



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

***Optimalizace halových konstrukcí***

*Optimization of the long-span structures*

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: **doc. Ing. Vladimír Žďára, CSc.**

**Bc. Jan Koželuh**

Praha 2017



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Kotělník</u>	Jméno: <u>Jan</u>	Osobní číslo: <u>380193</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Optimalizace halových konstrukcí</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Optimization of the long-span structures</u>	
Pokyny pro vypracování: <u>Optimalizace ohybové tuhých halových konstrukcí pro dané okrajové podmínky. Vzájemné porovnání konstrukcí.</u>	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Vladimír Žďára, CSc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>21.2.2017</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>21.5.2017</u> <i>Údaj uváděte v souladu s datem v časovém plánu příložitelného sk. roka</i>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jímých pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Koželuh** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **380193**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra konstrukcí pozemních staveb**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce pozemních staveb**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Optimalizace halových konstrukcí**

Název diplomové práce anglicky:

**Optimization of the long-span structures**

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Vladimír Žďára CSc., katedra konstrukcí pozemních staveb FSv**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.02.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **21.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci na téma „Optimalizace halových konstrukcí“ vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucího diplomové práce, dalších konzultantů z fakulty stavební a konzultací s odborně způsobilými osobami z praxe. Uvedl jsem veškerý seznam použité literatury a informačních zdrojů. Vše v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských státních závěrečných prací. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti užití této diplomové práce, či její části.

V Praze dne .....

.....

Jan Koželuh



## Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Vladimíru Žďárovi, CSc., vedoucímu mé diplomové práce, za rady, připomínky a pomoc při vypracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Karlu Mikešovi, CSc., doc. Ing. Eliášové, CSc., Ing. Janu Záleskému, CSc., a všem dalším konzultantům z Fakulty stavební českého vysokého učení technického v Praze, za ochotu poradit s problémy, které jsem řešil. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vladimíru Vrábelovi, Ing. Janu Kainrathovi a všem dalším odborníkům z praxe za informace o cenách konstrukcí.



## **Anotace**

V této diplomové práci se autor zabývá návrhem a posouzením běžných halových konstrukcí lišících se statickým schématem a použitým materiálem. Cílem je porovnání vybraných halových konstrukcí v závislosti na volitelných parametrech – rozměry, zatížení, kvalita materiálu. Rozhodujícím výstupním kritériem pro porovnání je přibližná cena nosné konstrukce. V úvodní části práce jsou popsány nejčastěji realizované typy hal z různých materiálů. V druhé části je vysvětlen postup výpočtu a metodika posuzování nosných konstrukcí haly pro jednotlivé varianty. Dílčím cílem je vypočítat spotřebu materiálu v jedné nosné vazbě a odhadnout jeho cenu. Jsou definována působící zatížení a zatěžovací kombinace, způsob výpočtu vnitřních sil, návrh a staticky zjednodušený posudek hlavní nosné vazby, metodika odhadu ceny. V praktické části je popsáno použití této metody v prostředí Microsoft Excel s použitím programovacího jazyka VBA. Jsou vysvětleny funkce programu a jeho ovlivnitelné parametry, princip automatického posouzení a vyhodnocení. V závěrečné kapitole je proveden ukázkový výpočet s výsledným porovnáním cen.

## **Klíčová slova**

Halové konstrukce, oceňování konstrukcí, automatizované výpočty, optimalizace, Microsoft Excel VBA

## **Abstract**

This diploma thesis is dedicated to design and assessment of the long-span structures differing from the static scheme and the used material. The main goal is comparison of long-span structures samples depending on variable dimensions, load and material quality. In introduction part are introduced the most basic implemented constructions of various materials. In the second part, the procedure is explained. A partial goal is to calculate the consumption of material in one cross binding and estimate the price. Selected loads and loads combination, methods of internal forces calculation, design and statically simplified assessment of the main bearing, methods of price estimation are described. The practical part explains the application of the proposed problem to MS Excel and solution automation. The last part of thesis shows an example of the application of the program at several halls sizes and compares the resulting prices.

## **Key words**

Long-span structures, cost of construction, automated calculation, optimization, Microsoft Excel



## **Obsah**

Úvod .....	9
1. Typy halových konstrukcí dle materiálu .....	10
1.1 Železobetonové konstrukce .....	10
1.2 Dřevěné konstrukce .....	12
1.3 Ocelové konstrukce.....	13
1.4 Materiálově kombinované konstrukce .....	15
2. Postup posuzování.....	16
2.1 Statická schémata posuzovaných konstrukcí .....	16
2.2 Zatížení a zatěžovací kombinace .....	17
2.3 Výpočet vnitřních sil .....	18
2.3.1 Statické schéma 1 - Prostý nosník – sloup .....	18
2.3.2 Statické schéma 2 – Rámová konstrukce.....	19
2.3.3 Statické schéma 3 - Oblouk .....	20
2.4 Posouzení konstrukce .....	24
2.4.1 Dřevěné konstrukce .....	24
2.4.2 Ocelové konstrukce.....	29
2.4.3 Železobetonové konstrukce .....	34
2.4.4 Základové konstrukce .....	38
2.5 Vyjádření ceny .....	40
2.5.1 Dřevěné konstrukce .....	41
2.5.2 Ocelové konstrukce.....	42
2.5.3 Železobetonové konstrukce .....	42
3. Rozhraní naprogramované aplikace.....	44
3.1 Vstupní soubor.....	45
3.1.1 Zatížení stálé a proměnné.....	45
3.1.2 Rozměry konstrukce .....	49
3.1.3 Základové podmínky .....	49
3.1.4 Specifikace kvality materiálu .....	50
3.2 Databáze materiálů .....	51
3.2.1 Databáze dřeva.....	51
3.2.2 Databáze oceli .....	51
3.2.3 Databáze betonu.....	52
3.3 Cena .....	52
3.3.1 Cena dřeva .....	52
3.3.2 Cena oceli.....	53
3.3.3 Cena betonu .....	53



3.4	Export .....	54
3.5	Návrhové soubory .....	54
3.5.1	Železobetonový vazník T průřezu .....	54
3.5.2	Vazník konstantního průřezu z lepeného lamelového dřeva.....	55
3.5.3	Ocelová příhradová konstrukce s taženými diagonálami .....	55
3.5.4	Vetknutý dřevěný sloup .....	55
3.5.5	Vetknutý železobetonový sloup .....	56
3.5.6	Vetknutý ocelový sloup .....	56
3.5.7	Dřevěný trojkloubový rám.....	57
3.5.8	Ocelový dvojkoubový rám .....	57
3.5.9	Dřevěný trojkloubový oblouk .....	57
3.5.10	Soubory základové patky .....	58
3.5.11	Soubory nosného pláště.....	58
4.	Posouzení vybraných halových konstrukcí .....	59
5.	Závěr.....	62
	Použité zdroje .....	63
	Seznam obrázků .....	66
	Seznam tabulek .....	67
	Přílohy.....	68





## Úvod

Optimalizace návrhu halových konstrukcí je hlavním účelem této práce. Dokázat najít metodu, podle které by bylo možno určit nejvýhodnější typ konstrukce haly z hlediska statického schématu a použitého materiálu. Volitelnými parametry by byly rozměry haly, zatěžovací kritéria a základové podmínky. Rozhodujícím kritériem a jednotkou pro porovnání výsledků bude cena konstrukce.

Ve stavební praxi je stanovení ceny při návrhu konstrukcí tím nejdůležitějším prvkem. Firmy specializující se na provádění i návrh staveb bývají zaměřeny na jeden druh materiálu a mají zpravidla své podrobně zpracované velmi přesné metody stanovení ceny, kterými jsou schopny sdělit budoucí cenu ještě před samotným návrhem. Cenové odhady bývají provedeny z velikosti půdorysné plochy haly, v případně unifikované systémové výstavby (například u ocelových konstrukcí) lze virtuálně sestavit typovou halu a po zahrnutí lokality, rozměrů haly, míry zateplení a počtu oken, vrat, světlíků je odhadnuta kompletní cena. V mnoha případech i včetně dopravy a montáže. (1) (2) Všechny používané systémy stanovení ceny jsou použitelné pouze pro omezené množství variant.

V této práci je snahou navrhnout více komplexní systém, zaměřený i na různorodost materiálů. Navržená metoda k odhadnutí ceny je provedena zjednodušeným statickým posouzením hlavního nosného systému, dimenzováním jeho prvků, a tedy zjištěním potřebného množství materiálu. Další konstrukčně nosné prvky jsou dopočteny jako procentuální hodnoty buď z množství materiálu, nebo z ceny hlavní nosné vazby. Uvažované typy hal jsou půdorysně obdélníkové, symetrické, nosné konstrukce kompletně z jednoho materiálu nebo v materiálové kombinaci. Pro úspěšnost použití této metody jsou použita přijatelná zjednodušení při posuzování různých typů konstrukcí od zastřešujících prvků po základy. V práci je řešena pouze nosná část konstrukce a uvažovaná cena je vztažena na jednu příčnou vazbu.



## 1. Typy halových konstrukcí dle materiálu

### 1.1 Železobetonové konstrukce

V betonové výstavbě jsou dva základní druhy hal, a to vaznicové a vazníkové haly. Vaznicové haly mají větší rozteč nosných vazeb konstrukce a dodatečné železobetonové vaznice v úrovni střechy. V této práci budou navrhovány pouze haly vazníkové.

Vazníkové haly mohou mít střešní plášť buď uložený mezi vazbami podélně, což bývá řešeno samonosnými trapézovými plechy, druhá varianta jsou tenkostěnné vaznice a nenosné opláštění pokládané v kolmém směru. Střešní plášť je řešen v současnosti použitím sendvičových panelů s PUR nebo PIR výplní. Stěnový plášť u bezvaznicových systémů je výhodné řešit pomocí kazetových stěn z tenkostěnných profilů tvaru C, jež jsou nosným prvkem pro skládaný plášť.

Kompletní železobetonová hala je vyrobena od základu po střechu z prefabrikovaných prvků, v některých případech bývá na místě betonovaná patka s prefabrikovaným nástavcem. Velkou výhodou bývá provedení všech činností spojených s výstavbou – návrh, výroba, doprava, montáž u jednoho dodavatele. Prvky jsou vyráběny z betonu C 30/37 třídy XC2 pro základové konstrukce a vyšší kvality C 40/50 až C50/60 pro sloupy a vazníky. Vrchní konstrukce bývá zpravidla z betonu XC1.

Standardní rozteče nosných vazeb se pohybují mezi 6 až 7 metry. Maximální rozměry u obdélníkových sloupů dosahují až 800 x 1300 mm, výška prvku závisí na dané výrobě, ale lze vyrobit i sloup výšky 24 metrů. (3) Vazníky jsou vyráběny buďto jako předpjaté či nepředpjaté v závislosti na rozponu. Nepředpjaté do maximální délky 30 metrů při rozměrech 0,5 x 2,0 m a průřezu tvaru T nebo I. Tvarem mohou být sedlové, obloukové nebo přímé. V případě použití předpjatého vazníku je možno pokrýt délku až 40 m při rozměrech 0,7 m horní pásnice, 0,3 m spodní pásnice a výšce 2,1 m. Další nezbytnou konstrukcí jsou základové prahy a okrajová podélná ztužidla v rovině střechy, oboje v podélném směru mezi sloupy, velmi dobře jsou vidět na *Obr. 1 Vazníková hala bez tenkostěnných vaznic.*

Jednou z největších výhod, o kterou se haly z betonu mohou opřít, je výborná požární odolnost oproti největšímu konkurentu – oceli.



Obr. 1 Vazníková hala bez tenkostěnných vaznic (4)



Obr. 2 Vazníková hala s vaznicemi z tenkostěnných profilů (5)



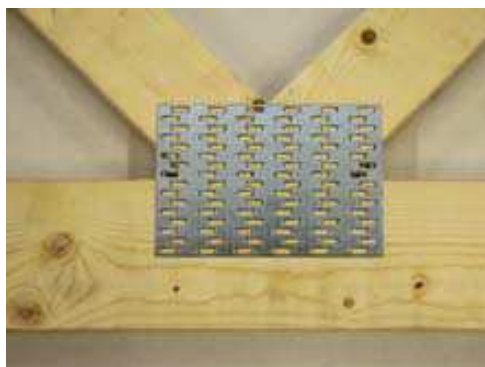
## 1.2 Dřevěné konstrukce

„Dřevo je efektivním a v řadě případů nejvhodnějším materiálem pro rovinné i prostorové konstrukce s prutovým nosným systémem“ (6) Dřevěné konstrukce byly využívány hojně celou lidskou historií a neustálý progresivní vývoj nových materiálů na bázi dřeva či spojovacích prostředků umožňuje splnění jejich realizaci i v současnosti.

Existují dva základní typy konstrukcí na bázi dřeva používaných v halové výstavbě. Vazníkové, rámové, obloukové či jinak tvarované nosníky z lepeného lamelového dřeva a příhradové konstrukce z rostlého nebo lepeného dřeva s novými typy spojovacích prostředků, jako je systém GANG – NAIL, používaný na spojování rostlého dřeva, nebo vkládané styčnickové plechy. Limitujícím faktorem při návrhu dřevěných konstrukcí, a to zvláště u příhradových, je únosnost spojů.



Obr. 3 Vložené styčnickové plechy (6)



Obr. 4 Systém gang-nail

U halových konstrukcí velkých rozpětí jsou využívány v první řadě dřevěné plnostěnné vazníky různých tvarů. Z LLD lze vytvořit téměř jakýkoliv tvar, čehož s radostí využívají architekti při návrhu obloukových/rámových konstrukcí atypických tvarů. (7) Zatímco je standardem využívat hlavně z důvodu příznivější ceny typy GL 24c/h, tak v poslední době jsou navrhovány i konstrukce z vyšší kvality dřeva, neboť díky lepším pevnostním a tuhostním parametrům je ušetřen materiál.

Mezi základní navrhované typy plnostěnných vazníků patří plnostěnný vazník sedlový / se zakřiveným spodním pásem a nasazeným hřebenovým klínem, uložený na betonových či ocelových, výjimečně i na dřevěných sloupech, trojkloubové rámy s různými konstrukčními řešeními rámového rohu – svorníkový spoj, lepený zubovitý spoj nebo použití ocelového nástavce. Obloukové konstrukce jsou zpravidla nosníky konstantního průřezu, dvojklobové nebo trojkloubové.

Příhradové konstrukce jsou nejvíce realizovány v trojúhelníkovitém tvaru s různými variacemi uspořádání vnitřních prutů. Překlenou rozpětí až 30m, a velmi často jsou ukládány na nosné stěny, proto mohou být rozteče vazeb kratší (minimum je kolem 1 metru). Tato volba závisí na zatěžovacích podmínkách, typu materiálu, rozpětí konstrukce. Příhradové konstrukce bývají často využívány k zastřešování hal menších rozměrů. (8)





I u obloukových nebo rámových konstrukcí je možnou volbou i příhradová varianta. Díky větší jednoduchosti, zavedené technologii i standardním detailům jsou však u lepených průřezů nižší ekonomické náklady, a tak jsou příhradové oblouky a rámy spíše výjimečnými konstrukcemi. (9)



Obr. 5 Dřevěný vetknutý sloup z lepeného dřeva (10)

### 1.3 Ocelové konstrukce

U oceli je ze všech tří možných statických schémat rám považován za nejběžnější nosnou konstrukci používanou v halové výstavbě. Druhou častou variantou je příhradová konstrukce, uložená buď na ocelových či betonových sloupech, nebo betonových, případně zděných stěnách. Plnostěnný rám je vyráběn buďto z klasických válcovaných nosníků, svařovaných nosníků tvaru I nebo SIN nosníků, které díky optimalizaci průřezu konkurují nosníkům příhradovým. Obloukové konstrukce bývají pak řešeny téměř výlučně z příhradových konstrukcí, rovinných nebo prostorových, nepočítají se ale mezi běžně navrhované haly.

Opláštění haly u vaznicového systému je prováděno ze sendvičových střešních PUR panelů. Je uloženo na vaznicích, v případě stěn na paždicích. Nejvíce jsou používány tenkostěnné prvky, které vynikají hlavně svojí lehkostí a subtilitou. V některých případech je používáno samonosné opláštění s nosným trapézovým plechem, ukládané přímo na nosnou rámovou konstrukci. Volba závisí na rozponu a hlavně provozních požadavcích (prořezy ve střešní rovině). Běžný rozpon rámu je mezi 15 – 60 m, nejvhodněji vycházejí rozpory 20-30 m. Používaná rozteč konstrukcí pro vaznicové systémy je mezi 6 - 8 metry, pro bezvaznicové zkrácena na 4,5 metru. (11) U příhradového nosníku jsou ideální rozpětí konstrukce okolo 15 metrů a je používán v oblastech s malými zatíženími. Hospodárný návrh příhrady uvažuje pruty namáhané vzpěrem jako kratší. Touto variantou je i nosník s taženými diagonálami uvažovaný v této práci.

Základní statické schéma pro rámovou halu může být s dvěma klouby v patkách sloupů nebo s vetknutými sloupy. Nejvhodnější varianta, co se týče celkových nákladů na základy a samotnou ocelovou konstrukci, se jeví varianta s kloubovými patkami. Vetknuté rámy jsou pak používány hlavně u hal s jeřábovým provozem,



protože eliminují vodorovné deformace, které jsou u dvojklobové varianty významnější. Trojkloubová konstrukce se v oceli téměř neprovádí a zůstává záležitostí betonu a hlavně dřeva. (12)



*Obr. 6 Typická ocelová rámová konstrukce s tenkostěnnými vaznicemi (13)*



## 1.4 Materiálově kombinované konstrukce

Nejčastější a jednou z prokazatelně nejekonomičtějších variant současnosti je kombinace prefabrikovaných ŽB sloupů v kalichových patkách a dřevěného plnostěnného vazníku uloženého kloubově do vidlicového uložení v hlavě sloupu. Dále jsou navrhovány rámové konstrukce s ocelovými sloupy a dřevěnými příčlemi. Varianta železobetonový sloup s dřevěným vazníkem je v této práci uvažována.



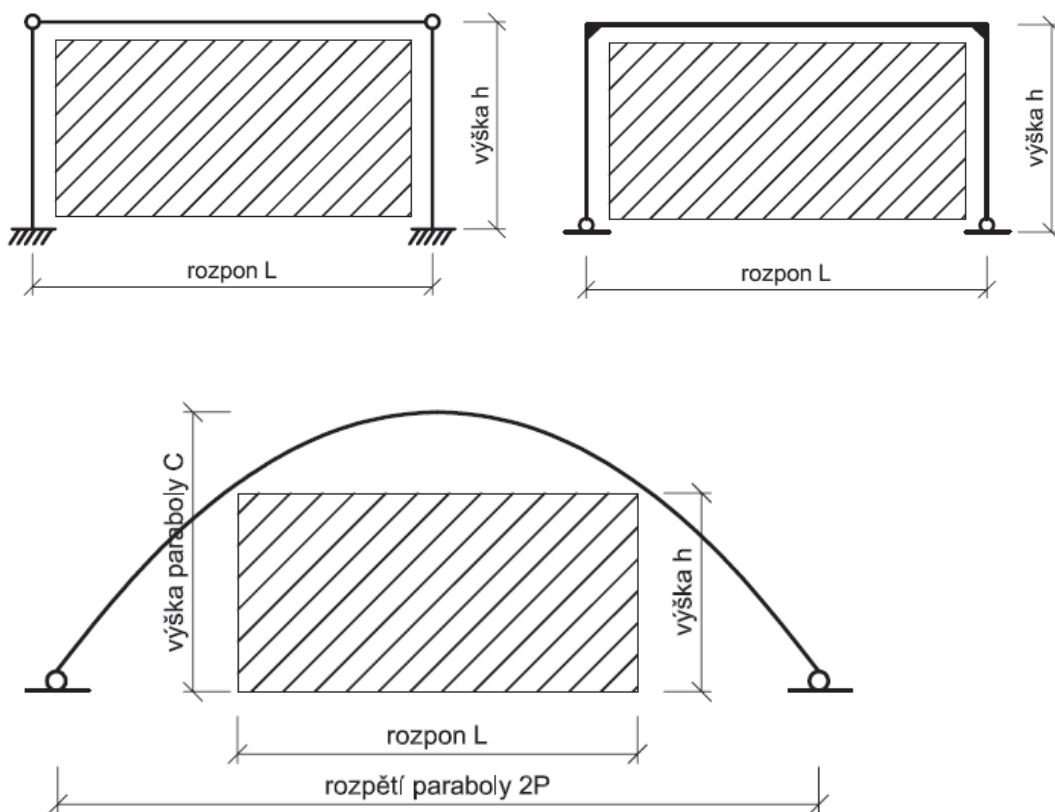
*Obr. 7 Hala z kombinace ocelových a dřevěných prvků (14)*



## 2. Postup posuzování

### 2.1 Statická schémata posuzovaných konstrukcí

V práci jsou řešena tři základní statická schémata vhodná pro halové konstrukce. Prostý nosník kloubově uložený na vetknutých sloupech, rámová konstrukce s kloubovými patkami a vrcholovým kloubem a tlačení oblouk uložený kloubově. Schémata mohou být mírně modifikována, například zavedení dalšího kloubu nebo vetknutí, pro různé materiálové varianty podle reality a proveditelnosti. Při výpočtu jsou zahrnuty omezující okrajové podmínky, lišící se dle materiálu a typu konstrukce, například omezení rozponu pro rámové konstrukce nebo omezení rozponu vazníku daného výrobou aj. Hlavní podmínkou je, že navržená konstrukce haly vždy zastřešuje volný prostor o rozměrech  $h \times L$ , na schématech níže znázorněno vyšrafovanou plochou.



Obr. 8 Základní statická schémata





## 2.2 Zatížení a zatěžovací kombinace

V práci jsou využity tři velmi zjednodušené zatěžovací kombinace, shodná pro všechna statická schémata. Volba těchto kombinací je výhodná pro použití vzorců z tabulek u výpočtu staticky neurčité konstrukce. U všech schémat jsou nejprve stejným postupem spočítány vnitřní síly, pak je konstrukce posouzena pro jednotlivé materiálové varianty.

### Kombinace č. 1 – zatížení střechy sněhem plné

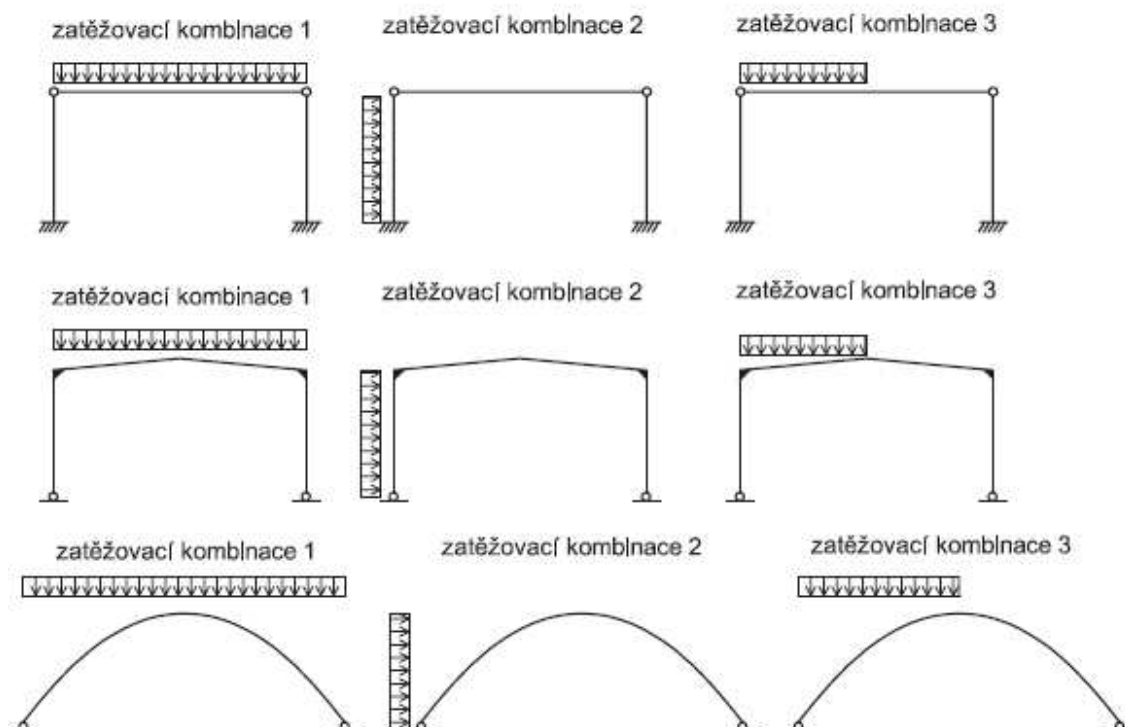
- Vlastní tíha vazníku v návrhové hodnotě [kN/m]
- Vlastní tíha střešního pláště v návrhové hodnotě [kN/m<sup>2</sup> . m]
- Zatížení sněhem v návrhové hodnotě [kN/m<sup>2</sup> . m]

### Kombinace č. 2 – zatížení stěny tlakem větru

- Zatížení větrem v návrhové hodnotě [kN/m<sup>2</sup> . m]
- Vlastní tíha vazníku v návrhové hodnotě [kN/m]
- Vlastní tíha střešního pláště v návrhové hodnotě [kN/m<sup>2</sup> . m]

### Kombinace č. 3 – zatížení střechy sněhem na její polovině

- Vlastní tíha vazníku v návrhové hodnotě [kN/m]
- Vlastní tíha střešního pláště v návrhové hodnotě [kN/m<sup>2</sup> . m]
- Poloviční zatížení sněhem v návrhové hodnotě [kN/m<sup>2</sup> . m]



Obr. 9 Zatěžovací kombinace



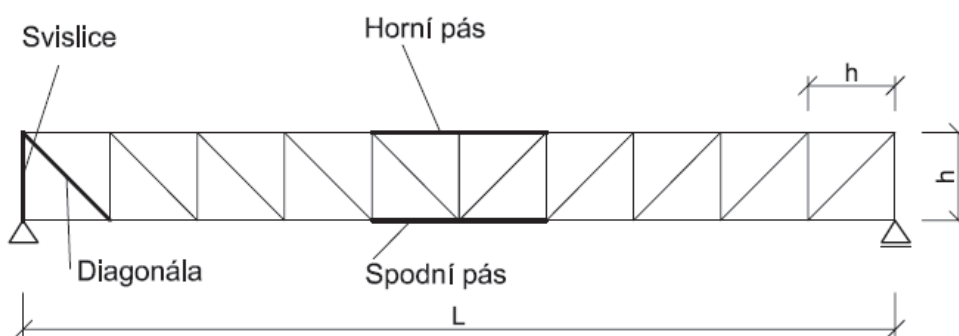
## 2.3 Výpočet vnitřních sil

V případě staticky určitých konstrukcí je výpočet vnitřních sil uskutečněn ruční metodou pomocí podmínek rovnováhy. U staticky neurčitých konstrukcí existuje více možností (silová, deformační metoda, statické tabulky), v práci byly použity vzorce ze statických tabulek. Veškeré plošné zatížení působící na konstrukci je přepočítáno na liniové.

