšky 1,0 m a šířkou hlavy 550 mm. Spodní hrana vazníků v krajiních osách 2 a 6 je +19,690. Vazníky jsou uloženy vždy do vidliček sloupů. Na vazníky nebo na zhlaví sloupů jsou po 6 m uloženy vaznice s krajiními náběhy o rozponu 24 m. Vaznice se navrhuje železobetonové tvaru písmena T, které má šířku stěny 210 mm a šířku hlavy 500 mm. Výška vazníku ve středu rozpětí je 1,6 m. V krajiních náběžích délky 5,7 m průřez plynule přechází z výšky 1,6 m až na výšku 0,6 m. Koncové části nosníku jsou navrženy s obdélníkovým průřezem 600x500 mm. Do vaznic je ve střední části provedeno 7 vylehčovacích prostupů  $\phi 900$  mm. Na horní pásy vaznic jsou pro zajištění dostatečného sklonu střechy osazeny lehké sedlové nástavce. Ty jsou navrženy z tvrzeného plastu na celou šířku horního pásu nosníku. Uchycení nástavce a na něj uložených trapézových plechů bude provedeno pomocí závitových tyčí k vaznici kotvených skrze speciální kování. Spodní úroveň vaznice ve středu rozpětí je +19,910, úroveň hřebene je +21,600. Ve štítech jsou navrženy přímopasové železobetonové vaznice průřezu „T“ výšky 0,7 m s rozponem 12 m.

Tloušťka stěny nosníku je 160 mm a šířka hlavy 550 mm. Stejně vaznice jsou použity i do vnitřní polohy za osou A u půdorysného odskoku v lodi 4-6, kde je doplněn vnitřní sloup. V lodi 2-4 je za osou A provedeno zhuštění běžných vnitřních vaznic pro vynesení střešní nástavby.

**V rámci bakalářské práce není zvlášť popsáno řešení administrativní přístavby a šachet zvedacích plošin, které nejsou řešeny a ani do řešení nezasahují.**

## 1.6 Základní návrhové parametry

- Návrhová životnost 50 let
- Třída následků CC2 dle ČSN EN 1990
- Koroze vyvolaná karbonatací XC1 dle ČSN EN 206-1 + A1
- Třída konstrukce S4 dle ČSN EN 1990
- Upravená třída konstrukce S3 ale ČSN EN 1992-1-1 tab. 4.3N
- Požární odolnost R(E) 30

## 1.7 Identifikace rizik

- Poškození konstrukčních prvků při přepravě.
- Překročení MSÚ a ztráta stability v jednotlivých krocích budování kce.
- **Překročení MSÚ jednotlivých konstrukčních prvků během návrhové životnosti kce.**
- **Překročení MSP jednotlivých konstrukčních prvků během návrhové životnosti kce.**
- Překročení MSÚ a MSP u specifických konstrukčních detailů
- Překročení MSÚ a MSP ložisek či pojistných prvků styků
- Překročení MSÚ a ztráta stability základového podloží
- Nadměrné případně nerovnoměrné sedání konstrukce

## 1.8 Základní konstrukční materiály

### 1.8.1 Beton

S ohledem na to, že povrchy navrhovaných betonových prvků se nachází uvnitř objektu se suchým provozem a nejsou vystaveny přímému působení povětrnosti, není třeba pevnost a složení betonu uzpůsobovat nepříznivým korozním vlivům prostředí.

Beton pro sloupy:	C45/55 XC1
<b>Beton pro předpjaté prvky:</b>	<b>C50/60 XC1</b>
<b>Beton pro železobetonové prvky:</b>	<b>C35/45 až C45/55 XC1</b>
Beton monolit. nabetonávek:	C30/37 XC1
Beton základové nosníky a stěny:	C25/30 až C30/37 XC4, XF1

Beton má být vyroben a zkoušen v souladu s normou ČSN EN 206-1 + A1. Způsoby a technologie provádění mají být ve shodě s normami ČSN EN 13670, ČSN EN 13369, ČSN EN 13225, ČSN EN 13693.

### 1.8.2 Betonářská ocel

Dle zvyklostí v ČR a s ohledem na dostupný sortiment se výztuž navrhuje z oceli **B500B** dle ČSN EN 10027-1.

Bude-li při stykovaní prutů použito svažování má být provedeno tak, aby nedošlo k poškození (křehnutí) prutů vlivem přehřátí. Svažování musí odpovídat požadavkům ČSN EN ISO 17660-1 a ČSN EN ISO 17660-2.

### 1.8.3 Předpínací výztuž

Navrhuje se předpínací výztuž z lan **Y1860, S7 – 15,7** dle EN 10138-3.

## 2 Popis dílců a montáže

V prefabrikátech jsou osazeny ocelové kotevní desky. Je ponechána vyčnívající výztuž sloužící pro jejich vzájemné stykování a pro kotvení navazujících ocelových konstrukcí. Vzájemné propojení dílců je nutné provádět podle montážních detailů. Zálivky použité při montáži jsou z jemnozrnného betonu C25/30 [22].

V ložných nebo styčných plochách dílců jsou provedeny šachty nebo z nich vyčnívají pojistné trny, které se do šachet zasunou. Slouží k vzájemnému propojení a zajištění prvků. Dimenze trnů a jejich kotvení v betonu jsou navrženy s ohledem na přenášené síly. Střešní a stropní dílce se osazují na pryžová ložiska odpovídající únosnosti. Základové nosníky, opěrné stěny, stropní panely a schodišťové desky jsou ukládány na podlití.

Průřezy jednotlivých prvků jsou uvedeny v popisu výše. Konstrukce se vyznačuje mimořádně velkým zatížením stropu a také dlouhými rozpory stropní a střešní konstrukce skladu. To vedlo k návrhu těžkých dílců o hmotnosti běžně okolo 30 tun, v extrému až 34 tun. V dodavatelské dokumentaci je třeba zohlednit všechna výrobní, přepravní a montážní stádia prvků [22].

