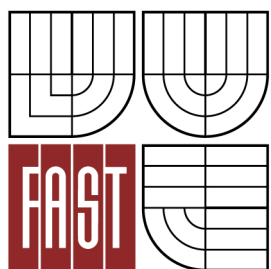




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

POROVNÁNÍ MKP PROGRAMOVÝCH SYSTÉMŮ

COMPARISON OF FEM SOFTWARES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN TAČNER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ KIKA

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Jan Tačner

Název Porovnání MKP programových systémů

Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Kika

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2011

Datum odevzdání bakalářské práce 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

.....
prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

[1] manuál Scia Engineer

[2] manuál ANSYS

[3] Pirner,M.,Fischer,O., Zatížení staveb větrem

[4] Kolář,V.,Němec,I.,Kanický,V.,FEM, principy a praxe metody konečných prvků

[5] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1:Zatížení konstrukcí - Část 1-4:Obecná zatížení-Zatížení větrem

Zásady pro vypracování

Předmětem bakalářské práce je porovnání dvou výpočetních systémů na bázi MKP - Scia Engineer a Ansys. Student vytvoří model konstrukce rozhledny v daných programových systémech a provede numerický výpočet na statická zatížení konstrukce. Porovná oba systémy z hlediska uživatelského rozhraní, složitosti modelování, provádění analýz a získaných výstupů.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Ondřej Kika
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je porovnání statických programů SCIA Engineer a ANSYS, které pracují na metodě konečných prvků. Pro názornost je v obou programech vymodelována stejná konstrukce rozhledny s definovaným zatížením - dle zvolené konstrukce, charakteru a umístění stavby. Programy jsou porovnávány jak z hlediska uživatelského (tedy práce s vlastním programem), tak z hlediska kvality obdržených číselných a grafických výstupů.

Abstract

The aim of bachelor thesis is to compared static programs SCIA Engineer and ANSYS, working on finite elements method. For clarity, in both programs there is modeled the same tower structure with a defined load - depending on the chosen design, character and location of the building. Programs are compared in terms of both the user (ie work with its own program), and of quality received numerical and graphical outputs.

Klíčová slova

Metoda konečných prvků, zatížení větrem, Scia Engineer, Ansys, síť konečných prvků, grafické výstupy

Keywords

Finite element method, wind loads, Scia Engineer, Ansys, finite element mesh, graphic outputs

Bibliografická citace VŠKP

TAČNER, Jan. *Porovnání MKP programových systémů*. Brno, 2011. 62 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Ondřej Kika.

Prohlášení:

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

V Brně dne 19.5.2012

.....
podpis autora

Poděkování:

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Ing. Ondřeji Kikovi za vedení bakalářské práce a mnoho odborných informací a užitečných rad při práci s výpočetními programy a při vypracování tohoto dokumentu.

Obsah

ÚVOD	10
1 HISTORIE STATICKÝCH VÝPOČTŮ	11
1.1 VÝVOJ METOD DN, SB, MS	11
1.2 ZAČÁTKY PC VE STATICKÝCH VÝPOČTECH.....	11
1.3 VÝVOJ STATICKÝCH PROGRAMŮ FEM.....	12
1.4 METODA KONEČNÝCH PRVKŮ - MKP.....	13
1.5 TEORIE POSTUPU VÝPOČTU POUŽITÉ STATICKÉ MKP ANALÝZY KONSTRUKCE	14
1.5.1 Teorie výpočtu.....	14
1.5.2 Řešení neznámých	15
1.5.3 Řešení soustavy lineárních rovnic	16
2 VZOROVÝ MODEL	17
2.1 POPIS A UMÍSTĚNÍ OBJEKTU.....	18
2.2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OBJEKTU	18
2.2.1 Založení objektu	18
2.2.2 Obvodový plášť.....	18
2.2.3 Vertikální komunikace.....	19
2.2.4 Stropy	20
2.2.5 Střešní konstrukce	20
2.3 ZJEDNODUŠENÁ VÝKRESOVÁ ČÁST	20
2.3.1 Půdorys INP	20
2.3.2 Řez A-A'	21
2.3.3 POHLEDY	22
2.4 VÝPOČET ZATÍŽENÍ	24
2.4.1 Stálé zatížení.....	24
2.4.2 Proměnné užité zatížení.....	24
2.4.3 Zatížení sněhem.....	24
2.4.4 Výpočet zatížení od větru.....	25
3 PROGRAM SCIA ENGINEER	31
3.1 HISTORIE.....	31
3.2 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ	32
3.3 PRÁCE S VLASTNÍM PROGRAMEM.....	32
3.3.1 První kroky	32
3.3.2 Modelování konstrukce.....	33
3.3.3 Síť konečných prvků	36
3.3.4 Výpočet.....	38
3.3.5 Výsledky.....	38
3.3.6 Publikování projektu	38
3.4 VÝSTUPY – ČÍSELNÉ.....	39
3.5 VÝSTUPY – GRAFICKÉ	39
3.6 SHRNUTÍ PRÁCE S PROGRAMEM	42
4 PROGRAM ANSYS	43
4.1 HISTORIE.....	43
4.2 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ	44
4.3 PRÁCE S VLASTNÍM PROGRAMEM.....	44
4.3.1 První kroky	44
4.3.2 Modelování konstrukce.....	46
4.3.3 Síť konečných prvků	50
4.3.4 Výpočet.....	52
4.3.5 Výsledky.....	52

4.3.6 PUBLIKOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	52
4.4 VÝSTUPY – ČÍSELNÉ.....	52
4.5 VÝSTUPY – GRAFICKÉ.....	53
4.6 SHRNUÍ PRÁCE S PROGRAMEM.....	56
5 POROVNÁNÍ PROGRAMŮ.....	57
5.1 POROVNÁNÍ FUNKCÍ.....	57
5.2 POROVNÁNÍ DOSTUPNOSTI A TECHNICKÉ PODPORY.....	57
5.3 POROVNÁNÍ Z HLEDISKA UŽIVATELE.....	58
5.4 POROVNÁNÍ KVALITY VÝSTUPŮ.....	58
5.5 CELKOVÉ SROVNÁNÍ.....	58
ZÁVĚR.....	59

Úvod

Předmětem bakalářské práce je představení dvou statických počítačových softwarů – SCIA Engineer a Ansys, které pracují na metodě konečných prvků (MKP, anglicky FEM = finite element method), a následné porovnání těchto programů.

První část práce je věnována vývoji statických výpočtů od dovolených namáhání přes stupně bezpečnosti až po mezní stavy. Těžištěm této části práce je představení metody konečných prvků a její teoretické pozadí.

Pro názornost je v obou programech modelován stejný objekt. Zvoleným objektem je rozhledna umístěná v pohoří Šumava. Díky umístění do reálného prostředí je možné vypočítat zatížení od sněhu a větru, které by na konstrukci působilo. Charakter objektu, konstrukční uspořádání a okolní vlivy jsou shrnuty do osmi zatěžovacích stavů (vlastní tíha, ostatní stálé zatížení, užité zatížení, sníh, vítr I, vítr II, vítr III a vítr IV), z nichž jsou následně provedeny kombinace zatížení a třídy zatížení.

Tyto zatěžovací stavy jsou aplikovány v obou programech a následně porovnávány hodnoty maximálních posunutí uzlů ve všech směrech hlavních os. Je kladen důraz na shodnou geometrii objektu, vlastnosti použitých materiálů, velikosti zatížení a počet konečných prvků. Při dodržení všech těchto podmínek by měly být obdrženy výsledky stejné nebo se jen minimálně lišit.

Kromě číselných výstupů jsou porovnávány i grafické výstupy, jejich kvalita, možnost úprav, modifikace a exportu do dalších dokumentů. Další srovnání softwarů spočívá v obsáhlosti jejich funkcí, což se může jevit jako neobjektivní hledisko, kvůli jisté omezenosti modelované konstrukce. Pozornost bude věnována i práci programů s konečnými prvky, dostupnosti, technické podpory, porovnání konečných výstupů a srovnání z hlediska uživatele.

1 Historie statických výpočtů

1.1 Vývoj metod DN, SB, MS

Počátky statiky jako vědního oboru sahají až do 17. století, kdy byla formulována jako samostatná část mechaniky. Díky empirickým zkušenostem a celkovému rozvoji vědy v oblasti matematiky byla stanovena historicky první metoda posuzování konstrukcí – Dovolené namáhání. Tato metoda vychází z předpokladu, že v konstrukci platí Hookův zákon, tedy, že materiál je dokonale pružný. V kritických průřezích se vyšetří největší namáhání, které ovšem nesmí přesáhnout přípustnou hodnotu napětí materiálu – tzv. dovolené namáhání σ_{dov} , τ_{dov} . Dovolným namáháním je mez pevnosti.

Historicky dalším způsobem posuzování konstrukcí je metoda Stupně bezpečnosti. Stupeň bezpečnosti je vyjádřen podílem napětí v konstrukci na mezi pevnosti a napětím vyvolaným zatížením konstrukce. Míra bezpečnosti je dána příslušnou normou (tehdejší ČSN).

Dnes se navrhuje konstrukce dle metody Mezních stavů (dále jen MS), které se dělí na mezní stav únosnosti - I. MS a mezní stav použitelnosti - II. MS. Tato metoda je založena na používání dílčích součinitelů spolehlivosti jak pro materiály, zatížení a kombinace zatížení, tak pro jednotlivé druhy namáhání konstrukcí (např. součinitel vzpěru, klopení a další). Důležitým rozdílem mezi I. a II. MS je používání návrhových hodnot v I. MS (tzn. s koeficienty 1,35 pro stálé a 1,5 pro proměnné zatížení dle mezinárodní evropské normy EN), kde návrhové napětí je porovnáváno s tabulkovou hodnotou pevnosti materiálu, sníženou o součinitel spolehlivosti materiálu. V II. MS je uvažováno s charakteristickými hodnotami – bez přidání koeficientů, které jsou porovnány s požadovanou limitní hodnotou (např. maximální hodnota průhybu).

1.2 Začátky PC ve statických výpočtech

S čím dál obtížnějšími typy a tvary konstrukcí nebylo snadné vypočítat a navrhnout konstrukci tzv. „v ruce“. Aby bylo možno výpočtový model spočítat „v ruce“ – tzn. za použití logaritmického pravítka, později kalkulátoru, bylo nutné reálný model značně zjednodušit, což mělo samozřejmě velký vliv na tom, jak moc se výpočet blíží realitě. Doba strávená nad počítáním rovnic o desítkách neznámých a tím i

vysoká možnost dopuštění se nějaké numerické chyby znamenaly nutnost automatizace, která přišla až s prvními počítači. Velké sálové počítače byly schopny velké množství vstupních dat postupně řešit a tím ušetřit řadě statiků jejich drahocenný čas. Je zřejmé, že tomu nebylo tak jako dnes, kdy prakticky kliknutím máme okamžitě výsledky.

1.3 Vývoj statických programů FEM

„Ve čtyřicetiletém vývoji FEM (1956-1997), po počátečním desetiletí čistě inženýrského přístupu v duchu dřívější maticové analýzy konstrukcí, začali ideu FEM zkoumat též matematici a položili základy její matematické věrohodnosti bez zřetele na fyzikální podstatu řešené úlohy. Tento přechod od praktické intuice k formálně přísně analýze byl neobyčejně prospěšný pro další etapu let 1970-1980, kdy vznikla celá řada velkých programových systémů, univerzálně aplikovatelných. Další léta jsou pak charakteristická trvalým prohlubováním matematických úvah o rozšiřování aplikací na prakticky všechny technické výpočty.“ (1), s.13

Ještě do 80. let dvacátého století se na kurzech pro statiky-projektanty detailně probíraly algoritmy a různé matematické řady, které se nám dnes mohou zdát jako z jiného světa. Jednotliví uživatelé byli nuceni si program vytvářet sami nebo je aplikovat na své konkrétní řešené úlohy.

Nyní jsou uživatelé v daleko výhodnější pozici, než tomu bylo na začátku vývoje a to i díky rozšíření a zvýšení výkonnosti osobních počítačů. Je tolik procesů, které počítač provede, aniž by si toho běžný uživatel všiml. Už není nutné hlídat každý jednotlivý součet dvou čísel, dlouhé hodiny vymýšlet algoritmy. Nejdůležitější je, sestavit správně výpočtový model a v následujících několika vteřinách či minutách program nabídne výsledky. Z toho ovšem plyne, že veškerých chyb, kterých se statik mohl dopustit, se nutně musel dopustit špatným vložením dat. A může to být opravdu cokoli, od špatně zvoleného modelu, přes nesprávně zvolené zatížení, až po chybné údaje o použitém materiálu. Zajisté to jsou chyby, které jdou snadněji a rychleji opravit než vymýšlet jiný, vhodnější algoritmus. Je jasné, že pokud program funguje správně, tak vše spočítá i s chybně zadanými údaji, prostě se neptá a počítá. A tak je důležité, aby měl projektant-statik představu o tom jak by měli vypadat správné výsledky řešené úlohy. I ti nejzkušenější projektanti radí si udělat kontrolu obdržených výsledků pomocí zjednodušených metod klasickým početním způsobem.

Dnes je výkonné PC (personal computer) s kvalitním softwarem neodmyslitelnou součástí každé projekční kanceláře. Je k dostání široká paleta různých softwarů. Od uživatelsky jednoduchých programů s paletkovým menu až po programy, které jsou obstojně zvládnutelné jen při několikaroční každodenní praxi. Je těžké říct, jestli jeden program je lepší než druhý, pokud z obou dostaneme správné výsledky.

1.4 Metoda konečných prvků - MKP

Anglicky FEM – finite element method je moderní metoda, která vznikla v 50. letech minulého století a znamenala značný pokrok ve výpočtech napětí a deformací. Pokud se neomezíme pouze na problematiku stavařiny, tak pomocí FEM můžeme počítat proudění kapalin, vedení tepla, kmitání, elektřinu, magnetismus a další. Mezi první řešené úlohy patřil návrh a výpočet konstrukce letadla. Později bylo hlavním místem pro používání této metody středisko v Berkeley, které se zabývalo úlohami stavebního inženýrství.

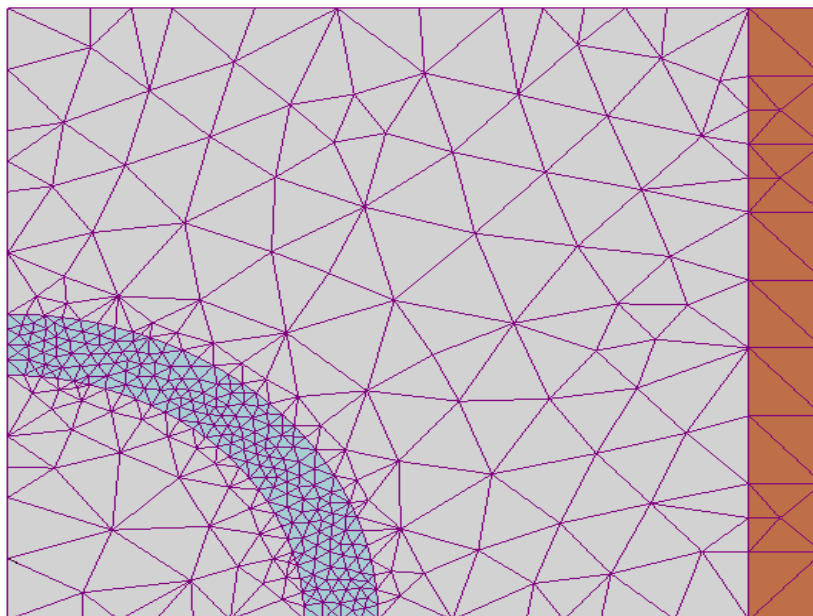
„V obecném pojetí FEM tkví matematická podstata v tzv. diskretizaci úlohy. Pojem diskrétní je opakem kontinuální. Názorně řečeno: hledání počtu neznámých funkcí v oblasti Ω s hranicí Γ je nahrazeno hledáním konečného počtu hodnot těchto funkcí nebo parametrů Δ , z nichž lze zkonstruovat přibližné řešení.“ (1), s.21

„FEM je zobecněná Ritz-Galerkinova variační metoda, užívající bázových funkcí s malým kompaktním nosičem, úzce spjatým se zvoleným rozdělením řešené oblasti na konečné prvky.“ (1), s.21

„Metoda konečných prvků (MKP) je v současné době nejuniverzálnější metodou pro mnoho typů problémů, nejen řešení okrajových úloh mechaniky kontinua. Převádí řešení diferenciálních rovnic na řešení systémů algebraických rovnic. Její rozvoj je spjat s rozvojem výpočetní techniky, s jejíž pomocí dnes není problémem v přijatelném čase řešit soustavy o stovkách tisíc rovnic. Na trhu je celá řada komplexních programů postavených na MKP, často se značným uživatelským komfortem. Metoda, matematická teorie i aplikace MKP jsou dnes velmi propracovány.“ (2), s.11

Toto jsou jen některé definice, které můžeme nalézt v odborných literaturách. Vždy je snaha o co nejjednodušší interpretaci této metody, avšak většině projektantů, kteří se s problematikou nesetkávají denně, se toto popsání může jevit jako pověstná „španělská vesnice“. A buďme upřímní, projektant statik vlastně tyto definice ani

k běžné praxi nepotřebuje. Takže v čem by se měl orientovat člověk, který aplikuje tyto matematická řešení na praktické úlohy? Jednoznačná odpověď – velikost sítě konečných prvků. Je nutné, aby si byli projektanti vědomi toho, co a jak ovlivní změna sítě, kde je podstatné síť zhustit nebo zjemnit a kde naopak postačí hrubá síť se základní zvolenou velikostí konečných prvků.



