

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra aplikované mechaniky

Pevností analýza ocelové konstrukce mycí linky

Strength Analysis of Steel Construction of Washing Box

Student:

Jan Hrček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
 Fakulta strojní
 Katedra aplikované mechaniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Hrček**
 Studijní program: B2341 Strojírenství
 Studijní obor: 3901R003 Aplikovaná mechanika
 Téma: **Pevnostní analýza ocelové konstrukce mycí linky**
Strength Analysis of Steel Construction of Washing Box
 Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Proved'te analýzu poskytnutého 3-D modelu a diskutujte možnosti jeho úpravy za účelem vytvoření modelu vhodného pro analýzu metodou konečných prvků. Uveďte rovněž základní principy řešení lineární statické úlohy metodou konečných prvků.
- 2) Vytvořte geometrický a konečnoprvkový model zadané konstrukce, diskutujte užití typy konečnoprvkových elementů, aplikované okrajové podmínky a nastavení výpočtu.
- 3) Proved'te analýzu vypočtených hodnot, stanovte zda konstrukce z pevnostního hlediska vyhovuje.
- 4) Na základě výsledků konečnoprvkové analýzy diskutujte možnosti optimalizace konstrukce za účelem zvýšení její únosnosti či úsporv materiálu

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] COOK, Robert D. *Finite element modeling for stress analysis*. Vyd. 1. Hong Kong: John Wiley, 1995, 320 s. ISBN 04-711-0774-3.
- [2] ANSYS® *Academic Teaching Advanced, Release 16.2, help system, ANSYS, Inc.*
- [3] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Aktuální vydání. Český normalizační institut, 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Aktuální vydání. Český normalizační institut, 2007.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

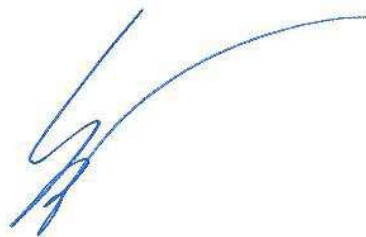
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


 Ing. Martin Fusek, Ph.D.
 vedoucí katedry




 doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
 děkan fakulty

Abstrakt

V této bakalářské práci se zabývám výpočtem konstrukce ruční myčky. Na práci spolupracuji s firmou PETROCard, s.r.o. Cílem této práce je provést statickou analýzu zadané ruční myčky, počítám se zatížením sněhem i větrem, které určuji z platných evropských norem. V další části práce budu provádět změny na konstrukci s účelem optimalizace. Cílem optimalizace je úspora materiálu a nepřekročení maxim mechanických vlastností. Pro výpočet budu používat metodu konečných prvků v softwaru Workbench 18.2.

Klíčová slova

Ruční myčka, MKP, nosníková konstrukce, zatížení sněhem, zatížení větrem

Abstract

In this bachelor thesis, I focus on the calculation of the construction of a hand car wash. On this thesis, I cooperate with a company PETROCard, s.r.o. The goal of this thesis is to perform statical analysis of the assigned car wash, I count with snow load even wind load, which I determine from valid European standards. In the next part of the thesis, I will perform changes on the construction with the aim of the optimization. The optimization goal is material saving and not exceeding the maximum of mechanical properties. For calculation, I will use finite element method in the software Ansys Workbench 18.2.

Keywords

Hand car wash, FEM, beam construction, snow load, wind load

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 27.5.2018



.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5.2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Jan Hřeček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Čeladná 675

Poděkování

- Především bych chtěl poděkovat panu ing. Zdeňkovi Porubovi, PhD., za skvělé vedení práce, poskytnuté materiály a čas, který věnoval téhle bakalářské práci. Dále panu Porubovi vděčím za ochotu věnovat se studentům při dobrovolných hodinách MKP v programu Ansys Workbench 18.2.
- Také bych rád poděkoval společnosti PETROCard s.r.o., za poskytnuté materiály a informace.

Seznam odborných výrazů a zkratek

2D	Dvojměrný (2-dimensional)
3D	Trojměrný (3-dimensional)
Atika	Dekoratívni architektonický prvek
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
Element	Nejmenší prvek, který je tvořen uzly v metodě konečných prvků
I nosník	Nosník ve tvaru I
Kritické místo	Místo, ve kterém se materiál nejpravděpodobněji poruší
Laminární proudění	Takové proudění vazké kapaliny, při kterém jsou proudnice rovnoběžné a nemísí se.
Nahodilé zatížení	Zatížení, které se s časem mění a není možné určit s jistotou jeho velikost
Např.	Například
MKP (FEM)	Metoda konečných prvků (finite element method)
Plochá střecha	Střecha, která má sklon do 5°
Pultová střecha	Střecha, která má sklon jen na jednu stranu
Prizmatické těleso	Těleso hranolovitého tvaru
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
Stálé zatížení	Zatížení, které se s časem nemění
Trapézový plech	Druh plechu, který je ohýbán v určitém profilu
Turbulence	Proudění, při kterém se proudnice navzájem <i>promíchávají</i>
Uzel	Nejmenší prvek v metodě konečných prvků
Viz.	Odkázání čtenáře na další zdroje
Zatížení	Fyzikální vliv, které vyvolává v konstrukci napětí, přetváří ji, nebo s ní pohybuje

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Mycí box.....	11
2.1	Samoobslužný mycí box.....	11
2.2	PETROCard Czech.....	12
3	Zatížení sněhem	13
3.1	ČSN EN 1991-1-3: Zatížení sněhem.....	13
3.1.1	Návrhové situace (podmínky)	13
3.1.2	Zatížení sněhem na střechách.....	14
3.1.3	Tvarový součinitel střechy.....	16
3.1.4	Součinitel expozice.....	18
3.1.5	Tepelný součinitel	18
3.1.6	Zatížení sněhem na zemi.....	18
3.2	Výpočet zatížení sněhem	20
4	Zatížení větrem	21
4.1	Zdroje zatížení větrem:	21
4.2	Statické působení větru	23
4.3	Dynamické působení větru	26
4.4	ČSN EN 1991-1-4 Zatížení větrem	27
4.4.1	Rychlost a tlak větru.....	27
4.4.2	Povětrnostní podmínky.....	28
4.4.3	Referenční výška	29
4.4.4	Místní vlivy	30
4.4.5	Charakteristický maximální dynamický tlak $q_p(z)$	31
4.4.6	Kvazistatická odezva.....	31
4.4.7	Součinitel vnějšího tlaku c_{pe}	32
4.4.8	Součinitele talků pro pozemní stavby	32
4.4.9	Součinitele talků pro ploché střechy.....	33
4.4.10	Výsledný tlak větru.....	34
4.5	Výpočet zatížení větrem.....	35
4.5.1	Působení větru v příčném směru	37
4.5.2	Působení větru v podélném směru	38
5	MKP (FEM).....	39
5.1	Histrie MKP.....	40

5.2	Ansys	40
6	MKP výpočet	41
6.1	Volba materiálu.....	41
6.2	Analýza modelu.....	41
6.3	Tvorba geometrie.....	42
6.4	Analýza tloušťky střechy	44
6.5	Kontakty	45
6.6	Síť	46
6.7	Uchycení.....	46
6.8	Zatížení.....	47
6.8.1	Stálé zatížení	47
6.8.2	Nahodilé zatížení.....	48
6.9	Výsledky	49
6.9.1	Deformace (Total Deformation).....	49
6.9.2	Napětí (Equivalent Stress).....	50
6.10	Zhodnocení výsledků.....	50
6.11	Zatížení silami na nosníky.....	51
6.12	Výsledky (bez kontaktů).....	53
6.12.1	Maximální deformace	53
6.12.2	Maximální napětí	53
6.13	Zhodnocení výsledků (bez kontaktů)	54
6.14	Optimalizace.....	55
6.14.1	Maximální deformace	55
6.14.2	Maximální napětí	56
6.15	Kontrola na vzpěr	57
7	Závěr.....	58
	Seznam použité literatury.....	60
	Seznam obrázků	61
	Seznam tabulek.....	63

1 Úvod

Pevnostní analýza neboli statický výpočet je nedílnou součástí projektové dokumentace každé stavby. Účelem statického výpočtu je navrhnout a zejména posoudit bezpečnost (únosnost a stabilitu), použitelnost a životnost nosné konstrukce. V dnešní době je tento typ výpočtu také důležitý z hlediska možnosti úspory materiálu.

Předmětem této bakalářské práce je provést pomocí metody konečných prvků pevnostní výpočet zadané konstrukce mycího boxu. Cílem mé práce je:

- Analýza poskytnutého 3D modelu a diskuze možností jeho úpravy, aby byl model vhodný pro analýzu metodou konečných prvků.
- Vytvoření geometrického a konečnoprvkového modelu zadané konstrukce, provedení výpočtu a analýza výsledků
- Diskuze případné optimalizace s účelem zvýšení únosnosti či úspory materiálu

V první části práce podrobně popíšu problematiku zatížení sněhem a větrem v souladu s normami ČSN EN 1991-1-3 a ČSN EN 1991-1-4. Dále podle těchto norem provedu výpočet zatížení sněhem a větrem pro můj konkrétní příklad.

V další části bude zpracován kompletní postup výpočtu zadaného modelu mycího boxu v programu Ansys Workbench 18.2. Bude znázorněn postup tvorby geometrie, kontaktů, sítě, volby materiálů, uchycení a zatížení. Následně provedu výpočet deformace, napětí, vzpěru a vyhodnotím výsledky. Bude diskutována tvorba modelu vhodného pro analýzu metodou konečných prvků a vhodného výběru typu zatížení.

V poslední části bude model myčky upraven tak aby vyhovoval z hlediska únosnosti a aby konstrukce byla co nejúspornější.

2 Mycí box

Mycí box neboli myčka aut je zařízení používané k čištění exteriéru (případně interiéru) osobních automobilů. Existují samoobslužné a automatické myčky. První komerční myčka aut se objevila v Americe během 40. let. Od té doby se tento průmysl masivně rozšiřoval po celém světě.

2.1 Samoobslužný mycí box

Díky samoobslužnému systému jsou náklady na provoz velmi nízké. V tomto jednoduchém typu mycího boxu se auto zaparkuje v prostoru, kde se nachází vysokotlaké hadice a kartáče. Klienti většinou platí žetonem pro daný účel, nebo mincemi. V modernějších myčkách lze používat i platební karty. Doba mytí je určena podle zaplacené částky. Po zaplacení si zákazník vybírá možnosti mytí, jako jsou mýdlo, čistič kol, vosk, nebo jen čistá voda. Mycí chemie je v hadicích nebo kartáčích. Tato zařízení bývají často dále vybavena vysavačem pro účel čištění interiérů aut.



Obrázek 2.1 - Samoobslužný mycí box [1]

2.2 PETROCard Czech

Společnost PETROCard, s.r.o. je společnost sídlící v Ostravě. Byla založena v roce 1993. Její hlavní činností je vývoj, výroba, prodej a údržba čerpacích stanic. Vyrábí se několik základních provedení čerpacích stanic, je ale možné je i modifikovat podle konkrétních požadavků zákazníka. Původní myšlenka tohoto projektu bylo zkonstruovat samoobslužné čerpací stanice, které mají nízké provozní i instalační náklady. Tyto přemístitelné čerpací stanice dnes mohou dobře konkurovat klasickým čerpacím stanicím. Na rozdíl od klasických čerpacích stanic se v tomhle případě jedná o strojírenský výrobek, nikoliv o stavbu. Produkty mají široký rozsah využití od jednoduchých podnikových a veřejných stanic po říční přístavy a staveniště. Firma myčky exportuje do zemí jako Bulharsko, Srbsko, Chorvatsko, Polsko, nebo Indie. Uplatnění se nachází i ve státních službách, např. v železniční síti Slovenské republiky.

Další služba firmy PETROCard je projekce, výroba a montáž ocelových konstrukcí zastřešení a přístřešků. Jedná se zejména o konstrukci mycích boxů. [3]



Obrázek 2.2 - Logo firmy PETROCard s.r.o. [3]

3 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem (snow load) je klasifikováno v souladu s normou ČSN EN 1990 jako proměnné, pevné zatížení. Konkrétně zatížení, která se vztahují pod normu ČSN EN 1991-1-3 se uvažují jako statická zatížení. Ve výjimečných situacích je zatížení považováno jako zatížení mimořádné.

3.1 ČSN EN 1991-1-3: Zatížení sněhem

Jedná se o normu, ve které jsou uvedeny pokyny pro stanovení hodnot zatížení sněhem pro navrhování konstrukcí pozemních a inženýrských staveb. Tato norma je platná po celém území České republiky, včetně horských oblastí. [4]

Následující vlivy nejsou zahrnuty:

- Dynamické zatížení rázem, které je způsobeno pádem nebo sklouznutím sněhu z vyšší úrovně střechy
- Zatížení, které se nachází v oblastech s celoroční pokrývkou sněhu
- Zatížení způsobené námrazou
- Boční zatížení sněhem např. návějí sněhu
- Zatížení sněhem působící na mosty
- Přídavné zatížení větrem, které vzniká z důvodů změny tvaru nebo sněhové vrstvy, způsobené vlivem sněhové nebo ledové vrstvy

3.1.1 Návrhové situace (podmínky)

V normě 1991-1-3 jsou podmínky rozděleny na normální a výjimečné.

- **Normální podmínky** – jsou předpokládány v lokalitách, kde je nepravděpodobný výjimečný výskyt, anebo výjimečné navátí sněhu. Uvažují se dočasné, nebo trvalé návrhové situace.

Rozlišuje se:

- uspořádání zatížení s nenavátým sněhem
- uspořádání zatížení s navátým sněhem
- **Výjimečné podmínky** – uvažují se v lokalitách, kde je pravděpodobný výjimečný výskyt, anebo výjimečné navátí sněhu. V takových situacích je třeba kromě

trvalých a dočasných návrhových situací s navátým a nenavátým sněhem uvažovat také mimořádné návrhové situace, ve kterých jsou zohledňovány výjimečné podmínky. Výjimečné podmínky nejsou v České republice uvažovány. [5]

3.1.2 Zatížení sněhem na střechách

Uložení sněhu na střeše mohou být různá.

Vlastnosti střechy a další faktory, které ovlivňují uložení sněhu na střeše:

- Teplo vznikající pod střechou
- Tvar a sklon střechy
- Tepelné vlastnosti střechy
- Okolní terén
- Drsnost povrchu střechy
- Místní klimatické podmínky: větrnost, pravděpodobnost vzniku srážek, teplotní změny
- Hromadění sněhu z různých směrů



Obrázek 3.1 - Sníh na střeše [5]

Většina z uvedených faktorů ovlivňujících uložení na střeše bývá při výpočtu zanedbáno. V úvahu se berou tepelné vlastnosti střechy, sklon střechy a umístění střechy (okolní terén a zástavba). [5]

Uvažujeme 2 základní uspořádání zatížení pro posouzení spolehlivosti konstrukce.

- Rovnoměrné zatížení nenavátým sněhem na střeše
- Nerovnoměrné zatížení nenavátým sněhem na střeše



Obrázek 3.2 - Nenavátý sních [5]



Obrázek 3.3 - Navátý sních [5]

Charakteristická hodnota zatížení sněhem s na střeše se určí podle následujícího výrazu:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3.1)$$

Přičemž platí:

μ_i – tvarový součinitel zatížení sněhem

C_e – součinitel expozice

C_t – tepelný součinitel

s_k – charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

Zatížení s , je považováno jako svisle působící rovnoměrné zatížení, které se vztahuje k půdorysné ploše střechy. Střecha musí být navržena na odpovídající uspořádání zatížení, pokud sníh bude uměle odstraňován, nebo přesouván. [4]

3.1.3 Tvarový součinitel střechy

Závisí na tvaru střechy. V ČSN EN 1991-1-3 jsou uvedeny schémata, ze kterých lze získat hodnoty μ_i pro nejběžnější tvary střech. Pro netypické tvary střech se využívá nejbližší z uvedených schémat a pro upřesnění je třeba dodržovat několik zásad. [5]

Především:

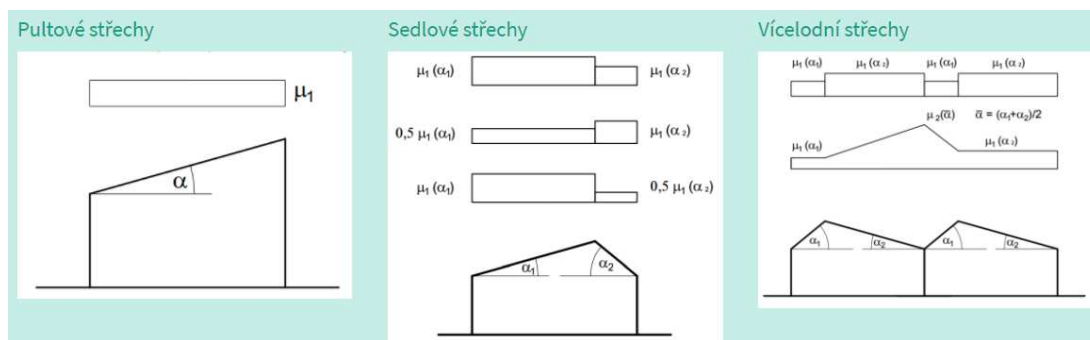
- Tvorba závějí (hromadění sněhu v závětrí)
- Různé směry proudění větru
- Tvar střechy (hromadění většího množství sněhu v nižších polohách střech)
- Návějová schémata pro rozdílné úrovně jsou nadřazená všem dalším schématům
- Schémata atik, nástaveb a jiných překážek jsou nadřazena schématům základních tvarů objektů



Obrázek 3.4 - Vliv tvaru střechy [6]

Tvarové součinitele střech μ_i jsou definovány pro následující tvary střech:

- Pultové střechy
- Sedlové střechy
- Střechy vícelodních budov
- Válcové střechy
- Střechy přiléhající nebo sousedící s vyššími stavbami

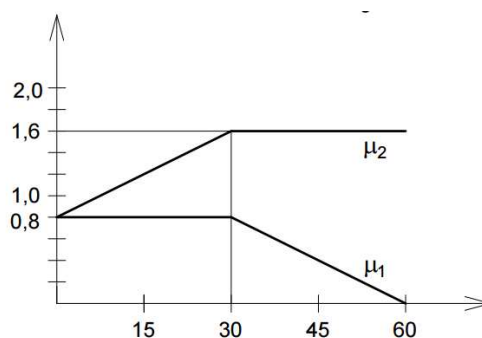


Obrázek 3.5 - Tvary střech [7]

Z tabulky 3.1 a z obrázku 3.6 lze vyčíst hodnoty tvarových součinitelů μ_1 a μ_2 . Toto schéma platí pro pultové střechy, sedlové střechy a střechy vícelodních budov. Platí v případech, kdy není zabraňováno sklouzávání sněhu ze střech. Při umístění překážky jako např. zachytávač sněhu, anebo umístění atiky v dolním okraji konstrukce, hodnota tvarového součinitele střechy by neměla přesáhnout 0,8.