### 2.1 Sloupy

Sloupy jsou vetknuty do kalichů v základech. Tímto způsobem je krom podepření jednotlivých sloupů zajištěna i stabilita konstrukce ve všech fázích výstavby a provozu. Koncová část sloupu má být pro lepší spolupůsobení profilována laťováním. Délka profilované části má být minimálně 1450 mm. Zmonolitnění kalichu a sloupu je provedeno na správně připravené styčné povrchy pomocí zálivky z betonu C25/320. Hutnění a ošetřování zálivkového betonu má probíhat souladu s normou ČSN EN 13670 [22].

Hlavní nosné sloupy haly procházející od základů až pod střechu jsou z důvodu manipulace a přepravy rozděleny na dvě části. Styk se nachází v úrovni spodní hrany stropní desky. Styk je ze statického pohledu tuhý, provedený standardně protažením výztuže ze spodního dílce a jejím přivařením k připraveným ocelovým botkám v patě dílce horního [22].

Ve zhlavích sloupů je navržena vidlička pro vsazení vazníků nebo krajních vaznic, úložná plocha má být okována. Sloupy jsou opatřeny krátkými konzolami pro uložení stropních průvlaků, trámů, ztužidel a panelů. Ložné plochy pod těžké průvlaky a vazníky mají být okovány. Na obvodových sloupech jsou krátké konzoly s vidličkami pro stropní průvlaky [22].

Na sloupech je osazeno veškeré kování nutné pro montáž konstrukce – především kování pro kotvení základových prefabrikátů, navazujících ocelových konstrukcí apod. [22].

Sloupy jsou navrženy z betonu C45/55 XC1, oceli B500 B.

### 2.2 Předpjaté nosníky

Jako předpjaté jsou navrženy přímopásové střešní vazníky tvaru „I“ pro modul 24 m, stropní průvlaky přístavku tvaru I pro modul 24 m, stropní průvlaky haly a stropní trámy, nebo chceme-li stropnice.

Přímopásové střešní vazníky s rozponem 24 m jsou opatřeny čtveřicí velkých prostupů o průměru 900 mm. Rozmístění prostupů je takové, že navržené vaznice spočívají přesně mezi nimi. Jelikož jsou tyto nosníky pro zajištění stability osazeny do vidliček sloupů na celou výšku, dochází v místech uložení ke zúžení horní i dolní příruby, a tedy ke změně průřezu na obdélníkový. Nadměrnému vodorovnému posunu či sjetí vazníku je v uložení zamezeno

ocelovým kolíkem. Pro osazení vaznic jsou v projektovaných pozicích na vazníku připraveny smykové trny.

Předpjaté 11,57 m dlouhé stropní průvlaky jsou nejvíce zatíženými prvky navrhovaného skeletu. Mají obdélníkový průřez a ve středové ose 4 jsou navrženy zdvojené. Zdvojené průvlaky jsou z důvodu stability u obou konců sepnuty pomocí závitových tyčí. Stabilita krajních průvlaků je zajištěna jejich osazením na krátké konzoly s vidličkami na celou výšku průvlaku. Nadměrnému vodorovnému posunu či sjetí průvlaku je v uložení zamezeno ocelovým kolíkem. Pro osazení stropnic jsou v projektovaných pozicích na stropním průvlaku připraveny pojistné trny [22].

Předpjaté stropnice mají rozpon cca 24 m. Mají převážně tvar „I“, v koncových částech však plynule přecházejí přes průřez obráceného „T“ až do obdélníku. Jsou navrženy variantě až se čtyřmi prostupy  $\phi 380$  mm. Z důvodu sprážení jsou navrženy s vyčnívající spřahovací výztuží a zdrsňným horním povrchem příruby. Stropnice/trámy jsou skrze ozuby výšky 600 mm osazeny na stropní průvlaky do projektovaných pozic pomocí připravených pojistných trnů. Šachty pro trny v ozubu stropnice mají být v ose 4 zainjektovány vysokopevnostní injektáží.

Ložná plocha všech předpjatých prvků je okována.

Předpjaté nosníky: betonu C50/60 XC1, předpínací výztuž **Y1860, S7 – 15,7**, ocel B500 B.

### 2.3 Železobetonové nosníky

Nejvíce zatíženým železobetonovým prvkem jsou náběhované vnitřní střešní vaznice tvaru T s rozponem cca 24 m. Vaznice je uspořádána tak, že konstantní výšku má na cca 2/4 délky. Zbylé části jsou náběhy, ve kterých se směrem k uložení plynule zmenšuje výška až na 600 mm. Náběhy zde poté přechází do obdélníkové koncové části. Vaznice je pro snížení hmotnosti opatřena sedmi vylehčovacími otvory  $\phi 900$  mm. Ve vaznici jsou pomocí zabetonovaných závitových tyčí vyčnívajících nad povrch horního pásu provedeny přípravy na osazení sedlových klínů a trapézových plechů. Vaznice jsou na vazníky do projektované polohy osazeny skrze předem připravené pojistné trny. Šachty pro trny mají být zainjektovány vysokopevnostní injektáží.

Obvodové přímopásové vazníky a vaznice skladu mají „T“ průřez a ukládají se na plnou výšku. Další prvky jsou navrženy v obdélníkovém průřezu. V úložném konci je proveden závěs na sníženou výšku. Nosné parapety mají naopak výstupky ve spodní hraně [22].

Železobetonové nosníky jsou navrženy z betonu C35/45 až C45/55 XC1, oceli B500 B.