### 2.3.1 Statické schéma 1 - Prostý nosník – sloup

#### 2.3.1.1 Konstrukce nosníku

Výpočet vnitřních sil na prutovém nosníku je proveden metodou podmínek rovnováhy pro všechny tři zatěžovací kombinace. U prutového vazníku je nejdůležitější ohybový moment uprostřed rozpětí, v případě příhradového nosníku jsou vypočteny síly v rozhodujících prutech konstrukce. Těmi jsou horní a spodní pás, postranní diagonála a svislý postranní prut.



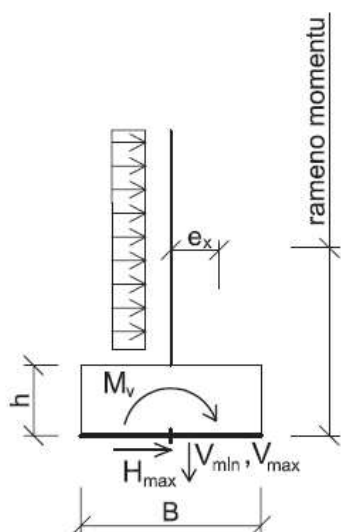
Obr. 10 Posuzované pruty na příhradovém nosníku

#### 2.3.1.2 Konstrukce sloupu

Pro výpočet vnitřních sil na sloupu je nutno definovat jeho uložení. Sloupy jsou uvažovány jako pruty vetknuté v patě s volným koncem. Rozhodující je zde kombinace č. 2 se zatížením větrem na stěnu konstrukce, která zapříčiňuje největší ohybové namáhání sloupu a kombinace č. 1 s největším tlakovým zatížením sloupu.

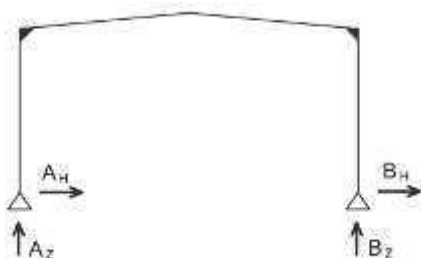
#### 2.3.1.3 Konstrukce základu

Na základ působí svislé síly od zatížení vlastní konstrukce. Do výpočtu jsou uvažovány dvě hodnoty.  $V_{min}$ , což je síla od účinků minimálního stálého zatížení (vlastní tíha konstrukce) a  $V_{max}$ , maximální síla od zatížení vrchní konstrukcí včetně klimatického zatížení sněhem. Obě dvě hodnoty zahrnují i vlastní tíhu konstrukce základové patky. Základová spára je také namáhána vodorovným účinkem větru  $H_{max}$ , který způsobuje ohybový moment  $M_v$  a excentrické zatížení základové spáry. Excentricita  $e_x$  dosahuje u vetknutého sloupu značných hodnot z důvodu velkého ramene ohybového momentu.



Obr. 11 Schéma vnitřních sil v základové spáře

### 2.3.2 Statické schéma 2 – Rámová konstrukce



Obr. 12 Směry silových reakcí

Rámové konstrukce jsou navrhovány s vodorovnou příčlív nebo s lomenou příčlív. V práci je navrhována příčlív se sklonem 5°. Zavedené směry podporových reakcí pro výpočet vnitřních sil rámu jsou zobrazeny na schématu.

#### 2.3.2.1 Konstrukce rámu

##### Dvojklobový rám

Pro výpočet vnitřních sil a reakcí staticky neurčité konstrukce dvojklobového rámu s lomenou příčlív jsou použity vzorce z *Tabulka 6 Dvojklobový rám s lomenou příčlív* příloze. Jsou vyčísleny reakce i normálové a posouvající síly na všech prutech, ohybový moment uprostřed rozponu konstrukce a v rámových rozích.

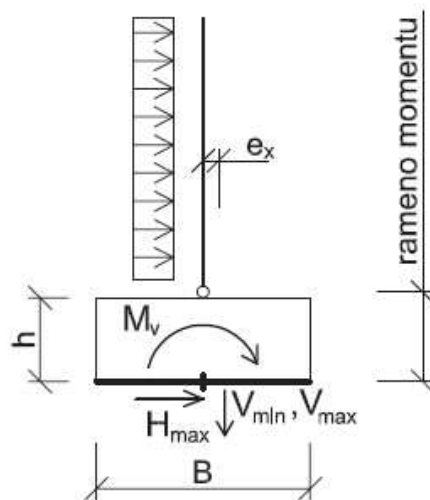
##### Trojkloubový rám

Jedná se o staticky určitou konstrukci, vnitřní síly jsou vypočítány ruční metodou pomocí podmínek rovnováhy na konstrukci. Vyčísleny jsou reakce, momenty v rámových rozích a normálové a posouvající síly na jednotlivých prutech.



### 2.3.2.2 Konstrukce základu

Na základ působí svislé síly od zatížení vlastní konstrukcí rámu. Do výpočtu jsou uvažovány dvě hodnoty.  $V_{min}$ , což je síla od účinků minimálního stálého zatížení (vlastní tíha konstrukce a pláště) a  $V_{max}$ , maximální síla od zatížení vrchní konstrukcí. Obě dvě hodnoty zahrnují i vlastní tíhu konstrukce základové patky. Základová spára je namáhána vodorovným účinkem větru  $H_{max}$ , který způsobuje ohybový moment  $M_v$  a excentrické zatížení základové spáry. Excentricita  $e_x$  je v tomto případě menší než u vetknutého sloupu v důsledku zkrácení ramene ohybového momentu.



Obr. 13 Schéma vnitřních sil v základové spáře

### 2.3.3 Statické schéma 3 - Oblouk

Obloukové konstrukce by byly v ideálních podmínkách navrhovány ve tvaru tlakové čáry od působícího zatížení. Jelikož tvar konstrukce se nemění, ale zatížení vlivem proměnných klimatických vlivů ano, je konstrukce namáhána částečně i ohybovým momentem.

Tyto tlačené konstrukce nemají posuvné uložení a v patě vznikají značné vodorovné síly, které musejí být přeneseny do zeminy přes opěrnou základovou konstrukci. Jsou známy dvě základní varianty, rozdělené podle způsobu přenášení vnitřních sil oblouku.

- **Otevřený systém** – velké nároky na opěrnou konstrukci základu, do které je přenášena všechna tlaková síla. V této práci jsou uvažovány pouze otevřené systémy
- **Uzavřený systém** – vodorovné síly zachyceny táhlem v úrovni opěrného systému, sníženy nároky na opěrnou konstrukci.

Navrhují se konstrukce různé statické určitosti, podobně jako u rámových konstrukcí.

- **Vetknutý oblouk** – varianta citlivá na pokles podpor, díky vetknutí lepší statické využití průřezu a úspora materiálu (používaný materiál - železobeton, ocel)
- **Dvoukloubový oblouk** – menší namáhání konstrukce od objemových změn nebo sednutí podpor (používaný materiál – železobeton, ocel, dřevo)
- **Trojkloubový oblouk** – úplná eliminace všech nepříznivých vlivů (používaný materiál – železobeton, ocel, dřevo), staticky určitá konstrukce



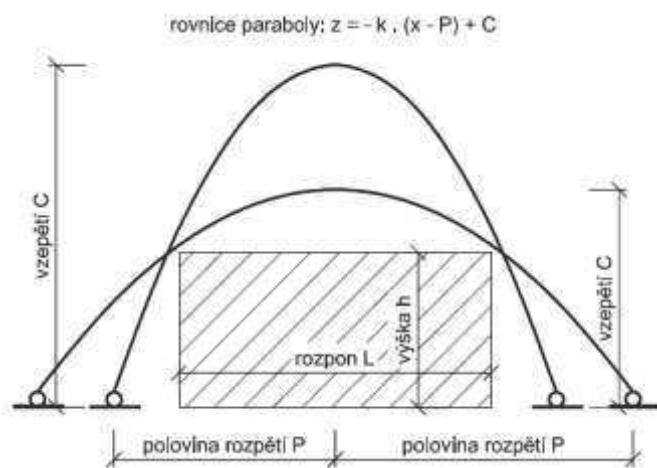
Pro návrh parabolického oblouku je vycházeno z upravené rovnice paraboly:

$$z = -k \times (x - P)^2 + C \text{ [m]}$$

,kde

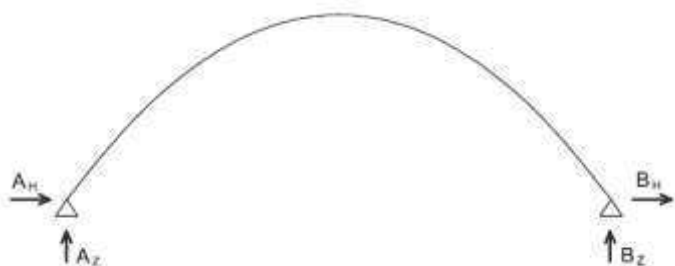
- $z$  – svislá souřadnice parabolického oblouku
- $k$  – parametr
- $x$  – vodorovná souřadnice paraboly, počátek v patě oblouku
- $P$  – vodorovná vzdálenost středu paraboly od paty
- $C$  – výška vrcholu paraboly

Dvojnásobná hodnota  $P$  se tedy rovná rozponu parabolického oblouku. Celé odvození tvaru (výšky a rozponu paraboly) je limitováno volným prostorem o rozměrech  $H \times L$  uvnitř oblouku.



Obr. 14 Tvary parabolického oblouku

### 2.3.3.1 Konstrukce oblouku



Obr. 15 Směr reakcí oblouku

Zavedené směry podporových reakcí pro výpočet vnitřních sil v oblouku jsou zobrazeny na schématu.

### Dvojklobový oblouk

Pro výpočet vnitřních sil oblouku se dvěma klouby byly použity vzorce ze statických tabulek. *Tabulka 7 - Parabolický oblouk dvojklobový* je zobrazená v příloze.

### Trojkloubový parabolický oblouk

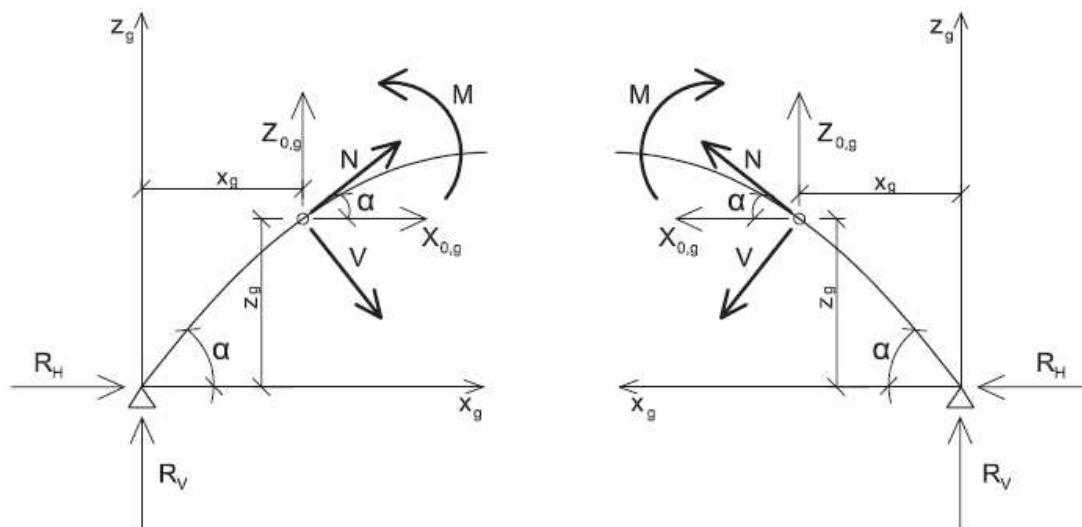


Tato konstrukce je staticky určitá, vnitřní síly jsou vypočítány ruční metodou pomocí podmínek rovnováhy.

### Globální a lokální vnitřní síly

Výše uvedené postupy slouží k získání silových reakcí v podporách oblouku. Jedná se o síly v globálním souřadnicovém systému. Přepočítání získaných hodnot na normálovou a posouvající sílu lokálně orientované ve směru osy prutu je provedeno následujícím způsobem:

Parabolický vazník je rozdělen na dvě souměrné poloviny podle svislé osy. Jsou vypočteny nejprve síly v systému globálních os  $x, z$  -  $X_{0,g}, Z_{0,g}$  v daném místě a následně odvozeny vnitřní síly  $N_l, V_l$  a ohybový moment  $M_l$  v lokálním souřadnicovém systému kolmém ke střednici prutu. Do výpočtů jsou následně pro zatěžovací kombinaci 1 použity hodnoty vnitřních sil ze souřadnice  $x, z$  [ 0; 0 ], kde se nachází nejvyšší hodnota normálové síly a pro další dvě zatěžovací kombinace použity hodnoty vnitřních sil z  $\frac{1}{4}$  rozpětí oblouku, kde se nacházejí největší hodnoty ohybových momentů při nesouměrném zatížení.



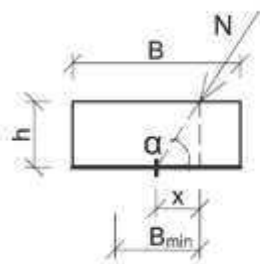
Obr. 16 Schéma orientace globálních a lokálních vnitřních sil



### 2.3.3.2 Základová konstrukce

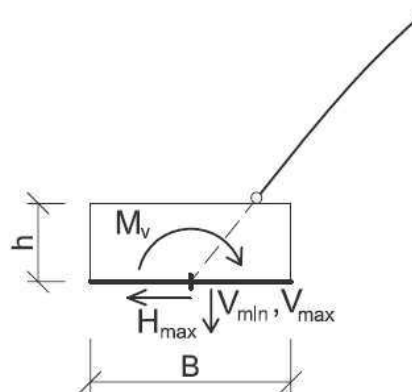
Na základ působí šikmá tlaková síla, v lokálním souřadnicovém systému označená  $N$ . Do výpočtu jsou uvažovány  $N_{min}$ , což je normálová síla od účinků minimálního stálého zatížení (vlastní tíha konstrukce a pláště) a  $N_{max}$ , maximální normálová síla v prutu oblouku z předchozí části výpočtu.

Rozměry základu jsou navrženy tak, aby tlaková síla způsobovala nulovou excentricitu na základovou spáru. Směřuje do středu základové spáry, z čehož je odvozena i minimální šířka základu  $B_{min}$  (Obr. 18 Způsob návrhu základové patky).



$N$  - tlaková síla od prutu oblouku  
 $\alpha$  - úhel sklonu oblouku v patě  
 $B_{min}$  - minimální šířka základu  
 $B$  - skutečná šířka základu

Obr. 18 Způsob návrhu základové patky



Obr. 17 Schéma vnitřních sil v základové spáře

Síly, převedené do globálního souřadného systému v základové spáře jsou:

- $V_{max}$  – max. svislé zatížení základové spáry včetně vlastní hmotnosti patky
- $V_{min}$  – min. svislé zatížení základové spáry včetně vlastní hmotnosti patky
- $H_{max}$  – max. vodorovné zatížení základové spáry způsobené tlačnou silou z oblouku
- $M_v$  – ohybový moment v základové spáře od proměnného zatížení





## 2.4 Posouzení konstrukce

### 2.4.1 Dřevěné konstrukce

V práci je pro návrh používáno lepené lamelové dřevo, známo jako BSH, v naší zemi označované zkratkou LLD a také rostlé dřevo. Základní kvalita materiálu pro LLD je GL24c, lze použít i kvalitnější typy až po GL32h. Pro rostlé dřevo je použito jehličnaté dřevo kvality C24.

Materiálové součinitele jsou v souladu s ČSN EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí. Dílčí součinitel vlastností materiálu je zvolen  $\gamma_{M1} = 1,25$ , modifikační součinitel vlivu trvání zatížení a vlhkosti je určen  $k_{mod} = 0,8$ , což odpovídá hodnotě pro třídu vlhkosti 1 nebo 2 a střednědobé zatížení (1 týden až 8 měsíců). Posudek se snaží respektovat normu, ale rozhodně není statickým výpočtem. Mezní stav použitelnosti není vůbec uvažován. (16)

Návrhové hodnoty materiálu jsou určeny podle vzorce:

$$f_d = k_{mod} \times f_k / \gamma_{M1} \text{ [MPa]}$$

, kde

- $f_k$  - charakteristická hodnota materiálu [MPa]
- $k_{mod}$  - modifikační součinitel
- $\gamma_M$  - dílčí součinitel vlastnosti materiálu

#### 2.4.1.1 Prostý nosník

Navrhovaný typ vazníku je z lepeného lamelového dřeva. Průřez je obdélníkový, konstantní po celé délce prutu. Uvažované rozměry průřezu jsou od 0,12x0,3 m po 0,24x2,1 m. Nosník je posouzen na dva základní způsoby namáhání:

#### Posudek na ohyb s uvažovaným klopením:

uvažováno v místě největšího ohybového momentu

$$M_{R,d} = W_y \times f_{m,d} \times k_{crit} \geq M_{e,d} \text{ [kNm]}$$

, kde

- $W_y$  - průřezový modul k ose větší tuhosti y [ $m^3$ ]
- $f_{m,d}$  - návrhová únosnost v ohybu [MPa]
- $k_{crit}$  - součinitel redukující pevnost v ohybu z důvodu klopení - hodnota uvažovaná jako konstanta 0,9 [-]

#### Posudek na smyk v místě uložení na sloup:

$$3/2 \times V_{e,d} / (A \times f_{v,d}) \leq 1$$

- $V_{Ed}$  - působící návrhová smyková síla [kN]
- $A$  - plocha průřezu =  $b \times h$  [ $m^2$ ]





- $f_{vd}$  – smyková pevnost dřeva kolmo k vláknům [MPa]

#### 2.4.1.2 Příhradová dřevěná konstrukce

Příhradové konstrukce na bázi dřeva jsou značně odlišné. Jejich rozteč vazeb se pohybuje od 1,2 m do 0,9, v závislosti na sněhových a větrových oblastech. Nejvíce jsou realizovány konstrukce z rostlého jehličnatého dřeva spojované styčnickovými deskami s prolisovanými trny. Rozměry prutů jsou závislé na výrobci, ale pohybují se od 50 - 70mm šířky do výšek průřezu 100 – 240 mm. Tvar konstrukce bývá zpravidla sedlový.

Z důvodu obrovského množství proměnných faktorů, které ovlivňují výsledný návrh, a složitému způsobu odhadu ceny, nebyla dřevěná příhradová konstrukce nakonec zavedena do návrhu a posudku.

#### 2.4.1.3 Vetknutý sloup

Vetknutý sloup z LLD s čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem. Sloup je posuzován na dvě limitní namáhání.

#### Posudek sloupu na vzpěrný tlak za ohybu:

uvažováno v místě největší normálové síly a jí příslušného momentu

$$N_{Ed}/(A \times f_{c,0,d} \times k_{c,S}) + M_{y,Ed}/(W_y \times f_{m,y,d}) \leq 1 [-]$$

$$k_{c,S} = \sigma_{crit,y/z} / f_{c,0,d} [-]$$

$$k_{c,S} \leq 1$$

$$\sigma_{crit,y/z} = \pi^2 \times E_{0,05} \times I_{y/z} / (L_{cr,y/z}^2 \times A) \text{ [MPa]}$$

,kde

- $W_y$  – průřezový modul k ose větší tuhosti y [m<sup>3</sup>]
- $A$  – plocha průřezu [m<sup>2</sup>]
- $f_{c,0,d}$  – návrhová pevnost materiálu v tlaku [MPa]
- $f_{m,y,d}$  – návrhová pevnost materiálu v ohybu [MPa]
- $k_{c,S}$  – opravený součinitel vzpěrnosti - poměr kritického napětí a návrhové pevnosti v tlaku [-]
- $N_{Ed}$  – maximální návrhová hodnota působící síly [MN]
- $M_{y,Ed}$  – příslušná návrhová hodnota ohybového momentu okolo tuhé osy y [MNm]
- $\sigma_{crit,y/z}$  – kritické napětí průřezu, při kterém prvek vybočí vlivem vzpěru [MPa]
- $I_{y/z}$  – moment setrvačnosti průřezu [m<sup>4</sup>]
- $E_{0,05}$  – modul pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]
- $L_{cr,y,z}$  – vzpěrná délka ve směru osy y,z [m]



Vzhledem k návrhové situaci a statickému schématu se jedná o oblast paty sloupu. Ohyb je uvažován bez klopení, vzpěr je uvažován s upraveným součinitelem vzpěrnosti  $k_{c,S}$ , který vyjadřuje poměr mezi menším z kritických napětí ( $\sigma_{krit,y}$  a  $\sigma_{krit,z}$ ) při vybočení vlivem vzpěru a návrhovou hodnotou pevnosti dřeva v tlaku.

**Opravený součinitel  $k_{c,S}$**  – zjednodušení výpočtu součinitele vzpěru  $k_{c,S}$  spočívá pouze v porovnání kritického napětí, při kterém prut vybočí, s maximální dovolenou návrhovou pevností prutu v tlaku ( $\sigma_{crit,y/z} / f_{c,o,d}$ ). V případě překročení hodnoty 1 uvažují opravený součinitel roven 1. Přesnost této metody v poměru k výpočtu doporučeného normou se pohybuje v rozmezí 100 – 80 %, přičemž výsledek stojí na straně bezpečnosti. Důvodem použití této úpravy byla snaha zjednodušit posudek a omezit vliv mnoha součinitelů a koeficientů.

#### Posudek sloupu na smyk:

Smykové namáhání sloupu je způsobeno pouze zatížením tlaku větru na stěnu, proto je uvažován průřez v patě sloupu

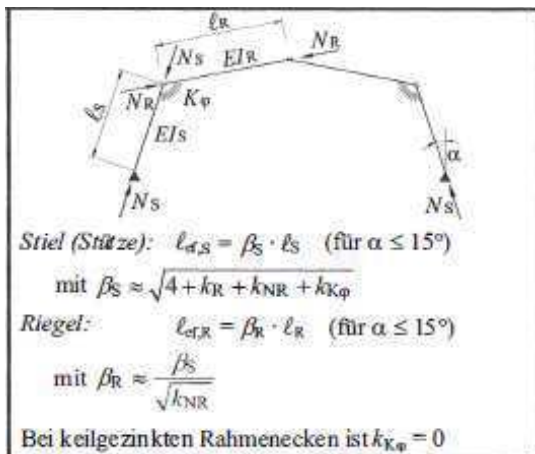
$$3/2 \times V_{e,d} / (A \times f_{v,d}) \leq 1 [-]$$

- $V_{Ed}$  – působící návrhová smyková síla [MN]
- $A$  – plocha průřezu =  $b \times h$  [m<sup>2</sup>]
- $f_{vd}$  – návrhová hodnota smykové pevnosti dřeva kolmo k vláknům [MPa]

#### 2.4.1.4 Dřevěný trojkloubový rám

Trojkloubový rám s nakloněnou příčlím z LLD je nejčastěji navrhovaná varianta. Nejdůležitější část konstrukce – provedení rámového rohu je možno řešit buďto lepeným zubovitým spojem, spojem svorníkovým s rozdvojenou stojnou rámu nebo nahrazením části rámového rohu jiným materiálem, zpravidla ocelí. V práci je řešena varianta s dvojité lepeným zubovitým spojem. Sklon příčle je 5°, stojka rámu je kolmá.

Důležitým údajem při statickém návrhu je určení vzpěrných délek a torzní pružinové tuhosti. Torzní pružinová tuhost je definována jako moment, který způsobí pootočení styčnicku velikosti 1 rad. K návrhu byly pro přibližné určení vzpěrných délek použity německé statické tabulky Schneider Bautabellen (17). V případě použití lepeného zubovitého spoje lze styčnick zjednodušeně považovat za tuhý a jeho torzní pružinovou tuhost, v tabulce  $K_{\phi}$ , uvažovat jako hodnotu 0. Pomocí níže uvedených vzorců jsou vypočteny vzpěrné délky sloupu a příčle v rovině rámu. Vzpěrné délky pro vybočení z roviny rámu jsou uvažovány jako skutečné délky prutů.