Tabulka 3.1 - Tvarové součinitele zatížení sněhem μ_1 a μ_2 v závislosti na sklonu střechy [5]

Úhel sklonu střechy	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha)/30$	0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	-



Obrázek 3.6 - Tvarové součinitele zatížení sněhem μ_1 a μ_2 v závislosti na sklonu střechy [5]

3.1.4 Součinitel expozice

Zohledňuje možný vliv sfoukávání sněhu ze střechy konstrukce. Pokud není v různých typech krajiny stanoveno jinak, bývá roven jedné. Při jeho volbě je vhodné uvážit vliv budoucí stavby na okolí. [5]

Tabulka 3.2 - Doporučené hodnoty součinitele C_e [5]

Typ krajiny	C_e
Otevřený typ krajiny	0,8
Normální typ krajiny	1
Chráněný typ krajiny	1,2

- Otevřený typ krajiny – Rovná plocha, otevřená do všech stran. Je bez překážek, není chráněná okolním terénem, stromy, nebo vyššími stavbami.
- Normální typ krajiny – Takové plochy, kde nedochází k výrazným přesunům sněhu větrem, kvůli okolním stavbám, stromů, nebo terénu.
- Chráněný typ krajiny – Takové plochy, které jsou obklopeny vyššími stavbami, stromy, nebo jsou výrazně nižší než okolní terén.

3.1.5 Tepelný součinitel

Zohledňuje snížení zatížení sněhem na střeše, která má vysokou tepelnou propustnost ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Jedná se zejména o některé typy skleněných střech, kde vlivem prostupu tepla střechou dochází k tání sněhu. Za normálních podmínek je C_t rovno jedné. [5]

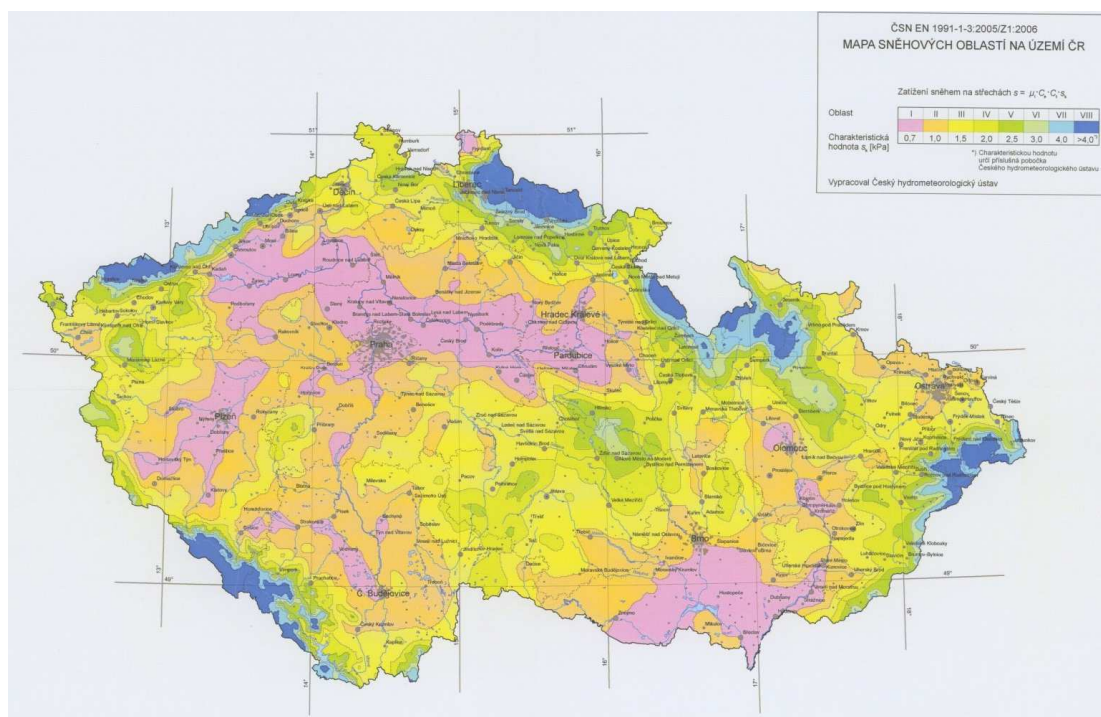
3.1.6 Zatížení sněhem na zemi

Veličina s_k značí charakteristickou hodnotu zatížení sněhem na zemi (characteristic of snow load on the ground). V souladu s normou ČSN EN 1990 je s_k definováno jako 2% kvantil ročních maximálních tlíh sněhu, to znamená, že střední doba návratu je jednou za 50 let. Pro území České republiky jsou charakteristické hodnoty zatížení sněhem zobrazeny na mapě sněhových oblastí (viz. Obr). Tato mapa byla vypracovaná českým hydrometeorologickým ústavem. To na základě naměřené vodní tlíhy sněhu v letech 1961-2006. Na mapě jsou rozlišeny sněhové oblasti I – VIII. [5]

Tabulka 3.3 - Sněhové oblasti [8]

Sněhová oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
kN/m^2	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	>4.0
kg/m^2	70	100	150	200	250	300	400	>480

Pozn. Charakteristickou hodnotu zatížení sněhem určuje příslušná pobočka českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).



Obrázek 3.7 - Mapa sněhových oblastí na území ČR [8]

Na českém hydrometeorologickém úřadu (ČHMÚ) je možné získat podrobné informace o sněhových charakteristikách v konkrétní lokalitě. Tato služba je zpoplatněna. Tato možnost se využívá v místech, která nejsou dostatečně podrobně popsána na mapě sněhových oblastí a je tedy problematické přesně určit tíhu sněhu (např. podhorské oblasti). Dále v místech, kde ze znalosti místních sněhových poměrů se bude hodnota tíhy sněhu lišit od hodnoty vyplývající z mapy sněhových oblastí.

Výzkum prováděný ČHMÚ a VŠB-TU Ostrava GA ČR 103/08/0589 ukázal, že rozdíly mezi hodnotami na mapě sněhových oblastí a hodnotami přímo českého hydrometeorologického úřadu často nejsou zanedbatelné a mohou zvýšit náklady na materiály potřebné pro konstrukci.

Výstupem tohoto projektu byl vznik digitální mapy, která území české republiky rozděluje do oblastí 100x100 m.

Ke každé konkrétní oblasti byly určeny sněhové charakteristiky:

- charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
- střední hodnota μ ,
- směrodatná odchylka σ ,
- variační koeficient V ,
- šikmost α .

Digitální mapa je přístupná na portálu www.snehovamapa.cz. [10]

3.2 Výpočet zatížení sněhem

Úhel sklonu střechy myčky je 2° , z čehož učíme tvarový součinitel střechy:

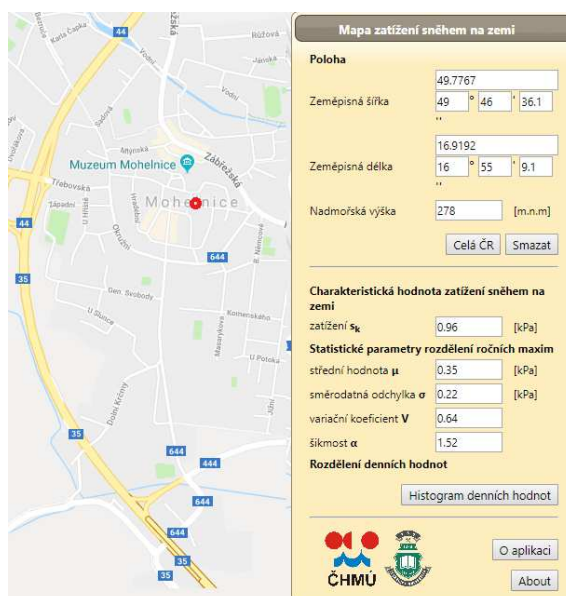
$$\mu_1 = 0,8 \quad (3.2)$$

Platí normální podmínky s ohledem, na sfoukávání sněhu ze střechy a tepelné propustnosti, proto:

$$c_e = 1 \quad (3.3)$$

$$c_t = 1 \quad (3.4)$$

Zadaná konstrukce samoobslužné myčky se nachází v Mohelnici. Z digitální mapy (www.snehovamapa.cz) určuju charakteristickou hodnotu zatížení sněhem s_k .



Obrázek 3.8 - Určení charakteristické hodnoty zatížení sněhem na zemi [10]

Z mapy vyplývá, že:

$$s_k = 0,96 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \quad (3.5)$$

Nyní můžeme vypočítat **charakteristickou hodnotu zatížení sněhem na střeše** s (viz. vtaž 3.1):

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3.1)$$
$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,96 = \underline{\underline{0,768 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}}}$$

4 Zatížení větrem

Zatížení větrem je klasifikováno jako proměnné pevné zatížení (pokud není stanoveno jinak). Určit správně zatížení větrem je ve srovnání s jinými typy proměnných zatížení (např. zatížení větrem) většinou mnohem složitější. Pro chápání normativních postupů pro zatížení větrem je nutné mít alespoň základní znalosti o chování vzdušného proudu, a jak může působit na stavební objekty.

4.1 Zdroje zatížení větrem:

- **Atmosférický tlak** – v určitém místě platí pro celkový tlak vzduchu Bernoulliho rovnice.

$$p = p_a + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \quad (4.1)$$

- **Rychlost větru** – po nárazu proudu na překážku a změně jeho směru, se sníží rychlost v na v_1 . To se po té projeví tlakem w na povrch překážky. V případě nepohyblivých překážek, takže stavebních objektů. Platí, že v_1 je rovno nule.

$$w = \frac{1}{2} \rho \cdot (v^2 - v_1^2) \quad (4.2)$$

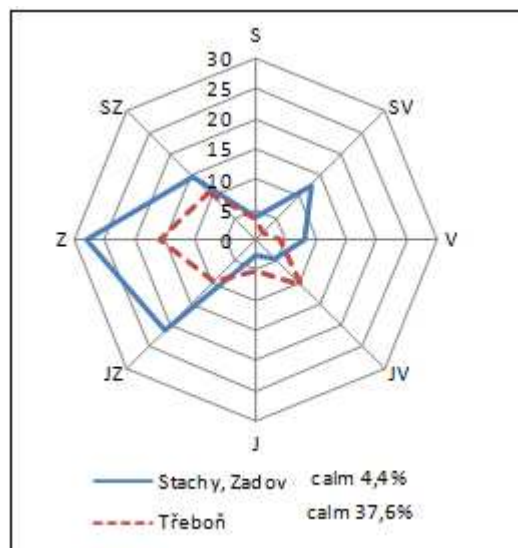
V určitém místě rychlost větru neustále kolísá. Rozlišujeme okamžitou rychlost vzdušného proudu a střední rychlost v určitém časovém intervalu.



Obrázek 4.1 - Nahodilý charakter zatížení větrem z prezentace [12]

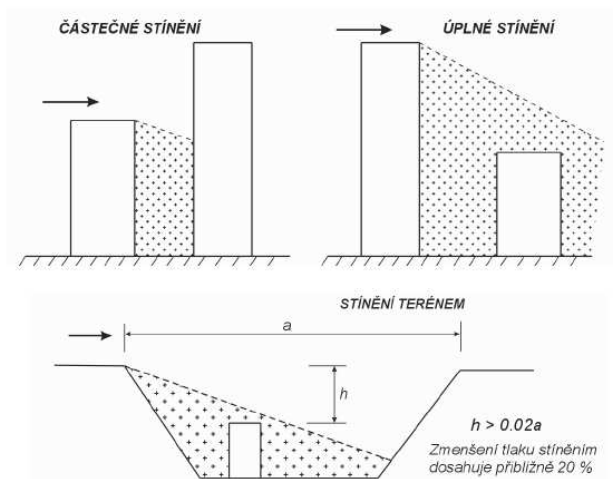
Drsnost povrchu zpomaluje rychlost proudění u země. Zpomalující účinek je projeven v gradientní výšce. Ta bývá 300 m až 500 m, určena z nerovnosti povrchu. Nad touto výškou působí přibližně konstantní střední gradientní rychlost.

- **Směr větru** – Průběžně se mění. Vítr se tedy musí uvažovat z více směrů. Z měření rychlosti větru, nebo rychlosti a směru, je možné získat tzv. větrné růžice.



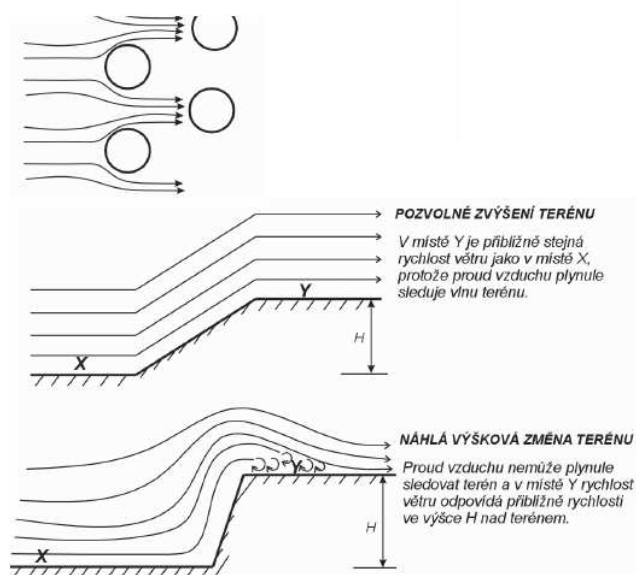
Obrázek 4.2 - Větrná růžice [13]

- **Hustota vzduchu** – je závislá na geografické poloze, teplotě, nadmořské výšce a složením vzduchu. Pro výpočet tlaku uvažujeme hustotu ρ jako konstantu. Ta je rovna $1250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- **Místní podmínky** – Objekt může být zastíněný terénem, nebo jiným objektem. Zastínění zmenšuje účinek větru.



Obrázek 4.3 - Stínění objektu z prezentace [12]

Dále se může rychlost větru vlivem místních podmínek zmenšit.



Obrázek 4.4 - Zmenšení rychlosti [12]

4.2 Statické působení větru

V případě dostatečně tuhých konstrukcí se významně neprojevují dynamické účinky od zatížení větrem. V těchto případech můžeme považovat zatížení větrem, jako zatížení statické. Toto zatížení je rozděleno nerovnoměrně po celém povrchu konstrukce (vnitřní i vnější povrch). [11]

Zatížení může působit kolmo na povrch (tlak, sání), nebo rovnoběžně s povrchem (tření).