### 2.4 Prefa-monolitická spřažená stropní deska

Skládá se z filigránových panelů tloušťky 60 mm s vyčnívající prostorovou spřahovací výztuží. Výztuž filigránu je dimenzována tak, aby nebylo třeba při betonáži zřizovat dodatečné dočasné podpory. Na filigrány se osadí zbylá navržená výztuž desky dle výkresu výztuže a provede se betonáž na celkovou výšku desky 200 mm (včetně filigránu). Hutnění a ošetřování betonu má probíhat v souladu s normou ČSN EN 13670. V desce jsou navrženy dilatace, jejich okraj je lemován ocelovými ochrannými lištami. Horní povrch desky tvořící finální nášlapnou vrstvu podlahy je navržen se vsypem Panbex F2.

Filigrány jsou navrženy z betonu C35/45 XC1, ocel B500 B.

Nadbetonování je navrženo z betonu C30/37 XC1, ocel B500 B.

**V rámci bakalářské práce není zvlášť popsáno řešení dalších konstrukčních prvků.**

### 3 Zatížení

#### 3.1 Stálá zatížení

V projektu jsou uvažována stálá zatížení od vlastní tíhy konstrukce, skladby střechy a obvodového pláště, případně vlastní tíhy technologie. V duchu normy se toto zatížení uvažuje jako stálé zatížení s malou variabilitou, a je tedy uvažováno pouze jednou charakteristickou hodnotou  $G_k$ , která v tomto případě zastupuje průměrnou hodnotu  $\mu_G$ .

##### 3.1.1 Stálá zatížení střechy

###### Vlastí tíha konstrukčních prvků

Vlastní hmotnost je generována výpočetním softwarem na základě známé normové objemové hmotnosti materiálu  $\rho$  a tíhového zrychlení  $g$  na daném místě zemského povrchu.

$$\rho = 2400 - 2550 \text{ kg/m}^3 \quad \Rightarrow \quad \rho = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

###### Vlastní tíha souvrství střechy [22]

Hydroizolace  $g_{1.k} = 0,05 \text{ kN/m}^2$

Tepelná izolace  $t = 300 \text{ mm}$   $g_{2.k} = 0,43 \text{ kN/m}^2$

Trapézový plech TR 135/310/1,13  $g_{3.k} = 0,15 \text{ kN/m}^2$

###### Vlastní tíha technologie

Technologické podvěsy  $g_{4.k} = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Fotovoltaika na skladovací hale  $g_{5.k} = 0,25 \text{ kN/m}^2$

Jednotky a plošiny VZT o hmotnosti až 8.5 t (85 kN) na střeše přístavku

**Celkové stálé plošné zatížení na ploše střechy  $g_{1.0..k} = 1,38 \text{ kN/m}^2$**

##### 3.1.2 Stálá zatížení stropu skladu

###### Vlastí tíha konstrukčních prvků

Vlastní hmotnost je generována výpočetním softwarem na základě známé normové objemové hmotnosti materiálu  $\rho$  a tíhového zrychlení  $g$  na daném místě zemského povrchu.

$$\rho = 2400 - 2550 \text{ kg/m}^3 \quad \Rightarrow \quad \rho = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

###### Vlastní tíha souvrství střechy

Filigránový panel  $t = 60 \text{ mm}$   $g_{1.k} = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Monolitická dobetonávka  $t = 140 \text{ mm}$   $g_{2.k} = 3,5 \text{ kN/m}^2$

**Celkové stálé plošné zatížení na stropě  $g_{2.0..k} = 5,0 \text{ kN/m}^2$**

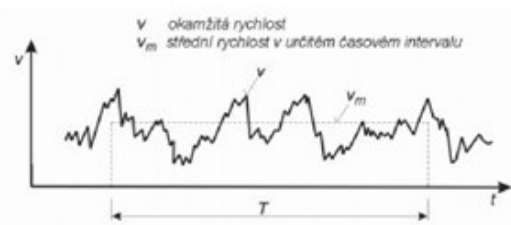


## 3.2 Proměnná zatížení

### 3.2.1 Dynamický tlak větru

#### Větrná oblast II

Nahodilý charakter zatížení větrem



#### Předpoklady výpočtu

$$\begin{aligned} \nu_{b,0} &:= 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} && \text{základní charakteristická rychlost větru} \\ c_{dir} &:= 1 && \text{součinitel směru větru dle NA} \\ c_{season} &:= 1 && \text{součinitel ročního období dle NA} \\ c_{prob} &:= 1 && \text{součinitel pravděpodobnosti pr} \\ &&& \text{pravděpodobnost } p=0.02 \text{ dle NA} \end{aligned}$$

$$\nu_b := \nu_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} \cdot c_{prob} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{měrná hmotnost vzduchu dle NA}$$

základní dynamický tlak větru

$$q_d := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \nu_b^2 = 0.391 \text{ kPa}$$

#### Kategorie terénu III

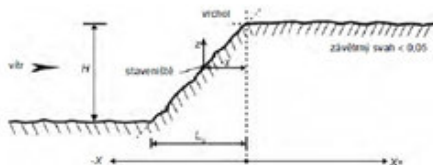


#### Střední rychlost větru

součinitel drsnosti terénu

$$\begin{aligned} z_{min} &:= 5 && \text{minimální výška dle tab 4.1} \\ z_e &:= 22.2 && \text{referenční výška} \\ z_{max} &:= 200 && \text{maximální výška dle tab NA} \end{aligned}$$

#### Ortografie



$$\begin{aligned} z_e \leq z_{min} &= 0 && \text{NEVYHOVUJE} \\ z_{min} \leq z_e \leq z_{max} &= 1 && \text{VYHOVUJE} \end{aligned}$$

$$z_0 := 0.3 \quad \text{parametr drsnosti terénu dle tab 4.1}$$

$$k_r := 0.19 \cdot \left( \frac{z_0}{0.05} \right)^{0.07} = 0.215$$

#### Obestavěnost

$$c_{r,ze} := k_r \cdot \ln \left( \frac{z_e}{z_0} \right) = 0.927$$

součinitel ortografie

$$c_{o,ze} := 1$$

Střední rychlost větru

$$\nu_{m,ze} := \nu_b \cdot c_{o,ze} \cdot c_{r,ze} = 23.176 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