Faktor zur Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel:

$$k_{K\varphi} = \frac{\pi^2 \cdot EI_S}{l_S \cdot K_\varphi}$$

Faktor zur Berücksichtigung der Biegeweichheit der Riegel:

$$k_R = \frac{\pi^2}{3} \cdot \frac{EI_S}{EI_R} \cdot \frac{l_R}{l_S}$$

Faktor zur Berücksichtigung der Riegel-Normalkraft:

$$k_{NR} = \frac{EI_S}{EI_R} \cdot \frac{N_R}{N_S} \cdot \left( \frac{l_R}{l_S} \right)^2$$

Drehfedersteifigkeit:

$$K_\varphi = n_{SEVM} \cdot K_{d,1} \cdot I_p$$

$E$  =  $E_{\text{mittel}} / \gamma_M$  (vgl. Abschnitt 3.2)

$EI_S$  = Biegesteifigkeit der Stütze

$EI_R$  = Biegesteifigkeit des Riegels

$K_\varphi$  = Drehfedersteifigkeit des Anschlusses

$l_S$  = Stab- (System)länge der Stütze

$l_R$  = Stab- (System)länge des Riegels

$n_R$  = Anzahl der am biegesteifen Knoten angreifenden Riegel ( $n_R = 1$  oder  $2$ )

$N_S$  = Druckkraft in der Stütze

$N_R$  = Druckkraft im Riegel

$n_{SEVM}$  = Anzahl der Scherfugen pro Verbindungsmittel

$K_{d,1}$  = Verschiebungsmodul eines Verbindungsmittels pro Scherfuge nach Abschnitt 3.2

$I_p$  = polares Trägheitsmoment des Anschlusses nach Tafel 9.31

Obr. 19 Hodnoty vzpěrných délek pro dřevěný trojkloubový rám

Příčel je posouzena na vzpěrný tlak a ohyb s uvažováním klopení prvku a na smykovou únosnost průřezu. Stejně tak je posouzena stojka rámu. U reálných konstrukcí je stojka zpravidla tvořena proměnným průřezem, s největší výškou průřezu v rámovém rohu, v této práci je uvažován průřez konstantní po celé délce prutu. Posudek stability je proveden v oblasti rámového rohu, posudek smykového namáhání příčle také, pro stojku je pro posouzení smyku uvažována oblast patky.

Posudek sloupu a příčle pro **vzpěrný tlak a ohyb**:

$$N_{Ed} / (k_{c,S} \times A \times f_{c,0,d}) + M_{ed} / (k_{crit} \times W_y \times f_{m,y,d}) \leq 1$$

$$k_{c,S} = \sigma_{crit,y/z} / f_{c,0,d} [-]$$

$$k_{c,S} \leq 1$$

$$\sigma_{crit,y/z} = \pi^2 \times E_{0,05} \times I_{y/z} / (L_{cr,y/z}^2 \times A) [\text{MPa}]$$

,kde



- $N_{Ed}$  – příslušná návrhová hodnota působící síly [MN]
- $M_{Ed}$  – maximální návrhová hodnota ohybového momentu okolo tuhé osy  $y$  [MNm]
- $A$  – plocha průřezu [m<sup>2</sup>]
- $W_y$  – modul průřezu nosníku [m<sup>3</sup>]
- $f_{c,0,d}$  – návrhová pevnost materiálu v tlaku [MPa]
- $f_{m,y,d}$  – návrhová pevnost materiálu v ohybu [MPa]
- $k_{c,S}$  – opravený součinitel vzpěrnosti - poměr kritického napětí a návrhové pevnosti v tlaku [ - ]
- $k_{crit}$  – součinitel klopení, v práci uvažovaný jako konstanta 0,9 [-]

Posudek **smyku** je proveden dle vzorce:

$$3/2 \times V_{e,d} / (A \times f_{v,d}) \leq 1 \text{ [-]}$$

- $V_{e,d}$  – smyková působící síla [MN]
- $A$  – plocha průřezu [m<sup>2</sup>]
- $f_{v,d}$  – návrhová únosnost dřeva ve smyku [MPa]

#### 2.4.1.5 Dřevěný trojkloubový parabolický oblouk

Dřevěný oblouk byl navržen jako plný průřez z LLD s konstantní výškou. Oblouk je posuzován na vzpěrný tlak za ohybu v 1/4 svého rozpětí a na tlakovou únosnost v patě oblouku.

Podmínka spolehlivosti pro vzpěrný tlak s ohybem:

$$N_{Ed} / (k_{c,S} \times A \times f_{c,0,d}) + M_{ed} / (k_{crit} \times W_y \times f_{m,d}) \leq 1 \text{ [-]}$$

$$k_{c,S} = \sigma_{crit,y/z} / f_{c,0,d} \text{ [-]}$$

$$k_{c,S} \leq 1$$

$$\sigma_{crit,y/z} = \pi^2 \times E_{0,05} \times I_{y/z} / (L_{cr,y/z}^2 \times A) \text{ [MPa]}$$

,kde

- $N_{Ed}$  – příslušná návrhová hodnota působící síly [MN]
- $M_{y,Ed}$  – návrhová hodnota ohybového momentu okolo tuhé osy  $y$  v 1/4 rozpětí oblouku [MNm]
- $A$  – plocha průřezu [m<sup>2</sup>]
- $W_y$  – modul průřezu nosníku [m<sup>3</sup>]
- $f_{c,0,d}$  – návrhová pevnost materiálu v tlaku [MPa]
- $f_{m,y,d}$  – návrhová pevnost materiálu v ohybu [MPa]
- $k_{c,S}$  – opravený součinitel vzpěrnosti - poměr kritického napětí a návrhové pevnosti v tlaku [ - ]
- $k_{crit}$  – součinitel klopení, v práci uvažovaný jako konstanta 0,9 [-]



Podmínka spolehlivosti pro tlakovou pevnost:

$$N_{Ed}/(A \times f_{c,0,d}) \leq 1$$

, kde

- $N_{Ed}$  – návrhová hodnota normálové síly v patě oblouku [MN]
- $A$  – plocha průřezu [m<sup>2</sup>]
- $f_{c,0,d}$  – návrhová únosnost dřeva v tlaku [MPa]

Vzpěrná délka v rovině oblouku je odvozena pomocí tabulkových hodnot. Je vypočten poměr vzepětí oblouku a jeho rozpětí  $f/l$ , pro daný poměr je pak nalezen pomocný součinitel  $\alpha$ , kterým je vynásobena skutečná délka prutu. *Tabulka 8 – součinitelé vzpěru pro různé typy parabolického oblouku* je v příloze.

$$l_{ef} = l_s \times \alpha \text{ [ m ]}$$

, kde

- $l_s$  – délka poloviny oblouku
- $\alpha$  – součinitel vzpěru z tabulky

#### 2.4.2 Ocelové konstrukce

Ocelové průřezy byly posuzovány pouze na ohybová a tlaková namáhání. Kroucení průřezů nebylo posuzováno, z důvodu zanedbatelného vlivu na konečný výsledek, kterým je hmotnost navrženého profilu sloužící k určení ceny. Posuzování přípojí (svarů a šroubových spojů) nebylo prováděno. K návrhům je možno použít čtyři druhy oceli S235 – S420. K návrhu na ohybově namáhaných prvků nebo ohybově namáhaných s působením tlaku byly zařazeny profily tvaru I a profily s paralelními přírubami IPE. Pro tlakem nebo vzpěrným tlakem namáhané prvky byly užity profily s paralelními přírubami HEB. Při návrhu příhradové konstrukce bylo počítáno s použitím ocelových svařovaných trubek. Posudky vycházejí z normových doporučení, ale výpočet rozhodně není statickým posudkem. Mezní stav použitelnosti není uvažován.

#### Vzpěrná pevnost

Je postupováno podle ČSN EN 1993-1-1. (18) Po vypočtení štíhlosti prutu  $\lambda$  a štíhlosti na mezi kritického napětí  $\lambda_1$  je stanoven součinitel vzpěrnosti  $\chi$ . Pro všechny průřezy I a IPE je použita k návrhu křivka vzpěrnosti a, pro tlačené HEB profily křivka vzpěrnosti b. Pro kruhové trubky křivka vzpěrnosti a.

Vzpěrné délky prvku v rovině vazby byly určeny pomocí základních případů Eulerových prutů, u složitějších konstrukcí jako jsou rámy a oblouky s pomocí tabulkových hodnot. Vzpěrné délky pro vybočení z roviny vazby jsou uvažovány jako skutečné délky prutů.

#### Ohýbané prvky



Pro výpočet ohýbaných průřezů jsou definovány čtyři třídy dle schopnosti vytvářet plastické klouby a redistribuovat vnitřní síly pro první a druhou třídu až po čtvrtou třídu průřezu, jehož krajní vlákna nikdy nedosáhnou meze kluzu. V práci jsou všechny průřezy posuzovány s hodnotou plastického modulu průřezu  $W_{pl,y}$ , tedy jako průřezy 1. nebo 2. třídy.

#### 2.4.2.1 Ocelový sloup vetknutý

Jako ocelový sloup byl navržen prut typu HEB. Jedná se o tlačенý a ohýbaný prut. Vzpěrná délka v rovině vazby pro prut s vetknutím a volným koncem je stanovena jako  $l_{cr} = 2 \times l$ . Vzpěrná délka pro případ vybočení z roviny vazby je rovna výšce prvku  $l_{cr} = l$ . Sloup je posouzen na stabilitu, smyková únosnost není rozhodující. Uvažovány jsou účinky vzpěrného tlaku a klopení. Hodnota součinitele klopení  $\chi_{LT}$  je stanovena jako konstanta, stejně tak hodnota součinitele interakce  $k_{yy/yz}$ .

Výsledná podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{ed}}{\chi \times N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy/yz} \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk}/\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$N_{Rk} = f_{y,d} \times A \text{ [MN]}$$

$$M_{y,Rk} = f_{y,d} \times W_{y,pl} \text{ [MNm]}$$

, kde

- $N_{Ed}$  – návrhová hodnota normálové síly [MN]
- $M_{y,ed}$  – návrhová hodnota ohybového momentu okolo tuhé osy y [MNm]
- $A$  – plocha průřezu [m<sup>2</sup>]
- $W_{y,pl}$  – plastický modul průřezu nosníku [m<sup>3</sup>]
- $f_{y,d}$  – mez kluzu oceli [MPa]
- $k_{yy/yz}$  – součinitele interakce - uvažovány hodnotou 1,0
- $\chi_{LT}$  – součinitel klopení - uvažován hodnotou 0,8
- $\chi$  – součinitel vzpěrnosti
- $\gamma_{M1}$  – součinitel materiálu při posuzování stability = 1,0

#### 2.4.2.2 Ocelový plnostěnný nosník

Prostě uložený ocelový plnostěnný nosník není v kombinaci s vetknutým ocelovým sloupem používán – v takovém případě je vytvořen vetknutý rám, z důvodu úspory materiálu. Nosník lze použít na menší rozpory například v kombinaci s uložením na ŽB sloup, zděnou či ŽB stěnu. Posudek je proveden na maximální ohybové namáhání s uvažovanou ztrátou stability. Průřezy jsou zařazeny do třídy 1 a 2, posudek na ohyb je proveden s využitím plastického modulu průřezu  $W_{y,pl}$ . Pro posouzení smyku je uvažován plasticitní návrh, a tedy plastická únosnost ve smyku  $V_{pl,Rk}$ .





$$\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \times M_{C,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$M_{C,Rk} = M_{pl,Rk} = f_{y,d} \times W_{y,pl} \text{ [MNm]}$$

, kde

- $M_{y,ed}$  – návrhová hodnota maximálního ohybového momentu okolo tuhé osy y [MNm]
- $W_{y,pl}$  – plastický modul průřezu nosníku [m<sup>3</sup>]
- $f_{y,d}$  – mez kluzu oceli [MPa]
- $\chi_{LT}$  – součinitel klopení - uvažován hodnotou 0,8
- $\gamma_{M0}$  – součinitel materiálu = 1,0

Podmínka spolehlivosti pro smykovou únosnost:

$$\frac{V_{ed}}{V_{C,Rk} / \gamma_{M0}} \leq 1$$

$$V_{C,Rk} = V_{pl,Rk} = (f_{y,d} / \sqrt{3}) \times A_v \text{ [MN]}$$

, kde

- $V_{ed}$  – návrhová hodnota maximální posouvající síly [MN]
- $A_v$  – plocha stojiny průřezu [m<sup>2</sup>]
- $f_{y,d}$  – mez kluzu oceli [MPa]
- $\gamma_{M0}$  – součinitel materiálu - konstanta 1,0

#### 2.4.2.3 Ocelový příhradový nosník z válcovaných trubek

Jedná se o trubkový vazník, všechny části konstrukce jsou z válcovaných trubek. Výška příhrady byla parametricky zvolena jako 1 / 20 rozponu konstrukce. Sklon tažených diagonál je 45°. Spoje konstrukce jsou uvažovány svařované. Vazník je uložen na sloup v místě spodního pásu. Posuzovány jsou nejvíce namáhané pruty pro maximální zatížení. Minimální zatížení způsobené sáním větru a posouzení prutů na případný opačný směr namáhání není posouzeno. Střešní plášť a jeho nosné prvky stabilizují tlačенý horní pás proti vybočení z roviny a v rovině.

#### Tažený dolní pás a tažená diagonála v okrajovém poli nosníku

Oba typy tažených prutů jsou posouzeny na prostý tah podle vzorce:

$$\frac{N_{ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$N_{t,Rd} = f_{y,d} \times A \text{ [MN]}$$

, kde



- $N_{ed}$  – návrhová hodnota normálové síly v prutu [MN]
- $f_{y,d}$  – mez kluzu oceli [MPa]
- $A$  – plocha průřezu [m<sup>2</sup>]

### Tlačená stojka a tlačený horní pás

Stojka namáhaná největší tlakovou silou je okrajový prut nosníku. Horní pás je posuzován uprostřed rozpětí, kde působí největší tlaková síla. Oba tlačené pruty jsou posuzovány podle vzorce:

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$N_{b,Rd} = \chi \times f_{y,d} \times A \text{ [MN]}$$

, kde

- $N_{ed}$  – návrhová hodnota normálové síly v prutu [MN]
- $f_{y,d}$  – mez kluzu oceli [MPa]
- $A$  – plocha průřezu [m<sup>2</sup>]
- $\chi$  - součinitel vzpěrnosti

Vzpěrná délka tlačených prutů byla zvolena dle níže uvedené *Tabulka 1 Vzpěrné délky příhradových vazníků*. Teoretická délka prutu  $L_{teor}$  je v případě stojky výška vazníku neboli skutečná délka prutu, v případě tlačeného horního pásu délka 2 polí příhradové konstrukce – předpoklad uložení střešních vaznic maximálně ve vzdálenosti dvou styčníků.

Tabulka 1 Vzpěrné délky příhradových vazníků (19)

		Uhelníkový vazník	Trubkový vazník
Horní pás	v rovině	vzdálenost uzlů	0,9 vzdálenost uzlů
	z roviny	vzdálenost vaznic	0,9 vzdálenost vaznic
Dolní pás	z roviny	vzdálenost svislých ztužidel	vzdálenost svislých ztužidel
Vnitřní pruty	v rovině	vzdálenost těžišť přípojů $\cong 0,9 L_{teor}$	0,75 $L_{teor}$
	z roviny	$L_{teor}$	0,75 $L_{teor}$

#### 2.4.2.4 Ocelový plnostěnný rám s lomenou příčlím

Je navržen ocelový rám s lomenou příčlím a kloubově uloženými patkami. Sklon příčle je 5°, stojka je svislá. Příčel rámu je z průřezu I nebo IPE, stojka z profilu HEB. U ocelového rámu je jedním z nejdůležitějších parametrů návrhu klasifikace styčníků a od tohoto výsledku odvození vzpěrné délky. Klasifikují se jako kloubové, tuhé či polotuhé. V tomto případě platil předpoklad tuhého rámového rohu. Pro zjištění vzpěrných délek stojek rámu byly použity pomocné vzorce z *Tabulka 2 – Vzpěrné délky stojek rámu*.





Vzpěrný součinitel  $\beta \geq 2$  je určen na základě poměrné tuhosti příčle a stojky. Vzpěrná délka stojky je uvažována jako  $l_{cr} = \beta \times l$ . Vzpěrná délka příčle v rovině rámu je rovna skutečné délce prutu, pro vybočení z roviny je určena vzdáleností vaznic. Tato vzdálenost byla odhadnuta jako  $l_{cr} = l / 4$ .

Tabulka 2 – Vzpěrné délky stojek rámu (15)

10.3.2. Vzpěrná pevnost rámu

Tabulka C.104. Vzpěrné délky rámových sloupů

Vzpěrná délka  $l_{cr} = \beta l$   $\kappa = \frac{Jl}{J_{ob}}$

Rám	Součinitel vzpěrné délky $\beta$
	$2\sqrt{1 + 0,4\kappa}$

Výpočet je prováděn metodou I. řádu. Soustava není posouzena metodou globální analýzy a počáteční imperfekce rámové soustavy nejsou zahrnuty. Účinky imperfekcí jednotlivých prutů jsou uvažovány v posudku na vzpěrnou pevnost a klopení pomocí příslušných součinitelů  $\chi_y$  a  $\chi_{LT}$ .

O únosnosti průřezů rozhoduje stabilita prutu. Smyk a kroucení není posuzováno.

Výsledná podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{ed}}{\chi \times N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy/yz} \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1$$

$$N_{Rk} = f_{y,d} \times A \text{ [MN]}$$

$$M_{y,Rk} = f_{y,d} \times W_{y,pl} \text{ [MNm]}$$

, kde

- $N_{Ed}$  – návrhová hodnota normálové síly [MN]
- $M_{y,ed}$  – návrhová hodnota ohybového momentu okolo tuhé osy y [MNm]
- $A$  – plocha průřezu [ $m^2$ ]
- $W_{y,pl}$  – plastický modul průřezu nosníku [ $m^3$ ]
- $f_{y,d}$  – mez kluzu oceli [MPa]
- $k_{yy/yz}$  – součinitele interakce - uvažovány hodnotou 1,0
- $\chi_{LT}$  – součinitel klopení - uvažován hodnotou 0,8
- $\chi$  – součinitel vzpěrnosti
- $\gamma_{M1}$  – součinitel materiálu - konstanta 1,0



### 2.4.3 Železobetonové konstrukce

Železobetonové konstrukce jsou navrhovány podle ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí (20). Z důvodu pozdější možnosti automatizovat posudek je snaha návrh a výpočet co nejvíce zjednodušit. V posudku konstrukce je řešen pouze mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti a tedy průhyby a dotvarování konstrukce nejsou v práci řešeny. Posudek nelze použít jako statický, výsledky slouží pouze k zjištění rozměrů konstrukčních prvků.

#### Beton

Třídy betonu zahrnuté do návrhu jsou třídy C30/37 až C50/60.

Návrhová pevnost betonu v tlaku je vypočtena dle vzorce:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c \text{ [MPa]}$$

, kde

- $f_{ck}$  – charakteristická válcová pevnost v tlaku
- $\gamma_c$  – součinitel spolehlivosti betonu = 1,5
- $\alpha_{cc}$  - součinitel zohledňující dlouhodobé účinky na tlakovou pevnost betonu, pro pozemní stavby je jeho hodnota rovna 1,0

#### Výztuž

Jako materiál pro betonářskou výztuž je zvolena ocel B 500B.

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s \text{ [MPa]}$$

, kde

- $f_{yk}$  – charakteristická mez kluzu výztuže
- $\gamma_s$  – součinitel spolehlivosti výztuže – uvažován 1,15

#### Krytí výztuže

Kategorie návrhové životnosti konstrukce byla určena kategorie S4 – pro budovy a další běžné stavby s životností 50 let, stupeň vlivu prostředí XC1 – beton uvnitř budov s nízkou vlhkostí, ohrožen korozí vlivem karbonatace, kde požadovaná minimální třída betonu je C20/25. Pomocí těchto údajů byla určena požadovaná vrstva krytí výztuže.

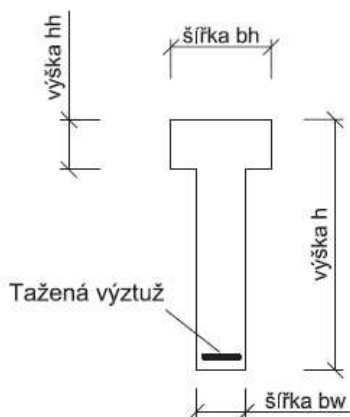
$$c_{nom} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10mm) + \Delta c_{dev}$$

- $c_{min,b}$  – minimální krycí vrstva z hlediska soudržnosti –  $\emptyset$  hlavní výztuže
- $c_{min,dur}$  – minimální krycí vrstva podle třídy prostředí - 15 mm
- $\Delta c_{dev}$  – 5 mm pro prefabrikáty

Krytí výztuže je zaokrouhlováno na přesnost 5 mm.



### 2.4.3.1 Železobetonový nepředpjatý vazník T – průřezu



Předpokladem při návrhu je hlavní tažená výztuž v jedné vrstvě u spodního okraje. Plocha výztuže je navržena bez bližší specifikace o počtu prutů. Přesto je však z důvodu výpočtu účinné výšky  $d$  odhadnut průměr výztuže vždy pro navrhovaný rozměr průřezu. Průřez je posouzen na maximální ohybové namáhání podle vzorce:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = A_{s1} \times f_{yd} \times z \text{ [kNm]}$$

$$z = d - 0,4 \times x \text{ [m]}$$

, kde

- $A_{s1}$  – navrhovaná plocha tažené výztuže [ $\text{m}^2$ ]
- $f_{yd}$  – mez kluzu výztuže [MPa]
- $z$  – rameno ohybového momentu k středu tlačené plochy průřezu [m]
- $x$  – výška tlačené oblasti [m]
- $d$  – účinná výška průřezu [m]

Dále je posouzena maximální smyková únosnost průřezu:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = v \times f_{cd} \times b_w \times z \times \frac{\cot\theta}{1+\cot\theta^2} \text{ [kNm]}$$

, kde

- $v$  – 0,528
- $f_{cd}$  – návrhová pevnost betonu v tlaku
- $b_w$  – šířka dolní části průřezu
- $z$  – rameno ohybového momentu
- $\cot\theta$  – maximální uhel sklonu třmínků

Aby navržený průřez vyhověl, jsou vyžadovány podmínky:

Základní podmínka:

- $M_{Rd} \geq M_{Ed} \text{ [kNm]}$



Další požadavky:

- $\rho_{min} \leq \rho_{skut} \leq \rho_{max}$  - procento vyztužení je v požadovaných mezích
- $\xi \leq \xi_{bat} [-]$  - výztuž v tahu je plně využita
- $V_{Rd,max} \geq V_{Ed} [kN]$  - smykové namáhání nepřesahuje maximální únosnost průřezu ve smyku

Navrhována je tedy pouze spodní tažená výztuž. Aby bylo dodrženo požadované procento vyztužení průřezu, je horní mez plochy vyztužení při návrhu stanovena na 4% celkové plochy průřezu. Kotvení výztuže ani návrh smykové výztuže nejsou v práci řešeny.

### 2.4.3.2 Železobetonový sloup

U tlačených železobetonových sloupů jsou rozlišovány masivní a štíhlé sloupy. U štíhlých prvků je nutno při výpočtu přihlížet i k jejich přetvoření a zatížení na již deformovanou konstrukci - tedy zahrnout i vliv působení druhého řádu. Sloupy navrhované v této práci jsou posuzovány jako osamělé prvky.

U halových konstrukcí je předpoklad, že všechny sloupy budou podle štíhlostního posouzení klasifikovány jako štíhlé. Byl stanoven maximální štíhlostní limit  $\lambda = 150$ , který se nachází zpravidla nad hodnotou  $\lambda_{lim}$ , která definuje rozhraní mezi masivním a štíhlým sloupem. V případě, že skutečná štíhlost  $\lambda \geq \lambda_{lim}$ , je nutno uvažovat vliv zatížení na již přetvořenou konstrukci.

Limitní štíhlost je stanovena podle vzorce  $\lambda_{lim} = 15,4 \times C / (|N_{Ed}| / (A_c \times f_{cd}))$ . Pro základní charakteristiku štíhlých průřezů je používána tzv. **účinná délka**, kterou lze definovat jako vzpěrnou délku. U železobetonových sloupů haly je uvažováno pro oba směry vybočení  $l_0 = \beta \cdot l$ , přičemž  $\beta = 2,0$ .

Samotný návrh ŽB sloupu je uskutečněn pomocí porovnání návrhových velikostí působících vnitřních sil s limitními hranicemi v interakčním diagramu. U sloupů je standardně počítána limitní štíhlost kvůli případným účinkům od zatížení druhého řádu. Na sloup působí normálová síla od zatížení vazníku a ohybový moment způsobený zatížením stěny větrem. Nejvíce namáhané místo bude v patě sloupu, kde naroste jak tlaková síla od vlastní tíhy, tak konstantní ohybový moment od počáteční excentricity  $e_f$  a výstřednosti normálové síly  $e_i$ , jež je přičítán k působícímu momentu od větru.

#### Výpočet výstřednosti:

Počáteční imperfekce –  $e_f = M_{fd} / |N_{fd}|$  [m]

Geometrické imperfekce –  $e_i = l_0 / 400$  [m]

Počáteční výstřednost:  $e_0 = e_f + e_i$  [m]

,kde

- $M_{fd}$  – působící návrhový moment



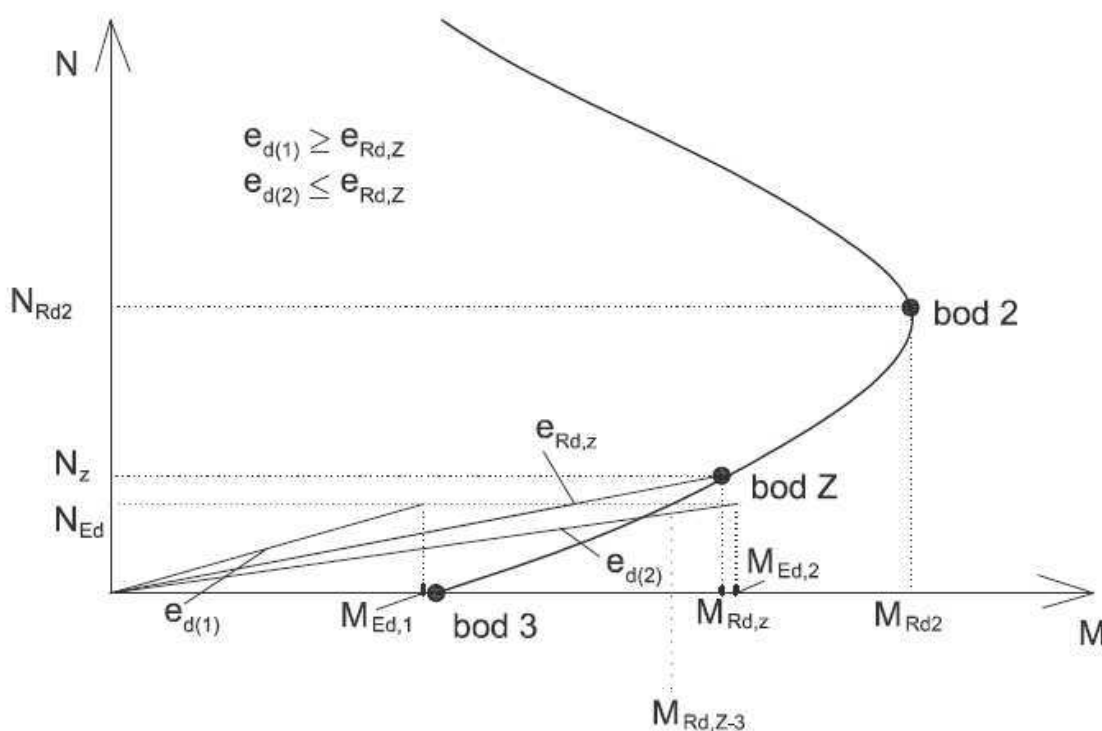
- $N_{fd}$  – normálová síla v patě sloupu
- $l_o$  – systémová délka prvku

Výsledný ohybový moment I. řádu:  $M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot e_0$  [kNm]

Pokud je nutno počítat vliv zatížení II. řádem, je prováděn výpočet pomocí metody jmenovité tuhosti. Výsledný moment od I. i II. řádu je tedy  $M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$  [kNm]

Do dalšího výpočtu je podle výsledku štíhlostního posouzení použit daný moment ( $M_{0Ed}$  nebo  $M_{ed}$ ). Následně jsou vyjádřeny hodnoty  $M_{Rd}$  a  $N_{Rd}$  pro body 0, 1, 2, z, 3 interakčního diagramu. Vzhledem k absenci významné normálové síly a „předimenzování“ průřezu v návrhu se souřadnice skutečně působících sil nacházejí v oblasti mezi body 3 a 2, přesněji body z a 3.

