



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

NÁVRH A STATICKÁ ANALÝZA DOMU VE TVARU OBRÁCENÉ PYRAMIDY

DESIGN AND STATIC ANALYSIS OF THE HOUSE IN THE SHAPE
OF INVERTED PYRAMID

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Beáta Fleischerová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK VLK, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Beáta Fleischerová
Název	Návrh a statická analýza domu ve tvaru obrácené pyramidy
Vedoucí práce	Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Norma : ČSN EN 1991-1 - Eurokód 1

Bittnar Z., Šejnoha J. - Numerické metody mechaniky 1,2

Kadlčák J., Kytýr J. : Statika stavebních konstrukcí I a II

Manuály k vybranému výpočetnímu systému

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je návrh rodinného domu ve tvaru obrácené pyramidy. Vytvoření vhodného výpočetního modelu a statická analýza na zatížení odpovídající platným normám budou provedeny ve vybraném výpočetním systému. Jednotlivé výsledky budou kontrolovány ručním výpočtem.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom a statickou analýzou domu v tvare obrátenej pyramídy. Zostavenie 3D modelu a výpočet sú prevedené v programe Dlubal RFEM 5.20 pomocou metódy konečných prvkov. Jednými z hlavných cieľov práce sú zoznámenie sa s výpočtovým programom a overenie výsledkov zaťažovacích stavov a ich kombinácií s ručným výpočtom.

KLÍČOVÁ SLOVA

program Dlubal RFEM, metóda konečných prvkov, obrátená pyramída, 3D model s prútovými a plošnými prvkami, zaťaženie, kombinácie, overenie ručným výpočtom

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on design and static analysis of the house in the shape of inverted pyramid. Compiling a 3D model and the calculation are processed by program Dlubal RFEM 5.20 using the finite element method. One of the main aims of the thesis is to be acquainted with the computational program and to verify results of the load cases and their combinations by manual calculation.

KEYWORDS

program Dlubal RFEM, finite element method, inverted pyramid, 3D model with bar and planar elements, load, combination, verification by manual calculation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Beáta Fleischerová *Návrh a statická analýza domu ve tvaru obrácené pyramidy*. Brno, 2020. 109 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D.

POĎAKOVANIE

Týmito riadkami by som sa chcela poďakovať celej svojej rodine a blízkym, ktorí mi vytvorili vhodné podmienky pre tvorbu bakalárskej práce. Špeciálne poďakovanie samozrejme patrí vedúcemu práce, Ing. Zbyňkovi Vlkovi, Ph.D., za jeho prístup, čas strávený počas konzultácií, vecné rady, postrehy a trpezlivosť až do posledných dní tvorby práce.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	KONŠTRUKCIA RODINNÉHO DOMU	11
2.1	OBECNÝ OPIS KONŠTRUKCIE	11
2.2	VÝVOJ MODELU V PROGRAME	12
3	MATERIÁLY	14
3.1	BETÓNOVÁ KONŠTRUKCIA	14
3.2	OCEĽOVÁ PRIEHRADOVÁ KONŠTRUKCIA	14
3.3	KONŠTRUKCIA SCHODISKA	15
4	PRIEREZY	16
4.1	ZVISLÉ STENY	16
4.2	STROPNÉ KONŠTRUKCIE	17
4.3	HLAVNÉ NOSNÉ STĽPY	17
4.4	POMOCNÉ SCHODISKOVÉ STĽPY	18
4.5	OCEĽOVÁ PRIEHRADOVÁ KONŠTRUKCIA	19
4.6	SCHODISKOVÁ KONŠTRUKCIA	19
5	ZAŤAŽENIE MODELU	20
5.1	STÁLE ZAŤAŽENIE	20
5.1.1	ZS1 – VLASTNÁ TIAŽ NOSNÝCH PRVKOV	20
5.1.2	ZS2 – TIAŽ PRIEČOK	26
5.1.3	ZS3 – TIAŽ SKLENENÝCH TABÚĽ	33
5.1.4	ZS4 – TIAŽ SKLADBY STROPOV	36
5.1.5	ZS5 – TIAŽ NENASÝTENEJ ZELENEJ STRECHY	40
5.1.6	ZS6 – TIAŽ NASÝTENEJ ZELENEJ STRECHY	44
5.1.7	ZS7 – TIAŽ SCHODISKA	49
5.1.8	ZS8 – TIAŽ ZÁBRADLIA	54
5.2	PREMENNÉ ZAŤAŽENIE	56
5.2.1	ZS9 - ZAŤAŽENIE NA STROPY	57
5.2.2	ZS10 – GARÁŽ	57

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

5.2.3	ZS11 – SCHODISKO.....	58
5.2.4	ZS12 – POCHÔDZNA STRECHA	60
5.2.5	ZS13 – NEPOCHÔDZNA STRECHA	61
5.2.6	ZS14 – VODOROVNÉ ZAŤAŽENIE ZÁBRADLIA	61
5.3	ZAŤAŽENIE SNEHOM.....	64
5.3.1	ZS15 – SNEH POČAS BEZVETRIA.....	65
5.3.2	ZS16 AŽ ZS19 – SNEH S PÔSOBENÍM VETRA.....	66
5.4	ZAŤAŽENIE VETROM.....	69
5.4.1	ÚČINOK VETRA NA PLOCHÉ STRECHY	70
5.4.2	ÚČINOK VETRA NA ZVISLÉ STENY.....	74
5.4.3	ÚČINOK VETRA NA ZÁBRADLIE.....	77
5.4.4	ÚČINOK VETRA NA ŠIKMÉ STENY	79
6	KOMBINÁCIE ZAŤAŽENIA.....	84
6.1	KV1 – KV2 (G).....	84
6.2	KV3 – KV4 (G+Q _p)	85
6.3	KV5 – KV20 (G+V).....	86
6.4	KV21 (G+S)	87
6.5	KV22 (G+Q _p +S).....	87
6.6	KV23 – KV38 (G+Q _p +V)	88
6.7	KV39 – KV54 (G+Q _p +V+S).....	89
6.8	KV55 – OBÁLKA.....	89
7	PREKLOPENIE KONŠTRUKCIE	91
8	VÝSLEDKY.....	92
8.1	OVERENIE KOMBINÁCIÍ	92
8.1.1	KV22 – ROHOVÝ OCEĽOVÝ PRÚT.....	92
8.1.2	KV10 – HLAVNÝ NOSNÝ STĽP	94
8.1.3	OVERENIE EXTRÉMNEJ VÝSLEDNICE NA PLOCHE ..	95
8.2	NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY	97
9	ZÁVER.....	101
10	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV.....	103

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

10.1	NORMY.....	103
10.2	LITERATÚRA	103
10.3	INTERNETOVÉ ODKAZY	104
11	ZOZNAM OBRÁZKOV	105
12	ZOZNAM TABULIEK.....	108

1 ÚVOD

Nasledujúca bakalárska práca sa zaoberá návrhom a statickou analýzou rodinného domu. Zvláštnosť tejto konštrukcie spočíva v atypickosti jej tvaru. Ten má pripomínať obrátenú pyramídu, zostrojenú pomocou vonkajšej oceľovej priehradoviny. Ostatné hlavné nosné prvky (napríklad stĺpy, steny a stropy) sú betónové, takže ide o kombináciu oceľovej a betónovej konštrukcie.

Výpočtový model konštrukcie v 3D je spracovaný pomocou programu Dlubal RFEM 5.20. V danom programe je namodelované aj zaťaženie, ktoré odpovedá aktuálne platným európskym normám a národným prílohám. Samotná statická analýza prebehne metódou konečných prvkov (MKP). Počiatky MKP [9] siahajú až do 50. rokov 20. storočia. Postupom času sa metóda vyvíjala a v dnešnej dobe nachádza uplatnenie v širokej škále oborov.

Hlavným cieľom práce je teda statická analýza konštrukcie, výpočet zaťaženia a zostavenie kombinácií pre maximálny účinok. Výstupom bude spracovanie extrémnych vnútorných síl získaných na nosných prvkoch, ktoré by sa využili v prípade posúdenia únosností.

Druhotným cieľom, avšak nemenej dôležitým, bude zoznámenie sa s výpočtovým programom a pochopenie samotnej metódy konečných prvkov. V práci sa pokúsime získané výsledky overiť ručným výpočtom a poukázať na úskalia MKP, akými je napríklad závislosť na veľkosti konečného prvku (hustote siete konečných prvkov).

V rámci overenia budeme porovnávať celkové výslednice alebo výslednice v rezoch od jednotlivých zaťažovacích stavov. Účinky od kombinácií overíme na nosných prvkoch pomocou vnútorných síl. Pri nerovnosti výsledkov bude poukázané na príčiny vzniknutých chýb.

Prvá časť práce sa zaoberá obecným opisom konštrukcie, použitých materiálov a prierezov. Ďalšie kapitoly sú už venované zaťaženiu, kombináciám a analýze získaných výsledkov.

2 KONŠTRUKCIA RODINNÉHO DOMU

2.1 OBECNÝ OPIS KONŠTRUKCIE

Ako už bolo spomenuté v úvode, konštrukcia má tvar obrátenej pyramídy s pôdorysnou plochou $6 \times 6 \text{ m}^2$, kde sa nachádza garáž so vstupom. Nad prízemím sa nachádzajú dve obytné podlažia o ploche $9 \times 9 \text{ m}^2$ a $12 \times 12 \text{ m}^2$. Plochá strecha, s rozmermi $15 \times 15 \text{ m}^2$, slúži ako terasa, či záhrada. V strede tejto plochy je navrhnutá menšia budova, ktorá slúži ako priestor na vyústenie schodiska a prípadný sklad. Jej pôdorysné rozmery sú zhodné s prízemím, čiže $6 \times 6 \text{ m}^2$ a je zakončená nepochôdnou zelenou plochou strechou (Obr. 2.1-1).

Od terénu stavba siaha do výšky 11,5m, kde jednotlivé podlažia majú zhodne konštrukčnú výšku 3,0 m a vrchná budova 2,5m. Skrz druhé a tretie nadzemné podlažie vedú symetricky rozmiestnené betónové stĺpy, ktoré podopierajú stropy nad nimi.

Jednotlivé poschodia sú prepojené schodiskom. To bolo navrhnuté podľa príslušnej normy ČSN [2] a preto návrh splňuje všetky konštrukčné požiadavky. Na každom poschodí je schodisko tvorené dvomi ramenami s medzipodestou vo výške 1,5m. Rameno obsahuje 8 schodiskových stupňov šírky 300mm. Šírka jedného ramena je v prípade prízemia 0,9m, na ostatných podlažiach 1,0m.

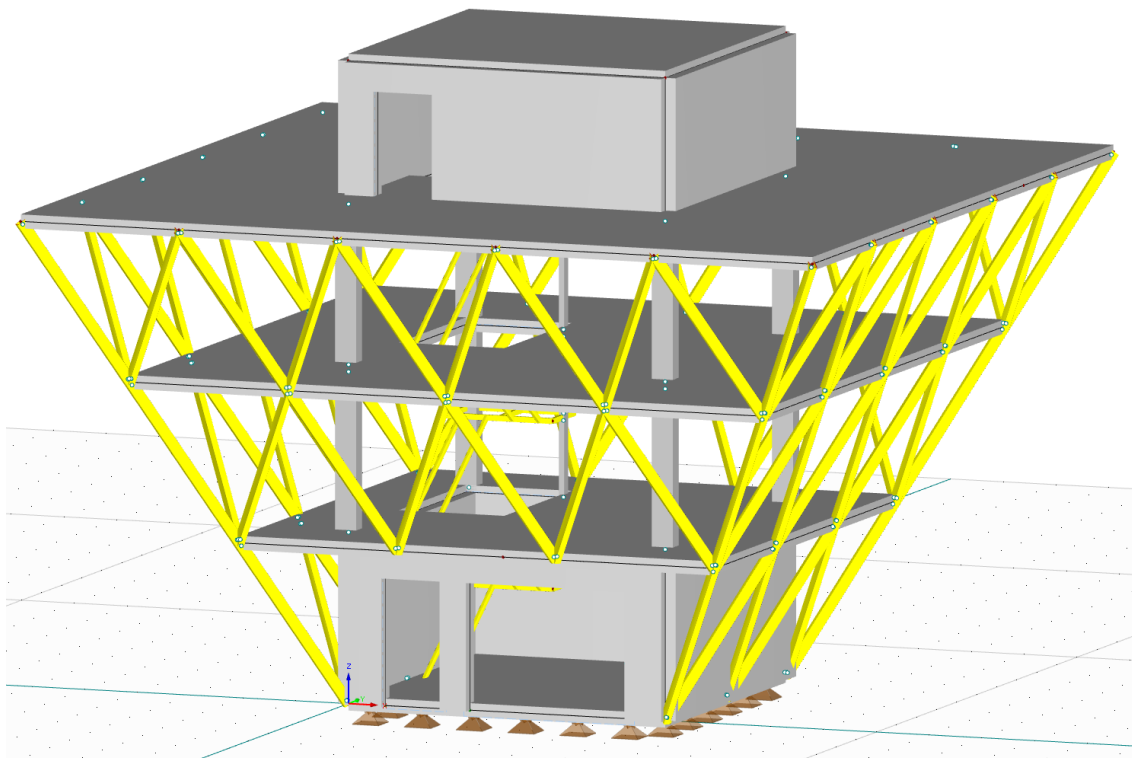
Priestor rodinného domu je rozdelený do niekoľkých miestností odlišných funkcií (obytné miestnosti, kúpeľne a WC, skladové priestory či technická miestnosť). Každá, bez ohľadu na využitie, však vyhovuje svojou plochou požiadavkám normy ČSN [1]. Vnútorne priečky rodinného domu sú tvorené sadrokartónom a nemajú nosnú funkciu.

Dom sa dá dispozične vyriešiť rôznymi spôsobmi. V našej práci sme navrhli 5-izbový rodinný dom (4 spálne a obývacia izba). Na druhom aj treťom poschodí sa nachádza kúpeľňa spojená s WC. Návrh dispozičného riešenia bol potrebný pre určenie polohy priečok, teda polohy zaťaženia od ich vlastnej tiaže.

Vstup do domu je orientovaný na juh. Otvor vstupných dverí má rozmery $2,3 \times 1,1 \text{ m}^2$, $2,3 \times 3,0 \text{ m}^2$ platí pre garážovú bránu a $2,0 \times 1,1 \text{ m}^2$ pre otvor na terasu.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Stavba bola umiestnená do lokality Českej republiky tak, aby spadala do III. snehovej aj veternej oblasti. Toto zatriedenie bolo dôležité pri určovaní východiskových hodnôt zaťaženia snehom a vetrom.



Obrázok 2.1-1 - Model rodinného domu

2.2 VÝVOJ MODELU V PROGRAME

Priestorový model (3D) rodinného domu bol navrhnutý za účelom bakalárskej práce v programe Dlubal RFEM 5.20 [10]. Z ponuky prvkov boli využité 1D a 2D prvky. 3D elementy, ako telesá, v práci nenachádzajú svoje využitie.

Oceľový kôš, nosné stĺpy a konštrukcia schodiska sú tvorené pomocou prútov, teda 1D prvku. Všetky steny a stropy sú naopak tvorené plochami, teda 2D prvkom.

[8] Aby sa stal výpočtový model riešiteľným, musíme zdefinovať okrajové podmienky. V našom prípade hovoríme o statických okrajových podmienkach, nakoľko poznáme povrchové sily (vonkajšie zaťaženie).

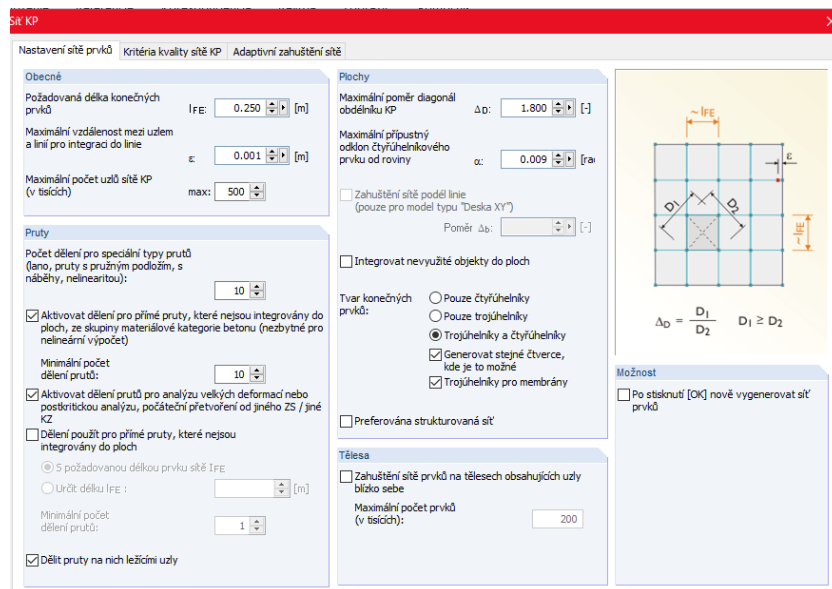
Model je podoprený plošne (Obr. 2.1-1) a podpora bráni posunu konštrukcie vo všetkých troch smeroch súradnicového systému XYZ. Jednotlivé prúty sú modelované s kĺbovým spojením, ktoré naopak nebráni

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

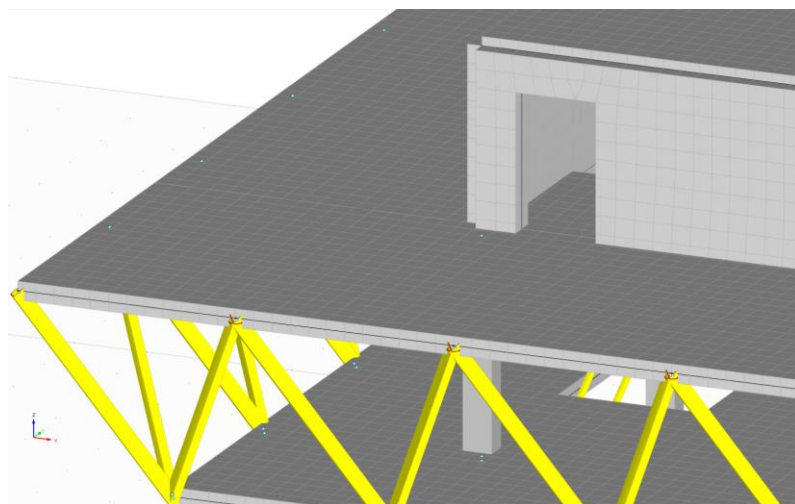
posunu v žiadnom smere. Ostatné prvky sú potom spojené monoliticky (pevne).

[9] Výpočet pomocou MKP vyžaduje rozdelenie konštrukcie na konečný počet prvkov, teda vytvorenie siete konečných prvkov (Obr. 2.2-2). Hlavným voleným atribútom je dĺžka konečného prvku. V našej práci je tento rozmer nastavený na 0,250m (Obr. 2.2-1). Nakoľko hustota siete negatívne ovplyvňuje čas výpočtu, ide o akýsi kompromis medzi jeho kvalitou a rýchlosťou.

V ďalších častiach práce si ukážeme podrobnejšie, aká je voľba dĺžky konečného prvku, respektíve hustota siete dôležitá a akým spôsobom ovplyvňuje získané výsledky.



Obrázok 2.2-1 - Nastavenie siete konečných prvkov



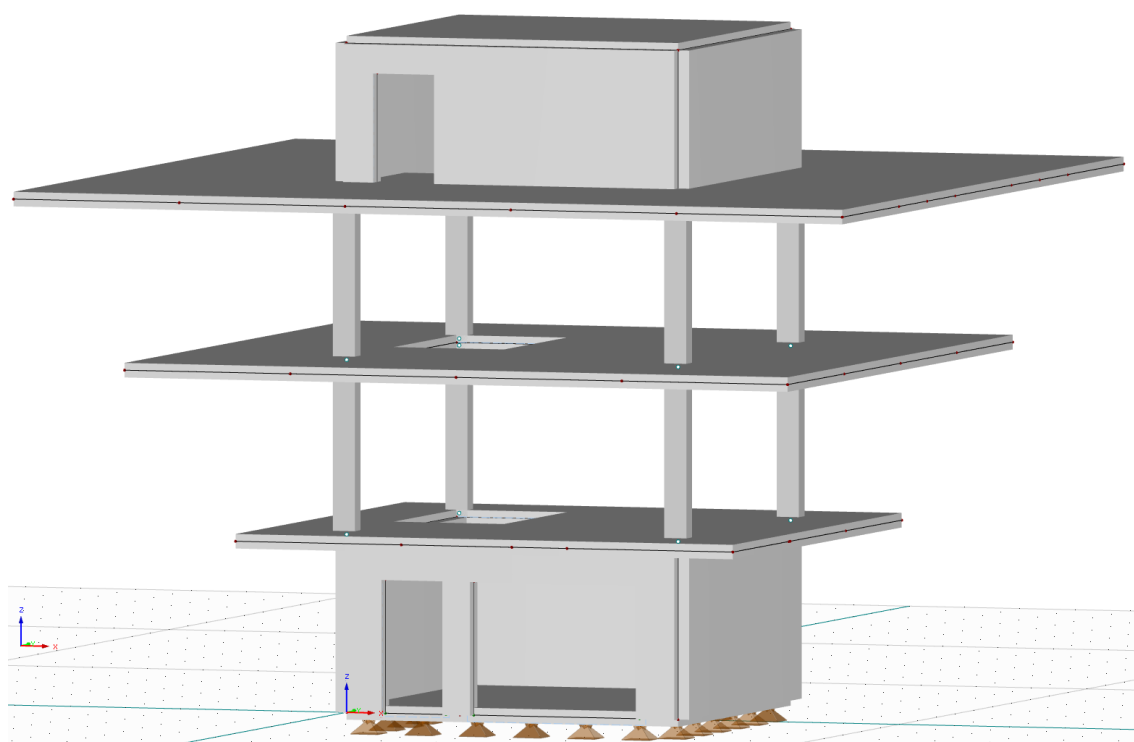
Obrázok 2.2-2 - Detail na vygenerovanú sieť konečných prvkov

3 MATERIÁLY

Na celom modeli konštrukcie sú použité len dva typy materiálov, a to betón a oceľ. Konkrétne sa jedná o betón triedy C25/30 a oceľ S235.

Ide teda o oceľovo-betónovú konštrukciu s betónovým nosným jadrom a oceľovou obvodovou, taktiež nosnou, priehradovou konštrukciou.

3.1 BETÓNOVÁ KONŠTRUKCIA



Obrázok 3.1-1 - Betónové nosné jadro

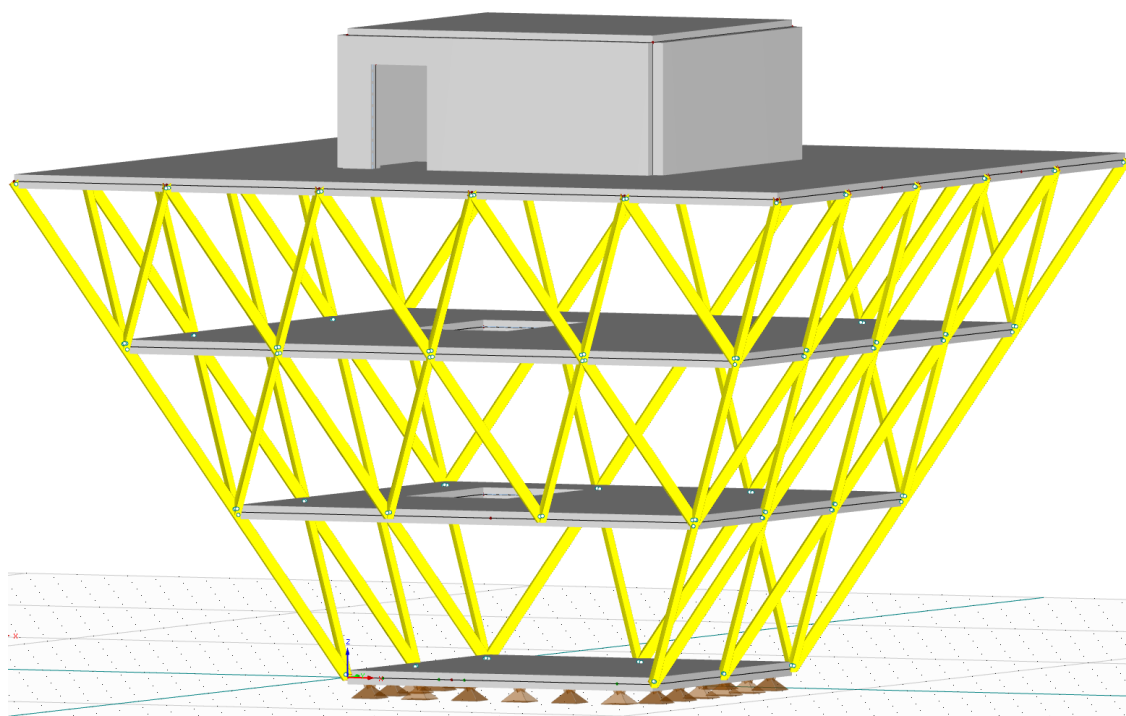
Betónové nosné jadro je tvorené stropnými či stenovými konštrukciami a stĺpmi. Stropné dosky prenášajú časť zaťaženia na ďalšie betónové prvky a časť na prúty oceľovej priehradovej konštrukcie.

3.2 OCEĽOVÁ PRIEHRADOVÁ KONŠTRUKCIA

Jednotlivé prúty oceľovej priehradovej konštrukcie sa nachádzajú po obvode celej budovy. Sú na nich bodovo uložené jednotlivé stropy. Prúty tak tvoria nosnú konštrukciu obvodového plášťa. Doplnkovým prvkom plášťa

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

sú sklenené tabule, ktoré tvoria výplň oceľovej priehradoviny a sú priamo uložené na jednotlivých prútoch.



Obrázok 3.2-1 - Oceľová priehradová konštrukcia

3.3 KONŠTRUKCIA SCHODISKA

Pri konštrukcii schodiska sa stretávame s kombináciou oboch spomínaných materiálov. Samotné schodiskové ramená a medzipodesty sú tvorené oceľovými prútmi, opäť z ocele S235.

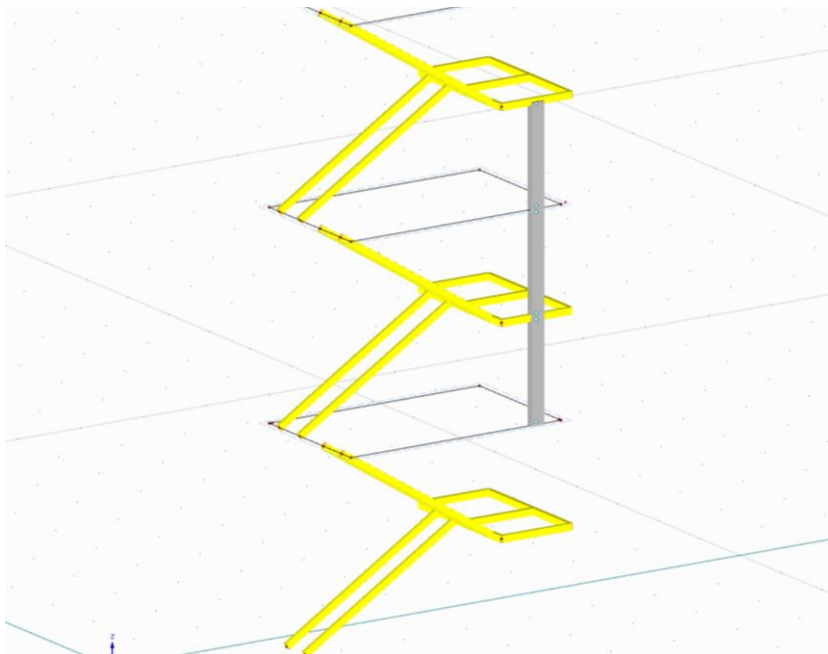
Schodiskové ramená sú uložené na jednotlivých stropných doskách a konštrukcii medzipodesty, ktorú tvorí 5 navzájom spojených prútov. Vzniká obdĺžniková konštrukcia, ktorú v strede rozpoľuje piaty prút (Obr. 3.3-1). Konštrukcia medzipodesty však nie je samonosná a treba ju podprieť o iný nosný prvok.

V prízemí je uložená dvomi stranami na obvodové steny. V prvom a druhom podlaží však obvodové steny nie sú a medzipodesty by mohli byť votknuté iba v jednom mieste do hlavných nosných stĺpov. Takéto uloženie, najmä z hľadiska použiteľnosti, by nemuselo byť dostačujúce.

Preto bolo nutné podprieť medzipodesty aj inak. Boli navrhnuté menšie betónové stĺpy, ktoré prechádzajú od prvého poschodia po úroveň medzipodesty na poschodí druhom (Obr. 3.3-1).

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

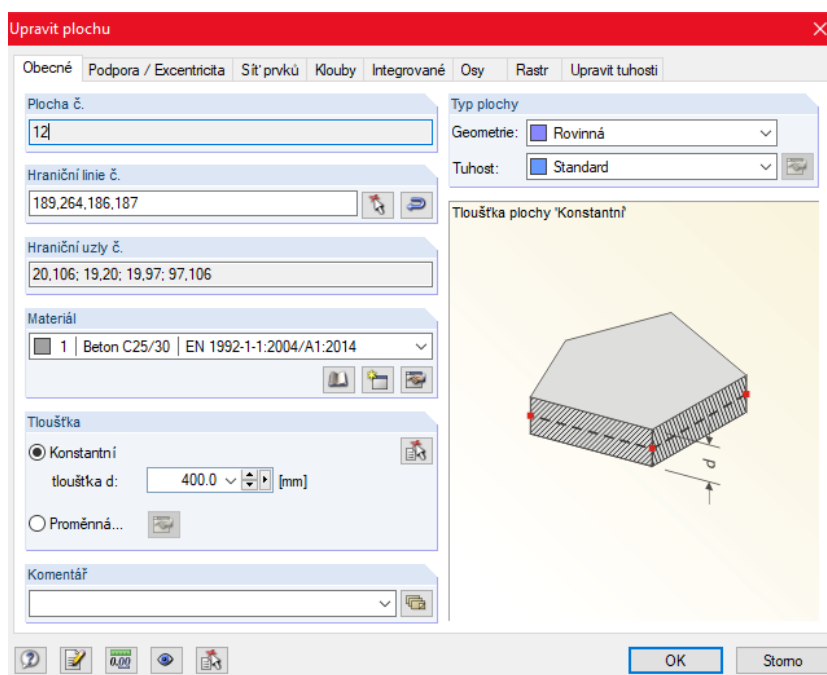
Medzipodesty sú teda na jednej strane podoprené hlavnými nosnými stĺpmi a na strane druhej sú uložené na pomocné betónové stĺpiky. Na poschodiach ide o bodové uloženie, kdežto v prízemí o uloženie líniové.



Obrázok 3.3-1 - Konštrukcia schodiska a pomocných stĺpov

4 PRIEREZY

4.1 ZVISLÉ STENY

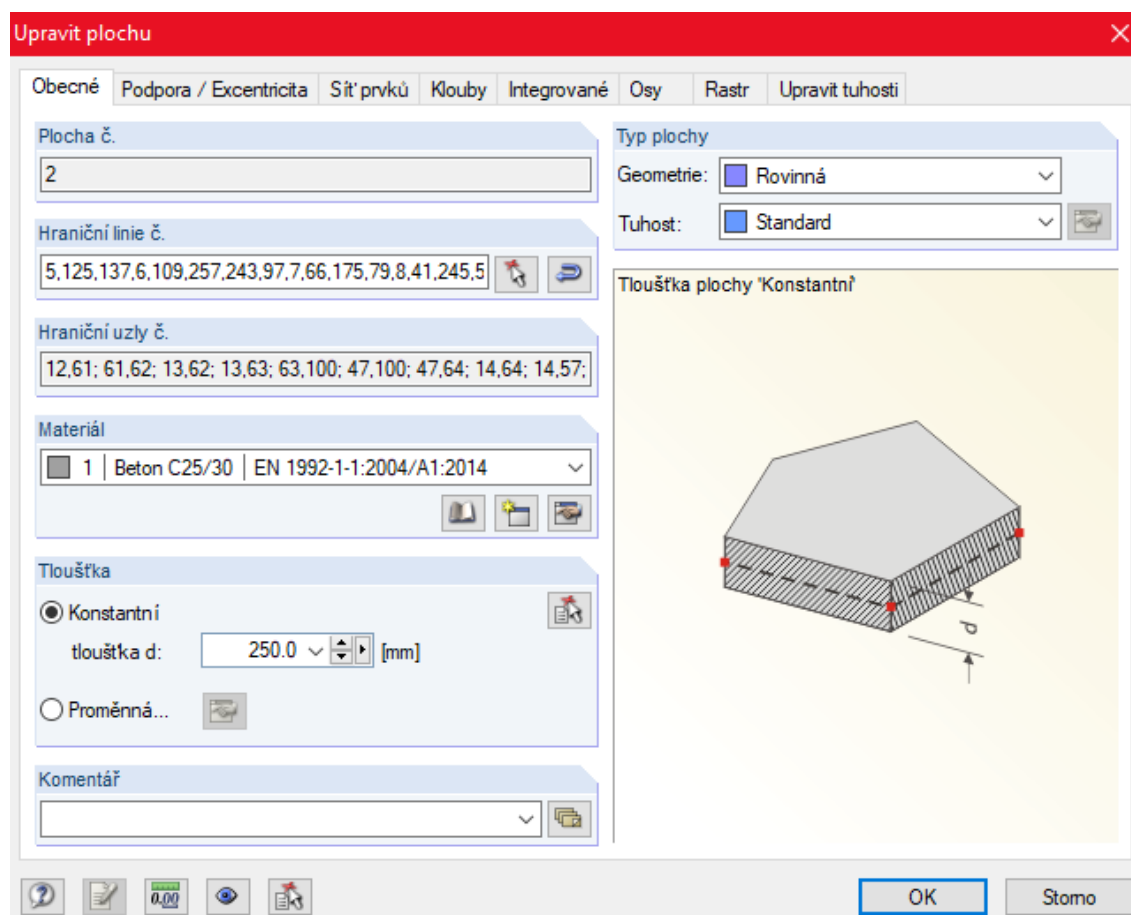


Obrázok 4.1-1 - Hrúbka zvislých stien

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

V modeli sa nachádza celkom osem betónových stien. Štyri tvoria prízemie, štyri vrchnú, menšiu budovu. Čo sa týka ich dimenzií, všetky steny sú navrhnuté identicky, s hrúbkou 0,400m.

4.2 STROPNÉ KONŠTRUKCIE



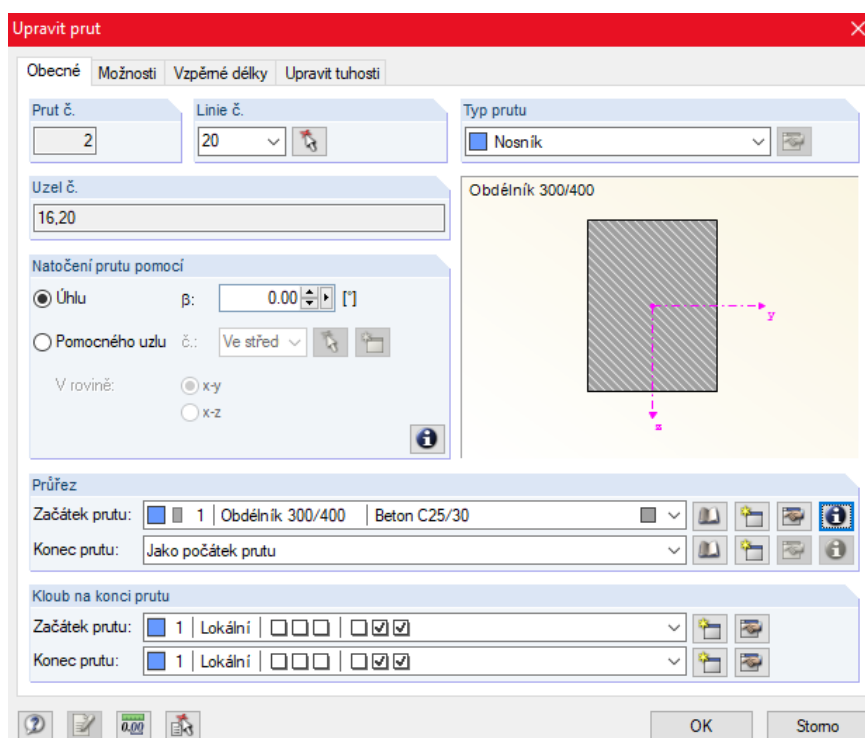
Obrázok 4.2-1 - Hrúbka stropných konštrukcií

Stropné konštrukcie máme v modeli celkom štyri. Opäť sú všetky navrhnuté s rovnakou hrúbkou, konkrétne 0,250m.

4.3 HLAVNÉ NOSNÉ STĽPY

Ide o štyri masívne betónové stĺpy, ktoré prechádzajú prvým a druhým poschodím. Sú navrhnuté s obdĺžnikovou prierezovou plochou $0,300 \times 0,400 \text{ m}^2$. Obdĺžnikový prierez bol zvolený na základe celkovej estetiky budovy, nakoľko samotná pyramída tvorí v rôznych rezoch vždy štvoruholníkový prierez.

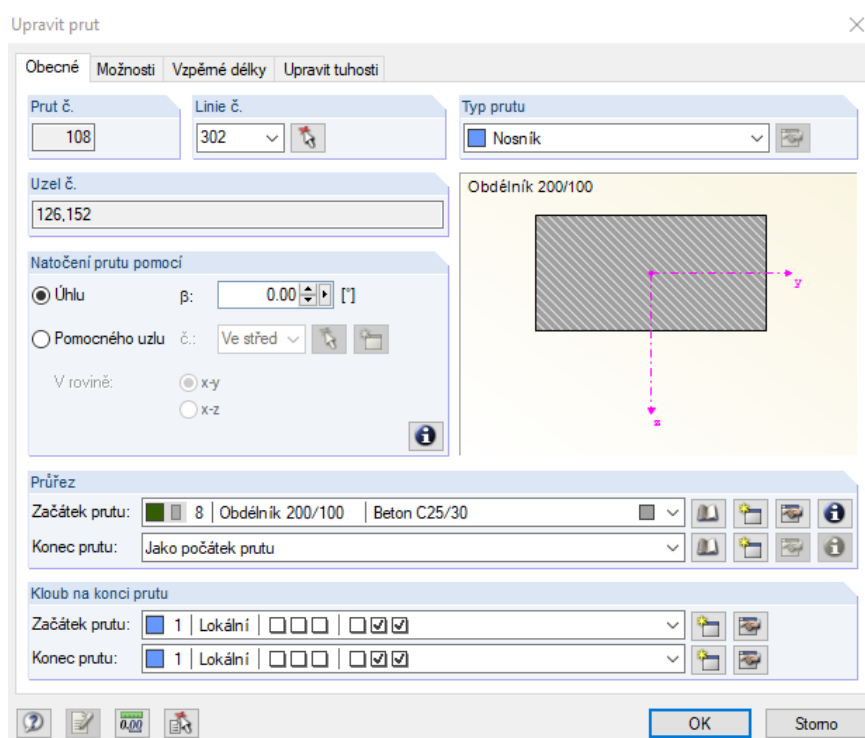
Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 4.3-1 - Prierez hlavných nosných stĺpov

4.4 POMOCNÉ SCHODISKOVÉ STĽPY

Pomocné schodiskové stĺpy majú taktiež obdĺžnikový prierez, avšak s plochou $0,200 \times 0,100 \text{ m}^2$.