- **Vznik turbulence** – Při obtékání vzdušného proudu kolem tuhého tělesa, dochází účinkem drsnosti tělesa ke zpomalování vrstev vzduchu přilehlých k povrchu a to až k nulové hodnotě přímo na povrchu tělesa. Mezi vzduchem ovlivněným a neovlivněným drsností povrchu se nachází tzv. mezní vrstva. Povaha obtékání tuhého tělesa je závislá na viskozitě vzduchu. Při větších rychlostech a překážkách setrvačné síly převýší nad silami viskózními a proud vzduchu se stane turbulentní. V případě malých rychlostí a objektů proud vzduchu zůstává laminární. Vztah mezi viskózními a setrvačnými silami vyjadřuje Reynoldsovo číslo:

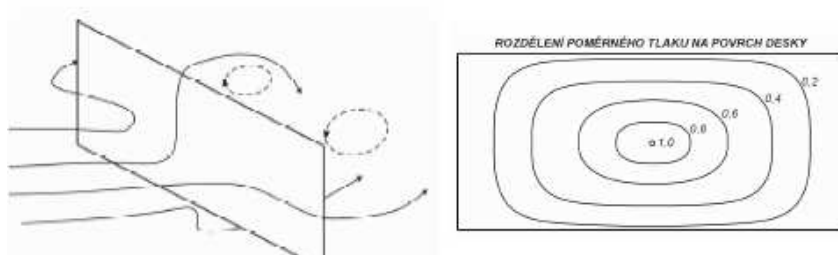
$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (4.3)$$

Kde platí, že ν je kinetická viskozita vzduchu ($\nu = 14,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), rychlost proudění je v a d je charakteristický rozměr tělesa. V závislosti na Re dochází, nebo nedochází k turbulentním jevům. V praxi ve většině případů je Re dostatečně velké, aby turbulence vznikla. [12]

- **Obtékání prizmatického tělesa** – Střední vlákna proudu vzduchu působí na stěnu plným dynamickým tlakem w , ostatní vlákna působí tlakem menším. Poměrná velikost tlaku větru je vyjádřena součinitelem tlaku c_p . Ten je definovaný jako poměr tlaku větru v určitém místě a dynamického tlaku větru.

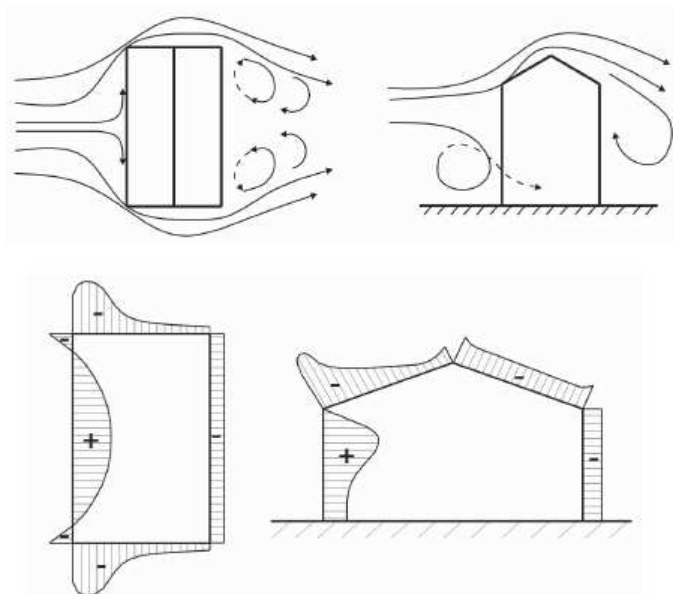
$$c_p = \frac{P_{skut}}{P_{dyn}} \quad (4.4)$$

Na hraně desky se proud vzduchu od desky odtrhává a jeho pohyb pokračuje v původním směru, přitom za deskou vzniká vírový polštář, v jehož rozsahu působí na povrch desky rovnoměrní sání.



Obrázek 4.5 - Obtékání ploché desky [12]

Po nárazu vzdušného proudu na objekt se proud rozděluje do stran a nad střechu objektu. Po stranách objektu dochází ke zvyšování rychlostí vzdušného proudu a ke zmenšení celkového tlaku pod hodnotu atmosférického tlaku. Podle Bernoulliho rovnice tak vzniká na obou bočních stranách a závětrné straně objektu sání. Na střechách sání vzniká v závislosti rychlosti větru a sklonu střechy. Při působení větrného proudu na objekt šikmo, závisí výsledný účinek na tvaru objektu a směru působení větru. [12]



Obrázek 4.6 - Působení větru na stavební objekt [12]

- **Vliv architektonických prvků** – Pokud jsou navrženy dostatečně vysoké **atiky**, jsou víry vytvářející se na návětrných nárožích oddalovány od povrchu střechy. Tím dochází ke zmenšení oblastí zvýšeného sání, které působí na konstrukci střechy. [12]



Obrázek 4.7 - Vliv atik na zatížení střešní konstrukce, rozdělení sání [12]

Další architektonické prvky, které mají vliv na zatížení stavebních objektů, jsou:

- Pergoly

- Průniky budovou
- Vystupující části objektu
- Svislá žebra a sloupky ve fasádě
- Balkóny a lodžie
- Objety s členitým půdorysem
- Vlivy sousedních objektů

4.3 Dynamické působení větru

Pokud v konstrukci vznikají nezanedbatelná zrychlení, je třeba počítat i s dynamickou odezvou konstrukce na zatížení větrem. Situace, při kterých se projevuje dynamické zatěžování: [11]

- **Kmitání objektu ve směru větru** - Tvoří se poryvy a fluktuacemi rychlosti větru.
- **Kmitání štíhlých válcovitých objektů kruhového průřezu** – vzniká působením Kármánových vírů na povrch tělesa. Vznik příčného rezonančního kmitání.
- **Kmitání zavěšených nepředepjatých lan a drátů** - Kolmo na směr větru vzniká oddělením Kármánových vírů, má frekvenci budící síly.
- **Kmitání tenkostěnných velkopřřezových trub v příčném řezu** – Vyvoláno oddělením Kármánových vírů. Kruhový průřez se mění v ovál současně s hlavní osou kolmo na směr větru v dvojnásobné frekvenci budící síly.
- **Kmitání objektu v úplavu jiného objektu** - Zvíření vzdušného proudu za objektem je v určitém prostoru (úplav) značně závislé na aerodynamických vlastnostech objektu. Nachází-li se v úplavu jiný objekt, je charakter budících sil na něj působících zcela jiný než v případě, že tentýž objekt je obtékán neovlivněným vzdušným proudem
- **Kmitání zavěšených těles s nesymetrickým průřezem** – Je způsobeno ztrátou aerodynamické stability průřezu. Amplituda budících sil roste s amplitudou výchylek. Např. dráty s námrazou.
- **Kombinované torzní a ohybové kmitání plošných objektů** – Je způsobeno vlivem aerodynamické nestability. Např. visuté mosty, konzolové střechy.

4.4 ČSN EN 1991-1-4 Zatížení větrem

V normě ČSN EN 1991-1-4 jsou zahrnuta pravidla pro zatížení větrem pro pozemní stavby až do výšky 200m a pro mosty do rozpětí 200m (pokud jsou kritéria pro dynamickou odezvu splněna). Všechny možné požadavky na zatížení větrem v normě nejsou pokryty. Norma nebere v úvahu zvláštní podmínky, to znamená:

- aeroelastické vlivy
- torzní kmitán
- kmitání od příčných turbulencí
- torzní kmitání
- kmitání konstrukcí s více než jedním základním tvarem kmitání
- lokálními účinky teplot na charakteristiky větru

V normě tedy nejsou pokryta zatížení větrem u konstrukcí jako např. výškové budovy se středním jádrem, příhradové věže, zavěšené a visuté mosty, nebo konstrukce ukotvené v moři.

Zatížení větrem jsou podle své proměnlivosti v čase a prostoru klasifikována jako proměnná pevná zatížení. Z toho vyplývá, že zatížení větrem nejsou stále přítomná a při výpočtu mají v každém svém směru pevně rozdělena zatížení na konstrukci. Odezva konstrukce na zatížení se dělí podle její povahy:

- Kvazistatická odezva
- Dynamická aeroelastická odezva

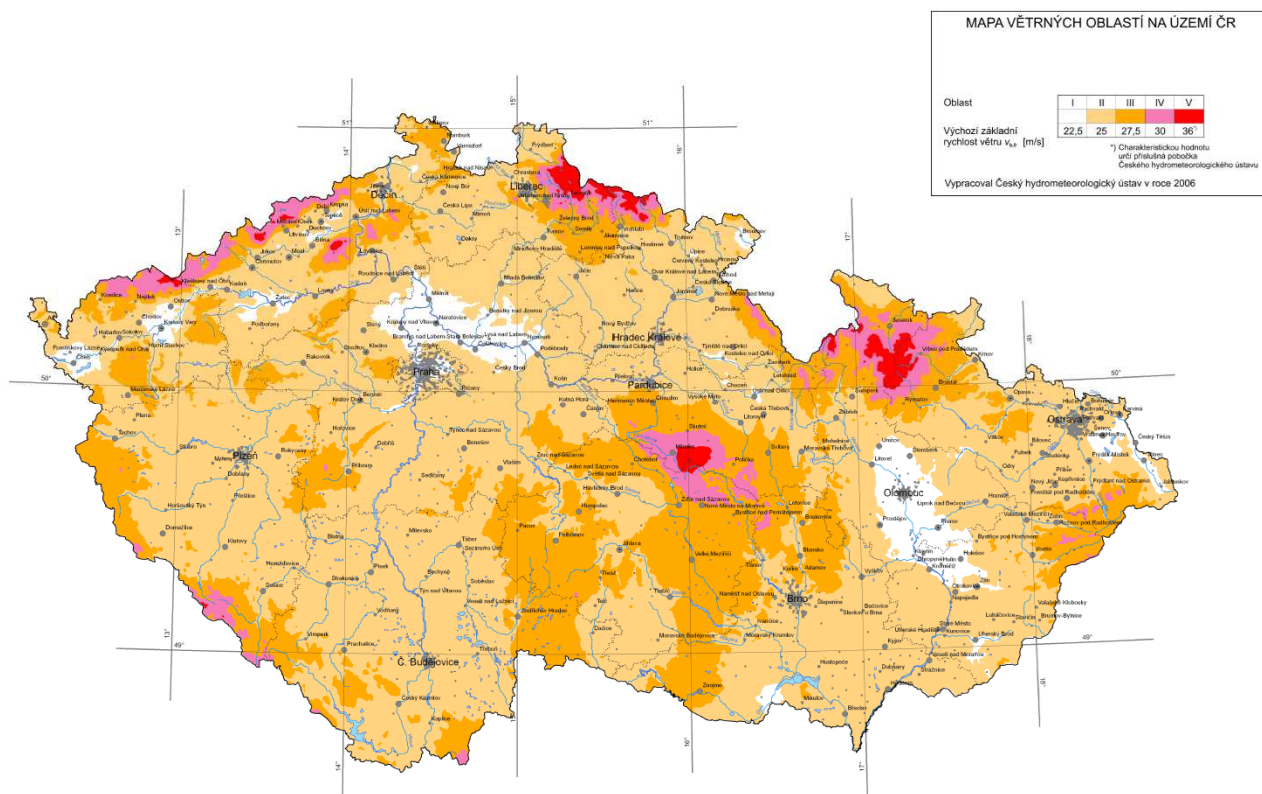
Ve většině případů jsou rezonanční složky zanedbatelné a bývá uvažována pouze kvazistatická odezva konstrukce (rezonanční kmitání od účinku větrů je možné zanedbat). Dynamická odezva bývá uvažována pouze v případech, kdy je významné rezonanční kmitání od větru. V této práci věnujeme pozornost pouze kvazistatické odezvě konstrukce na zatížení větrem. [11]

4.4.1 Rychlost a tlak větru

Charakteristický maximální dynamický tlak q_p , je jeden ze základních parametrů pro určení zatížení konstrukcí větrem. Zahrnuje střední rychlost větru a krátkodobou turbulentní složku. Maximální tlak ovlivňují: povětrnostní podmínky dané oblasti, místní vlivy (drsnot terénu) a výška nad terénem. [12]

4.4.2 Povětrnostní podmínky

Pro různé oblasti jednotlivých evropských států se povětrnostní podmínky popisují hodnotami **charakteristické desetiminutové střední rychlosti větru** $v_{b,0}$ (výchozí základní rychlost větru) ve výšce 10 m nad zemí v terénu bez překážek s nízkou vegetací (terén kategorie II). Tyto charakteristické hodnoty odpovídají roční pravděpodobnosti překročení 0,02, to znamená, že doba návratu je jednou za 50 let. Území ČR je rozděleno na 5 větrných oblastí s různými základními rychlostmi větru $v_{b,0}$. [12]



Obrázek 4.8 - Mapa větrných oblastí a tabulka výchozí základní rychlosti větru [14]

Základní rychlost větru v_b určujeme ze vztahu:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.5)$$

Kde součinitel směru větru c_{dir} a součinitel ročního období c_{season} bývá za běžných podmínek roven jedné.

Vztah mezi základní rychlostí větru a **základním tlakem větru q_b** je popsán rovnicí:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 \quad (4.6)$$

Kde ρ je hustota vzduchu, která je závislá na nadmořské výšce, teplotě a tlaku vzduchu (většinou zadáváme $\rho = 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$). V základním tlaku větru tedy vliv turbulentních poryvů větrného proudu není obsažen.

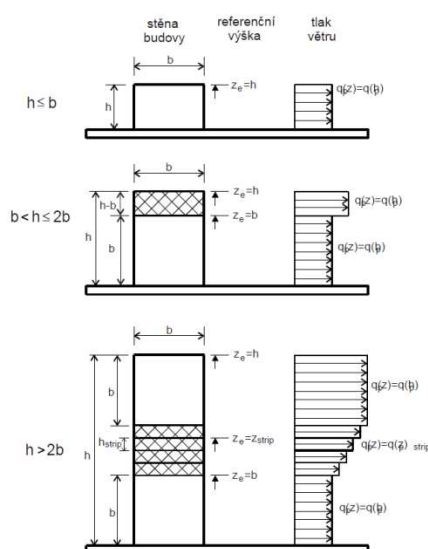
4.4.3 Referenční výška

Hodnota rychlosti větrného proudu a od ní odvozené tlaky závisí na výšce nad terénem. Pro stanovení vnější tlaků na konstrukci určíme referenční výšku z_e .

Rozdělení konstrukce na jednotlivé vodorovné pruhy je závislé na poměru výšky konstrukce h a šířky kolmé na směr větru b :

- V případě objektů, jejichž výška konstrukce h je větší než šířka kolmá na směr větru b , průběh zatížení se uvažuje jako konstantní.
- Objekt, jehož výška konstrukce h je větší než šířka kolmá na směr větru b , ale menší než je dvojnásobek šířky $2b$, má být v souladu s obrázkem rozdělen na dvě části.
- Objekt, jehož výška h je větší než $2b$ bývá rozdělen na více částí. Nejnižší a nejvyšší pruh se uvažuje o výšce b . Prostřední část dělí na odpovídající horizontální pruhy.

Přesněji můžeme v prostřední části uvažovat lineární průběh zatížení.



Obrázek 4.9 - Rozdělení tlaku větrů po výšce konstrukce [12]

4.4.4 Místní vlivy

Ve výšce z nad terénem je **střední rychlost větru** $v_m(z)$ ovlivněna místními vlivy, jako drsnost terénu a ortografie, ty se vyjadřují pomocí součinitele drsnosti terénu $c_r(z)$ a součinitele ortografie $c_0(z)$. Střední rychlost ve výšce z nad terénem se tedy určuje ze vztahu:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (4.7)$$

Součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$ vyjadřuje vliv výšky nad zemí. Závisí na členitosti terénu a na jeho vzdálenosti k rozhraní kategorie terénu. Součinitel drsnosti terénu je definován vztahem:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0}, \text{ platí } z \geq z_{min} \quad (4.8)$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (4.9)$$

Kde platí, že:

- z_0 je parametr drsnosti terénu
- z_{min} je minimální výška
- k_r je součinitel terénu
- $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

Tabulka 4.1 - Kategorie terénu [12]

Kategorie terénu	z_0 (m)	z_{min} (m)
0 – moře a přímořské oblasti	0,003	1
I – jezera nebo vodorovná plochá krajina bez překážek	0,01	1
II – Krajina s nízkou vegetací, jako je tráva nebo izolované překážky	0,05	2
III – Oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami	0,3	5
IV – alespoň 15% povrchu je pokryto budovami, průměrná výška přesahuje 15 m	1	10

Vliv horopisu, tedy osamělých kopců, hřebenů, útesů a příkrých stěn na střední rychlost větru vyjadřuje **součinitel ortografie** $c_0(z)$. Ve většině případů je tento součinitel

roven jedné. Pokud se rychlost větru vlivem ortografie zvětšuje o více než 5%, bývá $c_0(z)$ vhodně upraven.

4.4.5 Charakteristický maximální dynamický tlak $q_p(z)$

Tento tlak je významný pro určení výsledného zatížení větrem.