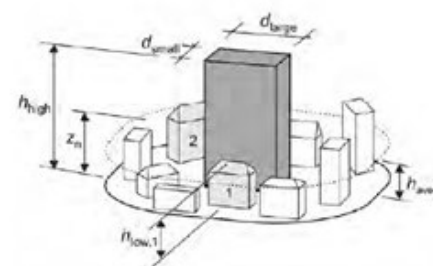
#### Maximální dynamický tlak pro součinitel ortografie roven 1

$$c_{e,ze.1} := c_{r,ze}^2 \cdot c_{o,ze}^2 + 7 \cdot k_r \cdot c_{r,ze} \cdot c_{o,ze} = 2.257$$

$$c_{e,ze.2} := 2.241 \quad \text{součinitel expozice dle obr. 4.2}$$

$$c_{e,ze} := \max(c_{e,ze.1}, c_{e,ze.2}) = 2.257$$

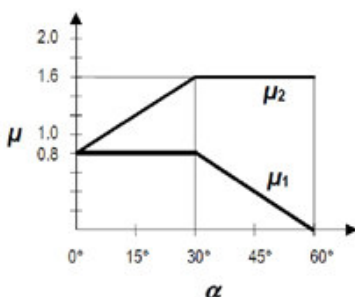
$$q_{p,ze} := q_d \cdot c_{e,ze} = 0.882 \text{ kPa}$$



### 3.2.2 Tíha sněhu na střeše

Sněhová oblast II

Tvarový součinitel střeše



$$\alpha_{1,2} := 1.5^\circ$$

$$S_k := 1 \text{ kPa}$$

sklon střeše

charakteristická tíha sněhu na zemi  
 dle mapy sněhových oblastí

Ověření SK dle nadmořské výšky

$$Z := 2$$

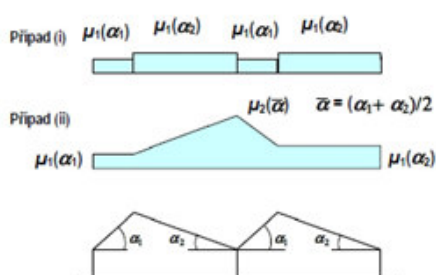
číslo sněhové zóny

$$A := 235$$

nadmořská výška Mladá Boleslav (m.n.m)

$$S_{k,v} := (0.264 \cdot Z - 0.002) \cdot \left(1 + \left(\frac{A}{256}\right)^2\right) = 0.969$$

Charakteristická tíha sněhu na střeše



$$c_e := 1$$

součinitel expozice dle tab 5.1  
 chráněný typ krajiny

$$c_t := 1$$

tepelný součinitel  
 pro tepelně izolované střeše

tvarový součinitele střeše

$$\mu_1 := 0.8$$

$$\mu_2 := 0.8 + 0.8 \cdot \frac{\alpha_{1,2}}{30^\circ} = 0.84$$

Tíha sněhu na střeše

$$S_1 := \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k = 0.8 \text{ kPa}$$

$$S_2 := \mu_2 \cdot c_e \cdot c_t \cdot S_k = 0.84 \text{ kPa}$$

### 3.2.3 Proměnné zatížení na střeše

Tíha sněhu na střeše – základní – oblast II

$$s_{1,k} = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

Tíha sněhu na střeše – zvětšená – oblast II

$$s_{2,k} = 0,84 \text{ kN/m}^2$$

Maximální dynamický tlak větru – oblast II

$$q_{p,ze} = 0,88 \text{ kN/m}^2$$

### 3.2.4 Proměnné zatížení na stropu [21]

Užitné zatížení skladováním – kat. E

$$q_{1,k} = 35 \text{ kN/m}^2$$

### 3.2.5 Proměnné zatížení schodiště [21]

Užitné zatížení kat. C

$$q_{1,k} = 5 \text{ kN/m}^2$$

### 3.2.6 Proměnné zatížení stropu přístavku [21]

Příčky

$$q_{1,k} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

Užitné zatížení kat. B

$$q_{1,k} = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

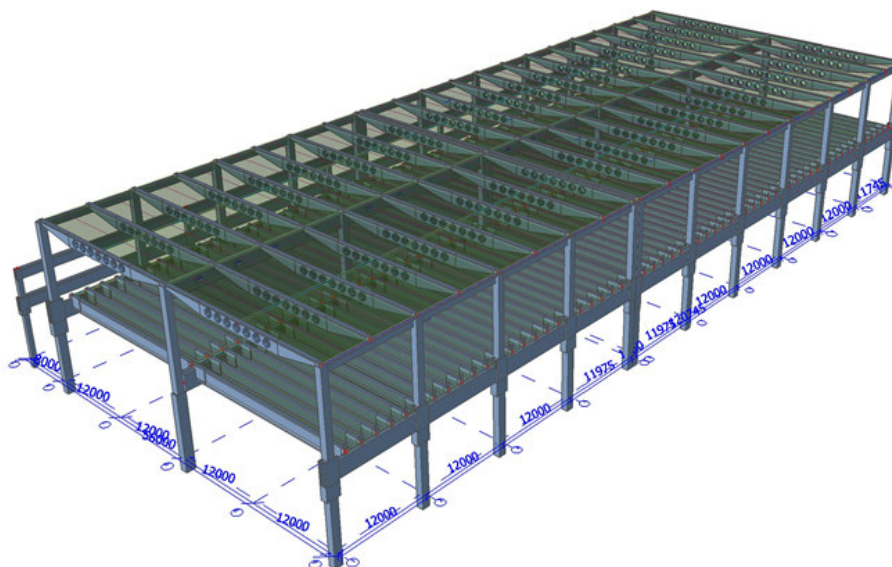
## 4 Modelování a statická analýza

### 4.1 Modely využití pro řešení

Pro řešení konstrukce a jejich prvků byla vypracována řada modelů, které sloužili k analýze chování konstrukce. Byli vytvořeny tyto modely:

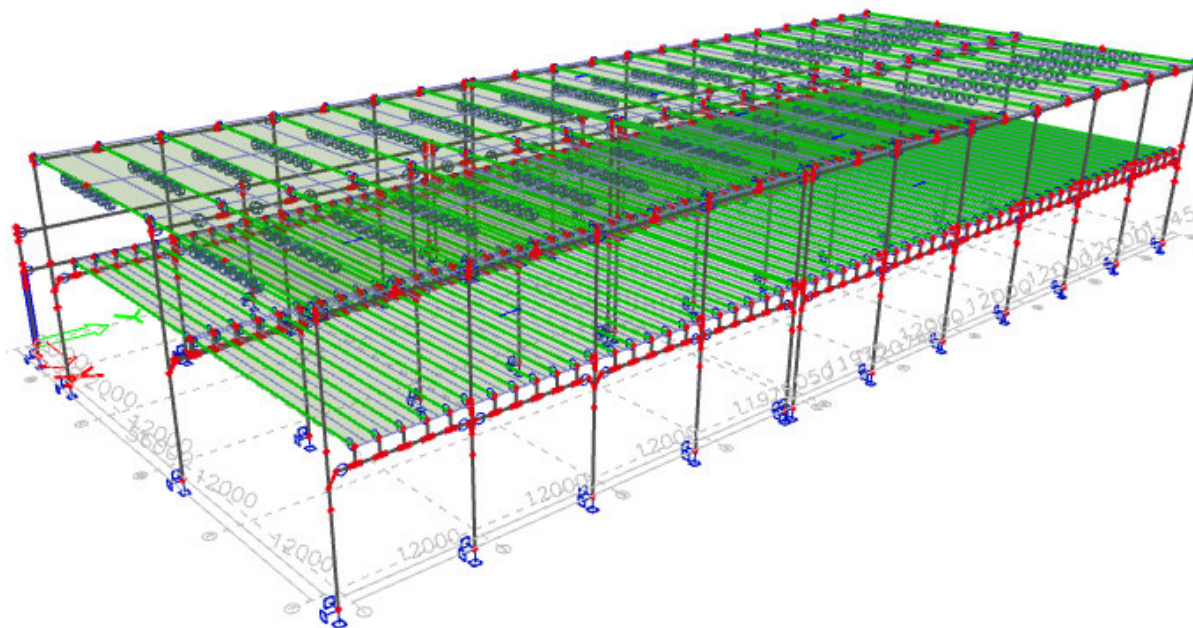
- **Globální model haly**  
prutový model s uvažováním skutečné polohy prvků, FEM, SCIA Eng. 18.1
- **STM vaznice V1**  
10x prutový příhradový model, FEM, SCIA Eng. 18.1
- **MNM vaznice V1**  
4x desko-stěnový model s reálnou výztuží, mat. nelin. FEM, IDS Detail 10.1
- **TDA model stropnice ST1**  
3x prutový model, ve třech různých programech, 5-7 fází, TDA FEM, SCIA Eng. 18.1, IDS beam 10.1, RIB Fermo
- **Model stropnice ST1**  
2x prutový model, pro prefabrikát a pro spřažený nosník, FEM, SCIA Eng. 18.1
- **STM stropnice ST1**  
4x prutový příhradový model, FEM, SCIA Eng. 18.1
- **MNM stropnice ST1**  
2x desko-stěnový model s reálnou výztuží, mat. nelin. FEM, IDS Detail 10.1

### 4.2 Globální model haly



Z pohledu řešení jedná se o poměrně standardní jednoduchý prutový model. Jistým specifickým, kterým se vyznačuje, je snaha o maximální vystižení vlastní tíhy prvků a jejich polohy. Tímto způsobem modelovaná konstrukce, totiž zejména pro vnitřní síly ve sloupech zobrazí výsledky včetně zvětšení momentů od excentrického zatížení (uložení prvků na krátké konzoly). V modelu jsou tyčové konstrukční prvky modelovány svou těžištní osou. Prvky, u kterých je uvažováno s proměnným průřezem po délce, jsou zarovnány se svým horním povrchem. Pruty, kde dochází ke změně průřezu, jsou modelovány spojitě jako jeden prut, následně je na ně aplikována funkcionální „proměnný průřez“. Sloupy jsou v patách podepřeny všesměrně tuhými podporami. Dělení sloupů na dvě části je v modelu respektováno a v bodu napojení obou částí je uvažována tuhá vazba. Všechny vodorovné prvky jsou v modelu provedeny jako prosté nosníky. V jejich koncových uzlech je tedy umožněno volné pootočení ve svislé rovině. To je modelováno

zpravidla pomocí komponenty „klouby na prutu“. Jak již bylo zmíněno všechny pruty jsou modelovány ve své skutečné poloze. Připojení příčných prutů k podélným je zpravidla provedeno pomocí dalšího tuhého prutu shodného materiálu, kterému byla objemová hmotnost nastavena jako nulová. Připojení na sloupy je poté v modelu uskutečněno komponentou „tuhé rameno“. Komponenta „tuhé rameno“ nebyla použita pro spojení příčných a podélných nosníků zejména kvůli rychlosti modelování, jelikož by bylo nutno dopředu vytvořit na prutech všechny vnitřní uzly. U použitého způsobu jsou vnitřní uzly a spojení prutů s nimi automaticky generovány.