Obr. 1: Základní velikost sítě kombinovaná se zjemněnou sítí v hlavní oblasti zájmu (3)

1.5 Teorie postupu výpočtu použité statické MKP analýzy konstrukce

1.5.1 Teorie výpočtu

Celková rovnice rovnováhy pro lineární statickou analýzu metodou konečných prvků má tvar:

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

nebo

$$[K]\{u\} = \{F^a\} + \{F^r\}$$

$[K]$celková matice tuhosti

$\{u\}$vektor uzlových posunutí a rotací

$\{F^r\}$...zatěžovací vektor reakcí

$\{F^a\}$...celkový vektor aplikovaného zatížení

Celková matice tuhosti se získá jako součet matic tuhosti jednotlivých prvků:

$$[K] = \sum_{m=1}^N [K_e]$$

N celkový počet prvků,

$[K_e]$...matice tuhosti prvku.

Celkový vektor aplikovaného zatížení se získá:

$$\{F^a\} = \{F^{nd}\} + \{F^{ac}\} + \sum_{m=1}^N \left([F_e^{th}] + [F_e^{pr}] \right)$$

$\{F^{nd}\}$...vektor aplikovaného uzlového zatížení
 $\{F^{ac}\}$...vektor zatížení od tíhového zrychlení
 $\{F_e^{th}\}$...vektor zatížení od teplotního zatížení
 $\{F_e^{pr}\}$...vektor zatížení od povrchových tlaků na prvcích

Vektor zatížení od tíhového zrychlení se vypočte:

$$\{F^{ac}\} = -[M]\{a_c\}$$

$[M]$...celková matice hmotnosti
 $\{a_c\}$...vektor tíhového zrychlení

Celková matice hmotnosti se definována jako součet matic hmotnosti jednotlivých prvků:

$$[M] = \sum_{m=1}^N [M_e]$$

N celkový počet prvků
 $[M_e]$...matice tuhosti prvku

1.5.2 Řešení neznámých

Soustavu lineárních rovnic $[K]\{u\} = \{F\}$ je možné řešit, pokud jsou dostatečně specifikovány okrajové podmínky vektorem $\{u\}$, tak aby existovalo jediné řešení. Řešením získáme hodnoty uzlových posunů a rotací v každém uzlu modelu. Soustavu lineárních rovnic lze rozdělit na matice a vektory, ve kterých jsou a nejsou zadány hodnoty stupňů volnosti. Můžeme soustavu tedy přepsat na tvar:

$$\begin{bmatrix} [K_{cc}] & [K_{cs}] \\ [K_{cs}]^T & [K_{ss}] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \{u_c\} \\ \{u_s\} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \{F_c^a\} \\ \{F_s^a\} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \{F_c^r\} \\ \{F_s^r\} \end{pmatrix}$$

s index značící stupně volnosti se zadanými hodnotami
 c index značící stupně volnosti s hledanými hodnotami

Je zřejmé, že reakce ve stupních volnosti bez zadaných hodnot musí být nulové. Rovnici lze tedy upravit takto :

$$\begin{bmatrix} [K_{cc}] & [K_{cs}] \\ [K_{cs}]^T & [K_{ss}] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \{u_c\} \\ \{u_s\} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \{F_c^a\} \\ \{F_s^a\} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \{0\} \\ \{F_s^r\} \end{pmatrix}$$

Horní část rovnice lze využít pro řešení vektoru neznámých $\{u_c\}$:

$$\{u_c\} = [K_{cc}]^{-1} \left(-[K_{cs}]\{u_s\} + \{F_c^a\} \right)$$

Vektor reakcí $\{F_s^r\}$ lze získat ze spodní části rovnice:

$$\{F_s^r\} = \{F_s^r\}\{u_c\} + [K_{ss}]\{u_s\} - \{F_s^a\}$$

1.5.3 Řešení soustavy lineárních rovnic

Systém lineárních rovnic generovaný metodou konečných prvků lze řešit buď přímou eliminací nebo iteračním procesem. V systému ANSYS lze použít několik metod.

(4)

- **Přímé řešiče (direkt solvers)**

Přímý eliminační proces je založen na rozkladu matice $[K]$ na horní a dolní trojúhelníkovou matici, $[K] = [L].[U]$. Použitím dopředného a zpětného chodu obdržíme hledaný vektor $\{u\}$. Je možné použít dva přímé řešiče :

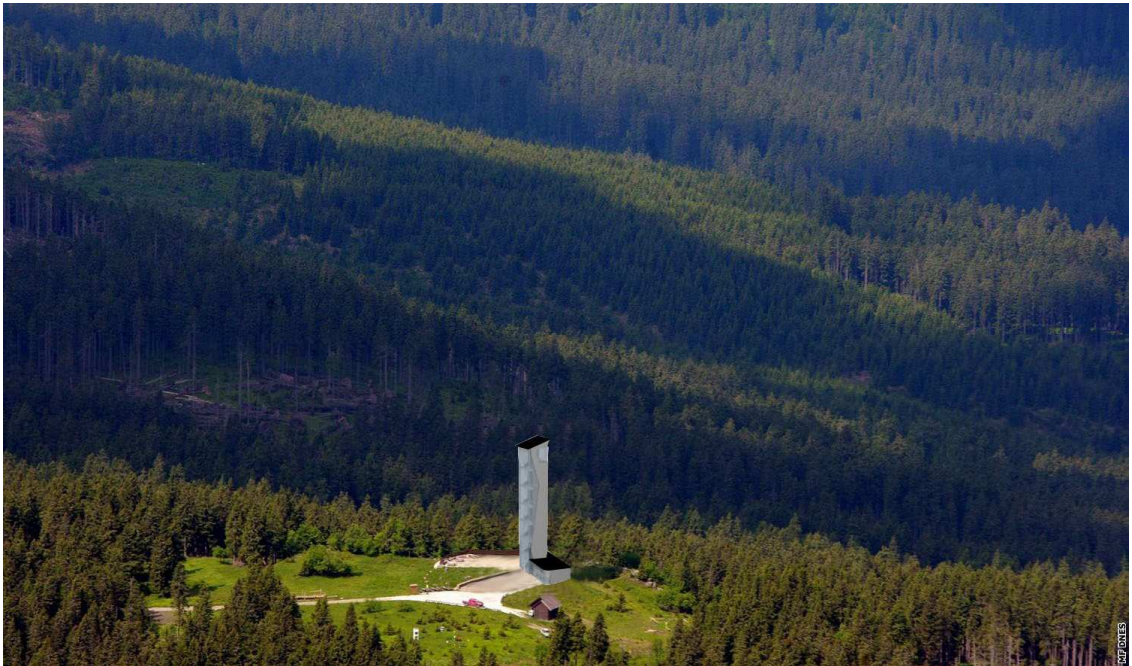
- Sparse Direct Solver
- Frontal solver

- **Iterační řešiče (iterative solvers)**

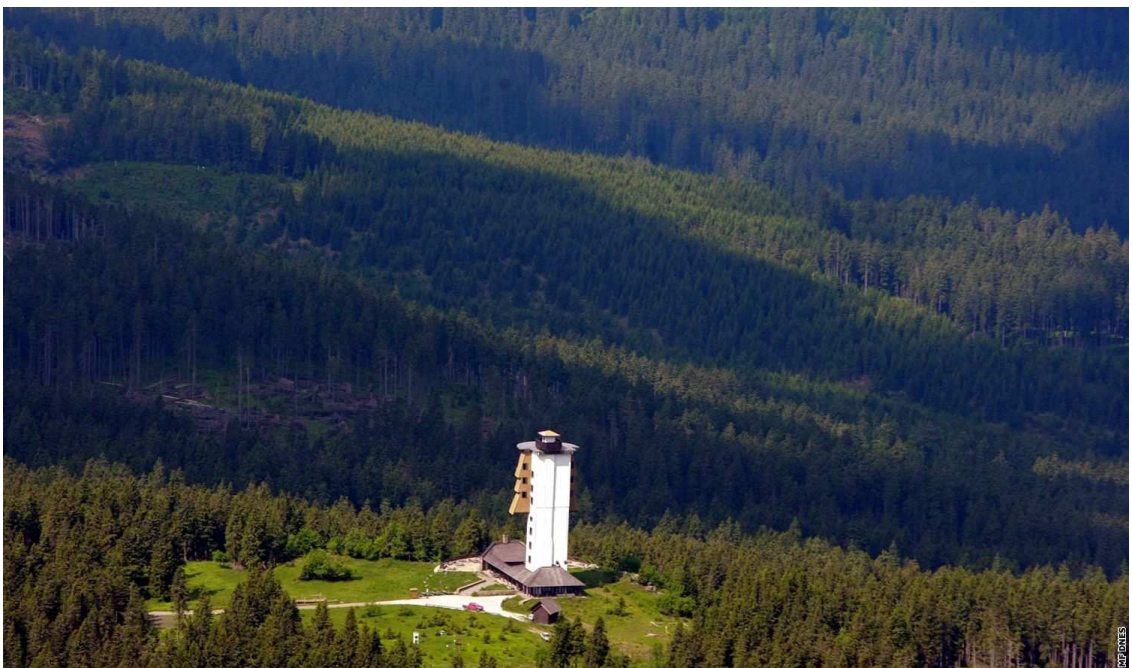
Typická iterační metoda zvolí vektor $\{u\}_1$, což je odhad hledaného vektoru $\{u\}$. Poté pomocí iteračního cyklu počítá vektory $\{u\}_1, \{u\}_2, \{u\}_3, \dots, \{u\}_n$. Pro n jdoucí do nekonečna platí, že $\{u\}_n = \{u\}$. Výpočet $\{u\}_{n+1}$ závisí na $[K]$, $\{F\}$ a $\{u\}$. Pro zvolenou chybu řešení konverguje po provedení konečného počtu iterací. Je možné použít tyto iterační řešiče :

- Jacobi Conjugate Gradient (JCG) Solver,
- Incomplete Cholesky Conjugate Gradient (ICCG) Solver,
- Preconditioned Conjugate Gradient (PCG) Solver.

2 Vzorový model



Obr. 2: Vzorový model (5 – grafická úprava)



Obr. 3: Stávající rozhledna na Polední hoře (5)

2.1 Popis a umístění objektu

Novostavba rozhledny Poledník v katastrálním území Prášily na Polední hoře v pohoří Šumava je vyhotovena za účelem nahrazení stávající již nevyhovující rozhledny z první poloviny 20. století.

Rozhledna je 34m vysoká. V 1NP je zřízen bar pro veřejnost a návštěvníky rozhledny. Nosnou konstrukcí objektu tvoří železobetonová skořepina ztužená vnitřním tříramenným schodištěm. Rozsah skořepiny se vertikálně mění, celkově zasahuje cca do 2/3 obvodového pláště rozhledny, zbytek obvodového pláště je proveden z tabulí izolačního dvojskla osazených do ocelového rámu. Střecha provozovny i vlastní rozhledny je pultová s protichůdnými sklony.

Novostavba se nachází v nadmořské výšce 1315 m. Toto horské umístění a výška objektu má za následek složitější založení celého objektu. Jako základová konstrukce je zvoleno hlubinné založení na pilotách.

2.2 Konstruktivní řešení objektu

2.2.1 Založení objektu

Celý objekt bude založen na pilotách. Vrtané piloty budou vetknuté do skalního podloží, dimenzování pilot bude na tah i tlak. Piloty budou rovnoměrně rozmístěny po celém půdoryse objektu. Průměr vrtaných pilot bude 0,63 nebo 0,9 m.

2.2.2 Obvodový plášť

ŽELEZOBETONOVÁ SKOŘEPINA

Veškerá svislá nosná konstrukce 1NP a obvodová železobetonová část rozhledny bude provedena z železobetonové skořepiny tloušťky 350 mm. V této skořepině se uvažuje beton třídy C30/37, prostředí XC4, XF1, výztuž B500B. Betonování skořepiny bude probíhat postupně po patrech. V první fázi bude provedeno celé 1NP, dále bude prováděna skořepina na věžové části. Z důvodu vertikální profilace obvodového pláště se doporučuje betonovat skořepinu do výšky po částech.

PROSKLENÁ ČÁST OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ

Severozápadní strana a přilehlé části rozhledny budou provedeny jako prosklená stěna z velkoformátových tabulí izolačního dvojskla, osazeného do nosného ocelového rámu. Ocelový rám bude kotven v úrovni každého podlaží do hlavní podesty schodiště.

Železobetonové sloupy budou v každém podlaží kotveny do podesty schodiště, aby bylo zaručeno spolupůsobení obou prvků. Severozápadní stěna provozovny bude provedena jako prosklená stěna. Výška stěny je 3,5 m. Velkoformátové skleněné tabule budou osazeny do nosného ocelového rámu. Rám bude kotven v úrovni podlahy k základové desce a v úrovni stropu k železobetonové konstrukci. Skleněné tabule budou provedeny z dvojitého tvrzeného skla a prostor mezi skly vyplněn vzácným plynem. Je doporučeno provedení skleněných tabulí v šedomodré tónové úpravě. Toto doporučení je odůvodněno zmírněním osvětlení sluncem v letních měsících.

2.2.3 Vertikální komunikace

SCHODIŠTĚ

Schodiště rozhledny je navrženo jako železobetonové monolitické tříramenné. Hlavní podesta je umístěna na severozápadní straně, aby nebyl narušen pohled z vyhlídkového výtahu. Výška jednotlivých stupňů je 166,7 mm, šířka stupně pak 300 mm. Povrchová úprava stupňů bude keramická dlažba.

Hlavní podesta je po obvodě ztužena železobetonovým trémkem o rozměrech 200 x 400 mm. Trémek zasahuje přes schodišťová ramena až ke konstrukci skořepiny.

VÝTAH

Do objektu je navržen bezstrojovný lanový výtah. Výrobní řada Mistral s nosností 630 kg pro 9 osob. Rychlost 1,6 m/s při zdvihu 33,0 m. Všechny stěny budou proskleny, aby byl umožněn výhled po dobu vertikálního přesunu.