Stanovuje se z následujícího vztahu:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.10)$$

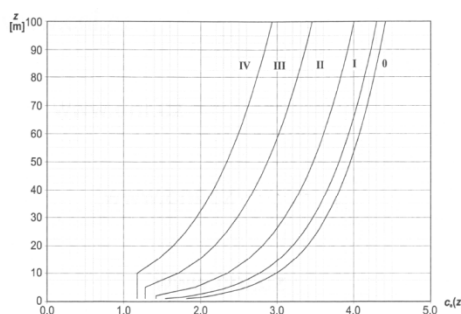
Součinitel expozice $c_e(z)$ můžeme určit ze vztahu:

$$c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0(z)^2 \cdot c_r(z)^2 \quad (4.11)$$

$I_v(z)$ je intenzita turbulence ve výšce z stanovena ze vztahu:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z}{z_0}}, \text{ pro } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 200 \text{ m} \quad (4.12)$$

Kde k_I je součinitel turbulence



Obrázek 4.10 - Přibližné určení součinitele expozice [12]

Po dosazení vztahů pro základní tlak větru q_b a součinitel expozice $c_e(z)$ získáváme:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0(z)^2 \cdot c_r(z)^2 \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 \quad (4.13)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z) \quad (4.14)$$

4.4.6 Kvazistatická odezva

Podle ČSN EN 1991-4 se kvazistatická odezva musí počítat pro všechny konstrukce. Dynamickou, nebo aeroelastickou odezvu není třeba určovat, jestliže tuhé konstrukce mají vysokou vlastní frekvenci (rezonanční účinek větru je podružný). Podle normy ČSN EN

1991-4 se kvazistatická odezva může považovat postačující pro konstrukční prvky s vlastní frekvencí vyšší než 5 Hz a pro některé základní typy konstrukcí.

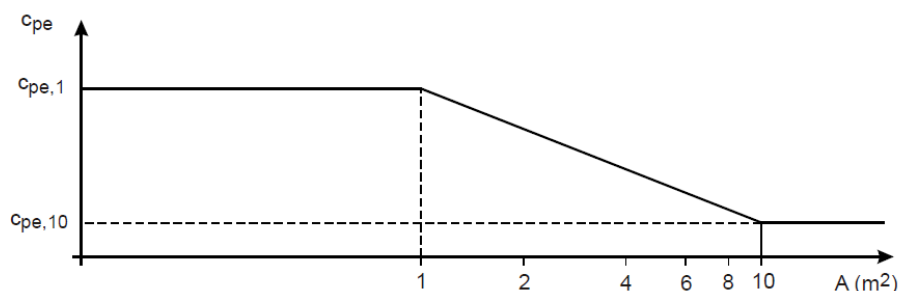
4.4.7 Součinitel vnějšího tlaku c_{pe}

Je závislý na velikosti plochy, která je vystavená větru. Dále závisí na tvaru konstrukce.

Pro konstrukce kde, zatěžována plocha je v intervalu (1; 10) m², platí následující vztah:

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) * \log A \quad (4.15)$$

V případech kdy je zatěžována plocha větší než 10 m², je součinitel vnějšího tlaku c_{pe} roven jedné.



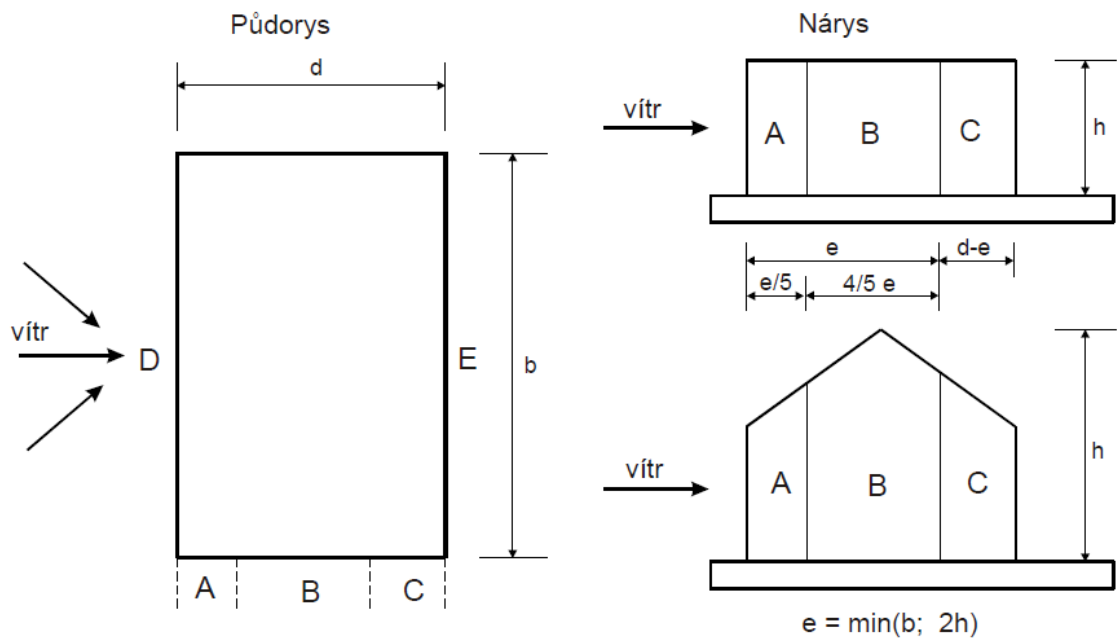
Obrázek 4.11 - Závislost součinitelů tlaků na ploše [12]

4.4.8 Součinitele tlaků pro pozemní stavby

Hodnoty součinitelů vnějších tlaků $c_{pe,1}$ a $c_{pe,10}$ pro pozemní stavby jsou uvedeny v tabulce 4.2. Z legendy pro ploché střechy je zřejmé označení ploch (viz. obrázek 4.11).

Tabulka 4.2 - Hodnoty součinitelů vnějších vztahů tlaků c_{pe} pro svislé stěny [12]

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	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
≤ 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	
mezilehlé hodnoty lze interpolovat										



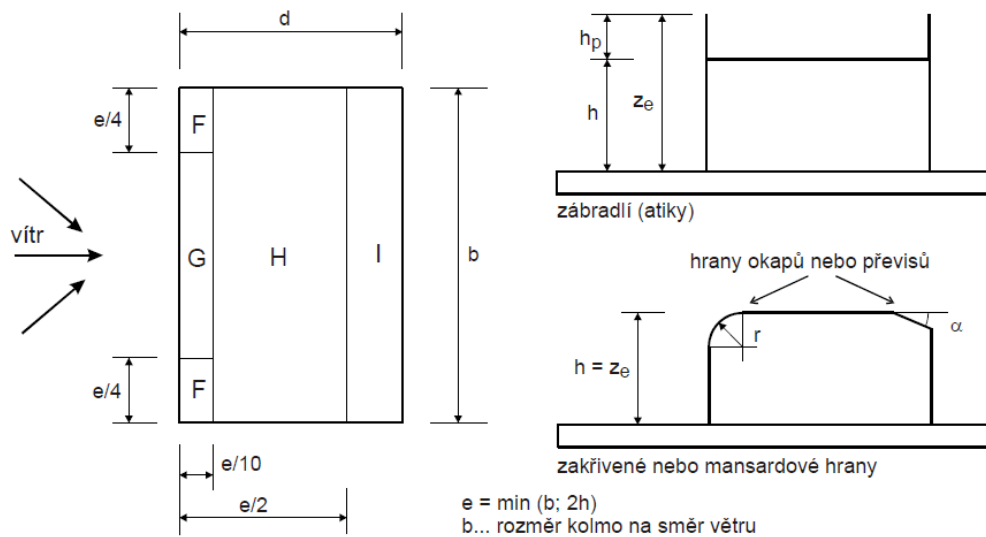
Obrázek 4.12 – Označení ploch u svislých stěn [12]

4.4.9 Součinitele tlaků pro ploché střechy

Za ploché střechy považujeme konstrukce se sklonem v intervalu $-5^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$

Tabulka 4.3 - Hodnoty součinitelů vnějších tlaků c_{pe} pro ploché střechy [12]

Typ ploché střechy		Oblast							
		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
se zábradlím (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
zakřivené hrany	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4	-1,2	+0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3	-1,2	+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3	-1,2	+0,2	-0,2
mansardové hrany	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3	-1,2	+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4	-1,2	+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5	-1,2	+0,2	-0,2



Obrázek 4.13 - Označení ploch pro ploché střechy [12]

4.4.10 Výsledný tlak větru

Určuje se pro povrchy, na které přímo, nebo nepřímo působí vítr. Aplikuje se na prvky obvodu pláště, upevňovací prvky a konstrukční části. Výsledný tlak větru je roven vektorovému součtu vnějšího tlaku w_e a vnitřního tlaku w_i :

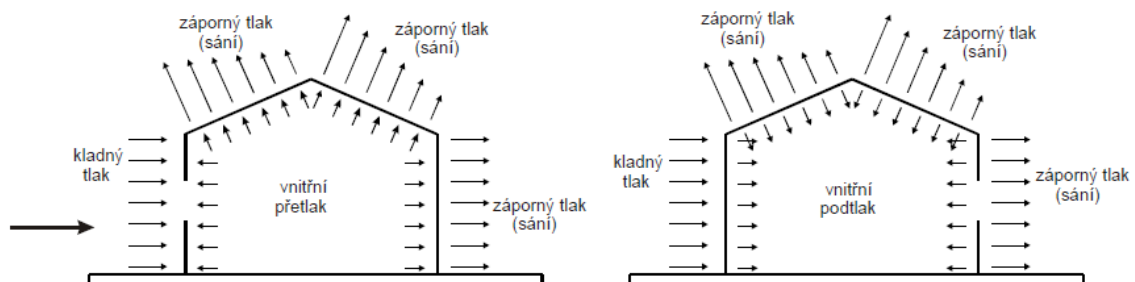
$$w = w_e + w_i \quad (4.16)$$

Tlak působící na vnější povrchy w_e se počítá jako součin charakteristického maximálního dynamického tlaku $q_p(z)$ a součinitele vnitřního tlaku c_{pe} :

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad (4.17)$$

Tlak působící na vnitřní povrchy w_i se počítá jako součin charakteristického maximálního dynamického tlaku $q_p(z)$ a součinitele vnitřního tlaku c_{pi} :

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pi} \quad (4.18)$$



Obrázek 4.14 - Tlaky na povrchy [12]

4.5 Výpočet zatížení větrem

Z mapy větrových oblastí určujeme výchozí základní rychlost větru $v_{b,0}$:



Obrázek 4.15 - Určení větrné oblasti

Vyvozujeme, že:

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \quad (4.19)$$

Pro součinitel směru větru c_{dir} a součinitel ročního období c_{season} platí běžné podmínky:

$$c_{dir} = 1 \quad (4.20)$$

$$c_{season} = 1 \quad (4.21)$$

Základní rychlost větru je tedy rovna (viz. vztah 4.5):

$$\begin{aligned} v_b &= c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \\ v_b &= 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Hustotu ρ zadáváme (normální podmínky):

$$\rho = 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (4.22)$$

Nyní můžeme vypočítat základní tlak větru q_b (viz. vztah 4.6):

$$\begin{aligned} q_b &= \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 \\ q_b &= \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,63 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Podle zadané konstrukce určujeme referenční výšku z :

$$z = 4\,500 \text{ mm} = 4,5 \text{ m} \quad (4.23)$$

Abychom mohli vypočítat střední rychlost větru $v_m(z)$, je třeba první získat součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$ a součinitel ortografie $c_0(z)$.

V našich podmínkách je:

$$c_0(z) = 1 \quad (4.24)$$

Pro výpočet $c_r(z)$ musíme nejprve vypočítat součinitel terénu k_r (viz. vztah 4.9):

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (4.9)$$

Kategorie terénu	z_0 (m)	z_{min} (m)
0 – moře a přímořské oblasti	0,003	1
I – jezera nebo vodorovná plochá krajina bez překážek	0,01	1
II – Krajina s nízkou vegetací, jako je tráva nebo izolované překážky	0,05	2
III – Oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami	0,3	5
IV – alespoň 15% povrchu je pokryto budovami, průměrná výška přesahuje 15 m	1	10

Naše kategorie terénu je II, takže:

$$z_0 = 0,05, \text{ dále platí } z_{min} = 2 \text{ m} \quad (4.25)$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

Po dosazení vypočítáme:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad (4.9)$$

Nyní můžeme vypočítat součinitel drsnosti terénu (viz. vztah 4.8):

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0}, \text{ platí } z \geq z_{min} \quad (4.8)$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln \frac{4,5}{0,05} = 0,85, \text{ platí } 4,5 \geq 2$$

Dosadíme do vztahu pro výpočet střední rychlosti větru (viz. vztah 4.7):

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (4.7)$$

$$v_m(z) = 0,85 \cdot 1 \cdot 25 = 21,25 \text{ m/s}$$

Dále abychom získali charakteristický maximální dynamický tlak q_p , musíme první vypočítat intenzitu turbulence $I_v(z)$.

Součinitel turbulence:

$$k_I = 1 \quad (4.26)$$

Výpočet intenzity turbulence (viz. vztah 4.8):

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z}{z_0}}, \text{ pro } z_{min} \leq z \leq z_{max} = 200 \text{ m}$$

$$I_v(z) = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{4,5}{0,05}} = 0,22 \quad (4.8)$$

Dosadíme do vztahu pro výpočet maximálního tlaku (viz. vztah 4.14):

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,22] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21,25^2 = 716,86 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \quad (4.27)$$

$$= \mathbf{0,717 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Atiku konstrukce, na kterou působí vítr, uvažujeme jako svislou stěnu. Jelikož na střechu již působí zatížení sněhem, zanedbáváme zatížení větrem na plochu střechu. Působení větru v příčném a podélném směru bude různé. A to z důvodu různých součinitelů vnějších tlaků c_{pe} .

4.5.1 Působení větru v příčném směru

Plocha zatěžována větrem je větší než 10 m^2 , součinitel vnějšího tlaku c_{pe} je tedy roven jedné. Atika v příčném směru bude zatížena hodnotou maximálního dynamického tlaku. Na jedné straně tlakem a na druhé straně tahem. Tlak větru je roven (vyvozují ze vztahu 4.15):

$$w_{e,př} = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

$$w_{e,př} = 0,717 \cdot 1 = \mathbf{0,717 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}} \quad (4.28)$$

4.5.2 Působení větru v podélném směru

Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} vychází ze vztahu 4.15:

$$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) * \log A \quad (4.15)$$

Kde z tabulky 4.2 vyvozují:

$$\frac{z}{d} = \frac{4500}{6530} = 0,69, \text{ takže} \quad (4.29)$$

$$c_{pe,10} = 0,8 \text{ a } c_{pe,1} = 1 \quad (4.30)$$

Zatížená plocha A:

$$A = 5,22 \text{ m}^2 \quad (4.31)$$

$$c_{pe} = 1 + (0,8 - 1) * \log 5,22 = 0,86 \quad (4.15)$$

Tlak větru pro podélný směr w_e je roven (vyvozují ze vztahu 4.15):

$$w_{e,po} = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad (4.32)$$
$$w_{e,po} = 0,717 \cdot 0,86 = \mathbf{0,617 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}}$$

5 MKP (FEM)

Metoda konečných prvků je nejčastěji používaná metoda pro pevnostní analýzy v inženýrské praxi. Mimo jiné se využívá i v dalších oblastech inženýrských výpočtů (proudění tekutin, vedení tepla, elektřina, magnetismus). Je to numerická metoda a lze aplikovat i v případě složité geometrie a počátečních podmínek, kde nelze získat výsledek pomocí analytických metod. Princip metody je diskretizace, což je rozdělení spojitého kontinua do určitého počtu prvků (elementů) konečných rozměrů. V rovině je základní prvek čtyřstěn, v prostoru šestistěn. Rohy těchto prvků jsou uzly, ve kterých se určuje hodnota posuvu. Hrany (strany) prvků nám vytváří síť, jejíž hustota má vliv na přesnost výpočtu, ale také na výpočtový čas a paměť počítače. Hustotu sítě určuje výpočtář na základě svých zkušeností. [15]

Postup při aplikaci MKP:

1. Rozdělí se řešené oblasti na prvky
2. Určí se interpolační funkce a odvodí se matice tuhosti prvku
3. Získá se globální matice tuhosti
4. Aplikují se okrajové podmínky
5. Vypočtou se soustavy rovnic a získají se výsledky proměnných v podobě posuvů
6. Dopotají se další veličiny (deformace, napětí), které byly odvozeny z vypočtených posuvů

Existují 2 způsoby řešení MKP úloh, a to metoda silová a metoda deformační. U deformační metody řeší posuv uzlů, proměnná silové metody je napětí. V inženýrské praxi se většinou používá deformační metoda. [16]

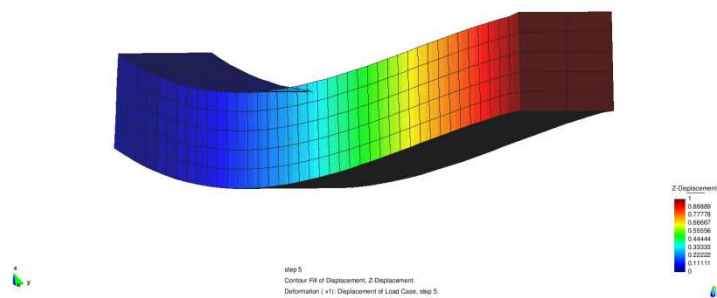
Základní rovnice MKP:

$$[K] \cdot \{\Delta\} = \{F\} \quad (5.1)$$

Deformační metoda: $u \rightarrow \varepsilon \rightarrow \sigma$

Silová metoda: $\sigma \rightarrow \varepsilon \rightarrow u$

Platí: $[K]$ – globální matice tuhosti; $\{\Delta\}$ – vektor zobecněných posuvů; $\{F\}$ – celkový vektor zobecněných uzlových sil; u – posuv; ε – deformační; σ – napětí



Obrázek 5.1 - Metoda konečných prvků [18]

5.1 Historie MKP

Metoda byla vyvíjena kvůli potřebě řešit složité úlohy ve stavebním, strojním a leteckém inženýrství. Kořeny metody můžeme vypočítat na začátku 40. let 20. století, kdy ruský inženýr Alexander Hrennikoff a německý matematik Richard Courant poprvé rozdělili oblast na konečné množství elementů. V roce 1956 vyšla první publikace, podle které se začaly statické úlohy řešit pomocí číslicového počítače. Bylo možné vyřešit větší počet algebraických rovnic. V roce 1965 NASA vyvinula první výpočtový software NASTRAN. K masovému rozšíření metody došlo až s nástupem moderní výpočetní techniky. Zájem vedl k vytvoření softwarů na komerční bázi. Jedním z nejvyužívanějších programů je Ansys. [19]

5.2 Ansys

Ansys, Inc. je společnost se sídlem v Canonsburgu v Pensylvánii. Vyvíjí a prodává inženýrské simulační softwary. Ansys software je využíván také k pevnostním analýzám, vedení tepla, pohybu tekutin a analýzám elektromagnetických vlastností. Ansys vzniknul v roce 1970, v době kdy se ještě MKP analýzy počítaly ručně, vyvinul John Swanson původní software na tyto výpočty. V 90. letech se společnost rozrostla a stala se nejpopulárnější globální společností v tomto oboru. Dnes zaměstnává téměř 3000 odborníků na MKP analýzy. V programu Ansys Workbench 18.2 budu provádět statickou analýzu zadané myčky. [20]

6 MKP výpočet

6.1 Volba materiálu

Jako první krok při výpočtu je potřeba zvolit vhodné materiály. Pro výpočet je nutné uvažovat dva druhy materiálů. Jejich charakteristické mechanické vlastnosti a specifikace zadávám do softwaru Ansys Workbench 18.2. Pro účel mého výpočtu je zásadní hustota materiálu, modul pružnosti E a Poissonovo číslo μ .