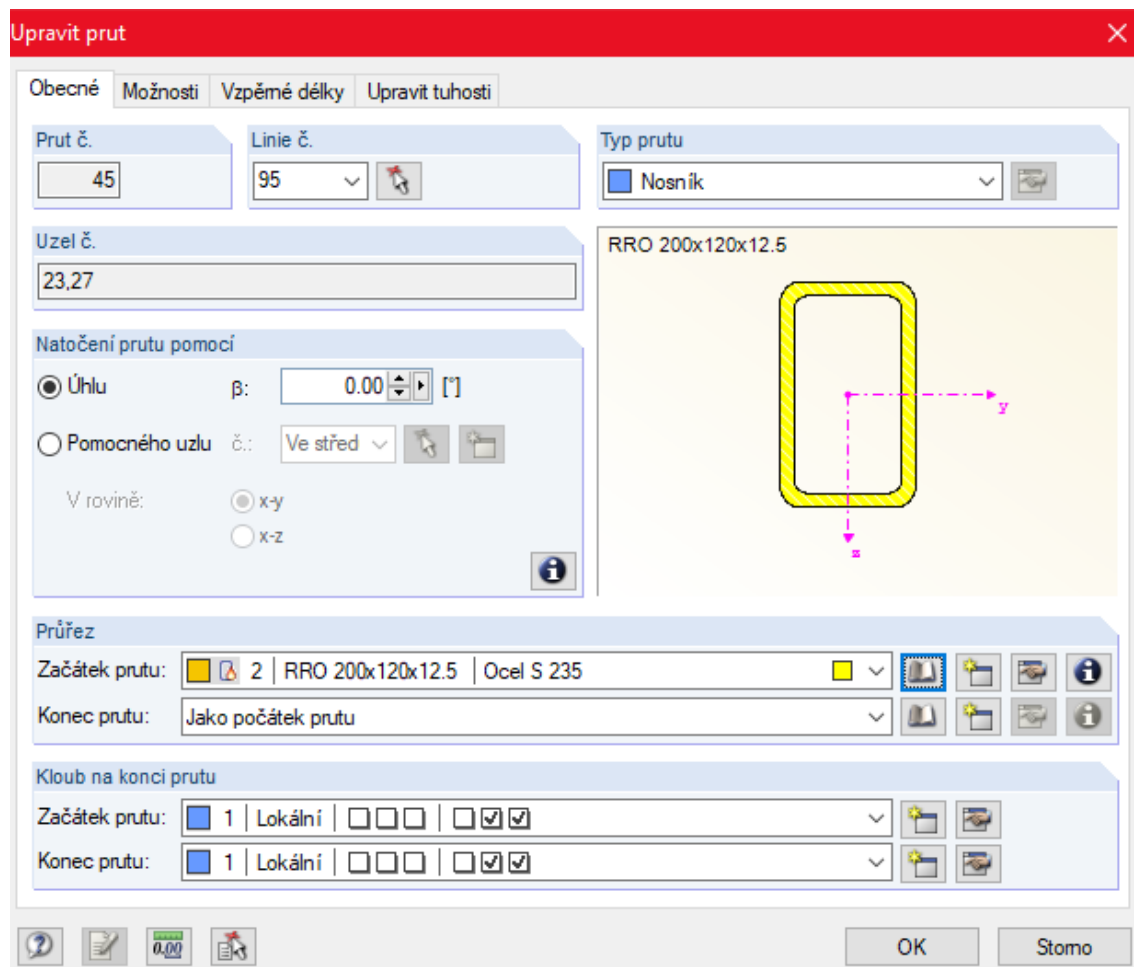


Obrázok 4.4-1 - Prierez schodiskových stĺpov

4.5 OCEĽOVÁ PRIEHRADOVÁ KONŠTRUKCIA

Prúty oceľovej priehradovej konštrukcie boli navrhnuté z valcovaného obdĺžnikového profilu – tzv. jokla. Z ponuky programu bol vybraný prierez podľa normy EN 10210-2:2006.

Konkrétne ide o profil RRO 200×120×12,5 (rozmery uvádzané v mm).



Obrázok 4.5-1 - Prierez prútov oceľovej priehradovej konštrukcie

4.6 SCHODISKOVÁ KONŠTRUKCIA

Opäť sme pri návrhu použili valcovaný obdĺžnikový profil (jokel) podľa EN 10210-2:2006. Pri konštrukcii schodiska však ide o výrazne menší profil, nakoľko schodisko prenáša minimálny podiel celkového zaťaženia na budovu.

Konkrétne je volený profil RRO 100×60×40.

5 ZAŤAŽENIE MODELU

Konštrukcia rodinného domu je zaťažená podľa aktuálne platných noriem ČSN EN [3][4][5] stálym a premenným zaťažením.

5.1 STÁLE ZAŤAŽENIE

5.1.1 ZS1 – VLASTNÁ TIAŽ NOSNÝCH PRVKOV

Zaťažovací stav 1, ktorý charakterizuje vlastnú tiaž nosných prvkov, nie je ako jediný zo stavov namodelovaný. Ide o automaticky vypočítané zaťaženie programom pomocou objemových tiaž materiálov a rozmerov hlavných nosníkov prvkov, ktoré model tvoria. Nakoľko poznáme dimenzie prvkov a objemové tiaže materiálov, z ktorých sú tieto prvky skonštruované, ručné overenie výpočtu programu bude možné bez väčších problémov.

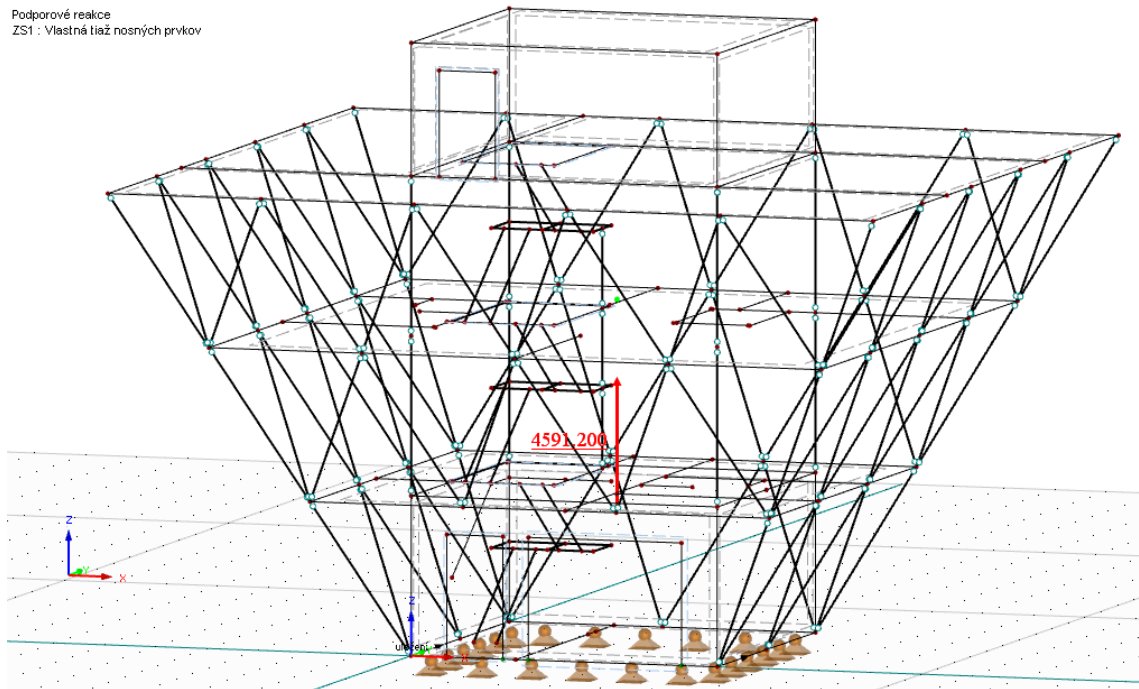
Model rodinného domu sa skladá z 80 oceľových prútov, ktoré tvoria priehradovú konštrukciu, 4 betónových stĺpov, niekoľkých betónových stropov a stien rôznej veľkosti a v neposlednom rade z oceľovej konštrukcie schodiska. Celková tiaž hlavných nosných prvkov je zapísaná v nasledujúcej tabuľke Tab. 5.1-1. Ide o ručne vypočítané hodnoty zaťaženia pomocou vyššie spomínaného postupu.

Tabuľka 5.1-1 - Vlastná tiaž hlavných nosných prvkov

Konštrukčný prvok	Materiál	Objemová tiaž materiálu	Rozmery prvku	Počet	Zaťaženie
Tiahla	Oceľ S235	78,5 kN.m ⁻³	3,674 m x 7,210*10 ⁻³ m ²	80	166,354
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	6,000 x 6,000 x 0,250 m ³	2	450,000
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(15,000 x 15,000 - 1,800 x 3,300) x 0,250 m ³	1	1369,125
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(12,000 x 12,000 - 2,000 x 3,350) x 0,250 m ³	1	858,125
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(9,000 x 9,000 - 2,000 x 3,350) x 0,250 m ³	1	464,375
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	6,000 x 2,500 x 0,400 m ³	3	450,000
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(6,000 x 2,500 - 1,100 x 2,000) x 0,400 m ³	1	128,000
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	6,000 x 3,000 x 0,400 m ³	3	540,000
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(6,000 x 3,000 - 1,100 x 2,300 - 3,000 x 2,300) x 0,400 m ³	1	85,700
Schodiskové nosníky	Oceľ S235	78,5 kN.m ⁻³	2,830 m x 1,200*10 ⁻³ m ²	12	3,199
Schodiskové podesty	Oceľ S235	78,5 kN.m ⁻³	7,300 m x 1,200*10 ⁻³ m ²	3	2,063
Pomocné stĺpy schodiska	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	0,200 x 0,100 x 1,500 m ³	3	2,250
Stĺpy	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	0,300 x 0,400 x 3,000 m ³	8	72,000
CELKOM V kN :					4591,191

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Z tabuľky je zrejmé, že celková tiaž všetkých namodelovaných nosných prvkov je 4591,191kN. Táto hodnota by nám mala, po spustení výpočtu, sedieť s výslednicou ZS1, nakoľko v ňom nemáme žiadne ďalšie namodelované zaťaženie (Obr. 5.1-1).



Obrázok 5.1-1 - Výslednica ZS1

Hodnota vypočítaná ručne:	4591,191 kN
Hodnota z programu:	4591,200 kN

Ako vidíme, obe hodnoty sú takmer identické. Rozdiel, ktorý nečiní ani tisícinu percenta, je s najväčšou pravdepodobnosťou spôsobený zaokrúhľením prierezových plôch niektorých prvkov. Ide najmä o oceľové prierezy tvaru jokla, ktorých plochy boli vytiahnuté priamo z programu z informácií o prierezoch [10], kde boli automaticky zaokrúhlené. Samotný program však pracuje s plnými hodnotami.

Nakoľko sa obe hodnoty výsledníc zhodovali, overili sme tým správnosť namodelovania. Všetky prvky konštrukcie majú v programe správne dimenzie a sú k nim priradené navrhnuté materiály.

Ďalšie overenie vlastnej tiaže a správneho roznášania na jednotlivé konštrukčné prvky sa dá vyjadriť pomocou vnútorných síl na týchto prvkoch. Takéto overenie môže byť vytvorené na jednotlivých úrovniach stropov, či

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

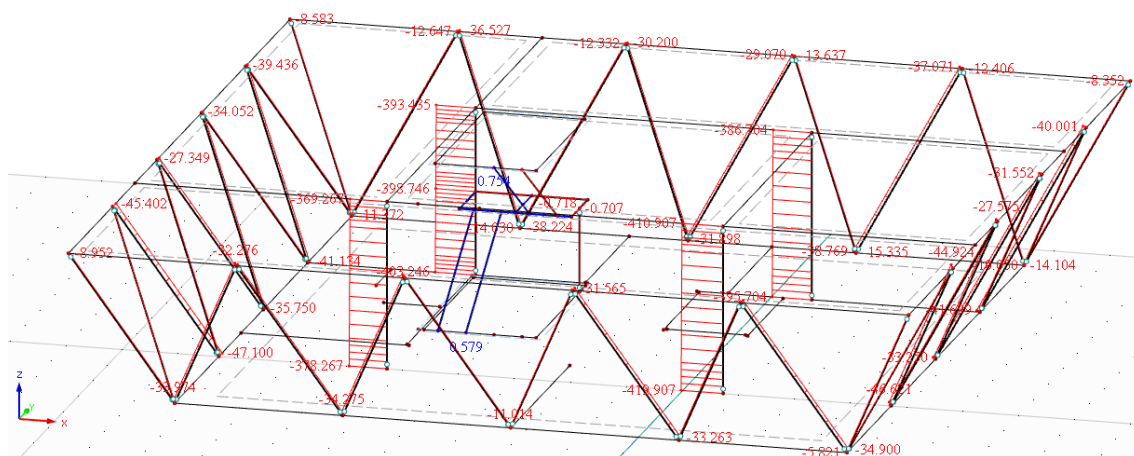
pomocou rezov kdekoľvek na konštrukcii. V práci si rozoberieme oba prípady.

V prvom prípade budeme viesť pomyselný rez v rovine XY stropom, ktorý slúži ako terasa. Z konštrukčného usporiadania modelu je zrejmé, že najväčšiu časť zaťaženia budú prenášať štyri hlavné nosné betónové stĺpy. Nakoľko je strop podporený taktiež bodovo po obvode, časť tiaže preniesú oceľové tiahla. Určitú, zanedbateľne malú časť zaťaženia preniesú aj samotné schodiskové nosníky.

Celková vlastná tiaž, ktorú v úrovni tohto rezu musí konštrukcia preniesť je ručne spočítaná a zapísaná v Tab. 5.1-2. Ide o súčet vlastnej tiaže menšej budovy na strope a samotného stropu.

Tabuľka 5.1-2 - Vlastná tiaž vrchnej stavby

Konštrukčný prvok	Materiál	Objemová tiaž materiálu	Rozmery prvku	Počet	Zaťaženie
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	6,000 x 6,000 x 0,250 m ³	1	225,000
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(15,000 x 15,000 - 1,800 x 3,300) x 0,250 m ³	1	1369,125
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	6,000 x 2,500 x 0,400 m ³	3	450,000
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(6,000 x 2,500 - 1,100 x 2,000) x 0,400 m ³	1	128,000
CELKOM V kN :					2172,125



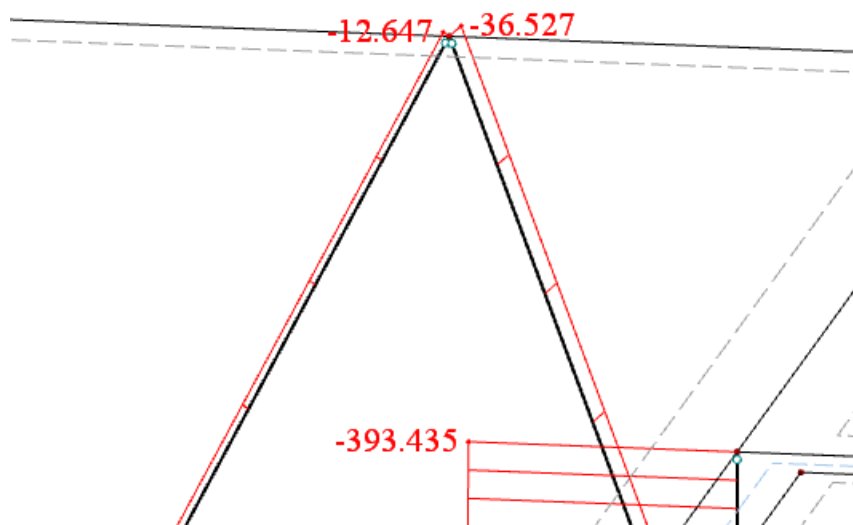
Obrázok 5.1-2 - Vnútrotné sily od vrchnej stavby

Z programu získame výslednicu tejto tiaže pomocou súčtu vnútorných síl na už spomínaných nosných prvkoch (Obr. 5.1-2). Keďže sú prúty oceľovej priehradoviny a schodiskové nosníky natočené oproti smeru zaťaženia pod uhlom α , samotné hodnoty vnútorných síl nie sú pre overenie vhodné. Tieto sily musíme transformovať do smeru osi Z. Transformáciu vyjadríme pomocou bežných geometrických funkcií \cos , \sin , \tan . Až takto

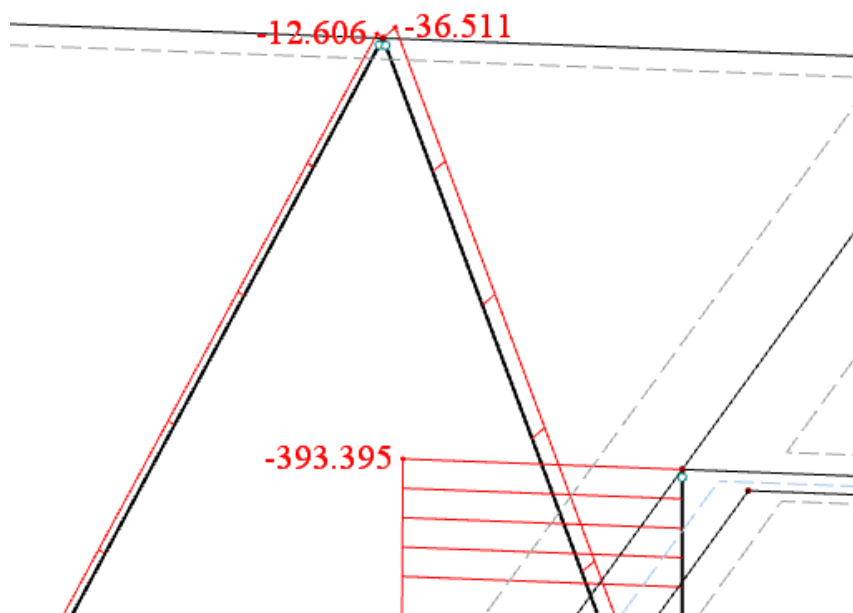
Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

rezu sa však odlišovala minimálne, dokonca aj odchýlka od ručného výpočtu bola po zaokrúhlení stále na hodnote 0,6%.

Odchýlka však mohla vzniknúť počas samotného procesu výpočtu. Program nepočíta vnútorné sily priamo zo zaťaženia, ako sme bežne zvyknutí, ale pomocou napätí. To znamená, že vnútorné sily pomocou integrálnych výpočtov vyjadri z napätí, ktoré sú na plochách a v prútoch vyvolané samotným zaťažením. A práve pri integrovaní po plochách mohli vzniknúť tieto chyby.



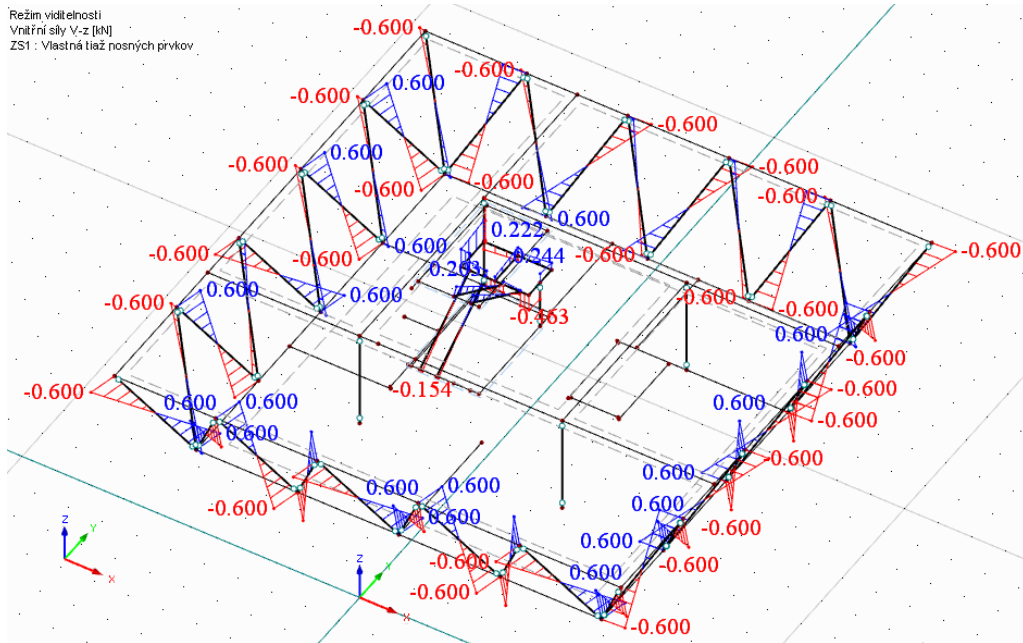
Obrázok 5.1-3 - Detail pri dĺžke KP 0,250m



Obrázok 5.1-4 - Detail pri dĺžke KP 0,350m

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Ďalej mohli byť výsledky ovplyvnené posúvajúcimi silami, ktoré sú vyvolané najmä na šikmých prútoch. Aj tieto sily by sa mali transformovať do osi Z a pripočítať k celkovej výslednici. Tento vplyv je však natoľko malý, že kvôli zjednodušeniu výpočtu bol úplne zanedbaný. Na Obr. 5.1-5 môžeme vidieť príklad posúvajúcich síl na konštrukcii.



Obrázok 5.1-5 - Vplyv posúvajúcich síl

Dostávame sa k druhému prípadu, kedy vedieme rez, opäť v rovine XY, strednicovou plochou najnižšej betónovej dosky. Rezom získame hodnotu zaťaženia prenášanú zvislými stenami, ktoré pôsobia priamo na plochu spodnej dosky. To znamená, že vlastná tiaž spodnej dosky vo výslednici nefiguruje a vďaka uloženiu je prenášaná rovno do podpory. Súčtom s koncovými silami na oceľových prútoch získame celkové zaťaženie pre daný rez.

Tabuľka 5.1-4 - Vnútorne sily pre spodný rez

ROHY	NETRANSE.		TRANSE.		MEDZIČAHLÉ	NETRANSE.		TRANSE.		NETRANSE.		TRANSE.				
	1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12			
	-146,799	-119,869				-66,456	-54,260	-56,435	-46,078	-58,879	-48,074					
	-97,919	-79,956				-63,199	-51,601	-56,916	-46,471	-64,004	-52,258					
	-94,796	-77,406				-65,187	-53,224	-57,427	-46,888	-60,884	-49,711					
	-145,510	-118,816				-61,174	-49,948	-55,372	-45,210	-66,483	-54,282					
	-396,046				CELKOM	-209,034		-184,648		-204,326						
Výslednica na ploche dosky						-3385,220					SUMA CELKOM					-4379,273

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 5.1-5 - Vlastná tiaž pre spodný rez

Konštrukčný prvok	Materiál	Objemová tiaž materiálu	Rozmery prvku	Počet	Zaťaženie
Tiahla	Oceľ S235	78,5 kN.m ⁻³	3,674 m x 7,210*10 ⁻³ m ²	80	166,354
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	6,000 x 6,000 x 0,250 m ³	1	225,000
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(15,000 x 15,000 - 1,800 x 3,300) x 0,250 m ³	1	1369,125
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(12,000 x 12,000 - 2,000 x 3,350) x 0,250 m ³	1	858,125
Strop	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(9,000 x 9,000 - 2,000 x 3,350) x 0,250 m ³	1	464,375
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	6,000 x 2,500 x 0,400 m ³	3	450,000
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(6,000 x 2,500 - 1,100 x 2,000) x 0,400 m ³	1	128,000
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	6,000 x 3,000 x 0,400 m ³	3	540,000
Steny	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	(6,000 x 3,000 - 1,100 x 2,300 - 3,000 x 2,300) x 0,400 m ³	1	85,700
Schodiskové nosníky	Oceľ S235	78,5 kN.m ⁻³	2,830 m x 1,200*10 ⁻³ m ²	12	3,199
Schodiskové podesty	Oceľ S235	78,5 kN.m ⁻³	7,300 m x 1,200*10 ⁻³ m ²	3	2,063
Pomocné stĺpy schodiska	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	0,200 x 0,100 x 1,500 m ³	3	2,250
Stĺpy	Betón C25/30	25 kN.m ⁻³	0,300 x 0,400 x 3,000 m ³	8	72,000
CELKOM V kN :					4366,191

Hodnota vypočítaná ručne: **4366,191 kN**

Hodnota z programu: **4379,273 kN**

V tomto prípade odchýlka nadobúda hodnotu 0,3%, čo znamená, že sme dosiahli väčšej presnosti ako v reze vrchnou časťou. Nakoľko sme použili rovnako hustú sieť KP, opäť dospievame k záveru, že závislosť od tohto parametra, v prípade vlastnej tiaže, nebude výpočet výraznejšie ovplyvňovať.

Integrálny počet však prebiehal po menšej ploche, čo mohlo mať za následok menšiu chybu.

5.1.2 ZS2 – TIAŽ PRIEČOK

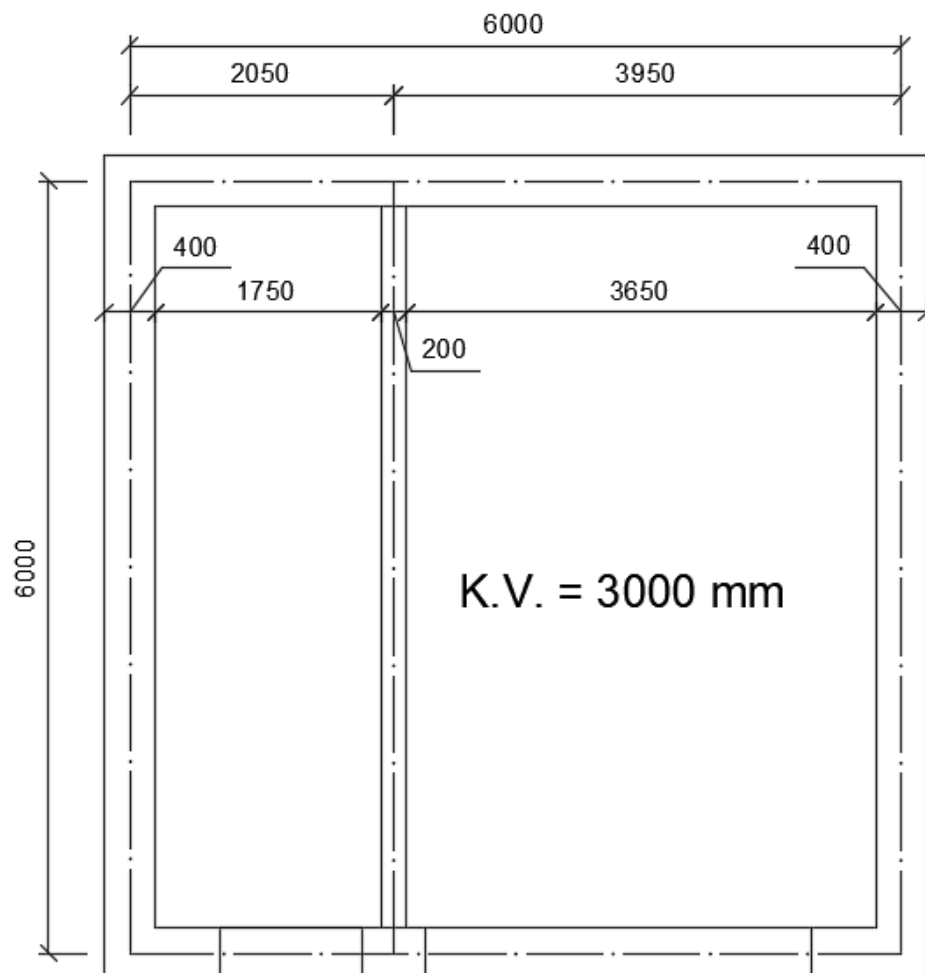
V rodinnom dome sú navrhnuté ľahké sadrokartónové priečky. Konštrukcia a objemová tiaž konkrétnych priečok boli prevzaté z [24] pre garáž a [23] pre ostatné miestnosti. V garáži je navrhnutá hrubšia priečka z dôvodu prísnejšej požiarnej odolnosti.

V modeli sú tiaže priečok namodelované pomocou voľného plošného obdĺžnikového zaťaženia. Nakoľko priečky neplnia nosnú funkciu, nie je správne ich v programe modelovať. Zvislá rovina väčšiny priečok má kvôli

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

konštrukcii pyramídy tvar lichobežníka. Tiaž od takýchto priečok je zjednodušene rozpočítaná na rovnomerné obdĺžnikové zaťaženie.

GARÁŽ:



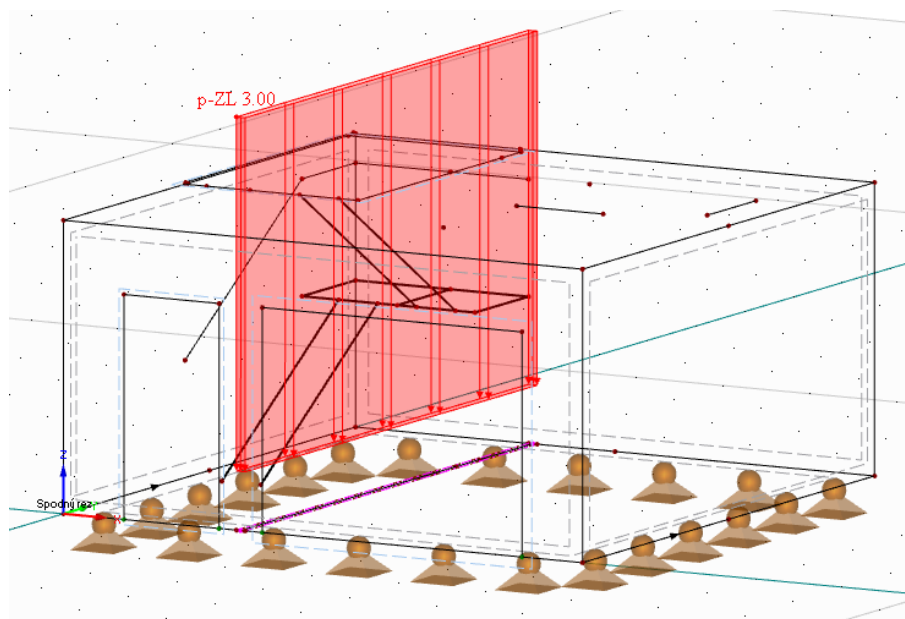
Obrázok 5.1-6 - Pôdorys garáže

Na Obr. 5.1-6 vidíme pôdorysné usporiadanie garážovej priečky. Je zrejmé, že skutočné rozmery budú menšie ako sú uvažované v práci. V rámci zjednodušenia počítame objem priečky pomocou osových vzdialeností. Toto zjednodušenie je na strane bezpečnej, nakoľko vypočítané zaťaženie od priečky bude o niečo väčšie ako je v skutočnosti.

Tabuľka 5.1-6 - Zaťaženie od garážovej priečky

Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Objem priečky [m ³]	Tiaž [kN]	Voľné obdĺžnikové zaťaženie [kN.m ⁻²]
1,000	6,000×3,000×0,200	3,600	3,000

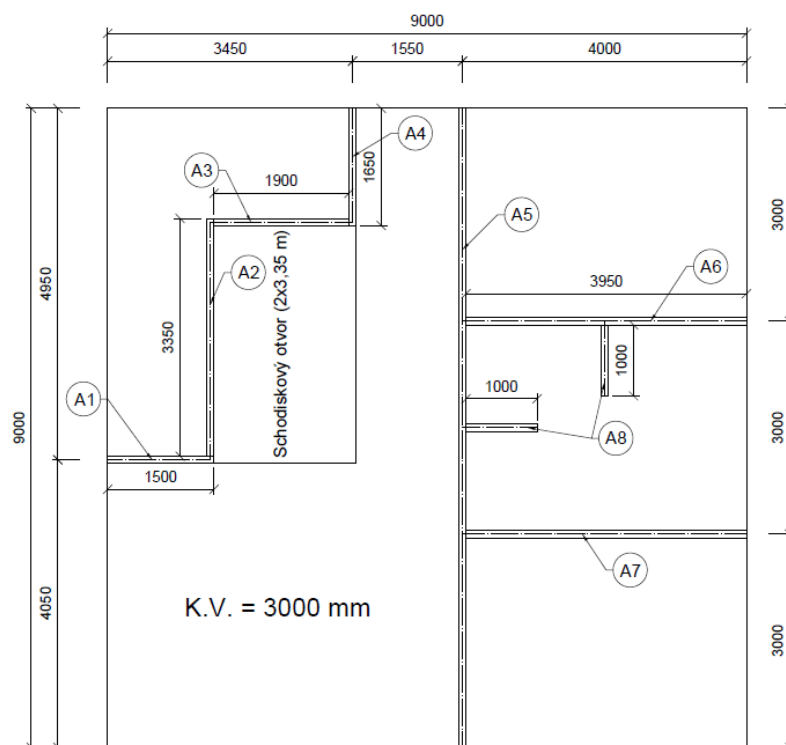
Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.1-7 - Zaťaženie od garážovej priechky

PRVÉ POSCHODIE:

Tu sa už stretávame so spomínanými lichobežníkovými, zvislými rovinami priechok. Tie sú na Obr. 5.1-8 označené A1-A8 a spracované v Tab. 5.1-7. Ako bolo už povedané v úvode tejto kapitoly, zaťaženie sa v rámci zjednodušenia spriemeruje do klasického, obdĺžnikového, plošného zaťaženia.



Obrázok 5.1-8 - Pôdorys prvého poschodia

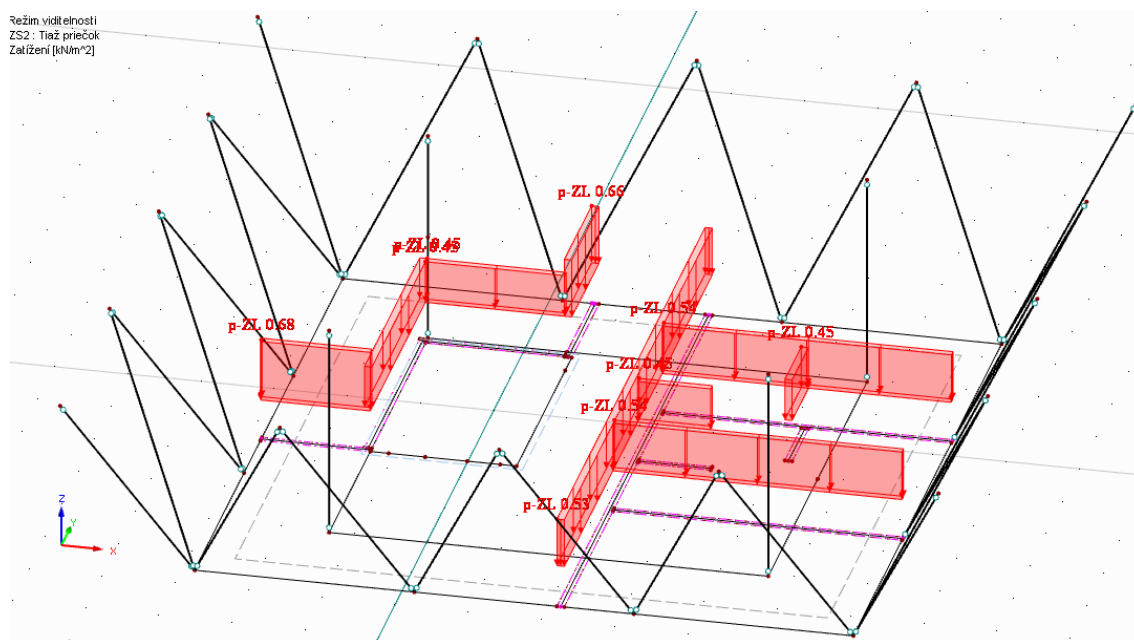
Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Objemová tiaž týchto priečok bude výrazne menšia ako v prvom prípade, nakoľko je navrhnutý iný typ priečky. Vďaka nižším nárokom na požiaru bezpečnosť je konštrukcia ľahšia a aj užšia. Pri výpočte zaťaženia sa používali skutočné rozmery priečok, ktoré sú okótované na Obr. 5.1-8.

Namodelovanie voľného plošného obdĺžnikového zaťaženia v programe je znázornené na Obr. 5.1-9.

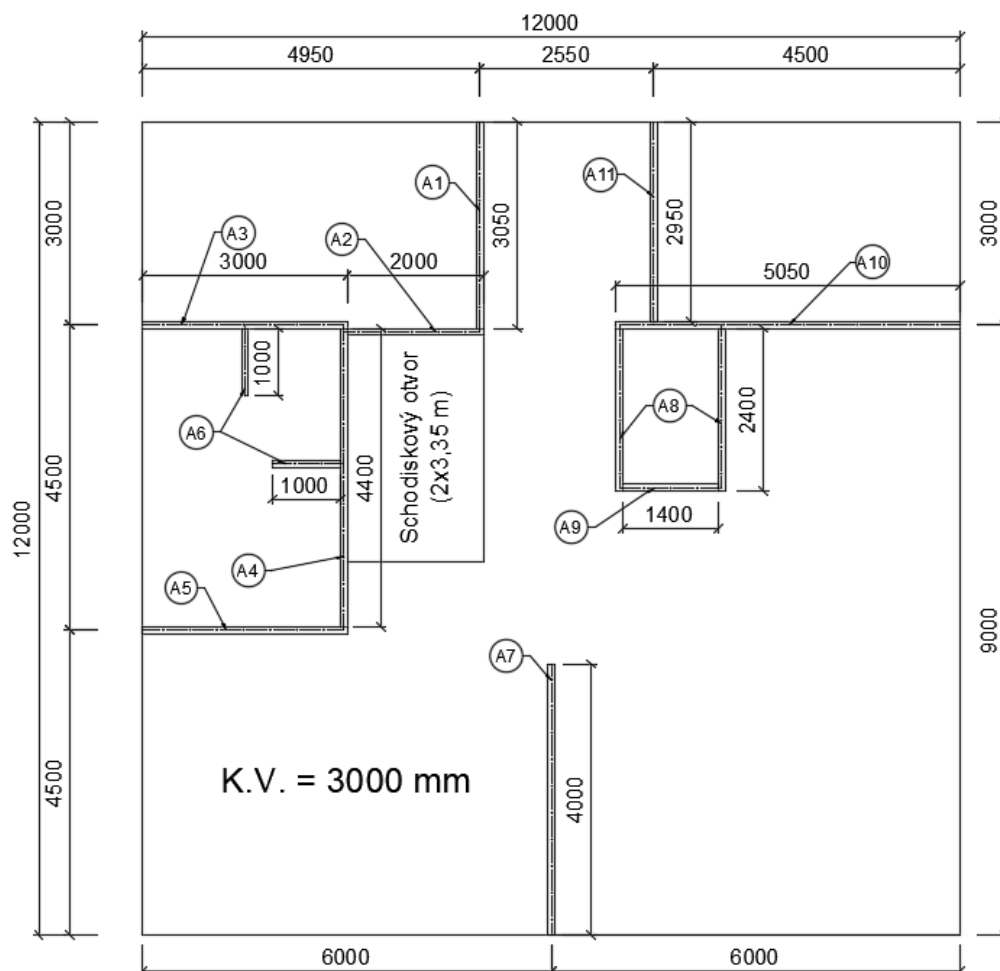
Tabuľka 5.1-7 - Zaťaženie od priečok na prvom poschodí

Č.	Plocha A_i [m^2]	Obj. prieč. [m^3]	Obj. tiaž [$kN \cdot m^{-3}$]	Tiaž [kN]	Voľ. obdĺ. zat'. [$kN \cdot m^{-2}$]
A ₁	$1,50 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_1 \times 0,100$	0,150	0,10125	0,675
A ₂	$3,35 \times 3,00$	$A_2 \times 0,100$		0,15075	0,450
A ₃	$1,90 \times 3,00$	$A_3 \times 0,100$		0,08550	0,450
A ₄	$1,65 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_4 \times 0,100$		0,10800	0,655
A ₅	$9 \times 3 + 2 \times (3,00 \times 1,50/2)$	$A_5 \times 0,100$		0,47250	0,525
A ₆	$3,95 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_6 \times 0,100$		0,21150	0,535
A ₇	$3,95 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_7 \times 0,100$		0,21150	0,535
A ₈	$2 \times (1,00 \times 3,00)$	$A_8 \times 0,100$		$2 \times (0,045)$	$2 \times (0,450)$



Obrázok 5.1-9 - Zaťaženie od priečok na prvom poschodí

DRUHÉ POSCHODIE:



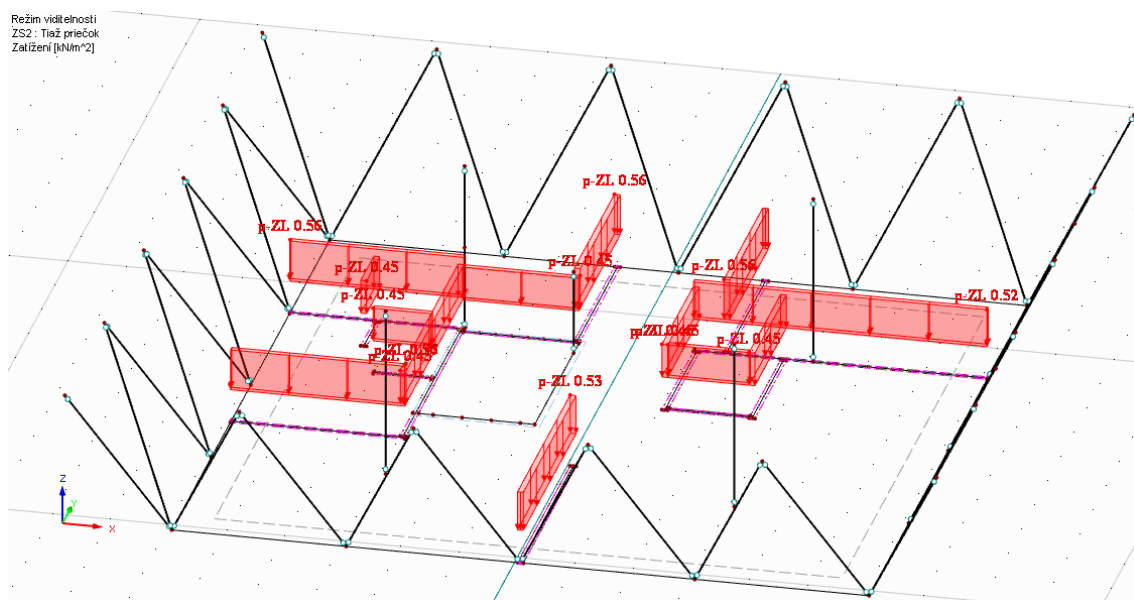
Obrázok 5.1-10 - Pôdorys druhého poschodia

Tabuľka 5.1-8 - Zat'azenie od priečok na druhom poschodí

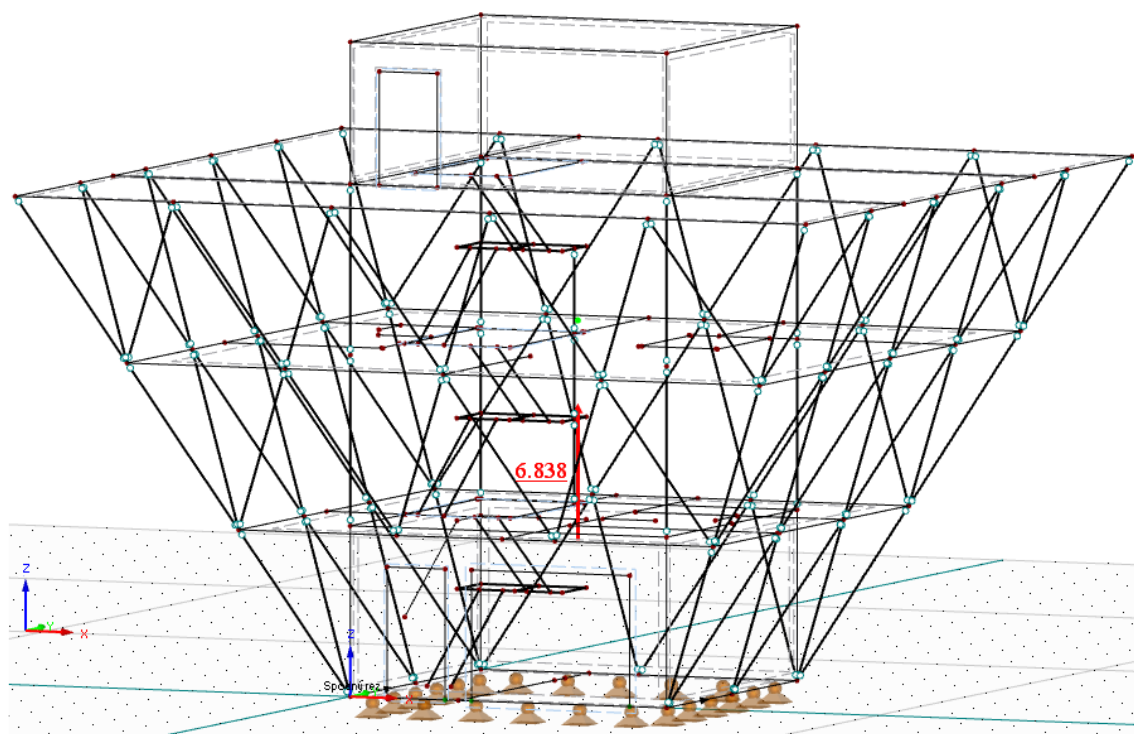
Č.	Plocha A_i [m^2]	Obj. prieč. [m^3]	Obj. tiaž [$kN \cdot m^{-3}$]	Tiaž [kN]	Voľ. obdĺ. zat'. [$kN \cdot m^{-2}$]
A ₁	$3,05 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_1 \times 0,100$	0,150	0,17100	0,561
A ₂	$2,00 \times 3,00$	$A_2 \times 0,100$		0,09000	0,450
A ₃	$3,00 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_3 \times 0,100$		0,16875	0,563
A ₄	$4,40 \times 3,00$	$A_4 \times 0,100$		0,19800	0,450
A ₅	$3,00 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_5 \times 0,100$		0,16875	0,562
A ₆	$2 \times (1,00 \times 3,00)$	$A_6 \times 0,100$		$2 \times (0,045)$	$2 \times (0,450)$
A ₇	$4,00 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_7 \times 0,100$		0,21375	0,534
A ₈	$2 \times (2,40 \times 3,00)$	$A_8 \times 0,100$		$2 \times (0,108)$	$2 \times (0,450)$
A ₉	$1,40 \times 3,00$	$A_9 \times 0,100$		0,06300	0,450
A ₁₀	$5,05 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_{10} \times 0,100$		0,26100	0,517
A ₁₁	$2,95 \times 3,00 + (3,00 \times 1,50/2)$	$A_{11} \times 0,100$		0,16650	0,564

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Postup výpočtu zaťaženia (Tab 5.1-8) je totožný s prvým poschodím. Je použitý ten istý typ sadrokartónovej priečky. Rozdiel je len v ich rozmiestnení (Obr. 5.1-10).