Nosná konstrukce výtahu bude provedena z ocelových válcovaných profilů tvaru jäckel o rozměrech 180/100/10 mm, které budou kotveny ke konstrukci schodiště v úrovni podesty respektive mezipodesty. Ztužení mezi jednotlivými profily bude zajištěno ocelovými táhly trubkového průřezu, průměr trubky 114 mm, tloušťka stěny je 6 mm.

Konstrukce výtahu požaduje minimální dolní přejezd 1 200 mm. Do této hloubky pod úroveň podlahy v INP bude provedena železobetonová šachta. Zatížení od konstrukce výtahu a samotného výtahu bude přeneseno do podloží pomocí čtyř pilot umístěných v rozích šachty.

2.2.4 Stropy

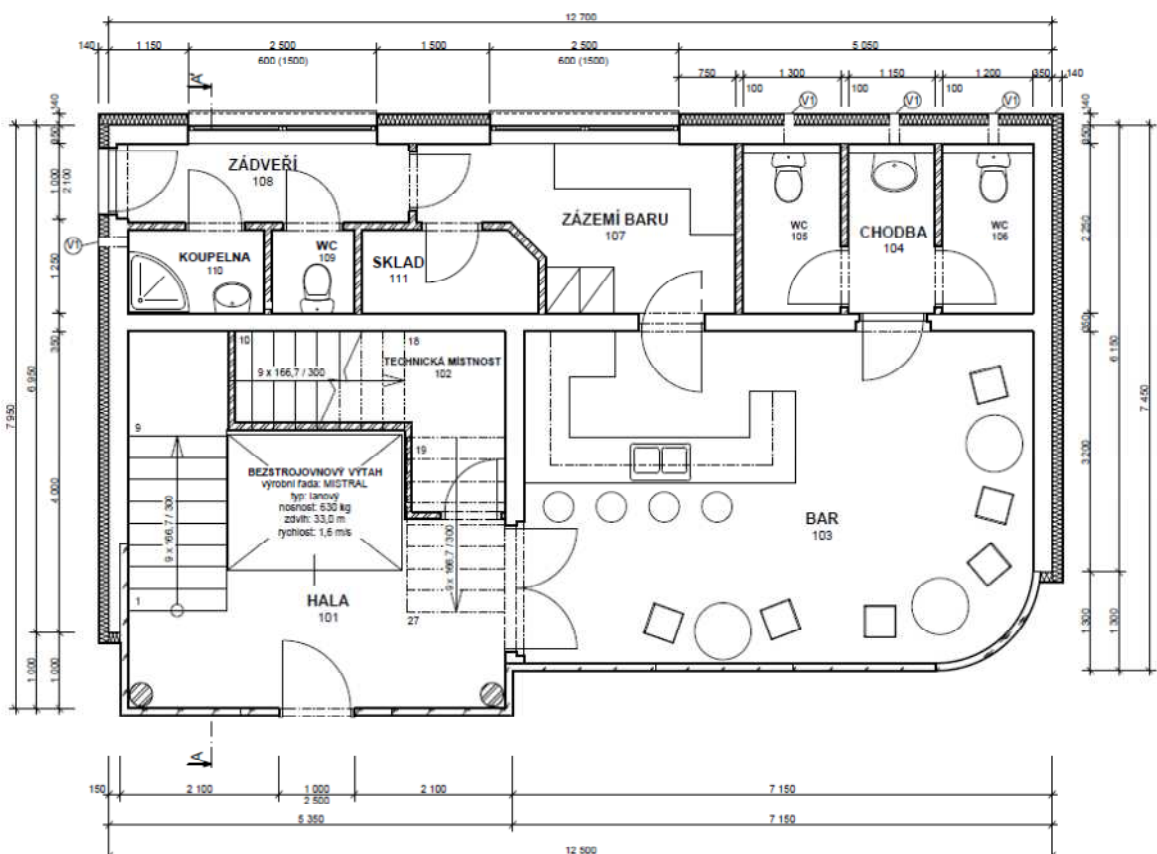
Stropní konstrukce budou provedeny ze železobetonu. Bude použit beton třídy C30/37, prostředí XC4, XF1, ocel třídy B500B. Pro vytvoření konstrukce bude použito systémové bednění. Vyztužení bude provedeno dle výkresu tvaru zhotoveného odbornou osobou. Tloušťka stropu je navržena 200 mm.

2.2.5 Střešní konstrukce

Na stropní konstrukci je provedena atika tloušťky 200 mm. Atika je řešena jako železobetonová sklonitá konstrukce, podporující střešní plášť a slouží ke zlepšení celkové tuhosti objektu.

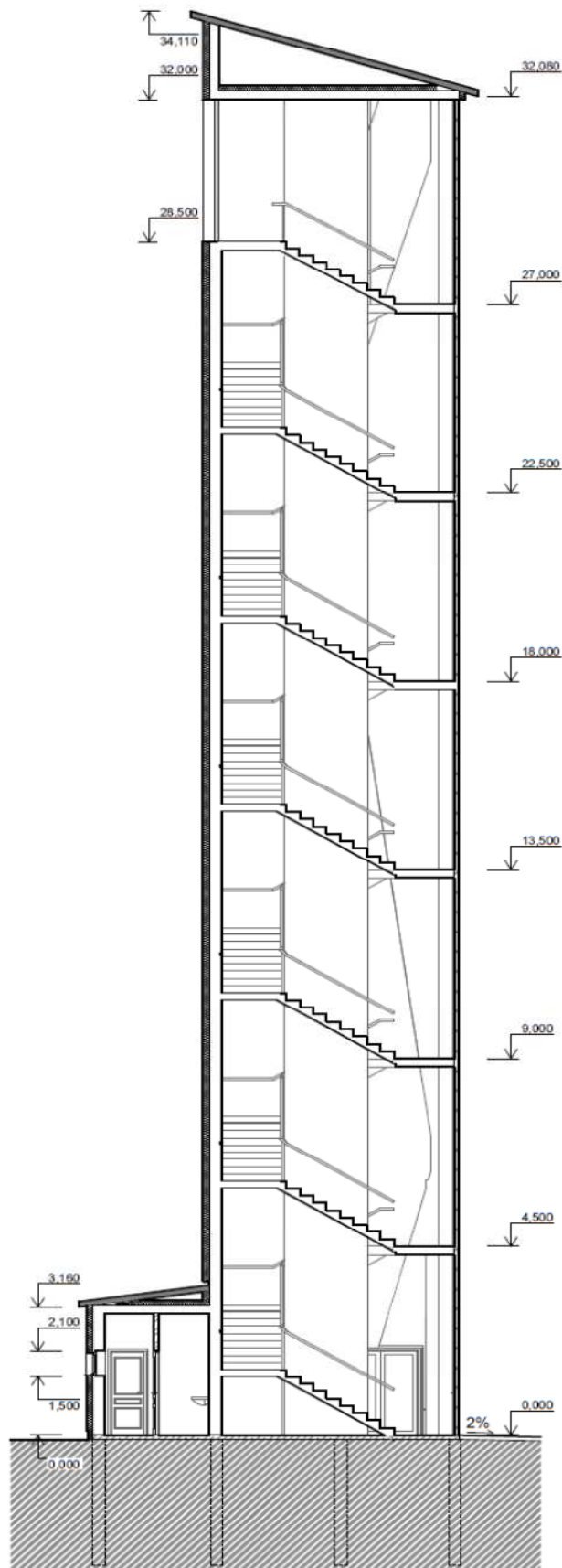
2.3 Zjednodušená výkresová část

2.3.1 Půdorys 1NP



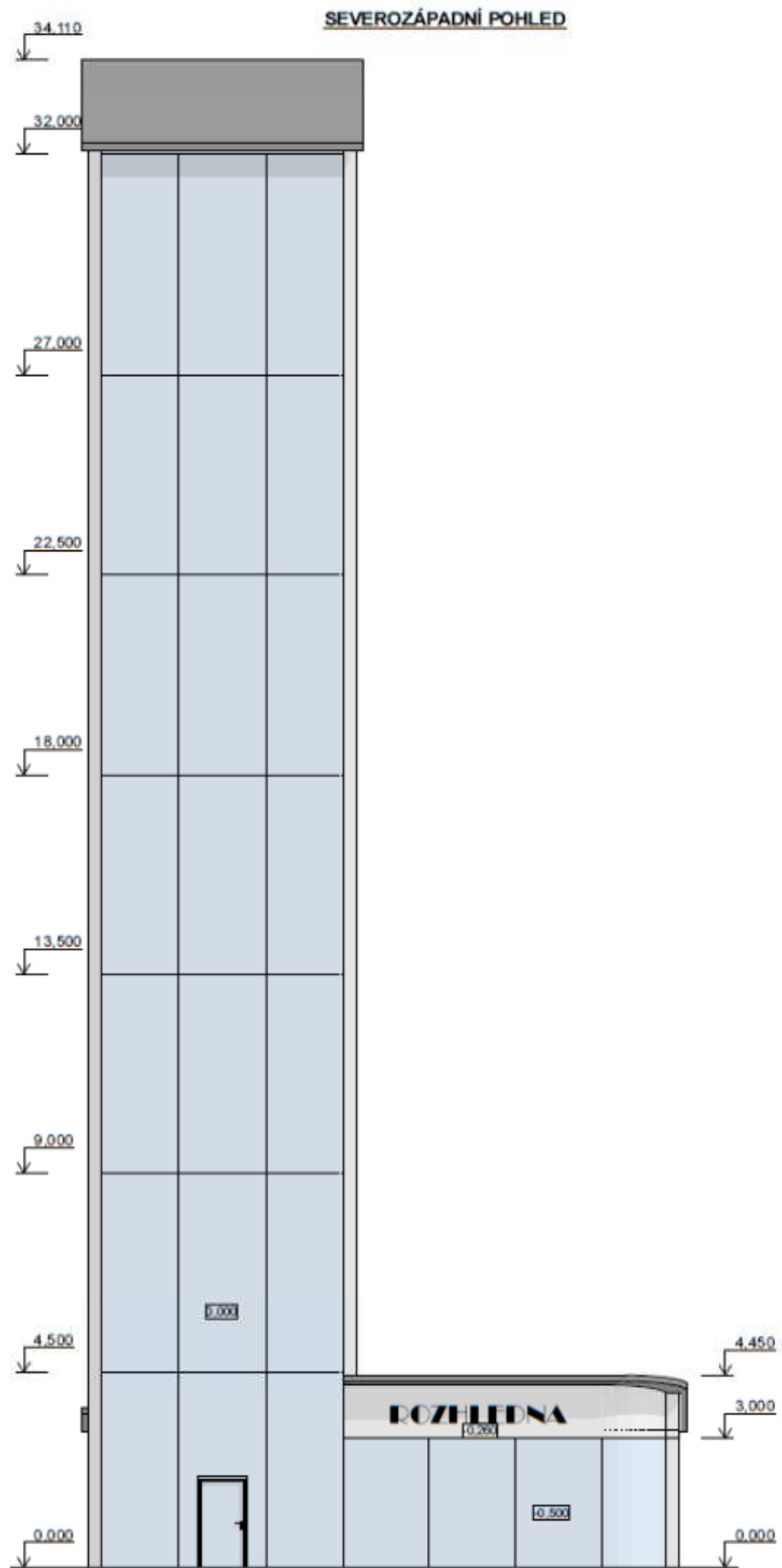
Obr. 4: Půdorys 1NP (Vlastní tvorba)

2.3.2 Řez A-A'



Obr. 5: Řez A-A' (Vlastní tvorba)

2.3.3 Pohledy



Obr. 6: Pohled severozápadní (Vlastní tvorba)

2.4 Výpočet zatížení

2.4.1 Stálé zatížení

Jako stálé zatížení na konstrukci je uvažována zejména vlastní tíha konstrukce.

Další aplikovaná zatížení:

- Jednotlivé železobetonové stupně schodiště jsou nahrazeny plošným spojitým zatížením s hodnotou $g_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- Celoprosklené stěny jsou nahrazeny spojitým liniovým zatížením s hodnotou
 $g_k = 2,5 \text{ [kN/m}^3] \cdot 0,1 \text{ [m]} \cdot \text{výška skleněné tabule [m]}$
- Vnitřní příčky jsou nahrazeny spojitým liniovým zatížením s hodnotou
 $g_k = 0,5 \text{ [kN/m}^3] \cdot 0,1 \text{ [m]} \cdot \text{výška příčky [m]}$ – pozn. dveřní otvory jsou zanedbány
- Střešní souvrství je nahrazeno plošným rovnoměrným zatížením s hodnotou
 $g_k = 2,5 \text{ [kN/m}^2]$
- Zatížení od výtahové kabiny je uvažováno jako osamělé břemeno působící v těžišti stropní desky rozhledny. Velikost osamělého břemena $G_k = 20 \text{ [kN]}$

2.4.2 Proměnné užité zatížení

Vzhledem k funkci navrhovaného objektu, budova občanské vybavenosti – rozhledna, je proměnné užité zatížení uvažováno s hodnotou $4,0 \text{ kN/m}^2$.

2.4.3 Zatížení sněhem

Dle interaktivního internetového portálu snehovamapa.cz (6) byla určena charakteristická hodnota zatížení sněhem v místě stávající rozhledny (zohledněna nadmořská výška) hodnotou $8,1 \text{ kN/m}^2$. Tuto hodnotu lze použít při navrhování stavebních konstrukcí podle EN 1991-1-3.

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 8,1$$

$$\mu_i = 0,8 \text{ – pro pultové střechy se sklonem do } 30^\circ$$

C_e, C_t – součinitelé expozic a teploty, doporučená hodnota 1,0

$$\underline{s = 6,48 \text{ kN/m}^2}$$

2.4.4 Výpočet zatížení od větru

Zatížení od větru je uvažováno proměnné po výšce objektu. Zatížení je aplikováno jako liniové v úrovni stropních desek (hlavní podesty) jednotlivých podlaží jako výslednice tlaku větru na plochu ½ podlaží nad a ½ podlaží pod danou deskou. Na přízemní část objektu (bar, zázemí baru apod.) se, vzhledem k zanedbatelné výšce této části, zatížení od větru zanedbává.