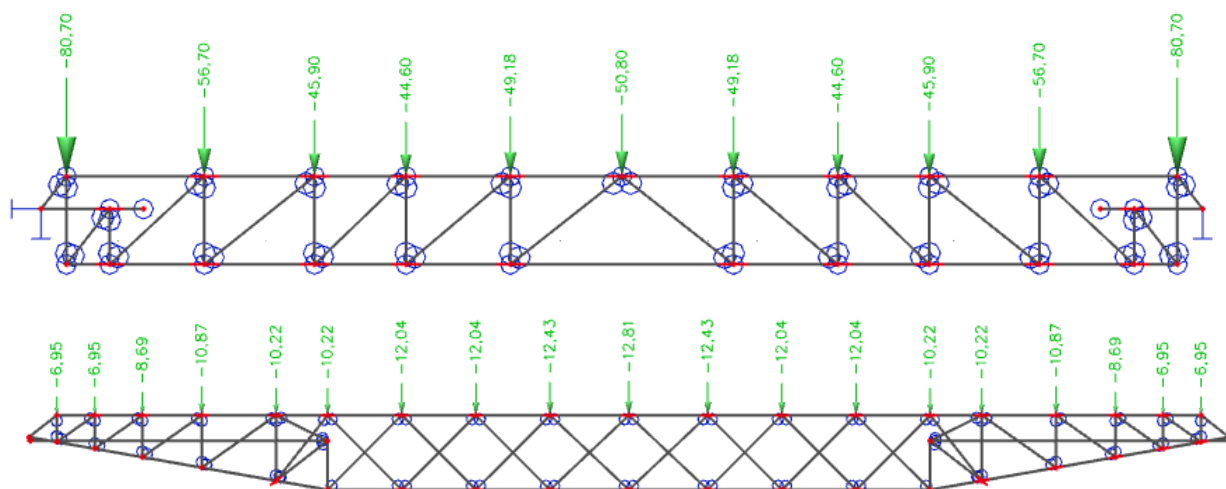
Zatížení modelu je aplikováno, jako spojité rovnoměrné zatížení na roznášecí panely. Ty geometricky metodou zatěžovací plochy (metodou střech) přepočítávají plošné zatížení na příslušná liniová zatížení jednotlivých prvků. Vytvořena byla i varianta, kde byla stropní konstrukce modelována jako skutečná deska s žebry.

Tento model byl použit k získání představy o původních i konečných vnitřních silách na konstrukci. Vnitřní síly z modelu byly použity během rozvahy o materiálovém a geometrickém řešení vybraných vodorovných konstrukčních prvků a částečně při dimenzování. Validace modelu byla provedena porovnáním vnitřních sil s referenčním modelem, kdy pro stejnou geometrii prvků střechy a stropu se výsledky téměř nelišily.

### 4.3 STM vaznice V1 a stropnice ST1

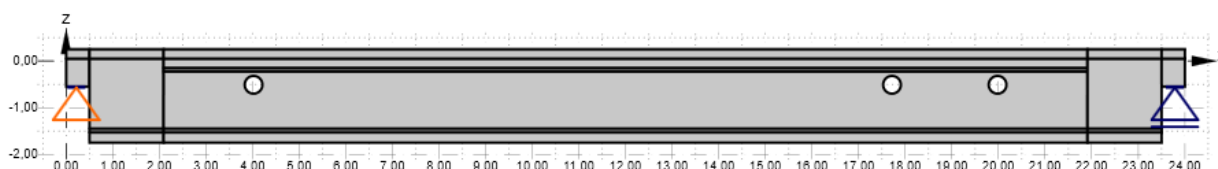
Bylo sestaveno a analyzováno dohromady 14 různých náhradních příhradových modelů. Jedná se o střednicové prutové modely, s prutovými prvky přenášejícími všechny vnitřní síly. Aby model odpovídal předpokladům pro řešení příhradových soustav jsou pruty v koncových uzlech kloubově připojeny. Aby byl vyloučen vliv vlastní tíhy a jiné nepříznivé vlivy, je modelování prováděno rovině XY a zatížení aplikováno ve směru Y. Pro posun ve směru Z jsou pruty náležitě podepřeny. Modely jsou následně analyzovány deformační variantou metody konečných prvků. Mezi každým vnitřním uzlem jsou pruty rozděleny na 10 prvků.

Nezanedbatelný vliv mělo také nastavení správné tuhosti prutů. Zejména modely pro vaznici V1 byly zkoušeny pro celkem 10 variant. Jednalo se jak o nastavení shodného průřezu a materiálu pro všechny pruty v modelu, tak pro varianty, kdy byly průřezy voleny individuálně pro jednotlivé pruty dle jejich specifik v modelu. Nakonec se řešení ustálilo na využití obdélníkového betonového průřezu 450x450 nebo ocelového průřezu HEB280.



#### 4.4 MNM modely vaznice V1 a stropnice ST1

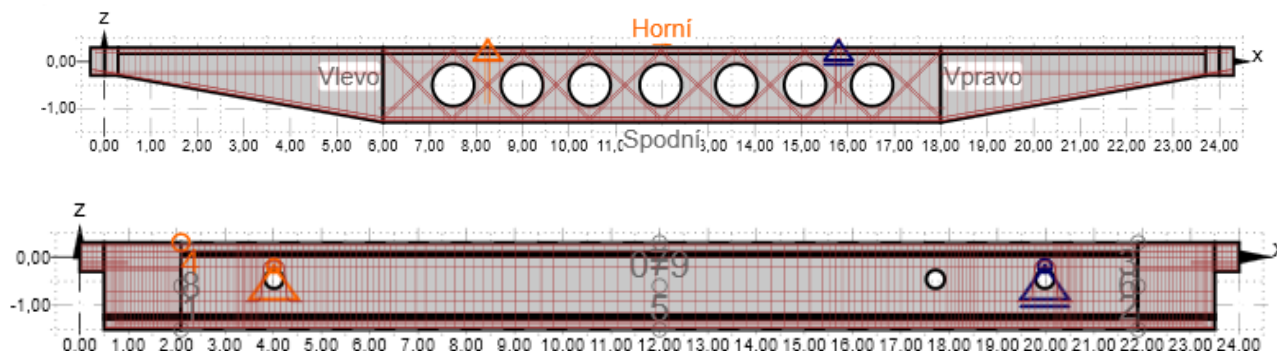
Jedná se o desko-stěnové modely nosníků s uvažováním skutečné výztuže. Základní tvar byl vygenerován automaticky exportem celého nosníku z programu IDS Beam 10.1. Tento způsob přípravy základního modulu ušetřil poměrně velké množství času, jelikož zatížení a základní geometrie se generují automaticky. Zatížení a jeho kombinace jsou tedy převzaty z výsledků programu IDS Beam, což je důležité zejména pro předpětí. Účinky předpětí jsou na model aplikovány pomocí ekvivalentního zatížení, respektive pomocí excentrického vodorovného liniového zatížení. Umístění zatížení je takové, aby výslednice liniových zatížení splývala s místem dosažení plné síly v předpínací výztuži.