Obrázok 5.1-11 - Zaťaženie od priečok na druhom poschodí



Obrázok 5.1-12 - Výslednica ZS2

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

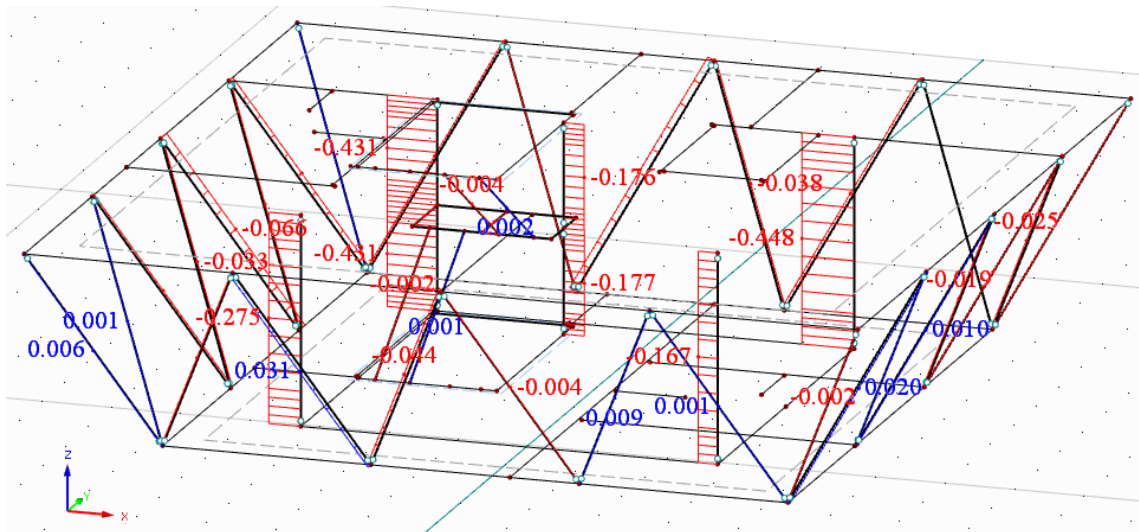
Po súčte tiaží z predchádzajúcich tabuliek dostávame celkovú výslednicu ZS2. Porovnaním ručne spočítanej hodnoty s hodnotou z programu (Obr. 5.1-12), overíme správnosť namodelovania zaťaženia.

Na danom obrázku je vypnuté zobrazenie namodelovaného zaťaženia a z výsledkov je zobrazená iba výslednica, ktorou je vlastne podporová reakcia.

Hodnota vypočítaná ručne: **6,838 kN**

Hodnota z programu: **6,838 kN**

Pre ďalšiu kontrolu použijeme vnútorné sily na prvkoch. Tentokrát necháme pomyselný rez prechádzať prvým poschodím. To znamená, že v tejto úrovni je konštrukciou prenášaná len tiaž priečok z druhého poschodia.



Obrázok 5.1-13 - Vnútorné sily od priečok na druhom poschodí

Z Obr. 5.1-13 vidíme, že zaťaženie je prenášané hlavnými stĺpmi, oceľovými prútmi a konštrukciou schodiska. Priebeh normálových síl je po dĺžke konštantný, keďže samotná tiaž prvkov nie je uvažovaná.

Transformácia vnútorných síl a výpočet zaťaženia sa nachádza v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 5.1-9 - Vnútorne sily od priečok na druhom poschodí

NETRA.	TRANS.	Schodiskový nosník	
-0,002	0,000		
0,001	0,000		
	-0,177	Schod. stĺp	

STĽPY		ROHY		NETRANSF.	TRANSF.
-0,275				0,006	0,005
-0,167				0,001	0,001
-0,448				-0,002	-0,002
-0,431				-0,001	-0,001
-1,321					0,003

MEDZIAHLÉ					
NETRANSF.	TRANSF.	NETRANSF.	TRANSF.	NETRANSF.	TRANSF.
0,001	0,001	-0,068	-0,056	0,002	0,002
-0,019	-0,016	-0,038	-0,031	0,020	0,016
-0,033	-0,027	-0,031	-0,025	0,001	0,001
-0,066	-0,054	0,000	0,000	0,009	0,007
-0,026	-0,021	-0,025	-0,020	-0,004	-0,003
-0,042	-0,034	-0,002	-0,002	-0,044	-0,036
-0,022	-0,018	-0,019	-0,016	0,031	0,025
-0,001	-0,001	0,010	0,008	-0,016	-0,013
CELKOM		-0,170		-0,141	
				SUMA CELKOM	
				-1,807	

Hodnota vypočítaná ručne: **1,807 kN**

Hodnota z programu: **1,807 kN**

Porovnané hodnoty sa po zaokrúhlení na tri desatinné miesta zhodujú. Hodnota vypočítaná ručne bola získaná súčtom tiaže z Tab. 5.1-8.

5.1.3 ZS3 – TIAŽ SKLENENÝCH TABÚL

Obvodový plášť rodinného domu je tvorený oceľovou priehradovou konštrukciou, ktorá je vyplnená sklenenými tabuľami. Konštrukčne sú tabule prichytené na oceľových prútoch. Preto priamo nenamáňajú stropné konštrukcie a v programe je ich tiaž namodelovaná pomocou líniového zaťaženia na prúty priehradoviny.

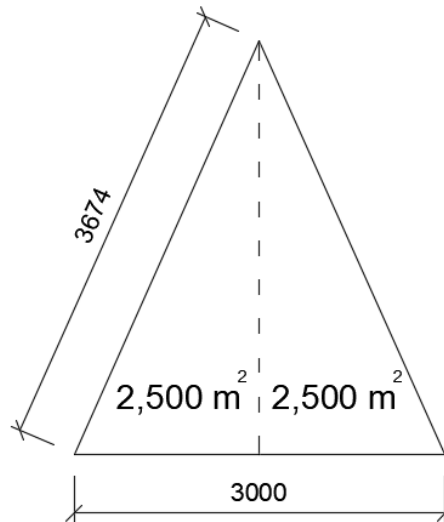
[10] Program RFEM ponúka aj možnosť zaťaženia na líniu. Táto možnosť môže na prvý pohľad vyzerat' identicky so zaťažením na prút. Pokiaľ však máme k línii priradený konkrétny prierez, z línie sa stáva prút a takýto prvok už musí byť zaťažený zaťažením na prút. V opačnom prípade, počas kontroly pred výpočtom, vyhodí program chybovú správu.

Sklenené tabule sú navrhnuté z trojskla podľa [16]. Celková hrúbka skla, mimo medzier, ktoré sú plnené argónom, je v tomto prípade 12mm (3×4 mm). Objemová tiaž skla, $25\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$, je prevzatá z [3].

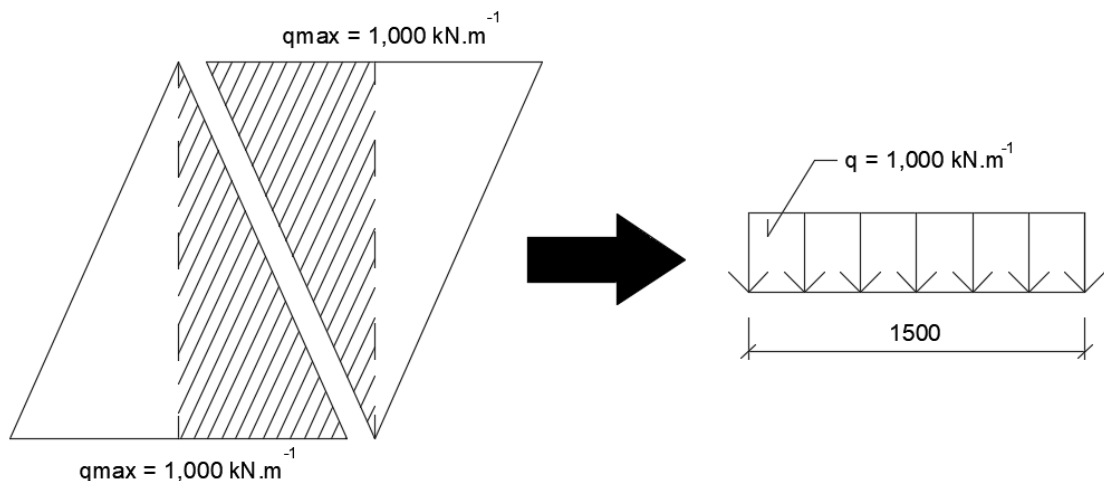
Tabuľa bude prichytená na dvoch priľahlých oceľových prútoch, čo znamená, že každý z nich nesie polku tiaže skla. Z konštrukčného usporiadania vyplýva, že jeden prút je zaťažovaný takouto polkou z každej strany, takže vo výsledku prenáša každý prút celú sklenenú tabuľu.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Nakoľko je navrhnutá tabuľa trojuholníková (Obr. 5.1-14), zaťaženie od vlastnej tiaže kopíruje tento tvar. Na každý prút pôsobia dve zrkadlovo obrátené trojuholníkové zaťaženia. Tie sa však, vďaka princípu superpozície [6], dajú sčítať a výsledná tiaž tabuľ nadobudne charakter rovnomerného zaťaženia. Takto upravené hodnoty sú nakoniec modelované do programu. Práve opísaný postup úpravy zaťaženia je znázornený na Obr. 5.1-15.



Obrázok 5.1-14 - Geometria sklenenej tabule



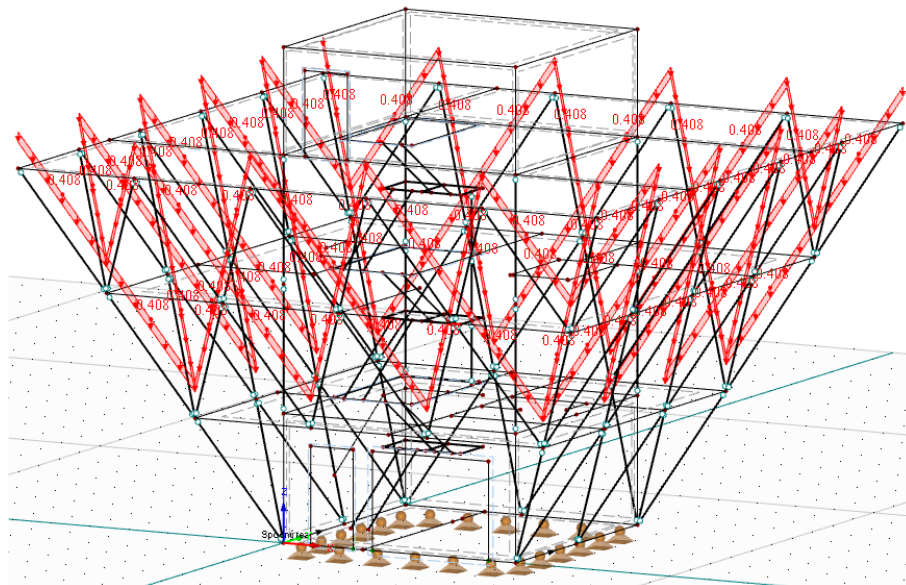
Obrázok 5.1-15 - Sčítanie tiaž sklenených tabuľ

Tabuľka 5.1-10 - Zaťaženie sklenených tabuľ

Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Objem jednej tabule [m ³]	Tiaž [kN]	Rovnomerné zaťaženie na prút [kN.m ⁻¹]
25,000	2×2,500×0,012	1,500	0,408

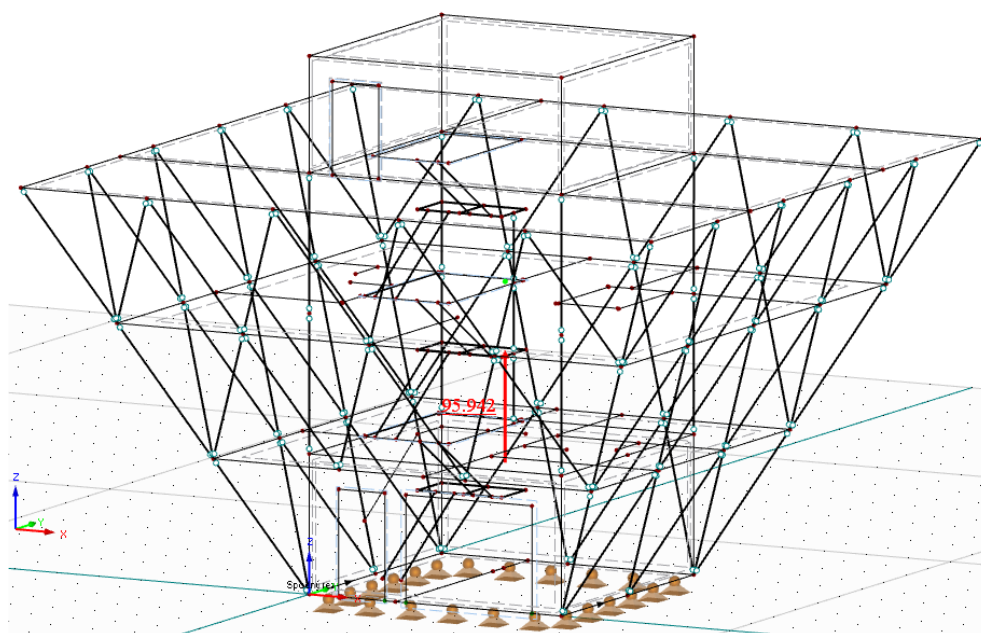
Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Rovnomerné zaťaženie z Tab. 5.1-10 je už prepočítaná hodnota na jednotku dĺžky prútu ocelejovej priehradoviny. Pôsobenie tiaže sklenených tabúl na konštrukciu môžeme vidieť na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 5.1-16 - Zaťaženie od sklenených tabúl

Na celom rodinnom dome sa nachádza 64 sklenených tabúl. Každá pôsobí na konštrukciu tiažou 1,5kN, celková výslednica sa teda rovná 96kN ($64 \times 1,5$). Táto hodnotu musí odpovedať podporovej reakcie v modeli (Obr. 5.1-17).



Obrázok 5.1-17 - Výslednica ZS3

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Hodnota vypočítaná ručne:	96,000 kN
Hodnota z programu:	95,942 kN

Výslednice sa líšia s odchýlkou 0,06%, ktorá je spôsobená zaokrúhlením rovnomerného zaťaženia na tri desatinné miesta. Podrobnejšiemu overovaniu tohto zaťažovacieho stavu sa v práci nebudeme venovať.

5.1.4 ZS4 – TIAŽ SKLADBY STROPOV

V rodinnom dome je navrhnuté podlahové kúrenie podľa [20]. Trubky sú umelohmotné s rozmermi 20×2 mm, takže vnútorný priemer je 18mm. U obytných konštrukcií sa trubky skladajú s rozstupom 150mm, to znamená, že zo 120m trubiek pokryjeme plochu 17,5 m². Pomocou týchto údajov bola spočítaná tiaž vody na jednom metri štvorcovom.

Súčasťou skladby podláh je anhydritová mazanina. Je navrhnutá z dôvodu menšieho tepelného odporu, čo robí podlahové kúrenie efektívnejším. Jedná sa teda o liatu anhydritovú podlahu.

V práci sa vyskytujú dve rôzne skladby stropov, ktoré sa však líšia len najvrchnejšou vrstvou. Jedna skladba je navrhnutá s plávajúcou laminátovou podlahou, nachádzajúca sa najmä v obytných izbách. V ostatných priestoroch je použitá keramická dlažba.

Pri navrhovaní konkrétnych skladieb a jednotlivých vrstiev sme použili [11][12][15]. Skladby sú rozpísané v Tab. 5.1-11 a 5.1-12 s konkrétnymi hrúbkami a výpočtom celkového zaťaženia na strop.

VÝPOČET TIAŽE VODY NA 1m²:

- vstupné údaje:
 - vnútorný priemer trubky = 18 mm
 - zo 120 m trubky → 17,5 m²
- obsah trubky:
 - $S = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{0,018^2}{4} = 2,545 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,2545 \text{ dm}^2$
- objem vody v 1m trubky:
 - $V = 0,2545 \text{ dm}^3 = 0,2545 \text{ l}$
- tiaž vody:
 - $0,2545 \text{ l} = 0,2545 \text{ kg} \rightarrow 0,002545 \text{ kN.m}^{-3}$

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

- dĺžka trubky na 1m²:
 - trojčlenka $\rightarrow \frac{1(\text{m}^2)}{17,5(\text{m}^2)} \times 120(\text{m}) = 6,857 \text{ m}$
- tiaž vody na 1m²:
 - $0,002545 \times 6,857 = \mathbf{0,018 \text{ kN.m}^{-2}}$

Tabuľka 5.1-11 - Skladba stropu s laminátovou plávajúcou podlahou

Vrstva	Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Hrúbka vrstvy [m]	Plošné zaťaženie [kN.m ⁻²]
Omietka	20,000	0,015	0,300
Tepelná izolácia	0,200	0,150	0,030
Podlahové kúrenie (voda+príslušenstvo)	–	–	0,028
Anhydrit. mazanina	22,000	0,070	1,540
Nivelačný materiál	23,000	0,007	0,161
Lam. pláv. podlaha (+fólia)	–	0,008	0,072
CELKOM			2,131

Tabuľka 5.1-12 - Skladba stropu s keramickou dlažbou

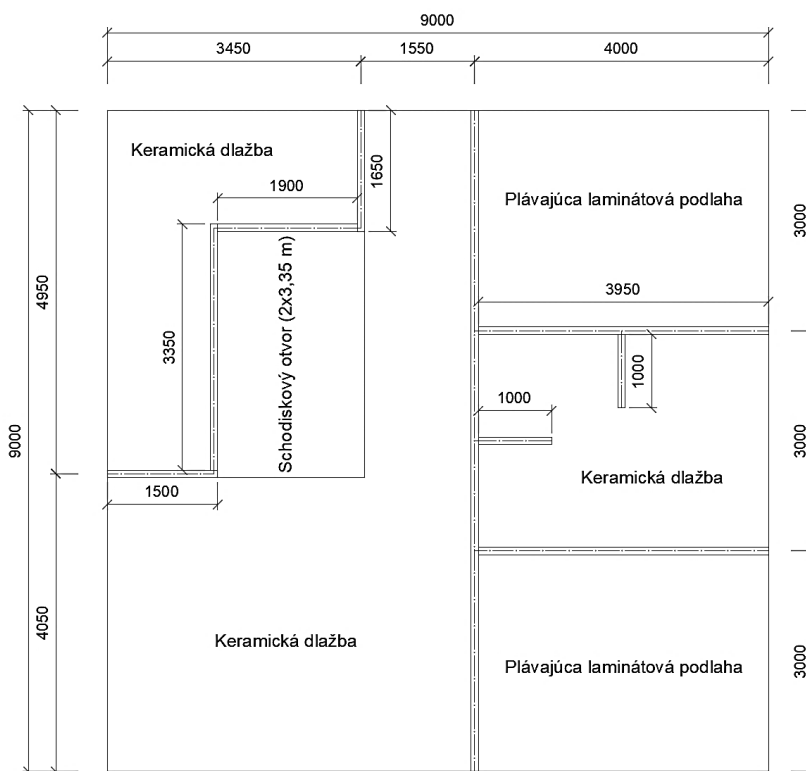
Vrstva	Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Hrúbka vrstvy [m]	Plošné zaťaženie [kN.m ⁻²]
Omietka	20,000	0,015	0,300
Tepelná izolácia	0,200	0,150	0,030
Podlahové kúrenie (voda+príslušenstvo)	–	–	0,028
Anhydrit. mazanina	22,000	0,070	1,540
Cementové lepidlo	23,000	0,010	0,230
Keramická dlažba	23,000	0,008	0,184
CELKOM			2,312

Ani v jednej tabuľke sa nenachádza samotná tiaž stropnej konštrukcie. Samotný strop tvorí nosnú konštrukciu, ktorej tiaž je zahrnutá v ZS1. Tento zaťažovací stav teda charakterizuje ostatné stále zaťaženie pôsobiace na stropy.

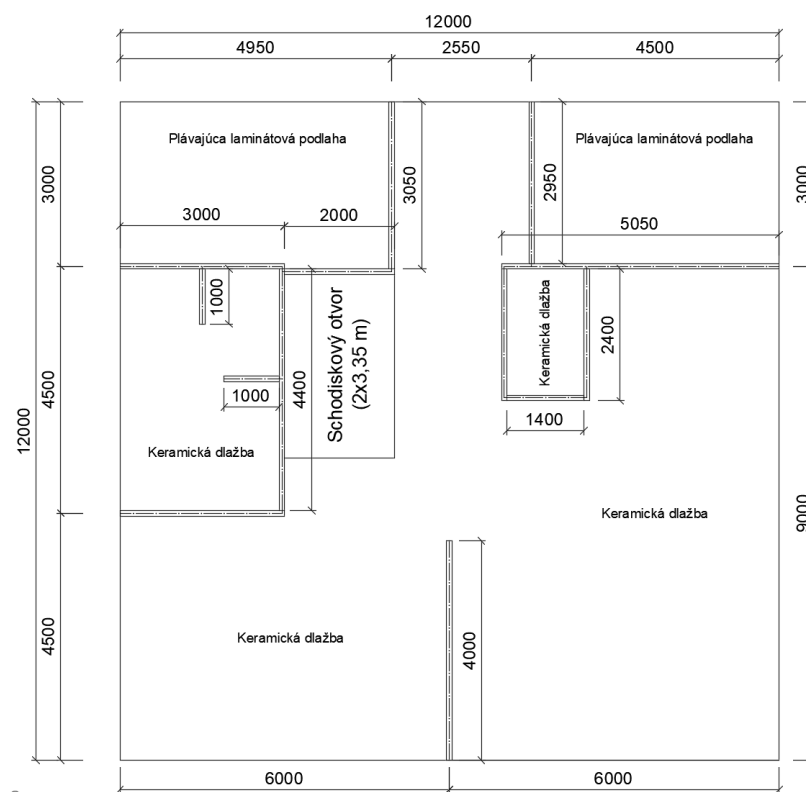
To, kde je aká skladba použitá je znázornené na Obr. 5.1-18 a 5.1-19. Ide o zjednodušené pôdorysy prvého a druhého poschodia. V garáži a vrchnej menšej budove je na celých plochách použitá skladba s keramickou dlažbou. V Tab. 5.1-13 je ručne spočítaná výslednica

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

zaťažovacieho stavu, ktorá bude porovnaná s podporovou reakciou programu.



Obrázok 5.1-18 - Skladba stropov na prvom poschodí

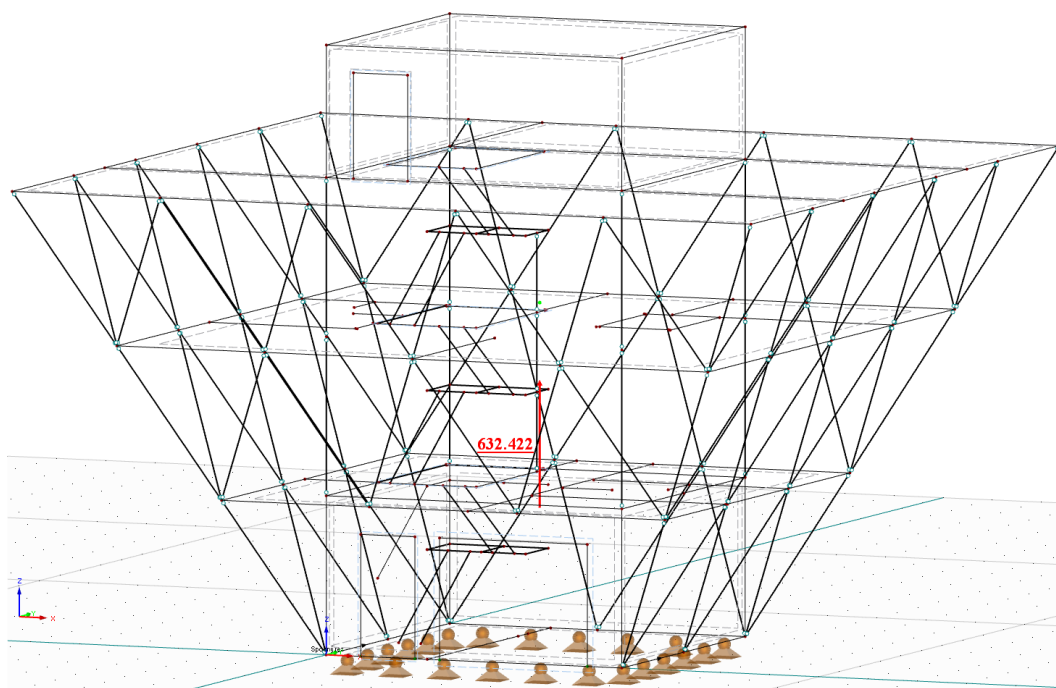


Obrázok 5.1-19 - Skladba stropov na druhom poschodí

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 5.1-13 - Zaťaženie od skladby stropov

Druh podlahy	Zaťažovacia plocha [m^2]	Plošné zaťaženie [$kN \cdot m^{-2}$]	Tiaž [kN]
Keram. dlažba	36,000	2,312	83,232
Keram. dlažba	30,060	2,312	69,499
Pláv. lam. podlaha	12,000	2,131	25,572
Pláv. lam. podlaha	12,000	2,131	25,572
Keram. dlažba	12,000	2,312	27,744
Keram. dlažba	10,378	2,312	23,994
Keram. dlažba	27,922	2,312	64,556
Pláv. lam. podlaha	15,050	2,131	32,072
Pláv. lam. podlaha	13,500	2,131	28,769
Keram. dlažba	3,600	2,312	8,323
Keram. dlažba	13,275	2,312	30,692
Keram. dlažba	91,875	2,312	212,415
CELKOM			632,440



Obrázok 5.1-20 - Výslednica ZS4

Hodnota vypočítaná ručne:

632,440 kN

Hodnota z programu:

632,422 kN

Chyba medzi obidvomi výslednicami tentokrát nevznikla skoro žiadna. Odchýlka nedosahuje ani tri tisíciny percenta, takže zaťaženie je namodelované správne. Chyba vznikla iba zaokrúhlením plôch a tiaž

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

v ručnom výpočte. Z dôvodu rozsahu práce sa opäť bližšiemu overovaniu nebudeme venovať.

5.1.5 ZS5 – TIAŽ NENASÝTENEJ ZELENEJ STRECHY

V modeli rodinného domu sú navrhnuté celkom tri rôzne konštrukcie plochej strechy. V prípade prvej strechy, na vrchnej menšej budove, sa jedná o extenzívnu vegetačnú strechu. Tá vyžaduje minimálnu údržbu a z hľadiska dostupnosti nie je vhodná na pestovanie akýchkoľvek väčších kríkov či tráv.

V prípade terasy ide o strechu intenzívnu, ktorá slúži ako záhrada a vyžaduje teda zložitejšiu údržbu. Z hľadiska využívania je na terase navrhnutá taktiež vydláždená plocha, slúžiaca aj ako chodník.

Všetky tri skladby a nimi vyvolané zaťaženie si rozoberieme v nasledujúcom texte osobitne. Konkrétne skladby vegetačných striech boli prevzaté z [13]. Pri vydláždených plochách bola využitá konštrukcia zelenej strechy, kde vegetácia a vrchná vrstva substrátu boli nahradené dlažbou pokladanou do štrku [22].

VRCHNÁ STRECHA:

Tabuľka 5.1-14 - Zaťaženie od nenasýtenej extenzívnej vegetačnej strechy typu A2

Vrstva	Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Hrúbka vrstvy [m]	Plošné zaťaženie [kN.m ⁻²]
Omietka	20,000	0,015	0,300
Konštrukcia	43,000 [kg.m ⁻²]	–	0,430
Substrát	6,000	1,1×0,120	0,792
Rozchodníková rohož	15kg.2,2m ²	–	0,068
CELKOM			1,590

Tiaž a skladba konštrukcie pod vrstvou substrátu bola prevzatá z [13]. V skladbe strechy bol použitý substrát extenzívny DEK [17] a rozchodníková rohož DEK S5 [14]. Hrúbka substrátu je z dôvodu uľahnutia materiálu navýšená o 10%.

Nakoľko sa jedná o nenasýtenú strechu, všetky objemové či plošné tiaže boli volené v minimálnych hodnotách a to z dôvodu kombinácie so zaťažením vetra. Pre maximálny zvislý účinok nebude mať tento stav vplyv,

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

nakoľko je dopredu zrejmé, že nasýtená strecha vyvolá väčšie zaťaženie. Bližšie sa tomu budeme venovať v kapitole 6 – Kombinácie zaťaženia.

TERASA – ZÁHRADA:

Hlavným rozdielom intenzívnej a extenzívnej vegetačnej strechy je hrúbka substrátu. Vidíme, že pri skladbe intenzívnej strechy figuruje výrazne hrubšia vrstva. To vychádza z požiadaviek nasadenej vegetácie, nakoľko na terase musíme zabezpečiť vhodné podmienky na pestovanie napríklad ovocných kríkov.

Pri tejto skladbe bol použitý substrát intenzívny DEK [18] a trávnikový koberec DEK TR K 20 [14]. Hrúbka substrátu je opäť z dôvodu uľahnutia navýšená a tabuľkové hodnoty boli volené rovnakým postupom ako v predchádzajúcom prípade.

Tabuľka 5.1-15 - Zaťaženie od nenasýtenej intenzívnej vegetačnej strechy typu A7

Vrstva	Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Hrúbka vrstvy [m]	Plošné zaťaženie [kN.m ⁻²]
Omietka	20,000	0,015	0,300
Konštrukcia	87,500 [kg.m ⁻²]	–	0,875
Substrát	4,500	1,1×0,500	2,475
Trávnikový koberec	20,000 [kg.m ⁻²]	–	0,020
CELKOM			3,670

TERASA – VYDLÁŽDENÁ PLOCHA:

Tabuľka 5.1-16 - Zaťaženie od nenasýtenej vydláždenej plochy

Vrstva	Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Hrúbka vrstvy [m]	Plošné zaťaženie [kN.m ⁻²]
Omietka	20,000	0,015	0,300
Konštrukcia	87,500 [kg.m ⁻²]	–	0,875
Substrát	4,500	1,1×0,300	1,485
Štrk	15,000	(0,150 + 0,050)	3,000
Dlažba	16kg×2,8ks.m ⁻²	–	0,448
CELKOM			6,108

Základné vrstvy intenzívnej vegetačnej strechy sú navrhnuté po celej ploche terasy. Pre pokladanie dlažby bol vynechaný trávnikový koberec

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

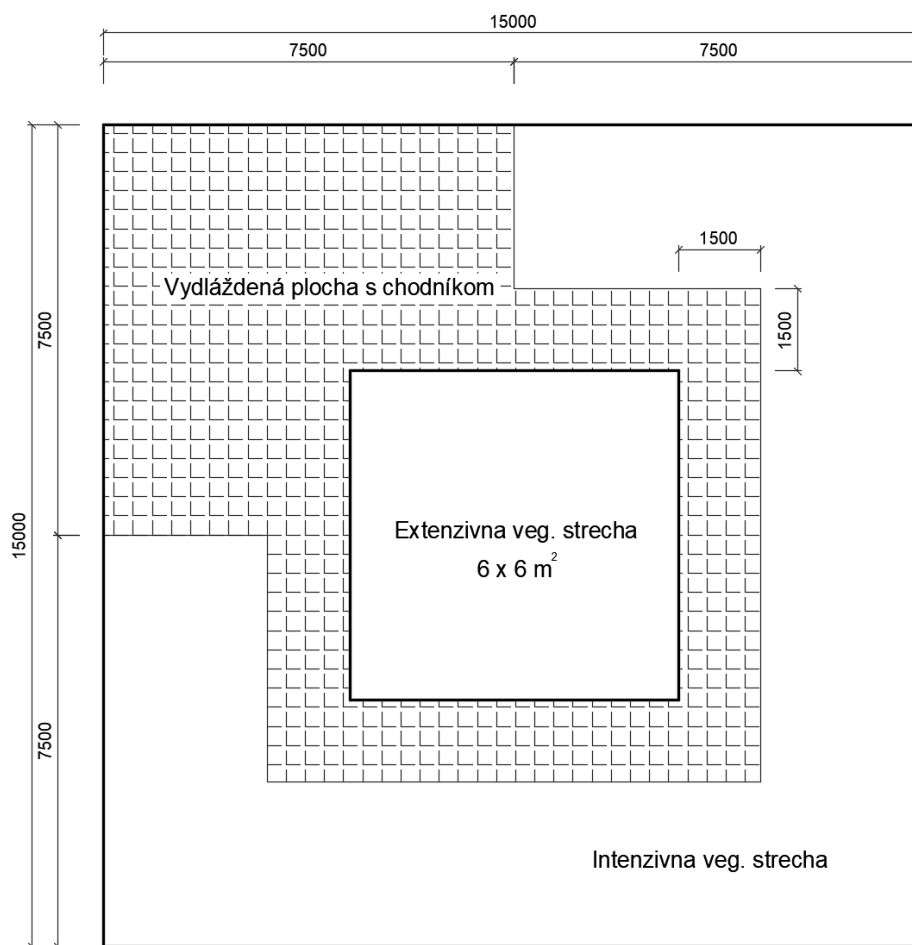
a časť substrátu. Hrúbka substrátu sa zmenšila tak, aby vrstva štrku bola s okolitým terénom približne v rovine. Pre výpočet tiaže od dlažby bol vybraný konkrétny typ dlažby podľa [21]

Pokladanie dlažby na vrstvu substrátu má výhodu v prípadnej reorganizácii plôch terasy. Navrhnutá plocha s dlažbou (Obr. 5.1-21) nie je fixne určená, dá sa kdekoľvek premiestniť a starú plochu môže nahradiť po doplnení substrátu opäť vegetačná strecha.

Účinok nenasýtených striech na konštrukciu je spočítaná a zapísaná v nasledujúcej tabuľke.