Pomocí přímého výpočtu je nejprve proveden důkaz polohy bodu uvnitř interakčního diagramu pomocí porovnání výstředností skutečného momentu a limitního momentu bodu z,  $e_d$  a  $e_{Rd,z}$ . Tangenta souřadnice skutečně působících sil musí být větší, aby podmínka vyhověla. Pokud tato podmínka není splněna, je spočítána souřadnice  $M_{Rd,Z-3}$  limitního momentu na hraně obalové křivky interakčního diagramu v úrovni skutečné  $N_{Ed}$ . Porovnáním  $M_{Ed}$  a  $M_{Rd,Z-3}$  je dokázáno, že souřadnice  $N_{Ed}; M_{Ed}$  leží uvnitř interakčního diagramu.



Obr. 20 Interakční diagram



Podmínky pro posouzení:

Základní podmínka – průřez leží uvnitř interakčního diagramu:

- $e_{Rd,z} \leq e_d$  – bod působících sil  $M_{Ed}$ ,  $N_{Ed}$  leží uvnitř diagramu

$$\left( e_d = \frac{N_{ed}}{M_{ed}}; e_{Rd,z} = \frac{N_{Rd,z}}{M_{Rd,z}} \right)$$

*Pokud podmínka výstřednosti nevyhoví, je spočítána poloha souřadnice limitního ohybového momentu*

- $M_{Rd,z-3} \geq M_{Ed}$  [kNm] - skutečně působící moment je menší než limitní

Další požadavky:

- $\rho_{min} < \rho_{skut} < \rho_{max}$  - procento vyztužení je v požadovaných mezích
- předpoklady pro přetvoření betonu nebo protažení výztuže dané pro jednotlivé body interakčního diagramu

V případě, že jsou všechny podmínky dodrženy, navržený průřez vyhoví. Při výpočtu jednotlivých bodů interakčního diagramu a posuzování bylo postupováno podle příručky k ČSN Navrhování betonových konstrukcí a skript VUT Brno pro betonové konstrukce. (21), (22)

#### 2.4.4 Základové konstrukce

Výpočet slouží pouze pro orientační cenové vyhodnocení celkových nákladů, hlavním cílem je kubatura spotřebovaného materiálu na základovou konstrukci. Výpočet postupuje částečně podle normy ČSN EN 1997-1 (23), ale rozhodně není výpočtem statickým. V posouzení základů se autor nezabývá mezním stavem použitelnosti, je řešen pouze mezní stav únosnosti (ULS).

Pro všechny typy objektů jsou ve výpočtu uvažovány základové patky obdélníkového tvaru, pro zjednodušení z prostého betonu. Pouze pro prefabrikovaný železobetonový sloup je navržen patní kalich, jehož kubatura je odečtena od navržené kubatury základu. Základová patka je vyrobena z betonu třídy C25/30. Vlastní tíha betonu je uvažována jako  $25 \text{ kN/m}^3$ . Hloubka základu je ve výpočtu uvažována konstantně jako 1 metr, přičemž v extrémně plastických zeminách třídy F7 a F8 je upravena dle požadavků na 1,60 m. Šířka základu kolmo z roviny vazby L je rovna šířce v rovině B, která je zjištěna na základě třech výpočtových kritérií, **podmínky stability, podmínky únosnosti a podmínky usmyknutí v základové spáře**.

Podle postupu z Eurokódu 7 – EN 1997-1 Navrhování geotechnických konstrukcí je využito možnosti zjednodušeně navrhovat konstrukce zatříděné do 1. geotechnické kategorie. V práci jsou tedy veškeré základové konstrukce uvažovány jako první geotechnická kategorie, pro kterou není nutné používat zásady mezních stavů. Místo toho jsou použity tabulky mezních únosností zemin  $R_t$ . (24). Tabulky s částečně upravenými hodnotami pro použití v této práci jsou v příloze jako *Tabulka 9 Hodnoty výpočtové únosnosti  $R_{dt}$  jemnozrnných zemin při hloubce založení 0,8 až 1,5 m*.



Je postupováno zjednodušeně podle návrhového přístupu 1 (NP1): V posudku je použita kombinace „A1“ + „M1“ + „R1“. Výpočet návrhových hodnot je uskutečněn podle vzorce

$$X_d = X_k / \gamma_x$$

, kde

- $X_k$  – charakteristická hodnota
- $X_d$  – návrhová hodnota
- $\gamma_x$  – součinitel pro daný parametr

Součinitele pro působící zatížení jsou dle souboru „A1“:

- $\gamma_G = 1,35$  - nepříznivé stálé zatížení
- $\gamma_Q = 1,5$  - nepříznivé užitné zatížení

Dílní součinitele parametrů základové půdy  $\gamma_M$ , jsou uvažovány dle souboru „M1“ s hodnotou rovnou 1,00.

Dílní součinitele únosnosti plošných základů jsou dle souboru „R1“:

- $\gamma_{R,v} = 1,0$  – součinitel pro únosnost základové spáry
- $\gamma_{R,h} = 1,0$  – součinitel pro usmyknutí základové spáry

**Kritérium 1** – Podmínka stability:

maximální možná excentricita v rovině vazby posuzovaná dle vzorce:

$$(e_x / B^2) \leq (1/3)^2 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

- $B$  – šířka základu
- $e_x$  – excentricita zatížení (poměr působícího návrhového momentu  $M_{yd}$  a svislé normálové síly  $V_{ed,z}$  v úrovni základové spáry)

Výpočet excentrického namáhání ve směru y je v posudku zanedbán, ohybové namáhání na konstrukci v tomto směru není uvažováno.

**Kritérium 2** – Podmínka únosnosti:

Napětí v základové spáře musí být menší, než je únosnost příslušné zeminy.

$$\sigma_d = V_{ed} / A_{eff} \leq R_{dt} \text{ [kPa]}$$

$$A_{eff} = (B - 2 \times e_x) \times L \text{ [m}^2\text{]}$$

- $V_{ed}$  – působící návrhová svislá síla [kN]
- $A_{eff}$  – efektivní plocha základu =  $B_{eff} \times L$  [m<sup>2</sup>]
- $B_{eff}$  – efektivní šířka základu =  $(B - 2 \times e_x)$  [m]





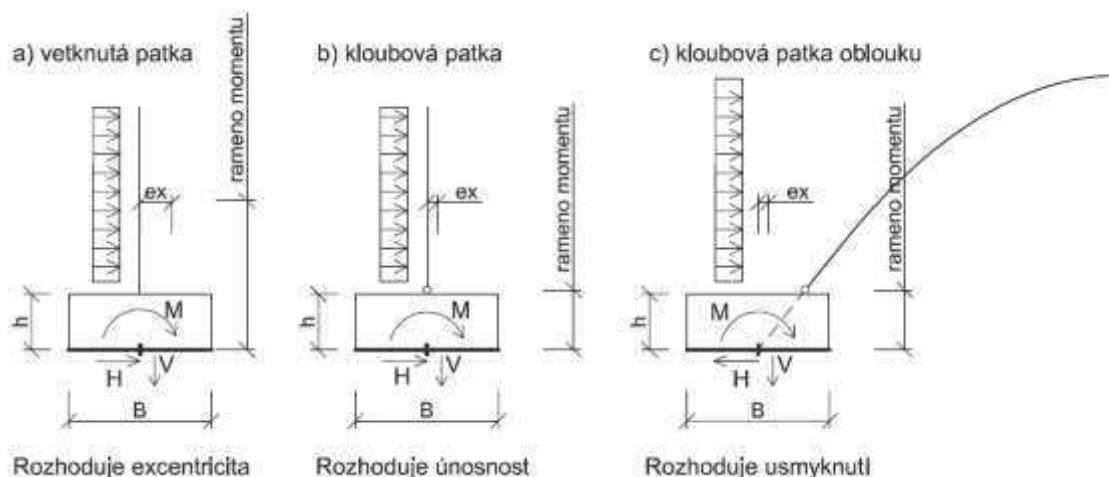
- $R_{dt}$  – návrhová únosnost základové spáry dle tabulek zpracovaných v souladu s normou EN 1997-1. (viz. Příloha, Tabulka 4 - 8) [kPa]

**Kritérium 3** – Posouzení základové spáry na usmyknutí:

$$R_{d,h}/\gamma_{Rh} = (N_{zd} \times tg\varphi_{d'})/\gamma_{Rh} \geq H_d \text{ [kPa]}$$

- $R_{d,h}$  – návrhová únosnost základové spáry ve vodorovném směru [kPa]
- $N_{z,d}$  – minimální hodnoty svisle působících zatížení v základové spáře [kN]
- $tg\varphi_{d'}$  - tangenta úhlu tření zeminy
- $\gamma_{R,h}$  – 1,0
- $H_d$  – maximální hodnoty vodorovně působících zatížení [kN]

V rámci všech tří posudků je šířka základu hlavním proměnným parametrem. Je postupně zvětšována až do okamžiku, kdy všechna tři výše popsaná kritéria vyhoví. Na obrázku níže je odhadnuto, která podmínka je rozhodující u různých typů patek. Pro stanovení výsledné ceny je použita spočítaná kubatura základového betonu.



Obr. 21 Navrhované základové patky a rozhodující podmínky posudku

## 2.5 Vyjádření ceny

Vyjádření ceny jedné vazby nosné konstrukce je cílem této práce. Každý materiál má své specifické jednotky použité při oceňování – u dřeva a betonu jsou to kubické metry, u oceli hmotnost. Podle tohoto předpokladu byly určeny ceny konstrukcí i v této práci. Bylo využito možnosti návštěvy firem zabývajících se návrhem a výrobou uvažovaných konstrukcí a i s pomocí získaných informací a předaných zkušeností byla odvozena metoda stanovení ceny hlavní příčné vazby, ale především ostatních částí nosné konstrukce.





Položky v ceně, které lze složitě vyjádřit pro vysokou odlišnost mezi jednotlivými druhy konstrukcí nebo příliš velkou jedinečností, byly zanedbány. Jsou to tyto údaje:

- Cena zařízení staveniště
- Zisk firem
- Doprava: doprava je bezesporu významným hybatelem celkových nákladů. Rozdíl ve váze různých typů konstrukcí, případná výroba mimo území našeho státu, velikostní omezení, to jsou jedny z mála faktorů, které významně ovlivňují cenu dopravy. Náklady na ní proto nebyly započítány.
- Montáž konstrukcí
- Cena projektu

### 2.5.1 Dřevěné konstrukce

Veškeré ceny jsou uvedeny bez DPH. Cena samotného materiálu je uvedena včetně opracování, bez opracování se cena pohybuje přibližně o 3000 korun níže.

K ceně dřeva jsou připočítány ceny dalších konstrukcí a jejich zpracování

Hlavní položkou byla cena nosné konstrukce spočítána a odvozená přes kubaturu spotřebovaného dřeva. Další části konstrukce byly oceněny následovně:

- Cena ochranného nátěru dvousložkového – penetrace a vrchní nátěr. Cena byla stanovena v Kč/m<sup>3</sup>  
Pro spodní nátěr je uvažováno 500 Kč/m<sup>3</sup>, pro finální 1500 Kč/m<sup>3</sup>
- V případě rámu cenu navyšuje lepený zubovitý spoj. Jeho hodnota je odhadnuta jako 15% ceny nosné konstrukce rámu. Jsou započítány oba dva rohy rámové konstrukce.
- Kloubový přípoj paty stojky rámu nebo oblouku k základové patce je stanovena jako 10% z ceny nosné konstrukce rámu nebo oblouku.
- Vetknutí dřevěného sloupu do patky je odhadnuto jako 50% z ceny sloupu.
- Kování včetně spojovacích prostředků bylo odhadnuto na 250 Kč/m<sup>2</sup> plochy vazníku, na kterou jsou vaznice nebo paždíky kotveny. U rámu a oblouků byla plošná cena zvýšena na 400 Kč/m<sup>2</sup>.
- Zavětrovací konstrukce prostého nosníku byla uvažována z ocelových táhel a její cena pro jednu vazbu je odhadnuta na 15% z ceny střešního vazníku pro střešní ztužidla a sloupu pro stěnová ztužidla
- Zavětrovací konstrukce u rámu byla uvažována z ocelových táhel a její cena pro jednu vazbu je odhadnuta na 10% z ceny rámu pro střešní ztužidla a 5% z ceny rámu pro stěnová ztužidla
- Zavětrovací konstrukce u oblouků byla uvažována z ocelových táhel a její cena pro jednu vazbu je odhadnuta na 20% z ceny obloukového nosníku.
- Kloubový spoj ve vrcholu rámu a oblouku je stanoven jako 10% z ceny konstrukce rámu nebo oblouku

Výsledný cenový odhad je součet výše uvedených položek příslušící dané konstrukci společně s cenou základových pátek.



### 2.5.2 Ocelové konstrukce

Hlavní položkou, podle které jsou stanovovány ceny ocelových konstrukcí, je jejich hmotnost. Ostatní parametry jako kvalita oceli (S235 nebo S355 mají minimální rozdíl v ceně), tvar, způsob připojení, všechno jsou to jen minimální vlivy na výslednou cenu. Dle tohoto předpokladu bylo dále postupováno. Veškeré dodatečné konstrukce, úpravy nebo spojovací prostředky jsou připočítány jako hmotnostní přírážky.

Ocel je materiál, kde se většina práce odehraje ve výrobě. Profily jsou v ideálním případě kompletně připraveny na montáž, aby na stavbě mohlo proběhnout jen poskládání prefabrikované stavebnice. Pro rámové konstrukce nebo příhradové vazníky jsou v práci navrženy vaznice a paždíky z tenkostěnných průřezů. Plnostěnné vaznice nebo samonosný střešní plášť nejsou uvažovány.

Ceny výrobků z oceli byly rozděleny následujícím způsobem. Cena je uvedena bez DPH, bez započítání dopravy a montáže na stavbě. Započtena je dílenská výroba, svaření potřebných dílů, úprava povrchu konstrukce dvouvrstvým nátěrem. V případě tenkostěnných konstrukcí je uvažována povrchová úprava žárovým pozinkováním. Přibližné ceny prvků použitých na nosné konstrukce.

- Válcované profily IPE, I, HEB s cenou 32 Kč/kg
- Příhradové konstrukce z konstrukčních svařovaných trubek 40 Kč/kg
- Tenkostěnné vaznice a kazety – 45 Kč/kg
- Tenkostěnné trapézové plechy – 42 Kč/kg

Ceny hlavních spojovacích prvků byly odhadnuty dle těchto kritérií.

- Rámový roh – cena tohoto spoje je vyjádřena jako hmotnost 1 metru profilu příčle navíc
- Cena vetknutí patky ocelové konstrukce je 60% hmotnosti sloupu navíc
- Kloubově uložená patka stojky je jako 10% hmotnosti stojky navíc
- Zavětrování konstrukce v případě rámu jako přírážka 50% hmotnosti příčle pro střešní táhla a 50% hmotnosti stojky pro stěnová táhla.
- Vzpěry vazníku v podélném směru v případě příhradové konstrukce jsou odhadnuty na 60% hmotnosti příhrady navíc
- Zavětrování konstrukce v případě prostého nosníku je ve střešní rovině vyjádřeno jako 50% hmotnosti příhradového nosníku a ve stěnové rovině jako 50% hmotnosti sloupu

### 2.5.3 Železobetonové konstrukce

Železobetonové prvky mají výhodu, že zpravidla všechny údaje zpracovává jeden dodavatel, prvky jsou si díky prefabrikaci a obecně malé variabilitě velmi podobné a opakující se, odhady mohou být přesnější než u ostatních materiálů.

Odhad ceny je uskutečněn přes kubaturu konstrukce včetně vyztužení a dalších položek.



Výsledná cena 1 m<sup>3</sup> železobetonu byla odhadnuta na 9 000 – 12 000 Kč, v závislosti na stupni vyztužení a typu prvku. Jednotlivé položky jsou oceněny následovně.

- Cena samotného betonu: 1800 – 3000 Kč/m<sup>3</sup> (v závislosti na kvalitě)
- Vyztuž: 25 Kč / kg – předpoklad 150 – 300 kg / m<sup>3</sup> (závislost na typu prvku)  
*U vazníku a sloupu je množství vyztuže vypočteno*
- Výroba: 2000 Kč / m<sup>3</sup>

Odhadnutá hmotnost vyztužení na m<sup>3</sup> dané části konstrukce:

- Nepředpjatý ŽB vazník: 300 kg
- ŽB sloup: 200 kg
- Vaznice (rozměr 200 / 400 / rozteč): 180 kg
- Základový práh (rozměr 140 / 800 / rozteč): 150 kg
- Kalich pro patku: 200 kg

Další část ceny tvoří nosná konstrukce opláštění. K získání ceny je nutno nejdříve nosné prvky dimenzovat. V této práci byly uvažovány tenkostěnné ocelové profily, v případě železobetonových hal se jedná o samonosné trapézové plechy nebo kazety tvaru C. Podklady pro návrh byly získány ze stránek firmy [www.kovprof.cz](http://www.kovprof.cz)

Nosná část střešního pláště je tvořena samonosným trapézovým plechem. Pro různé druhy trapézových plechů s různou tloušťkou stěny byly získány limitní hodnoty zatížení na plochu způsobujících průhyb L/200. Na základě rozteče vazeb a hodnoty zatížení střešního pláště je určen typ plechu a hmotnost.



Nosnou část skládaného stěnového pláště tvoří tzv. kazetové opláštění. Jedná se o bezpaždíkový systém s výsledným hladkým vnitřním lícem pláště. Byla zpracována tabulka maximálních únosností vybraných tenkostěnných profilů. Hodnoty v tabulce jsou maximální plošná zatížení pro limitní průhyby L/200 pro schéma prosté nosníku přes jedno pole. Podle účinků zatížení větrem a rozteče vazeb je navržen typ tenkostěnného profilu a určena jeho hmotnost.

Obr. 22 Kazeta –  
tenkostěnný profil  
tvaru C (34)



### 3. Rozhraní naprogramované aplikace

Na schématu níže je vyobrazeno schéma všech souborů programu. Vstupním článkem je hlavní soubor, přes který je spouštěn uživatelský formulář. Z něj jsou ovládány ostatní soubory.

Materiálové charakteristiky a tabulky možných navrhovaných průřezů obsahuje **Databáze materiálů**.

V souboru **Cena** jsou uvedeny veškeré aktuální ceny materiálu, rozlišeny ceny konstrukčních prvků podle složitosti a odhadnuté ceny přípojovacích prvků a dodatečných konstrukcí jako jsou vzpěry nebo zavětrovací táhla.

Soubor **Export** obsahuje šablony jednotlivých variant. Při výpočtu jsou nejdůležitější výsledné údaje doplněny do šablon a je stanovena cena. Celý obsah sešitů po ukončení posudků a výpočtů vyexportovány do jednoho přehledného dokumentu formátu pdf, kde jsou varianty cenově porovnány.

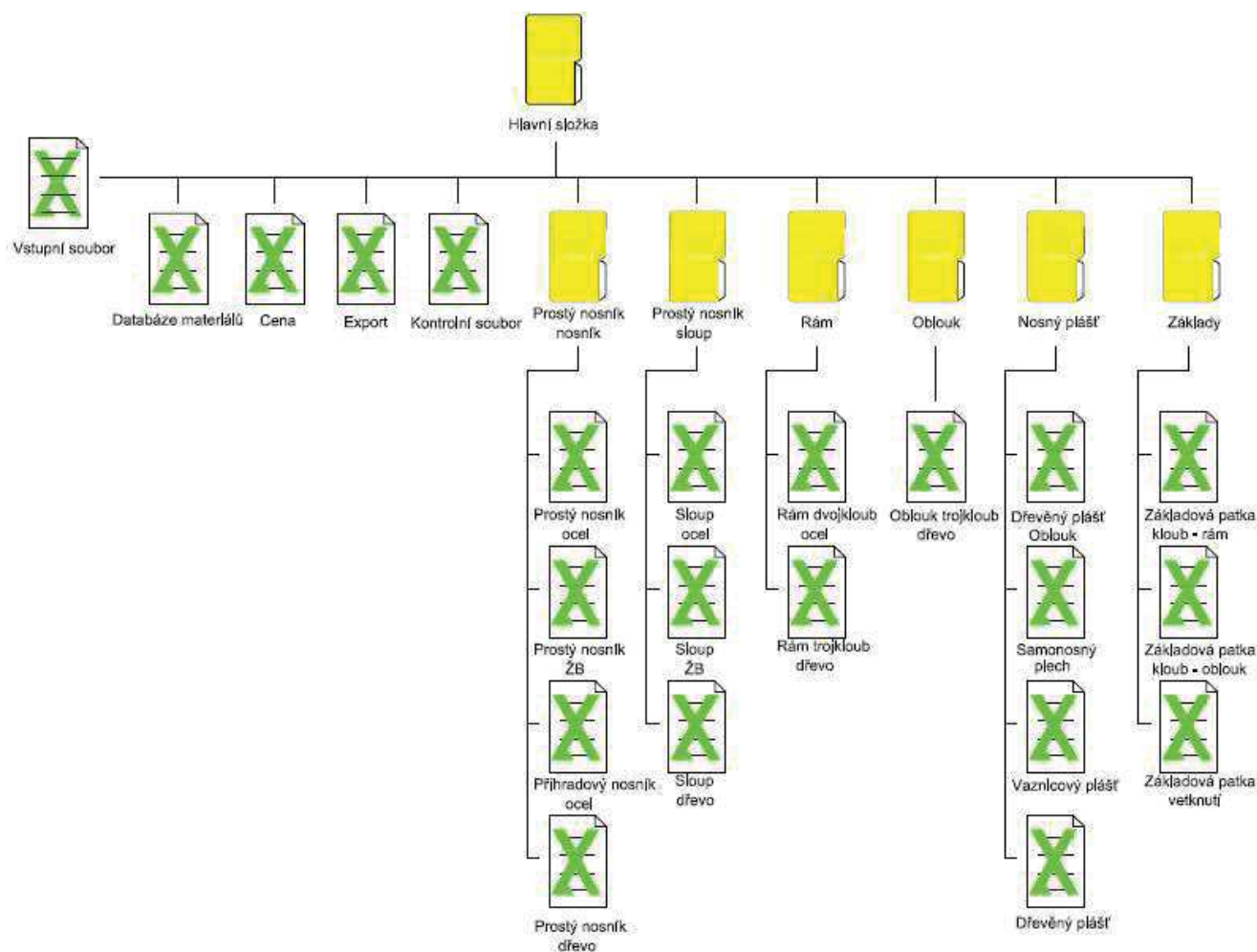
**Kontrolní soubor** má pracovní funkci, je otevřen při spuštění automatických posudků a po vyexportování výsledků je opět zavřen. Pokud uživatel chce nahlédnout do jednotlivých souborů (například pro zkontrolování podrobností výpočtů – změny v sešitech jsou po skončení posudku ukládány), automatická posuzování nejsou spuštěna.

Soubory pro posouzení jednotlivých variant, **soubory posudku**, jsou v samostatných složkách rozdělených podle použitého statického schématu. V případě prostého nosníku a sloupu jsou posudky v oddělených složkách. Soubory pro posouzení základů jsou v samostatné složce, soubory pro posudek nosného pláště jsou taktéž v samostatné složce.

#### **Používání programu**

Ovládání programu je intuitivní. Po otevření hlavního souboru je tlačítkem **Otevřít formulář** zobrazen formulář. Do něj jsou vyplněny zvolené parametry a vše se posoudí stiskem tlačítka **Proveď posudek**. Výsledný soubor pdf je vygenerován automaticky a uložen do složky Výsledky v kořenovém adresáři. Pro další posudek je stisknuto tlačítko **Nový posudek**. Veškeré výsledkové soubory jsou pojmenovány aktuálním datem a časem vytvoření. Pro ukončení formuláře je stisknuto tlačítko **Ukončit formulář**.

Pro návrh fungující aplikace byly použity znalosti získané z knižních (25) (26) (27) (28) a nebo webových zdrojů (29) (30).



Obr. 23 Schéma aplikace

### 3.1 Vstupní soubor

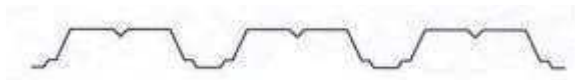
Vstupní soubor obsahuje uživatelský formulář a je vstupní branou do rozhraní aplikace. Při otevření sešitu je formulář automaticky zobrazen.

#### 3.1.1 Zatížení stálé a proměnné

V nabídce pro **Zatížení stálé** je možnost volit dva typy střešního pláště rozdělené podle vlastní tíhy.