1. Ocel S235: konstrukce myčky a střecha

Tabulka 6.1 - Mechanické vlastnosti oceli [21]

Hustota	$7\,850\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Modul pružnosti E	210 GPa
Poissonovo číslo μ	0,3
Mez kluzu R_e	235 MPa

2. Plast ABS: atika

Tabulka 6.2 - Mechanické vlastnosti plastu ABS [22]

Hustota	$1\,045\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Modul pružnosti E	2,3
Poissonovo číslo μ	0,35

6.2 Analýza modelu

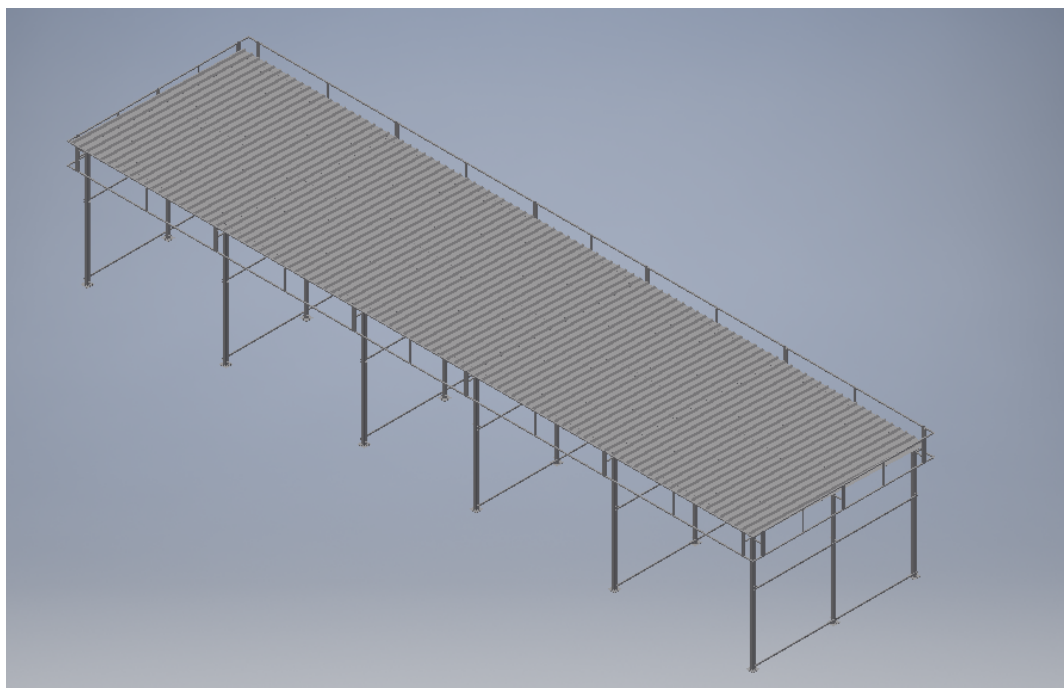
Firma Petrocard s.r.o. mi dodala model mycího boxu ve formátu stp., ze kterého jsem si mohl přesně změřit rozměry. Pro výpočet není vhodné používat přímo 3D model firmy Petrocard, z důvodu složitosti výpočtu a následné optimalizace. Aby byl výpočet co nejjednodušší, je nejvhodnější vytvořit konstrukci jen z nosníků a skořepin (*Beam* a *Shell*). Pro optimalizování nosníkového modelu nebude nutné předělávat celou geometrii, ale bude stačit jen změnit průřezy nosníků.

6.3 Tvorba geometrie

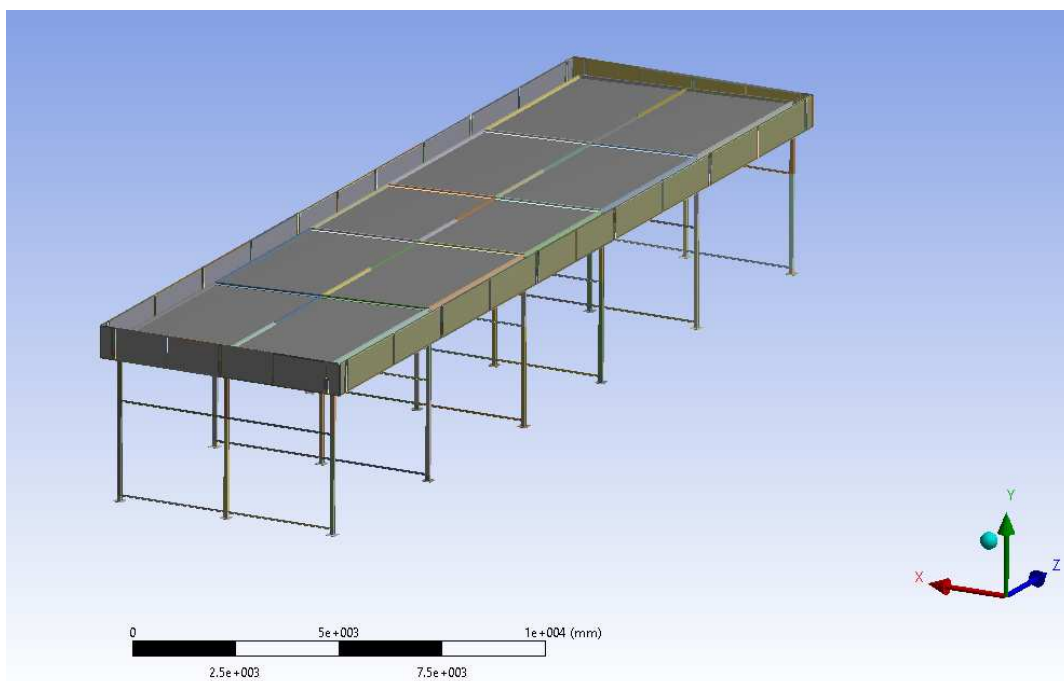
Pomocí čar (*Line Body*) jsem vytvořil přesný model mycího boxu, při tvorbě bylo třeba dodržovat spojitost. Byly využity funkce *Sketch*, *Lines From Sketches*, *Pattern*, *Lines From Points*, *Extrude (Line)* a *Translate*. Celý model byl vytvořen celkově z 673 čar (*Line Body*), ke každému *Line Body* bylo nutné zadat vhodný průřez (*Cross Section*). Dále jsem vytvořil střechu a atiku, jako *Surface Body*.

Seznam využitých průřezů (ferona.cz): [24]

- **Spodní plech:** Široká ocel válcovaná za tepla rozměr 250x10
- **Vertikální nosník:** Profil dutý svařovaný černý se čtvercovým průřezem 100x5
- **Rám mezi nosníky:** Profil dutý svařovaný černý se obdélníkovým průřezem 50x30x2
- **Delší rám střechy:** Profil dutý svařovaný černý se obdélníkovým průřezem 120x60x4
- **Rám atiky:** Profil dutý svařovaný černý se čtvercovým průřezem 40x3:
- **Šroubové spoje u atik:** Tyč kruhová průměr 7
- **Kratší rám střechy:** Profil I120



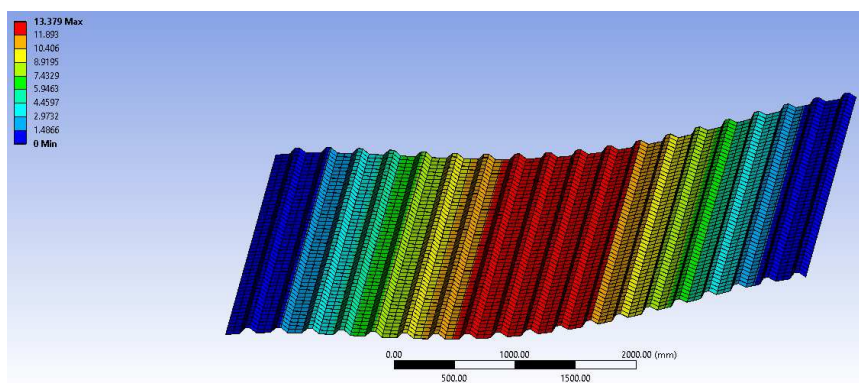
Obrázek 6.1 - Původní model



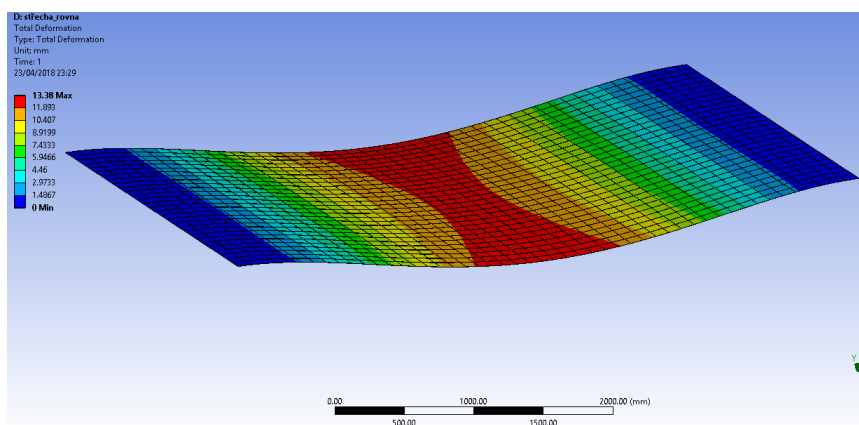
Obrázek 6.2 - Předělaný model vhodný pro MKP výpočet

6.4 Analýza tloušťky střechy

V modelu firmy Petrocard s.r.o. je střecha vyrobená z trapézového plechu o tloušťce 0,8 mm. V modelu, který jsem vytvořil v programu Ansys Workbench, jsem střechu vytvořil z rovného plechu. Namáhání na rovný plech a trapézový plech se projevuje rozdílně. Proto je třeba přizpůsobit tloušťku rovného plechu, aby po zadání určitého namáhání vycházely stejné výsledky. Vytvořím 2 samostatné modely o stejných rozměrech. Jeden ponechám jako rovný plech, druhý vytvořím jako trapézový s tloušťkou 0,8 mm. K nim zadám stejné okrajové podmínky (*fixed support* po okrajích a sílu 1 N působící na celou plochu). Poté vypočítám *total deformation*. Tloušťku rovného plechu přizpůsobuji, dokud nedostanu stejný výsledek jako v případě trapézového plechu.



Obrázek 6.3 - Deformace trapézového plechu



Obrázek 6.4 - Deformace rovného plechu

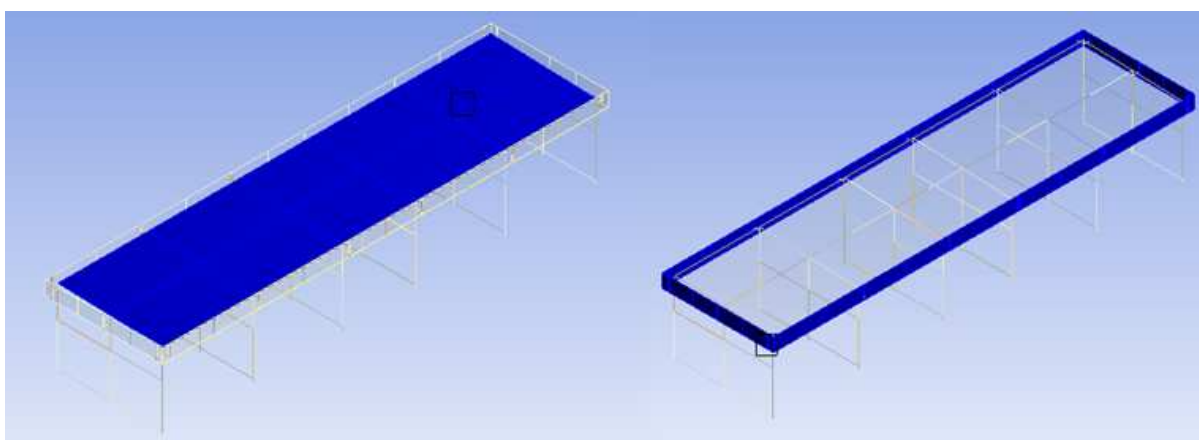
Výsledná tloušťka rovné střechy je 0,7844 mm.

6.5 Kontakty

Řeší se v případech, kdy část hranice jednoho tělesa vstupuje do kontaktu s jinými tělesy. Kontaktní problémy jsou obecně nelineární, před kontaktem na hranici neexistuje žádná kinematická podmínka. Během kontaktu však na tělesa působí kinematická vazba, která zabraňuje pronikání (penetraci) kontaktních hranic skrze sebe.

Na myčce dochází ke kontaktu střechy na nosníky a atiky na nosníky. Aby se přeneslo zatížení, působící na střechu a atiky do nosníků je nutné určit kontakty mezi nimi.

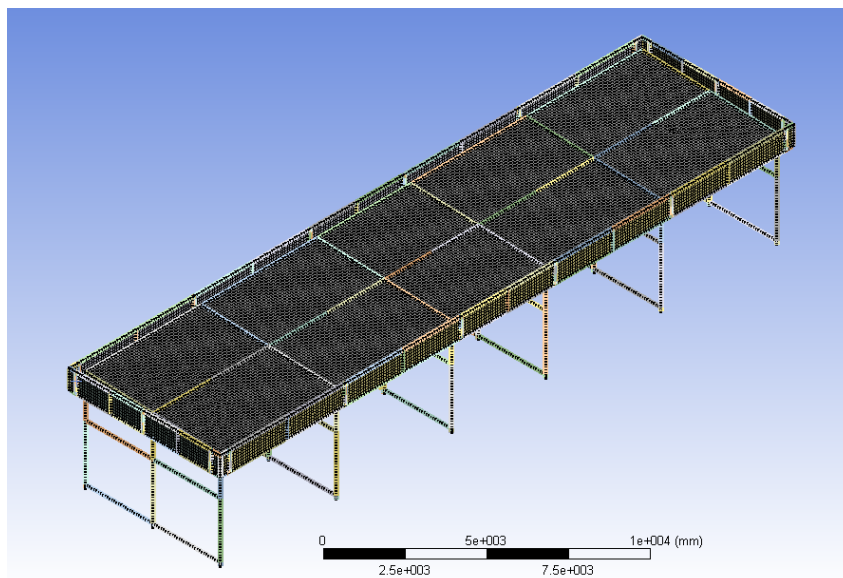
Typ kontaktu zadávám *bonded*. To můžeme přeložit do češtiny jako lepený spoj. Využívá se, když z nějakého důvodu nemůžeme z více částí konstrukce vytvořit jeden *part*.