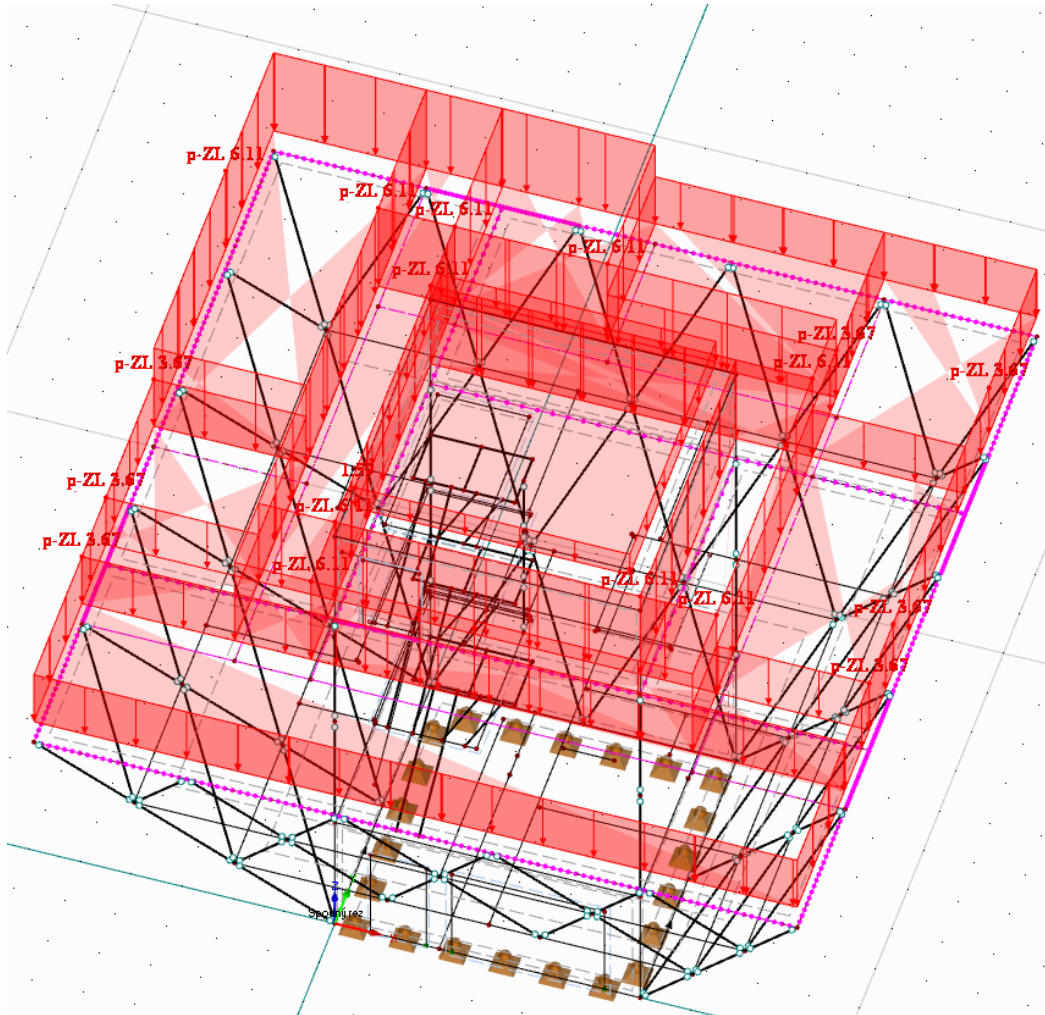
Tabuľka 5.1-17 - Zaťaženie od nenasýtených zelených striech

Typ strechy	Plocha [m^2]	Ploš. zaťaž. [$kN \cdot m^{-2}$]	Tiaž [kN]
Extenzívna	36,000	1,590	57,240
Vydĺždená	81,000	6,108	494,748
Intenzívna	108,000	3,670	396,360
CELKOM			948,348

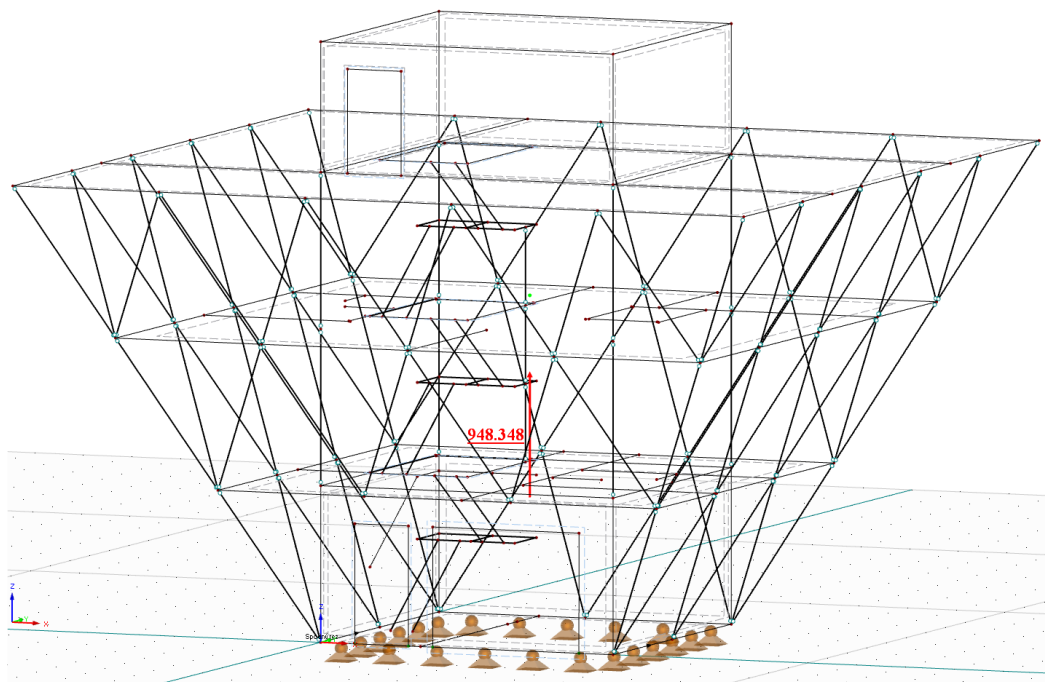


Obrázok 5.1-21 - Dispozičné riešenie zelenej strechy

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.1-22 - Tiaž zelenej strechy



Obrázok 5.1-23 - Výslednica ZS5

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Hodnota vypočítaná ručne: **948,348 kN**

Hodnota z programu: **948,348 kN**

Pretože pri ručnom výpočte nedochádzalo k žiadnemu zaokrúhleniu, nakoľko hodnoty vychádzali na tri desatinné miesta presne, výslednice sa zhodujú.

5.1.6 ZS6 – TIAŽ NASÝTENEJ ZELENEJ STRECHY

Tiaž nasýtenej vegetačnej strechy uvažujeme pre dosiahnutie maximálneho zvislého účinku na konštrukciu. Svojou podstatou ide však o kópiu predchádzajúceho zaťažovacieho stavu s rozdielom objemových tiaž substrátu. Ten, po nasýtení vodou dosahuje výrazne väčších hodnôt. Pri výpočtoch zaťaženia je tiež počítané s prípadnou nasadenou vegetáciou, ktorej objemová tiaž je odhadovaná.

Tabuľka 5.1-18 - Zaťaženie od nasýtenej extenzívnej vegetačnej strechy typu A2

Vrstva	Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Hrúbka vrstvy [m]	Plošné zaťaženie [kN.m ⁻²]
Omietka	20,000	0,015	0,300
Konštrukcia	43,000 [kg.m ⁻²]	–	0,430
Substrát	11,500	1,1×0,120	1,518
Rozchodníková rohož	22kg.2,2m ⁻²	–	0,100
CELKOM			2,348

Tabuľka 5.1-19 - Zaťaženie od nasýtenej intenzívnej vegetačnej strechy typu A7

Vrstva	Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Hrúbka vrstvy [m]	Plošné zaťaženie [kN.m ⁻²]
Omietka	20,000	0,015	0,300
Konštrukcia	87,500 [kg.m ⁻²]	–	0,875
Substrát	13,000	1,1×0,500	7,150
Trávníkový koberec + vegetácia	35,000 [kg.m ⁻²]	–	0,035
CELKOM			8,360

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 5.1-20 - Zaťaženie od nasýtenej vydláždenej plochy

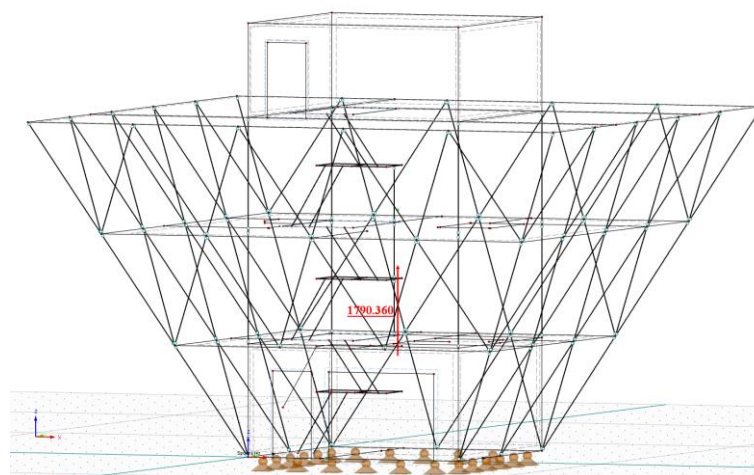
Vrstva	Objemová tiaž [kN.m ⁻³]	Hrúbka vrstvy [m]	Plošné zaťaženie [kN.m ⁻²]
Omietka	20,000	0,015	0,300
Konštrukcia	87,500 [kg.m ⁻²]	–	0,875
Substrát	13,000	1,1×0,300	4,290
Štrk	20,000	(0,150 + 0,050)	4,000
Dlažba	16kg×2,8ks.m ⁻²	–	0,448
CELKOM			9,913

Tabuľka 5.1-21 - Zaťaženie od nasýtených zelených striech

Typ strechy	Plocha [m ²]	Ploš. zaťaž.[kN.m ⁻²]	Tiaž [kN]
Extenzívna	36,000	2,348	84,528
Vydláždená	81,000	9,913	802,953
Intenzívna	108,000	8,360	902,880
CELKOM			1790,361

V Tab. 5.1-20 je zväčšená aj objemová tiaž štrku. Tiaž opäť vychádza z [3] a je volená ako maximálna hodnota.

Namodelovanie v programe je totožné s nenasýtenými strechami, odlišné sú len hodnoty zaťaženia. Na Obr. 5.1-24 môžeme vidieť výslednicu ZS6, ktorá je porovnávaná s ručným výpočtom.



Obrázok 5.1-24 - Výslednica ZS6

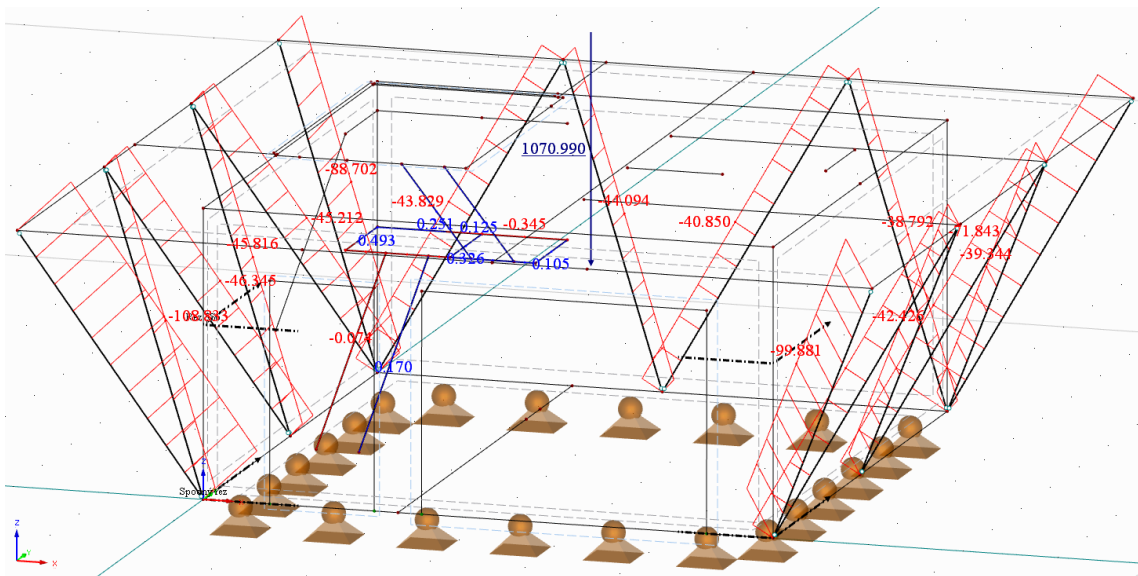
Hodnota vypočítaná ručne: **1790,361 kN**

Hodnota z programu: **1790,360 kN**

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Konštrukcia je zaťažená iba vo vrchnej časti, takže tiaž striech prenášajú všetky tri podlažia. To znamená, že vnútorné sily na prvkoch, v ktoromkoľvek reze prechádzajúcim priehradovou konštrukciou, sa musia po transformácii a sčítaní rovnať celkovej výslednici zaťažovacieho stavu.

Rez budeme opäť priestorom garáže, a to konkrétne vo výške 1,8m. Nosnými prvkami budú teda oceľové prúty, zvislé steny a schodiskové nosníky.



Obrázok 5.1-25 - Vnútorné sily od ZS6

V nasledujúcej tabuľke budú teda figurovať hodnoty na nosných prvkoch pre daný rez.

Tabuľka 5.1-22 - Vnútorné sily od ZS6

NETRA.	TRANS.	Schodiskový nosník	
0,251	0,032		
0,125	0,016		

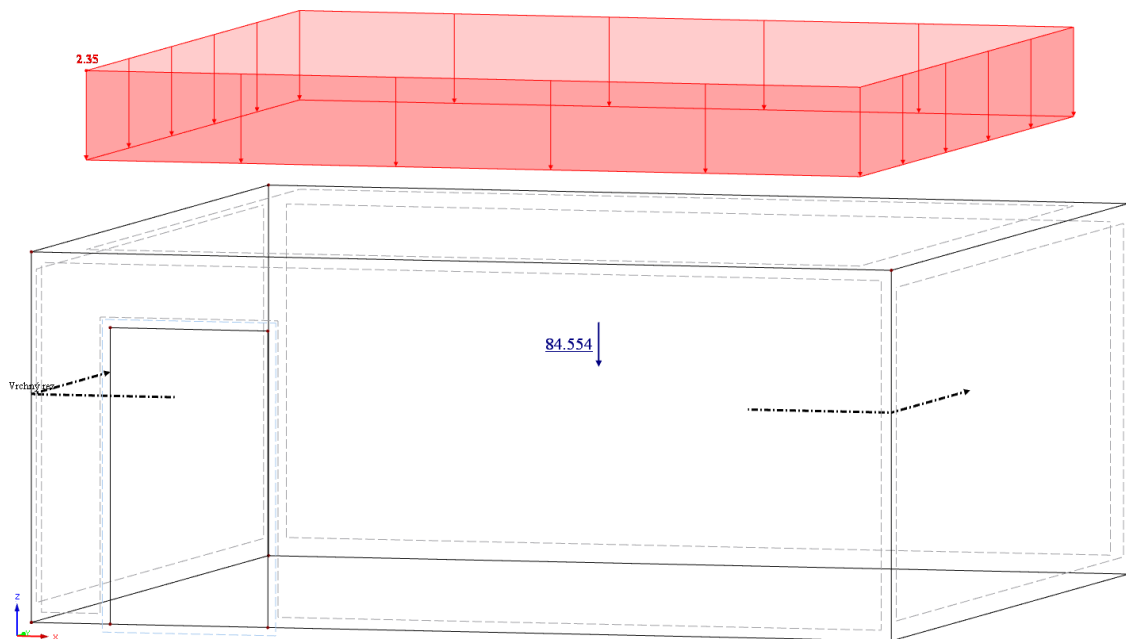
ROHY	NETRANSF.	TRANSEF.	MEDZIEAHLĚ	NETRANSF.	TRANSEF.	NETRANSF.	TRANSEF.	NETRANSF.	TRANSEF.
	-108,833	-88,867		-44,427	-36,274	-43,829	-35,786	-39,344	-32,124
-88,702	-72,430	-46,345	-37,840	-44,094	-36,002	-40,059	-32,708		
-71,843	-58,663	-45,816	-37,408	-40,850	-33,353	-42,426	-34,640		
-99,881	-81,558	-45,212	-36,915	-38,792	-31,673	-41,497	-33,882		
	-301,518	CELKOM		-148,437	-136,815	-133,353			

Výslednica rezu		SUMA CELKOM	
	-1070,990		-1791,065

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Pomocou vnútorných síl nám výslednica ZS6 vyšla 1791,065kN. Túto hodnotu možno považovať za správnu, nakoľko sa od skutočnej výslednici líši chybou 0,04%.

Keby sme viedli rez napríklad stenami vrchnej budovy, jeho výslednica by mala odpoved' tiaži extenzívnej vegetačnej strechy. Tá, z Tab.5.1-21, dosahuje hodnotu 84,528kN.

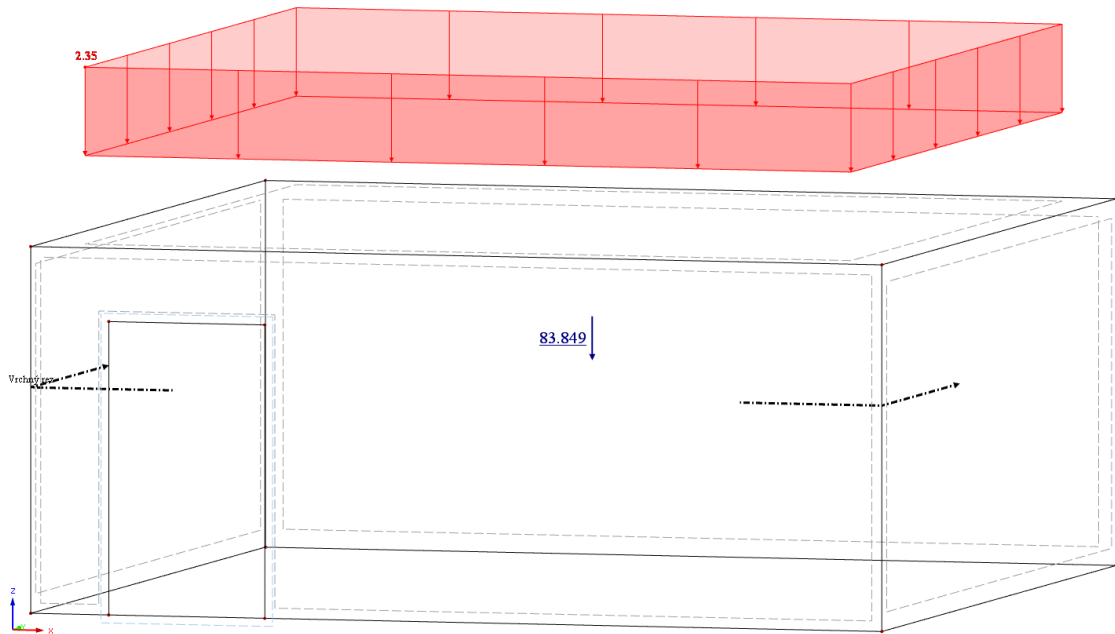


Obrázok 5.1-26 - Výslednica od extenzívnej vegetačnej strechy

Na prvý pohľad sa hodnoty výsledníc takmer zhodujú. Menšia odchýlka je spôsobená hustotou siete KP, ktorej problematiku sme načrtli už v kapitole 5.1.1 – ZS1. Pre výpočet výslednice na Obr. 5.1-26 sme použili konečný prvok s dĺžkou 0,250 m a vidíme, že chyba dosahuje 0,03%. Takéto hodnoty odchýlky sú v celej práci akceptované a považované za zanedbateľné.

S takýmto výsledkom by sme už mohli byť spokojní, no ukážeme si, že pri zväčšujúcej dĺžke KP, sa má aj odchýlka tendenciu zväčšovať. Na nasledujúcom obrázku máme znázornenú tú istú situáciu, no dĺžka KP je nastavená na 0,500 m.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.1-27 - Výslednica od extenzívnej vegetačnej strechy s dĺžkou KP 0,500m

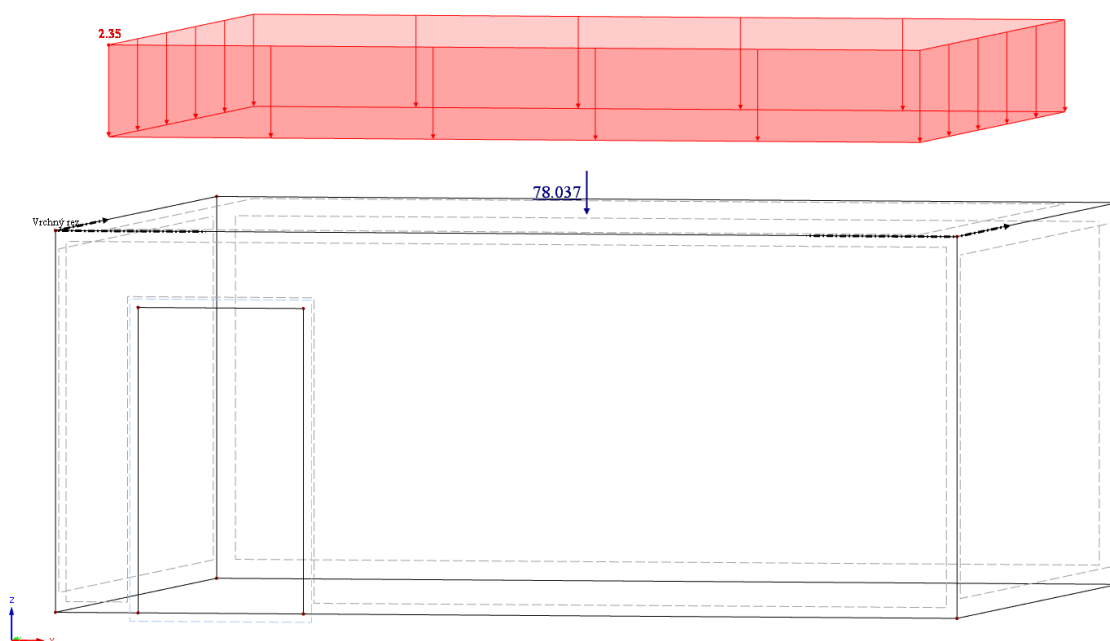
V tomto prípade chyba dosahuje hodnotu až 0,8%, čo je takmer tridsaťnásobne viac. Je teda zrejmé, že pri dostatočne hustej sieti konečných prvkov by sme odchýlku dokázali minimalizovať. K úplnému odstránení chyby by sme teoreticky dospeli pri použití nekonečne malého konečného prvku. To z praktického hľadiska však nie je možné, preto sa obecné akceptujú malé odchýlky.

Pri reze stenami sme však narazili na ďalší problém, ktorý už odchýlku ovplyvňuje viacej. V rôznych výškach steny sme dostali rôzne výslednice, teoreticky by sa však líšiť nemali. Dôvodom je opäť postup počítania programu.

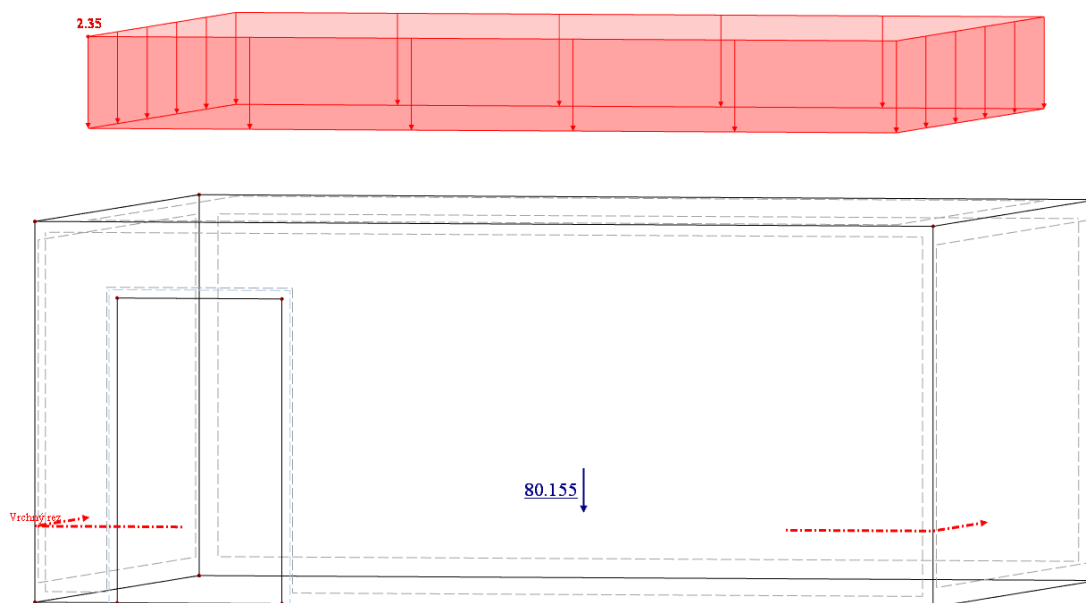
[7] Program pracuje pomocou deformačnej metódy. Prvotne vypočíta deformáciu od zaťaženia, z nej je spočítané napätie na priereze a až z neho sú určené vnútorné sily na prvkoch či plochách. Plošný prvok, ktorým je stena, sa pod tiažou samozrejme nedeformuje rovnomerne, ale kopíruje tvar určitej krivky. To ovplyvňuje hodnoty napätí a tým pádom samotné vnútorné sily.

Napríklad pri vrchole steny, kde je podoprená o strop, je deformácia najmenšia. Výslednica rezu bude teda výrazne menšia, v porovnaní so skutočnosťou. Na nasledujúcich obrázkoch môžeme vidieť hodnoty výsledníc rôznych rezov.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.1-28 - Výslednica rezu pri hornom okraji steny



Obrázok 5.1-29 - Výslednica rezu v dolnej polovici steny

5.1.7 ZS7 – TIAŽ SCHODISKA

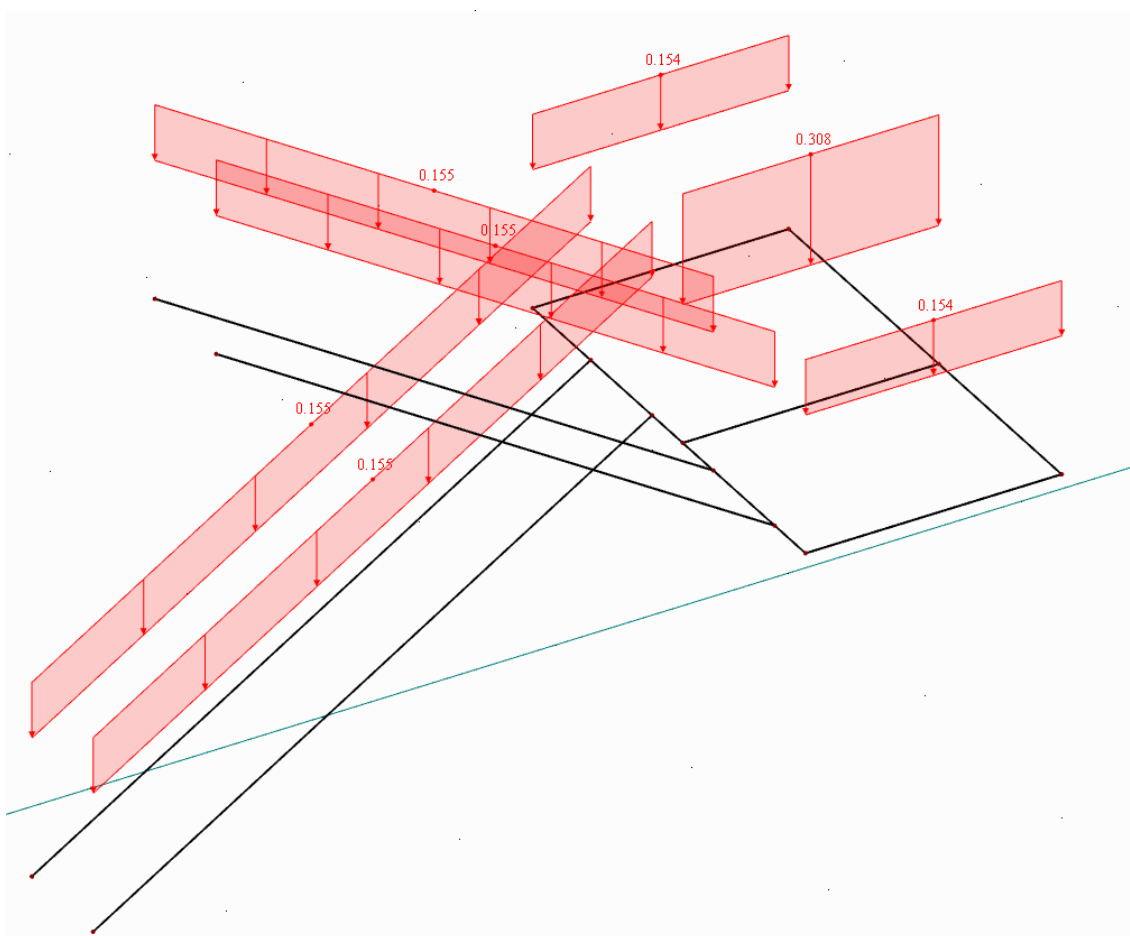
Schodiskové stupne a medzipodesty sú navrhnuté z orechového dreva s typickou objemovou hmotnosťou 685 kg.m^{-3} [19]. Rozmery sú dané výpočtom schodiska, hrúbka stupňov je navrhnutá na 50mm. Zaťaženie od vlastnej tiaže je zhrnuté v nasledujúcich tabuľkách.

GARÁŽ:

Tabuľka 5.1-23 - Tiaž schodiska v garáži

	Počet	Obj. hmotnosť [$kg \cdot m^{-3}$]	Rozmery [m^3]	Tiaž [kN]
Stupne	16	685,000	0,050×0,900×0,300	1,480
Medzipodesta	1	685,000	0,050×1,100×1,800	0,678
CELKOM				2,158

Tiaž medzipodesty je prenášaná primárne tromi oceľovými nosníkmi. Zaťaženie sa rozpočítalo do líniového zaťaženia na tieto prúty. Podesta je podoprená aj v opačnom smere, čo bolo v rámci zjednodušenia ignorované. Stredný nosník má zaťažovaciu šírku 0,9m, krajné 0,45m.



Obrázok 5.1-30 - Tiaž schodiska v garáži

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

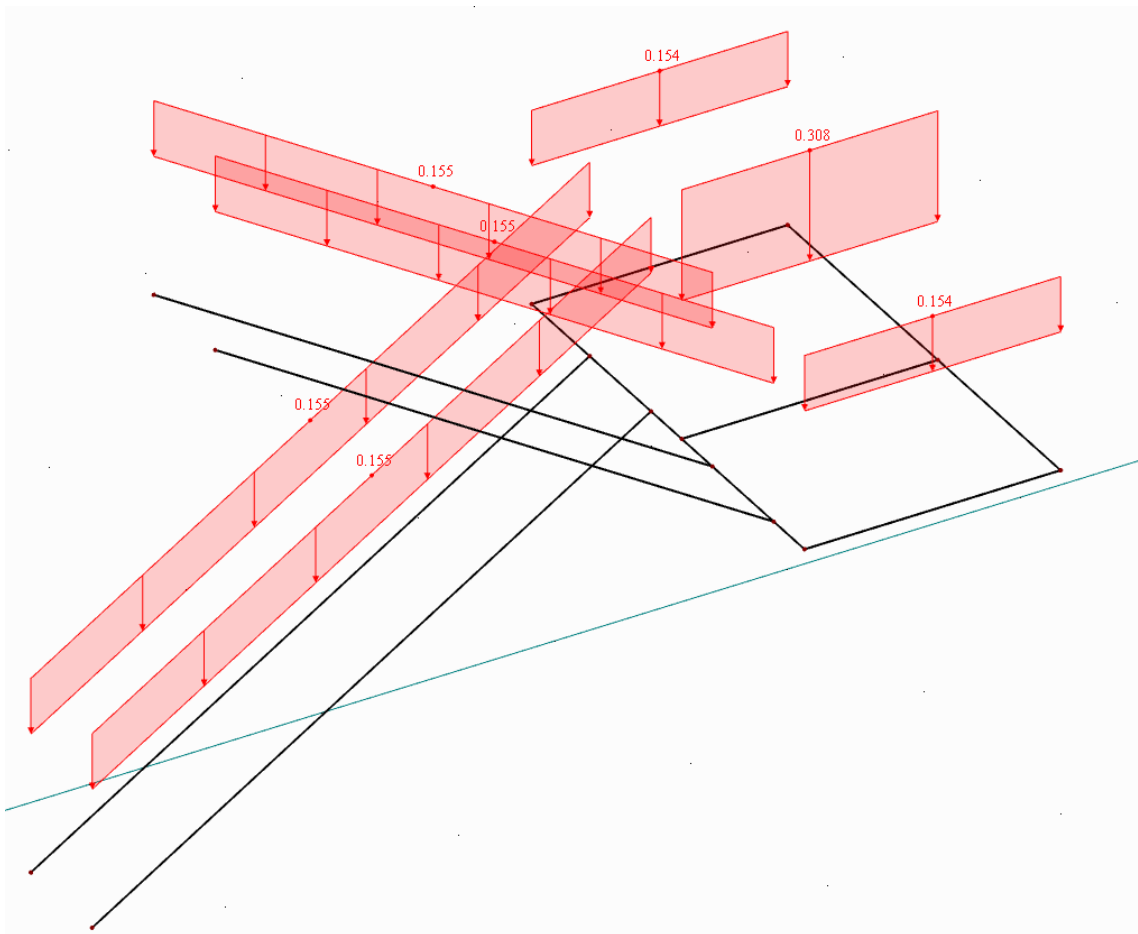
• ZAŤAŽENIE NA JEDNOTLIVÉ PRÚTY MEDZIPODESTY:

- $0,678\text{kN} / (1,100 \times 1,800)\text{m}^2 = 0,343\text{ kN.m}^{-2}$
- $0,343\text{kN.m}^{-2} \times 0,900\text{m} = \mathbf{0,308\text{ kN.m}^{-1}}$
- $0,343\text{kN.m}^{-2} \times 0,450\text{m} = \mathbf{0,154\text{ kN.m}^{-1}}$

Tiaž schodiskových stupňov je prenášaná šikmými, schodiskovými nosníkmi. Výpočet zaťaženia na jeden schodiskový nosník je totožný s predchádzajúcim postupom.

• ZAŤAŽENIE NA JEDEN SCHODISKOVÝ NOSNÍK:

- $1,480\text{kN} / 4 = 0,370\text{ kN}$
- $0,370\text{kN} / 2,830\text{m} = 0,131\text{ kN.m}^{-1} \rightarrow + \text{rezerva pre úchytný systém} = \mathbf{0,155\text{ kN.m}^{-1}}$



Obrázok 5.1-31 - Tiaž schodiska v garáži

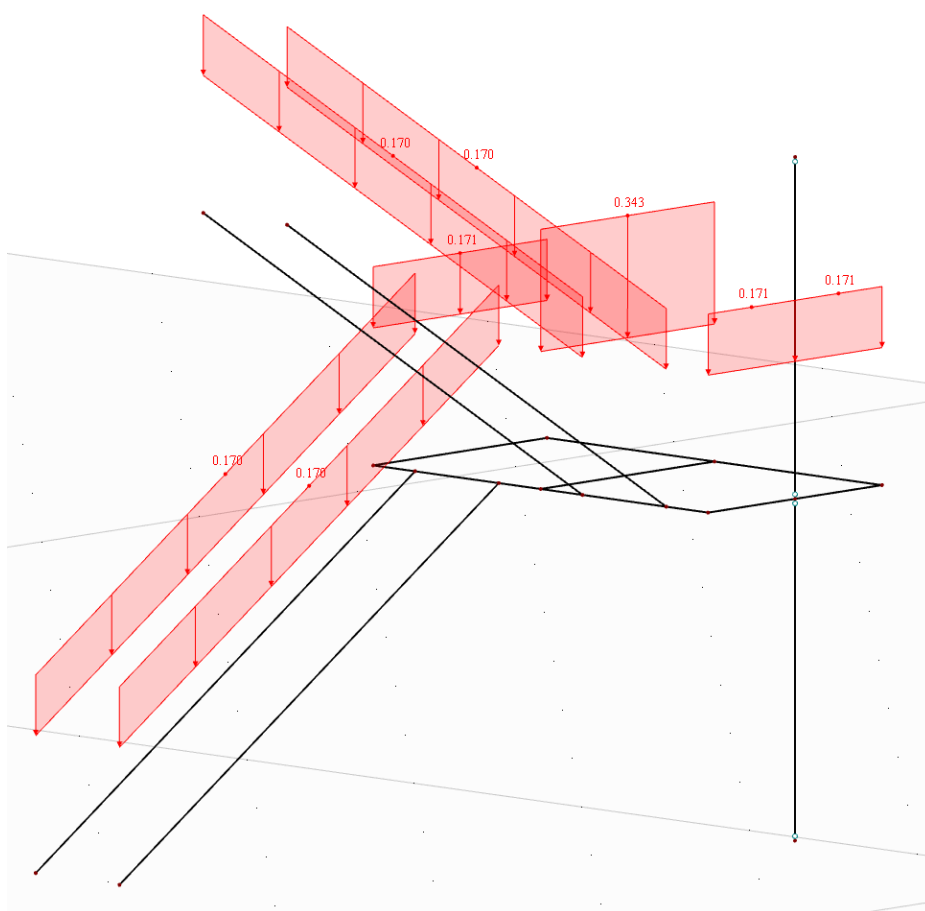
PODLAŽIA:

Tabuľka 5.1-24 - Tiaž schodiska na poschodiach

	Počet	Obj. hmotnosť [kg. m ⁻³]	Rozmery [m ³]	Tiaž [kN]
Stupne	32	685,000	0,050×1,000×0,300	3,288
Medzipodesta	2	685,000	0,050×1,100×2,000	1,507
CELKOM				4,795

- ZAŤAŽENIE NA JEDNOTLIVÉ PRÚTY MEDZIPODESTY:
 - $0,5 \times 1,507\text{kN} / (1,100 \times 2,000)\text{m}^2 = 0,343 \text{ kN.m}^{-2}$
 - $0,343\text{kN.m}^{-2} \times 1,000\text{m} = \mathbf{0,343 \text{ kN.m}^{-1}}$
 - $0,343\text{kN.m}^{-2} \times 0,500\text{m} = \mathbf{0,171 \text{ kN.m}^{-1}}$

- ZAŤAŽENIE NA JEDEN SCHODISKOVÝ NOSNÍK:
 - $3,288\text{kN} / 8 = 0,411 \text{ kN}$
 - $0,411\text{kN} / 2,830\text{m} = 0,145\text{kN.m}^{-1} \rightarrow + \text{rezerva pre úchytný systém} = \mathbf{0,170 \text{ kN.m}^{-1}}$

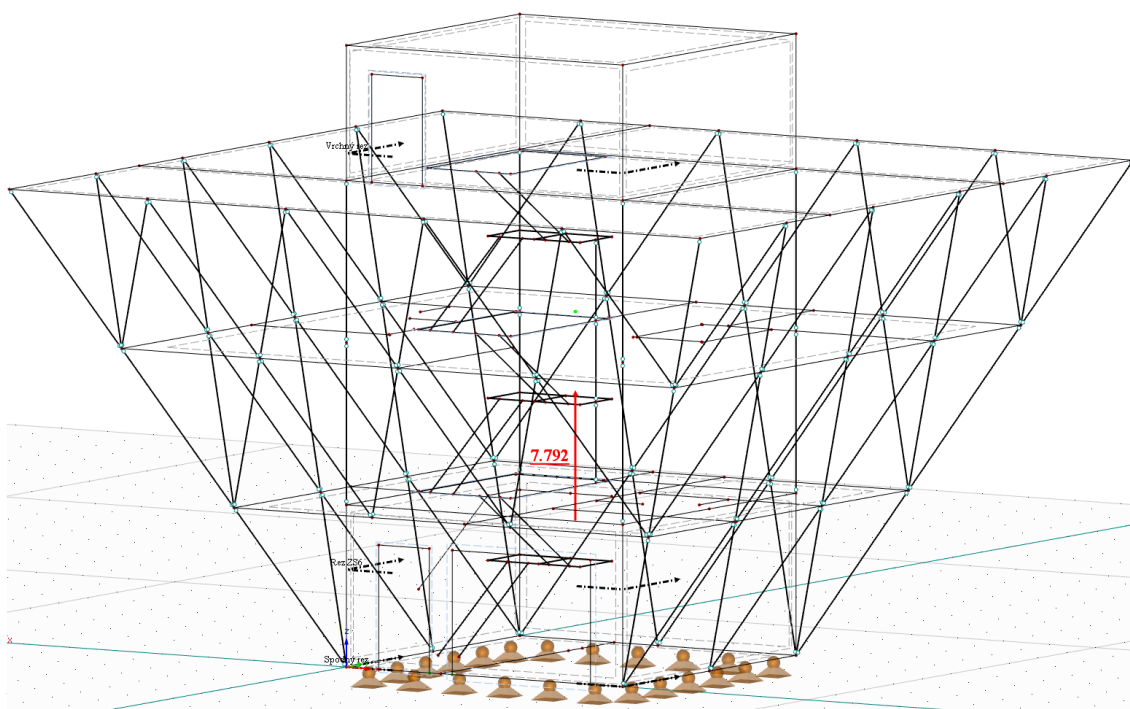


Obrázok 5.1-32 - Tiaž schodiska na poschodiach

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 5.1-25 - Celková tiaž ZS7

	Počet	Dĺžka [m]	Zaťaženie [kN.m ⁻¹]	Tiaž [kN]
Schod. nosník	4	2,830	0,155	1,755
Medzipodesta	1	—	—	0,678
Schod. nosník	8	2,830	0,170	3,849
Medzipodesta	2	—	—	1,507
CELKOM				7,789



Obrázok 5.1-33 - Výslednica ZS7

Hodnota vypočítaná ručne: **7,789 kN**

Hodnota z programu: **7,792 kN**

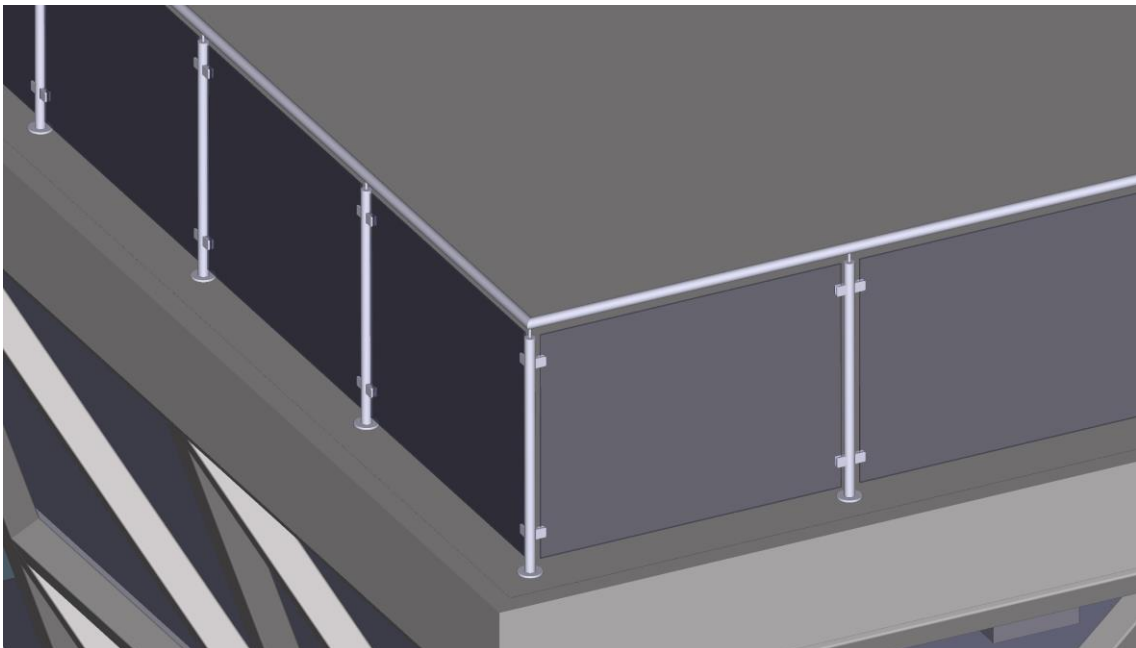
Drobná odchýlka je spôsobená zaokrúhľovaním v tabuľke ručného výpočtu. Overeniu pomocou vnútorných síl sa v tejto podkapitole venovať nebudeme.