Do vygenerovaných modelů jsou následně doplněny podpory skrze roznášecí desky a u obou výše zmíněných nosníků i kruhové otvory. Po dokončení základního modelu je vytvořen model výztužení a nosník spočten. Výsledky jsou získány materiálově nelineární MKP analýzou. Zjednodušeně lze říct, že v matici fyzikálních konstant  $[D]$  je uvažováno s pracovními diagramy betonu a výztuže. V použitém programu IDS Detail 10.1 je uvažováno pro beton s parabolicko-rectangulárním návrhovým pracovním diagramem včetně vlivu tlakového změkčení a s bilineárním návrhovým pracovním diagramem včetně vlivu tahového zpevnění pro ocel.

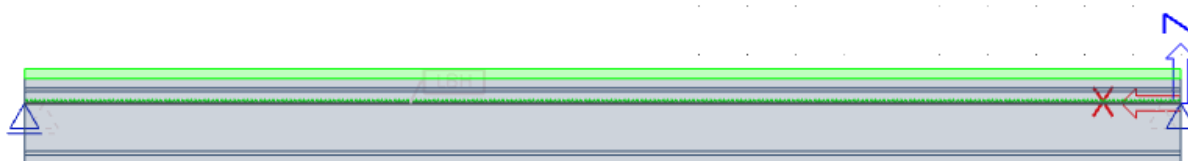
Po sestavení a výztužení hlavních modelů těchto nosníků byly vytvořeny i modely pro jednotlivé fáze výstavby a životnosti. U většiny fází došlo jen k posunutí roznášecích desek

s podporami, případně přidání několika dalších. Při vytváření modelů pro fázi manipulace byly u obou nosníků použity další specifické modelovací nástroje. U V1 to byla funkcionalita „závěs“, která poměrně dobře reprezentuje zamýšlený způsob fungování nosníku během manipulace. U stropnic ST1 bylo zase využito krajních prostupů zároveň jako manipulačních úchytnů modelováno pomocí funkce „bodová podpora“.



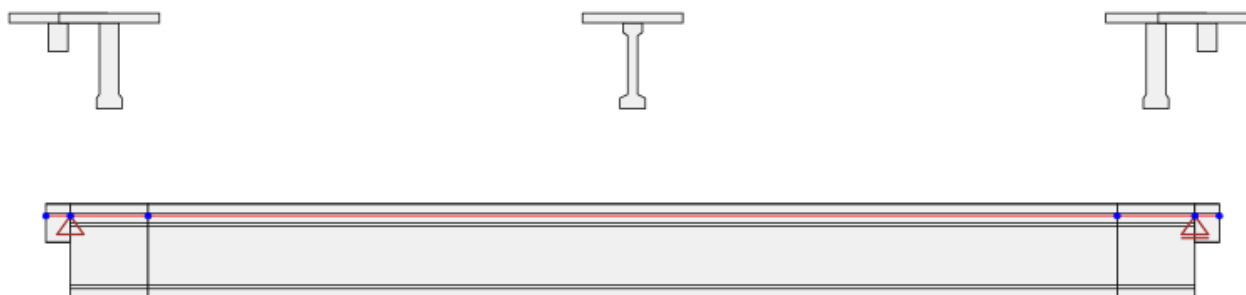
#### 4.5 TDA modely stropnice ST1

Pro časově závislou analýzu byli vytvořeny prutové modely v programech SCIA, IDS Beam a RIB Fermo. Nosník byl nejprve modelován zjednodušeně bez ozubu a bez rozšíření průřezu na koncích. Tyto detaily byly přidány až u dodatečného modelu v IDS Beam, kde byl ověřen jejich vliv na ztráty předpětí. Z tohoto modelu následně vznikl model pro IDS Detail.



Nosníky jsou modelovány jako prostě uložené rovinné prutové prvky s fázovaným průřezem. Je jim zadáno předpětí skrze namodelované předem předpjatá lana. Tuhá ramena mezi lany a prutem nosníku jsou generována automaticky na pozadí. V programu SCIA je uvažováno počáteční posunutí podpor o 0.5 m směrem do středu nosníku (ve skutečnosti jsou na konci ozuby).

U všech modelů bylo zkoumáno 6 fází výstavby a životnosti – betonáž nosníku, vnesení předpětí (3 dny), konečné podpory (13 dní), betonáž spřažené desky (15 dní), skladování (200 dní), konec návrhové životnosti (18262 dní). Fáze skladování, manipulace a přepravy byly zkoumány rovněž, ale na oddělených modelech.