Obrázek 6.5 - Kontakty nosníků s plochami

6.6 Sít'

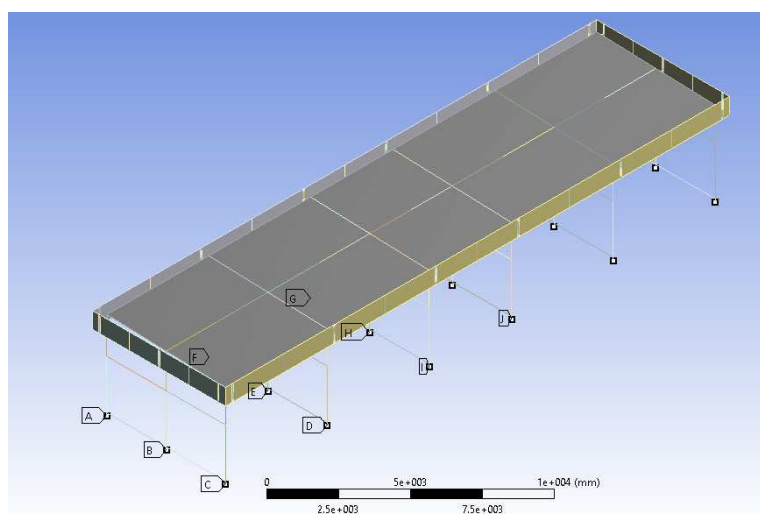
Jako první jsem nechal vygenerovat síť automaticky. Ta byla v některých místech nepravidelná, což znamenalo, že bylo třeba provést změny. Upravoval jsem hustotu sítě. S vědomím, že výpočty u nosníků bývají relativně přesné i s menším počtem elementů nastavuji *body sizing* 100 mm.



Obrázek 6.6 - Konečnoprvková síť

6.7 Uchytení

Konstrukce myčky je upevněna k zemi v celkově 18 malých patkách. To znamená, že je třeba ve všech spodních bodech konstrukce zabránit veškerým posuvům i rotacím. To jsem provedl pomocí příkazu *Fixed Support*.



Obrázek 6.7 - Uchytení

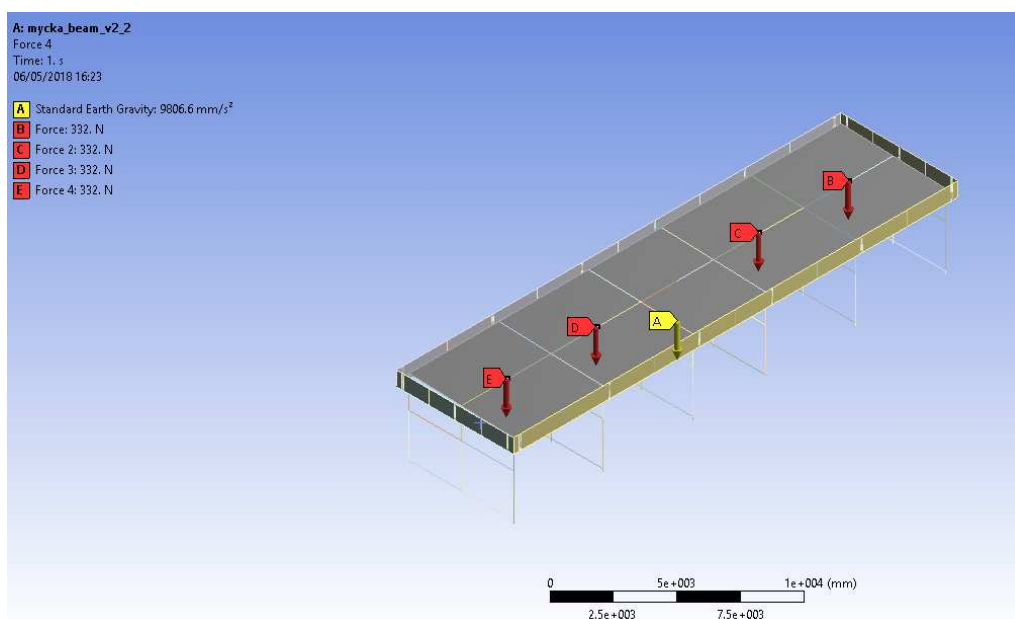
6.8 Zatížení

Na střeche působí zatížení stálé a nahodilé. Stálé zatížení je v našem případě vlastní tíha a hmotnost hadic a kartáčů. Nahodilé zatížení je zatížení sněhem a větrem. V souladu s normou ČSN EN 1991-1-1 je nutné počítat s dílčími součiniteli zatížení. V případě stálých zatížení je dílčí součinitel roven 1,35 (o 35% větší zatížení). Pro nahodilé zatížení je dílčí součinitel roven 1,5 (o 50% větší zatížení). [23]

6.8.1 Stálé zatížení

- a.) Vlastní tíha: Gravitační tíha $9,81 \text{ m/s}^2$ působí na všechny tělesa. S ohledem na dílčí součinitel zatížení násobím hustotu obou materiálů koeficientem 1,35. Moje přizpůsobená hustota oceli je tedy **10 600 kg/m³** a plastu ABS **1 404 kg/m³**.
- b.) Hmotností zatížení hadic a kartáčů: Firma Petrocard s.r.o. mě informovala, že v boxech, kde se myje exteriér aut (všechny, kromě prostředního), je uprostřed mycí výbava (hadice, kartáč). Hmotnost výbavy je 25 kg. Toto zatížení uvažujeme jako sílu působící ve stejném směru jako gravitační tíha. Opět je uvažován i dílčí součinitel zatížení. Síla způsobená hmotnostním zatížením je tedy rovna:

$$F = m \cdot g \cdot 1,35$$
$$F = 25 \cdot 9,81 \cdot 1,35 = 332 \text{ N} \quad (6.1)$$



Obrázek 6.8 - Stálé zatížení

6.8.2 Nahodilé zatížení

- a.) Výsledné zatížení sněhem s_v : Pro mou sněhovou oblast jsem vypočítal zatížení sněhem $0,768 \text{ kN/m}^2$. Toto zatížení působí ve směru gravitační síly. Je třeba zohlednit dílčí součinitel zatížení, který je u nahodilého zatížení 1,5.

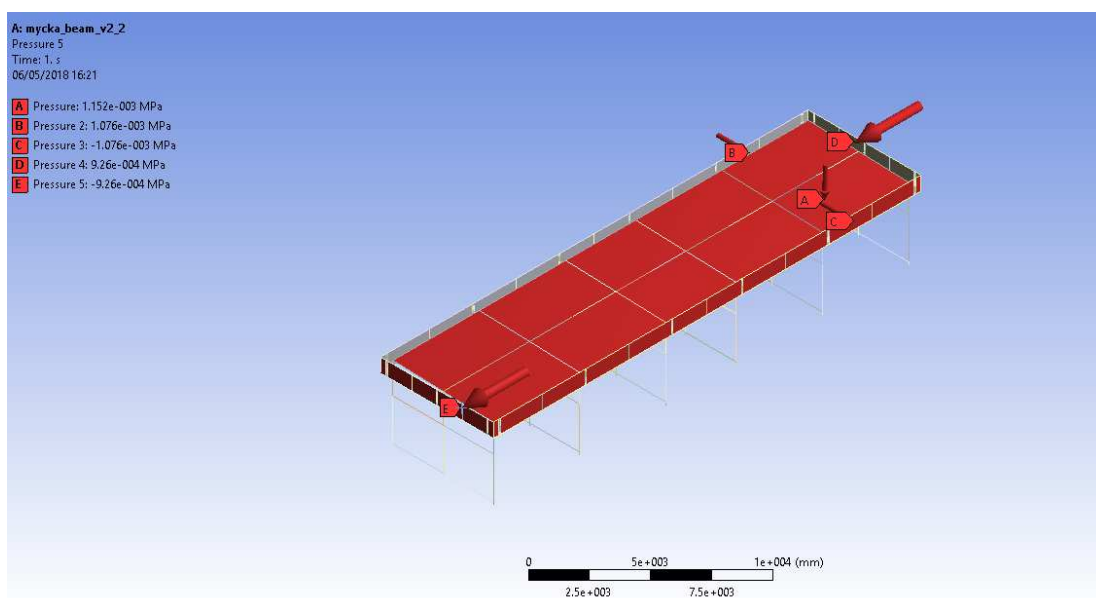
$$s_v = s \cdot 1,5$$
$$s_v = 0,768 \cdot 1,5 = \mathbf{1,152 \text{ kN/m}^2}$$
(6.2)

- b.) Zatížení větrem: V našem případě působí zatížení větrem pouze na plochu atiky. Pro příčný směr je vypočítané zatížení rovno $0,171 \text{ kN/m}^2$ a pro podélný $0,617 \text{ kN/m}^2$. Zatížení působí kolmo na atiku, na straně kde vítr do konstrukce naráží, působí zatížení jako tlakové, na druhé straně jako tahové (sání). Opět je třeba počítat s dílčím součinitelem zatížení 1,5. Pro příčný směr je výsledné zatížení rovno:

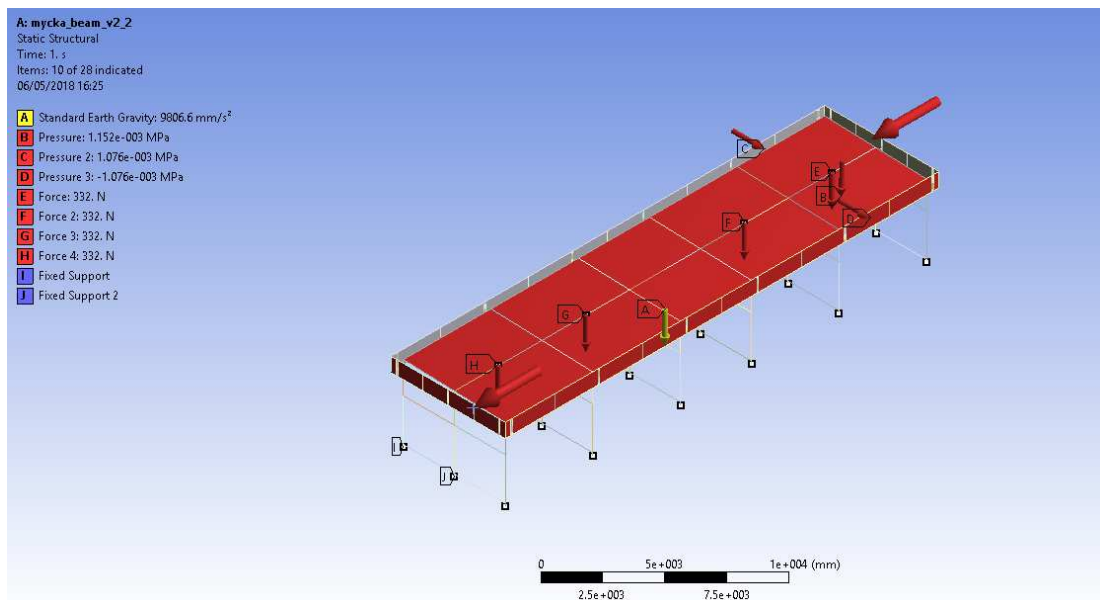
$$w_{e1} = w_{e,př} \cdot 1,5$$
$$w_{e1} = 0,717 \cdot 1,5 = \mathbf{1,076 \text{ kN/m}^2}$$
(6.3)

Pro podélný směr:

$$w_{e2} = w_{e,po} \cdot 1,5$$
$$w_{e2} = 0,617 \cdot 1,5 = \mathbf{0,926 \text{ kN/m}^2}$$
(6.4)



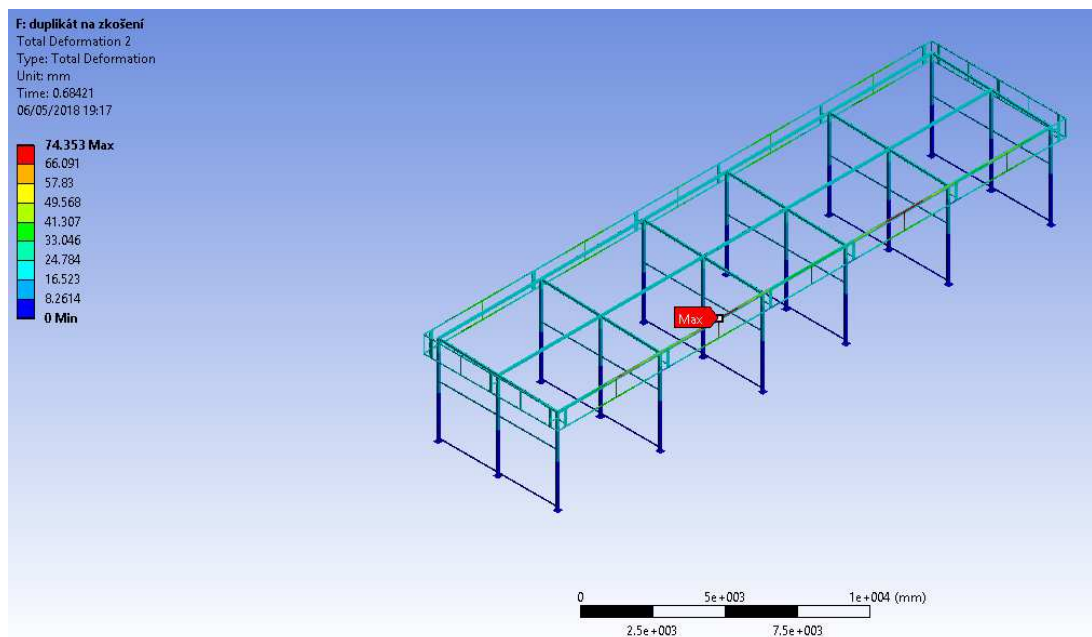
Obrázek 6.9 - Nahodilé zatížení



Obrázek 6.10 - Všechny počáteční podmínky

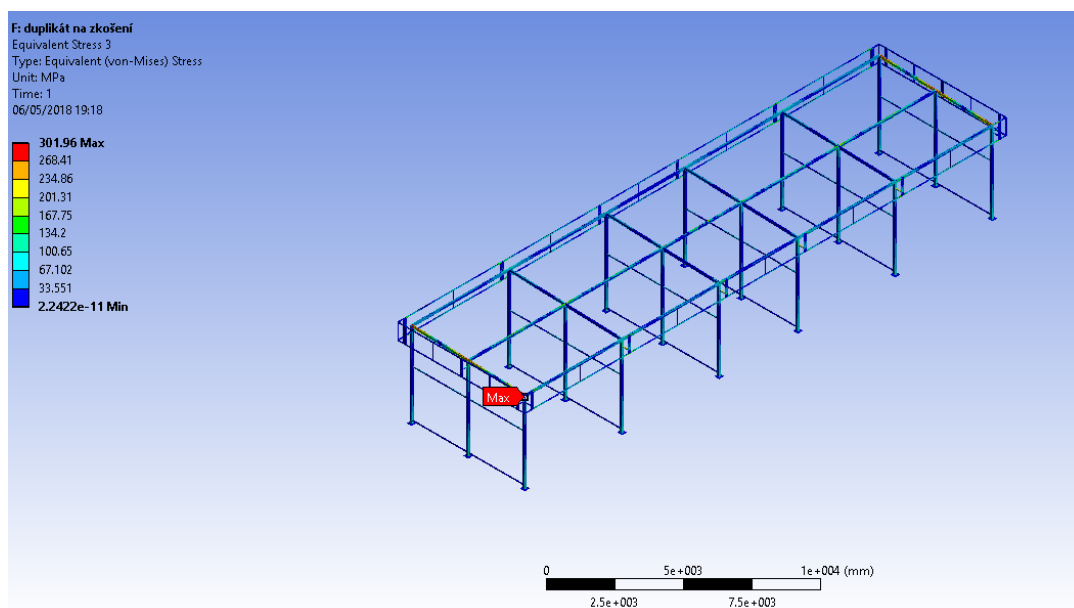
6.9 Výsledky

6.9.1 Deformace (Total Deformation)



Obrázek 6.11 - Výsledná deformace

6.9.2 Napětí (Equivalent Stress)

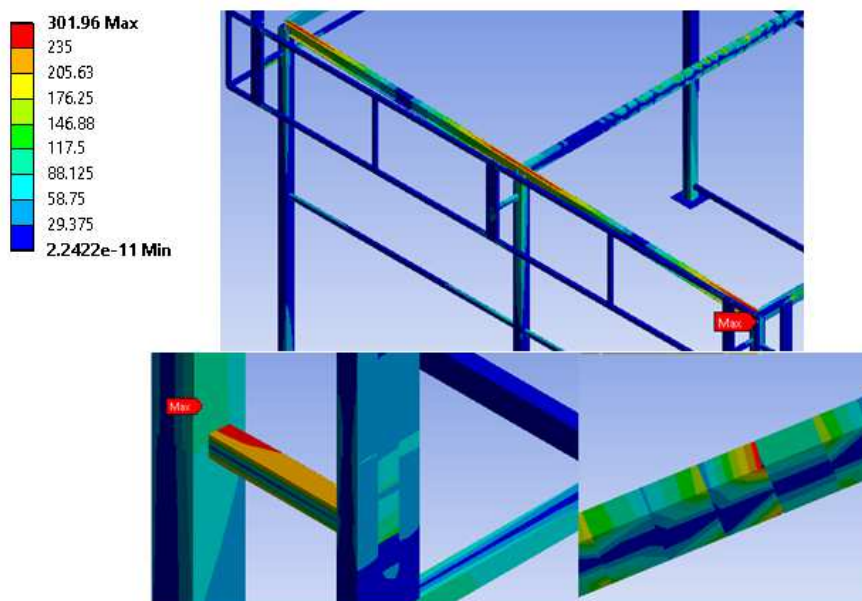


Obrázek 6.12 - Výsledné napětí

6.10 Zhodnocení výsledků

V této práci vyšetřuji pouze ocelovou nosníkovou konstrukci, výsledky pro plechy (střecha, atika) můžu zanedbat. Maximální deformace 74,35 mm se nachází uprostřed horního nosníku, ke kterému je připevněna atika.