- Velmi lehký střešní plášť –  $0,10 \text{ kN/m}^2$
- Lehký střešní plášť –  $0,3 \text{ kN/m}^2$

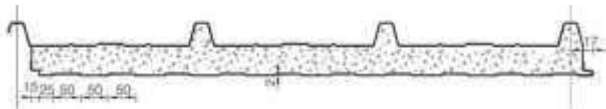
**Velmi lehký střešní plášť** – Nezateplená střecha, pouze bariérová ochrana před vnějším prostředím, vhodná u objektů, kde není nutné dbát na vnitřní teplotu. Pro tuto střechu je ideálním prvkem trapézový plech.



Obr. 24 Samostatný trapézový plech (31)

### **Lehký střešní plášť** – Standardně zateplená střecha. Dva typové příklady

- u dřevěných hal například podhledová prkna, OSB deska, hydroizolace, tepelná izolace, modifikovaný pás s posypem.
- sendvičové panely typu Kingspan
- sendvičové panely skládané – například vnitřní stěna nosný trapézový plech, jádro z PUR nebo PIR, vnější vrstva z hydroizolační folie



Obr. 25 Sendvičový panel s PUR- jádrem (31)

U střešního pláště není uvažováno zatížení rozvody, osvětlením, vzduchotechnikou.

**Zatížení užité** - je volena větrová oblast společně s kategorií terénu a sněhová oblast. Pokud není lokalita objektu známa, je doporučeno zvolit plošně nejvíce vyskytující se oblasti, a to **II. Větrovou oblast, III. Kategorii terénu a II. Sněhovou oblast.**

### **Zatížení sněhem**

Posouzení zatížení od účinků sněhu vychází z normy ČSN EN 1991-1-3 Zatížení sněhem (32), pro ulehčení výpočtů jsou však normová doporučení lehce upravena. Dle normy je uvažována vrstva sněhu na střeše v různých tvarech, v závislosti na tvaru střechy. Pro tuto práci bylo přijato zobecnění rovnoměrného spojitého zatížení, a to i u zakřivených ploch.

Vzorec pro výpočet návrhové situace:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$s_d = s \times \gamma_Q \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

,kde

- $\mu_i$  – tvarový součinitel zatížení sněhem [-]
- $C_e$  – součinitel topografie okolního prostředí, uvažovaný standardně jako normální topografie s hodnotou 1,0 [-]
- $C_t$  – tepelný součinitel, v běžných případech roven 1,0 [-]
- $s_k$  – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi v příslušném místě [kN/m<sup>2</sup>]





- $\gamma_Q$  – návrhový součinitel roven hodnotě 1,5 [-]

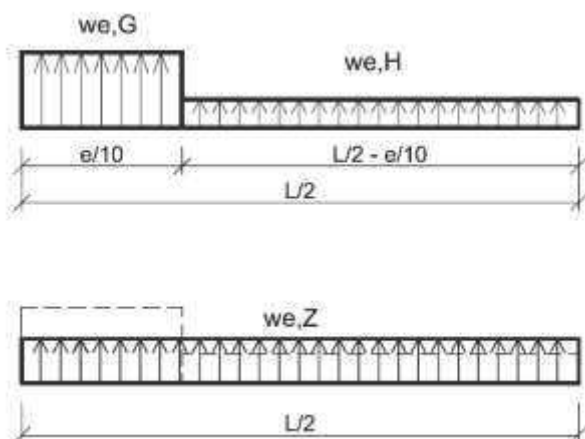
Tvarový součinitel střechy  $\mu_i$  je roven v případech plochých střech u rámu (plochá střecha – sklon do  $5^\circ$ ) a vazníkových konstrukcí hodnotě  $\mu_1 = 0,8$ .

Pro obloukové konstrukce je v kombinaci plného zatížení uvažován **případ (i)** z kapitoly 5.3.5. Válcové střechy: Pro zatížení konstrukcí nenavátým sněhem, kde je součinitel tvaru roven hodnotě 0,8. **Případ (ii)** s tvarovým součinitelem pro válcové střechy  $\mu_3$  a trojúhelníkovým rozložením pro zatížení navátým sněhem není v této práci uvažován podle normy, ale je zjednodušeně předpokládáno spojitě konstantní zatížení pouze na jedné straně oblouku. Součinitel  $\mu_3$  standardně roven 2,0 na vrcholu trojúhelníku bude mít poloviční hodnotu 1,0 při tvaru spojitě konstantního zatížení.

### 3.1.1.1 Zatížení větrem

Zatížení větrem je posuzováno podle normy ČSN EN 1991-1-4, v řadě situací jsou vzhledem k obtížnosti aplikování konkrétních požadavků na soubor značně odlišných konstrukcí v této práci použita přijatelná zjednodušení.

- Součinitel vnějšího tlaku  $C_{pe}$ : Je uvažována zatěžovaná plocha  $> 10 \text{ m}^2$ , takže  $C_{pe} = C_{pe,10}$
- Součinitele z tabulky 7.1. Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb objektů pravoúhlého půdorysu, jsou řešeny pouze součinitele pro návětrnou stěnu D a závětrnou E. Mění se v závislosti na skutečném poměru  $h/d$ . *Tlak větru na příčné stěny haly a tedy součinitele A, B, C není v práci řešen.*
- Z tabulky 7.2. Součinitele vnějšího tlaku pro ploché střechy, jsou použity součinitele pro plochou střechu s ostrými hranami. Při výpočtu není posuzována vazba okrajové části haly, proto je používán součinitel vnějšího tlaku G a nikoliv F. Je vypočten vnější tlak větru a pro zlehčení výpočtu byla zavedena na návětrné ploše střechy konstantní hodnota sání větrem  $w_{e,z}$ , odvozená z poměru velikosti zatížených ploch G a H.

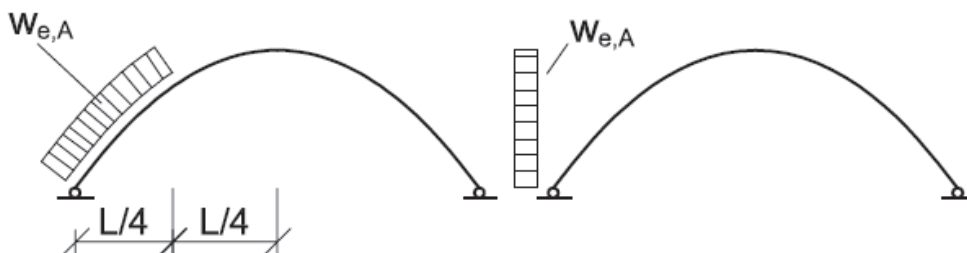


Obr. 26 Zatížení ploché střechy sáním větru





- V práci jsou řešeny ve statických variantách prostého nosníku a rámu pouze ploché střechy se sklonem  $\leq 5^\circ$ , rámy mají příčli přesně s tímto sklonem. Je uvažován pouze příčný směr větru  $\theta = 0^\circ$ .
- Referenční výška  $z_0$ : Je uvažováno, že výška haly  $h$  není větší než její šířka  $b$  –  $h < b$ , dynamický tlak je po výšce budovy konstantní.
- Pro obloukové konstrukce je použito zjednodušené uspořádání zatížení při uvažování návětrné strany oblouku.



Obr. 27 Zatížení větrem na oblouk: Vlevo normové řešení, vpravo zjednodušené řešení v této práci

V práci jsou tedy vypočteny vnější tlaky větru na stěnu a střechu pomocí vzorce:

$$w_e(z) = q_{pe}(z_e) \times c_{pe} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_{e,d}(z) = w_e(z) \times \gamma_Q \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

,kde:

- $q_{pe}(z_e)$  – maximální dynamický tlak v referenční výšce  $z_e$  [kN/m<sup>2</sup>]
- $c_{pe}$  – součinitel vnějšího tlaku větru [-]
- $\gamma_Q$  – návrhový součinitel pro proměnná zatížení s hodnotou 1,5 [-]
- $w_{e,d}(z)$  – návrhová hodnota tlaku větru na stěnu [kN/m<sup>2</sup>]

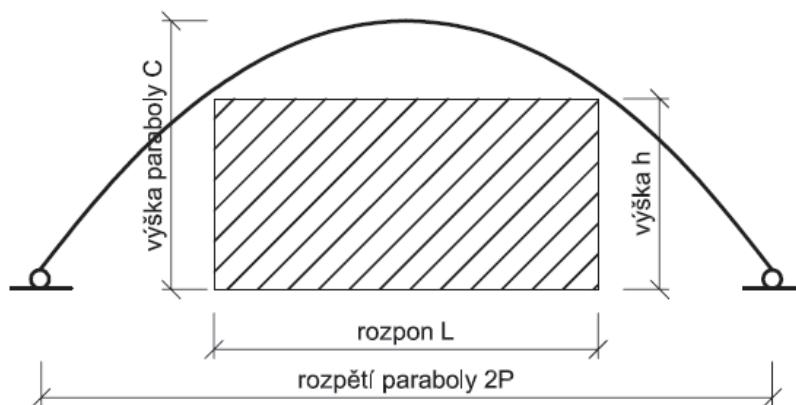
Zatížení	Rozměry	Základové podmínky	Materiál - specifikace
Zatížení stálé: Typ střešního pláště		velmi lehký střešní plášť	0.15 kN/m2
Zatížení užitné			
Zatížení nahodilé: Větr	Větrová oblast:	II. větrová oblast	25 kN/m2
	Kategorie terénu:	kategorie terénu III	
Zatížení nahodilé: Sněh	Sněhová oblast:	III. sněhová oblast	1.5 kN/m2

Obr. 28 Formulář - Zatížení



### 3.1.2 Rozměry konstrukce

Je možnost zvolit základní rozměry haly, resp. jedné nosné vazby. Hala musí zastřešit **volný prostor o šířce  $L$  a výšce  $H$** , jehož rozměry jsou nastaveny právě ve formuláři. Jedná se o rozpon  $L$  a výšku  $H$ , dále i rozteč nosných vazeb. V případě obloukového typu haly je voleno rozpětí oblouku, z důvodu možnosti zachování volného prostoru  $L \times H$ . Čím větší rozpon oblouku, tím menší je jeho celková výška.



Obr. 29 Oblast  $L \times H$  v hale s nosným parabolickým obloukem

Zatížení	Rozměry	Základové podmínky	Materiál - specifikace
výška haly [m]	<input type="text" value="6"/>		
rozpon haly [m]	<input type="text" value="16"/>		
rozpon haly v případě oblouku (rozpon z předchozího pole bude zachován v úrovni výšky) [m]	<input type="text" value="23"/>		
Rozteč vazeb [m]	<input type="text" value="5"/>	<input type="checkbox"/>	Rozteč je omezena na rozpory mezi 4 - 8 metry

Nový posudek    Skrýt formulář    Ukončit formulář

Obr. 30 Formulář - Rozměry

### 3.1.3 Základové podmínky

V nabídce jsou skalní horniny a tři druhy zemin rozlišeny podle míry zrnitosti – štěrkovité, písčité a jemnozrné. Pro každý druh zeminy určeny jeho příslušné třídy. U skalních hornin je upřesňující volba charakteru diskontinuit neboli průměrné hodnoty výskytu přirozeně nesoudržných ploch, které mohou způsobit narušení celistvosti



horniny. V případě jemnozrnných zemin je nastavena upřesňující volba konzistence zeminy.

Obr. 31 Formulář - Základové podmínky

### 3.1.4 Specifikace kvality materiálu

Je možno vybrat konkrétní kvalitu materiálů. Doporučené volby vyjadřují nejčastěji používané kvality materiálů pro uvažované halové konstrukce, lze tedy pokračovat beze změny těchto voleb.

- Lepené dřevo – doporučená volba GL 24h, rozsah GL 24c – GL36h
- Beton – doporučen C35/45, rozsah C25/30 – C50/60
- Ocel – doporučen S235, možnosti od S235 – S420

Obr. 32 Formulář - specifikace materiálu



Posouzení je spuštěno po vyplnění všech hodnot kliknutím na tlačítko *Proved' posudek*. V případě zadání chybných hodnot, například kratšího rozponu oblouku než skutečného rozponu, je zobrazeno varování a kurzor přesunut na místo chybné hodnoty.

## 3.2 Databáze materiálů

Databáze je vedena jako samostatný sešit, kde jsou na jednotlivých listech jak tabulkově zpracované vlastnosti použitých materiálů, tak výpočtové charakteristiky reálně vyráběných průřezů.

### 3.2.1 Databáze dřeva

- **Charakteristiky Dřeva**

V souboru jsou zahrnuty vlastnosti nejčastěji používaného rostlého dřeva – typu C24 jehličnatého a také moderního LLD od nejpoužívanější varianty GL 24c po vysoce kvalitní GL 32h. Pevnostní charakteristiky dřeva jsou v souladu s EN 338 a EN 14080 z roku 2013.

- **Charakteristiky průřezu**

V tomto listu jsou všechny v jednotlivých tabulkách seřazeny průřezy se svými charakteristikami. Autor vycházel z reálných údajů dle možností výroby LLD. Průřezy se zvětšují do šířky po 20 mm, do výšky po 40 mm. Pro přímé vazníky, rámy i zakřivené konstrukce je používána jedna tabulka obdélníkových profilů. Minimální rozměr je 0,12x0,3 m a maximální 0,24x2 m. Sloupky z LLD jsou v databázi čtvercových nebo obdélníkových sloupů s rozměry od 0,12x0,12 m po 0,24x0,48 m. Pro jednoduchost a hladký průběh posudku jsou zavedeny pouze čtvercové nebo obdélníkové tvary průřezů.

### 3.2.2 Databáze oceli

V aplikaci jsou zahrnuty meze kluzu a meze pevnosti ocelí podle normy EN 10025-2, a to druhy od S235 po S355.

- **Typy profilů**

Jsou zde průřezové charakteristiky ocelových válcovaných profilů typu HEB, IPE a I. Dále ocelové válcované konstrukční trubky a jejich průřezové charakteristiky.

Statické tabulky únosnosti pro tenkostěnné prvky použité na opláštění. Jedná se o trapézové plechy od typu TR 100/275 po TR 160/250. Dále pak stěnové kazety typu A profilů K 100/600 až po K 150/600. Poslední tabulka jsou vaznice tvaru C 180/1,5 po C 270/3.



### 3.2.3 Databáze betonu

- **Charakteristiky Betonu**

Obsahuje tabulku tříd betonu s jejich pevnostmi a deformačními charakteristikami. Do výpočtu prefabrikovaných prvků jsou použity pouze kvalitnější betony od třídy C30/37 a výše, naopak pro základové konstrukce se hodí betony nižší třídy.

- **Charakteristiky průřezů**

Tabulky průřezů s jejich charakteristikami. U každého průřezu je odhadnuto množství a průměr prutu výztuže pro odvození hodnot krytí a také účinné výšky. Hodnoty krytí jsou stálé, uvažované pro třídu prostředí S4 a XC1.

Tabulka sloupů předkládá rovné sloupy bez konzol a změny velikosti průřezu po výšce. Nejmenší rozměry jsou 0,2 x 0,2m, maximální rozměr sloupu je 0,8 x 1,3 m.

Tabulka průřezů vazníků, ve které jsou charakteristiky T průřezu. Minimální rozměry od 0,2 a 0,5 po 0,4 do 1,5 m.

### 3.3 Cena

Veškeré ceny uvedené v této práci jsou odhady, které byly stanoveny autorem dle vyhodnocení informací získaných na základě rozhovorů s odborně způsobilými osobami z českých firem, zabývajících se cenou projektů, dále z webových zdrojů. Ceny jsou počítány bez DPH. V mnoha případech se jedná o procentuální odhady, vycházejícími z reálných uskutečněných projektů.

#### 3.3.1 Cena dřeva

Odhadované ceny dřeva jsou ceny 1 m<sup>3</sup> opracovaného prvku. V případě zakřivených prvků byla stanovena cenová přírážka za 1 m<sup>3</sup>. U halových konstrukcí v běžném a v této práci uvažovaném prostředí (TS2) se používá spodní penetrační nátěr a vrchní nátěr, cena je stanovována ve spotřebě nátěru na m<sup>3</sup> kubatury konstrukce. U dalších dodatečných konstrukcí jako vaznic a paždíků, kování, spojovacích prostředků a konstrukce zavětrování byly ceny odhadnuty procentuálně podle ceny hlavní nosné konstrukce.



Tabulka 3 Ceny materiálu pro dřevěné konstrukce

	<u>typ dřeva</u>	<u>cena za m<sup>3</sup></u>
<b>Lepené lamelové dřevo:</b>	GL 24c	15 200,00 Kč
	GL 24h	16 010,00 Kč
	GL 28c	16 820,00 Kč
	GL 28h	17 630,00 Kč
	GL 32c	18 440,00 Kč
	GL 32h	19 250,00 Kč
	GL 36c	20 060,00 Kč
	GL 36h	20 870,00 Kč
		<u>cena za m<sup>3</sup></u>
<b>Speciální konstrukce:</b>	zakřivený nosník	8 000,00 Kč
	<u>počet vrstev</u>	<u>cena za m<sup>3</sup></u>
<b>Spodní nátěr - Penetrace:</b>	1x	500,00 Kč
	2x	1 000,00 Kč
<b>Vrchní nátěr:</b>	1x	1 500,00 Kč
	2x	3 000,00 Kč

### 3.3.2 Cena oceli

Odhadované ceny za tepla válcovaných profilů jsou uvedeny včetně povrchové úpravy základním a vrchním nátěrem a práce ve výrobě – svařování, výroba otvorů. Cena tenkostěnných prvků je včetně úpravy povrchu žárovým pozinkováním. Kvalita oceli není cenově rozlišena, rozdíly jsou zanedbatelné.

Tabulka 4 Ceny materiálu pro ocelové konstrukce

	<u>typ oceli</u>	<u>cena za kg</u>
<b>Válcované profily:</b>	Válcované profily IPE, I, HEB	32,00 Kč
	Ocelové trubky konstrukční	40,00 Kč
<b>Tenkostěnné prvky:</b>	Vaznice tvaru C	45,00 Kč
	Trapézový plech	42,00 Kč
	Kazety tvaru C	45,00 Kč
<b>Kvalita oceli:</b>	S235, S275, S355, S420	<i>cena není rozlišována</i>

### 3.3.3 Cena betonu

Odhadnuté ceny betonu jsou v níže uvedené tabulce. Pro výrobu prvku je přidána cenová přírážka na kubický metr. Odhadovaná cena výztuže je uvažována včetně ohýbání a uložení do formy. Cena tenkostěnných prvků je včetně úpravy povrchu žárovým pozinkováním.



Tabulka 5 Ceny materiálu pro železobetonové konstrukce

	<b>kvalita betonu</b>	<b>cena za m<sup>3</sup></b>
<b>Beton:</b>	C 25/30	1 800,00 Kč
	C 30/37	1 900,00 Kč
	C 35/45	2 000,00 Kč
	C 40/50	2 400,00 Kč
	C45/55	2 700,00 Kč
	C 50/60	3 000,00 Kč
	<b>jakost výztuže</b>	<b>cena za 1 kg</b>
<b>Ocel:</b>	B 500B	25,00 Kč
		<b>cena za m<sup>3</sup></b>
<b>Výroba prvků:</b>	Práce v prefě	2 000,00 Kč
	<b>Typ plechu</b>	<b>cena za 1 kg</b>
<b>Tenkostěnná ocel:</b>	Trapézový plech	42,00 Kč
	Kazety tvaru C	45,00 Kč

### 3.4 Export

Tento soubor tvoří šablony jednotlivých variant, do kterých jsou při automatickém posouzení doplňovány aktualizované ceny, výsledky posouzení a množství materiálů. Celý soubor je po skončení posudku vyexportován do formátu pdf.

### 3.5 Návrhové soubory

#### 3.5.1 Železobetonový vazník T průřezu

Hodnoty zatížení, rozměry konstrukce, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry betonu jsou načteny z **databáze materiálů**.

Do výpočtu vnitřních sil je započtena vlastní tíha vazníku, střešního pláště i nosného trapézového plechu jako stálých zatížení.

Návrh samonosného pláště je uskutečněn přes databázi několika variant trapézových plechů s výškou vln 150 – 260 mm, zpracovaných v přehledné tabulce únosnosti. Na základě rozteče vazeb a zatížení na plochu je navržen profil trapézového plechu a zjištěna jeho hmotnost.

Průřezy tvaru T a jejich charakteristiky potřebné k výpočtu jsou načítány z **databáze průřezů**. Posudek je proveden dvojitým cyklem, zvětšováním rozměrů průřezu a zvyšováním procenta vyztužení. Maximální hodnota vyztužení jsou 2 %. Profily prutů, umístění ani jejich vzájemná vzdálenost nejsou řešeny. Cyklus je ukončen v případě, že vyhoví požadovaná kritéria, maximální ohybová únosnost a smyková únosnost průřezu.

Celková kubatura železobetonové konstrukce v m<sup>3</sup> a hmotnost nosného pláště v kg je použita k výpočtu ceny.





### 3.5.2 Vazník konstantního průřezu z lepeného lamelového dřeva

Prostý nosník z LLD obdélníkového průřezu. Uvažované rozměry průřezu jsou od 0,12x0,3 m po 0,24x2,1 m.

Hodnoty zatížení, rozměry konstrukce, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry dřeva jsou načteny z **databáze materiálů**.

Do výpočtu vnitřních sil je započtena vlastní tíha vazníku, střešního pláště i nosných vaznic jako stálé zatížení.

Vaznice jsou navrženy přenést maximální ohybové napětí od zatížení pláštěm a klimatického zatížení. Jsou uvažovány jako prosté nosníky. Na toto maximální napětí je navržen průřez vaznice s poměrem  $h/b = 2$ . Vzdálenost vaznic je nastavena na hodnotu 1,0 metr.

Posudek je dopočten jednoduchým cyklem začínajícím od nejmenšího rozměru. Cyklus je ukončen v případě, že vyhoví požadovaná kritéria, pevnost v ohybu při uvažování ztráty stability a smyková pevnost. V případě, že nevyhoví ani největší dimenze, cyklus je ukončen a posudek je kvalifikován jako nevyhovující. Rozhodujícím prvkem pro odhad ceny je kubatura vazníku a nosných prvků pláště v  $m^3$ .

### 3.5.3 Ocelová příhradová konstrukce s taženými diagonálami

Ocelová konstrukce je navržena z konstrukčních trubek TR10 x 2,6 po TR 1016 x 30. Nosný prvek pláště jsou tenkostěnné vaznice tvaru C.

Hodnoty zatížení, rozměry konstrukce, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry oceli jsou načteny z **databáze materiálů**. Výška konstrukce příhrady je 1/20 rozpětí. Úhel diagonál je 45° a šířka jednoho pole je tedy rovna výšce příhrady.

Nosné konstrukce střešního pláště jsou tenkostěnné vaznice navržené pomocí tabulek únosnosti pro limitní průhyb  $L/200$  uložené jako prostý nosník. Na základě rozteče vazeb a zatížení je navržen profil vaznice a zjištěna jeho hmotnost.

Pro vybrané pruty jsou zjištěny vnitřní síly a posudky tažených i tlačných prutů jsou provedeny jednoduchým cyklem. V případě, že prut vyhoví, cyklus je ukončen. Hmotnost celé konstrukce je po splnění všech podmínek odvozena z dimenzí jednotlivých prutů. V případě, že nevyhoví ani největší dimenze průřezu, cyklus je ukončen a posudek je kvalifikován jako nevyhovující. Rozhodujícím prvkem pro odhad ceny je hmotnost příhradové konstrukce a nosných prvků pláště v kg.

### 3.5.4 Vetknutý dřevěný sloup

Sloupy jsou z LLD. Minimální rozměr průřezu je 0,12 x 0,12 m a maximální 0,24 x 0,44 m.

Hodnoty zatížení, rozměry konstrukce, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry dřeva jsou načteny z **databáze materiálů**.



Vnitřní síly působící na sloup od vazníku jsou načteny z příslušného souboru podle dané varianty (v tomto případě jen dřevěný plnostěnný vazník).

Paždíky jsou navrženy na maximální ohybové namáhání od tlaku větru na stěnu. Průřez je obdélníkový v poměru stran  $h/b = 2$ . Vzdálenost paždíků byla zvolena 2 m.

Posudek je dopočten jednoduchým cyklem začínajícím u nejmenšího rozměru. Cyklus je ukončen v případě, že vyhoví požadovaná kritéria, vzpěrná pevnost za ohybu a smyková pevnost. V případě, že nevyhoví ani největší dimenze, cyklus je ukončen a posudek je kvalifikován jako nevyhovující. Rozhodujícím prvkem pro odhad ceny je kubatura sloupu a nosných prvků pláště v  $m^3$ .

### 3.5.5 Vetknutý železobetonový sloup

Sloup je čtvercový nebo obdélníkový, rovný tvar, minimální rozměry 0,2 x 0,2 až 0,8 x 1,3 m.

Hodnoty zatížení, rozměry konstrukce, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry betonu jsou načteny z **databáze materiálů**. Vnitřní síly působící na sloup od vazníku jsou načteny z příslušného souboru podle dané varianty (dřevěný plnostěnný vazník, ŽB vazník, ocelová příhradovina).

Železobetonový sloup je posuzován jako vetknutý prvek se vzpěrnou délkou  $2 \times L$  (skutečná). Do výpočtu vnitřních sil je započtena i vlastní tíha sloupu.

Stěnový plášť je navržen na maximální únosnost pro průhyb  $L/200$ . Na základě rozteče hlavních nosných vazeb a zatížení větrem na plochu je navržen profil stěnové kazety a zjištěna jeho hmotnost.

Průřezy sloupu a jejich charakteristiky potřebné k výpočtu jsou načítány z **databáze průřezů**. Posudek je proveden dvojitým cyklem, zvětšováním rozměrů průřezu a zvyšováním procenta vyztužení. Maximální hodnota vyztužení jsou 2 %. Tato hodnota byla zvolena, aby nedošlo k převyztužení tažené oblasti, profily prutů, umístění ani jejich vzájemná vzdálenost nejsou řešeny. Cyklus je ukončen v případě, že vyhoví požadovaná kritéria - vyztužený průřez bude ležet v mezích interakčního diagramu a zároveň bude dosaženo požadovaného procenta vyztužení.