5.1.8 ZS8 – TIAŽ ZÁBRADLIA

V rodinnom dome sa nachádzajú celkom dve rôzne konštrukcie zábradlia. V rámci bakalárskej práce sme samotný návrh zábradlia neriešili. Konštrukcie sme prebrali od firmy Strojop s.r.o., ktorej pracovník nám dodal hmotnosť jedného metra konštrukcie. Tá bola prepočítaná na líniové zaťaženie a namodelované do programu.

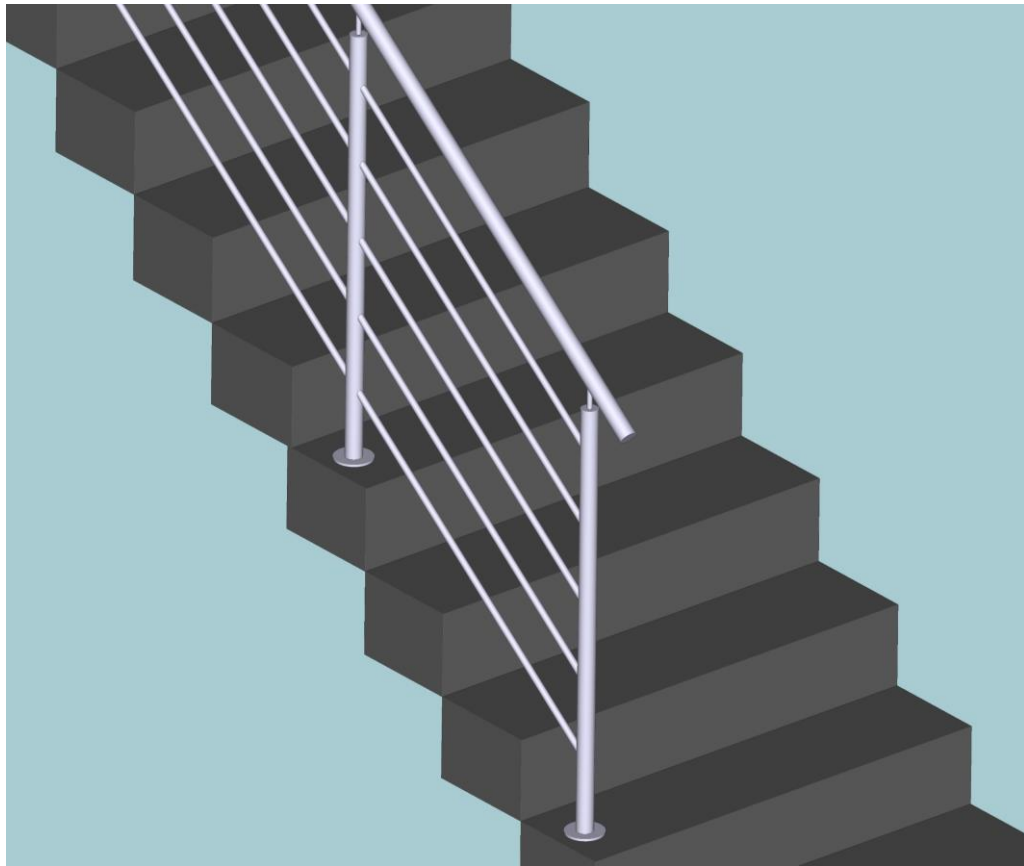
Prvý typ zábradlia je po obvode terasy (Obr. 5.1-34). Ide o nerezovú konštrukciu výšky 1,2m, kde je priestor medzi stĺpmi vyplnený sklenenými tabuľami. Na vrchu prebieha po celom obvode madlo, opäť z antikoru. Dodaná hmotnosť zábradlia bola $30,450\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$, takže konštrukciu sme zaťažili zaokrúhlenou hodnotou $0,305\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$.

Na schodisku sa nachádza podobná konštrukcia zábradlia. Rozdiel je len v tom, že miesto sklenených tabuľ je priestor medzi stĺpkami vyplnený menšími trubkami, rovnobežnými s hlavným madlom (Obr. 5.1-35). Stĺpiky majú v tomto prípade menšie rozpätie. Výška zábradlia je 1,0m. Dodaná hmotnosť konštrukcie bola $13,000\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$, takže zaťaženie nadobúda hodnotu $0,130\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$.

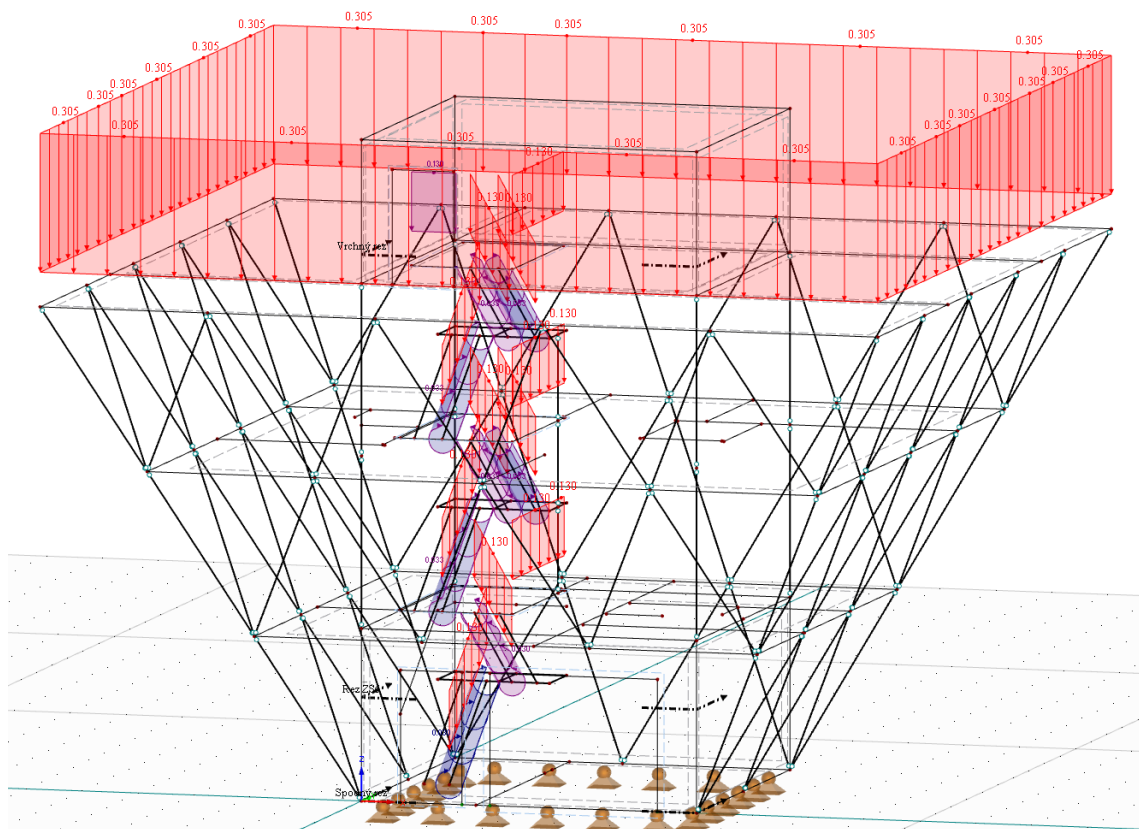


Obrázok 5.1-34 - Konštrukcia zábradlia na terase

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.1-35 - Konštrukcia zábradlia na schodisku



Obrázok 5.1-36 - Zaťaženie tiažou zábradlí

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Na terase je tiaž vymodelovaná pomocou zaťaženia na líniu, nakoľko nie je zaťažený konkrétny prút, ale hranice stropnej konštrukcie. V prípade využitia zaťaženia na prút, by program pri kontrole vyhodil chybové hlásenie. Zaťaženie sa prenáša priamo na betónovú dosku, ktorá ho prerozdeľuje najmä do oceľovej priehradovej konštrukcie. Vzhľadom na umiestnenie zábradlia, budú hlavné nosné stĺpy tentokrát prenášať menšiu časť zaťaženia.

Tiaž od schodiskového zábradlia sa prenáša pomocou stupňov na schodiskové nosníky. Keďže sa zábradlie nenachádza v ose nosníkov, treba namodelovať prídavné momentové zaťaženie od excentricity. Ostatné zábradlie na schodisku je namodelované v ose skutočného pôsobenia, preto žiadne momentové zaťaženie nevzniká.

V prípade garáže pôsobí zaťaženie na excentricite 0,225m, čo vyvolá líniové momentové zaťaženie $0,030\text{kN.m.m}^{-1}$. Na prvom a druhom poschodí je excentricita o niečo väčšia, konkrétne 0,250m, preto momentové zaťaženie nadobúda hodnoty $0,033\text{kN.m.m}^{-1}$.

Ostatné zábradlia na schodisku sú prenášané buď stropnými konštrukciami, alebo medzipodestami. Líniové zaťaženie prechádza priamo osou zábradlia, takže rovnako ako v prípade terasy, ani tu nevzniká žiadne prídavné momentové zaťaženie.

5.2 PREMENNÉ ZAŤAŽENIE

Premenné, alebo úžitkové zaťaženie vzniká na konštrukcii používaním. Ide o akúsi náhradu za zaťaženie od zariadenia miestností a ich využívania. K premennému zaťaženiu patrí aj účinok vetra a snehu na konštrukciu. Týmto stavom sú v práci venované samostatné kapitoly.

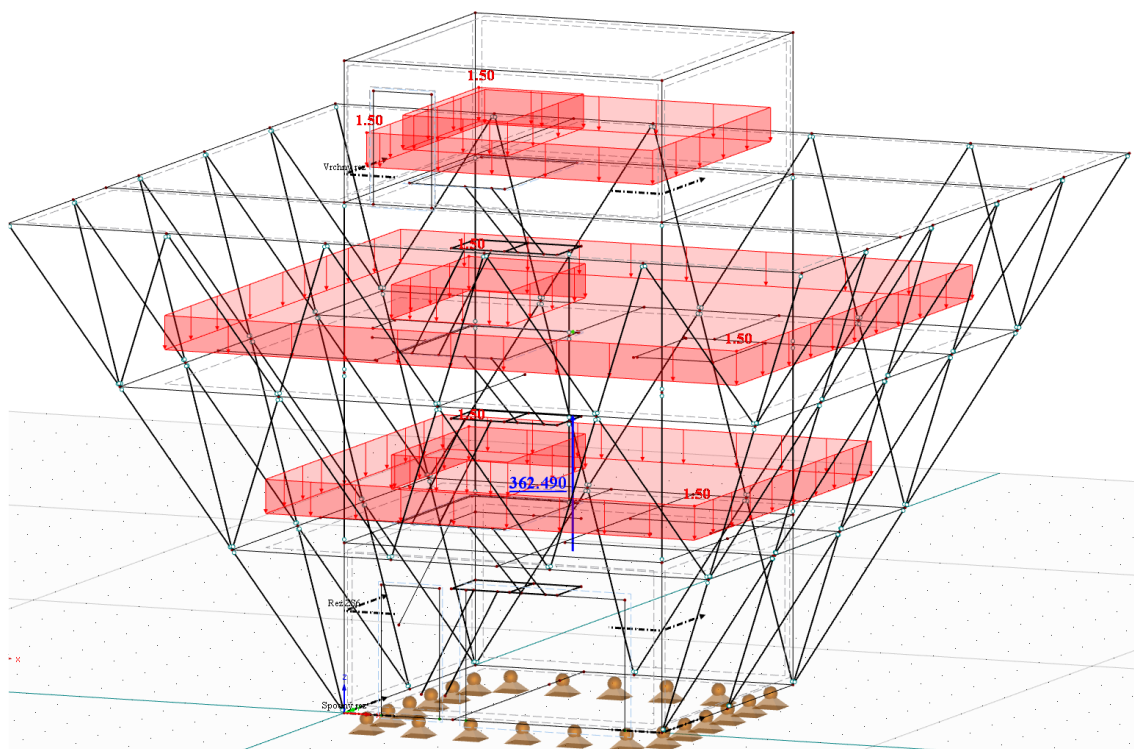
Nasledujúce zaťažovacie stavy sú navrhnuté podľa príslušnej normy [3], spolu s národnou prílohou. Nakoľko sú v norme často uvádzané iba odporúčané rozmedzia zaťaženia, všetky konkrétne hodnoty sú prevzaté práve z národnej prílohy.

Jedná sa o bežné, už spomínané, druhy zaťaženia a v rámci modelovania či vyhodnocovania výsledkov nenarážame na žiadne problémy, ktoré by v kapitole 5.1 – STÁLE ZAŤAŽENIE už neboli spomenuté. Vzhľadom k tejto skutočnosti nebudeme v nasledujúcom texte ďalej bližšie overovať výslednice zaťažovacích stavov.

5.2.1 ZS9 - ZAŤAŽENIE NA STROPY

Rodinný dom je obytnou konštrukciou. Vzhľadom k tomu predstavujú stropy obytné plochy a podľa [3] sa radia do kategórie A. Od tej kategórie sa odvíja doporučené premenné zaťaženie.

V norme [3] je táto hodnota, pre danú kategóriu plochy, stanovená v rozsahu od $1,5\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ až $2,0\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$. V národnej prílohe tejto normy je doporučená hodnota zaťaženia $1,5\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$.

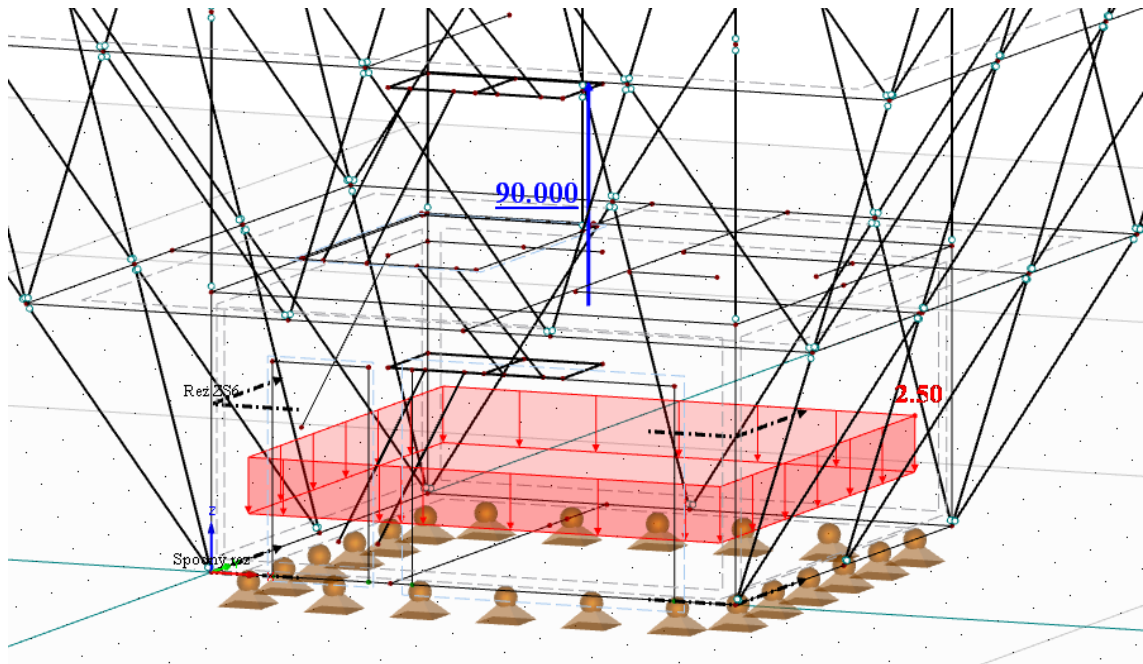


Obrázok 5.2-1 - Zaťaženie a výslednica od ZS9

5.2.2 ZS10 – GARÁŽ

[3] Plocha garáže je zaradená do kategórie dopravných plôch. Konkrétne sa jedná o kategóriu F, kde celková tiaž vozidla nesmie presiahnuť 30kN . Nakoľko je plocha navrhnutá ako jednomiestna garáž pre osobný automobil, obmedzenie 30kN ľahko splňujeme.

Národná príloha normy [3] stanovuje hodnotu plošného zaťaženia pre túto kategóriu na $2,5\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$.



Obrázok 5.2-2 - Zaťaženie a výslednica od ZS10

5.2.3 ZS11 – SCHODISKO

Schodiská patria do už spomínanej kategórie A obytných plôch a národná príloha normy [3] odporúča hodnotu zaťaženia $3,0\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$.

Plošné zaťaženie pôsobí sa stupne, ktoré ho prenášajú do hlavných nosných prvkoch schodiska. Prepočet zaťaženia na tieto prvky bol ukázaný už v kapitole 3.1.7.

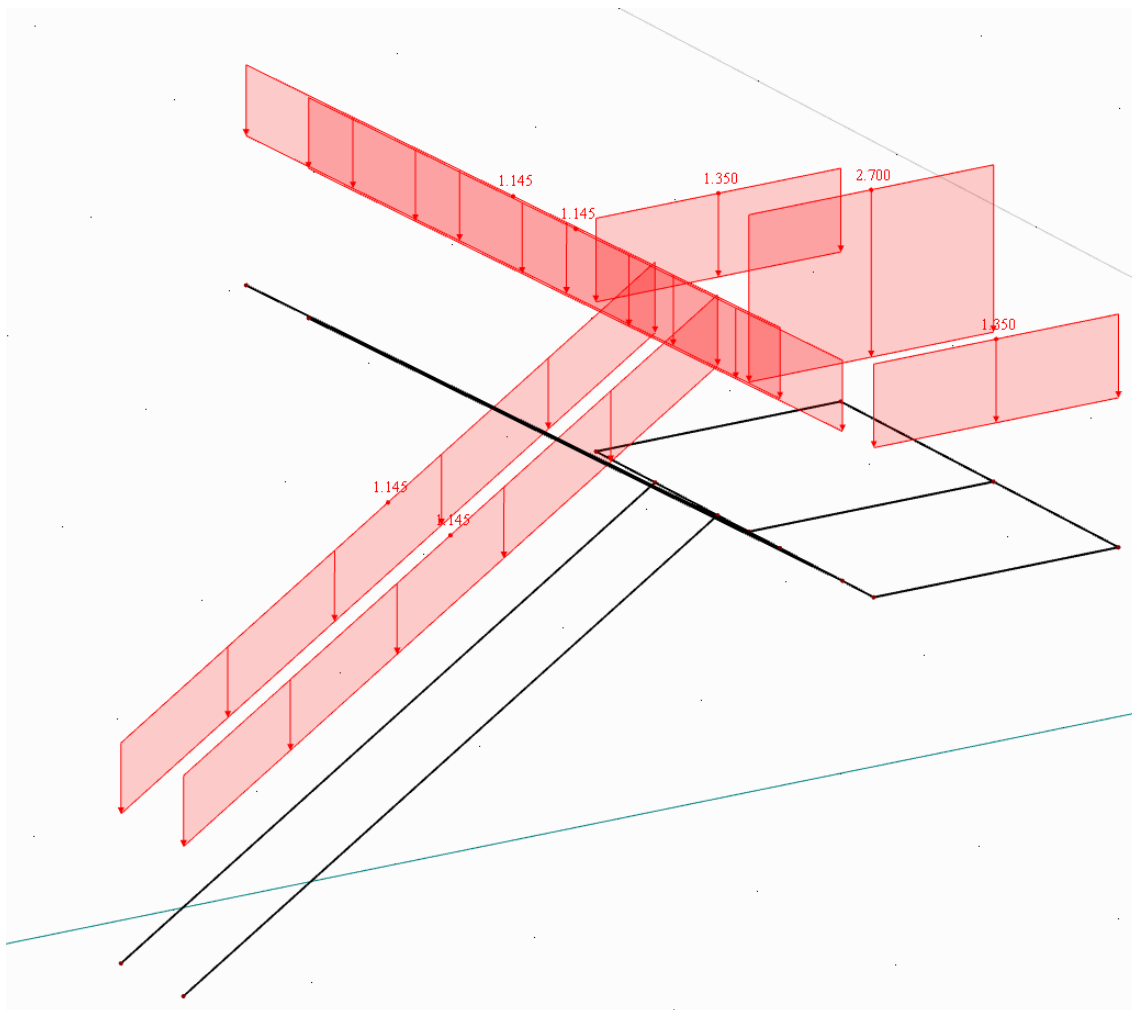
Tabuľka 5.2-1 - Schodisko v garáži

	Počet	Ploš. zaťaženie [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$]	Plocha [m^2]	Tiaž [kN]
Stupne	16	3,000	0,900×0,300	12,960
Medzipodesta	1	3,000	1,100×1,800	5,940
CELKOM				18,900

- ZAŤAŽENIE NA JEDNOTLIVÉ PRÚTY MEDZIPODESTY:
 - $3,000\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}\times 0,900\text{m} = \mathbf{2,700\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}}$
 - $3,000\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}\times 0,450\text{m} = \mathbf{1,350\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}}$

- ZAŤAŽENIE NA JEDEN SCHODISKOVÝ NOSNÍK:
 - $12,960\text{kN} / 4 = 3,240\text{ kN}$
 - $3,240\text{kN} / 2,830\text{m} = \mathbf{1,145\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}}$

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.2-3 - Schodisko v garáži

Tabuľka 5.2-2 - Schodiská na poschodiach

	Počet	Ploš. zaťaženie [kN.m ⁻²]	Plocha [m ²]	Tiaž [kN]
Stupne	32	3,000	1,000×0,300	28,800
Medzipodesta	2	3,000	1,100×2,000	13,200
CELKOM				42,000

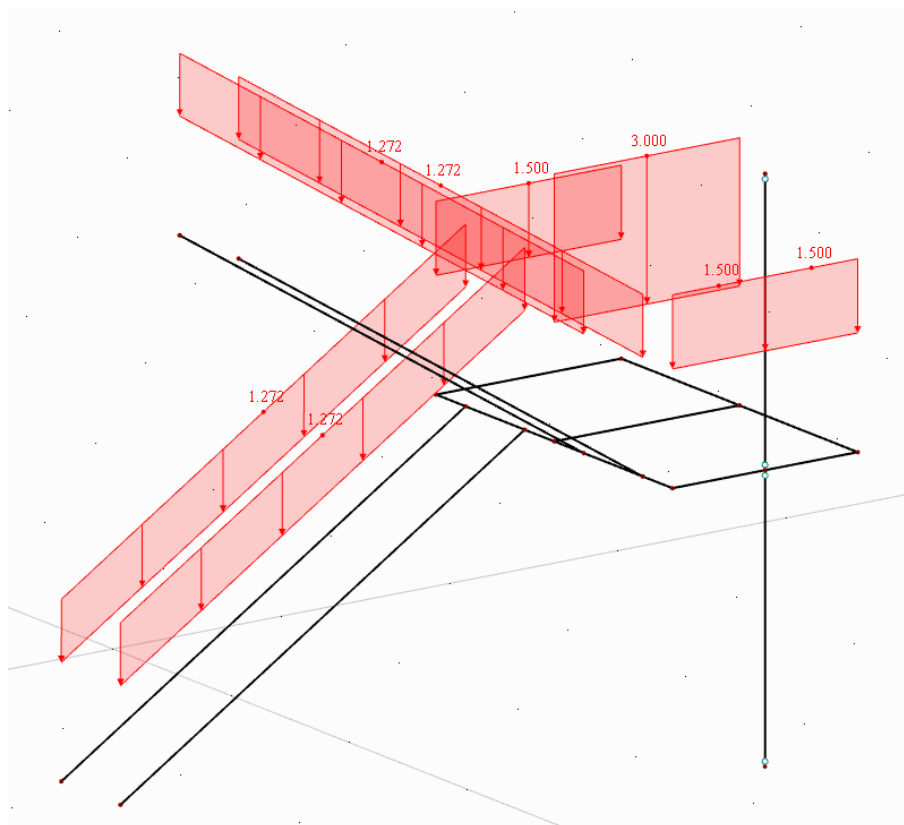
- ZAŤAŽENIE NA JEDNOTLIVÉ PRÚTY MEDZIPODESTY:

- $3,000\text{kN.m}^{-2} \times 1,000\text{m} = \mathbf{3,000\text{ kN.m}^{-1}}$
- $3,000\text{kN.m}^{-2} \times 0,500\text{m} = \mathbf{1,500\text{ kN.m}^{-1}}$

- ZAŤAŽENIE NA JEDEN SCHODISKOVÝ NOSNÍK:

- $28,800\text{kN} / 8 = 3,600\text{ kN}$
- $3,600\text{kN} / 2,830\text{m} = \mathbf{1,272\text{ kN.m}^{-1}}$

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

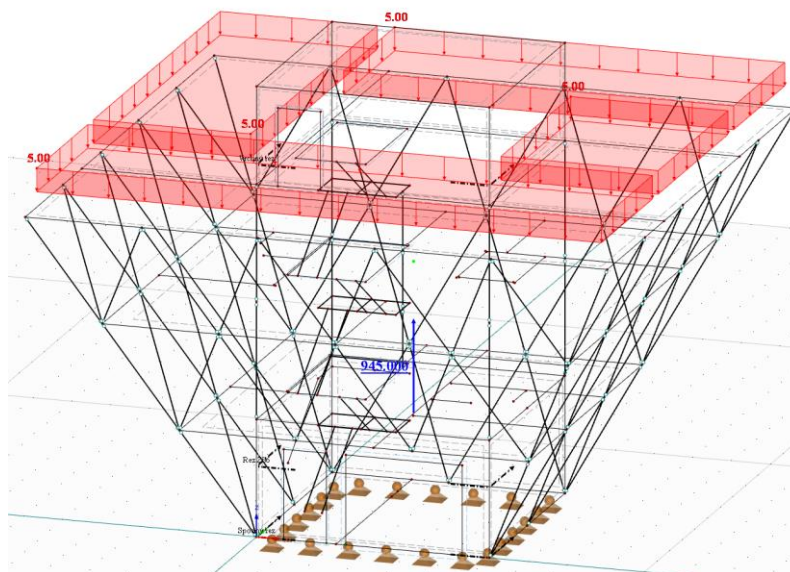


Obrázok 5.2-4 - Schodiská na poschodiach

5.2.4 ZS12 – POCHÔDZNA STRECHA

Podľa [3] sa pochôdzne strechy radia podľa používania do kategórií A až C. V našom prípade je strecha využitá ako terasa, čo odpovedá kategórií C5.

Pre kategóriu C5 je v národnej prílohe doporučená hodnota $5\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$.

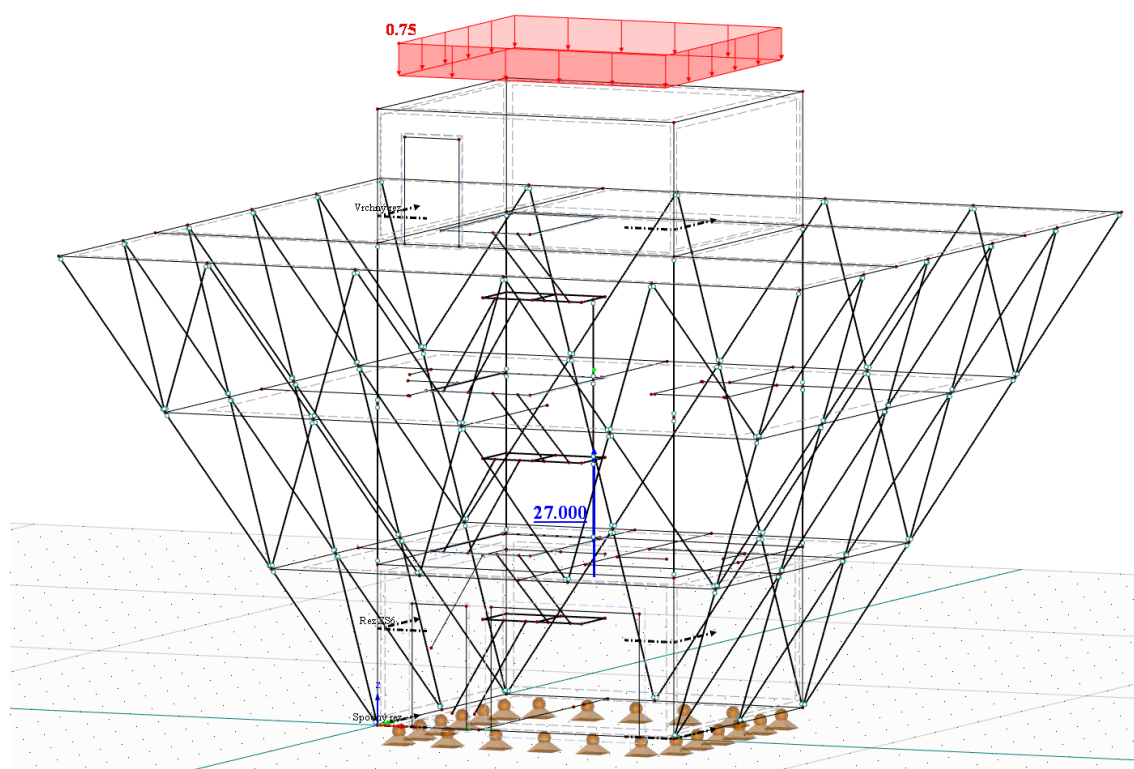


Obrázok 5.2-5 - Zaťaženie s výsledica ZS12

5.2.5 ZS13 – NEPOCHÔDZNA STRECHA

Nepochôdzna strecha je navrhnutá na vrchnej budove. Aj keď sa využívanie tejto plochy vylučuje, musí byť zaťažená určitou premennou hodnotou. Toto plošné zaťaženie charakterizuje napríklad uvažovanú údržbu, opravu strechy či realizáciu samotnej vegetačnej strechy a s ňou spojenú údržbu.

Takýto typ strechy patrí do kategórie H [3]. Hodnotu zaťaženia opäť preberieme z národnej prílohy. Stanovená hodnota plošného zaťaženia je $0,75\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$.



Obrázok 5.2-6 - Zaťaženie a výslednica ZS13

5.2.6 ZS14 – VODOROVNÉ ZAŤAŽENIE ZÁBRADLIA

Posledným premenným zaťažením tohto typu je vodorovné priamkové zaťaženie na zábradlia. Podľa [3] má pôsobiť maximálne vo výške 1,2m a jeho doporučená hodnota sa stanoví z národnej prílohy.

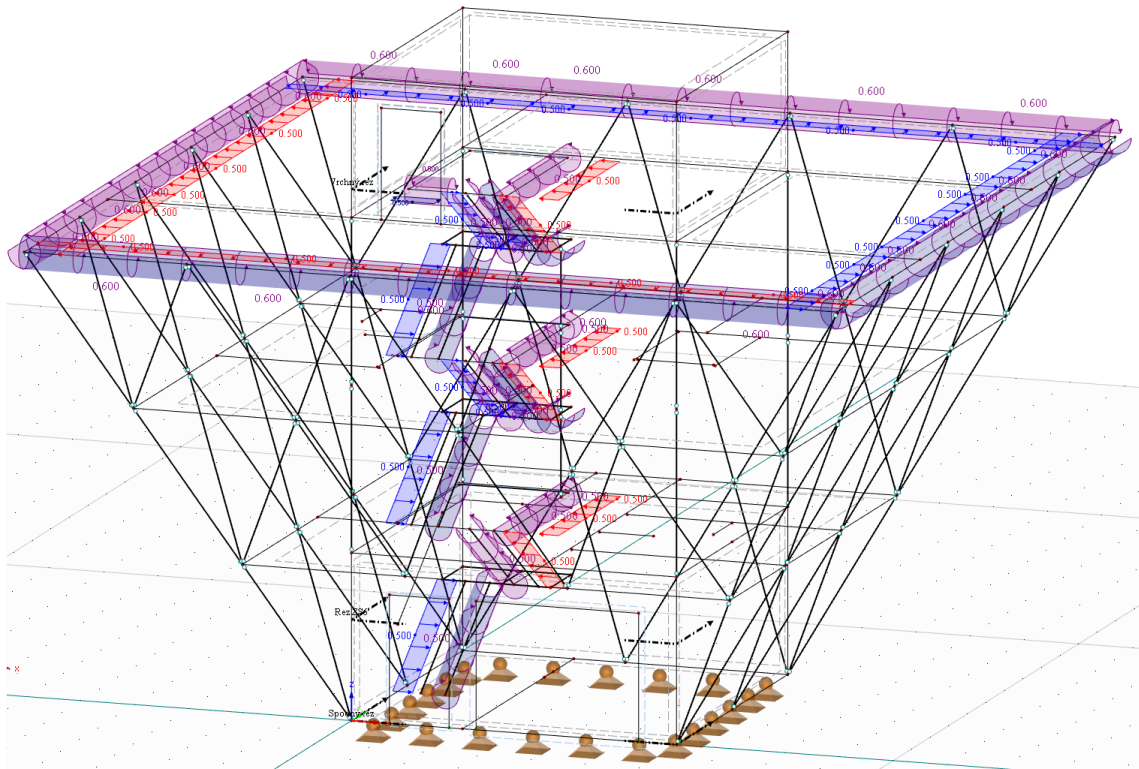
Keďže zábradlia nemáme v programe namodelované, nemožno ich zaťažiť a preto tak, ako v kapitole 3.1.8, budeme zaťažovať priamo nosné prvky, na ktoré by sa cez zábradlie dané zaťaženie prenieslo. Budú to hrany

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

stropov a jednotlivé nosníky schodiskových ramien a medzipodést. Prenášanie bude uvažované identicky ako v kapitole 3.1.7 a 3.1.8.

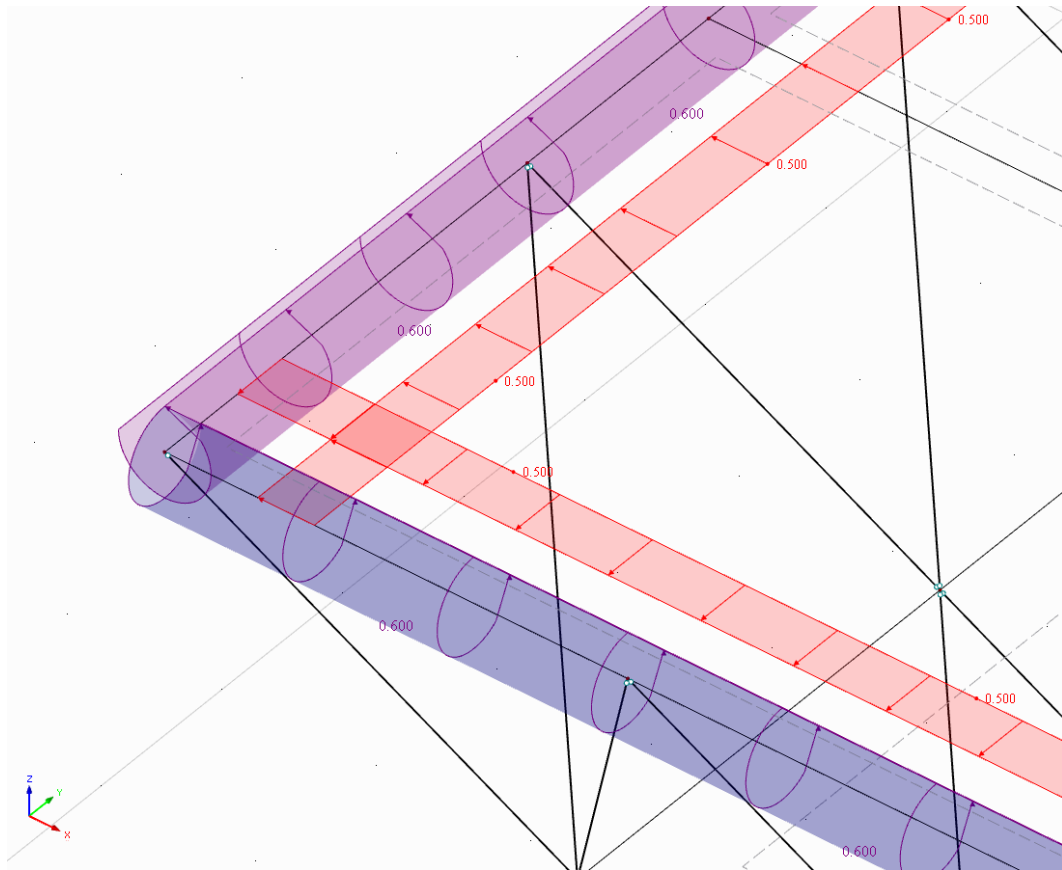
Tým, že zaťaženiu zrušíme pôvodnú excentricitu, čiže ním pohneme do osy nosného prvku, vylúčime ohybové namáhanie, ktoré tam v skutočnosti pôsobí. Túto chybu odstránime pridaním momentového líniového zaťaženia.

Hodnota priamkového zaťaženia stanovená z národnej prílohy má hodnotu $0,5\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$. V prípade zábradlia na terase je pôvodná excentricita 1,2m, takže prídavné momentové zaťaženie sa rovná $0,6\text{kN}\cdot\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$. Schodiskové zábradlie je vo výške 1,0m, čo znamená že tu nadobúda momentové zaťaženie hodnotu $0,5\text{kN}\cdot\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$.

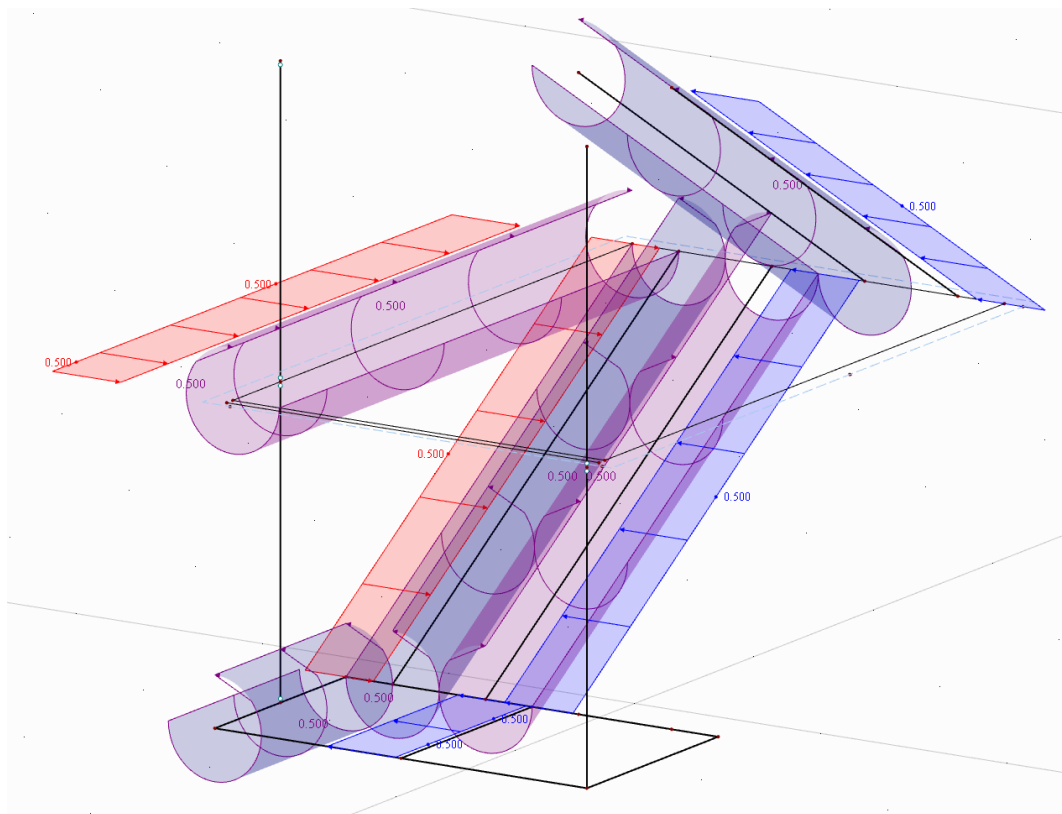


Obrázok 5.2-7 - Zaťaženie ZS14

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.2-8 - Detail na zaťaženie terasy - ZS14



Obrázok 5.2-9 - Detail na zaťaženie schodiska - ZS14

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Detailnejšie zábery na zaťaženie boli vytvorené z dôvodu neprehľadnosti celkového zaťaženia.