Celá konstrukce je vyrobena z oceli S235, což znamená, že napětí nesmí překročit mez kluzu 235 MPa. V našem případě je maximální napětí 302 MPa, což znamená, že tato konstrukce pro danou sněhovou a větrnou oblast nevyhovuje. Mez kluzu je překročena zejména na krajních nosnících tvaru I, dále v místě spoje nosníku, který drží atiku ke konstrukci myčky. Další kritické místo se nachází na středním nosníku v uzlu, který je zatížený tíhovou silou hadic a kartáčů.



Obrázek 6.13 - Místa překročení meze kluzu

Na většině míst kde je mez kluzu překročena, to vypadá, že vysoké výsledky způsobují kontakty. To je patrné z obrázku 6.13.

Pokusím se tedy konstrukci zatížit jiným způsobem. Konstrukce bude zcela bez kontaktů. Tlaky, které působí na střechu a atiku, přepočítám na síly, které budou působit přímo na konstrukci.

6.11 Zatížení silami na nosníky

Síly působící přímo na nosníky je možné přepočítat z tlaků působících na plochy. Ze získaných poznatků vyvozují, že platí:

$$F = p \cdot A \quad (6.5)$$

Kde p je působící tlak a A je plocha, na kterou tlak působí.

K výsledným silám vyvozeným z tlaků je třeba ještě přičíst tíhové síly plechů (střechy a atik). Plochu a hmotnost plechů získávám z předchozích modelů. Dílčí součinitel zatížení je již zohledněn, protože počítám s hmotnostmi a tlaky, kde byl už dříve zahrnut.

Síla F_s působící na nosníky, ke kterým je střecha připevněná, je tedy:

$$F_s = s \cdot A_s + m_s \cdot g \quad (6.6)$$

$$F_s = 1\,152 \cdot 140 + 1\,397 \cdot 9,81 = \mathbf{174\,985\,N}$$

Síla, která působí v horizontálním směru, se přepočítává pouze ze zatížení větrem.

Horizontálně působící sílu na atiku pro podélný směr F_{ha1} určuju ze vztahu:

$$F_{ha1} = w_{e1} * A_{a1} = 1\,076 * 19,08 = \mathbf{20\,530\,N} \quad (6.7)$$

A horizontálně působící sílu na atiku pro příčný směr F_{ha2} určuju ze vztahu:

$$F_{ha2} = w_{e2} * A_{a2} = 926 * 5,24 = \mathbf{4\,852\,N} \quad (6.8)$$

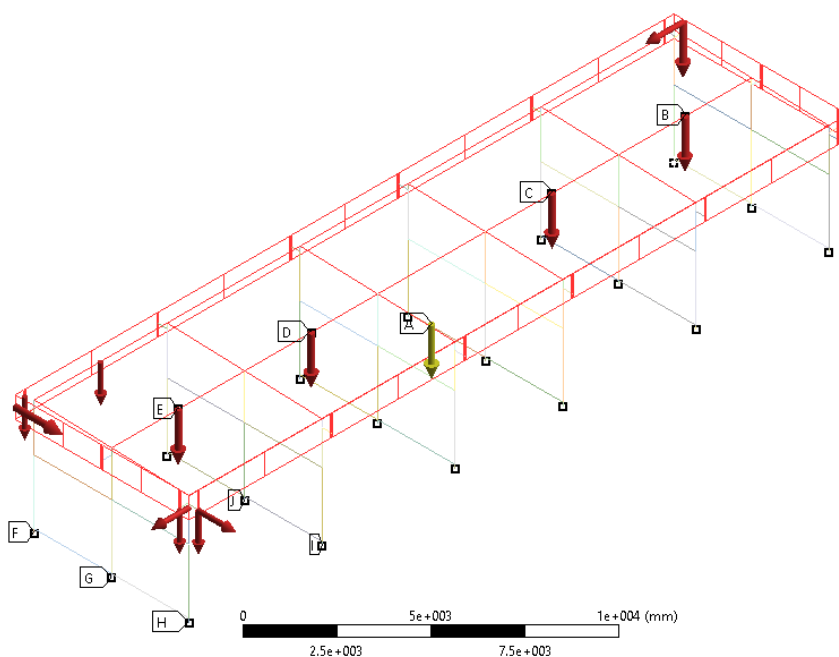
Ještě je třeba připočíst tíhové síly atik:

$$F_{ga1} = m_{a1} \cdot g = 53,63 \cdot 9,81 = \mathbf{526\,N} \quad (6.9)$$

$$F_{ga2} = m_{a2} \cdot g = 14,74 \cdot 9,81 = \mathbf{145\,N} \quad (6.10)$$

E: **původní se silou f**
 Static Structural
 Time: 1. s
 Items: 10 of 32 indicated
 09/05/2018 13:31

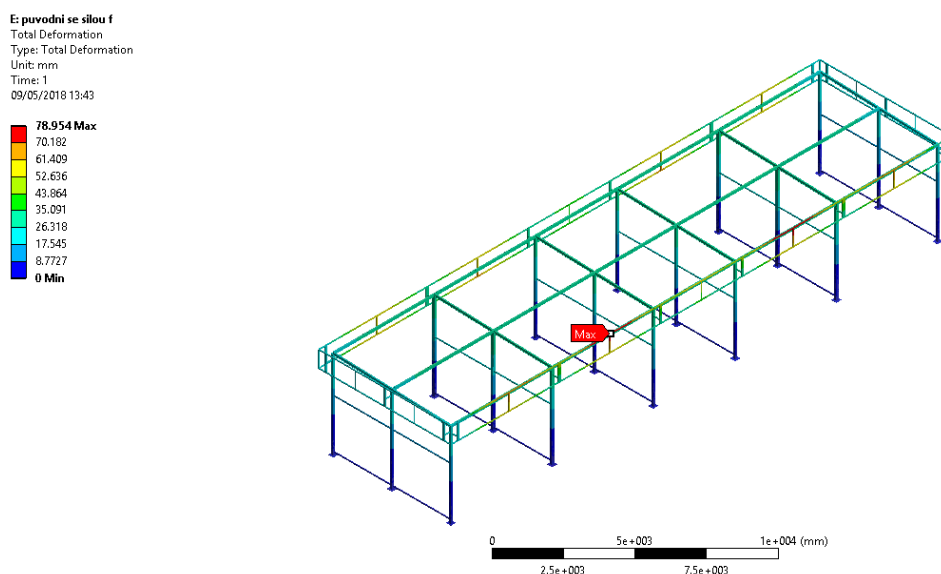
- A** Standard Earth Gravity: 9806.6 mm/s²
- B** Force: 332. N
- C** Force 2: 332. N
- D** Force 3: 332. N
- E** Force 4: 332. N
- F** Fixed Support
- G** Fixed Support 2
- H** Fixed Support 3
- I** Fixed Support 4
- J** Fixed Support 5



Obrázek 6.14 - Zatížení pouze silami

6.12 Výsledky (bez kontaktů)

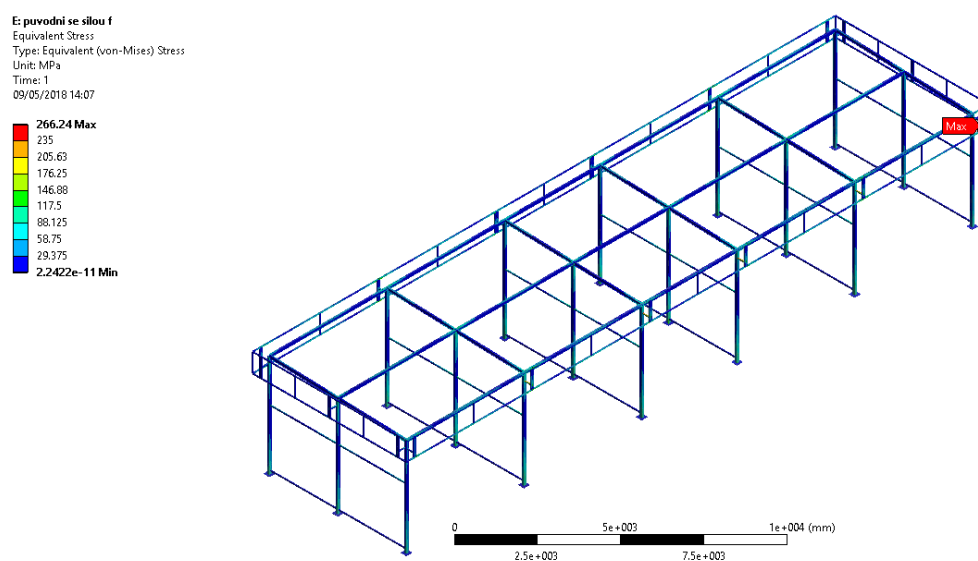
6.12.1 Maximální deformace



Obrázek 6.15 - Maximální deformace (bez kontaktů)

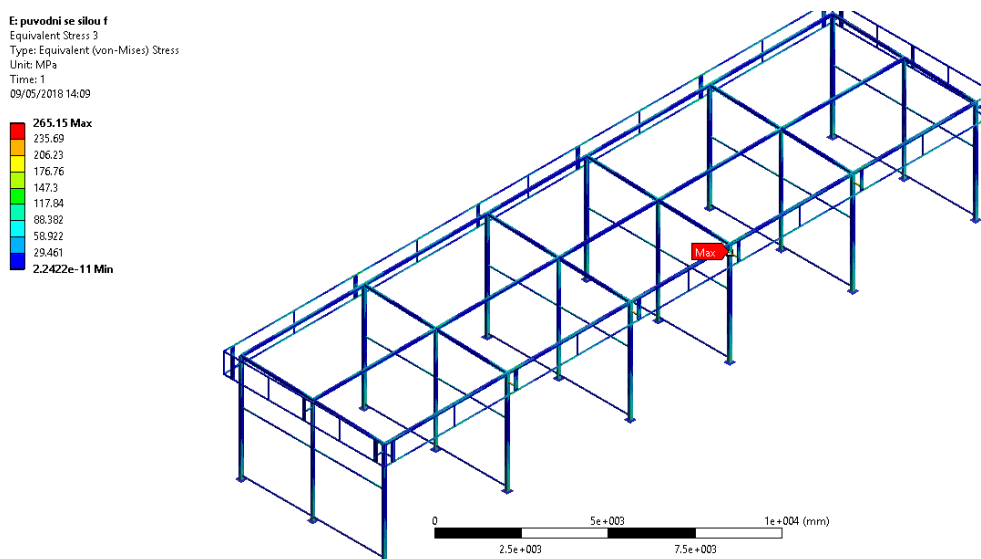
6.12.2 Maximální napětí

Nejvyšší napětí se nachází v místě šroubů, jeho velikost je 266 MPa. To lze vyřešit volbou šroubů, které mají vyšší minimální mez pevnosti. To znamená šrouby pevnostní třídy 3.6 a vyšší.



Obrázek 6.16 - Maximální napětí včetně šroubů

Abych získal relevantní výsledek napětí pouze v nosnících, vyloučím všechny šrouby a ponechám jen nosníky.



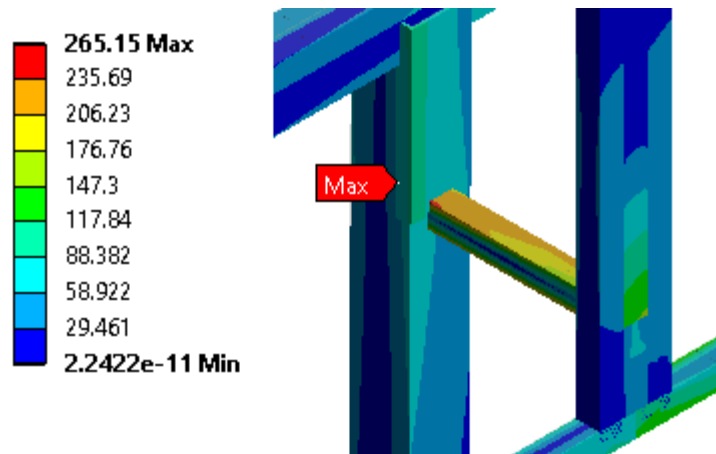
Obrázek 6.17 - Maximální napětí bez šroubů

6.13 Zhodnocení výsledků (bez kontaktů)

Výsledky maximální deformace u zatížení s kontakty a zatížení bez kontaktů jsou srovnatelné. Při výpočtu se zatížením bez kontaktů vyšla maximální deformace o 5 mm vyšší a nachází se na stejném místě.

Výsledky maximálního napětí při zatížení silami vypadá, že se více přibližuje realitě. Mez kluzu byla přesažena pouze na jednom místě a to u spoje rámu atiky a konstrukce myčky. Potvrdil jsem tímto výpočtem, že zvýšené napětí na I nosníku a ve středu nosníku střechy bylo způsobeno kontakty.

Nicméně mez kluzu byla překročena, takže určitě bude třeba provést optimalizaci. V místě kde byla překročena mez kluzu, je nutné přidat materiál. Naopak u nosníků, kde je velký rozdíl mezi maximálním napětím a mezí kluzu můžeme materiál ubírat s cílem úspory.



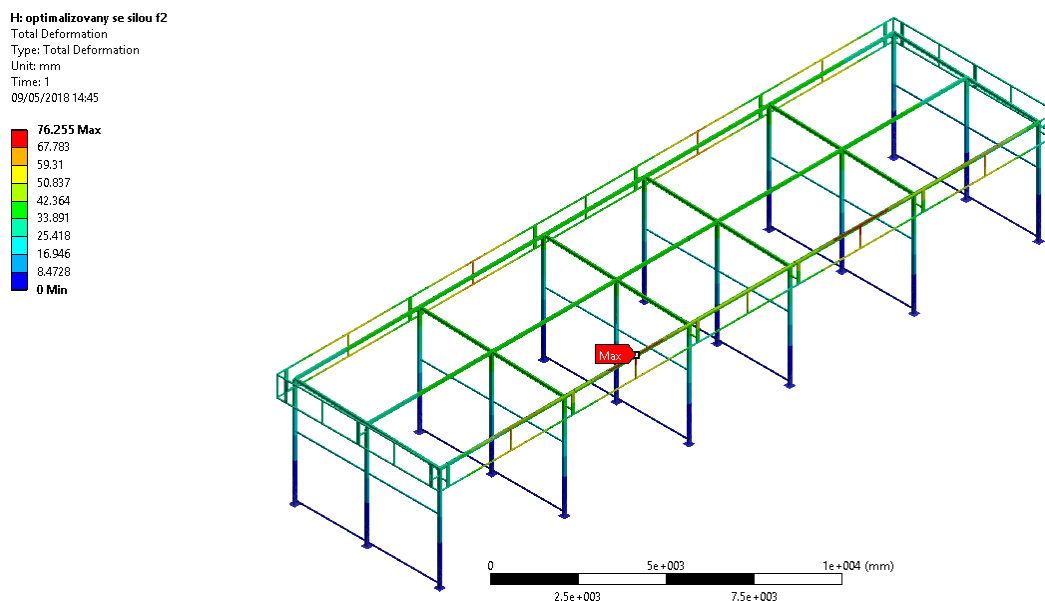
Obrázek 6.18 - Místo přesažení meze kluzu

6.14 Optimalizace

U rámu atiky zvětšuju tloušťku, průřez tedy měním z profilu dutého svařovaného černého se čtvercovým průřezem 40x3 na stejný typ profilu o rozměrech 40x4.

Tloušťku o jeden milimetr si můžu dovolit zmenšit u vertikálního nosníku a delšího rámu střechy. Volím profily dutý svařovaný černý se čtvercovým průřezem 100x4 a dutý svařovaný černý se obdélníkovým průřezem 120x60x3.

6.14.1 Maximální deformace



Obrázek 6.19 - Maximální deformace po optimalizaci

Maximální deformace vyšla o 2 mm nižší a nachází se ve stejném místě.