## 5 Zhodnocení výsledků a závěr

### 5.1 Zhodnocení výsledků

#### 5.1.1 Vhodnost použitých metod

Zvolený způsob řešení se dle mého názoru ukázal jako velmi vhodný. Využitím STM pro návrh výztuže s následným posouzením prvku za pomoci MNA je efektivní jak z pohledu času, tak z pohledu naprosté obecnosti použití. Značně se eliminují nedostatky jednotlivých metod, kdy pro MNA je třeba znát výztuž, kterou lze pomocí STM velmi dobře navrhovat. Využití MNA pro posudky zase umožňuje dobře posuzovat i MSP, což je u STM jednoznačné omezení. Pro praxi důležitá časová efektivita návrhu je jednoznačná. Při správném návrhu výztuže pomocí STM byly MNA výpočty velmi rychlé, jelikož nebylo nutno iterovat od nízkých hodnot přeneseného zatížení. Za použití tohoto postupu MNA vyhověla vždy již napoprvé.

#### 5.1.2 Vaznice

Navrženým řešením vaznice, prezentovaným v příloze P2.1, nebylo dosaženo úspory betonu v porovnání s původním návrhem. Důvodem je zvětšení šířky stojiny „T“ průřezu tak, aby při dodržení konstrukčních zásad bylo možno do ní vložit 3x $\phi$ 28 vedle sebe. Stojinu bylo tedy nutno rozšířit z původních 150 mm na konečných 210 mm. Původní předpoklad, že změnou délky náběhů a přidáním velkých vylehčovacích otvorů bude vliv rozšíření pásnice na hmotnost eliminován, se nepotvrdil. Je však nutno uvést, že bylo uvažováno s vyšší úrovní zatížení sněhem místo kat. I. je uvažována kat. II. Dle detailních map leží navrhovaný objekt na rozhraní pásem a byla zvolena horší z variant.

Z hlediska statického si stojí obě vaznice rovnocenně, obě přenesou návrhové momenty až o hodnotách okolo 2100 kN. V posudku smyku se liší tím, že v původním posouzení nebylo uvažováno s redukcí smykové síly v náběhu. Nejvýraznějším rozdílem je však průhyb porovnávaných prvků, který vychází právě z tlouštěk stojin. Vypočtený průhyb je u navrhované vaznice i přes navržené otvory o 30 mm menší, než je u původně navrženého nosníku (průhyb referenčního nosníku byl rovněž kontrolován).

#### Tabulkové porovnání

Nosník	Délka [mm]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [tun]	Počet [ks]	Objem celkem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost celkem [tun]	Množství výztuže [kg/m <sup>3</sup> ]	Třída betonu
L01.1	24,45	1800	5,8	14,5	30	174	435	210	C45/55
VI	24,45	1800	6,6	16,5	30	198	495	190	C40/50
ROZDÍL			-0,8	-2,0	0	-24,0	-60,0	20	1 TŘÍDA

#### 5.1.3 Stropnice a strop skladu 190

Úpravou geometrie nosníku a návrhem předpětí bylo dosaženo cílené redukce množství betonu a hmotnosti stropní konstrukce. Menší měrou se na této skutečnosti podílí optimalizace samotných prefabrikovaných stropnic, kde se povedlo ušetřit cca 750 kg na každé ze stropnic. To činí pro všechny stropnice celkově 81 tun ušetřeného betonu. Výraznější úspory betonu je poté dosaženo možností návrhu nižší stropní desky, kdy je výška stropní desky snížena z 250 na 200 mm. Tímto způsobem je možno ušetřit 292y35 m<sup>3</sup> betonu prováděného na stavbě tedy 730 t.

**Přepočtená** ohybová únosnost jak navrhovaného tak původního stropního nosníku je přibližně stejná a pohybuje se okolo 11670 kN. Původní nosník je využit více, jelikož musí přenášet o 50 mm vyšší nabetonávku. I když je u stropních nosníků rezerva v únosnosti a bylo by možno připustit ještě vyšší zatížení skladováním, není to možné. Průvlaky jsou využity na takřka 100 %. Za zmínku jistě stojí rozdíl ve vypočtených průhybech. Navržená konstrukce má díky předpětí průhyb minimální okolo +10 mm, původní železobetonový stropní trám -79 mm.

Z provozního pohledu je rovněž důležité to, že byly navrženy instalační prostupy, které v původním návrhu chybí. Všechny rozvody bylo tedy nutno vést pod stropem.

#### Tabulkové porovnání

Nosník	Délka [m]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [tun]	Počet [ks]	Objem celkem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost celkem [tun]	Množství výztuže [kg/m <sup>3</sup> ]	Třída betonu
T03	24,45	1800	12,48	31,2	87	1085,76	2714,4	300	C45/55
ST1	24,45	1800	12,17	30,425	87	1058,79	2646,975	292	C50/60
ROZDÍL			0,31	0,775	0	26,97	67,425	8	1 TŘÍDA

Deska	Výška [mm]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [tun]	Třída betonu
Původní	250	5847	1461.75	3654	30/37
Nová	200	5847	1169.42	2924	30/37
ROZDÍL			292,35	730	

## 5.2 Závěr

Byl proveden návrh a optimalizace vybraných konstrukčních prvků řešené montované konstrukce haly se zřetelem na minimální hmotnost konstrukce. U navržených prvků byla prokázána jejich dostatečná odolnost a spolehlivost po celou dobu návrhové životnosti v souladu se soustavou evropských norem pro navrhování. V rámci návrhu byla nalezena možná úspora materiálu oproti původnímu řešení, a to zejména u vysoce zatíženého stropu skladu, kde by bylo dle provedených výpočtů možno ušetřit až 319,32 m<sup>3</sup> betonu.

Statický výpočet ukončen 05.2020

## Přílohy

**Příloha P1:** Použité podklady

**Příloha P2.1:** Statický návrh a posouzení vaznice V1

**Příloha P2.2:** Statický návrh a posouzení stropnice ST1

**Příloha P3:** Výkresová dokumentace

**Příloha P4:** Teoretické opory