Umístění stavby: Polední hora (1315 m n. m.) - pohoří Šumava – větrná oblast V

- větrná oblast V: $v_{b,0} = 36 \text{ m/s}$

- Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 36,0$$

c_{dir} , c_{season} – doporučená hodnota 1,0

$$\underline{v_b = 36 \text{ m/s}}$$

- Střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,24 \cdot 1,0 \cdot 36,0$$

$c_0(z)$ – průměrný sklon návětrného terénu je menší než 3°

$$\underline{v_m(z) = 44,64 \text{ m/s}}$$

- výpočet v nejvyšší úrovni objektu

- Drsnost terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad - \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad - \text{Kategorie terénu II} \quad - z_0 = 0,05 \text{ m}$$

$$- z_{min} = 2,0 \text{ m}$$

$$- z_{max} = 200 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln(34,1/0,05) = 1,24$$

- Turbulence větru

$$I_v(z) = k_l / [c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)] = 1 / [1,0 \cdot \ln(34,1/0,05)]$$

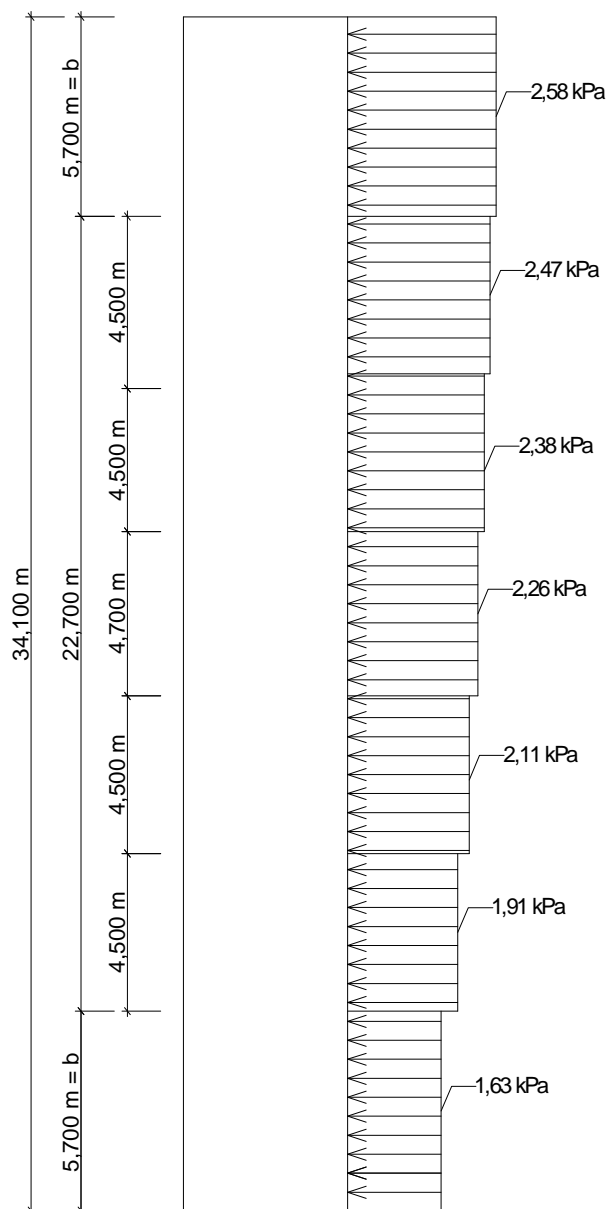
$$I_v(z) = 0,153$$

- Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$= (1 + 7 \cdot 0,153) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 44,64^2$$

$$q_p(z) = 2,58 \text{ kPa}$$



Obr. 8: Schéma působení dynamických tlaků po výšce budovy (Vlastní tvorba)

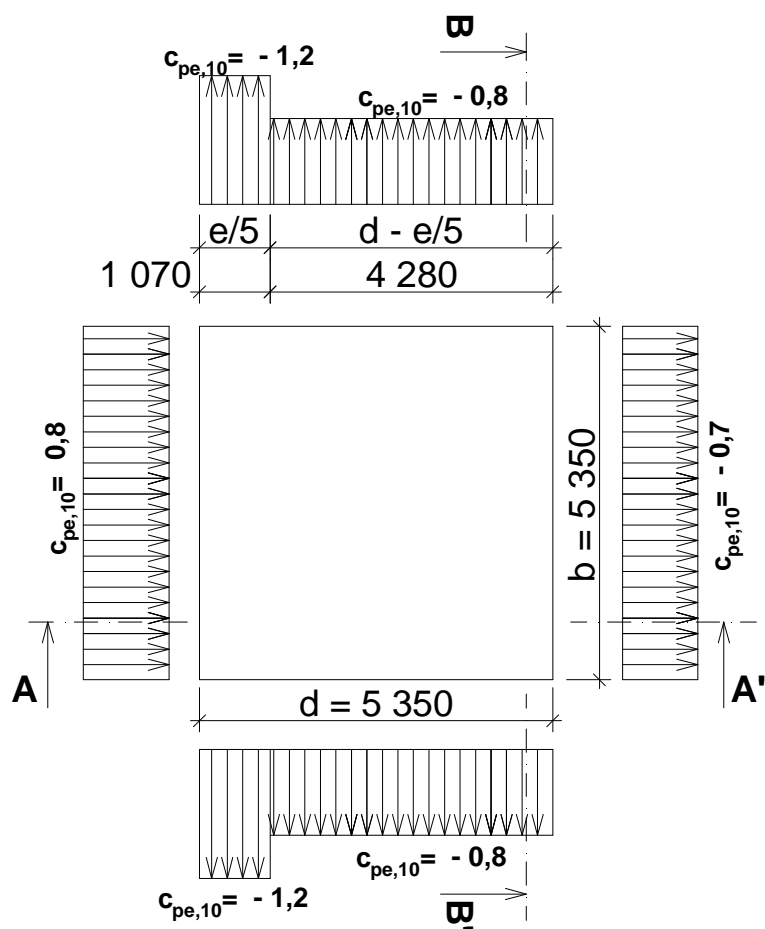
Tab. 1: Dílčí hodnoty výpočtu a konečné hodnoty dynamických tlaků (Vlastní tvorba)

úroveň	I	II	III	IV	V	VI
z [m]	5,7	10,2	14,7	19,4	23,9	28,4
$c_r(z)$ [-]	0,90	1,01	1,08	1,13	1,17	1,21
$I_v(z)$ [-]	0,211	0,188	0,176	0,168	0,162	0,158
$v_m(z)$ [m/s]	32,40	36,36	38,88	40,77	42,20	43,38
$q_p(z)$ [kPa]	1,625	1,914	2,109	2,260	2,376	2,474

Pozn.: Postup výpočtu je uveden pouze pro nejvyšší úroveň objektu. Dílčí hodnoty výpočtu a konečné hodnoty maximálních dynamických tlaků v ostatních úrovních objektu jsou uvedeny v Tab. 1.

U výškových budov se maximální dynamický tlak po výšce budovy mění viz. Obr. 8. Vítr působí na čelní stěnu objektu tlakem a na zbylé stěny sáním (záporná hodnota tlaku). Pro konečné tlaky respektive sání větru bylo použito hodnot pro maximální dynamický tlak se započítáním součinitelem $c_{pe,10}$ (pro tlak působící na plochu $A > 10 \text{ m}^2$). Schematické působení tlaku větru v jednom podlaží je uvedeno na Obr 9. Konkrétní hodnoty tlaku (sání) jsou uvedeny v Tab. 2.

Tlaky a sání větru byly přepočítány na rovnoměrné spojité zatížení, které uvažujeme, že působí v úrovni hlavní podesty schodiště. Tlak větru od podlahy 1NP do poloviny konstrukční výšky podlaží je zanedbán (uvažujeme, že bude přenesen základovými konstrukcemi objektu. Jednotlivá liniová zatížení jsou uvedena spolu s hodnotami tlaků a sání na Obr. 10 Tlaky a sání větru řez A-A' a na Obr. 11 Tlaky a sání větru řez B-B'.



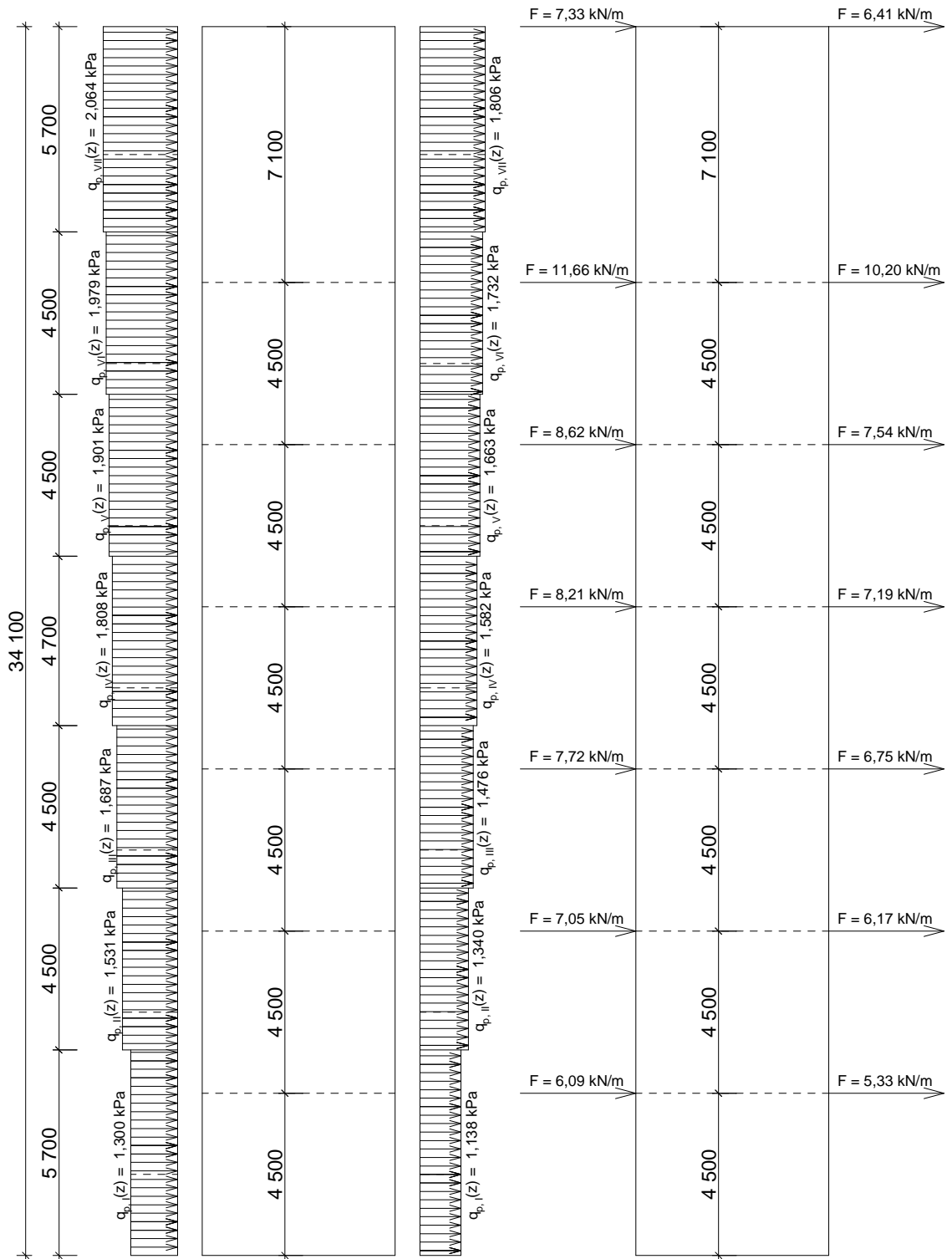
Obr. 9: Půdorys působení tlaků a sání na budovu (Vlastní tvorba)

Tab. 2: Tlak a sání větru (Vlastní tvorba)

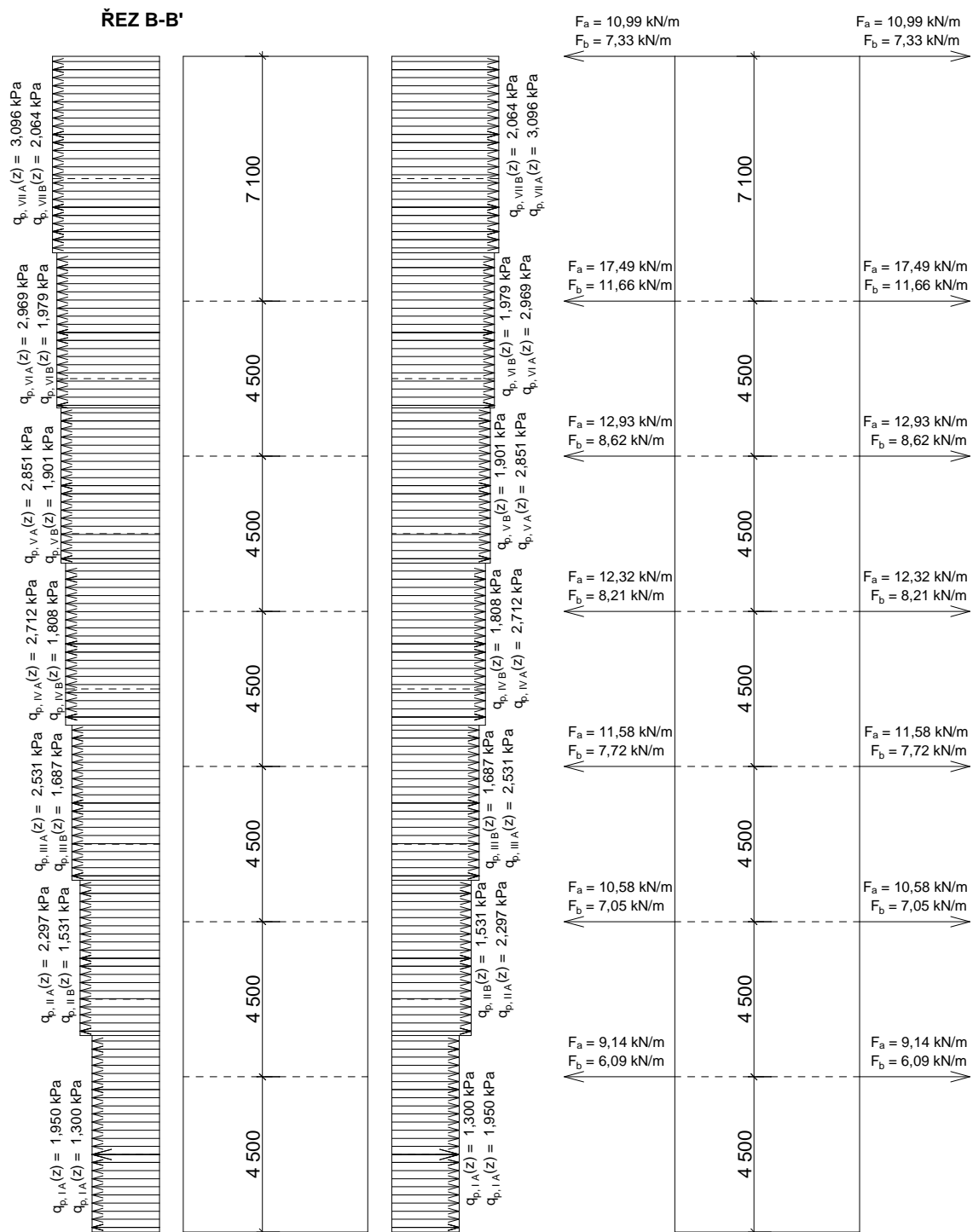
úroveň	$c_{pe,10}$	I	II	III	IV	V	VI	VII
$q_p(z)$ [kPa]	1,0	1,625	1,914	2,109	2,260	2,376	2,474	2,580
návětrná strana	0,8	1,300	1,531	1,687	1,808	1,901	1,979	2,064
boční strany:								
část A	-1,2	-1,950	-2,297	-2,531	-2,712	-2,851	-2,969	-3,096
část B	-0,8	-1,300	-1,531	-1,687	-1,808	-1,901	-1,979	-2,064
závětrná strana	-0,7	-1,138	-1,340	-1,476	-1,582	-1,663	-1,732	-1,806

Pozn.: Všechny hodnoty jsou uvedeny v kPa. Kladné hodnoty uvádějí tlak, záporné hodnoty sání.

ŘEZ A-A'



Obr. 10: Tlaky a sání větru řez A-A' (Vlastní tvorba)



Obr. 11: Tlaky a sání větru řez B-B' (Vlastní tvorba)

3 Program SCIA Engineer

„Systém SCIA byl navržen a vyvinut jako výkonný, komplexní a silný nástroj určený pro stavební inženýry a projektanty. ESA je softwarový systém pro statickou a dynamickou analýzu konstrukcí a jejich návrh podle příslušných norem. Je založen na metodě konečných prvků. (7)



Obr. 12: Logo Scia Engineer (7)

System ESA nepracuje přímo s konečnými prvky, ale využívá konstrukčních prvků (prutů), na kterých je před výpočtem automaticky generována síť konečných prvků. System ESA lze použít na výpočty a posouzení konstrukcí sestávajících z prutů (modelovaných lineárními konečnými prvky) a rovinných prvků jako jsou stěny, desky a skořepiny (modelovaných pomocí 2D konečných prvků).“ (7)

„System ESA umožňuje kromě vlastního výpočtu také provádění posudků výsledného návrhu konstrukce podle odpovídajících technických norem. Knihovna norem v systému ESA obsahuje skupinu národních technických norem pro různé typy materiálů, zvláště pro ocel a beton.“ (7)

3.1 Historie

Počátek založení firmy SCIA se datuje do první poloviny sedmdesátých let 20. století. Tehdy šlo o technický software pouze pro řešení 2D modelů konstrukcí. Ještě v této dekádě je program upraven tak, aby pracoval na metodě konečných prvků. Postupně firma expanduje z domovské Belgie do Německa, celé oblasti Beneluxu, Francie, Rakouska, Velké Británie a České Republiky. Během pětadvaceti let své existence se rozmáhá do většiny vyspělé Evropy.