Norma [3] okrem vodorovného zaťaženia na zábradlia uvažuje aj priamkové zaťaženie na deliace steny, ktoré nadobúda rovnakých hodnôt a riadi sa rovnakými pravidlami.

V rámci zjednodušenia sa toto zaťaženie v práci vôbec neuvažuje. Takýto typ zaťaženia by zohrával väčšiu rolu pri veľmi ľahkých konštrukciách, napríklad prázdnych halách, kde aj takto malé vodorovné zaťaženie, spolu s účinkom vetru, môže nepriaznivo ovplyvňovať statiku budovy. Naša konštrukcia má dostatočne veľkú vlastnú tiaž na to, aby sme si takéto zjednodušenie mohli dovoliť.

Okrem toho je v konštrukcii toľko deliacich stien (priečok), že modelovanie tohto zaťažovacieho stavu by viedlo k veľkému počtu kombinácií a teda k zbytočnému skomplikovaniu práce bez významnejšieho ovplyvnenia výsledkov.

5.3 ZAŤAŽENIE SNEHOM

Účinkom zaťaženia snehu na konštrukciu sa špeciálne venuje európska norma [4], podľa ktorej sa v nasledujúcej kapitole postupovalo. Dodržiavali sa všetky odporúčené hodnoty národnej prílohy. V rámci mapy snehových oblastí je stavba umiestnená do III. oblasti.

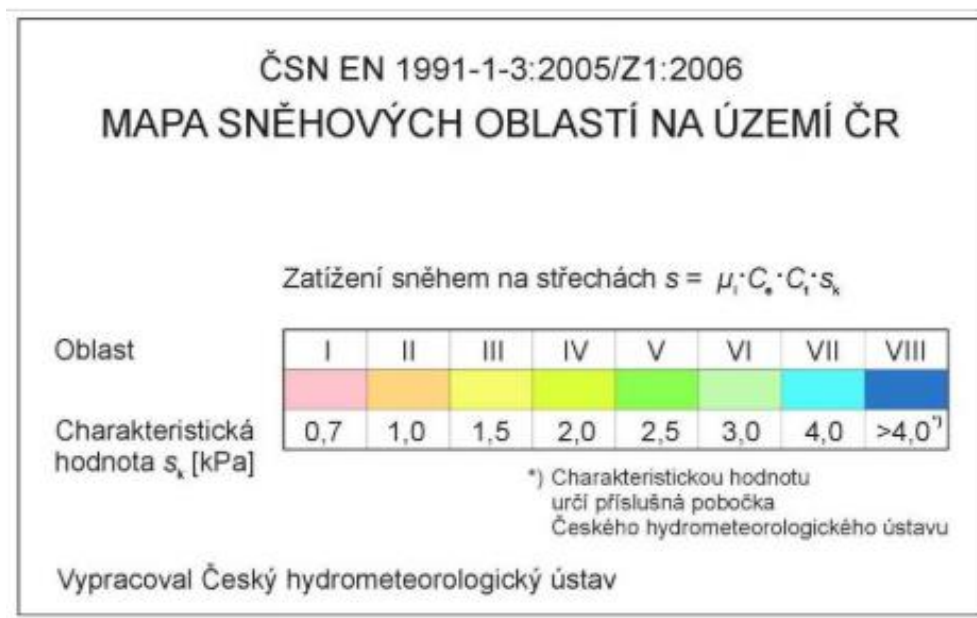
V práci je venovaných účinkom snehu celkom 5 zaťažovacích stavov. Prvý uvažuje iba zaťaženie snehom bez účinku vetru. Sneh sa v tomto prípade nijak nepreskupí a konštrukciu zaťažuje plošným rovnomerným zaťažením.

V ostatných 4 prípadoch uvažujeme spolupôsobenie snehu a vetru. Vietor nám vyvolá tvorbu návejov a zapríčiní nerovnomerné zaťaženie na konštrukciu. Zaťažovacie stavy sú rozdelené podľa smeru vetra.

5.3.1 ZS15 – SNEH POČAS BEZVETRIA

ZATAŽENIE PRE TRVALÉ A DOČASNÉ NÁVRHOVÉ SITUÁCIE:

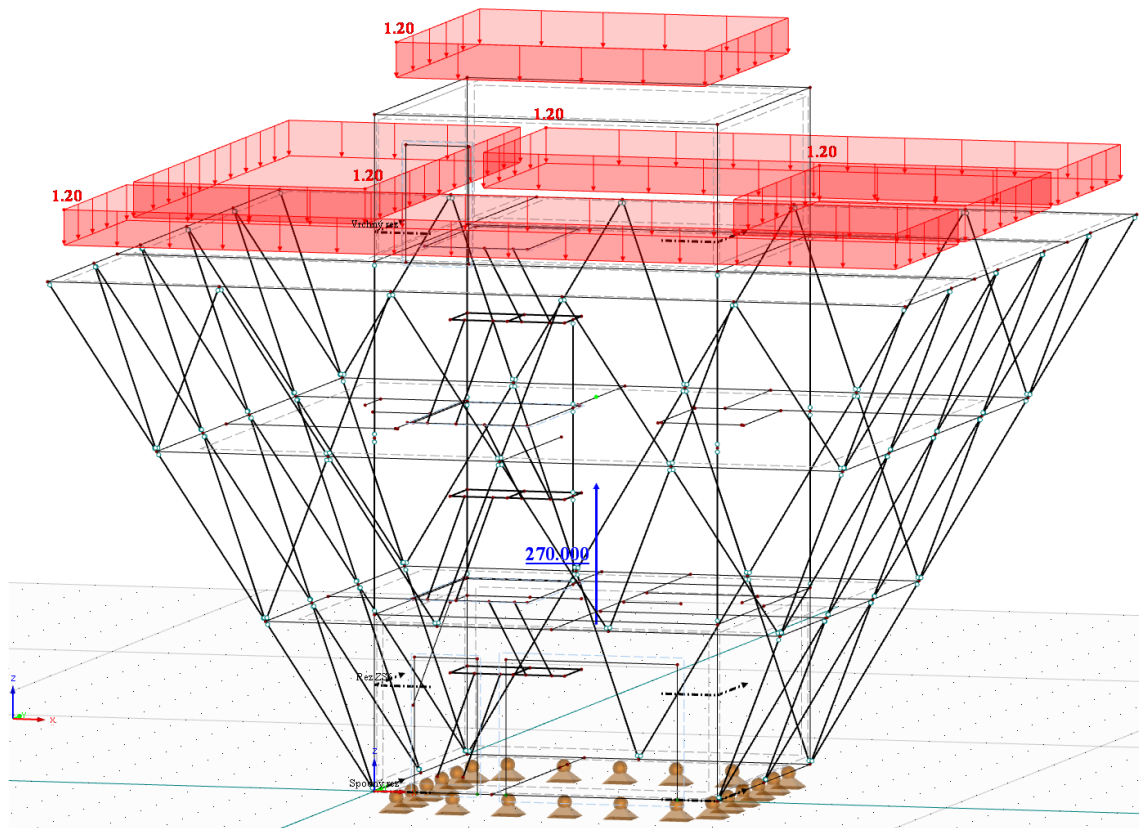
- $s = \mu_i C_e C_t s_k$
 - μ_i ... tvarový súčiniteľ, odporučená hodnota národnej prílohy je **0,8**
 - C_e ... súčiniteľ expozície, ktorý sa odvíja od typu krajiny. V práci uvažujeme normálny typ krajiny, takže súčiniteľ sa rovná **1,0**
 - C_t ... teplotný súčiniteľ hodnoty **1,0**
 - s_k ... charakteristická hodnota zaťaženia snehom na zemi. Určuje sa pomocou snehových oblastí (Obr. 5.3-1) → pre III. oblasť sa rovná **1,5 kPa**.
- $s = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 = 1,200 \text{ kPa} = \mathbf{1,200 \text{ kN.m}^{-2}}$
- **Výslednica** → $1,200 \times (15 \times 15) = \mathbf{270,000 \text{ kN}}$



Obrázok 5.3-1 - Legenda snehových oblastí Českej republiky¹⁾

¹⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-3 ed 2, str. 50

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.3-2 - Zaťaženie a výslednica ZS15

5.3.2 ZS16 AŽ ZS19 – SNEH S PÔSOBENÍM VETRA

Pôsobením vetra dochádza k preskupeniu prirodzene napadaného snehu a tvorbe návejov. Tento jav v práci charakterizujú 4 zaťažovacie stavy, rozdelené podľa základného smeru vetra. Uvažované smery prúdenia sú od severu, západu, východu a juhu. Ďalšie možné smery, vzniknuté kombináciami základných, nie sú uvažované.

Na vrchnej streche sa nenachádza žiadne zábradlie ani iný konštrukčný prvok, ktorý by zapríčiňoval tvorbu návejov. To znamená, že zaťaženie snehu bude rovnaké ako počas bezvetria, a teda nadobudne hodnotu $1,20\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$. Na terase sa však budú tvoriť hneď dva rôzne náveje, a to od vrchnej budovy a zábradlia po obvode.

Výpočet zaťaženia od návejov bol prebratý z [4]. Samotný výpočet nezávisí na smeru vetra, takže zaťažovacie stavy 16 až 19, sa líšia iba usporiadaním zaťaženia, ktorého hodnoty sú identické.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

NÁVEJ OD VRCHNEJ BUDOVY:

- $s = \mu_i C_e C_t s_k$
 - $\mu_2 = \frac{\gamma h}{s_k}$
 - γ ... objemová tiaž snehu, stanovená na hodnotu **2 kN.m⁻³**
 - h ... výška konštrukcie zapríčiňujúcej návej, **2,5 m**
 - $\mu_2 = \frac{2,5 \times 2,0}{1,5} = \mathbf{3,333}$

- $s_2 = 3,333 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 = \mathbf{5,00 \text{ kN.m}^{-2}}$

Dĺžka náveju l_s sa má počítať ako dvakrát výška h . V našom prípade by dĺžka dosahovala hodnoty 5m, čo splňuje aj obmedzenie normy, kde l_s patrí do intervalu 5m až 15m vrátane.

V našom návrhu však máme vzdialenosť od vrchnej budovy po okraj strechy iba 4,5m z každej strana. Dĺžka náveju sa teda prispôsobila na tento rozmer. Počítame teda so strmším návejom.

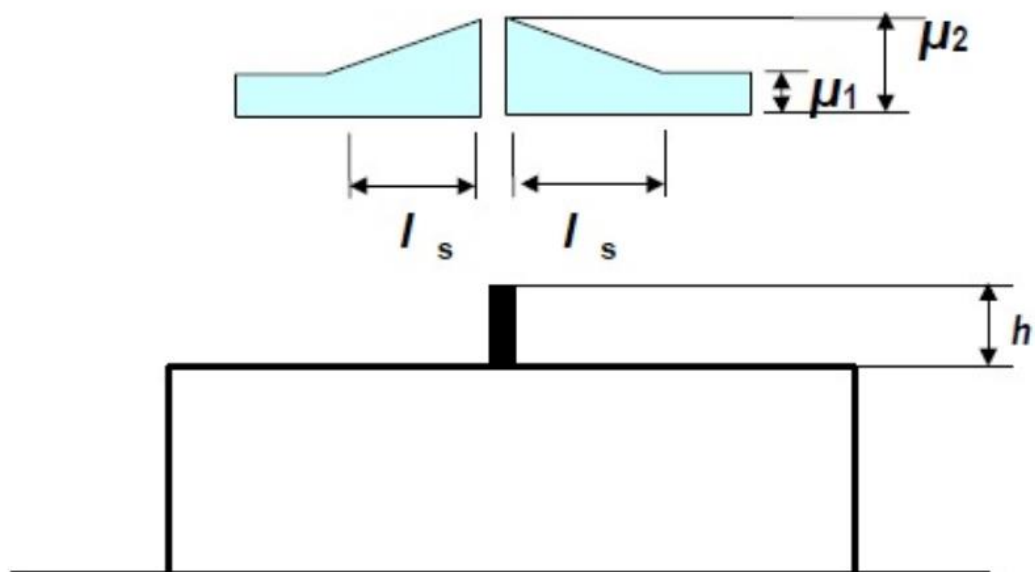
NÁVEJ OD ZÁBRADLIA:

- $s = \mu_i C_e C_t s_k$
 - $\mu_2 = \frac{\gamma h}{s_k}$
 - γ ... **2 kN.m⁻³**
 - h ... **1,2 m**
 - $\mu_2 = \frac{1,2 \times 2,0}{1,5} = \mathbf{1,600}$

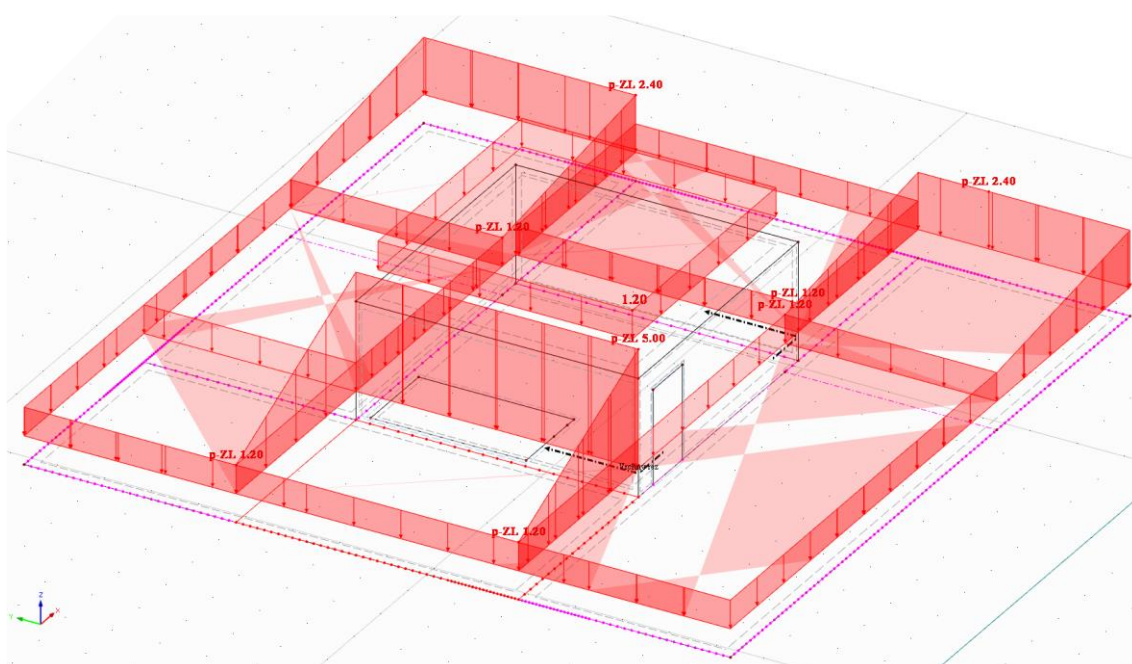
- $s_2 = 1,600 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 = \mathbf{2,40 \text{ kN.m}^{-2}}$
- $l_s = 2 \times 1,2 = 2,4\text{m} \rightarrow 2,4 < 5,0 \rightarrow l_s = \mathbf{5,0 \text{ m}}$

Pri zábradlí, ktoré je schované za vrchnou budovou, sa návej neuvažuje, nakoľko pôsobeniu vetra bráni samotná budova. V tých miestach je vždy uvažované základné zaťaženie s hodnotou 1,20kN.m⁻².

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.3-3 - Náveje²⁾



Obrázok 5.3-4 - Zaťaženie ZS17

Na Obr. 5.3-4 môžeme vidieť zaťaženie v modeli. Konkrétne sa jedná o stav, kedy vietor pôsobí od západu na východ. Ostatné zaťažovacie stavy sa, ako bolo už spomenuté, líšia iba iným rozmiestnením návejov.

²⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-3 ed 2, str. 22

5.4 ZAŤAŽENIE VETROM

Premenné zaťaženie od vetra popisuje norma [5] a jej národná príloha. Práve z nich sa pri výpočtoch čerpalo a dodržiavali sa všetky odporúčané hodnoty a postupy. Práca obsahuje od účinku vetra až 16 zaťažovacích stavov. Aj v prípade pôsobenia vetra sú v úvahu brané iba základné štyri smery prúdenia, a to severný južný západný a východný.

Účinok vetra, tak ako aj účinok snehu, nie je závislý na smeru tohto prúdenia. Preto je výpočet zaťaženia pre všetky zaťažovacie stavy rovnaký, výsledné hodnoty sú na konštrukciách iba usporiadané do vyššie spomínaných smerov.

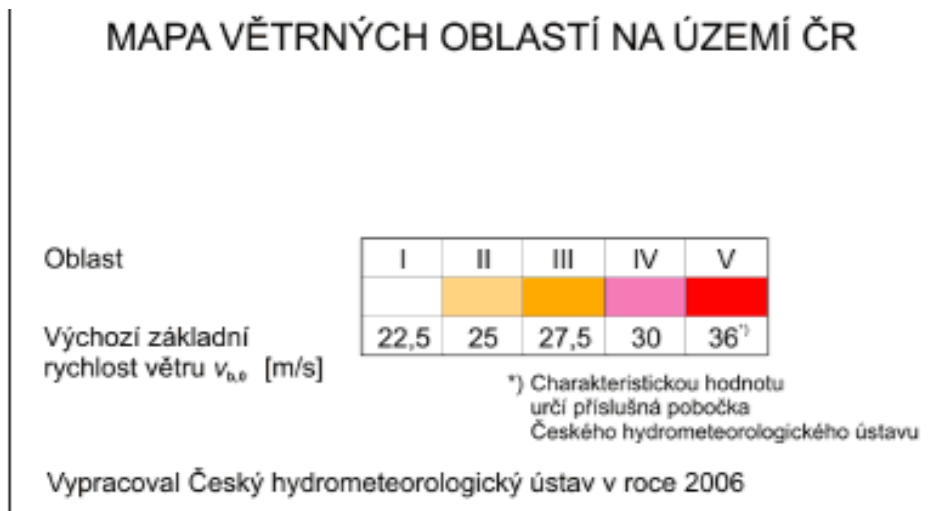
Väčší počet zaťažovacích stavov vychádza z výpočtu vetra na plochej streche, kde na jednu z oblastí musíme rátať tlakové aj ťahové namáhanie. Nakoľko máme ploché strechy dve, ich vzájomné kombinácie nám vytvoria, už spomínaných, 16 zaťažovacích stavov.

Na modeli rodinného domu sa nachádza niekoľko rôznych konštrukčných prvkov, ktoré sú rôzne zaťažené. Preto sa každý prvok počítal zvlášť a jednotlivé výpočty a výsledky si podrobne ukážeme v nasledujúcich podkapitolách.

Pri výpočte účinku vetra je prvým krokom určenie si kategórie terénu. Z neho vyplýva východisková hodnota základnej rýchlosti vetra. Kategória terénu sa opäť volí na základe mapy, tentokrát ide o mapu veterných oblastí Českej republiky. V práci uvažujeme oblasť III., kde hodnota základnej rýchlosti vetra ($v_{b,0}$) je $27,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z nej sa pomocou rôznych súčiniteľov a dopočtov získa maximálny dynamický tlak ($q_p(z)$), ktorého vynásobením príslušnými súčiniteľmi vonkajšieho tlaku ($c_{pe,10}$), získame výsledné zaťaženie. Tie sú taktiež stanovené v príslušnej norme.

Vo výpočtoch sa objavujú aj súčinitele c_{dir} a c_{season} , ktorých odporúčané hodnoty pre Českú republiku sú 1,0 [5]. Rovnaká hodnota platí aj pre súčiniteľ orografie $c_o(z)$.



Obrázok 5.4-1 - Legenda veterných oblastí Českej republiky³⁾

5.4.1 ÚČINOK VETRA NA PLOCHÉ STRECHY

Na rodinnom dome sa nachádzajú dve konštrukcie plochej streche, ktoré sú v rôznych výškach a majú iné pôdorysné rozmery a preto budú účinky vetru rozdielne. Najprv si rozoberieme menšiu plochú strechu na vrchnej budove.

VÝPOČET MAXIMÁLNEHO DYNAMICKÉHO TLAKU:

- $v_b = c_{dir}c_{season}v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 27,5 = 27,5 \text{ m.s}^{-1}$
- $v_m(z) = c_r(z)c_o(z)v_b$
 - súčiniteľ drsnosti terénu ... $c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0}$
 - $z = 11,5 \text{ m}$... výška konštrukcie nad terénom
 - $z_0 = 0,3 \text{ m}$... tabuľková hodnota z [5]
 - $z_{\min} = 5 \text{ m} \rightarrow z > z_{\min}$... platí rovnica pre výpočet súčiniteľa drsnosti terénu
 - $k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$
 - $c_r(z) = 0,215 \ln \frac{11,5}{0,3} = \mathbf{0,785}$
- $v_m(z) = 0,785 \times 1,0 \times 27,5 = 21,598 \text{ m.s}^{-1}$
- $\sigma_v = k_r v_b k_l$

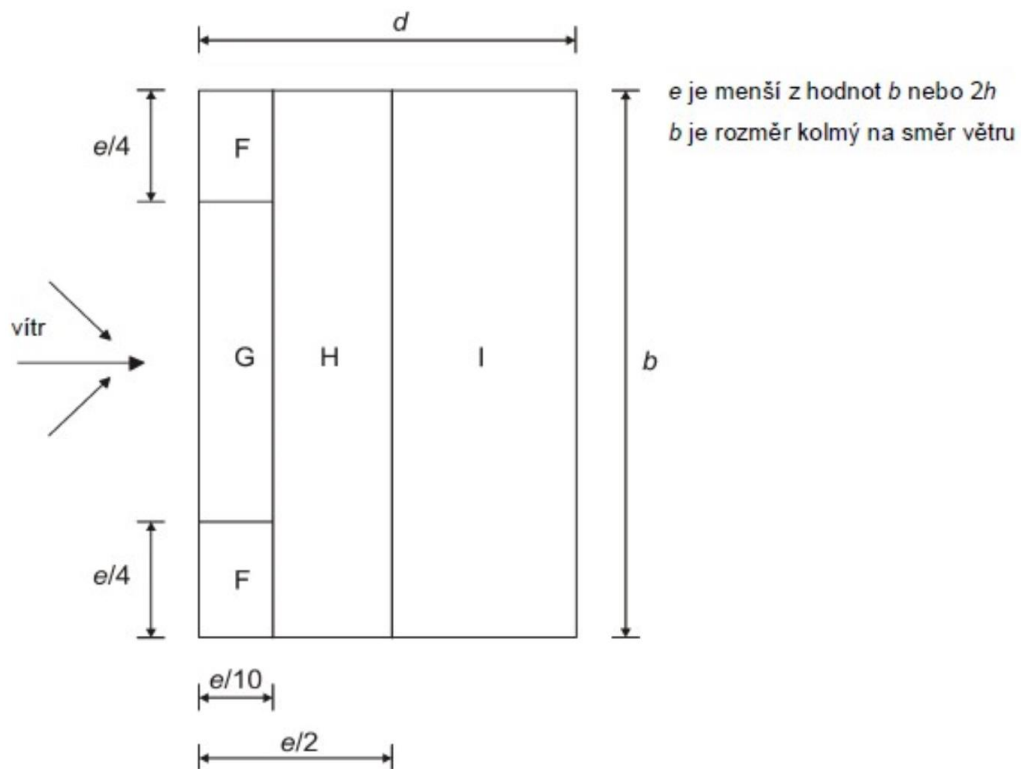
³⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, str.122

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

- k_1 ... súčiniteľ turbulencie, doporučená hodnota 1,0
- $\sigma_v = 0,215 \times 27,5 \times 1,0 = 5,923 \text{ m.s}^{-1}$
- $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,923}{21,598} = 0,274$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times 0,5 \times \rho_0 \times v_m(z)^2$
 - ρ_0 ... objemová hmotnosť vzduchu, doporuč. hodnota $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times 0,274] \times 0,5 \times 1,25 \times 21,598^2 = \mathbf{851,232 \text{ Pa}}$

Nasleduje samotný výpočet zaťaženia, ktorý je zhrnutý v tabuľke. Index 10 pri súčiniteli vonkajšieho tlaku znamená, že zaťažujeme väčšiu plochu. V [5] figuruje taktiež $c_{pe,1}$, ktorý slúži skôr na zaťaženie prípojov a podobných detailov.

Jednotlivé oblasti boli volené na základe Obr. 5.4-2.



Obrázok 5.4-2 - Legenda pre ploché strechy⁴⁾

⁴⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, str.33

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 5.4-1 - Výpočet zaťaženia vetra na vrchnú plochu strechu

Oblasť	$C_{pe,10}$	$q_p(z)$ [kPa]	$W_e = C_{pe,10} \times q_p(z)$ [kN.m ⁻²]
F	-1,8	0,851	-1,532
G	-1,2		-1,021
H	-0,7		-0,596
I_A	0,2		+0,170
I_B	-0,2		-0,170

Záporné hodnoty značia sanie vetru, kladné naopak tlak. Pri oblasti I je doporučené [5] brať do úvahy obe varianty a ich prípadné kombinácie s ostatným zaťažením od vetra na konštrukcii.

Pri terase je postup výpočtu totožný s predchádzajúcim. Strechy sa odlišujú pri výpočte iba svojou polohou, čo samozrejme výpočet ovplyvní, konkrétne pri hodnote z .

VÝPOČET MAXIMÁLNEHO DYNAMICKÉHO TLAKU:

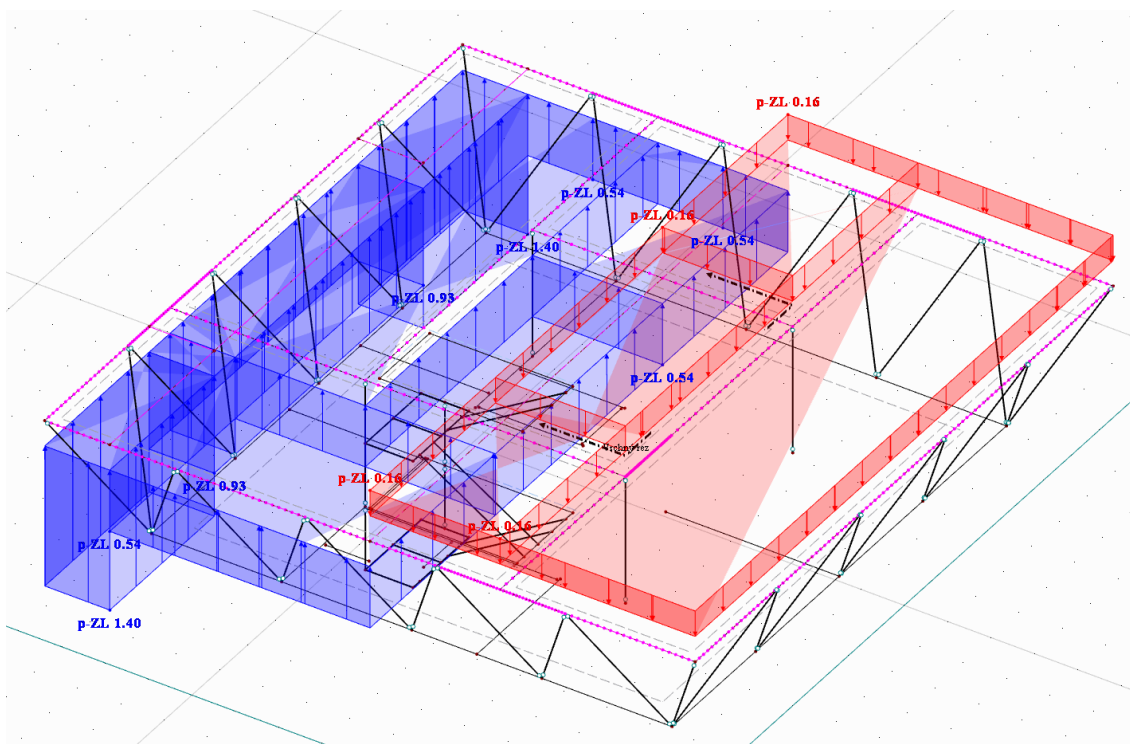
- $v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 27,5 = 27,5 \text{ m.s}^{-1}$
- $v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$
 - súčiniteľ drsnosti terénu ... $c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0}$
 - $z = 9 \text{ m}$... výška konštrukcie nad terénom
 - $z_0 = 0,3 \text{ m}$... tabuľková hodnota z [5]
 - $z_{min} = 5 \text{ m} \rightarrow z > z_{min}$... platí rovnica pre výpočet súčiniteľu drsnosti terénu
 - $k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$
 - $c_r(z) = 0,215 \ln \frac{9,0}{0,3} = \mathbf{0,733}$
- $v_m(z) = 0,733 \times 1,0 \times 27,5 = 20,146 \text{ m.s}^{-1}$
- $\sigma_v = k_r v_b k_l$
 - k_l ... súčiniteľ turbulencie, doporučená hodnota 1,0
- $\sigma_v = 0,215 \times 27,5 \times 1,0 = 5,923 \text{ m.s}^{-1}$
- $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,923}{20,146} = 0,294$

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

- $q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times 0,5 \times \rho_0 \times v_m(z)^2$
 - ρ_0 ... objemová hmotnosť vzduchu, doporuč. hodnota $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times 0,294] \times 0,5 \times 1,25 \times 20,146^2 = 775,727 \text{ Pa}$

Tabuľka 5.4-2 - Výpočet zaťaženia vetra na terasu

Oblasť	$C_{pe,10}$	$q_p(z)$ [kPa]	$W_e = C_{pe,10} \times q_p(z)$ [kN.m ⁻²]
F	-1,8	0,776	-1,396
G	-1,2		-0,931
H	-0,7		-0,543
I_A	0,2		+0,155
I_B	-0,2		-0,155



Obrázok 5.4-3 - Zaťaženie strechy terasy od účinku vetra

5.4.2 ÚČINOK VETRA NA ZVISLÉ STENY

Zvislé steny sa nachádzajú opäť v rámci vrchnej budovy a v prízemí, kde ohraničujú plochu garáže so vstupom. Steny sa líšia svojou výškovou polohou a aj samotnou výškou. Z toho dôvodu musí byť výpočet prevedený pre obe konštrukcie zvlášť.

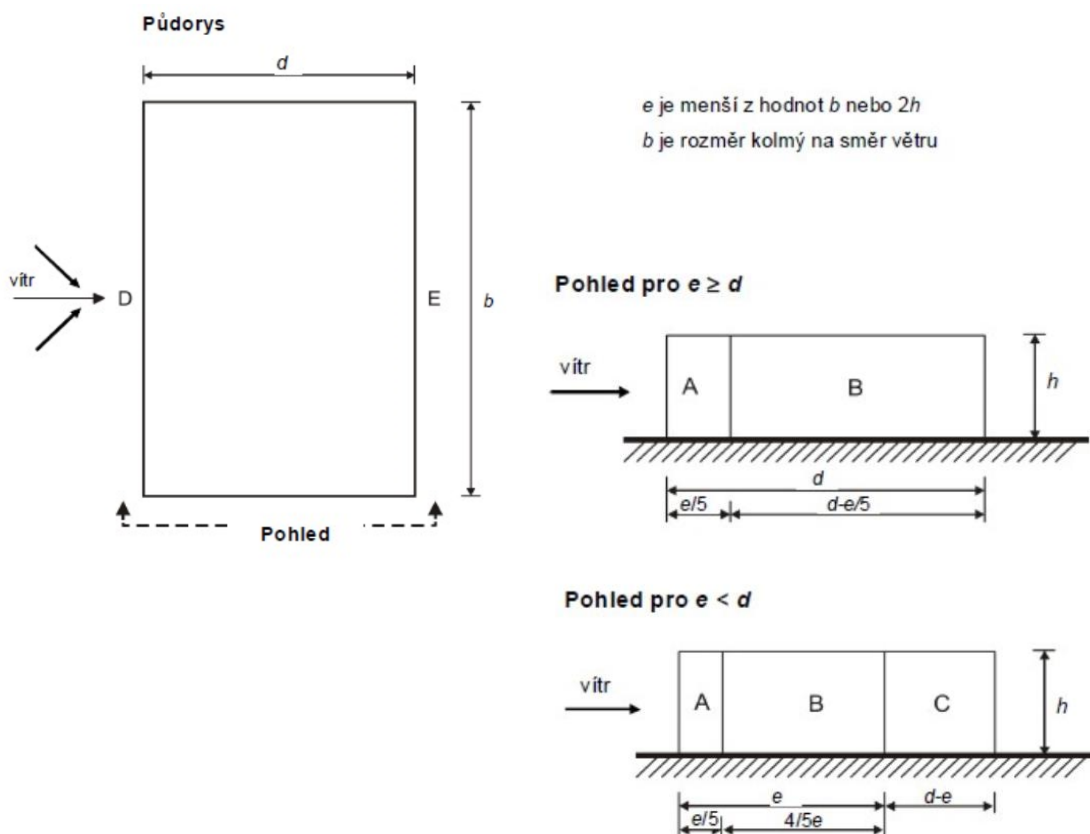
Postup výpočtu sa od predchádzajúceho v princípe nemení, stále vychádza z [5], preto nepotrebuje bližší komentár.

GARÁŽ:

VÝPOČET MAXIMÁLNEHO DYNAMICKÉHO TLAKU:

- $v_b = c_{dir}c_{season}v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 27,5 = 27,5 \text{ m.s}^{-1}$
- $v_m(z) = c_r(z)c_o(z)v_b$
 - súčiniteľ drsnosti terénu ... $c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0}$
 - $z = 3 \text{ m}$... výška konštrukcie nad terénom
 - $z_0 = 0,3 \text{ m}$... tabuľková hodnota z [5]
 - $z_{min} = 5 \text{ m} \rightarrow z > z_{min}$... platí rovnica pre výpočet súčiniteľu drsnosti terénu
 - $k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$
 - $c_r(z) = 0,215 \ln \frac{3,0}{0,3} = \mathbf{0,496}$
- $v_m(z) = 0,496 \times 1,0 \times 27,5 = 13,639 \text{ m.s}^{-1}$
- $\sigma_v = k_r v_b k_l$
 - k_l ... súčiniteľ turbulencie, doporučená hodnota 1,0
- $\sigma_v = 0,215 \times 27,5 \times 1,0 = 5,923 \text{ m.s}^{-1}$
- $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,923}{13,639} = 0,434$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times 0,5 \times \rho_0 \times v_m(z)^2$
 - ρ_0 ... objemová hmotnosť vzduchu, doporuč. hodnota $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times 0,434] \times 0,5 \times 1,25 \times 13,639^2 = \mathbf{469,692 \text{ Pa}}$

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



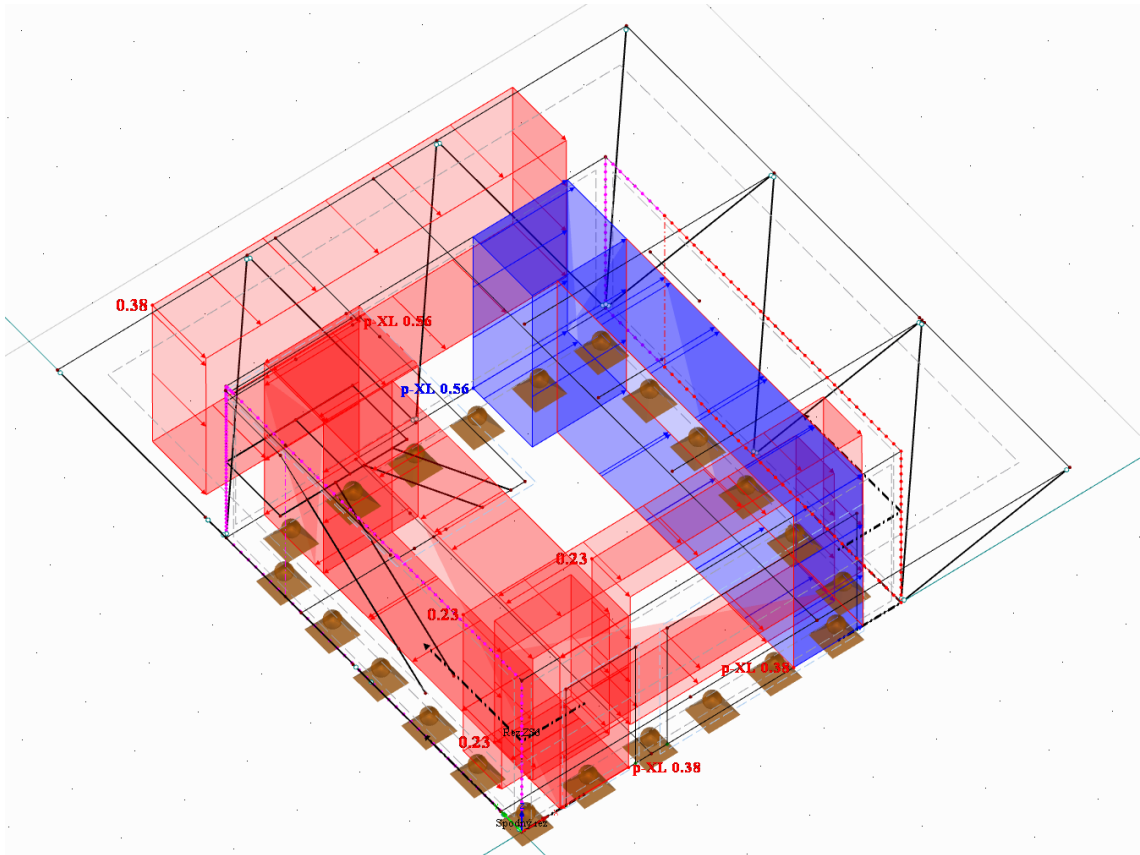
Obrázok 5.4-4 – Legenda pre zvislé steny⁵⁾

Tabuľka 5.4-3 - Výpočet zaťaženia vetra na zvislé steny garáže

Oblasť	$c_{pe,10}$	$q_p(z)$ [kPa]	$w_e = c_{pe,10} \times q_p(z)$ [kN.m ⁻²]
A	-1,2	0,470	-0,564
B	-0,8		-0,376
C	0		0
D	0,8		+0,376
E	-0,5		-0,235

⁵⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, str.32

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 5.4-5 - Zaťaženie stien garáže od účinku vetra

VRCHNÁ BUDOVA:

VÝPOČET MAXIMÁLNEHO DYNAMICKÉHO TLAKU:

- $v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 27,5 = 27,5 \text{ m.s}^{-1}$
- $v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$
 - súčiniteľ drsnosti terénu ... $c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0}$
 - $z = 11,5 \text{ m}$... výška konštrukcie nad terénom
 - $z_0 = 0,3 \text{ m}$... tabuľková hodnota z [5]
 - $z_{\min} = 5 \text{ m} \rightarrow z > z_{\min}$... platí rovnica pre výpočet súčiniteľa drsnosti terénu
 - $k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$
 - $c_r(z) = 0,215 \ln \frac{11,5}{0,3} = \mathbf{0,785}$
- $v_m(z) = 0,785 \times 1,0 \times 27,5 = 21,598 \text{ m.s}^{-1}$
- $\sigma_v = k_r v_b k_l$
 - k_l ... súčiniteľ turbulencie, doporučená hodnota 1,0

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

- $\sigma_v = 0,215 \times 27,5 \times 1,0 = 5,923 \text{ m.s}^{-1}$
- $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,923}{21,598} = 0,274$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times 0,5 \times \rho_0 \times v_m(z)^2$
 - ρ_0 ... objemová hmotnosť vzduchu, doporuč. hodnota $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times 0,274] \times 0,5 \times 1,25 \times 21,598^2 = 851,232 \text{ Pa}$

Tabuľka 5.4-4 - Výpočet zaťaženia vetra na zvislé steny vrchnej budovy

Oblasť	$c_{pe,10}$	$q_p(z)$ [kPa]	$w_e = c_{pe,10} \times q_p(z)$ [kN.m ⁻²]
A	-1,2	0,851	-1,021
B	-0,8		-0,681
C	-0,5		-0,426
D	0,8		+0,681
E	-0,5		-0,426

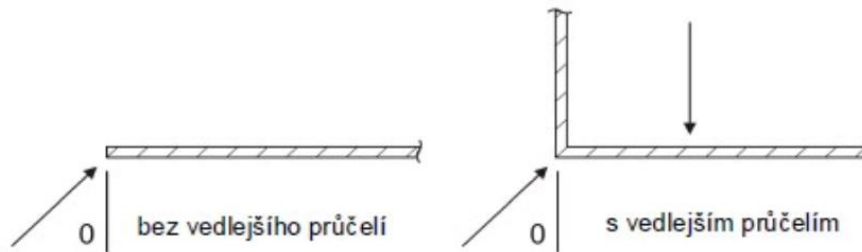
5.4.3 ÚČINOK VETRA NA ZÁBRADLIE

Účinkom vetra bude vystavené aj samotné zábradlie na terase. Zaťaženie vetra na voľne stojace steny a murované (plné) zábradlia opisuje v kapitole 7.4 opäť norma [5].