6.14.2 Maximální napětí

H: optimalizovaný se silou f2

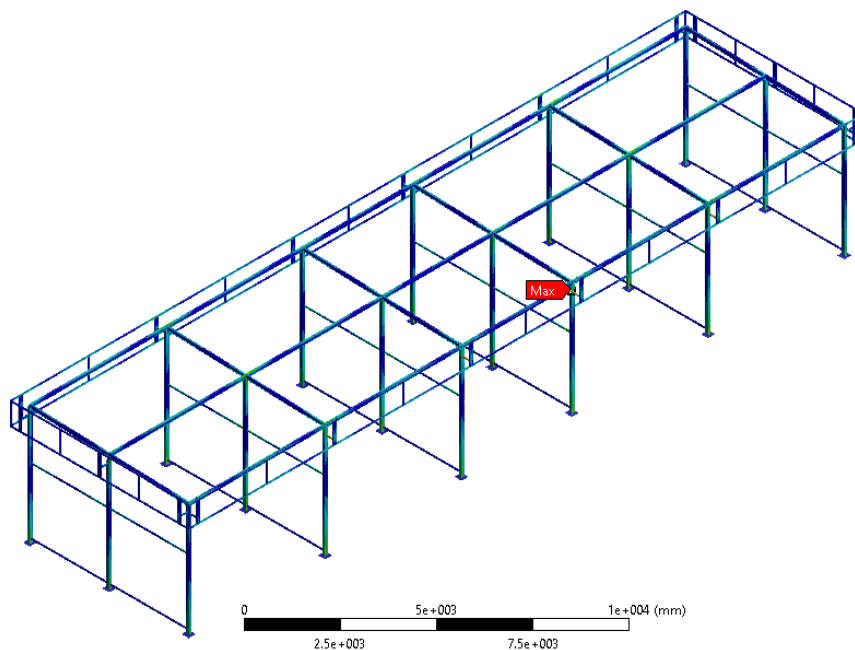
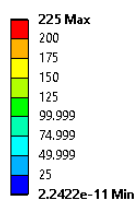
Equivalent Stress 3

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

09/05/2018 14:49

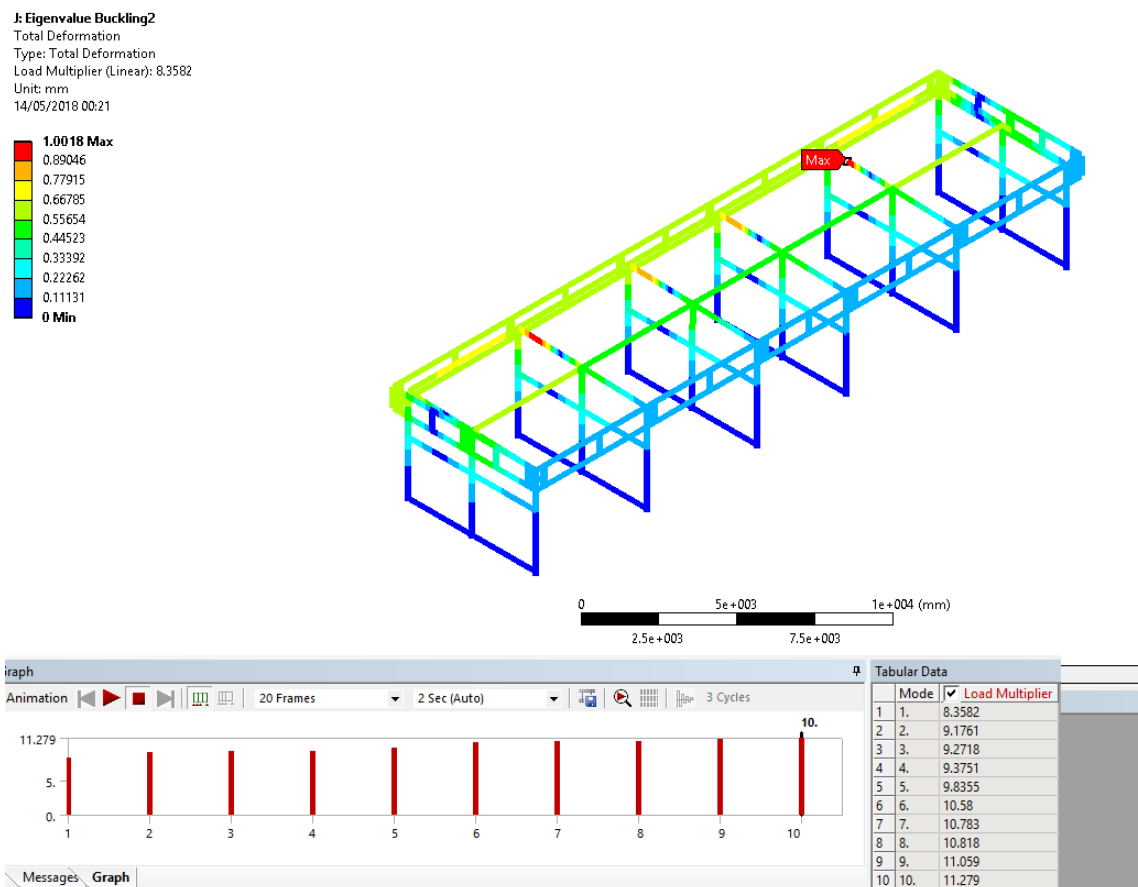


Obrázek 6.20 - Maximální napětí po optimalizaci

Maximální napětí bylo sníženo na 225 MPa. Jelikož je výsledné napětí nižší než mez kluzu 235MPa, tato konstrukce pro dané sněhové a větrné podmínky vyhovuje. Počítám, že šrouby budou voleny jen takové, které mají pevnostní třídu 3.6 a vyšší. Stačila mi tedy kontrola napětí, taková kde jsou šrouby z výsledků vyloučeny. (Pozn. maximální napětí v místě šroubů po optimalizaci vyšlo 246 MPa)

6.15 Kontrola na vzpěr

Jako poslední krok výpočtu budu kontrolovat mou výslednou, optimalizovanou konstrukci na vzpěr. Kontrolu provádím pro 10 vlastních čísel. Součinitel ztráty stability tvaru (*Load Multiplier*) vyšla 8,36. To znamená, že musí být 8,36x větší než zadané zatížení. Konstrukce tedy vyhovuje. Nejcitlivější místo na vzpěr se nachází na I nosníku.



Obrázek 6.21 - Namáhání na vzpěr

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provést statickou kontrolu a případnou optimalizaci ruční myčky. Firma PETROCard s.r.o., mi dodala 3D model konstrukce a informovala mě, že se reálná myčka bude nacházet v Mohelnici. Nejprve byly popsány obecné informace o ručních myčkách. Důležitým poznatkem bylo získání vědomostí ohledně norem, které jsou využívány pro určení zatížení působícího na stavební konstrukci. Konkrétně šlo o normu ČSN EN 1991-1-3, která se zabývá zatížením sněhem a normu ČSN EN 1991-4, která řeší zatížení větrem. Pro lepší pochopení zatížení větrem jsem shrnul i teorii proudění. V souladu s normami jsem vypočítal zatížení, které bude v zadané lokalitě na konstrukci myčky působit.

Bylo nutné vytvořit model vhodný pro výpočet metodou konečných prvků. 3D model dodaný firmou PETROCard není pro MKP výpočet vhodný, jelikož by takový výpočet trval příliš dlouho a optimalizace modelu by byla složitá. Vytvořil jsem model myčky s přesnými rozměry pouze z nosníků a ploch. Při následné optimalizaci stačilo pouze změnit průřezy nosníků a výpočet byl vždy během pěti minut hotový.

Konstrukce je vyrobena ze dvou materiálů. Nosníková konstrukce a střecha je z oceli a atika je z plastu. Reálná střecha je vytvořena z trapézového plechu. Provedl jsem analýzu plechu, abych zjistil tloušťku rovného plechu, který bude na zatížení reagovat stejně. Na konstrukci působilo stálé a nahodilé zatížení. Tady bylo třeba vzít v úvahu normu o stálých a užitných zatíženích ČSN EN 1991-1-1, v souladu s touto normou se u stálého zatížení počítá s dílčím součinitelem zatížení 1,35 a u nahodilého zatížení 1,5. Stálé zatížení byla vlastní tíha a hmotnost zavěšených kartáčů a hadic, zatížení bylo zatížení sněhem a větrem. Ve výsledcích v modelu, kde bylo počítáno i s plechy, bylo patrné, že výsledky byly nesprávné kvůli kontaktům. Plechy jsem odstranil a výpočet jsem provedl pouze na nosníkové konstrukci. Zatížení působící na plochy jsem přepočítal na síly, které působily přímo na nosníky. K silám bylo třeba ještě připočítat vlastní tíhu plechů. Po tomto kroku už vyšly smysluplné výsledky.

Prováděl jsem výpočet deformace a napětí. Mez kluzu byla překročena v místě šroubových spojů na rámu atiky a v místě spojení rámu atiky ke konstrukci myčky. Překročení v místě šroubových spojů, lze vyřešit volbou šroubů, které mají minimální mez kluzu vyšší než výsledných 266 MPa. Nicméně v rámu atiky musel být přidán materiál, což znamenalo, že optimalizace byla nutná.

U rámu atiky jsem místo čtvercového nosníku s průřezem s rozměry 40x3 mm zvolil stejný typ nosníku o rozměrech 40x4 mm. U nosníků, kde byla dostatečná rezerva mezi maximálním napětím mezi kluzu, jsem naopak mohl materiál ubírat. To se týkalo vertikálního nosníku a delšího rámu střechu, u nich jsem 1 mm tloušťky ubral. Deformace s původním modelem byla srovnatelná a maximální napětí bylo zmenšeno na 225 MPa, což je pod mezí kluzu oceli. Následně byla na optimalizovaném modelu provedena kontrola na vzpěr, kde vyšly vyhovující výsledky.

Seznam použité literatury

- [1] “Car Wash.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 5 May 2018, en.wikipedia.org/wiki/Car_wash.
- [2] *Automyčka Krok Za Krokem | Bezkontaktní Myčka*, www.automycky.com/ehrl-cr/4-PRO-INVESTORY/2-Vystavba-mycky-krok-za-krokem.
- [3] Symplio.cz. “PETROCard Czech S.r.o.” *PETROCard Czech S.r.o.*, www.on-petrocard.com/.
- [4] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Aktuální vydání. Český normalizační institut, 2005.
- [5] Kubosek, Jan. “ČSN EN 1991-1-3: Zatížení Sněhem .”
- [6] “Portál ČHMÚ : Historická Data : Počasí : Mapa Zatížení Sněhem Na Zemi.” *Runoff Processes: International Edition*, portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapa-zatizeni-snehem-na-zemi.
- [7] “Mapa Sněhových Oblastí (Platná Od Řijna 2006).” *Mapa Sněhových Oblastí*, www.snihnastrese.cz/mapa-snehovych-oblasti/.
- [8] “Mapa Zatížení Sněhem Na Zemi.” *Mapa Zatížení Sněhem Na Zemi*, www.snehovamapa.cz/.
- [9] “Zatížení Sněhem.” *StatikBook* ::, statikbook.cz/ec1/snih.php.
- [10] ESTAV.cz. “Střechy Na Horách.” *ESTAV.cz*, www.estav.cz/cz/3.strechy-na-horach.
- [11] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Aktuální vydání. Český normalizační institut, 2007.
- [12] Šerá, Barbora. “Zatížení Klimatická – Zatížení Větrem.” *ZATÍŽENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ*.
- [13] Švábová, Veronika. “Klimatologie Povodí Řek Horní Vltavy a Malše.” *Veronika Švábová*, svabova.webzdarma.cz/vitr.htm.
- [14] Fotovoltaické systémy. “Větrná a Sněhová Mapa Pokrytí v ČR.” *Fotovoltaické Systémy*, www.sticka.cz/mapy/.
- [15] Fusek, Martin, a Radim Halama. “MKP a MHP.” *Matematika pro Inženýry 21. Století*, 2011.
- [16] COOK, Robert D. *Finite element modeling for stress analysis*. Vyd. 1. Hong Kong: John Wiley, 1995, 320 s. ISBN 04-711-0774-3.

- [17] Blaheta, Radim. "MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ A METODA KONEČNÝCH PRVKŮ." *Matematika pro Inženýry 21. Století*, 2012, pp. 45–70.
- [18] *Users:General FEM Analysis/BCs Reference/Dirichlet*.
carat.st.bv.tum.de/caratuserswiki/index.php/File:BCs_nonzero.PNG.
- [19] University of Colorado Boulder. "The Origins of the Finite Element Method."
- [20] ANSYS® *Academic Teaching Advanced, Release 16.2, help system, ANSYS, Inc.*
- [21] "Ocel." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 9 May 2018,
cs.wikipedia.org/wiki/Ocel.
- [22] Edge, LLC. Engineers. "Specifications for Common Plastic Molding Design Material." *Engineers Edge*,
www.engineersedge.com/plastic/materials_common_plastic.htm.
- [23] Šerá, Barbora. "STÁLÁ A UŽITNÁ ZATÍŽENÍ ." *ZATÍŽENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ*.
- [24] OPTIMUS. "FERONA A.s.velkoobchod Hutním Materiálem." *FERONA A.s.*,
online.ferona.cz/.
- [25] ŠROUB A MATKA.CZ. "Mechanické Vlastnosti Ocelových Šroubů." *ŠROUB A MATKA.CZ*, www.sroubamatka.cz/cs/technicke-informace/mechanicke-vlastnosti-ocelovych-sroubu.html.

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 - Samoobslužný mycí box [1]	11
Obrázek 2.2 - Logo firmy PETROCard s.r.o. [3]	12
Obrázek 3.1 - Sníh na střeše [5].....	14
Obrázek 3.2 - Nenavátý sníh [5].....	15
Obrázek 3.3 - Navátý sníh [5].....	15
Obrázek 3.4 - Vliv tvaru střechy [6]	16
Obrázek 3.5 - Tvary střech [7].....	17
Obrázek 3.6 - Tvarové součinitele zatížení sněhem a v závislosti na sklonu střechy [5]..	17
Obrázek 3.7 - Mapa sněhových oblastí na území ČR [8]	19
Obrázek 3.8 - Určení charakteristické hodnoty zatížení sněhem na zemi [10]	20
Obrázek 4.1 - Nahodilý charakter zatížení větrem z prezentace [12].....	22
Obrázek 4.2 - Větrná růžice [13]	22
Obrázek 4.3 - Stínění objektu z prezentace [12].....	23
Obrázek 4.4 - Zmenšení rychlosti [12]	23

Obrázek 4.5 - Obtékání ploché desky [12]	24
Obrázek 4.6 - Působení větru na stavební objekt [12]	25
Obrázek 4.7 - Vliv atik na zatížení střešní konstrukce, rozdělení sání [12]	25
Obrázek 4.8 - Mapa větrných oblastí a tabulka výchozí základní rychlosti větru [14]	28
Obrázek 4.9 - Rozdělení tlaku větrů po výšce konstrukce [12]	29
Obrázek 4.10 - Přibližné určení součinitele expozice [12]	31
Obrázek 4.11 - Závislost součinitelů tlaků na ploše [12]	32
Obrázek 4.12 – Označení ploch u svislých stěn [12]	33
Obrázek 4.13 - Označení ploch pro ploché střechy [12]	34
Obrázek 4.14 - Tlaky na povrchy [12]	34
Obrázek 4.15 - Určení větrné oblasti	35
Obrázek 5.1 - Metoda konečných prvků [18]	40
Obrázek 6.1 - Původní model	42
Obrázek 6.2 - Předělaný model vhodný pro MKP výpočet	43
Obrázek 6.3 - Deformace trapézového plechu	44
Obrázek 6.4 - Deformace rovného plechu	44
Obrázek 6.5 - Kontakty nosníků s plochami	45
Obrázek 6.6 - Konečnoprvková síť	46
Obrázek 6.7 - Uchytení	46
Obrázek 6.8 - Stálé zatížení	47
Obrázek 6.9 - Nahodilé zatížení	48
Obrázek 6.10 - Všechny počáteční podmínky	49
Obrázek 6.11 - Výsledná deformace	49
Obrázek 6.12 - Výsledné napětí	50
Obrázek 6.13 - Místa překročení meze kluzu	51
Obrázek 6.14 - Zatížení pouze silami	52
Obrázek 6.15 - Maximální deformace (bez kontaktů)	53
Obrázek 6.16 - Maximální napětí včetně šroubů	53
Obrázek 6.17 - Maximální napětí bez šroubů	54
Obrázek 6.18 - Místo přesažení meze kluzu	55
Obrázek 6.19 - Maximální deformace po optimalizaci	55
Obrázek 6.20 - Maximální napětí po optimalizaci	56
Obrázek 6.21 - Namáhání na vzpěr	57

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 - Tvarové součinitele zatížení sněhem a v závislosti na sklonu střechy [5] ...	17
Tabulka 3.2 - Doporučené hodnoty součinitele C_e [5]	18
Tabulka 3.3 - Sněhové oblasti [8]	19
Tabulka 4.1 - Kategorie terénu [12]	30
Tabulka 4.2 - Hodnoty součinitelů vnějších vztahů tlaků pro svislé stěny [12]	32
Tabulka 4.3 - Hodnoty součinitelů vnějších tlaků pro ploché střechy [12]	33
Tabulka 6.1 - Mechanické vlastnosti oceli [21]	41
Tabulka 6.2 - Mechanické vlastnosti plastu ABS [22]	41