V roce 2006 skupuje většinový podíl firmy koncern Nemetschek, podnikající v softwarech pro projektanty architektů a další, aby se pak za rok stal jediným akcionářem firmy. Díky novému majiteli s konexemi po celém světě se nyní už SCIA Engineer dostává do Brazílie a Severní Ameriky.

3.2 Uživatelské prostředí

Při spuštění programu implicitně naběhne tabulka s informacemi o projektu, který uživatel zamýšlí vytvořit. V tomto kroku se volí jednotlivé materiály, normy, typ konstrukce a lze vyplnit základní informace o projektu. Tyto základní volby je možné kdykoliv během práce s programem měnit.

Výchozí prostředí je obdobné jako u řady jiných projekčních programů. V horní liště je standardní roletové menu a pod ním ikony pro rychlé volby základních funkcí, editací pohledu atd. Dolní lišta obsahuje funkce pro úpravu zobrazení předmětné konstrukce a příkazový řádek.

Nedílnou součástí programu, která je v podstatě neustále v užívání je okno tzv. Hlavní strom. Toto okno provází projektanta po celou dobu užívání programu, od modelování konstrukce až po samotný výstup ať už grafický nebo číselný.

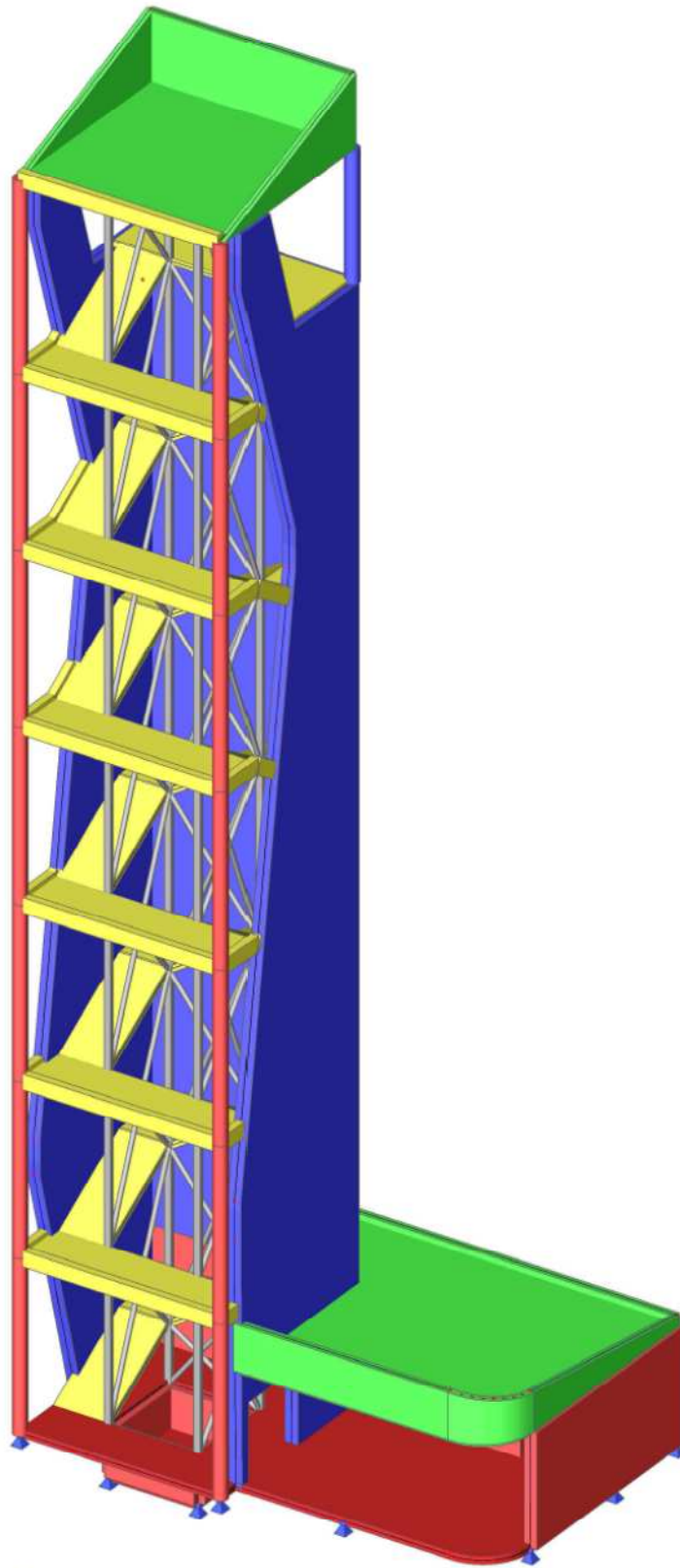
Pro úpravu jednotlivých prvků slouží okno tzv. Vlastnosti, které automaticky naskočí při vybrání jednotlivých prvků a poté je zde možné se informovat o nastavení prvku, případně jej modifikovat.

3.3 Práce s vlastním programem

3.3.1 První kroky

Uživatelské prostředí programu, jak již bylo napsáno, žádnou originalitou nepřekvapí. A to je dobře! V dnešní době je velká část projektantů obeznámena s kreslicími programy typu AutoCad, ArchiCad, Allplan atd. Software Scia Engineer pracuje obdobně. Tím se rozumí značná přehlednost programu. Práce v programu se z 90% odehrává v okně Hlavního stromu. Zpravidla je u každé možnosti volby schematická ikona. Tím získává uživatel dostatečnou kontrolu nad programem, což vede k snadnějšímu pochopení celého programu. Vše je srozumitelné – program má českou lokalizaci, takže není žádný problém s cizími odbornými termíny. Dílčí kroky při jednotlivých operacích napovídá příkazový řádek, jenž je součástí dolní pracovní lišty.

3.3.2 Modelování konstrukce



Obr. 13: Model zhotovený v programu Scia Engineer (Vlastní tvorba)

Používané prvky

Program nabízí konstrukce ve formě 1D nebo 2D prvků. Mezi 1D prvky lze řadit nosníky, sloupy a pruty. Ve 2D konstrukcích najdeme desky, stěny a skořepiny. Toto rozřídění má velkou výhodu v tom, že člověk si bez větších problémů vybere ihned prvek, který potřebuje. Bohužel, samotný program ani pomocné příručky neříkají přesně, jaké prvky používáme, jak se prvky chovají a k čemu jsou vhodné. Tyto základní programátorské otázky jsou pro uživatele skryty úmyslně. Záměr firmy Scia Engineer je, aby byl projektant oprostěn od teoretického pozadí celého programu. Nutno podotknout, že pro více než 90% uživatelů by to bylo stejně zbytečné. Toto gesto je sympatické z hlediska praxe v řadových statických kancelářích, ovšem nevhodné pro podmínky zkoumání konstrukcí popřípadě projektování náročných konstrukcí.

Materiály a průřezy

Již při nastavení nového projektu uživatel volí materiály, se kterými bude pracovat. Tím jsou dány i vlastnosti jednotlivých materiálů, není tedy nutné hledat různé fyzikální vlastnosti, potřebné k výpočtu. Průřezy jsou v drtivé většině přednastavené, což znamená velké plus z hlediska úspory času, protože není nutné si pamatovat jednotlivé výrobní řady používaných prvků. Vše je dosti zautomatizované. V případě průřezů, jež nejsou v programu obsažené, je nutné průřez vytvořit čárovým modelem, průřezové charakteristiky budou doplněny následně automaticky nebo zadat průřez číselně průřezovými charakteristikami.

Pokud je zvolený materiál a nastavený správný průřez, je nutné už jen zadat geometrii prvku a prvek vložit do celé modelované konstrukce. Pohyb, vkládání prvků a vůbec celá práce v hlavním okně do značné míry podobná práci s většinou CAD systémů. S výhodou lze použít příkazovou řádku napovídající následující dílčí kroky modelování konstrukce.

Okrajové podmínky

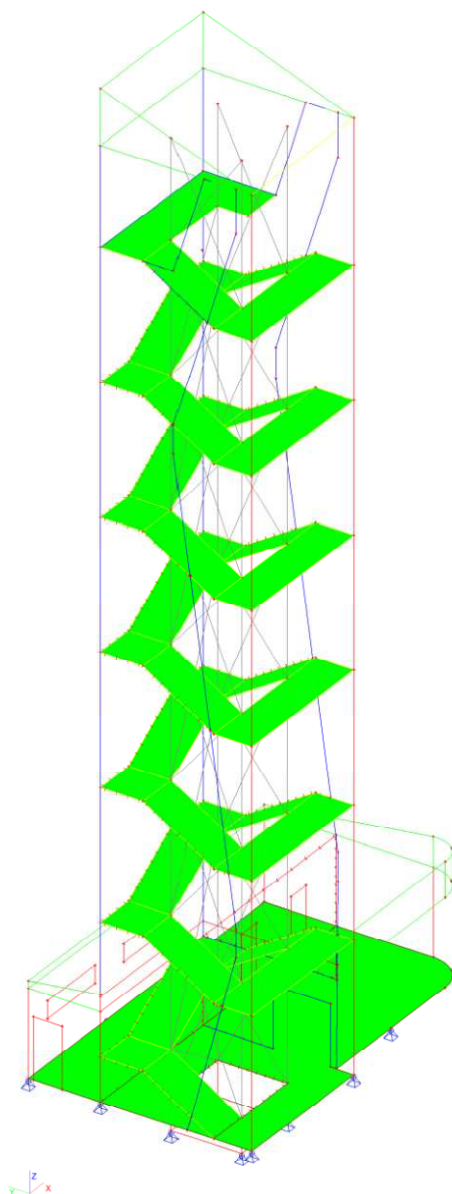
Základní okrajové podmínky neboli výpočtová data, jak uvádí Scia Engineer, jsou součástí modelování konstrukce. Je možné vyhledat požadovanou podporu či požadované uložení v přednastaveném menu a pak podporu modifikovat z hlediska

možnosti posunu nebo pootočení. Značky podpor a uložení jsou shodné se značkami používanými v běžné praxi.

Zatížení

Při zadávání zatížení na konstrukci je nejprve nutné vytvořit zatěžovací stav. Implicitně je v programu nastaven první zatěžovací stav jako vlastní tíha konstrukce. Při vytvoření dalších zatěžovacích stavů se už volí charakter zatížení – stálé, nahodilé. Samozřejmě lze k daným stavům okamžitě dopsat součinitele zatížení. Vhodnější ovšem je, tento úkon provést až v dalším kroku. Ruku v ruce se zatěžovacími stavy jdou kombinace zatěžovacích stavů. V pomocném okně se vytvoří jedna kombinace zatížení a určí se zatěžovací stavy, ze kterých má být kombinace vytvořena. V tomto kroku je výhodné nastavit součinitele zatížení. Stejným způsobem jako jsou tvořeny kombinace, lze vytvořit třídy zatížení neboli kombinace z kombinací. Pro zvolenou konstrukci bylo vytvořeno osm zatěžovacích stavů. Z těchto stavů dále čtyři kombinace pro mezní stav únosnosti a čtyři kombinace pro mezní stav použitelnosti. Poté byla provedena třída zatížení pro každý mezní stav samostatně. Tímto postupem byly získány maximální hodnoty vnitřních sil a přetvoření.

Zobrazení zatížení na pracovní ploše je prosté a přehledné. Je možné ho zapnout nebo vypnout a přepínat mezi jednotlivými zatěžovacími stavy. Pro ještě lepší přehlednost, program umožňuje zobrazení plošných zatížení v konstrukci s grafickým zvýrazněním ploch, na které zatížení působí viz. Obr. 13. Opět s možností přepínání mezi jednotlivými zatěžovacími stavy.

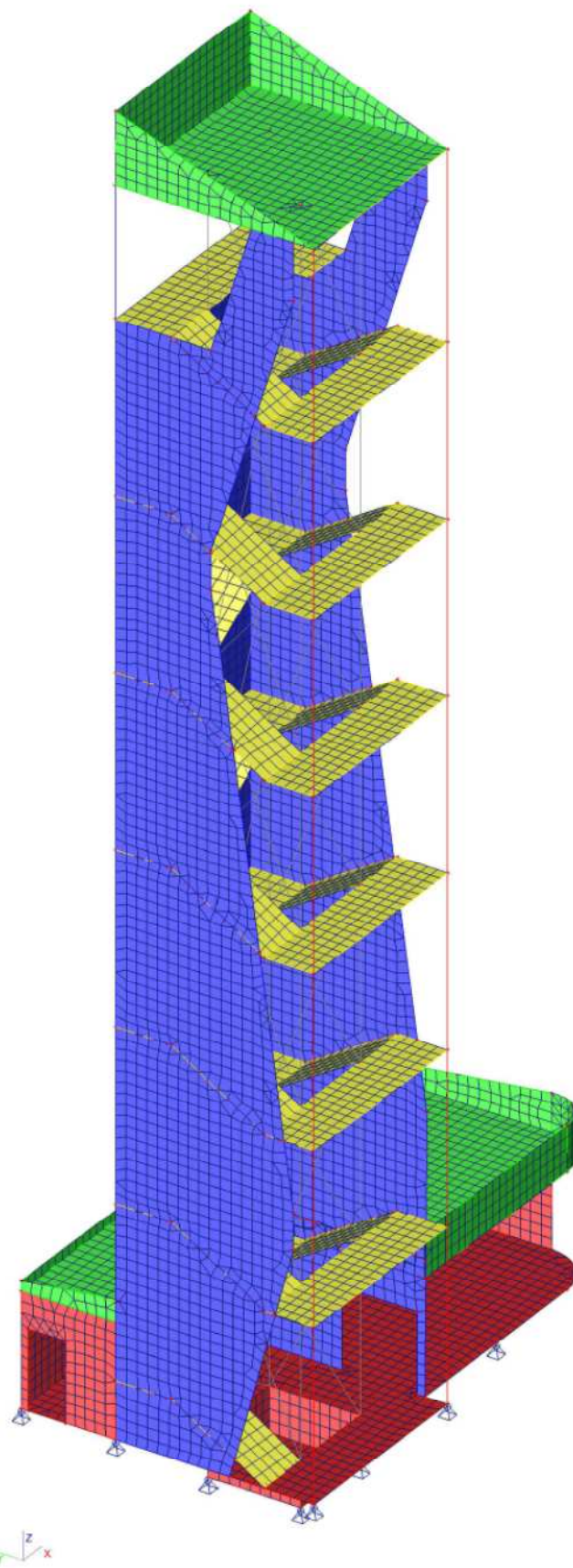


Obr. 14: Znázorněné plochy s nahodilým zatížením $q_k=4,0 \text{ kN/m}^2$ (Vlastní tvorba)

3.3.3 Síť konečných prvků

Program nabízí volbu velikosti sítě, tedy velikost jednoho konečného prvku. Opět záležitost značně zjednodušená. Uživatel v podstatě ani nemusí vědět, že v programu nějaká síť konečných prvků je – implicitně se nezobrazuje.

Na Obr. 14 je zjevně vidět, že program se snaží síť konečných prvků udělat co možná nejpravidelněji, udělá n čtvercových prvků zvolené velikosti a zbytek sítě tvoří nepravidelné trojúhelníky. Z hlediska kvality sítě konečných prvků se snažíme síť vytvořit pokud možno pouze ze čtyřúhelníků, tedy kvalita sítě je dána nízkým počtem trojúhelníkových prvků. To poukazuje na to, že pravidelná síť neznamená kvalitní.