Nakoľko je zábradlie medzi stĺpkami vyplnené sklenenými tabuľami, o ktoré sa vietor oprie plnou silou, nebudeme uvažovať redukciiu zaťaženia súčiniteľom plnosti. Ten bude teda, v našom prípade, nadobúdať hodnotu 1,0.

Keďže máme zábradlie v rohoch budovy konštrukčne spojené, ide o tzv. zábradlie s vedľajším priečelím. Aj toto zohráva úlohu pri výpočte zaťaženia. Konkrétne pri určovaní súčiniteľov vonkajšieho tlaku.

Norma [5] uvažuje najkritickejšie pôsobenie vetra práve na spomínaný spoj (Obr. 5.4-6) a rozdeľuje tak zábradlie po dĺžke na celkom 4 oblasti, A až D. Pod najväčším zaťažením je oblasť A, ktorá je priamo pri rohu.



Obrázok 5.4-6 - Legenda pre voľne stojace steny a murované zábradlia⁷⁾

V našej práci však takéto smery vetra neuvažujeme, z čoho plynie zjednodušenie, ktorého sme sa dopustili. Zábradlie máme zaťažené vždy kolmo, podľa základných smerov vetra a na stranu bezpečnú uvažuje po celej dĺžke oblasť A, čiže najviac namáhanú oblasť.

Takýmto spôsobom máme zaťažené obe kolmé steny zábradlia. Vrchná budova nám samozrejme účinok vetra na druhú stranu zábradlia z časti redukuje, no v práci to opäť na stranu bezpečnú neuvažujeme.

Zaťaženie je namodelované pomocou líniového zaťaženia, kde pôsobí priamo na hranu stropnej konštrukcie. Nakoľko skutočná výslednica pôsobí na excentricite voči tejto hrane, vzniká prídavné momentové líniové zaťaženie.

VÝPOČET MAXIMÁLNEHO DYNAMICKÉHO TLAKU:

- $v_b = c_{dir}c_{season}v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 27,5 = 27,5 \text{ m.s}^{-1}$
- $v_m(z) = c_r(z)c_o(z)v_b$
 - súčiniteľ drsnosti terénu ... $c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0}$
 - $z = 10,2 \text{ m}$... výška konštrukcie nad terénom
 - $z_0 = 0,3 \text{ m}$... tabuľková hodnota z [5]
 - $z_{\min} = 5 \text{ m} \rightarrow z > z_{\min}$... platí rovnica pre výpočet súčiniteľa drsnosti terénu
 - $k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$
 - $c_r(z) = 0,215 \ln \frac{10,2}{0,3} = \mathbf{0,760}$
- $v_m(z) = 0,760 \times 1,0 \times 27,5 = 20,887 \text{ m.s}^{-1}$
- $\sigma_v = k_r v_b k_l$

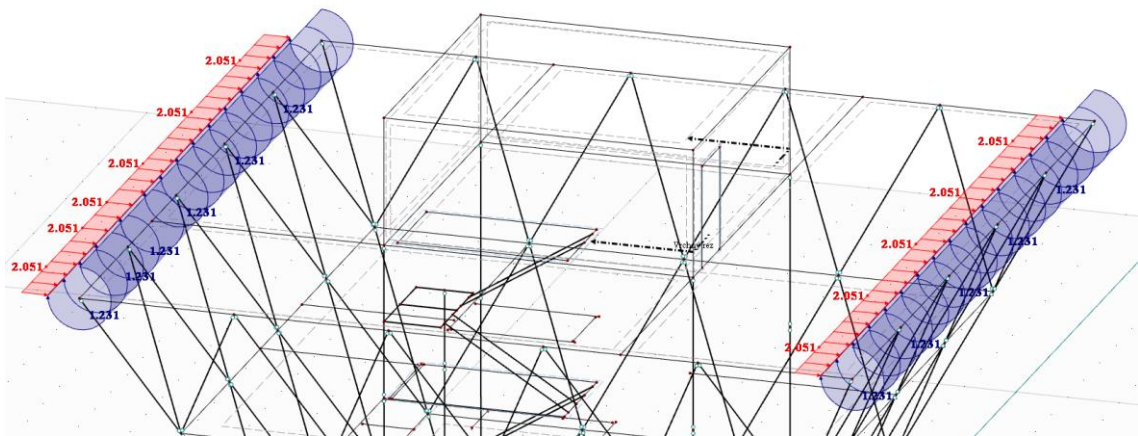
⁷⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, str.51

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

- k_1 ... súčiniteľ turbulencie, doporučená hodnota 1,0
- $\sigma_v = 0,215 \times 27,5 \times 1,0 = 5,923 \text{ m.s}^{-1}$
- $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,923}{20,887} = 0,284$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times 0,5 \times \rho_0 \times v_m(z)^2$
 - ρ_0 ... objemová hmotnosť vzduchu, doporučená. hodnota $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times 0,284] \times 0,5 \times 1,25 \times 20,887^2 = 813,952 \text{ Pa}$

VÝPOČET ZAŤAŽENIA:

- $w_e = q_p(z)c_{pe,10}(A) = 0,814 \times 2,1 = 1,709 \text{ kN.m}^{-2}$
- prepočet na líniové zaťaženie: $1,709 \times 1,2 = 2,051 \text{ kN.m}^{-1}$
- prídavné momentové zaťaž.: $1,709 \times 1,2 \times 0,6 = 1,231 \text{ kN.m.m}^{-1}$



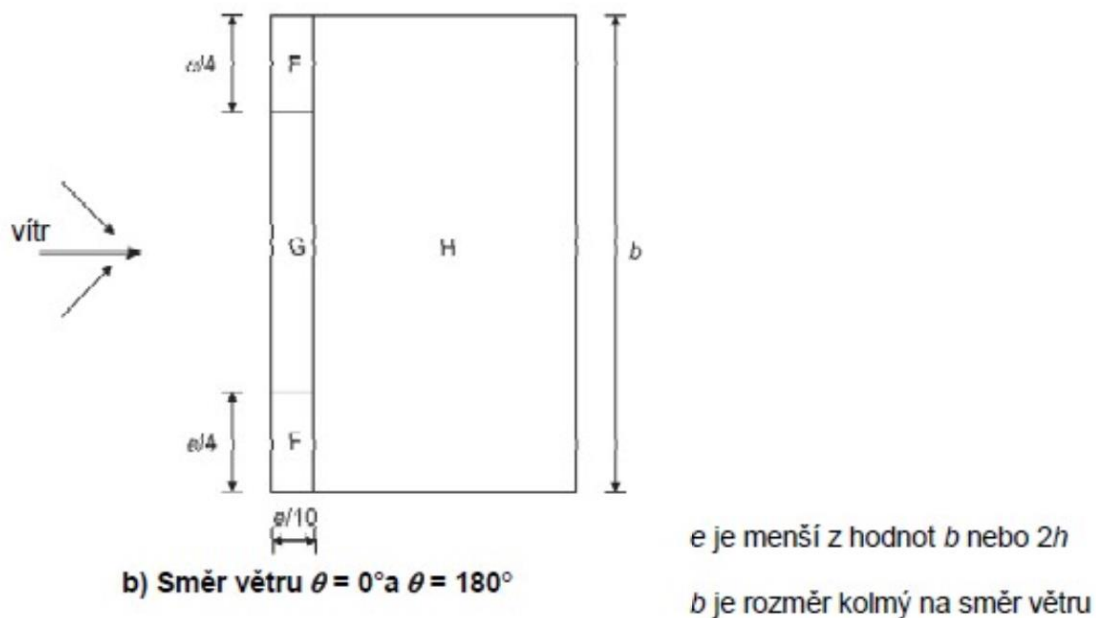
Obrázok 5.4-7 - Zaťaženie zábradlia od účinku vetra

5.4.4 ÚČINOK VETRA NA ŠIKMÉ STENY

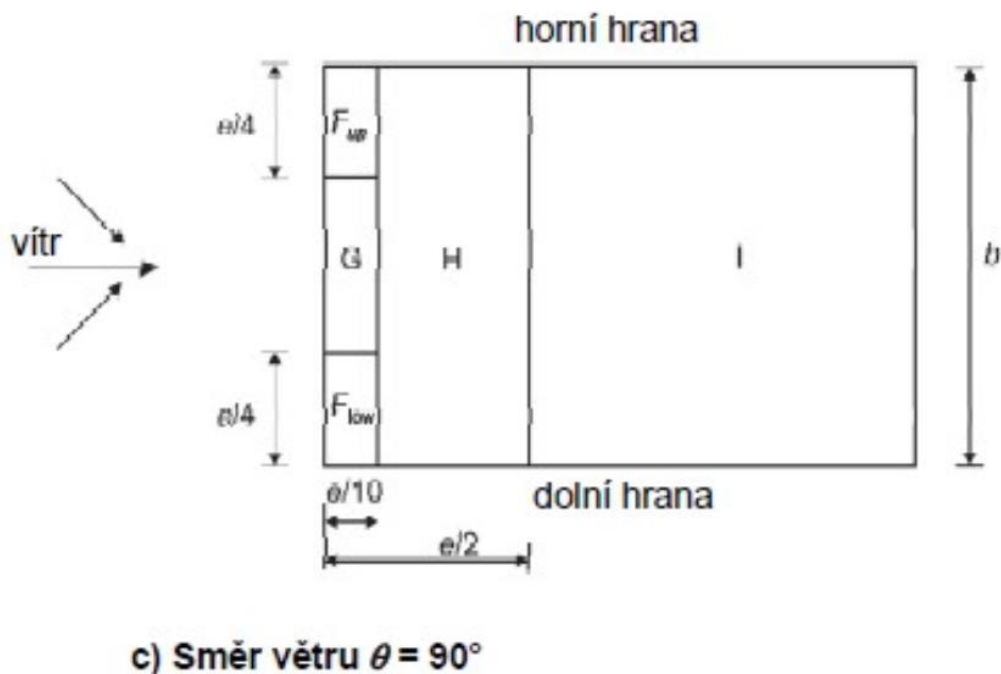
Na rodinnom dome sú šikmými stenami vlastne strany obrátenej pyramídy. Sú tvorené oceľovou priehradovou konštrukciou vyplnenou sklenenými tabuľami. Norma [5] účinky vetru na takýto typ stien necharakterizuje, preto bolo v práci zaťaženie na šikmé steny počítané pomocou pultových striech. Je zrejmé, že výsledky nebudú odpovedať presnej skutočnosti, v rámci príslušnej normy však ide o najpribližnejšie riešenie.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Na stenách kolmých k smeru vetra bude vznikat' tlakové namáhanie a oblasti podľa Obr. 5.4-8, na rovnobežných naopak sanie a oblasti podľa Obr. 5.4-9.



Obrázok 5.4-8 - Legenda pre pultové strechy – kolmé steny⁸⁾



Obrázok 5.4-9 - Legenda pre pultové strechy - rovnobežné steny⁹⁾

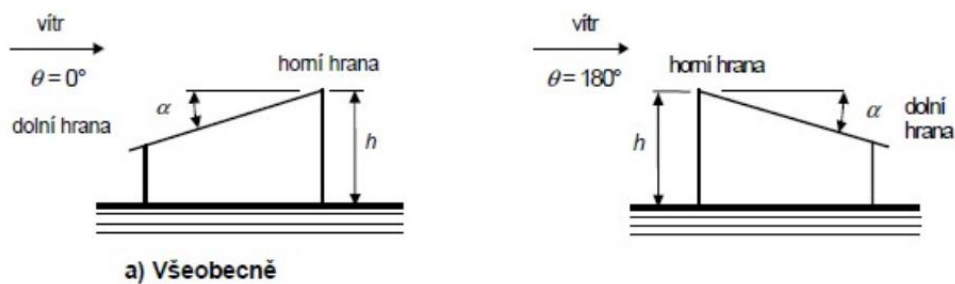
⁸⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, str.35

⁹⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, str.35

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Výpočet maximálneho dynamického tlaku sa nijak nemení oproti predchádzajúcim zaťaženia. Voľba súčiniteľov vonkajšieho tlaku tentokrát závisí nielen na smere vetra, alebo aj uhlu stien (Obr. 5.4-10). V práci uvažujeme smer vetra $\theta=0^\circ$, resp. 90° , a uhol sklonu $\alpha=75^\circ$.

Nakoľko sklenené tabule nie sú nosným prvkom, a teda v modeli ich nemáme, nemôžeme účinky vetra namodelovať plošným zaťažením. Hodnoty sa budú prepočítavať na zaťaženie do jednotlivých uzlov ocelových prútov. Aby sme si prepočet zjednodušili, sú na celých plochách stien uvažované rovnaké oblasti. Vybraní oblasť samozrejme pôsobí najväčším zaťažením.



Obrázok 5.4-10 - Legenda pre pultové strechy - uhol alfa¹⁰⁾

KOLMÉ STENY:

VÝPOČET MAXIMÁLNEHO DYNAMICKÉHO TLAKU:

- $v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 27,5 = 27,5 \text{ m.s}^{-1}$
- $v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$
 - súčiniteľ drsnosti terénu ... $c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0}$
 - $z = 9 \text{ m}$... výška konštrukcie nad terénom
 - $z_0 = 0,3 \text{ m}$... tabuľková hodnota z [5]
 - $z_{\min} = 5 \text{ m} \rightarrow z > z_{\min}$... platí rovnica pre výpočet súčiniteľu drsnosti terénu
 - $k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$
 - $c_r(z) = 0,215 \ln \frac{9,0}{0,3} = \mathbf{0,733}$

¹⁰⁾ Prevzaté z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2, str.35

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

- $v_m(z) = 0,733 \times 1,0 \times 27,5 = 20,146 \text{ m.s}^{-1}$
- $\sigma_v = k_r v_b k_l$
 - k_l ... súčiniteľ turbulencie, doporučená hodnota 1,0
- $\sigma_v = 0,215 \times 27,5 \times 1,0 = 5,923 \text{ m.s}^{-1}$
- $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,923}{20,146} = 0,294$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times 0,5 \times \rho_0 \times v_m(z)^2$
 - ρ_0 ... objemová hmotnosť vzduchu, doporuč. hodnota $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$
- $q_p(z) = [1 + 7 \times 0,294] \times 0,5 \times 1,25 \times 20,146^2 = 775,727 \text{ Pa}$

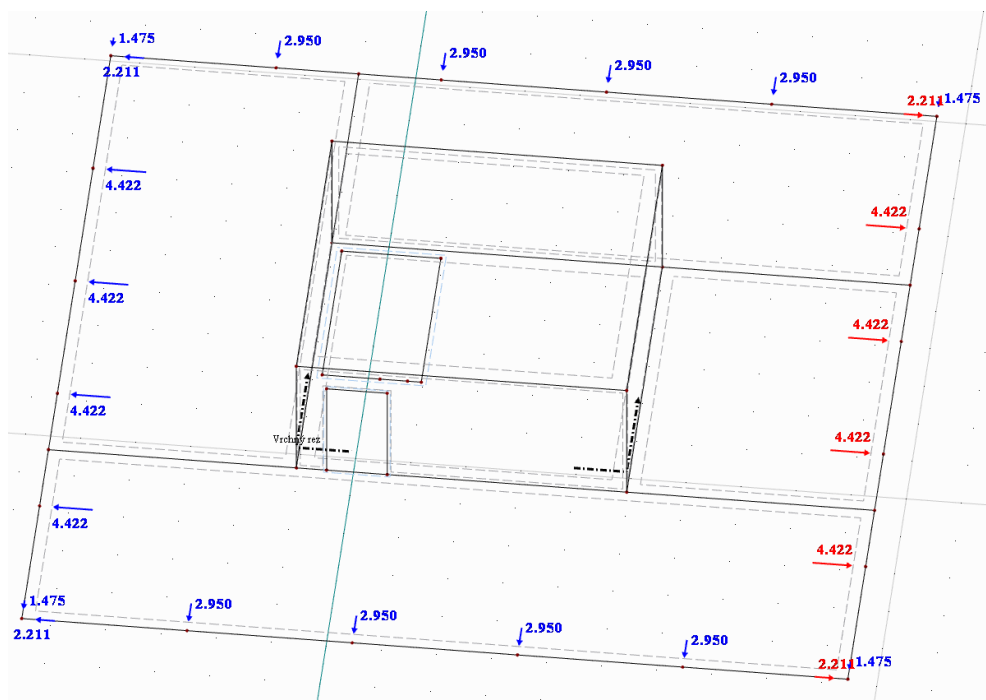
VÝPOČET ZAŤAŽENIA:

- $w_e = q_p(z) c_{pe,10}(F) = 0,776 \times 0,8 = 0,621 \text{ kN.m}^{-2}$
- prepočet na líniové zaťaženie:
 - 6 uzlov (d=15m):
 - $A = 4 \times 5\text{m}^2 + 3,75\text{m}^2 = 23,750 \text{ m}^2$
 - $0,621 \text{ kN.m}^{-2} \times 23,750 \text{ m}^2 / 15\text{m} = 0,983 \text{ kN.m}^{-1}$
 - **stredové uzly** $\rightarrow 0,983 \text{ kN.m}^{-1} \times 3\text{m} = 2,950 \text{ kN}$
 - **krajné uzly** $\rightarrow 0,983 \text{ kN.m}^{-1} \times 1,5\text{m} = 1,475 \text{ kN}$
 - 5 uzlov (d=12m):
 - $A = 8 \times 5\text{m}^2 = 40,000 \text{ m}^2$
 - $0,621 \text{ kN.m}^{-2} \times 40\text{m}^2 / 12\text{m} = 2,070 \text{ kN.m}^{-1}$
 - **stredové uzly** $\rightarrow 2,070 \text{ kN.m}^{-1} \times 3\text{m} = 6,210 \text{ kN}$
 - **krajné uzly** $\rightarrow 2,070 \text{ kN.m}^{-1} \times 1,5\text{m} = 3,105 \text{ kN}$
 - 4 uzle (d=9m):
 - $A = 3 \times 5\text{m}^2 + 1,25\text{m}^2 = 16,250 \text{ m}^2$
 - $0,621 \text{ kN.m}^{-2} \times 16,250 \text{ m}^2 / 9\text{m} = 1,121 \text{ kN.m}^{-1}$
 - **stredové uzly** $\rightarrow 1,121 \text{ kN.m}^{-1} \times 3\text{m} = 3,364 \text{ kN}$
 - **krajné uzly** $\rightarrow 1,121 \text{ kN.m}^{-1} \times 1,5\text{m} = 1,682 \text{ kN}$

ROVNOBEŽNÉ STENY:

VÝPOČET ZAŤAŽENIA:

- $w_e = q_p(z)c_{pe,10}(F) = 0,776 \times (-1,2) = -0,931 \text{ kN.m}^{-2}$
- prepočet na líniové zaťaženie:
 - 6 uzlov (d=15m):
 - $A = 4 \times 5\text{m}^2 + 3,75\text{m}^2 = 23,750 \text{ m}^2$
 - $-0,931\text{kN.m}^{-2} \times 23,750\text{m}^2 / 15\text{m} = -1,474 \text{ kN.m}^{-1}$
 - **stredové uzly** $\rightarrow -1,474\text{kN.m}^{-1} \times 3\text{m} = -4,422 \text{ kN}$
 - **krajné uzly** $\rightarrow -1,474\text{kN.m}^{-1} \times 1,5\text{m} = -2,211 \text{ kN}$
 - 5 uzlov (d=12m):
 - $A = 8 \times 5\text{m}^2 = 40,000 \text{ m}^2$
 - $-0,931\text{kN.m}^{-2} \times 40\text{m}^2 / 12\text{m} = -3,103 \text{ kN.m}^{-1}$
 - **stredové uzly** $\rightarrow -3,103\text{kN.m}^{-1} \times 3\text{m} = -9,310 \text{ kN}$
 - **krajné uzly** $\rightarrow -3,103\text{kN.m}^{-1} \times 1,5\text{m} = -4,655 \text{ kN}$
 - 4 uzle (d=9m):
 - $A = 3 \times 5\text{m}^2 + 1,25\text{m}^2 = 16,250 \text{ m}^2$
 - $-0,931\text{kN.m}^{-2} \times 16,250\text{m}^2 / 9\text{m} = -1,676 \text{ kN.m}^{-1}$
 - **stredové uzly** $\rightarrow -1,676\text{kN.m}^{-1} \times 3\text{m} = -5,028 \text{ kN}$
 - **krajné uzly** $\rightarrow -1,676\text{kN.m}^{-1} \times 1,5\text{m} = -2,514 \text{ kN}$



Obrázok 5.4-11 - Príklad zaťaženia uzlov od účinku vetra

6 KOMBINÁCIE ZAŤAŽENIA

[10] Samotný program umožňuje kombinácie zaťaženia, aj kombinácie výsledkov. Pri kombinácii zaťaženia sa zaťaženia s príslušnými súčiniteľmi jednotlivých stavov sčítajú (odčítajú) a až potom sú vygenerované výsledky na modeli. V prípade kombinácie výsledkov, sú pre každý zaťažovací stav osobitne spočítané účinky a následne sú s príslušnými kombinačnými súčiniteľmi sčítavané (odčítavané). Takýto postup nám umožňuje princíp superpozície [6].

Obe možnosti dokáže program vygenerovať automaticky podľa predpísaných kombinačných kľúčov. Tie v programe dokážeme ľubovoľne upravovať spolu s príslušnými súčiniteľmi.

V našej práci sme použili kombinácie výsledkov, avšak jednotlivé kombinácie boli vytvorené ručne. Súčinitele boli volené tak, aby v rámci kombinácie vyvolávali čo najnepriaznivejšie účinky.

Kombinácie slúžia na získanie návrhových vnútorných síl či deformácií, na základe ktorých sa konštrukcia posudzuje. Bolo vytvorených 56 kombinácií výsledkov, ktoré sú rozdelené do skupín. Tým sa budeme o niečo bližšie venovať v nasledujúcom texte.

6.1 KV1 – KV2 (G)

Prvé dve kombinácie sú súčtom vlastnej tiaže nosných prvkov a ostatného stáleho zaťaženia s kombinačným súčiniteľom 1,35. KV1 obsahuje tiaž nenasýtenej vegetačnej strechy, KV2 naopak nasýtenej.

Součinitel	č.	Popis	Kritérium
1.35	G ZS1	Vlastná tiaž nosných prvkov	Stálé
1.35	G ZS2	Tiaž priečok	Stálé
1.35	G ZS3	Sklenený kôš	Stálé
1.35	G ZS4	Skladba stropov	Stálé
1.35	G ZS5	Tiaž zelenej strechy - nenasýtená vodou	Stálé
1.35	G ZS7	Tiaž schodiska	Stálé
1.35	G ZS8	Zábradlia na terase a schodisku	Stálé

Obrázok 6.1-1 - KV1

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků KV2			
Součinitel	č.	Popis	Kritérium
1.35	G ZS1	Vlastná tiaž nosných prvkov	Stálé
1.35	G ZS2	Tiaž priečok	Stálé
1.35	G ZS3	Sklenený kôš	Stálé
1.35	G ZS4	Skladba stropov	Stálé
1.35	G ZS6	Tiaž zelenej strechy - nasýtená vodou	Stálé
1.35	G ZS7	Tiaž schodiska	Stálé
1.35	G ZS8	Zábradlia na terase a schodisku	Stálé

Obrázok 6.1-2 - KV2

6.2 KV3 – KV4 (G+Q_p)

Kombinácie výsledkov KV3 a KV4 obsahujú všetko stále zaťaženie so súčiniteľom 1,35 a premenné zaťaženie, od užívania, so súčiniteľom 1,50. Rozdiel medzi nimi je opäť len v stálom zaťažení, kde je prvá kombinácia počítaná s tiažou nenasýtenej vegetačnej strechy a druhá s tiažou nasýtenej.

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků KV3			
Součinitel	č.	Popis	Kritérium
1.35	G ZS1	Vlastná tiaž nosných prvkov	Stálé
1.35	G ZS2	Tiaž priečok	Stálé
1.35	G ZS3	Sklenený kôš	Stálé
1.35	G ZS4	Skladba stropov	Stálé
1.35	G ZS5	Tiaž zelenej strechy - nenasýtená vodou	Stálé
1.35	G ZS7	Tiaž schodiska	Stálé
1.35	G ZS8	Zábradlia na terase a schodisku	Stálé
1.50	Gq ZS9	Zaťaženie na stropy	Proměnné
1.50	Gq ZS10	Garáž	Proměnné
1.50	Gq ZS11	Schodisko	Proměnné
1.50	Gq ZS12	Strecha - pochôdzna	Proměnné
1.50	Gq ZS13	Strecha - nepochôdzna	Proměnné
1.50	Gq ZS14	Vodorovné zaťaženie na zábradlia	Proměnné

Obrázok 6.2-1 - KV3

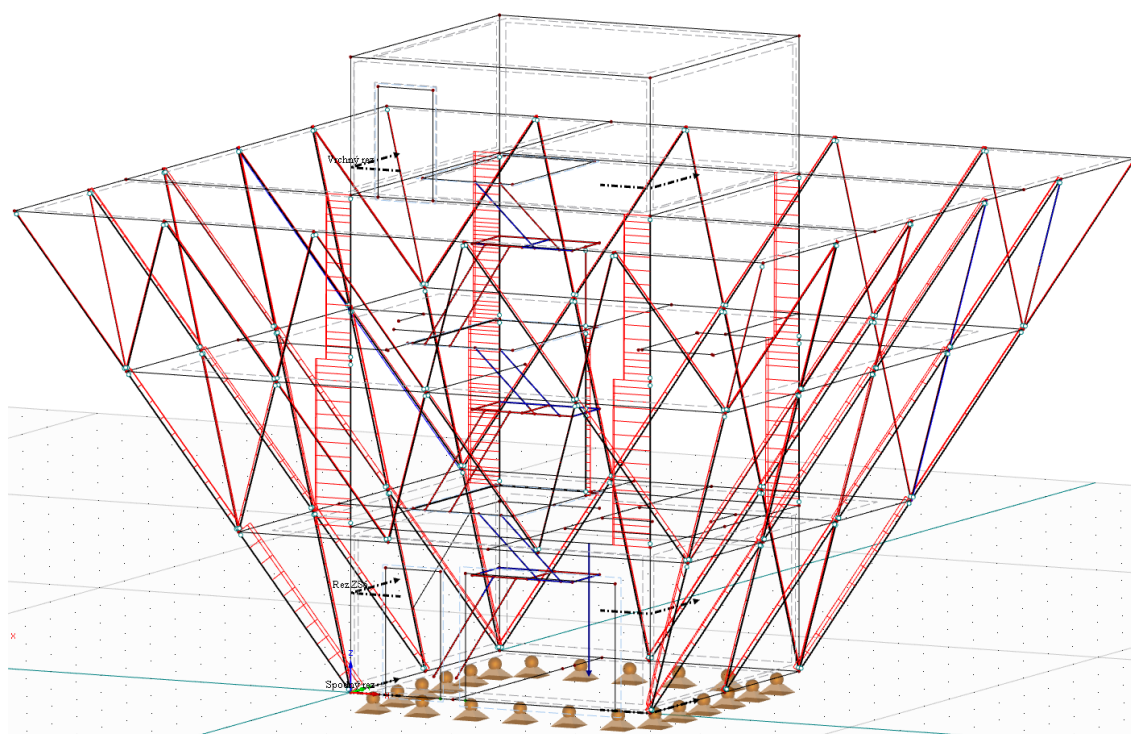
6.3 KV5 – KV20 (G+V)

Takto zvolená kombinácia výsledkov bola vytvorená pre maximalizáciu nepriaznivých účinkov vetra. Kombinácie obsahujú tiež nosných aj nenosných prvkoch, ktorá je dokonca znížená na stranu bezpečnú súčiniteľom 0,9. Pre účinky vetra platí bežný súčiniteľ premenného zaťaženia 1,50.

Počet kombinácií vychádza z počtu zaťažovacích stavov vetra, samotné kombinácie sa od seba nijak nelíšia. Na ukážku je vybratá KV5.

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků KV5			
Součinitel	č.	Popis	Kritérium
0.90	G ZS1	Masťná tiaž nosných prvkov	Stálé
0.90	G ZS2	Tiaž priečok	Stálé
0.90	G ZS3	Sklenený kôš	Stálé
0.90	G ZS4	Skladba stropov	Stálé
0.90	G ZS5	Tiaž zelenej strechy - nenasýtená vodou	Stálé
0.90	G ZS7	Tiaž schodiska	Stálé
0.90	G ZS8	Zábradlia na terase a schodisku	Stálé
1.50	Qw ZS20	Vietor S-J la-la	Proměnné

Obrázok 6.3-1 - KV5



Obrázok 6.3-2 - Namáhanie od KV5

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Z obrázku namáhania je zrejmé, že výslednica aj vnútorné sily v oceľových prútoch sú tlakové. To znamená, že tiaž konštrukcie je dostatočne veľká na to, aby od účinkov vetra nevznikalo ťahové namáhanie uloženia. Zaťaženie teda nemá tendenciu prevrátiť konštrukciu rodinného domu.

6.4 KV21 (G+S)

V práci sú vytvorené aj kombinácie stavov, pri ktorých je hneď na prvý pohľad zrejmé, že nebudú rozhodujúce. Takouto kombináciou je aj KV21. Ide o sčítanie tiaže nosných aj nenosných prvkoch a zaťaženia snehom počas bezvetria.

Kombinácia je vytvorená s cieľom získania maximálnych zvislých účinkov, no pri kombinácii $G+Q_p+S$ určite nadobudneme väčšie účinky. Preto je KV21 vytvorená len formálne, pre úplnosť kombinácií.

Součinitel	č.	Popis	Kritérium
1.35	G ZS1	Vlastná tiaž nosných prvkov	Stálé
1.35	G ZS2	Tiaž priečok	Stálé
1.35	G ZS3	Sklenený kôš	Stálé
1.35	G ZS4	Skladba stropov	Stálé
1.35	G ZS6	Tiaž zelenej strechy - nasýtená vodou	Stálé
1.35	G ZS7	Tiaž schodiska	Stálé
1.35	G ZS8	Zábradlia na terase a schodisku	Stálé
1.50	Q_s ZS15	Sneh počas bezvetria	Promenné

Obrázok 6.4-1 - KV21

6.5 KV22 (G+Q_p+S)

Touto kombináciou výsledkov, s vhodnou voľbou súčiniteľov, dosahujeme maximálny zvislý účinok na konštrukciu počas bezvetria. Z toho dôvodu je v rámci vlastnej tiaže braný zaťažovací stav nasýtenej vegetačnej strechy. S tiažou nenasýteného substrátu by bol účinok výrazne menší, preto takúto kombináciu ani neuvažujeme.

Norma [4] vylučuje kombináciu snehu a premenného zaťaženia. Preto úžitkové zaťaženie pre nepochôdznu strechu nie je v kombinácii uvažované. Avšak premenné zaťaženie na pochôdznej streche uvažované je, a to z toho

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

dôvodu, že strecha slúži ako terasa a užívanie osobami počas pôsobenia snehu sa nijak nevyučuje.

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků KV22				
Součinitel	č.	Popis	Kritérium	St
1.35	G ZS1	Vlastná tiaž nosných prvkov	Stálé	
1.35	G ZS2	Tiaž priečok	Stálé	
1.35	G ZS3	Sklenený kôš	Stálé	
1.35	G ZS4	Skladba stropov	Stálé	
1.35	G ZS6	Tiaž zelenej strechy - nasýtená vodou	Stálé	
1.35	G ZS7	Tiaž schodiska	Stálé	
1.35	G ZS8	Zábradlia na terase a schodisku	Stálé	
1.50	Gq ZS9	Zaťaženie na stropy	Proměnné	
1.50	Gq ZS10	Garáž	Proměnné	
1.50	Gq ZS11	Schodisko	Proměnné	
1.50	Gq ZS12	Strecha - pochôdzna	Proměnné	
1.50	Gq ZS14	Vodorovné zaťaženie na zábradlia	Proměnné	
1.50	Qs ZS15	Sneh počas bezvetria	Proměnné	

Obrázok 6.5-1 - KV22

6.6 KV23 – KV38 (G+Q_p+V)

Nasledujúce kombinácie výsledkov sú podobné s KV22 s tým rozdielom, že miesto zaťaženia snehom uvažujeme jednotlivé účinky vetra. Vzhľadom k tomu chceme konštrukciu odľahčiť, preto je uvažovaná tiaž nenasýtenej vegetačnej strechy.

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků KV23				
Součinitel	č.	Popis	Kritérium	St
1.35	G ZS1	Vlastná tiaž nosných prvkov	Stálé	
1.35	G ZS2	Tiaž priečok	Stálé	
1.35	G ZS3	Sklenený kôš	Stálé	
1.35	G ZS4	Skladba stropov	Stálé	
1.35	G ZS5	Tiaž zelenej strechy - nenasýtená vodou	Stálé	
1.35	G ZS7	Tiaž schodiska	Stálé	
1.35	G ZS8	Zábradlia na terase a schodisku	Stálé	
1.50	Gq ZS9	Zaťaženie na stropy	Proměnné	
1.50	Gq ZS10	Garáž	Proměnné	
1.50	Gq ZS11	Schodisko	Proměnné	
1.50	Gq ZS12	Strecha - pochôdzna	Proměnné	
1.50	Gq ZS13	Strecha - nepochôdzna	Proměnné	
1.50	Gq ZS14	Vodorovné zaťaženie na zábradlia	Proměnné	
1.50	Qw ZS20	Vietor S-J la-la	Proměnné	

Obrázok 6.6-1 - KV23

6.7 KV39 – KV54 (G+Q_p+V+S)

Pre konštrukciu bude vo väčšine prípadov rozhodujúce pôsobenie všetkého uvažovaného zaťaženia. V rámci stáleho zaťaženia je uvažovaná tiaž nasýtenej strechy a kombinácie snehu s vetrom sú vytvorené tak, aby snehové náveje odpovedali smeru zaťaženia vetrom.

Súčiniteľ premenného zaťaženia nadobúda vo všetkých prípadoch hodnotu 1,50. Podľa príslušných noriem sa, pri viacerých premenných zaťaženiach, môže hodnota 1,50 redukovať tzv. redukčným súčiniteľom. V našej práci je táto redukcia na stranu bezpečnú zanedbaná a používajú sa plná hodnota súčiniteľa 1,50.

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků KV39			
Součinitel	č.	Popis	Kritérium
1.35	G ZS1	Vlastná tiaž nosných prvkov	Stále
1.35	G ZS2	Tiaž priečok	Stále
1.35	G ZS3	Sklenený kôš	Stále
1.35	G ZS4	Skladba stropov	Stále
1.35	G ZS6	Tiaž zelenej strechy - nasýtená vodou	Stále
1.35	G ZS7	Tiaž schodiska	Stále
1.35	G ZS8	Zábradlia na terase a schodisku	Stále
1.50	G_q ZS9	Zaťaženie na stropy	Proměnné
1.50	G_q ZS10	Garáž	Proměnné
1.50	G_q ZS11	Schodisko	Proměnné
1.50	G_q ZS12	Strecha - pochôdzna	Proměnné
1.50	G_q ZS14	Vodorovné zaťaženie na zábradlia	Proměnné
1.50	Q_s ZS16	Sneh S-J	Proměnné
1.50	Q_w ZS20	Vietor S-J la-la	Proměnné

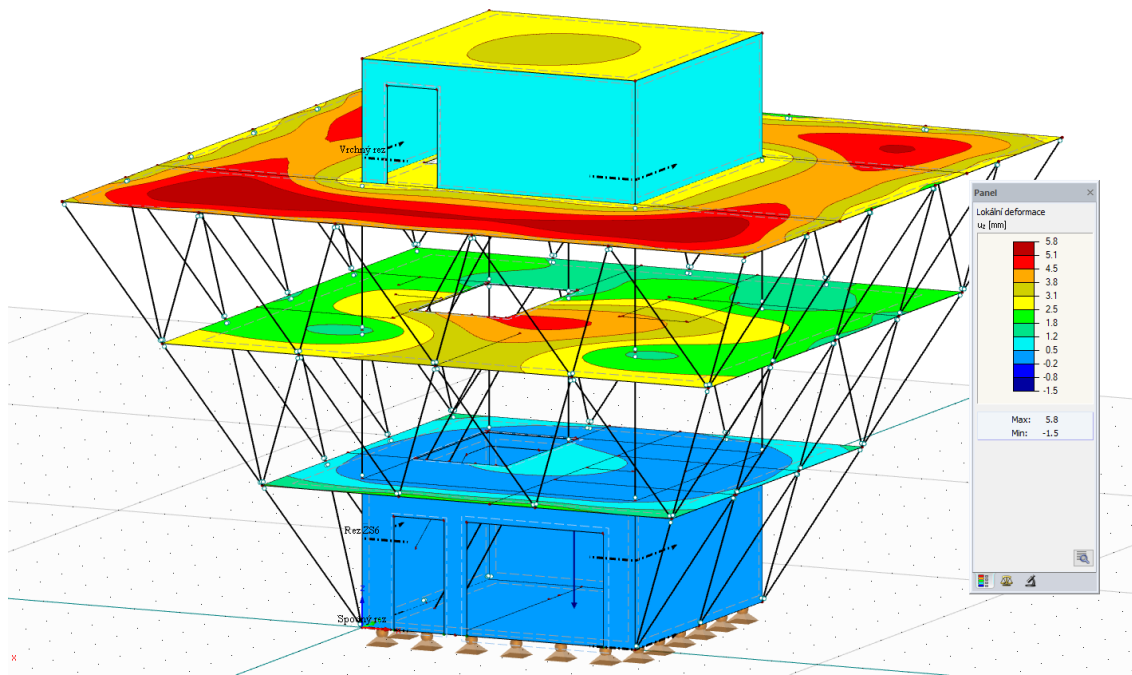
Obrázok 6.7-1 - KV39

6.8 KV55 – OBÁLKA

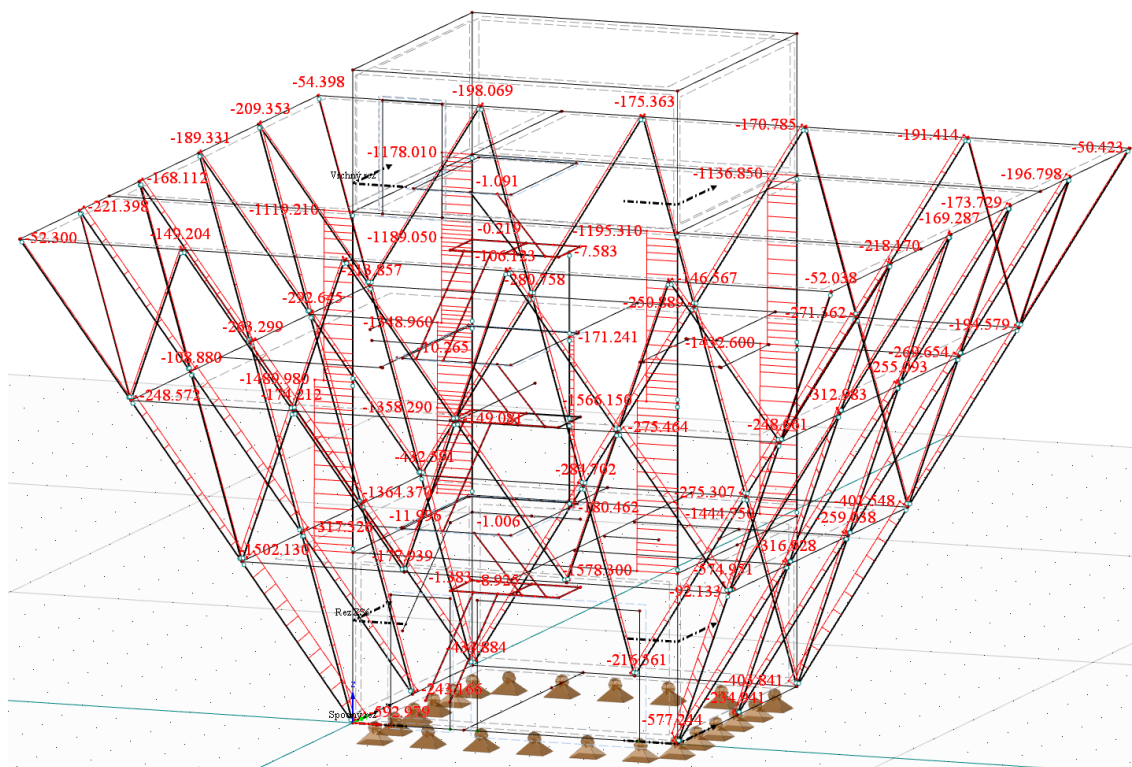
Z dôvodu prehľadnosti a lepšej orientácií vo výsledkoch je vytvorená ďalšia kombinácia – obálka. Z pomedzi všetkých existujúcich kombinácií výsledkov zobrazí na konštrukčných prvkoch práve tie, ktoré vyvolávajú maximálne, resp. minimálne účinky.