Celková kubatura železobetonové konstrukce v  $m^3$  a hmotnost nosného pláště v kg je použita k výpočtu ceny.

### 3.5.6 Vetknutý ocelový sloup

Sloup je navržen z profilu HEB. Nosná konstrukce opláštění jsou paždíky z tenkostěnných profilů tvaru C.

Hodnoty zatížení, rozměry konstrukce, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry oceli jsou načteny z **databáze materiálů**. Vnitřní síly působící na sloup od vazníku jsou načteny z příslušného souboru podle dané varianty (v tomto případě jen ocelová příhradová konstrukce).



Nosné konstrukce pláště jsou paždíky z tenkostěnné oceli navržené pomocí tabulek únosnosti pro limitní průhyb  $L/200$  uložené jako prostý nosník. Na základě rozteče vazeb a zatížení je navržen profil paždíku a zjištěna jeho hmotnost.

Posudek je dopočten jednoduchým cyklem začínajícím od nejmenšího profilu. Cyklus je ukončen v případě, že vyhoví požadovaná kritéria, vzpěrná pevnost za ohybu a smyková únosnost. V případě, že nevyhoví ani největší dimenze, cyklus je ukončen a posudek je kvalifikován jako nevyhovující. Rozhodujícím prvkem pro odhad ceny je hmotnost sloupu a nosných prvků pláště v kg.

### 3.5.7 Dřevěný trojkloubový rám

Jedná se o dřevěný trojkloubový rám z LLD obdélníkového průřezu s lepeným rámovým rohem. Uvažované rozměry průřezu jsou od 0,12x0,3 m po 0,24x2,1 m.

Hodnoty stálých a užitných zatížení, rozpon a rozteč vazeb, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry dřeva jsou načteny z **databáze materiálů**.

Do výpočtu vnitřních sil je započtena vlastní tíha prutu, střešního pláště i nosných vaznic jako stálé zatížení.

Návrh průřezu vaznic je uskutečněn výpočtem maximálního ohybového napětí na danou zatěžovací šířku mezi nosnými vazbami od zatížení pláštěm a klimatickým zatížením. Na toto maximální napětí je navržen průřez vaznice s poměrem  $h/b = 2$ . Vzdálenost vaznic je nastavena na hodnotu 1,0 metr.

Návrh průřezu příčle i stojky je uskutečněn pomocí jednoduchého cyklu. Průřezy obou prvků jsou posouzeny na vzpěrný tlak za ohybu s uvažováním ztráty stability a na smykovou pevnost. V případě, že obě kritéria vyhoví, je cyklus ukončen.

### 3.5.8 Ocelový dvojklobový rám

Příčel ocelového rámu je navržena z profilů tvaru I nebo IPE, stojka z HEB profilů.

Hodnoty stálých a užitných zatížení, rozpon a rozteč vazeb, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry oceli jsou načteny z **databáze materiálů**.

Do výpočtu vnitřních sil je započtena vlastní tíha prutu, střešního pláště i nosných vaznic jako stálé zatížení. Rám je posouzen na ohybová namáhání v oblasti rámového rohu pro stojku i příčel a na maximální ohybové namáhání uprostřed rozpětí.

Návrh průřezů je uskutečněn pomocí jednoduchého cyklu. Průřezy obou prvků jsou posouzeny na vzpěrný tlak za ohybu s uvažováním ztráty stability. V případě, že podmínka vyhoví, je cyklus ukončen.

### 3.5.9 Dřevěný trojkloubový oblouk

Jedná se o parabolický oblouk z LLD obdélníkového průřezu. Uvažované rozměry průřezu jsou od 0,12x0,3 m po 0,24x2,1 m.



Hodnoty stálých a užitných zatížení, rozpon a rozteč vazeb, kvalita zvoleného materiálu, tyto údaje jsou načteny z **hlavního souboru**. Parametry dřeva jsou načteny z **databáze materiálů**.

Do výpočtu vnitřních sil je započtena vlastní tíha prutu, střešního pláště i nosných vaznic jako stálé zatížení. Jsou vypočtena skutečná namáhání ve vybraných oblastech průřezu.

Návrh průřezu vaznic je uskutečněn výpočtem maximálního ohybového napětí na danou zatěžovací šířku mezi nosnými vazbami od zatížení pláštěm a klimatickým zatížením. Na toto maximální napětí je navržen průřez vaznice s poměrem  $h/b = 2$ . Vzdálenost vaznic je nastavena na hodnotu 1,0 metr.

Návrh průřezu nosníku je uskutečněn pomocí jednoduchého cyklu. Průřez je posouzen ve vzdálenosti  $\frac{1}{4}$  rozpětí oblouku na stabilitu a v patě oblouku na tlakovou pevnost. V případě, že obě kritéria vyhoví, je cyklus ukončen.

#### 3.5.10 Soubory základové patky

Do těchto souborů jsou načteny výsledky z přechozích příslušných souborů. Jedná se o hodnoty zatížení potřebné k výpočtu zatížení základové spáry.

Posudek je proveden formou jednoduchého cyklu. Šířka základu v příčném směru B je postupně zvětšována dokud nevyhoví všechny tři posudky (excentricita, tlak a usmyknutí) základové spáry. Po vyhovění posudku je použita kubatura základové patky v  $m^3$  pro stanovení ceny.

#### 3.5.11 Soubory nosného pláště

Tyto soubory slouží k dimenzování nosné konstrukce pláště. U dřevěných hal a u železobetonového sloupu s dřevěným vazníkem jsou uvažovány dřevěné vaznice a paždíky, u ocelových hal nebo ocelové konstrukce příhrady s železobetonovým sloupem jsou navrženy tenkostěnné vaznice, u železobetonové konstrukce jsou navrženy samonosné tenkostěnné trapézové plechy a kazety.

Pomocí údajů o rozteči vazeb a plošném zatížení je určen typ tenkostěnného plechu a zjištěna hmotnost. U dřevěných prvků je dimenze vypočtena z podmínky maximálního ohybu na prostém nosníku a zjištěna kubatura.

Celková hmotnost ocelových profilů a kubatura dřevěných prvků jsou započteny do výsledné ceny.



## 4. Posouzení vybraných halových konstrukcí

Do posouzení byly zvoleny tři velikostní skupiny hal.

### Stálé hodnoty:

- Stálé zatížení – lehký střešní plášť
- Proměnné zatížení – II. Sněhová oblast, II. větrová oblast, kategorie terénu II.
- Základové podmínky – Štěrkovité podloží, třída zeminy G3
- Materiály – dřevo GL 24h, beton C35/45, výztuž B500B, ocel S235

### Velikosti hal:

#### Hala č. 1:

rozpon:	12,00 m
výška:	5,00 m
rozteč vazeb:	4,00 m
rozpětí parabolického oblouku:	19,00 m
výška parabolického oblouku:	8,32 m

#### Hala č. 2:

rozpon:	18,00 m
výška:	8,00 m
rozteč vazeb:	5,00 m
rozpětí parabolického oblouku:	28,00 m
výška parabolického oblouku:	13,63 m

#### Hala č. 3:

rozpon:	24,00 m
výška:	12,00 m
rozteč vazeb:	6,00 m
rozpětí parabolického oblouku:	40,00 m
výška parabolického oblouku:	18,75 m

Po zadání výše uvedených hodnot do uživatelského formuláře byly jedním kliknutím exportovány souhrnné výsledky. V následujících tabulkách jsou seřazeny odhadované ceny jedné nosné vazby halové konstrukce od nejlevnější varianty:





Cenové srovnání pro rozměrově nejmenší haly 12 x 5 metrů.

<u>Varianta</u>	<u>Typ halové konstrukce</u>	<u>Odhadnutá cena</u>
VIII.Varianta	3. Trojkloubový tlačení oblouk z lepeného dřeva	57 579,36 Kč
VII.Varianta	2. Ocelový dvoukloubový rám s lomenou příčlím	58 233,74 Kč
IV.Varianta	1. Ocelová příhradová konstrukce & vetknutý ocelový sloup	61 784,80 Kč
I.Varianta	1. Dřevěný vazník & vetknutý dřevěný sloup	69 046,38 Kč
II.Varianta	1. Dřevěný vazník & železobetonový sloup	79 199,62 Kč
V.Varianta	1. Ocelová příhradová konstrukce & železobetonový sloup	80 315,75 Kč
VI.Varianta	2. Dřevěný trojkloubový rám s lepeným rámovým rohem	101 291,89 Kč
III.Varianta	1. Železobetonový vazník & železobetonový sloup	109 096,29 Kč

Cenové srovnání pro středně velké haly 18 x 8 metrů.

<u>Varianta</u>	<u>Typ halové konstrukce</u>	<u>Odhadnutá cena</u>
II.Varianta	1. Dřevěný vazník & železobetonový sloup	137 664,39 Kč
VII.Varianta	2. Ocelový dvoukloubový rám s lomenou příčlím	144 506,22 Kč
VIII.Varianta	3. Trojkloubový tlačení oblouk z lepeného dřeva	147 992,52 Kč
I.Varianta	1. Dřevěný vazník & vetknutý dřevěný sloup	151 841,48 Kč
V.Varianta	1. Ocelová příhradová konstrukce & železobetonový sloup	161 031,61 Kč
IV.Varianta	1. Ocelová příhradová konstrukce & vetknutý ocelový sloup	163 588,02 Kč
III.Varianta	1. Železobetonový vazník & železobetonový sloup	183 944,81 Kč
VI.Varianta	2. Dřevěný trojkloubový rám s lepeným rámovým rohem	269 245,87 Kč

Cenové srovnání pro rozměrově velké haly 24 x 12 metrů.

<u>Varianta</u>	<u>Typ halové konstrukce</u>	<u>Odhadnutá cena</u>
II.Varianta	1. Dřevěný vazník & železobetonový sloup	285 083,02 Kč
VII.Varianta	2. Ocelový dvoukloubový rám s lomenou příčlím	291 388,62 Kč
III.Varianta	1. Železobetonový vazník & železobetonový sloup	298 728,64 Kč
V.Varianta	1. Ocelová příhradová konstrukce & železobetonový sloup	311 680,70 Kč
VIII.Varianta	3. Trojkloubový tlačení oblouk z lepeného dřeva	337 875,55 Kč
IV.Varianta	1. Ocelová příhradová konstrukce & vetknutý ocelový sloup	346 790,19 Kč
VI.Varianta	2. Dřevěný trojkloubový rám s lepeným rámovým rohem	643 945,99 Kč
I.Varianta	1. Dřevěný vazník & vetknutý dřevěný sloup	Nelze určit

V poslední části přílohy je přiložen podrobný výstup s postupem ocenění jednotlivých částí konstrukcí a dimenzemi a posudky hlavních nosných prvků. Byl použit výstup z posouzení cen pro nejmenší halu č. 1.

**Hala č. 1.** Pro tyto rozměry nejlevněji vychází dřevěný trojkloubový oblouk a obě kompletně ocelové konstrukce. Cenové rozdíly mezi všemi variantami jsou minimální až na výrazně dražší železobetonovou halu. Největší cenový skok je mezi nejdražší železobetonovou halou a dřevěným trojkloubovým rámem.

**Hala č. 2.** Cena vazby je oproti přechodí rozměrové skupině 1,5 až 2,5 krát vyšší. Nejlevněji vychází dřevěná hala s vetknutým sloupem a plnostěnným vazníkem a



kombinovaná konstrukce s dřevěným vazníkem a železobetonovým sloupem. Železobetonová hala zdražila nejméně, nejdražší je v této rozměrové variantě trojkloubový dřevěný rám. Všechny posudky vyhověly.

**Hala č. 3.** Hala s největším rozpětím a výškou výrazně zvýšila cenu trojkloubového dřevěného rámu. Nejlevněji vychází kombinace železobetonového sloupu a dřevěného vazníku nebo ocelového dvojklobového rámu. Kromě výrazně dražší varianty dřevěného rámu jsou ceny srovnatelné. U varianty dřevěného sloupu a dřevěného vazníku opět nevyhověl posudek sloupu na stabilitu ani u největšího možného průřezu, proto není určena její cena.

Ve všech třech velikostech hal vyšel cenově nejlépe dvojklobový ocelový rám s lomenou příčlím a dřevěný vazník s železobetonovým sloupem. U ocelových sloupů hrála roli výška. Zatímco u nejmenší haly byla ocelová příhrada mezi nejlevnějšími variantami, s rostoucí výškou byla dražší než varianta ocelové příhrady s železobetonovým sloupem. U menších rozponů byl výhodný dřevěný oblouk. Se zvětšujícím rozpětím byla stále výhodnější varianta železobetonového sloupu v kombinaci s železobetonovým vazníkem. Jako nejdražší varianta vyšel dřevěný trojkloubový rám.





## 5. Závěr

Tato práce měl za cíl sestavit zjednodušenou metodu, podle které by byly porovnávány různé typy halových konstrukcí libovolných rozměrových parametrů a různých zatěžovacích podmínek za účelem optimalizace statického a materiálového návrhu. Hlavním porovnávacím kritériem byla cena jedné příčné vazby konstrukce včetně základové konstrukce. Výpočetní postup pro určení vnitřních sil, posouzení konstrukce a určení ceny byl pro vybrané běžně realizované typy konstrukcí proveden v rozhraní editoru VBA v programu Microsoft Excel 2010.

Ve třech základních statických schématech bylo do výsledného programu zahrnuto a vyřešeno 8 různých variant konstrukcí. Jako ukázkový výpočet byly zvoleny tři velikostní rozměry haly (12 x 5, 18 x 8 a 24 x 12 m) pro stejnou zeměpisnou oblast, stejné základové poměry, a také stejnou kvalitu použitých materiálů. Pomocí programu bylo získáno cenové srovnání variant. U rozměrově nejmenší haly vyšly cenově nejvýhodněji konstrukce z oceli – příhradový vazník s ocelovým sloupem a dvojklobový rám. Z globálního porovnání všech tří rozměrů vyšly nejlépe konstrukce s lepeným dřevěným vazníkem a železobetonovým sloupem a také dvojklobový ocelový rám. Naopak nejdražší byl dřevěný trojklobový rám. Nejmenší odchylky mezi cenami měla varianta železobetonové prefabrikované haly, jejíž cena rostla nejmírněji v porovnání s cenou ostatních variant.

Nejlépe lze touto metodou určovat cenu železobetonové prefabrikované konstrukce, vzhledem k jednomu aplikovanému statickému schématu, jednoznačnému účelu použitých prvků a značné opakovatelnosti – statisticky velkého vzorku konstrukcí. Nejsložitěji jsou porovnávány ocelové a dřevěné příhradové konstrukce a také všechny obloukové konstrukce. Existuje zde obrovská variabilita tvarů a konstrukčních možností a téměř každá stavba je svým řešením jedinečná.

Tato metoda je použitelná hlavně pro základní typy a tvary hal, opakovaně realizované s mnoha společnými konstrukčními prvky. Pro přesnější porovnatelnost hal by bylo nutno v dalším rozvíjení myšlenky této práce zahrnout i délkový rozměr haly, aby mohly být lépe vyjádřeny ceny za části konstrukce nevyskytující se v každé vazbě a také ceny štítových vazeb. Další možností je zjednodušeně posuzovat více částí konstrukce včetně například zavětrování nebo vzpěr, a tak přesněji odhadnout množství. Dále by bylo vhodné zahrnout do ocenění náklady na dopravu a montáž. Ve stavební praxi by podobná jednoduchá, funkční a dostatečně přesná metoda stanovení přibližné ceny byla přijata velmi kladně.



## Použité zdroje

1. [www.montovane-haly.com](http://www.montovane-haly.com). *Gametall*. [Online] [Citace: 2. duben 2017.] Dostupné z <http://www.montovane-haly.com/rychly-vypocet-kalkulace/>.
2. [www.unihal.cz](http://www.unihal.cz). *UNIHAL SVĚT MONTOVANÝCH HAL*. [Online] Unihal, 2014. [Citace: 2. duben 2017.] Dostupné z <https://www.unihal.cz/cenik-montovanych-hal>.
3. *PREFA PRAHA*. [Online] 1988 - 2017. [Citace: 8. květen 2017.] Dostupné z <http://www.prefa-praha.cz/index.php?id=53>.
4. *Betonsserver*. [Online] AUREA INVEST a.s., 2016. [Citace: 20. říjen 2016.] Dostupné z: <https://www.betonsserver.cz/obalovny-asfalt>.
5. *UNIHAL svět montovaných hal*. [Online] 2014. [Citace: 14. květen 2017.] Dostupné z <https://www.unihal.cz/oplasteni-haly-otr-stare-mesto>.
6. *TZB - info*. [Online] 2001 - 2017. [Citace: 20. duben 2017.] Dostupné z <http://stavba.tzb-info.cz/technologie-staveni-drevostaveb/13615-drevene-konstrukcni-systemy-a-jejich-moznosti-pouziti>. ISSN 1801-4399.
7. [www.konstrukce-tesko.cz](http://www.konstrukce-tesko.cz). [Online] 2017. [Citace: 20. březen 2017.] Dostupné z <http://www.konstrukce-tesko.cz/lepene-lamelove-drevo-vyroba-a-prodej>.
8. **KRÄMER, Volker**. *Dřevěné konstrukce, Příklady a řešení podle ČSN 73 1702*. Praha : Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2011. ISBN 978-80-87438-16-9.
9. **doc. Ing. Bohumil Straka, CSc.** *Časopis stavebnictví*. [Online] [Citace: 27. duben 2017.] Dostupné z [http://www.casopisstavebnictvi.cz/halove-stavby-s-drevenymi-obloukovymi-vaznikovymi-a-ramovymi-nosnymi-dilci\\_A442\\_I10\\_07](http://www.casopisstavebnictvi.cz/halove-stavby-s-drevenymi-obloukovymi-vaznikovymi-a-ramovymi-nosnymi-dilci_A442_I10_07).
10. <http://www.konstrukce.cz>. *časopis KONSTRUKCE*. [Online] 2002 - 2017. [Citace: 11. květen 2017.] Dostupné z <http://www.konstrukce.cz/clanek/drevene-konstrukce-a-oplasteni-ivc-trinec/>. ISSN 1803-8433.
11. [www.steel.fsv.cvut.cz](http://www.steel.fsv.cvut.cz). *Česká stránka projektu Access Steel na ČVUT v Praze*. [Online] [Citace: 11. duben 2017.] Dostupné z [http://steel.fsv.cvut.cz/Access\\_Steel\\_CZ/SS\\_Postup-reseni/SS048a-CZ-EU.pdf](http://steel.fsv.cvut.cz/Access_Steel_CZ/SS_Postup-reseni/SS048a-CZ-EU.pdf).
12. **KRAHWINKEL, VON ROLF KINDMANN UND MANUEL**. *Stahl- und Verbundkonstruktionen: mit 45 Tabellen*. Stuttgart : Teubner , 1999. ISBN 3519052660.
13. [www.ocel-konstrukce.cz](http://www.ocel-konstrukce.cz). [Online] 2009. [Citace: 10. květen 2017.] Dostupné z <http://ocel-konstrukce.webnode.cz/>.
14. [www.konstrukce-tesko.cz](http://www.konstrukce-tesko.cz). *Lepené dřevěné konstrukce Tesko*. [Online] 2008. [Citace: 8. květen 2017.] Dostupné z <http://www.konstrukce-tesko.cz/reference/sportovni-haly/sportovni-hala-v-novem-veseli>.



15. **NOVÁK, Otakar.** *Statické tabulky pro stavební praxi. 2., přeprac. vyd.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury , 1978. Česká matice technická (SNTL).
16. ČSN EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1. **ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA.** Praha : Český normalizační institut, prosinec 2006.
17. **ALBERT, HRSG. BIS ZUR 16. AUFL. V. KLAUS-JÜRGEN SCHNEIDER AB DER 17. AUFL. V. ALFONS GORIS. MIT BEITR. V. ANDREJ.** *Bautabellen für Ingenieure: mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 20. Aufl. .* Köln : Werner, 2012. ISBN 978-3-8041-5251-9.
18. ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. **ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA.** Praha : Český normalizační institut. prosinec 2006.
19. **ELIÁŠOVÁ, Martina a Zdeněk SOKOL.** *Ocelové konstrukce 1: příklady. 3. vyd.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05214-3.
20. ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1. **ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA.** Praha : Český normalizační institut, prosinec 2006.
21. **PROCHÁZKA, Jaroslav.** *Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2.* Praha : Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-03-9.
22. **ŠTĚPÁNEK, Petr.** [www.fce.vutbr.cz](http://www.fce.vutbr.cz). *Prvky betonových konstrukcí - Výukové texty, příklady a pomůcky.* [Online] 2015. [Citace: 25. březen 2015.] Dostupné z [http://www.fce.vutbr.cz/BZK/studenti/BL01/BL01\\_skripta.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/BZK/studenti/BL01/BL01_skripta.pdf).
23. ČSN EN 1997-1 Navrhování geotechnických konstrukcí. **ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA.** Praha : Český normalizační institut, září 2006.
24. **ZAVORAL, Jakub.** *Zakládání staveb: Výpočty.* Ústí nad Labem : Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-887-3.
25. **BREDEN, Melanie a Michael SCHWIMMER.** *Excel 2007 VBA: velká kniha řešení.* Brno : Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2698-1.
26. **KRÁL, Martin.** *Excel VBA: výukový kurz.* Brno : Computer Press, 2010. ISBN 78-80-251-2358-4.
27. **LAURENČÍK, Marek a Michal BUREŠ.** *Programování v Excelu 2010 & 2013: záznam, úprava a programování maker.* Praha : Grada, 2013. ISBN 978-80-247-5033-0.
28. **ROMAN, Steven.** *Writing Excel macros.* Sebastopol, Calif : O'Reilly, 1999. ISBN 1565925874.



29. <http://www.ozgrid.com/>. *OZGRID.com*. [Online] [Citace: 1. březen 2017.] Dostupné z <http://www.ozgrid.com/>.
30. <https://www.mrexcel.com/>. *MrExcel.com*. [Online] MrExcel Consulting, 1998 - 2016. [Citace: 1. březen 2017.] Dostupné z <https://www.mrexcel.com/>.
31. **Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.** Přednáška 7 - Haly ,dispozice, střešní konstrukce. *133OK1 - Ocelové Konstrukce 1*. [Online] 12. srpen 2016. dostupné z <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyOK01/OK01-7.pdf>.
32. ČSN EN 1991-1-3 Obecná zatížení - Zatížení sněhem. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA*. Praha : Český normalizační institut, červen 2005.
33. ČSN EN 1991-1-4 Obecná zatížení - Zatížení větrem. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA*. Praha : Český normalizační institut, duben 2007.
34. [www.kovprof.cz](http://www.kovprof.cz). *KOVOVÉ PROFILY*. [Online] Kovové profily, spol. s.r.o. [Citace: 10. květen 2017.] Dostupné z <http://kovprof.cz/hlavni-stranka/vaznice-a-pazdiky/c-profil/>.