Obr. 15: Znáornění síť konečných prvků na konstrukci – Scia Engineer (Vlastní tvorba)

3.3.4 Výpočet

Lineární výpočet této konstrukce, kde program počítal téměř 74 tisíc rovnic o stejném počtu neznámých, trval necelou minutu. Bohužel při složitějších konstrukcích, u kterých se očekává mnohem delší doba řešení, není uváděna doba zbývající do konce výpočtu. To by mohlo vést k možným ztrátovým časům, při projektování složitých zakázek.

3.3.5 Výsledky

V této kategorii je nabízena velká paleta možností zobrazení výsledků. Počínaje posunutím uzlů v jednotlivých směrech přes vnitřní síly, deformace, reakce až po napětí v jednotlivých prvcích.

Výběrem jedné ze zmiňovaných kategorií se uživatel dostane do podrobnějšího nastavení zobrazení těchto výsledků. Větší možnost modifikace vzhledu je nastavena u grafických výsledků. U výsledků číselných jsou změny stylu dost omezeny.

3.3.6 Publikování projektu

Projekt lze publikovat dvěma hlavními způsoby. A to pomocí vlastního programu Scia Engineer anebo jednotlivým kopírováním výstupů do schránky počítače a následným vložením do textového či tabulkového editoru typu Word, Excel, a další.

Program nabízí ukládání do dokumentu nebo do galerie. Kde je výhoda v možnosti regenerace uložených dat. V praxi to znamená, že pokud se během řešení projektu přistoupí k nějaké alternativě řešení (změna původních výsledků) a již jsou hotová výstupní data v dokumentu, stačí stiskem jediné ikony tyto výstupy aktualizovat. Tedy velká úspora času v porovnání s kopírováním do textového dokumentu a následnou opravou všech zkopírovaných dat.

Naproti tomu stojí implicitně přednastavená šablona dokumentu, která je automaticky aktivována při vložení výstupu do galerie (dokumentu), jež nabízí mnoho možností editace pro optimální představy uživatele. Většina profesionálních staticů dává přednost svým přednastaveným textovým nebo tabulkovým souborům, do kterých pouze vkládají výsledky ze statických softwarů.

Tak či tak není obtížné jedním či druhým způsobem obdržet z programu kvalitní výstupy. Je čistě na uživateli, s čím se lépe sžije.

3.4 Výstupy – číselné

Program nabízí mnoho možností číselných výstupů. Lze vykreslit vnitřní síly na jednotlivých prutech nebo plochách. Tyto hodnoty jsou však v případě bakalářské práce irelevantní, jelikož jejich množství by vedlo k nepřehlednosti a horší možnosti porovnání obou zkoumaných programů. Jako referenční číselné výstupy jsou použity hodnoty přemístění uzlů ve všech hlavních osách (U_x , U_y , U_z).

Porovnávaná data:

Mezní stav použitelnosti:

Posun $U_x = 135,9$ mm

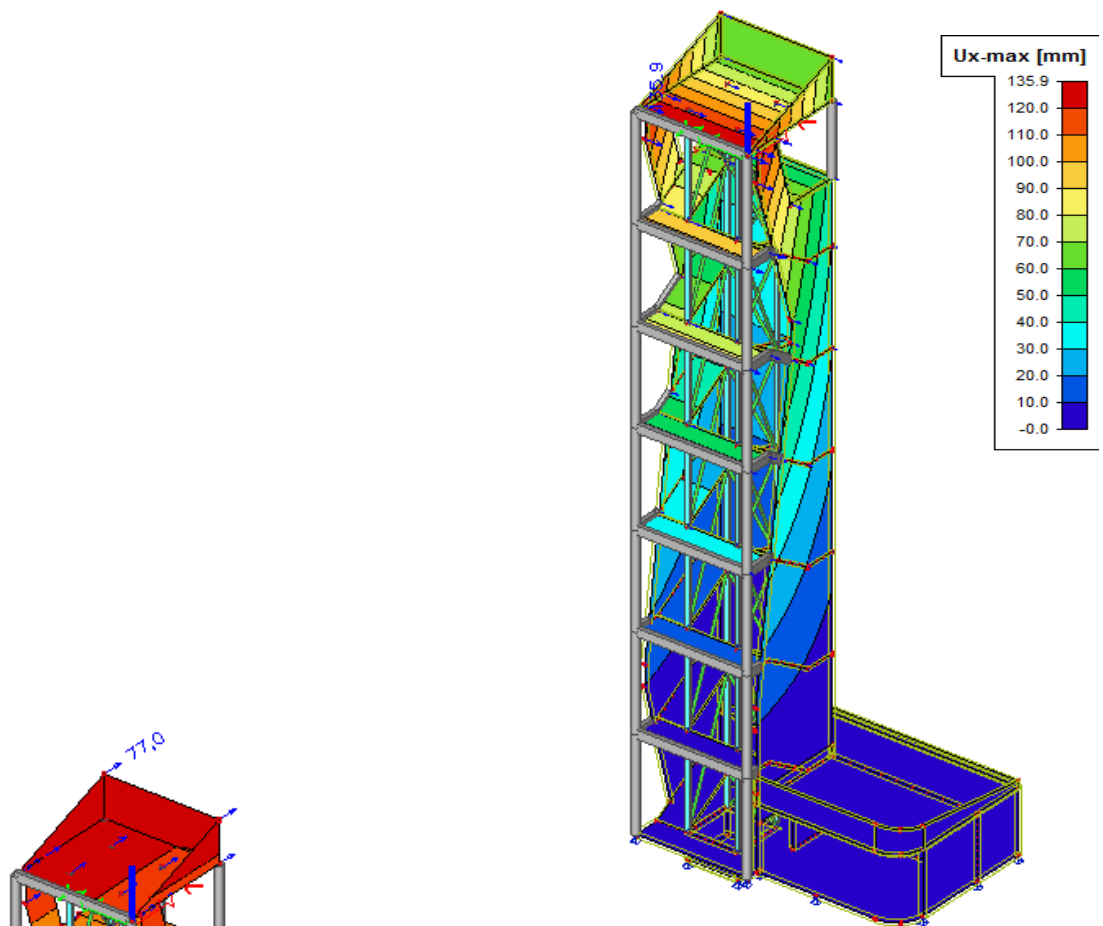
Posun $U_y = 77,0$ mm

Posun $U_z = 8,8$ mm

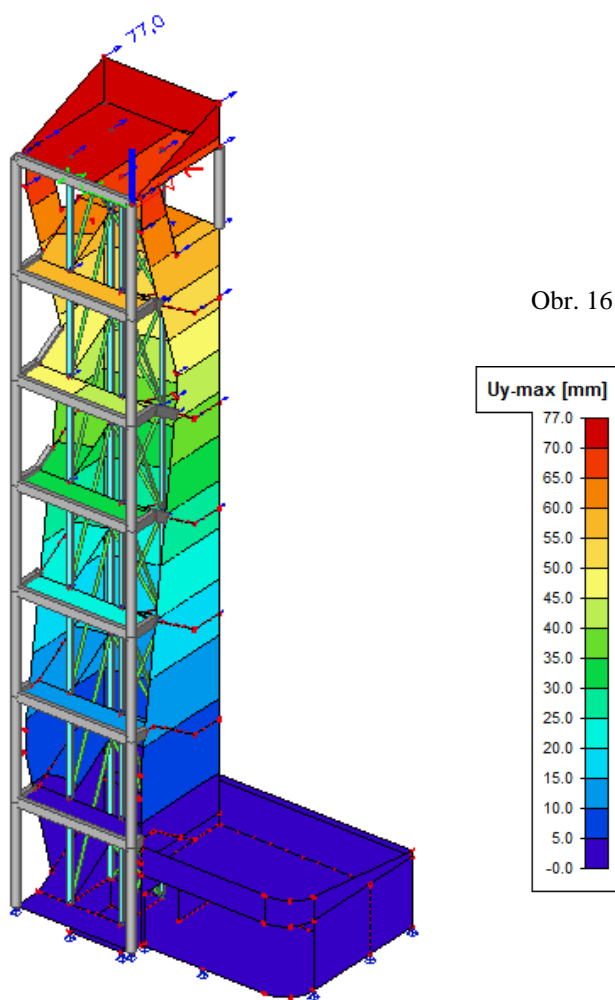
3.5 Výstupy – grafické

Grafické výstupy jsou v podstatě zobrazitelné ihned po dokončení výpočtu. Celý základní model na pracovní ploše se dle nastavení zobrazí v barevných izopásmech nebo izoliniích, které jsou buď barevné anebo černobílé s popisy. Barevnost škály se dá regulovat. Je možnost mezi přepínáním v zobrazení izoploch, izolinií, spojitého splynutí barev atd. Za zmínku stojí možnost přepínání mezi modelem počáteční konstrukce nebo konstrukce deformované. Deformovaný model je výhodný v případě, že je značně obtížné si představit vzniklé deformace pouze pomocí izoploch (popř. izolinií). Model se tedy zdeformuje na základě vypočtených dat, a pokud se deformaci změni měřítko je názornost modelu dokonalá.

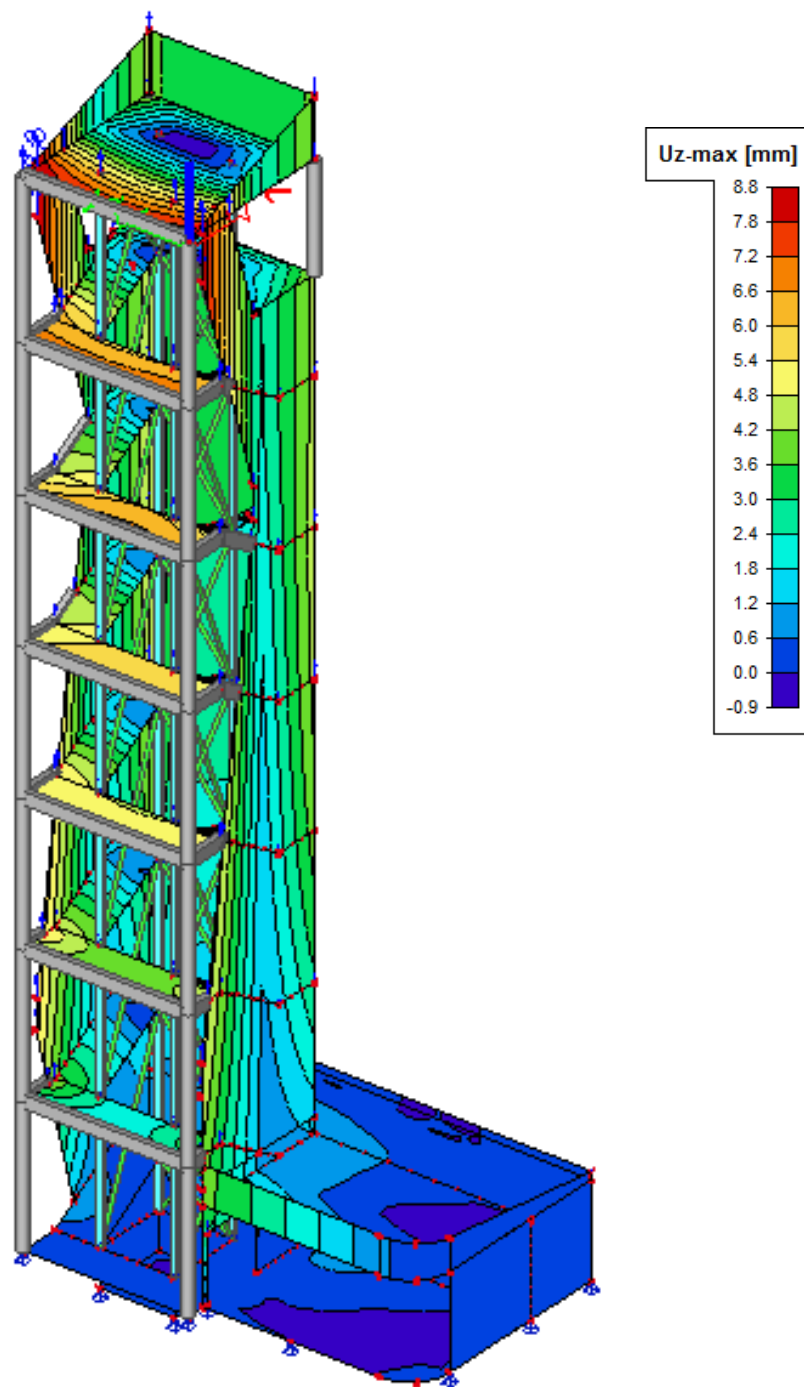
Pozornost si jistě zaslouží i možnost vytvoření výstupu jako 3D pdf formát. Tímto formátem lze vytvořit soubor, ve kterém lze zobrazit všechny tři dimenze řešené konstrukce a tím může projektant téměř dokonale nastínit řešení, detaily nebo možné problémy kolegovi (případně investorovi) bez nutnosti přecházení mezi jednotlivými grafickými výstupy, které mohou zobrazit pouze omezenou oblast konstrukce.



Obr. 16: Přemístění uzlů ve směru U_x (Vlastní tvorba)



Obr. 17: Přemístění uzlů ve směru U_y (Vlastní tvorba)



Obr. 18: Přemístění uzlů ve směru Uz (Vlastní tvorba)

3.6 Shrnutí práce s programem

Program Scia Engineer je velmi sympatickým pomocníkem při řešení velkého množství běžných konstrukcí. Velkou výhodou tohoto programu nalézám v jeho přehlednosti a možnosti intuitivního postupu. To znamená, že i bez začátečnického kurzu nebo podrobného manuálu není problém se v programu během jednoho dne zorientovat, během dvou tří dnů ho pochopit a věřím, že při každodenní práci je projektant schopen se v něm za dva měsíce naučit, tak aby jej mohl používat v profesionální praxi.

Pro předmětnou konstrukci rozhledny byla práce s programem téměř bezproblémová. Časová dotace pro zhotovení tohoto modelu, jeho výpočtu, a zpracování výsledků se pohybovala okolo 30 hodin, tedy zhruba necelý jeden pracovní týden.

Samozřejmě se velkou neznámou může jevit, jaká by byla práce s programem, pokud bychom se snažili modelovat složitou nepravidelnou konstrukci plnou roztodivných architektonických skvostů. Je možné, že by obsažená paleta prvků byla nedostačující a tím by se modelování mohlo stát noční můrou projektantů. To jsou ovšem jen spekulace. V tuto chvíli nelze než konstatovat, že práce s programem „šla od ruky“ a bylo minimum zádrhelů či problémů.