Ide vlastne o kombináciu kombinácií a preto je hodnota všetkých súčiniteľov 1,0.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

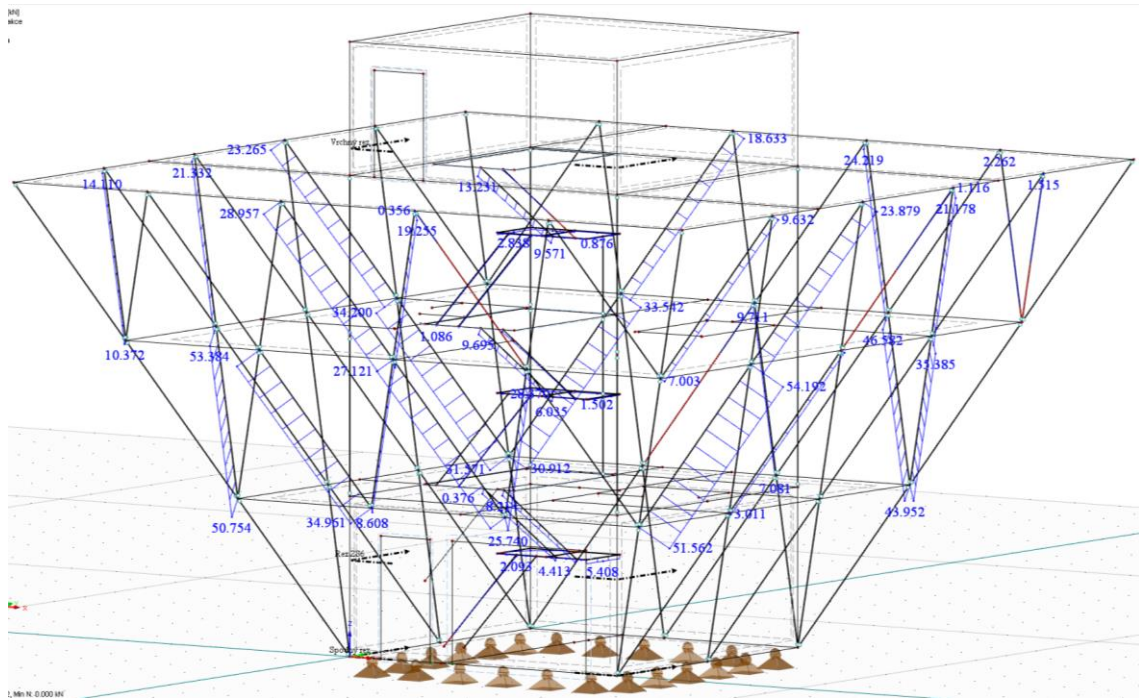


Obrázok 6.8-1 - Lokálne deformácie na konštrukcii



Obrázok 6.8-2 - Minimálne vnútorné sily - maximálny tlak

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 6.8-3 - Maximálne vnútorné sily - maximálny ťah

7 PREKLOPENIE KONŠTRUKCIE

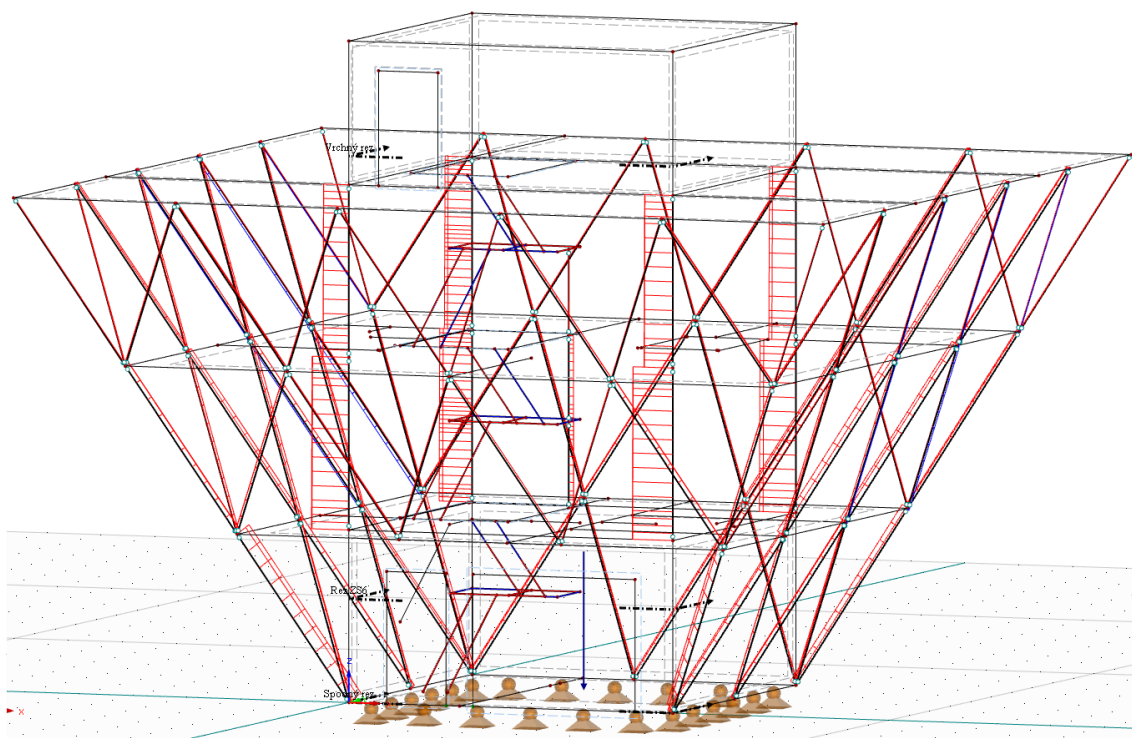
Preklopenie konštrukcie sme z časti overili už v kapitole 4.3. Tentokrát však ešte viac znížime zvislé účinky a to tak, že budeme počítať iba s vlastnou tiažou nosných prvkov a sklenených tabúľ, o ktoré sa vietor opiera. K takejto situácii by mohlo dôjsť počas výstavby. Kombináciu zaťaženia charakterizuje KV56.

Zatěžovací stavy a kombinace v kombinaci výsledků KV56			
Součinitel	č.	Popis	Kritérium
0.90	G ZS1	Vlastná tiaž nosných prvkov	Stále
0.90	G ZS3	Sklenený kôš	Stále
1.50	Q_w ZS32	Vietor S-J lb-lb	Proměnné

Obrázok 7-1 – KV56

Pri vetre sú uvažované oblasti Ib, ktoré pôsobia proti vlastnej tiaži. Aj v tomto prípade vzniká na spodnej betónovej doske tlaková výslednica, oceľové prúty prihradovej konštrukcie sú taktiež namáhané tlakom.

To znamená že už zredukovaná vlastná tiaž nosných prvkov a sklenených tabúľ eliminuje destabilizujúci moment od účinkov vetra.



Obrázok 7-2 – Vnútorne sily na konštrukcii od KV56

8 VÝSLEDKY

8.1 OVERENIE KOMBINÁCIÍ

Nakoľko sme si overili výsledky jednotlivých zaťažovacích stavov, ostáva skontrolovať správnosť kombinácií. Opäť si ručne spočítame očakávané zaťaženie na nosných prvkoch a porovnáme s programom.

Ručný výpočet bude aj v tomto prípade veľmi jednoduchý. Keďže poznáme kombinačné kľúče, ktoré sme si rozobrali v predchádzajúcich podkapitolách, stačí nám jednotlivé vnútorné sily od zaťažovacích stavov prenásobiť príslušným súčiniteľom a sčítať. Takýmto spôsobom by mal pracovať aj samotný program.

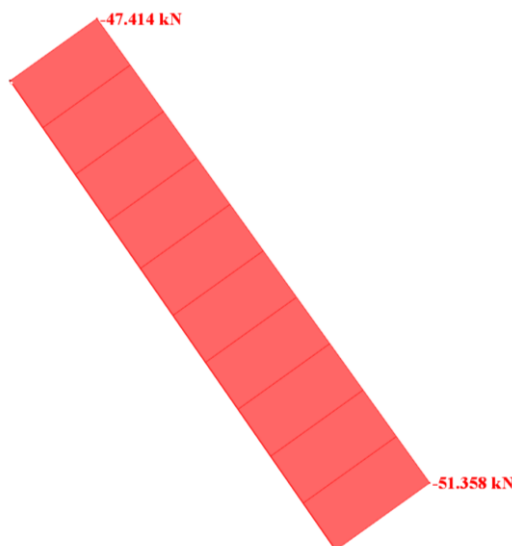
8.1.1 KV22 – ROHOVÝ OCEĽOVÝ PRÚT

Kombinácia výsledkov KV22 je charakterizovaná v kapitole 6.5. Pre overenie kombinácie je vybraný prút číslo 83, čo je jeden z rohov ocelej priehradoviny na druhom poschodí.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Na nasledujúcom obrázku môžeme vidieť priebeh normálovej sily a jej extrémnu hodnotu pre daný prút (-51,358kN), ktorú sa pokúsime overiť. Tá je pochopiteľne vplyvom vlastnej tiaže na konci prvku.

Ručný výpočet je zhrnutý v Tab. 6.9-1.



Obrázok 8.1-1 - Normálová sila na prúte od KV22

Tabuľka 8.1-1 - Ručný výpočet KV22 na prúte

Zat'azovací stav	Hodnota od ZS [kN]	Kombinačný súčiniteľ	Výsledná hodnota [kN]
Vlastná tiaž	-10,650	1,35	-14,37750
Tiaž priečok	+0,001	1,35	—
Tiaž sklenených tabúľ	-1,729	1,35	-2,33415
Tiaž skladby stropov	+0,106	1,35	—
Tiaž nasýt. zelen. strechy	-13,044	1,35	-17,60940
Tiaž schodiska	+0,014	1,35	—
Tiaž zábradlia	-0,938	1,35	-1,26630
Zat'aženie na stropy	+0,069	1,50	—
Zat'. na garáž	—	1,50	—
Zat'. na schodisko	+0,110	1,50	—
Pochôdna strecha	-8,059	1,50	-12,08850
Vodorovné zat'. na zábradlia	-0,715	1,50	-1,07250
Sneh počas bezvetria	-1,849	1,50	-2,77350
CELKOM			-51,52185

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

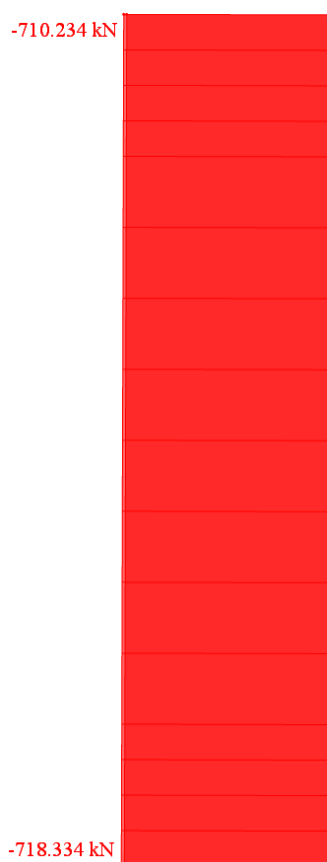
Porovnané výsledky sa líšia o 0,3%. Odchýlka pravdepodobne vznikla opäť zaokrúhľovaním, keďže jednotlivé hodnoty od ZS vstupovali do ručného výpočtu už zaokrúhlené na tri desatinné miesta. Chyba je však zanedbateľne malá a výsledky možno považovať za dostačujúce.

Z Tab. 8.1-1 sú pri hľadaní maximálnej tlakovej sile zanedbané zaťažovacie stavy, ktoré vyvolávajú ťahové namáhanie. S takouto úpravou, na stranu bezpečnú, počíta aj samotný program, ktorý pri hľadaní extrémov sčíta iba účinky vyvolávajúce rovnaké namáhanie.

8.1.2 KV10 – HLAVNÝ NOSNÝ STĽP

Kombinácia KV10 je opísaná v kapitole 6.3. Pre overenie je tento raz zvolený prút číslo 1, ktorý tvorí hlavný nosný betónový stĺp na prvom poschodí.

Extrémna normálová sila na stĺpe od kombinácie je -718,334kN.



Obrázok 8.1-2 - Normálová sila na stĺpe od KV10

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 8.1-2 - Ručný výpočet KV10 na stĺpe

Zaťažovací stav	Hodnota od ZS [kN]	Kombinačný súčiniteľ	Výsledná hodnota [kN]
Vlastná tiaž	-584,723	0,90	-526,25070
Tiaž priečok	-0,167	0,90	-0,15030
Tiaž sklenených tabúl	-1,943	0,90	-1,74870
Tiaž skladby stropov	-80,454	0,90	-72,40860
Tiaž nenasyt. zelen. strechy	-118,112	0,90	-106,30080
Tiaž schodiska	-0,404	0,90	-0,36360
Tiaž zábradlia	-0,834	0,90	-0,75060
Vietor Z-V Ia-Ib	-6,908	1,50	-10,36200
CELKOM			-718,33530

Z výsledku je zrejmé, že sme v tomto prípade dosiahli väčšiu presnosť. Odchýlka výpočtu nevznikla takmer žiadna.

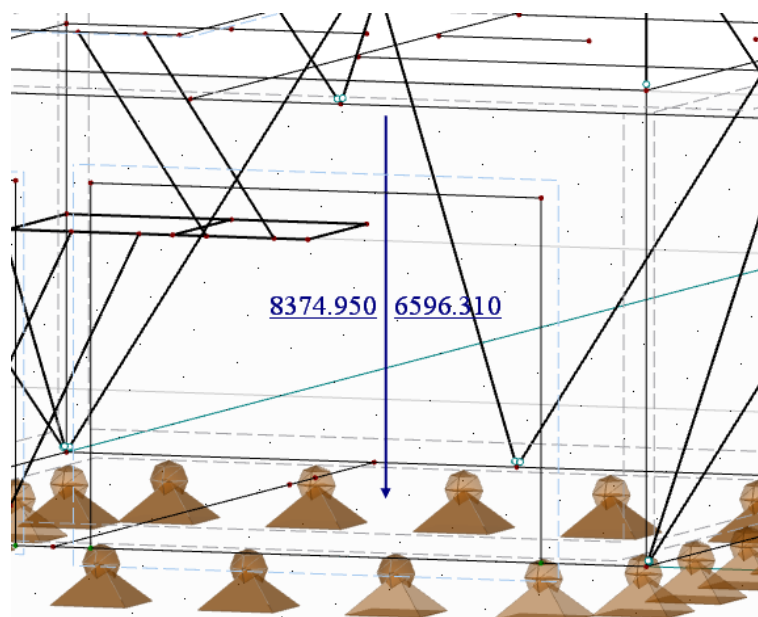
8.1.3 OVERENIE EXTRÉMNEJ VÝSLEDNICE NA PLOCHE

V kapitole si overíme extrémnu výslednicu spodného rezu (betónovej plochy na prízemí). Jej hodnotu odčítame z KV55–Obálka a činí -8374,950kN.

Následne treba zistiť, ktorá kombinácia vyvolala takýto extrémny účinok. V našom prípade sú to kombinácie KV51 až KV54. Logicky ide o kombinácie všetkého zaťaženia, čiže stáleho, premenného a zaťaženia vetrom a snehom.

V rámci overovania ide o taký istý princíp, ako pri prútoch. Rozdiel je len v tom, že neporovnávame normálové sily, ale výslednicu na ploche.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy



Obrázok 8.1-3 - Výslednica na ploche od KV51

Výslednica rezu zobrazuje maximálnu aj minimálnu hodnotu na ploche od príslušnej kombinácie. V práci sa zameriame len na hodnotu minimálnu, čiže -8374,950kN.

V nasledujúcej tabuľke je opäť rozpisovaný ručný výpočet s príslušným kombinačným kľúčom.

Tabuľka 8.1-3 - Ručný výpočet výslednice na ploche od KV51

Zaťažovací stav	Hodnota od ZS [kN]	Kombinačný súčiniteľ	Výsledná hodnota [kN]
Vlastná tiaž	-3385,140	1,35	-4569,93900
Tiaž priečok	-2,870	1,35	-3,87450
Tiaž sklenených tabúľ	-21,637	1,35	-29,20995
Tiaž skladby stropov	-440,125	1,35	-594,16875
Tiaž nasýt. zelen. strechy	-1085,310	1,35	-1465,16850
Tiaž schodiska	-7,859	1,35	-10,60965
Tiaž zábradlia	-8,818	1,35	-11,90430
Zaťaženie na stropy	-289,424	1,50	-434,13600
Zať. na garáž	—	1,50	—
Zať. na schodisko	-61,522	1,50	-92,28300
Pochôdzna strecha	-550,461	1,50	-825,69150
Vodorovné zať. na zábradlia	+6,302	1,50	—
Sneh J-S	-225,312	1,50	-337,96800
Vietor J-S Ia-Ia	+52,740	1,50	—
CELKOM			-8374,95315

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Opäť vidieť, že po vylúčení ťahových síl dostávame takmer identické hodnoty. Malá nerovnosť vznikla iba zaokrúhlením.

Globálne možno povedať, že získané výsledky sú očakávané a odchýlky medzi ručným výpočtom a programom sú zanedbateľné. To znamená, že jednotlivé vnútorné sily odpovedajú návrhovým situáciám a možno s nimi ďalej pracovať v rámci posúdenia únosnosti.

8.2 NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY

Pre potreby posúdenia jednotlivých nosných prvkov boli vytvorené nasledujúce tabuľky, obsahujúce návrhové vnútorné sily. Ide o maximálne, extrémne ťahové a tlakové normálové sily a k nim odpovedajúce momenty, posúvajúce sily a taktiež maximálne momenty a k nim odpovedajúce normálové sily.

Jednotlivé extrémne hodnoty boli prevzaté z KV55 – obálka. Pre každý jednotlivý prvok môže extrémne zaťaženie vznikáť od inej kombinácií a kvôli prehľadnosti tabuliek je z nich táto informácia vynechaná.

Tabuľka 8.2-1 - Návrhové vnútorné sily - A

Uvádzané v [<i>kN, resp. kN.m</i>]	Ned_{max,c}	Med_{odp,y}	Med_{odp,z}	Med_{odp,t}
Hlavné nosné betónové stĺpy	-1578,300	–	–	+0,152
Prúty ocelevej priehradovej konštrukcie	-592,979	–	–	-0,691
Prúty schodiskovej konštrukcie	-12,269	-1,828	-0,509	–
Pomocné schodiskové stĺpy	-180,462	–	–	–

Tabuľka 8.2-2 - Návrhové vnútorné sily - B

Uvádzané v [<i>kN, resp. kN.m</i>]	Ned_{max,t}	Med_{odp,y}	Med_{odp,z}	Med_{odp,t}
Hlavné nosné betónové stĺpy	–	–	–	–
Prúty ocelevej priehradovej konštrukcie	+54,192	–	–	–
Prúty schodiskovej konštrukcie	+13,231	–	+0,065	–
Pomocné schodiskové stĺpy	–	–	–	–

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 8.2-3 - Návrhové vnútorné sily - C

Uvádzané v [kN, resp. kN.m]	Med _{y,max}	Ned _{odp}	Med _{z,max}	Ned _{odp}	Med _{t,max}	Ned _{odp}
Hlavné nosné bet. stĺpy	+2,057	-1184,081	+7,537	-1358,291	+0,435	-1184,081
Prúty ocel. priehr. konš.	+1,218	-250,637	—	—	+1,101	-44,217
Prúty schodis. konš.	-2,724	-4,055	+1,559	-2,166	-1,024	+13,231
Pomocné schodis. stĺpy	—	—	—	—	+0,270	-180,462

Tabuľka 8.2-4 - Návrhové vnútorné sily - D

Uvádzané v [kN, resp. kN.m]	Ved _{max,y}	Ved _{max,z}
Hlavné nosné betónové stĺpy	-1,095	+0,884
Prúty ocelovej priehradovej konštrukcie	—	—
Prúty schodiskovej konštrukcie	+1,342	+0,884
Pomocné schodiskové stĺpy	—	±0,930

Pre poslednú kontrolu bude overená jedna z návrhových vnútorných síl. Konkrétne to bude z Tab. 8.2-1 hlavný nosný stĺp namáhaný maximálnou tlakovou silou.

Toto zaťaženie vzniká na prvku od skupiny kombinácie KV51 až KV54, ktoré sú bližšie opísané v kapitole 6.7. V nasledujúcich tabuľkách sú podľa kombinačného kľúču rozpísané jednotlivé hodnoty zaťaženia od zaťažovacích stavov vrátane príslušného kombinačného súčiniteľa.

Kombinácia obsahuje sedem stavov stáleho zaťaženia s typickým súčiniteľom 1,35 a sedem stavov premenného zaťaženia so súčiniteľom 1,50.

Keďže sa opäť jedná o kombináciu, v ktorej vystupuje sneh, premenné zaťaženie na nepochôdznej streche nie je uvažované. Nakoľko hľadáme maximálnu tlakovú silu, v kombinácii figuruje tiaž nasýtených vegetačných striech.

Hodnoty zaťažovacích stavov, ktoré spôsobujú ťah sú vynechané rovnako ako v kapitole 8.1.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 8.2-5 – $N_{ed,c}$ pre maximálne namáhaný nosný stĺp

Zaťažovací stav	Hodnota od ZS [kN]	Kombinačný súčiniteľ	Výsledná hodnota [kN]
Vlastná tiaž	-584,723	1,35	-789,37605
Tiaž priečok	-0,167	1,35	-0,22545
Tiaž sklenených tabúľ	-1,943	1,35	-2,62305
Tiaž skladby stropov	-80,454	1,35	-108,61290
Tiaž nasýt. zelen. strechy	-234,766	1,35	-316,93410
Tiaž schodiska	-0,404	1,35	-0,54540
Tiaž zábradlia	-0,834	1,35	-1,12590
Zaťaženie na stropy	-52,129	1,50	-78,19350
Zať. na garáž	–	1,50	–
Zať. na schodisko	-3,015	1,50	-4,52250
Pochôdzna strecha	-122,698	1,50	-184,04700
Vodorovné zať. na zábradlia	+1,915	1,50	–
Sneh J-S	-61,395	1,50	-92,09250
Vietor J-S Ia-Ia	+33,217	1,50	–
CELKOM			-1575,42585

Tabuľka 8.2-6 - $M_{t,odp}$ pre max. namáhaný stĺp

Zaťažovací stav	Hodnota od ZS [kN]	Kombinačný súčiniteľ	Výsledná hodnota [kN]
Vlastná tiaž	+0,037	1,35	+0,04995
Tiaž priečok	–	1,35	–
Tiaž sklenených tabúľ	+0,002	1,35	+0,00270
Tiaž skladby stropov	+0,003	1,35	+0,00405
Tiaž nasýt. zelen. strechy	+0,026	1,35	+0,03510
Tiaž schodiska	-0,001	1,35	–
Tiaž zábradlia	+0,002	1,35	+0,00270
Zaťaženie na stropy	+0,002	1,50	+0,00300
Zať. na garáž	–	1,50	–
Zať. na schodisko	-0,004	1,50	–
Pochôdzna strecha	+0,014	1,50	+0,02100
Vodorovné zať. na zábradlia	+0,007	1,50	+0,01050
Sneh J-S	+0,006	1,50	+0,00900
Vietor J-S Ia-Ia	+0,010	1,50	+0,01500
CELKOM			+0,15300

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Z dôvodu nulových hodnôt odpovedajúcich momentov k ose Y a Z, nie sú tabuľky pre overenie týchto vnútorných síl uvedené.

Odpovedajúci torzný moment má kladnú hodnotu, preto pre správny výsledok z tabuľky vylúčime hodnoty záporné. Po týchto úpravách vidíme, že výsledky sa takmer zhodujú. Chyba tentokrát nie je spôsobená sieťou konečných prvkov ani samotnými integrálnymi počtami.

Nakoľko do tabuliek vstupujú už hodnoty ovplyvnené vyššie spomínanými príčinami odchýlok, vzniknutá minimálna chyba je čisto zaokrúhľovaním.

To znamená, že odchýlky od analytického riešenia vzniknú v programe hneď pri výpočtoch jednotlivých zaťažovacích stavoch. V rámci kombinácií výsledkov program už žiadnu chybu neurobí a ak do ručného výpočtu vstupujú výslednice ZS z programu, porovnávané účinky kombinácií sú mimo chyby zaokrúhlenia identické.

9 ZÁVER

Úlohou bakalárskej práce bol návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy. Konštrukcia sa skladá z vnútorného betónového jadra a oceľovej, priehradovej konštrukcie tvoriacej obvodový plášť. Ide teda o oceľovo-betónovú stavbu.

Priestorový výpočtový model bol vytvorený v programe Dlubal RFEM 5.20 z 1D a 2D prvkov. Výpočet prebiehal metódou konečných prvkov. Pri nastavení siete konečných prvkov sme zvolili dĺžku KP 0,250m.

Model bol zaťažený celkom 35 zaťažovacími stavmi, ktoré odpovedajú aktuálne platným normám ČSN EN. Z nich bolo ručne vytvorených 55 kombinácií.

Práca sa z väčšej časti zameriava na ručné overenie výsledkov s programom. Cieľom je zoznámenie sa a lepšie pochopenie práce výpočtového systému. V prvej časti sú porovnávané výslednice zaťažovacích stavov rôznymi postupmi. V druhej časti sú overované vytvorené kombinácie a ich účinky na jednotlivých nosných prvkoch alebo plochách.

Nakoľko sa hodnoty väčšinou mierne líšili, zamerali sme sa na pôvod týchto odchýlok. V práci sme dokázali, že presnosť výpočtu pomocou metódy konečných prvkov priamo závisí na hustote siete konečných prvkov.

Teoreticky by sme na dosiahnutie presného výsledku potrebovali nekonečne malú dĺžku konečného prvku. To samozrejme nie je do programu možné zadať. Obecne však možno povedať, že pri voľbe stále menšieho konečného prvku, sa budú výsledky približovať skutočnosti. Nastavenie veľmi malej dĺžky KP však predlžuje čas výpočtu a častokrát to už v rámci získaných výsledkov ani nemá opodstatnenie.

Ďalej sa v práci zistilo, že iným pôvodcom odchýlok je samotný vnútorný integrálny výpočet programu. Program pracuje pomocou deformačnej metódy, ktorá za primárne neznáme považuje deformácie. Z nich sa počíta napätie a následne vnútorné sily.

Táto skutočnosť podľa všetkého ovplyvňuje výsledky najviac. Napríklad pri konštantnom zaťažení na steny sme dokázali, že výslednica v rôzne umiestnených rezoch je stále iná a to z dôvodu rôznej deformácie. Teoreticky by však mala byť stena namáhaná všade rovnako.

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Odchýlky v našej práci ovplyvnili aj posúvajúce sily, ktoré boli, v rámci zjednodušenia, pri porovnávaní zanedbané.

Práve opísané chyby vznikajú hneď pri výpočtoch samotných zaťažovacích stavov. Pri kombináciách výsledkov sme dosahovali presných hodnôt nakoľko do ručného výpočtu vstupovali hodnoty ZS z programu. Tým sme do analytického riešenia prijali pôvodnú odchýlku ZS a pri kombináciách nevznikla žiadna ďalšia odchýlka, nakoľko ide len o sčítanie účinkov.

Aj keď tu hovoríme o akýchsi chybách výpočtu, ide o veľmi malé odchýlky, nedosahujúce ani 1% z hodnôt výsledníc. Práve preto možno povedať, že dosiahnuté výsledky boli vzhľadom na ručný výpočet očakávané a program pracoval správne.

Po overení správnosti výpočtu sme dokázali, že model je skonštruovaný správne a hodnoty na prvkoch odpovedajú skutočnému zaťaženiu. Vzniknuté chyby sú teda úplne zanedbateľné.

V poslednej časti práce sú v tabuľkách zoradené jednotlivé návrhové vnútorné sily na všetkých nosných prvkoch. Tie slúžia ako predpríprava pre samotné posúdenie únosností.

10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

10.1 NORMY

- [1] ČSN 73 4301, *Obytné budovy*. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [2] ČSN 73 4130, *Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
- [3] ČSN EN 1991-1-1 (73 0035), *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [4] ČSN EN 1991-1-3 ed. 2 (73 0035), *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013
- [5] ČSN EN 1991-1-4 ed. 2 (73 0035), *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013

10.2 LITERATÚRA

- [6] KADLČÁK, J., KYTÝR, J. *Statika stavebních konstrukcí I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Nakladatelství VUTIUM, 2009. ISBN 978-80-214-3428-8.
- [7] KADLČÁK, J., KYTÝR, J. *Statika stavebních konstrukcí II*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Nakladatelství VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-3419-6.
- [8] ELIÁŠ, J., VOŘECHOVSKÝ, M. *Přednášky z předmětu BD053: Vybrané statě ze stavební mechaniky 1 (K)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební, 2020.

[9] HRADIL, P. *Přednášky z předmětu BD006: Stavební mechanika*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta stavební, 2020.

[10] *Manuál programu Dlubal RFEM 5*. Dostupný ke stažení na <https://www.dlubal.com/cs/stahovani-a-informace/dokumenty/manualy>

10.3 INTERNETOVÉ ODKAZY

[11] <https://www.1-topeni-levne.cz/technicke-informace/skladba-podlahy-konstrukci-u-bezneho-rodinneho-domu>

[12] <https://www.anhypodlahy.cz/technicke-udaje.html>

[13] https://atelier-dek.cz/docs/atelier_dek_cz/publikace/PROJEKCNIPRIRUCKY/vegetacni-strechy-pruvodce-navrhem-2015-04.pdf

[14] <https://cdn1.idek.cz/dek/document/808884467>

[15] <https://www.cemex.cz/podlaha-podlahove-topeni>

[16] <https://www.cevaservis310.sk/o-nas/co-by-ste-mali-vediet/>

[17] https://www.dek.cz/produkty/detail/2615261395-substrat-stresni-extenzivni-dek-2m3-big-bag?tab_id=parametry

[18] https://www.dek.cz/produkty/detail/2615261405-substrat-stresni-intenzivni-dek-2m3-bigbag?tab_id=parametry

[19] <http://www.nasestromy.cz/objemova-hmotnost-dreva/>

[20] <https://www.tzb-info.cz/soubory/PurmoCZ.pdf>

[21] <https://www.rako.cz/cs/dar66741>

[22] <https://www.rako.cz/cs/rady-a-tipy/pokladka-dlazdic-do-sterku-101518>

[23] <https://www.rigips.sk/systemy/bezpecnostne-konstrukcie/bezpecnostna-priecka-habito-rc2#key-facts>

[24] <https://www.rigips.sk/systemy/bezpecnostne-konstrukcie/bezpecnostna-priecka-rigips-rc2>

11 ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obrázok 2.1-1 - Model rodinného domu
- Obrázok 2.2-1 - Nastavenie siete konečných prvkov
- Obrázok 2.2-2 - Detail na vygenerovanú sieť konečných prvkov
- Obrázok 3.1-1 - Betónové nosné jadro
- Obrázok 3.2-1 - Oceľová priehradová konštrukcia
- Obrázok 3.3-1 - Konštrukcia schodiska a pomocných stĺpov
- Obrázok 4.1-1 - Hrúbka zvislých stien
- Obrázok 4.2-1 - Hrúbka stropných konštrukcií
- Obrázok 4.3-1 - Prierez hlavných nosných stĺpov
- Obrázok 4.4-1 - Prierez schodiskových stĺpov
- Obrázok 4.5-1 - Prierez prútov oceľovej priehradovej konštrukcie
- Obrázok 5.1-1 - Výslednica ZS1
- Obrázok 5.1-2 - Vnútorne sily od vrchnej stavby
- Obrázok 5.1-3 - Detail pri dĺžke KP 0,250m
- Obrázok 5.1-4 - Detail pri dĺžke KP 0,350m
- Obrázok 5.1-5 - Vplyv posúvajúcich síl
- Obrázok 5.1-6 - Pôdorys garáže
- Obrázok 5.1-7 - Zaťaženie od garážovej priečky
- Obrázok 5.1-8 - Pôdorys prvého poschodia
- Obrázok 5.1-9 - Zaťaženie od priečok na prvom poschodí
- Obrázok 5.1-10 - Pôdorys druhého poschodia
- Obrázok 5.1-11 - Zaťaženie od priečok na druhom poschodí
- Obrázok 5.1-12 - Výslednica ZS2
- Obrázok 5.1-13 - Vnútorne sily od priečok na druhom poschodí
- Obrázok 5.1-14 - Geometria sklenenej tabule
- Obrázok 5.1-15 - Sčítanie tiaž sklenených tabúl
- Obrázok 5.1-16 - Zaťaženie od sklenených tabúl
- Obrázok 5.1-17 - Výslednica ZS3
- Obrázok 5.1-18 - Skladba stropov na prvom poschodí
- Obrázok 5.1-19 - Skladba stropov na druhom poschodí
- Obrázok 5.1-20 - Výslednica ZS4
- Obrázok 5.1-21 - Dispozičné riešenie zelenej strechy
- Obrázok 5.1-22 - Tiaž zelenej strechy
- Obrázok 5.1-23 - Výslednica ZS5

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Obrázok 5.1-24 - Výslednica ZS6

Obrázok 5.1-25 - Vnútorne sily od ZS6

Obrázok 5.1-26 - Výslednica od extenzívnej vegetačnej strechy

Obrázok 5.1-27 - Výslednica od extenzívnej vegetačnej strechy s dĺžkou KP 0,500m

Obrázok 5.1-28 - Výslednica rezu pri hornom okraji steny

Obrázok 5.1-29 - Výslednica rezu v dolnej polovici steny

Obrázok 5.1-30 - Tiaž schodiska v garáži

Obrázok 5.1-31 - Tiaž schodiska v garáži

Obrázok 5.1-32 - Tiaž schodiska na poschodiach

Obrázok 5.1-33 - Výslednica ZS7

Obrázok 5.1-34 - Konštrukcia zábradlia na terase

Obrázok 5.1-35 - Konštrukcia zábradlia na schodisku

Obrázok 5.1-36 - Zaťaženie tiažou zábradlí

Obrázok 5.2-1 - Zaťaženie a výslednica od ZS9

Obrázok 5.2-2 - Zaťaženie a výslednica od ZS10

Obrázok 5.2-3 - Schodisko v garáži

Obrázok 5.2-4 - Schodiská na poschodiach

Obrázok 5.2-5 - Zaťaženie s výslednica ZS12

Obrázok 5.2-6 - Zaťaženie a výslednica ZS13

Obrázok 5.2-7 - Zaťaženie ZS14

Obrázok 5.2-8 - Detail na zaťaženie terasy - ZS14

Obrázok 5.2-9 - Detail na zaťaženie schodiska - ZS14

Obrázok 5.3-1 - Legenda snehových oblastí Českej republiky

Obrázok 5.3-2 - Zaťaženie a výslednica ZS15

Obrázok 5.3-3 - Náveje

Obrázok 5.3-4 - Zaťaženie ZS17

Obrázok 5.4-1 - Legenda veterných oblastí Českej republiky

Obrázok 5.4-2 - Legenda pre ploché strechy

Obrázok 5.4-3 - Zaťaženie strechy terasy od účinku vetra

Obrázok 5.4-4 – Legenda pre zvislé steny

Obrázok 5.4-5 - Zaťaženie stien garáže od účinku vetra

Obrázok 5.4-6 - Legenda pre voľne stojace steny a murované zábradlia

Obrázok 5.4-7 - Zaťaženie zábradlia od účinku vetra

Obrázok 5.4-8 - Legenda pre pultové strechy – kolmé steny

Obrázok 5.4-9 - Legenda pre pultové strechy - rovnobežné steny

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Obrázok 5.4-10 - Legenda pre pultové strechy - uhol alfa

Obrázok 5.4-11 - Príklad zaťaženia uzlov od účinku vetra

Obrázok 6.1-1 - KV1

Obrázok 6.1-2 - KV2

Obrázok 6.2-1 - KV3

Obrázok 6.3-1 - KV5

Obrázok 6.3-2 - Namáhanie od KV5

Obrázok 6.4-1 - KV21

Obrázok 6.5-1 - KV22

Obrázok 6.6-1 - KV23

Obrázok 6.7-1 - KV39

Obrázok 6.8-1 - Lokálne deformácie na konštrukcii

Obrázok 6.8-2 - Minimálne vnútorné sily - maximálny tlak

Obrázok 6.8-3 - Maximálne vnútorné sily - maximálny ťah

Obrázok 8.1-1 - Normálová sila na prúte od KV22

Obrázok 8.1-2 - Normálová sila na stĺpe od KV10

Obrázok 8.1-3 - Výslednica na ploche od KV51

Obrázok 7-1 – KV56

Obrázok 7-2 – Vnútorné sily na konštrukcii od KV56

12 ZOZNAM TABULIEK

- Tabuľka 5.1-1 - Vlastná tiaž hlavných nosných prvkov
- Tabuľka 5.1-2 - Vlastná tiaž vrchnej stavby
- Tabuľka 5.1-3 - Vnútorne sily od vrchnej stavby
- Tabuľka 5.1-4 - Vnútorne sily pre spodný rez
- Tabuľka 5.1-5 - Vlastná tiaž pre spodný rez
- Tabuľka 5.1-6 - Zaťaženie od garážovej priečky
- Tabuľka 5.1-7 - Zaťaženie od priečok na prvom poschodí
- Tabuľka 5.1-8 - Zaťaženie od priečok na druhom poschodí
- Tabuľka 5.1-9 - Vnútorne sily od priečok na druhom poschodí
- Tabuľka 5.1-10 - Zaťaženie sklenených tabúl
- Tabuľka 5.1-11 - Skladba stropu s laminátovou plávajúcou podlahou
- Tabuľka 5.1-12 - Skladba stropu s keramickou dlažbou
- Tabuľka 5.1-13 - Zaťaženie od skladby stropov
- Tabuľka 5.1-14 - Zaťaženie od nenasýtenej extenzívnej vegetačnej strechy typu A2
- Tabuľka 5.1-15 - Zaťaženie od nenasýtenej intenzívnej vegetačnej strechy typu A7
- Tabuľka 5.1-16 - Zaťaženie od nenasýtenej vydláždenej plochy
- Tabuľka 5.1-17 - Zaťaženie od nenasýtených zelených striech
- Tabuľka 5.1-18 - Zaťaženie od nasýtenej extenzívnej vegetačnej strechy typu A2
- Tabuľka 5.1-19 - Zaťaženie od nasýtenej intenzívnej vegetačnej strechy typu A7
- Tabuľka 5.1-20 - Zaťaženie od nasýtenej vydláždenej plochy
- Tabuľka 5.1-21 - Zaťaženie od nasýtených zelených striech
- Tabuľka 5.1-22 - Vnútorne sily od ZS6
- Tabuľka 5.1-23 - Tiaž schodiska v garáži
- Tabuľka 5.1-24 - Tiaž schodiska na poschodiach
- Tabuľka 5.1-25 - Celková tiaž ZS7
- Tabuľka 5.2-1 - Schodisko v garáži
- Tabuľka 5.2-2 - Schodiská na poschodiach
- Tabuľka 5.4-1 - Výpočet zaťaženia vetra na vrchnú plochú strechu
- Tabuľka 5.4-2 - Výpočet zaťaženia vetra na terasu
- Tabuľka 5.4-3 - Výpočet zaťaženia vetra na zvislé steny garáže

Návrh a statická analýza domu v tvare obrátenej pyramídy

Tabuľka 5.4-4 - Výpočet zaťaženia vetra na zvislé steny vrchnej budovy

Tabuľka 8.1-1 - Ručný výpočet KV22 na prúte

Tabuľka 8.1-2 - Ručný výpočet KV10 na stĺpe

Tabuľka 8.1-3 - Ručný výpočet výslednice na ploche od KV51

Tabuľka 8.2-1 - Návrhové vnútorné sily - A

Tabuľka 8.2-2 - Návrhové vnútorné sily - B

Tabuľka 8.2-3 - Návrhové vnútorné sily - C

Tabuľka 8.2-4 - Návrhové vnútorné sily - D

Tabuľka 8.2-5 – $N_{ed,c}$ pre maximálne namáhaný nosný stĺp

Tabuľka 8.2-6 - $M_{t,odp}$ pre max. namáhaný stĺp