## Seznam obrázků

Obr. 1 Vazníková hala bez tenkostěnných vaznic (4).....	11
Obr. 2 Vazníková hala s vaznicemi z tenkostěnných profilů (5) .....	11
Obr. 3 Vložené styčnickové plechy (6) .....	12
Obr. 4 Systém gang-nail .....	12
Obr. 5 Dřevěný vetknutý sloup z lepeného dřeva (10).....	13
Obr. 6 Typická ocelová rámová konstrukce s tenkostěnnými vaznicemi (13) .....	14
Obr. 7 Hala z kombinace ocelových a dřevěných prvků (14) .....	15
Obr. 8 Základní statická schémata.....	16
Obr. 9 Zatěžovací kombinace .....	17
Obr. 10 Posuzované pruty na příhradovém nosníku .....	18
Obr. 11 Schéma vnitřních sil v základové spáře .....	19
Obr. 12 Směry silových reakcí .....	19
Obr. 13 Schéma vnitřních sil v základové spáře .....	20
Obr. 14 Tvary parabolického oblouku .....	21
Obr. 15 Směr reakcí oblouku .....	21
Obr. 16 Schéma orientace globálních a lokálních vnitřních sil .....	22
Obr. 17 Schéma vnitřních sil v základové spáře .....	23
Obr. 18 Způsob návrhu základové patky .....	23
Obr. 19 Hodnoty vzpěrných délek pro dřevěný trojkloubový rám .....	27
Obr. 20 Interakční diagram .....	37
Obr. 21 Navrhované základové patky a rozhodující podmínky posudku.....	40
Obr. 22 Kazeta – tenkostěnný profil tvaru C (34).....	43
Obr. 23 Schéma aplikace.....	45
Obr. 24 Samostatný trapézový plech (31).....	46
Obr. 25 Sendvičový panel s PUR- jádrem (31).....	46
Obr. 26 Zatížení ploché střechy sáním větru .....	47
Obr. 27 Zatížení větrem na oblouk: Vlevo normové řešení, vpravo zjednodušené řešení v této práci.....	48
Obr. 28 Formulář - Zatížení.....	48
Obr. 29 Oblast $L \times H$ v hale s nosným parabolickým obloukem .....	49
Obr. 30 Formulář - Rozměry .....	49
Obr. 31 Formulář - Základové podmínky .....	50
Obr. 32 Formulář - specifikace materiálu .....	50
Obr. 33 Součinitele vnějšího tlaku pro válcové střechy s pravouhlým půdorysem (32) .....	73



## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 Vzpěrné délky příhradových vazníků (19)</i> .....	32
<i>Tabulka 2 – Vzpěrné délky stojek ráků (15)</i> .....	33
<i>Tabulka 3 Ceny materiálu pro dřevěné konstrukce</i> .....	53
<i>Tabulka 4 Ceny materiálu pro ocelové konstrukce</i> .....	53
<i>Tabulka 5 Ceny materiálu pro železobetonové konstrukce</i> .....	54
<i>Tabulka 6 Dvojklobový rák s lomenou příčlím (15)</i> .....	68
<i>Tabulka 7 - Parabolický oblouk dvojklobový (15)</i> .....	69
<i>Tabulka 8 – součinitele vzpěru pro různé typy parabolického oblouku (15)</i> .....	69
<i>Tabulka 9 Hodnoty výpočtové únosnosti <math>R_{dt}</math> jemnozrnných zemin při hloubce založení 0,8 až 1,5 m</i> .....	70
<i>Tabulka 10 Hodnoty výpočtové únosnosti <math>R_{dt}</math> písčitých zemin při hloubce založení 1 m</i> .....	70
<i>Tabulka 11 Hodnoty výpočtové únosnosti <math>R_{dt}</math> štěrkovitých zemin při hloubce založení 1 m</i> .....	70
<i>Tabulka 12 Hodnoty výpočtové únosnosti <math>R_{dt}</math> skalního masivu</i> .....	70
<i>Tabulka 13 Hodnoty únosnosti <math>q_k</math> tenkostěnných vaznic tvaru C pro limitní průhyb <math>L/200</math></i> .....	71
<i>Tabulka 14 Hodnoty únosnosti <math>q_k</math> trapézových plechů pro limitní průhyb <math>L/200</math></i> .....	71
<i>Tabulka 15 Hodnoty únosnosti <math>q_k</math> stěnových kazet - tenkostěnných profilů tvaru C pro limitní průhyb <math>L/200</math></i> .....	71
<i>Tabulka 16 Součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny (33)</i> .....	72
<i>Tabulka 17 Součinitele vnějšího tlaku pro ploché střechy (33)</i> .....	72



## Přílohy

Tabulka 6 Dvojklobový rám s lomenou příčlí (15)

Tabulka C.92. Jednoduchý souměrný rám s lomenou příčlí v patkách kloubově uložený

		$k_1 = \frac{J_1}{h}$ $k_2 = \frac{J_2}{s}$ $N = \frac{1}{k_1} [h^2(3k_1 + k_2) + fk_1(3h + f)]$	
Způsob zatížení	Průběh momentů	Statické veličiny	
1		$H = \frac{ql^2}{32N} (8h + 5f)$ $M_c = -Hh$ $M_d = \frac{ql^2}{8} - H(h + f)$ $A = B = \frac{1}{2} ql$	1
2		$H = \frac{ql^2}{64N} (8h + 5f)$ $M_c = M_e = -Hh$ $M_d = \frac{ql^2}{16} - H(h + f)$ $A = \frac{3}{8} ql \quad B = \frac{1}{8} ql$	2
3		$H = \frac{qh^2}{16N} \left( 6f + 12h + 5h \frac{k_2}{k_1} \right)$ $M_c = \frac{qh^2}{2} - Hh$ $M_d = \frac{qh^2}{4} - H(h + f)$ $M_e = -Hh$ $A = -\frac{qh^2}{2l} \quad B = \frac{qh^2}{2l}$	3
4		$H = \frac{qf}{16N} [5f^2 + 20fh + \frac{8h^2}{k_1} (3k_1 + k_2)]$ $M_c = (qf - H)h$ $M_d = \frac{1}{2} Hl - H(h + f)$ $M_e = -Hh$ $A = -\frac{qf(2h + f)}{2l} \quad B = -A$	4

Tabulka 7 - Parabolický oblouk dvojklobový (15)

Rovnice paraboly

$$y = \frac{4f}{l^2} x(l-x) \quad J_c = J \cos \varphi \quad \alpha = \frac{15}{8f^2} \frac{J_c}{F_c}$$

$J, F_c$  značí moment setrvačnosti a průřezovou plochu ve vrcholu oblouku

Způsob zatížení	Průběh momentů	Statické veličiny
		$H = \frac{ql^2}{8f(1+\alpha)}$ $M_c = \frac{ql^2}{8} \frac{\alpha}{1+\alpha}$ $A = B = \frac{1}{2} ql$ <p>Pro <math>\alpha = 0</math> je průběh momentů nulový.</p>
		$H = \frac{ql^2}{16f(1+\alpha)}$ $M_c = \frac{ql^2}{16} \frac{\alpha}{1+\alpha}$ $A = \frac{3}{8} ql \quad B = \frac{1}{8} ql$
		$H_a = 0,7143qf$ $H_b = 0,2857qf$ $M_c = -0,0357qf^2$ $A = -\frac{qf^2}{2l} \quad B = -A$

Tabulka 8 – součinitel vzpěru pro různé typy parabolického oblouku (15)

$$l_k = \alpha s \quad J = \text{konst}$$

Poměr $f : l$	Součinitel $\alpha$			
	0,05	0,2	0,3	0,4
	1,20	1,20	1,20	1,30
	1,00	1,10	1,20	1,30
	0,70	0,75	0,80	0,85

Tabulka 9 Hodnoty výpočtové únosnosti  $R_{dt}$  jemnozrnných zemin při hloubce založení 0,8 až 1,5 m

Třída	Symbol	Tabulková výpočtová únosnost $R_{dt}$ [kPa]				úhel vnitřního tření
		Konzistence				
		Měkká	Tuhá	Pevná	Tvrdá	$\varphi_{eff}$
F 1	MG	110	200	300	500	26
F 2	CG	100	175	275	450	24
F 3	MS	100	175	275	450	24
F 4	CS	80	150	250	400	22
F 5	ML; MI	70	150	250	400	19
F 6	CL; CI	50	100	200	350	17
F 7	MH; MV; ME	50	100	200	350	15
F 8	CH; CV; CE	40	80	160	300	13

Tabulka 10 Hodnoty výpočtové únosnosti  $R_{dt}$  písčítých zemin při hloubce založení 1 m

Třída	Symbol	Tabulková výpočtová únosnost $R_{dt}$ [kPa]										úhel vnitřního tření
		šířka základu $b$ [m]										
		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	$\varphi_{eff}$ [°]
S 1	SW	300	500	575	650	725	800	767	733	667	600	37
S 2	SP	250	350	413	475	538	600	583	567	533	500	35
S 3	S-F	225	275	306	338	369	400	388	375	350	325	30
S 4	SM	175	225	244	263	281	300	292	283	267	250	29
S 5	SC	125	175	188	200	213	225	217	208	192	175	27

Tabulka 11 Hodnoty výpočtové únosnosti  $R_{dt}$  štěrkovitých zemin při hloubce založení 1 m

Třída	Symbol	Tabulková výpočtová únosnost $R_{dt}$ kPa										úhel vnitřního tření
		šířka základu $b$ m										
		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	$\varphi_{eff}$
G 1	GW	500	800	850	900	950	1000	967	933	867	800	39
G 2	GP	400	650	700	750	800	850	817	783	717	650	36
G 3	G-F	300	450	513	575	638	700	667	633	567	500	34
G 4	GM	250	300	325	350	375	400	383	367	333	300	32
G 5	GC	150	200	213	225	238	250	242	233	217	200	30

Tabulka 12 Hodnoty výpočtové únosnosti  $R_{dt}$  skalního masivu

Zatřídění skalních hornin podle pevnosti			Únosnost $R_{dt}$ MPa		
Třída	Pevnost $\sigma_c$ [Mpa]	Pevnost	stření hustota diskontinuit - vzdálenost mm		
			velmi malá až malá > 600 mm	střední až velká 600 až 60 mm	velmi velká až extrémně velká < 60 mm
R 1	> 150	velmi vysoká	8000	4000	2500
R 2	50 až 150	vysoká	4000	2000	1200
R 3	15 až 50	střední	1600	800	500
R 4	5 až 15	nízká	800	400	250
R 5	1,5 až 5	velmi nízká	600	300	200
R 6	0,5 až 1,5	extrémně nízká	400	250	150

Tabulka 13 Hodnoty únosnosti  $q_k$  tenkostěnných vaznic tvaru C pro limitní průhyb L/200

Rozpon konstrukce [m]	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	Hmotnost
Typ vaznice a tloušťka plechu									kg/m
C 270/3	15,40	10,80	7,88	5,92	4,56	3,59	2,87	2,34	10,01
C 300/3	13,10	9,20	6,71	5,04	3,88	3,05	2,44	1,99	10,72
C 300/2,5	10,60	7,43	5,41	4,07	3,13	2,40	1,97	1,60	8,53
C 270/2,0	9,57	6,72	4,90	3,68	2,83	2,23	1,76	1,45	6,67
C 240/2,0	7,38	5,18	3,78	2,64	2,19	1,72	1,38	1,12	6,20
C 210/2,5	7,03	4,94	3,60	2,71	2,08	1,64	1,31	1,07	7,16
C 210/2,0	5,49	3,86	2,81	2,11	1,63	1,28	1,02	0,83	5,73
C 210/1,5	3,84	2,70	1,97	1,48	1,14	0,90	0,72	0,58	4,30
C 180/1,5	2,75	1,93	1,41	1,22	0,93	0,72	0,57	0,50	3,94

Tabulka 14 Hodnoty únosnosti  $q_k$  trapézových plechů pro limitní průhyb L/200

Rozpon konstrukce [m]	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	Hmotnost
Označení tr. plechu	1	2	3	4	5	6	7	8	kg/m <sup>2</sup>
TR 200/420 tl.1,5			7,24	5,44	4,19	3,29	2,64	2,14	21,43
TR 160/250 tl.1,5	11,55	8,11	5,91	4,44	3,42	2,69	2,15	1,75	24,00
TR 160/250 tl.1,25	9,57	6,72	4,90	3,68	2,84	2,23	1,79	1,45	20,00
TR 160/250 tl.1,00	7,60	5,34	3,89	2,92	2,25	1,77	1,42	1,15	16,00
TR 160/250 tl.0,75	5,34	3,75	2,74	2,06	1,58	1,25	1,00	0,81	12,00
TR 100/275 tl.1,25	3,10	2,18	1,59	1,19	0,92	0,72	0,58	0,00	15,50
TR 100/275 tl.1,0	2,46	1,73	1,26	0,95	0,73	0,57	0,46	0,00	12,12

Tabulka 15 Hodnoty únosnosti  $q_k$  stěnových kazet - tenkostěnných profilů tvaru C pro limitní průhyb L/200

Rozpon konstrukce	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	Hmotnost
Typ plechu	1	2	3	4	5	6	7	8	kg/m <sup>2</sup>
K 150/600 tl.1,5			4,26	3,19	2,45	1,93	1,54	1,25	19,30
K 125/600 tl.1,5	5,49	3,84	2,79	2,09	1,61	1,26	1,13	0,82	18,30
K 150/600 tl.1,25	4,57	3,20	2,32	1,74	1,34	1,05	0,84	0,68	15,20
K 100/600 tl.1,5	3,26	2,28	1,66	1,24	0,95	0,75	0,60	0,49	17,30
K 100/600 tl.1,25	2,72	1,90	1,38	1,03	0,79	0,62	0,50	0,40	14,40
K 100/600 tl.1,0	2,15	1,50	1,09	0,82	0,63	0,49	0,39	0,32	11,40
K 100/600 tl.0,75	1,53	1,07	0,78	0,58	0,45	0,35	0,28	0,23	8,50

Tabulka 16 Součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny (33)

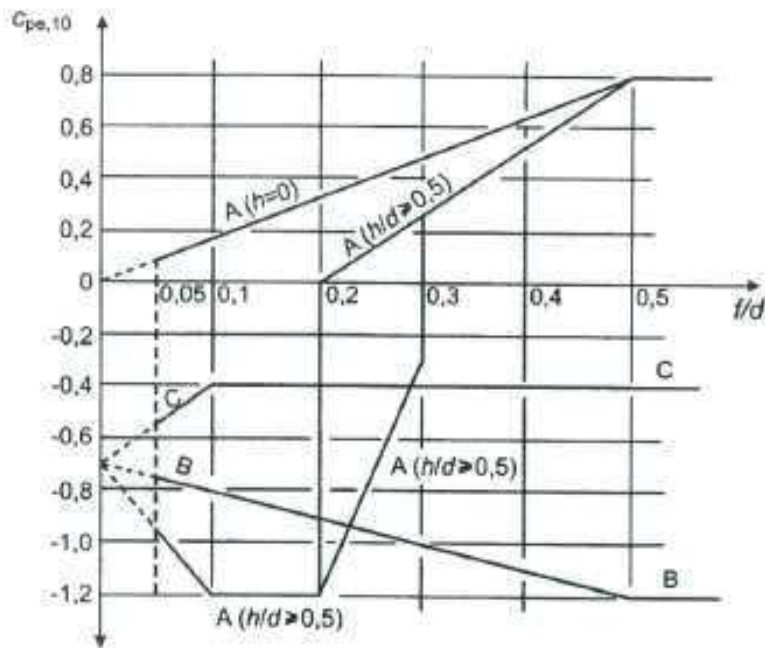
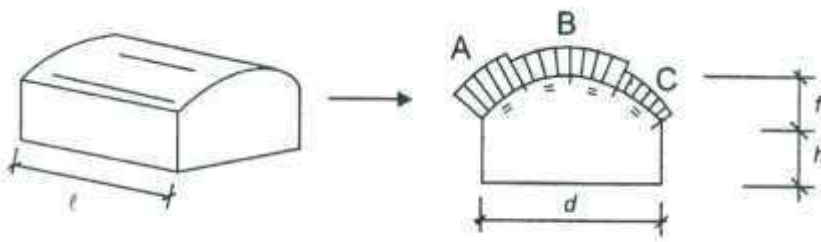
**Tabulka 7.1 – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem**

Oblast	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Tabulka 17 Součinitele vnějšího tlaku pro ploché střechy (33)

**Tabulka 7.2 – Součinitele vnějšího tlaku pro ploché střechy**

Typ střechy		Oblasti							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Ostré hrany		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+ 0,2	
								- 0,2	
S atikou	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+ 0,2	
								- 0,2	
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+ 0,2	
								- 0,2	
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+ 0,2	
								- 0,2	



Pro  $0 < h/d < 0,5$  se  $c_{pe,10}$  získá lineární interpolací.

Pro  $0,2 \leq l/d \leq 0,3$  a  $h/d \geq 0,5$  musí být uvaženy dvě hodnoty  $c_{pe,10}$ .

Graf není vhodný pro ploché střechy.

**Obrázek 7.11 – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku  $c_{pe}$  pro klenbové střechy s pravoúhlým půdorysem**

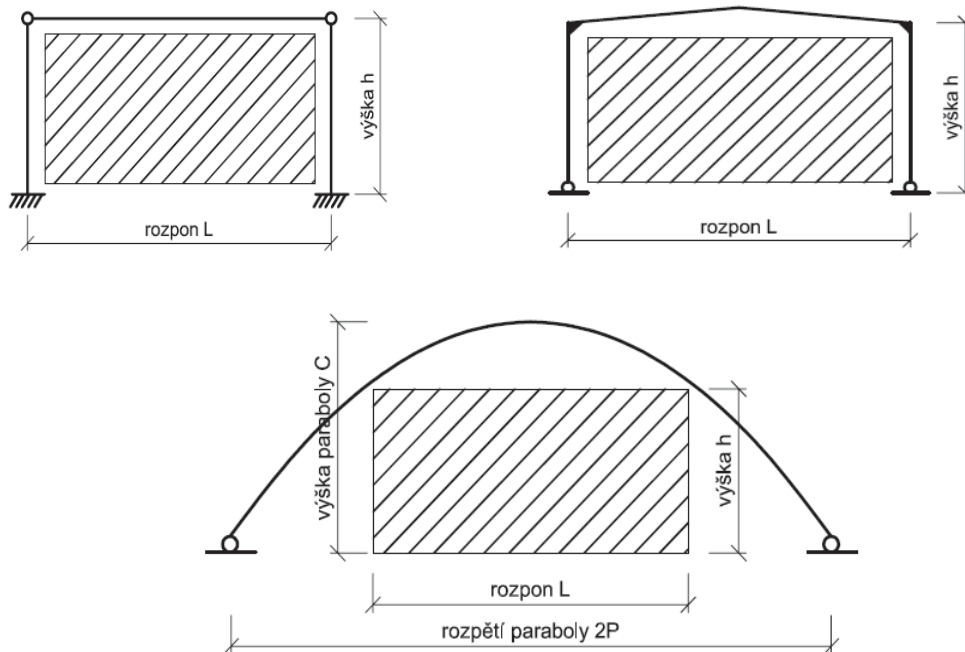
Obr. 33 Součinitele vnějšího tlaku pro válcové střechy s pravoúhlým půdorysem (32)



## Porovnání cen halových konstrukcí

Zvolené rozměry:	rozpon:	12,00 m
	výška:	5,00 m
	rozteč vazeb:	4,00 m
	rozpětí parabolického oblouku:	19,00 m
	výška parabolického oblouku:	8,32 m

Základní statická schémata:



Zatěžovací podmínky:	vlastní tíha:	<i>dle varianty a materiálu</i>
	stálé zatížení:	$0,3 \text{ kN/m}^2$
	návrhová hodnota zatížení větrem	$1,03 \text{ kN/m}^2$
	návrhová hodnota zatížení sněhem:	$1,5 \text{ kN/m}^2$

Základové podmínky:

druh zeminy: G\_štěrkovité  
třída zeminy: G 3

POZN: Pro všechny základy použít beton C25/30

Kvalita použitých materiálů:

Lepené lamelové dřevo: GL 24h  
Beton: C 35/45  
Výztuž: B500B  
Ocel: S235

## 1. Dřevěný vazník & vetknutý dřevěný sloup



### Výsledné dimenze nosníku:

Vazník z lepeného dřeva:

**Prurez 0,12x0,64** m<sup>2</sup>

Celková spotřeba dřeva:

0,92 m<sup>3</sup>

### Posudek:

ohyb:  $M_{y,ed}/W_y \cdot f_{m,d} \cdot k_{crit} =$

1,00 < 1

Návrh vyhovuje

smek:  $3/2 \cdot V_{ed}/A \cdot f_{vd} =$

0,46 < 1

Návrh vyhovuje

### Výsledné dimenze sloupu:

Sloup z lepeného dřeva:

**Prurez 0,2x0,34** m<sup>2</sup>

Celková spotřeba dřeva:

0,34 m<sup>3</sup>

### Posudek:

ohyb:  $M_{y,ed}/W_y \cdot f_{m,d} \cdot k_{crit} =$

0,93 < 1

Návrh vyhovuje

smek:  $3/2 \cdot V_{ed}/A \cdot f_{vd} =$

0,20 < 1

Návrh vyhovuje

### Konstrukční prvky střecha:

Vaznice	Kubatura vaznic	0,42	m <sup>3</sup>	
	Plocha pro připojení	15,4	m <sup>2</sup>	
	Cena kování	250,0	Kč/m <sup>2</sup>	plochy vazníku
Táhla	Zavětrování	15	%	z ceny vazníku
	Cena zavětrování	2 213,2	Kč	
	Cena střešních prvků	12 832,9	Kč	

### Konstrukční prvky stěna: Prvky ve stěně haly (uvažována 1 stěna)

	Kubatura paždíku	0,05	m <sup>3</sup>	
	Plocha pro připojení	3,4	m <sup>2</sup>	
	Cena kování	250,0	Kč/m <sup>2</sup>	plochy vazníku
	Zavětrování	15	%	z ceny sloupu
	Cena zavětrování	816,5	Kč	
	Cena stěnových prvků	2 409,1	Kč	

<u>Hlavní spoje NK:</u>	Uložení vazníku na sloup 2x	20	% z ceny kubatury vazníku	
		2 951,0	Kč	
	Vetknutí sloupu do základové patky	50	% z ceny sloupu	
	Cena celkem	2 721,7	Kč	
<u>Ochrana dřeva:</u>	Spodní nátěr - penetrace 1x	500,0	Kč/m <sup>3</sup>	
	Vrchní nátěr 1 vrstva	1 500,0	Kč/m <sup>3</sup>	
	Cena celkem	2 690,1	Kč	

<u>Ochrana dřeva:</u>	Spodní nátěr - penetrace 1x	500,0	Kč/m <sup>3</sup>
	Vrchní nátěr 1 vrstva	1 500,0	Kč/m <sup>3</sup>
	Cena celkem	<u>772,8</u>	Kč
Prvky střechy:	Jednotková cena dřeva LLD	16 010,00	Kč / m <sup>3</sup>
	Cena hlavní nosné konstrukce:	14 754,8	Kč
	Cena střešních prvků:	<u>33 228,8</u>	Kč
Prvky stěny:	Jednotková cena dřeva LLD	16 010,00	Kč / m <sup>3</sup>
	Cena dřevěného sloupu	5 443,4	Kč
	Cena stěnových prvků:	<u>22 694,0</u>	Kč
	Celková cena nosné konstrukce	<u><b>55 922,8</b></u>	Kč
<u>Základová konstrukce</u>			
	Posouzení na excentricitu: $(e_x / B)^2 < (1/3)^2$	0,109 < 0,111	Návrh vyhovuje
	Posouzení na únosnost: $\sigma_d / R_{dt}$	0,217 < 1	Návrh vyhovuje
	Posouzení na usmyknutí: $H_d / R_{d,h}$	0,244 < 1	Návrh vyhovuje
	Navržené rozměry základu:	1 x 1.74 x 1.74	m <sup>3</sup>
	Celková kubatura základu:	3,03	m <sup>3</sup>
Jednotková cena za m <sup>3</sup> základové patky:		1 800,0	Kč
Cena obou patek:		<u><b>10 899,3</b></u>	Kč
Celková orientační cena:		<u><b>66 822,2</b></u>	Kč

**Dřevěná hala s vazníkem a vetknutými sloupy**

## 1. Dřevěný vazník & železobetonový sloup



### Výsledné dimenze nosníku:

Vazník z lepeného dřeva:

**Průřez 0,12x0,64 m<sup>2</sup>**

Celková spotřeba dřeva:

0,92 m<sup>3</sup>

### Posudek:

ohyb:  $\sigma_{m,d} = M_{y,ed} / W_y \cdot f_{m,d} \cdot k_{crit} =$

1,00 < 1

Návrh vyhovuje

smyk:  $\tau = 3/2 \cdot V_{ed} / A \cdot f_{vd} =$

0,46 < 1

Návrh vyhovuje

### Výsledné dimenze:

Železobetonový průřez:

**Průřez 0,2 x 0,3 m<sup>2</sup>**

Celková spotřeba betonu:

0,3 m<sup>3</sup>

Celková spotřeba výztuže:

82,425 kg

### Posudek:

Štíhlost prvku  $\lambda$

115,47 -

Limitní štíhlost  $\lambda_{lim}$

94,62 -

Posouzení s vlivem zatížení podle teorie II.řádu

Působící moment  $M_{ed}$  při síle  $N_{ed}$

58,85 kNm

Podmínka:  $M_{Rd} = M_{Rd,(Z-3)}$

59,93 kNm

Návrh vyhovuje

Souřadnice působících sil  $M_{ed}$  a  $N_{ed}$  leží uvnitř ID

### Konstrukční prvky střecha:

Vaznice	Kubatura vaznic	0,42 m <sup>3</sup>	plochy vazníku z ceny vazníku
	Plocha pro připojení	15,4 m <sup>2</sup>	
	Cena kování	250,0 Kč/m <sup>2</sup>	
Táhla	Zavětrování	15 %	
		2 213,2 Kč	
	Cena střešních prvků	12 832,9 Kč	

### Konstrukční prvky stěna: Prvky ve stěně haly (uvažována 1 stěna)

Paždíky	Kubatura paždíku	0,05 m <sup>3</sup>	plochy sloupů
	Plocha pro připojení	3,4 m <sup>2</sup>	
	Cena kování	250,0 Kč/m <sup>2</sup>	
	Cena stěnových prvků	1 592,6 Kč	

### Základový práh

Kubatura	0,64 m <sup>3</sup>
Hmotnost výztuže	96 kg

## Základový kalich

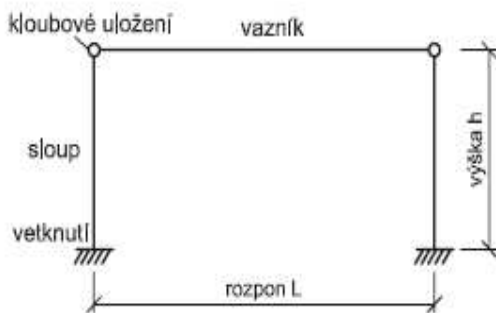
	Kubatura	1,44	m <sup>3</sup>
	Hmotnost výztuže	288	kg
	Cena ŽB stěnových prvků	17 920,0	Kč
<u>Hlavní spoje NK:</u>	Kloubové uložení vazníku na sloup 2x	20,00	% z ceny vazníku
		5 901,9	Kč
	Vetknutí patky sloupu - zalití do patky	25,00	% z ceny sloupu
	Cena celkem	815,2	Kč
<u>Ochrana dřeva:</u>	Spodní nátěr - penetrace 1x	500,0	Kč/m <sup>3</sup>
	Vrchní nátěr 1 vrstva	1 500,0	Kč/m <sup>3</sup>
	Cena celkem	2 690,1	Kč
Prvky střechy:	Jednotková cena dřeva LLD	16 010,00	Kč / m <sup>3</sup>
	Cena hlavní nosné konstrukce:	14 754,8	Kč
	Cena celkem	<b>25 560,1</b>	Kč
Prvky stěny	Jednotková železobetonu	4 000,0	Kč / m <sup>3</sup>
	Cena výztuže	25,0	Kč / kg
	Cena sloupu	3 260,6	Kč
	Cena celkem:	<b>47 176,8</b>	Kč

Základová konstrukce

	Posouzení na excentricitu: $(e_x / B)^2 < (1/3)^2$	0,108	< 0,111	Návrh vyhovuje
	Posouzení na únosnost: $\sigma_d / R_{dt}$	0,229	< 1	Návrh vyhovuje
	Posouzení na usmyknutí: $H_d / R_{d,h}$	0,236	< 1	Návrh vyhovuje
	Navržené rozměry základu:	1 x 1,7 x 1,7	m <sup>3</sup>	
	Celková kubatura základu:	2,89	m <sup>3</sup>	
Jednotková cena za m <sup>3</sup> základové patky:		1 800,0	Kč	
	Cena obou patek:	<b>5 220,0</b>	Kč	
Celková orientační cena:		<b>77 956,9</b>	Kč	

**Hala na ŽB sloupech s dřevěnými vazníky**

## 1. Železobetonový vazník & železobetonový sloup



### Výsledné dimenze:

Železobetonový T-Vazník:

**Průřez 0,2 x 0,65 m<sup>2</sup>**

Celková spotřeba betonu:

2,04 m<sup>3</sup>

Celková spotřeba výztuže:

565,20 kg

### Posudek:

Momentová únosnost  $M_{Rd} \geq M_{Ed}$

$M_{Ed} = 697,57$  kNm

$M_{Rd} = 700,60$  kNm

Návrh vyhovuje

Smyková únosnost  $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$

$V_{Ed} = 119,58$  kN

$V_{Rd,max} = 446,00$  kN

Návrh vyhovuje

### Výsledné dimenze:

Železobetonový průřez:

**Průřez 0,2 x 0,25 m<sup>2</sup>**

Celková spotřeba betonu:

0,25 m<sup>3</sup>

Celková spotřeba výztuže:

43,175 kg

### Posudek:

Štíhlost prvku  $\lambda$

138,56 -

Limitní štíhlost  $\lambda_{lim}$

48,10 -

Posouzení s vlivem zatížení podle teorie II.řádu

Působící moment  $M_{ed}$  při síle  $N_{ed}$

33,76

Podmínka:  $M_{Rd} = M_{Rd,(z-3)}$

34,56

Návrh vyhovuje

Souřadnice působících sil  $M_{ed}$  a  $N_{ed}$  leží uvnitř ID

### Konstrukční prvky střecha: Samonosný trapézový plech

Hmotnost plechu 581,76 kg

Střešní podélné ztužidlo

Kubatura m<sup>3</sup>

Hmotnost výztuže kg

Cena střešních prvků 24 433,9 Kč

### Konstrukční prvky stěna: Kazetové nosné opláštění

Hmotnost plechu 170,00 kg

Základový práh

Kubatura 0,64 m<sup>3</sup>

Hmotnost výztuže 96 kg

Základový kalich

Kubatura 1,36 m<sup>3</sup>

Hmotnost výztuže 272 kg



	Cena stěnových prvků	24 850,0	Kč
	Vetknutí patky sloupu - zalití do patky	25,00	% z ceny sloupu
	Cena celkem	519,8	Kč
Prvky střechy:	Jednotková železobetonu	4 000,0	Kč / m <sup>3</sup>
	Cena výztuže	25,0	Kč / kg
	Cena tenkostěnných trapézových plechů	42,0	Kč / kg
	Cena vazníku	22 290,0	Kč
	Cena celkem:	<b>46 723,9</b>	Kč
Prvky stěny	Jednotková železobetonu	4 000,0	Kč / m <sup>3</sup>
	Cena výztuže	25,0	Kč / kg
	Cena tenkostěnných kazetových prvků	45,0	Kč / kg
	Cena sloupu	2 079,4	Kč
	Cena celkem:	<b>53 858,8</b>	Kč
<u>Základová konstrukce</u>			
	Posouzení na excentricitu: $(e_x / B)^2 < (1/3)^2$	0,109 < 0,111	Návrh vyhovuje
	Posouzení na únosnost: $\sigma_d / R_{dt}$	0,333 < 1	Návrh vyhovuje
	Posouzení na usmyknutí: $H_d / R_{d,h}$	0,272 < 1	Návrh vyhovuje
	Navržené rozměry základu:	1 x 1.95 x 1.95	m <sup>3</sup>
	Celková kubatura základu:	3,80	m <sup>3</sup>
Jednotková cena za m <sup>3</sup> základové patky:		1800	Kč
	Cena obou patek:	<b>8 793,0</b>	Kč
Celková orientační cena:		<b>109 375,7</b>	Kč

Železobetonová vazníková hala

# 1 .Ocelová příhradová konstrukce & vetknutý ocelový sloup



## Výsledné dimenze:

Horní pás z trubek:

**TR 54x6,3**

Posudek: vzpěrný tlak:  $\sigma_{b,rd} / \chi \cdot f_{y,d} =$

0,97 < 1

Návrh vyhovuje

Svislice z kruhových trubek:

**TR 21,3x3,6**

Posudek: Vzpěrný tlak:  $\sigma_{b,rd} / \chi \cdot f_{y,d} =$

0,96 < 1

Návrh vyhovuje

Tažená diagonála z kruhových trubek:

**TR 22x4**

Posudek: Tah:  $\sigma_{t,rd} / f_{y,d} =$

0,99 < 1

Návrh vyhovuje

Tažený dolní pás z kruhových trubek:

**TR 48,3x6,3**

Posudek: Tah:  $\sigma_{t,rd} / f_{y,d} =$

0,95 < 1

Návrh vyhovuje

Celková hmotnost oceli příhradového vazníku:

217,17 kg

## Výsledné dimenze:

Sloup z ocelového válcovaného profilu:

**HEB 120**

Hmotnost profilu sloupu:

133,47 kg

Posudek:

Ohyb a tlak:  $N_{ed} / \chi \cdot A \cdot f_{y,d} + M_{y,Ed} / W_{y,pl} \cdot f_{y,d} \cdot \chi_{LT} =$

0,62 < 1

Návrh vyhovuje

## Výsledná cena:

Konstrukční prvky střecha: Tenkostěnné vaznice tvaru C

Hmotnost vaznic 189,12 kg

Střešní ztužidlo - vzpěry

60 % hmotnosti příhrady

Hmotnost

130,30 kg

Zavětrování

50 % hmotnosti příhrady

Hmotnost

108,59 kg

Cena střešních prvků

18 065,9 Kč

Konstrukční prvky stěna: Tenkostěnné profily

Hmotnost paždíků 31,52 kg

Zavětrování

50 % hmotnosti sloupu navíc

Hmotnost

66,74 kg

Cena stěnových prvků

3 554,0 Kč

Hlavní spoje NK: Připojení příhrady na sloup

5 % hmotnosti příhrady navíc

Hmotnost

10,9 kg

Vetknutá patka

60 % hmotnosti navíc

Hmotnost

80,08 kg

Ochrana ocelové konstrukce:

Její cena je zahrnuta v ceně profilů

Prvky střechy:	Jednotková cena hmotnosti trubek	40,00	Kč / kg
	Jednotková cena hmotnosti profilů	32,00	Kč / kg
	Cena tenkostěnných trapézových plechů	45,00	Kč / kg
	Cena příhradového nosníku	8 686,8	Kč
	Cena celkem:	<b>26 752,8</b>	Kč
Prvky stěny:	Jednotková cena hmotnosti profilů	32,00	Kč / kg
	Cena tenkostěnných trapézových plechů	45,00	Kč / kg
	Cena sloupu (včetně kotvy)	6 833,9	Kč
	Cena celkem:	<b>20 775,7</b>	Kč

Základová konstrukce

Posouzení na excentricitu: $(e_x / B)^2 < (1/3)^2$	0,109 < 0,111	Návrh vyhovuje
Posouzení na únosnost: $\sigma_d / R_{dt}$	0,197 < 1	Návrh vyhovuje
Posouzení na usmyknutí: $H_d / R_{d,h}$	0,278 < 1	Návrh vyhovuje
Navržené rozměry základu:	1 x 1.99 x 1.99	m <sup>3</sup>
Celková kubatura základu:	3,96	m <sup>3</sup>
Jednotková cena za m <sup>3</sup> základové patky:	1 800,0	Kč
Cena obou patek:	<b>14 256,3</b>	Kč
<b>Celková orientační cena:</b>	<b>61 784,8</b>	Kč

Ocelová hala velkého rozponu

## 1. Ocelová příhradová konstrukce & železobetonový sloup



### Výsledné dimenze:

Horní pás z trubek:

**TR 54x6,3**

Posudek:

$$\text{vzpěrný tlak: } \sigma_{b,rd} / \chi \cdot f_{y,d} =$$

$$0,97 < 1$$

Návrh vyhovuje

Svislice z kruhových trubek:

**TR 21,3x3,6**

Posudek:

$$\text{Vzpěrný tlak: } \sigma_{b,rd} / \chi \cdot f_{y,d} =$$

$$0,96 < 1$$

Návrh vyhovuje

Tažená diagonála z kruhových trubek:

**TR 22x4**

Posudek:

$$\text{Tah: } \sigma_{t,rd} / f_{y,d} =$$

$$0,99 < 1$$

Návrh vyhovuje

Tažený dolní pás z kruhových trubek:

**TR 48,3x6,3**

Posudek:

$$\text{Tah: } \sigma_{t,rd} / f_{y,d} =$$

$$0,95 < 1$$

Návrh vyhovuje

Celková spotřeba oceli na příhradu:

217,17 kg

### Výsledné dimenze:

Železobetonový průřez:

**Průřez 0,2 x 0,3 m<sup>2</sup>**

Celková spotřeba betonu:

0,3 m<sup>3</sup>

Celková spotřeba výztuže:

82,425 kg

Posudek:

Štíhlost prvku  $\lambda$

115,47 -

Limitní štíhlost  $\lambda_{lim}$

94,62 -

Posouzení s vlivem zatížení podle teorie II.řádu

Působící moment  $M_{ed}$  při síle  $N_{ed}$

58,85

Podmínka:  $M_{Rd} = M_{Rd,(Z-3)}$

59,93

Návrh vyhovuje

Souřadnice působících sil  $M_{ed}$  a  $N_{ed}$  leží uvnitř ID

### Výsledná cena:

Konstrukční prvky střecha: Tenkostěnné vaznice tvaru C

Hmotnost vaznic

189,12 kg

Střešní ztužidlo - vzpěry

60 % hmotnosti navíc

Hmotnost

130,30 kg

Zavětrování

50 % hmotnosti navíc

Hmotnost

108,59 kg

Cena střešních prvků

18 065,9 Kč

Konstrukční prvky stěna: Tenkostěnné profily

Hmotnost paždíků

31,52 kg

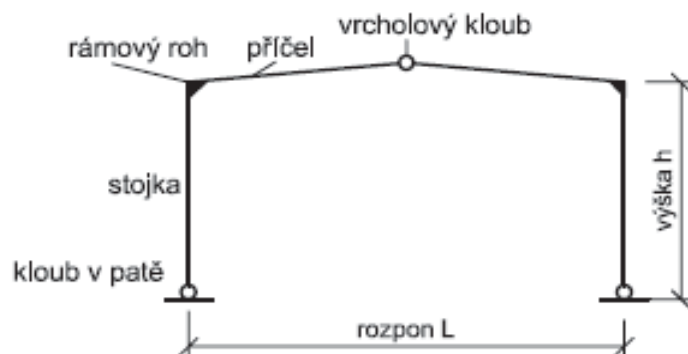
Základový práh



	Kubatura	0,64	m <sup>3</sup>	
	Hmotnost výztuže	96	kg	
Základový kalich				
	Kubatura	1,44	m <sup>3</sup>	
	Hmotnost výztuže	288	kg	
	Cena stěnových prvků	19 338,4	Kč	
<u>Prvky střechy:</u>				
	Jednotková cena hmotnosti trubek	40,00	Kč / kg	
	Jednotková cena hmotnosti profilů	32,00	Kč / kg	
	Cena tenkostěnných trapézových plechů	45,00	Kč / kg	
	Cena příhradového nosníku	8 686,8	Kč	
	Cena celkem:	<b>26 752,8</b>	Kč	
<u>Prvky stěny</u>				
	Jednotková železobetonu	4 000,0	Kč / m <sup>3</sup>	
	Cena výztuže	25,0	Kč / kg	
	Cena tenkostěnných kazetových prvků	45,0	Kč / kg	
	Cena sloupu	3 260,6	Kč	
	Cena celkem:	<b>45 198,1</b>	Kč	
<u>Základová konstrukce</u>				
	Posouzení na excentricitu: $(e_x / B)^2 < (1/3)^2$	0,109	< 0,111	Návrh vyhovuje
	Posouzení na únosnost: $\sigma_d / R_{dt}$	0,212	< 1	Návrh vyhovuje
	Posouzení na usmyknutí: $H_d / R_{d,h}$	0,272	< 1	Návrh vyhovuje
	Navržené rozměry základu:	1 x 1.94 x 1.94	m <sup>3</sup>	
	Celková kubatura základu:	3,76	m <sup>3</sup>	
	Jednotková cena za m <sup>3</sup> základové patky:	1 800,0	Kč	
	Cena obou patek:	<b>8 364,9</b>	Kč	
	Celková orientační cena:	<b>80 315,8</b>	Kč	

**Ocelové příhradová konstrukce na železobetonových sloupech**

## 2. Dřevěný trojkloubový rám s lepeným rámovým rohem



### Výsledné dimenze:

Příčel z lepeného lamelového dřeva:

**Prurez 0,12x0,6** m<sup>2</sup>

Stojka z lepeného lamelového dřeva:

**Prurez 0,12x0,6** m<sup>2</sup>

Kubatura dřeva příčle:

0,87 m<sup>3</sup>

Kubatura dřeva stojky

0,72 m<sup>3</sup>

Celková kubatura nosné konstrukce:

3,17 m<sup>3</sup>

### Posudek příčle :

Ohyb a tlak :  $N_{Ed}/k_c \cdot A \cdot f_{c,0,d} + M_{y,Ed}/W_y \cdot f_{m,d} \cdot k_{crit} =$

0,93 < 1

Návrh vyhovuje

Smyk:  $3/2 \cdot V_{ed} / A \cdot f_{vd} =$

0,43 < 1

Návrh vyhovuje

### Posudek stojky :

Ohyb a tlak :  $N_{Ed}/k_c \cdot A \cdot f_{c,0,d} + M_{y,Ed}/W_y \cdot f_{m,d} \cdot k_{crit} =$

0,93 < 1

Návrh vyhovuje

Smyk:  $3/2 \cdot V_{ed} / A \cdot f_{vd} =$

0,23 < 1

Návrh vyhovuje

### Výsledná cena:

#### Konstrukční prvky střecha:

Vaznice	Kubatura vaznic	0,42	m <sup>3</sup>	
	Plocha pro připojení	14,4	m <sup>2</sup>	
	Cena kování	400,0	Kč/m <sup>2</sup>	plochy příčle
Táhla	Zavětrování	10	%	z ceny rámu
	Cena zavětrování	5 082,5	Kč	
	Cena střešních prvků	17 622,2	Kč	

#### Konstrukční prvky stěna: Prvky ve stěně haly (uvažována 1 stěna)

Paždíky	Kubatura paždíku	0,05	m <sup>3</sup>	
	Plocha pro připojení	6,0	m <sup>2</sup>	
	Cena kování	400,0	Kč/m <sup>2</sup>	plochy stojky
Táhla	Zavětrování	5	%	z ceny rámu
	Cena zavětrování	2 541,3	Kč	
	Cena stěnových prvků	4 941,3	Kč	

#### Hlavní spoje NK:

Lepený rámový roh 2x		15	% z ceny kubatury rámu
	Cena lepeného rohu	7 623,8	Kč
Kloubové uložení patky stojky 2x		10	% z ceny kubatury rámu
	Cena uložení patky	5 082,5	Kč
	Celková cena	12 706,3	Kč



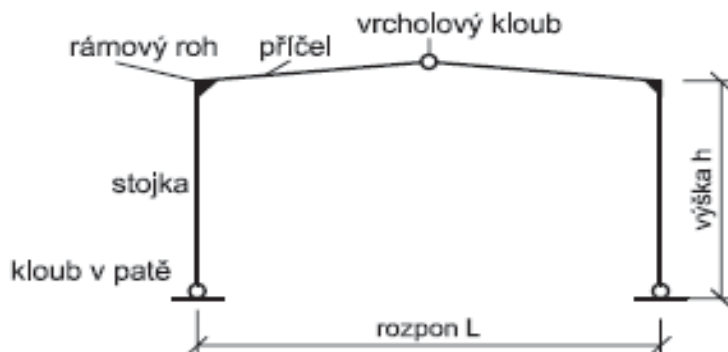
<u>Ochrana dřeva:</u>	Spodní nátěr - penetrace 1x	500,0	Kč/m <sup>3</sup>
	Vrchní nátěr 1 vrstva	1 500,0	Kč/m <sup>3</sup>
	Cena celkem	<u>7 381,7</u>	Kč
	Jednotková cena dřeva LLD	16 010,00	Kč / m <sup>3</sup>
	Cena hlavní nosné konstrukce:	<u>50 825,4</u>	Kč
	Cena celkem	<u><b>93 618,1</b></u>	Kč

Základová konstrukce

Posouzení na excentricitu: $(e_x / B)^2 < (1/3)^2$	0,110 < 0,111	Návrh vyhovuje
Posouzení na únosnost: $\sigma_d / R_{dt}$	0,118 < 1	Návrh vyhovuje
Posouzení na usmyknutí: $H_d / R_{d,h}$	0,492 < 1	Návrh vyhovuje
Navržené rozměry základu:	1 x 1.46 x 1.46	m <sup>3</sup>
Celková kubatura základu:	2,13	m <sup>3</sup>
Jednotková cena za m <sup>3</sup> základové patky:	1 800,00	Kč
Cena obou patek:	<u>7 673,8</u>	Kč
<b>Výsledná cena :</b>	<u><b>101 291,9</b></u>	<b>Kč</b>

Trojkloubová rámová hala s vaznicemi

## 2. Ocelový dvoukloubový rám s lomenou příčlípí



### Výsledné dimenze:

Příčel z ocelového válcovaného profilu:

I 200

Stojka z ocelového válcovaného profilu:

HEB 120

Hmotnost příčle:

157,91 kg

Hmotnost stojky:

133,47 kg

Hmotnost hlavní nosné konstrukce:

582,78 kg

### Posudek příčle :

Ohyb a tlak :  $N_{Ed}/k_c \cdot A_{c,0,d} + M_{y,Ed}/W_y \cdot f_{m,d} \cdot k_{crit} = 0,95 < 1$  Návrh vyhovuje

### Posudek stojky :

Ohyb a tlak :  $N_{Ed}/k_c \cdot A_{c,0,d} + M_{y,Ed}/W_y \cdot f_{m,d} \cdot k_{crit} = 0,64 < 1$  Návrh vyhovuje

### Konstrukční prvky střecha: Tenkostěnné vaznice tvaru C

Hmotnost vaznic	189,12 kg
Zavětrování	50 % hmotnosti příčle navíc
Hmotnost	78,96 kg
Cena střešních prvků	<u>11 037,0 Kč</u>

### Konstrukční prvky stěna: Tenkostěnné profily tvaru C

Hmotnost paždíků	31,52 kg
Zavětrování	50 % hmotnosti stojky navíc
Hmotnost	66,74 kg
Cena stěnových prvků	<u>3 554,0 Kč</u>

### Hlavní spojovací prvky:

Kotvení paty sloupu	10 % z hmotnosti příčle
Hmotnost konstrukce	13,3 kg
Rámový roh	1 m profilu příčle navíc
Hmotnost	26,22 kg
Hmotnost navíc celkem	<u>79,13 kg</u>

### Ochrana ocelové konstrukce: Její cena je zahrnuta v ceně profilu

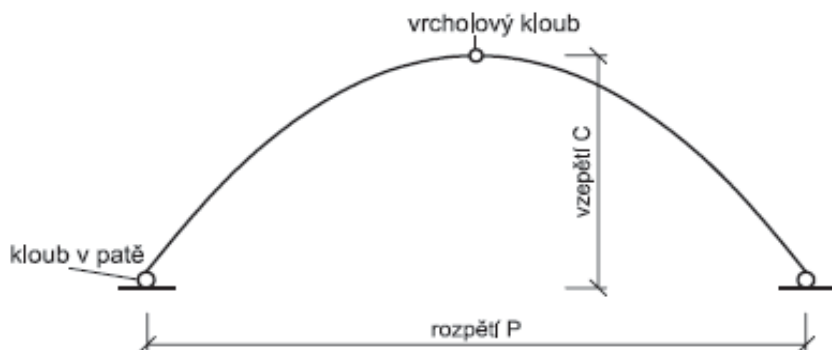
Prvky střechy:	Jednotková cena hmotnosti profilů	32,00 Kč / kg
	Cena tenkostěnných trapézových plechů	45,00 Kč / kg
	Cena ocelového rámu	18 648,9 Kč
	Cena celkem	<u>50 363,2 Kč</u>

Základová konstrukce

Posouzení na excentricitu: $(e_x / B)^2 < (1/3)^2$	0,110 < 0,111	Návrh vyhovuje
Posouzení na únosnost: $\sigma_d / R_{dt}$	0,114 < 1	Návrh vyhovuje
Posouzení na usmyknutí: $H_d / R_{d,h}$	0,492 < 1	Návrh vyhovuje
Navržené rozměry základu:	1 x 1,48 x 1,48	m <sup>3</sup>
Celková kubatura základu:	2,19	m <sup>3</sup>
Jednotková cena za m <sup>3</sup> základové patky:	1 800,00	Kč
Cena obou patek:	<u>7 885,4</u>	Kč
<b>Výsledná cena :</b>	<u><b>58 248,6</b></u>	<b>Kč</b>

Ocelová rámová hala s tenkostěnnými vaznicemi:

### 3. Trojkloubový tlačný oblouk z lepeného dřeva



#### Výsledné dimenze:

Prut z lepeného dřeva:

Prurez 0,12x0,44 m<sup>2</sup>

Celková spotřeba dřeva:

1,48 m<sup>3</sup>

#### Posudek:

vzpěrný tlak za ohybu:  $M_{y,ed}/W_y \cdot f_{m,d} \cdot k_{crit} + N_{ed}/A \cdot f_{c,0,d}$

0,88 < 1

Návrh vyhovuje

tlak v patě oblouku:  $N_{ed}/A \cdot f_{c,0,d}$

0,10 < 1

Návrh vyhovuje

#### Konstrukční prvky střecha:

Vaznice	Kubatura vaznic	0,45 m <sup>3</sup>	
	Plocha pro připojení	24,0 m <sup>2</sup>	
Táhla	Cena kování	400,0 Kč/m <sup>2</sup>	plochy oblouku
	Zavětrování	20 %	z ceny oblouku
	Cena zavětrování	7 096,3 Kč	
	Cena střešních prvků	<u>23 891,9 Kč</u>	

Hlavní spoje NK:	Kloubový spoj ve vrcholu 1x	10 % z ceny oblouku
	Cena kloubu	3 548,2 Kč
Kloubové uložení patky oblouku 2x		5 % z ceny oblouku
	Cena patek	1 774,1 Kč
	Celková cena	<u>5 322,3 Kč</u>

Ochrana dřeva:	Spodní nátěr - penetrace 1x	500,0 Kč/m <sup>3</sup>
	Vrchní nátěr 1 vrstva	1 500,0 Kč/m <sup>3</sup>
	Cena celkem	<u>3 853,4 Kč</u>

Jednotková cena dřeva LLD	16 010,00 Kč/m <sup>3</sup>
Příplatek za ohýbaný prvek	8 000,00 Kč/m <sup>3</sup>
Cena hlavní nosné konstrukce:	35 481,7 Kč
Cena celkem	<u><b>51 753,7 Kč</b></u>



Základová konstrukce

Posouzení na excentricitu: $(e_x / B)^2 < (1/3)^2$	0,100 < 0,111	Návrh vyhovuje
Posouzení na únosnost: $\sigma_d / R_{dt}$	0,412 < 1	Návrh vyhovuje
Posouzení na usmyknutí: $H_d / R_{d,h}$	0,997 < 1	Návrh vyhovuje
Navržené rozměry základu:	1 x 1.27 x 1.27 m <sup>3</sup>	
Celková kubatura základu:	1,62 m <sup>3</sup>	
Jednotková cena za m <sup>3</sup> základové patky:	1 800,00 Kč	
Cena obou patek:	<u>5 825,7</u> Kč	
<b>Výsledná cena :</b>	<b><u>57 579,4</u></b> Kč	

Trojkloubová dřevěná oblouková hala

Cena jedné nosné vazby halové konstrukce včetně základové konstrukce a nosných prvků opláštění

<b><u>Varianta</u></b>	<b><u>Typ halové konstrukce</u></b>	<b><u>Odhadnutá cena</u></b>
VIII.Varianta	3. Trojkloubový tlačný oblouk z lepeného dřeva	57 579,36 Kč
VII.Varianta	2. Ocelový dvoukloubový rám s lomenou příčlíví	58 248,61 Kč
IV.Varianta	1. Ocelová příhradová konstrukce & vetknutý ocelový sloup	61 784,80 Kč
I.Varianta	1. Dřevěný vazník & vetknutý dřevěný sloup	66 822,18 Kč
II.Varianta	1. Dřevěný vazník & železobetonový sloup	77 956,89 Kč
V.Varianta	1. Ocelová příhradová konstrukce & železobetonový sloup	80 315,75 Kč
VI.Varianta	2. Dřevěný trojkloubový rám s lepeným rámovým rohem	101 291,89 Kč
III.Varianta	1. Železobetonový vazník & železobetonový sloup	109 375,65 Kč



**Ilustrační fotografie použité v tomto výstupu byly získány z následujících webových zdrojů**

- I.Varianta [www.konstrukce.cz/clanek/drevne-konstrukce-a-oplasteni-ivc-trinec/#foto\\_clanek](http://www.konstrukce.cz/clanek/drevne-konstrukce-a-oplasteni-ivc-trinec/#foto_clanek)
- II.Varianta [www.wolfsystem.cz/Prumyslove-a-sportovni-haly/Technika-Servis/Konstrucni-systemy](http://www.wolfsystem.cz/Prumyslove-a-sportovni-haly/Technika-Servis/Konstrucni-systemy)
- III.Varianta [www.rieder.cz/fotogalerie/prefabrikovane-haly/hala-vrtal-ceske-budejovice.php](http://www.rieder.cz/fotogalerie/prefabrikovane-haly/hala-vrtal-ceske-budejovice.php)
- IV.Varianta [www.stahlbau.vollack.de/deutsche-messe-hannover/](http://www.stahlbau.vollack.de/deutsche-messe-hannover/)
- V.Varianta [www.konstrukce.cz/clanek/hangar-pro-lakovani-letadel-letiste-mosnov/](http://www.konstrukce.cz/clanek/hangar-pro-lakovani-letadel-letiste-mosnov/)
- VI.Varianta [www.haas-fertigbau.cz](http://www.haas-fertigbau.cz)
- VII.Varianta [www.unihal.cz/ocelove-konstrukce](http://www.unihal.cz/ocelove-konstrukce)
- VIII.Varianta [www.konstrukce-tesko.cz](http://www.konstrukce-tesko.cz)