4 Program ANSYS

„ANSYS je robustní, moderně pojatý multifyzikální FEM systém, postavený na jednotné příkazové databázi, pokrývající všechny části programu od preprocessingu, přes solvery až po postprocessors, vše v jedné společné databázi. Paralelní processing pro všechny kategorie HW. Úzce integrovaný ke CAD a inženýrský software, přenos realizován přímo přes standardy.“ (1), s.378



Obr. 19: Logo Ansys (10)

„Možnost integrace speciálních solverů (řešičů) jako FLOTRAN (proudění, proudění s teplem), LS-DYNA (rychlé dynamické děje, spojené s velkými deformacemi, jako cash-test, tváření, apod.).“ (1) s.378

„Součástí ANSYSu je únava a životnost (ASME). ANSYS je otevřený systém – možnost vlastních subroutine (F77, C). Jako referenční FEM systém pro USA a země ES, má certifikát ISO 9001 (pro celý program, bez výjimky).“ (1) s.378

„Ansys je jediným programem na trhu v této oblasti, který poskytuje záruku v podobě certifikátu jakosti výrobku ISO 9001. Tato záruka se samozřejmě nevztahuje na špatně zadaná data či nesprávnou interpretaci výsledků.“ (8), s.7

4.1 Historie

V roce 1963 Dr. John Swanson, držitel magisterského titulu z Cornell University a titulu PhD. z University of Pittsburgh v oboru aplikovaná mechanika, pracoval ve firmě Westinghouse Astronuclear Labs v Pittsburghu, kde zodpovídal za napětíové analýzy reaktorů jaderných raket. V té době používal primitivní počítačové kódy k předpovídání chování reaktoru v důsledku tepla a tlakového zatížení. K práci bylo nutné používat různé typy počítačových kódů a to ho vedlo k myšlence jednoho integrovaného univerzálního kódu, což by vedlo k úspoře času zaměstnanců a finanční úspoře ve Westinghouse. U vedení firmy se ale nesetkal s kladnou odezvou a v roce 1969 z firmy odešel a veškeré své práce si vzal s sebou. (9)

V polovině roku 1970 zakládá Dr. John Swanson firmu Analysis System, Inc. (ANSYS) ve svém vlastním domě. Téhož času si Westinghouse uvědomuje, že Swansona ve firmě potřebují a tak doktora zaměstnají jako konzultanta. Dr. Swanson

s tím souhlasí pouze pod podmínkou, že se bude moci věnovat i Ansysu. S tím nemá Westinghouse problém a doktorovi to poskytne potřebné finanční prostředky na další vývoj. O rok později, po delších jednáních přijímá Dr. Swanson spolupracovníka Dr. Petera Kohnkeho, se kterým se nakonec stává téměř rovnoprávným partnerem. (9)

Následný vývoj programu je úzce spjatý s vývojem samotných PC (personal komputer = osobních počítačů). Pod tím si lze představit dokonce i děrné štítky, páskové kazety atd., které se nám dnes již jeví jako science-fiction. Jedna z prvních verzí pro PC byla v roce 1984 Ansys 4.0, která běžela na počítačích Intel 286. V té době je ještě značně omezena grafika a počet prvků a uzlů. Podoba Ansysu tak jak ho známe dnes byla upravena někdy v roce 1995, kdy vyšla i první verze operačního systému Windows a sice Windows 95. (9)

4.2 Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí je jistě jedno z velkých překvapení po spuštění programu Ansys. Program nemá jednotlivé jazykové lokalizace a i díky celosvětovému pojetí softwaru je kompletně v anglickém jazyce. Tento fakt je základní podstatný rozdíl oproti předchozímu programu. Pro některé projektanty překážka pro jiné malý problém, jisté ovšem je, že celková orientace v celém programu bude horší.

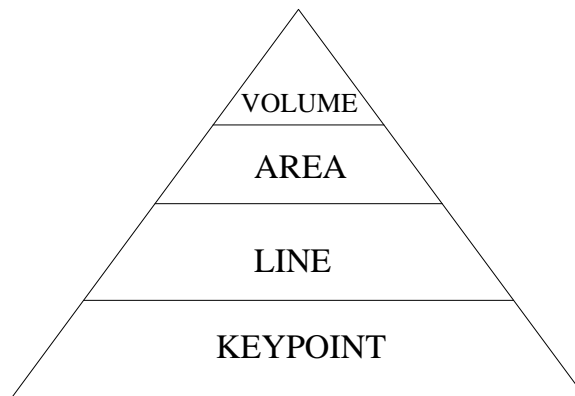
4.3 Práce s vlastním programem

4.3.1 První kroky

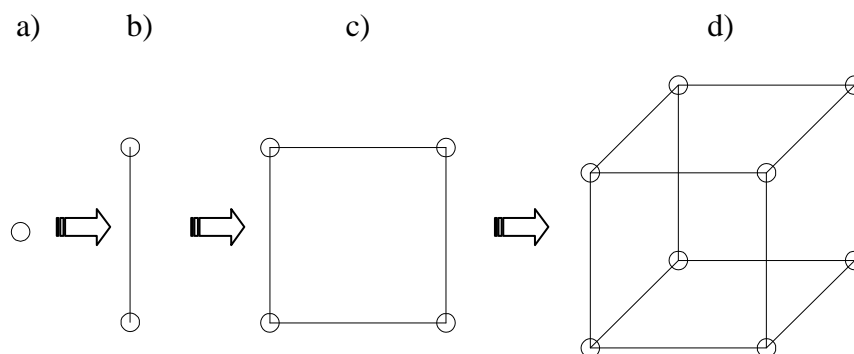
Hlavní plochu na monitoru zaujímá černá pracovní plocha. Na levé straně je okno tzv. ANSYS Main menu, tedy hlavní strom pro zadávání různých příkazů. Pravá strana obsahuje sloupek s možnostmi pohybu a zobrazení konstrukce. Ostatní příkazy jsou umístěné v roletovém menu v nejvyšší liště programu. Pro přehlednost, při popisování práce s programem, jsou specifické termíny ponechané v anglickém jazyce.

Pro obstojné zvládnutí práce s programem je nutné si osvojit názvosloví a základní čtyři prvky, které Ansys používá. Jsou to keypoints (body), lines (čáry), areas (plochy) a volumes (objemy). Pro názornost je na Obr. 18 vytvořena pyramida a na Obr. 19 schematické prvky, kde je naznačeno, že objemy se skládají z ploch, plochy se skládají z čar a čáry z keypointů. Z toho je patrné, že nelze odstranit „nižší“

prvek, aniž by to ovlivnilo „vyšší“. Nelze změnit plochu (area), aniž by se nezměnil objem (volume), nelze změnit bod (keypoint), aniž by se změnila area (plocha). Tyto zákonitosti jsou základním stavebním kamenem práce s programem Ansys a pokud si je uživatel osvojí, je schopen vymodelovat solid model (fyzický tvar úlohy) bez nějakých výraznějších problémů.



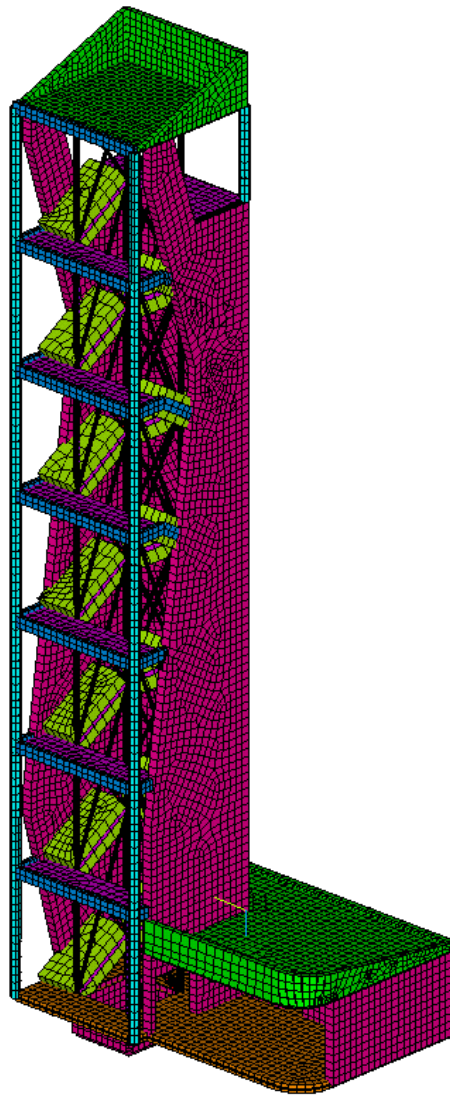
Obr. 20: Pyramida návazností prvků (Vlastní tvorba)



Obr. 21: Základní prvky a) Keypoint, b) Line, c) Area, d) Volume (Vlastní tvorba)

Tím, že je zhotoven solid model, práce v preprocessingu (vstupu) zdaleka nekončí. Dalším krokem je zhotovení FE modelu (finite element modelu), ten se provádí tzv. meshováním [čti mešováním], tento výraz se v praxi nepřekládá a znamená proměnu solid modelu na FE model, tedy zhotovení sítě konečných prvků – elementů a uzlů. Tedy úkon, který je v programu Scia Engineer automaticky skrytý uživateli na pozadí. Při této operaci je nutné dbát na správnost a přesnost vytvořeného FE modelu, což znamená provést kontrolu, zda na sebe jednotlivé nody (uzly) navazují a zda síť konečných prvků odpovídá představám uživatele.

4.3.2 Modelování konstrukce

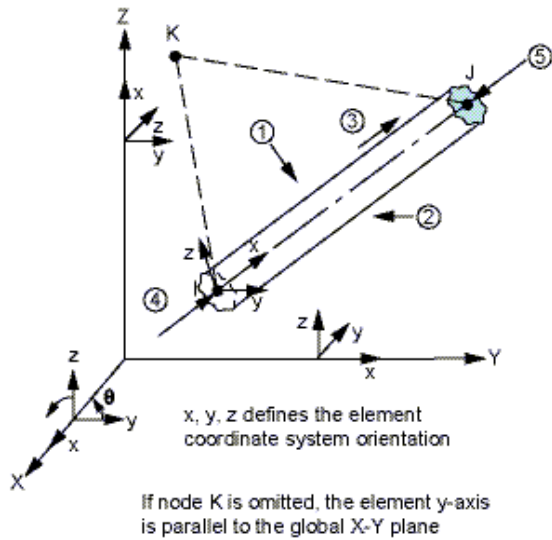


Obr. 22: Model zhotovený v programu Ansys (Vlastní tvorba)

Používané prvky

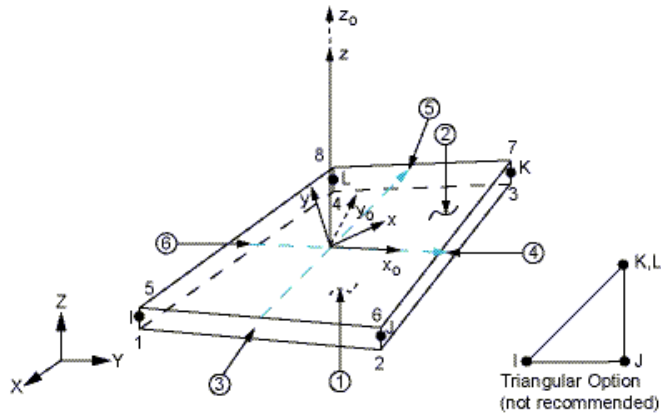
Program Ansys používá 1D, 2D i 3D prvky pro modelování konstrukcí. V databázi konečných prvků je cirká 200 prvků se specifickými vlastnostmi. Ovšem nejedná se jen o prvky pro stavební praxi. Každé vědní odvětví používající tento program má své specifické konečné prvky. Jednotlivé prvky o stejné dimenzi se od sebe vzájemně liší a jejich přesná definice je obsažena v Helpu programu.

Pro případ modelování konstrukce rozhledny byly zvoleny prvky Beam44 pro 1D prvky, tedy sloupy, pruty a táhla. Jako plošný 2D prvek byl použit konečný prvek Shell181, kterým je pokryta železobetonová skořepina konstrukce, všechny desky, atika a celé schodiště.



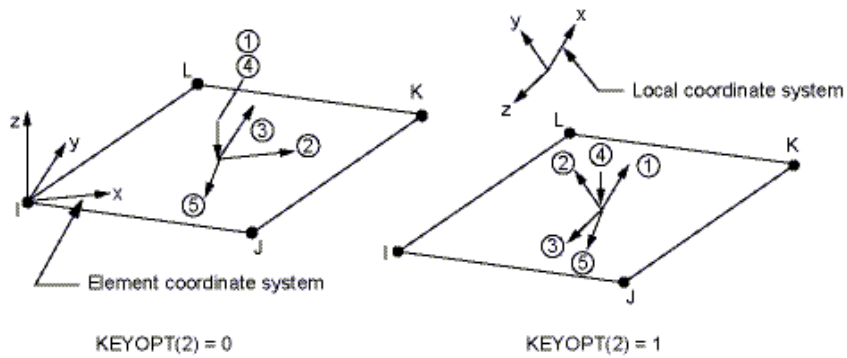
Obr. 23: Geometrie Beam44 (10)

Figure 181.1 SHELL181 Geometry



Obr. 24: Geometrie Shell181 (10)

Figure 154.2 Pressures



Obr. 25: Schéma zatěžování prvku SURF154 (10)

Velká výhoda programu spočívá v detailním popsání geometrie, vlastností a celkového charakteru konečného prvku v Helpu. To umožňuje nastavení prvků do nejmenších detailů. Tím samozřejmě trpí přehlednost a jednoduchá orientace pro uživatele.

Materiály a průřezy

Zajímavostí programu je indispozice klasické nabídky materiálů, která je zpravidla nedílnou součástí jiných komerčních statických programů. To vede k tomu, že je nutné si každý materiál „vytvořit“ ručně. V praxi to znamená zadat minimálně modul pružnosti materiálu E , Poissonův součinitel μ a objemovou hmotnost materiálu ρ . Pozor, vše je nutné zadávat v základních jednotkách! Určitě tento systém zadávání není ideální, hlavně z toho titulu, že uživatel musí vlastnosti materiálů hledat, pokud je nezná nazpaměť. Naproti tomu může stát názor o možnosti vytvoření vcelku libovolného materiálu, což lze uplatnit například v laboratorních podmínkách.

Program nabízí základní tvary nepoužívanějších průřezů, jako jsou obdélníky, I a U průřezy, kruhové profily atd. Avšak přednastavený je pouze tvar, nikoliv rozměry. Opět to vede k nutnosti použití tabulek vyráběných průřezů a profilů jednotlivých materiálů.

Je třeba si uvědomit, že program je používán celosvětově a proto není v silách programátorů udělat jednu robustní knihovnu, která by pojala veškeré průřezy a materiály ve světě používané.

Okrajové podmínky

Základní okrajové podmínky, neboli v Ansysu displacements, se oproti většině jiných elementů zadávají zcela jednoduše a intuitivně v klasickém schématu – zamezení pohybu či rotace v požadovaném směru – vybrání bodu, většinou na „nody“ (body sítě konečných prvků), ale i na keypointsy, liny a plochy – potvrzení příkazu. Jednoduché, rychlé. Značky nejsou vykreslovány standardně jako v odborných literaturách nicméně jsou srozumitelné.

Výjimka nastává ve chvíli editace uložení (spojení) prutů. Pokud chce uživatel nastavit kloubové uložení (spojení) prutů, jako tomu je v modelu rozhledny v konstrukci výtahové šachty, zadá volnou rotaci dle dané osy v nastavení příslušného konečného

prvku pokrývající daný prut (keyopt 7,8 Beam44 - nikoli jako okrajovou podmínku). Po potvrzení úkonu jsou klouby automaticky vytvořeny, avšak nejsou nijak znázorněny na pracovní ploše v modelu. Tento nedostatek se může nepěkně projevit zejména v praxi, pokud projektant přepracovává nějaký projekt po někom jiném.

Zatížení

Prvním úkolem uživatele při zadávání zatížení na danou konstrukci je nutnost sjednocení orientace jednotlivých prvků. To usnadní a částečně dokáže zautomatizovat zadávání. Dále je nutné nastavit vykreslování jednotlivých zatížení. Implicitně je nastaveno nepřehledně v ose prvku. Vhodné je při této operaci spolupracovat s Helpem (nastavení směru šipek, orientace, ...). Důležitá poučka v tomto směru je nekombinovat zatížení nadefinované na FE modelu se zatížením nadefinovaným na solid modelu.

Zadávání plošných zatížení je bráno jako „pressure on elements“ (tlak na prvky), zadá se hodnoty tlaku (základní jednotky Pa = N/m²) a orientace tlaku dle „face“ uváděném v Helpu. Liniová zatížení jsou zadávána jako „pressure on beams“, opět zadání hodnoty tlaku a správného „face“ (možnost zadání horizontálně či vertikálně).

Velké problémy jsou se zadáním zatížení, které působí ve směru globální osy Z, na prvek v obecné rovině – ramena schodiště (normála není rovnoběžná s globální osou Z). Při tomto druhu zatěžování prvku je nutné použít pomocný prvek SURF154. Nejprve je nutné vytvořit identickou kopii SHELL181 s požadovaných místech, tyto kopie následně změnit v prvky SURF154. Tím se docílí stejné polohy nodů (uzlů) pro oba prvky. Poté prvek SURF154 nastavíme do uživatelem zvoleného lokálního souřadného systému, který bude mít osu Z rovnoběžnou s globální osou Z, ale s opačnou orientací kladných hodnot. Až po provedení těchto úkonů lze nadefinovat zatížení v požadovaném směru s příslušným „face“.

Zatížení větrem v programu Ansys muselo být zadáno mírně odlišným způsobem než v programu předchozím. Liniové zatížení od působení větru bylo definováno v linii ramene respektive podesty schodiště, nikoliv v jedné úrovni pro celé patro.

Postup při provádění zatěžovacích stavů byl odlišný od postupu v programu Scia Engineer. Zde bylo nutné nejprve nadefinovat zatížení pro jeden zatěžovací stav, provést výpočet a výsledek uložit jako jeden zatěžovací stav. Po provedení všech osmi

zatěžovacích stavů, byly provedeny kombinace formou příkazů v příkazové řádce a z nich následně třídy zatížení.

4.3.3 Síť konečných prvků

Tato podkapitola by se chronologicky nacházela hned po zadání průřezů a materiálů. „Meshování“ = přiřazení prvkům „solid modelu“ materiál, průřez (1D) nebo tloušťku (2D), příslušný prvek z knihovny Ansysu a informaci o počtu konečných prvků na „solid“ prvku. Tedy z obecné line se stane jasně definovaný prutový prvek o zadaném průřezu a materiálu a s přesným počtem konečných prvků. Z obecné plochy se stane jasně definovaný plošný prvek o zadaném materiálu a tloušťce a s přesným počtem prvků na hranách plochy. Síť konečných prvků je možno dělit dle počtu dílků nebo dle velikosti dílků. Použití jedné či druhé varianty závisí čistě na vhodnosti pro konkrétní případ.

Pro názornost je příhodné si vytvořit tabulku například v Excelu. Tím docílíme přehledu použitých prvků s jejich vlastnostmi.

Tab. 3: Prvky pro Ansys (Vlastní tvorba)

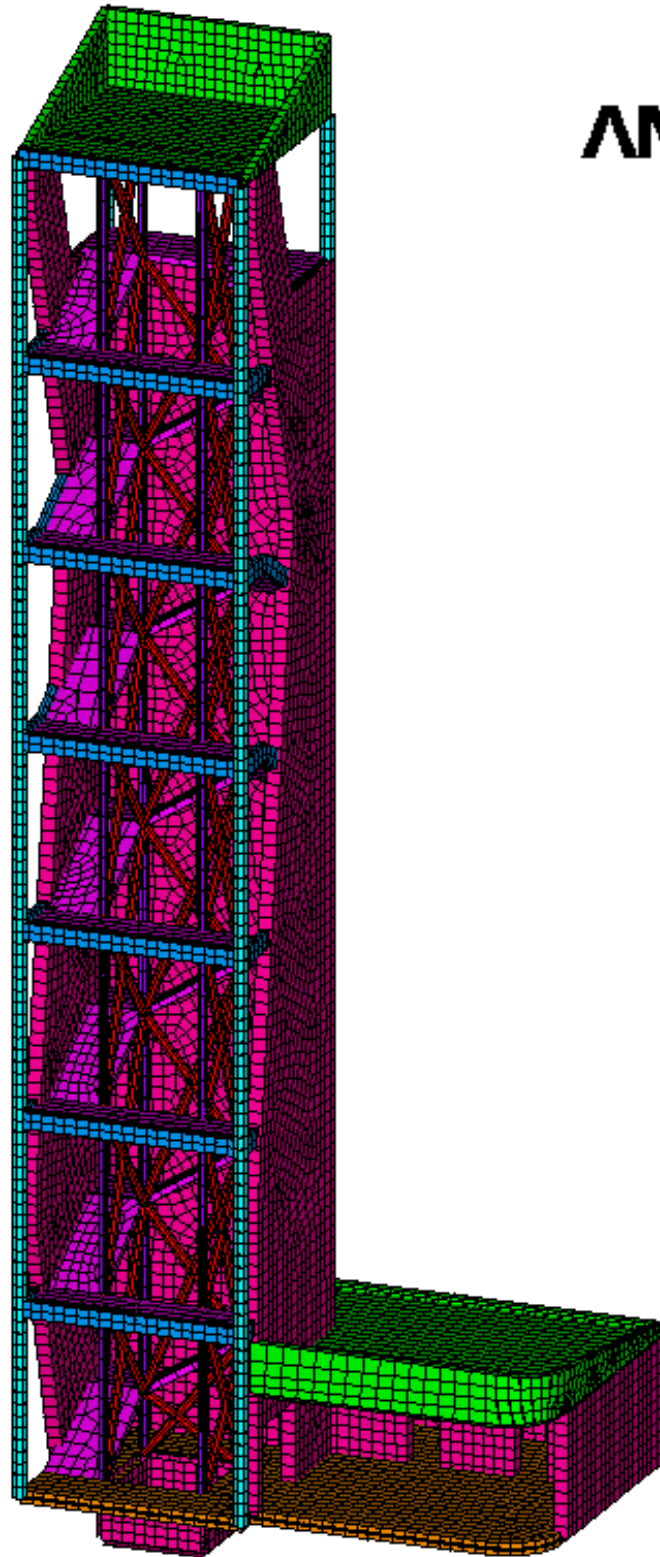
Number	Element type	Popis prvku	Material	Real constant	Section
1	BEAM44	Sloup ŽB, průměr 350 mm, C30/37	1	999	1
2	BEAM44	Jäckel - nosná konstrukce výtahu, S355	2	999	2
3	BEAM44	Trubka - táhla konstrukce výtahu, S355	3	999	3
4	BEAM44	Bet. trám u schodiště 200 x 400mm, C30/37	4	999	4
5	SHELL181	Skořepina tl. 350 mm	5	5	999
6	SHELL181	Atika a střecha tl. 200 mm	6	6	999
7	SHELL181	Základová deska tl. 300 mm	7	7	999
8	SHELL181	Schodišťová deska	8	8	999
9	BEAM44	Betonový trámek 50x50	9	999	9

Pozn: Číslo 9 bylo doplněno v průběhu modelování konstrukce, proto se nachází na konci seznamu. Jedná se o pomocnou konstrukci k aplikaci zatížení na konstrukci.

Postup meshování (tvoření sítě konečných prvků):

- 0) Tabulka v Excelu (doporučeno)
 - 1) Vytvoření nových „element type“, materials, real constant, section
 - 2) Nastavení „element type“, materiálů, real constant, section pro prvek, který je meshován
 - 3) Vybrání prvku solid modelu
 - 4) Nastavení sítě (velikost, počet dílků)
 - 5) Provedení „meshe“

Po provedení tohoto postupu se základní solid model stává modelem konečných prvků tzv. FE modelem. Je možné si konstrukci zobrazit v reálných průřezích příkazem /eshape,1, barevně odlišit jednotlivé konstrukce a provést mnoho dalších variant zobrazení.



Obr. 26: Znáznornění sítě konečných prvků na konstrukci – Ansys (Vlastní tvorba)

4.3.4 Výpočet

Důležitou součástí programu Ansys je textový soubor tzv. „Log file“, kam se ukládají veškeré příkazy, které uživatel během své práce s programem provede. Mimo to je zde možné, po spuštění výpočtu, sledovat, kdy bude výpočet dokončen. Tím je docíleno eliminace ztrátových časů, které by mohly jinak vzniknout, čekáním na obdržení výsledků. Výpočet této konstrukce nemohl být proveden najednou. Jak již bylo zmíněno v kapitole zatížení, výpočet byl prováděn odděleně pro každý zatěžovací stav. Jednotlivé zatěžovací stavy byly spočteny během několika málo vteřin.

4.3.5 Výsledky

Získání výsledků z programu Ansys je jednoduché a hlavně rychlé. Jakékoli výsledky je možné bez problémů zobrazit v okně poznámkového bloku. Obdržení dílčích výsledků na jednotlivých částech konstrukce je možné pouhým zvolením typu konstrukce a následným příkazem k vykreslení respektive vypsáním (u číselných výstupů) hodnot výsledků.

4.3.6 Publikování výsledků

Pro publikování výsledků je vhodné vytvoření macra s nastavením a vytvořením obrázku, aby všechny publikované výstupy měly stejnou formu. Jednotlivé nastavení obrázku výstupů není nějak složité, ale spíše časově náročné. Krom publikace grafických výstupů je možné vytvořit příkazem /output,výstup,txt (kde výstup = název budoucího textového dokumentu, txt = formát textového dokumentu) textový dokument o průběhu celého výpočtu.

4.4 Výstupy – číselné

Výhodou programu Ansys je snadné provedení číselných výstupů do klasických textových editorů. Zmíněná kompatibilita je jednou z neocenitelných pomůcek práce s programem. Opět pro potřeby bakalářské práce jsou uvedeny jako referenční číselné výstupy hodnoty přemístění uzlů ve všech hlavních osách (U_x , U_y , U_z).

Porovnávaná data:

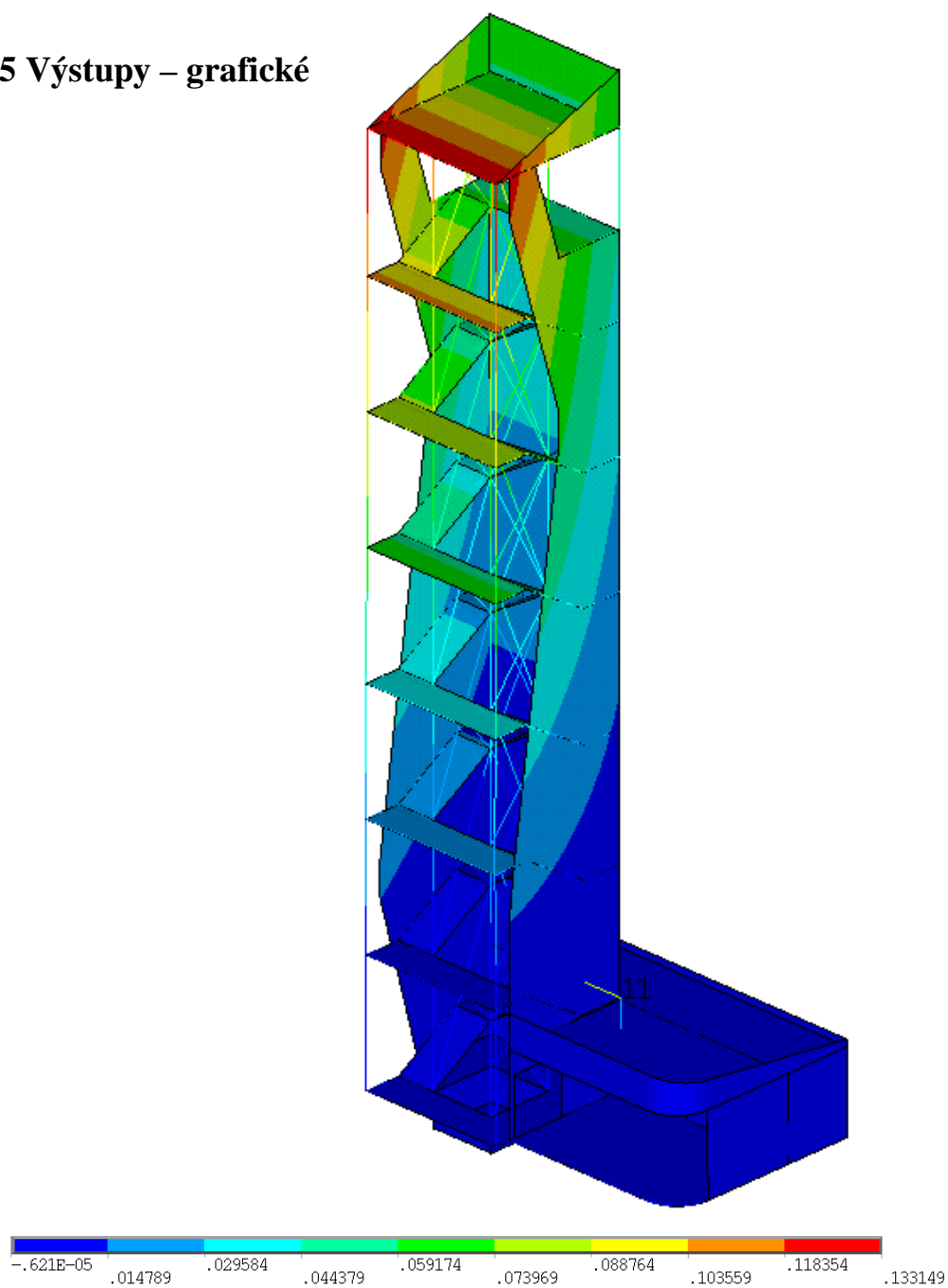
Mezní stav použitelnosti:

Posun $U_x = 133,1$ mm

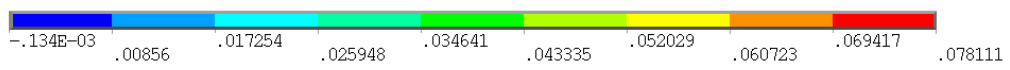
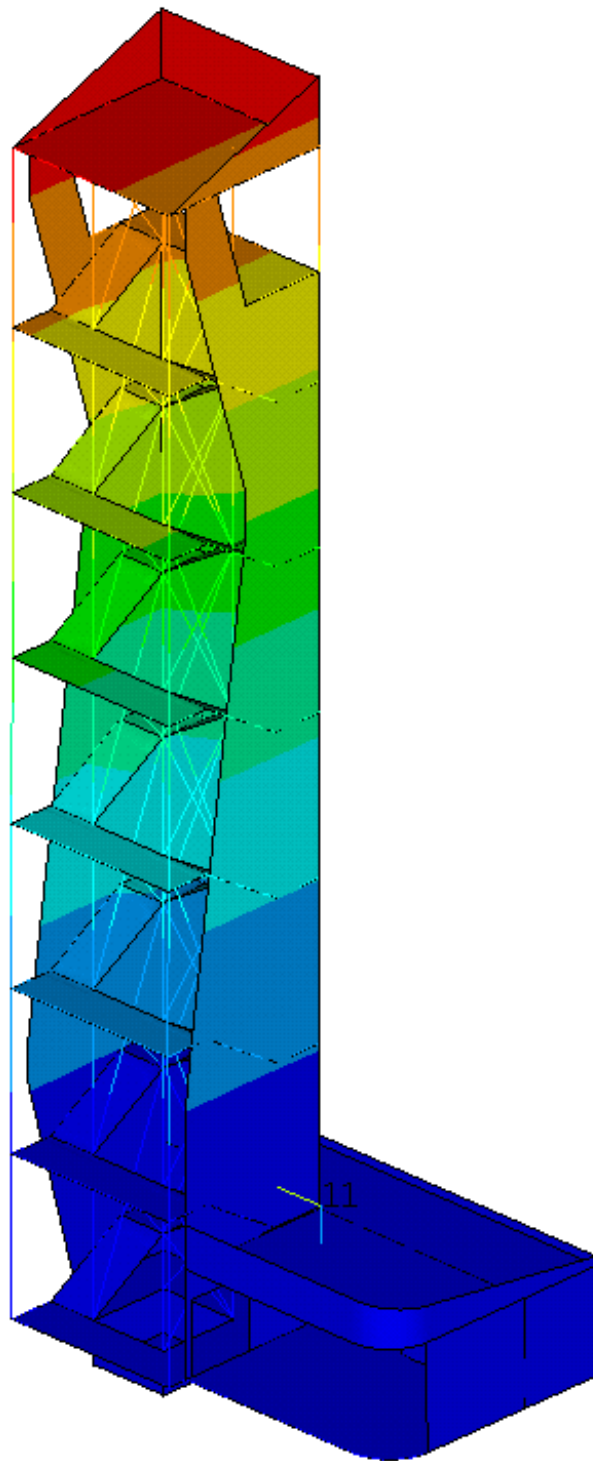
Posun $U_y = 78,1$ mm

Posun $U_z = 7,4$ mm

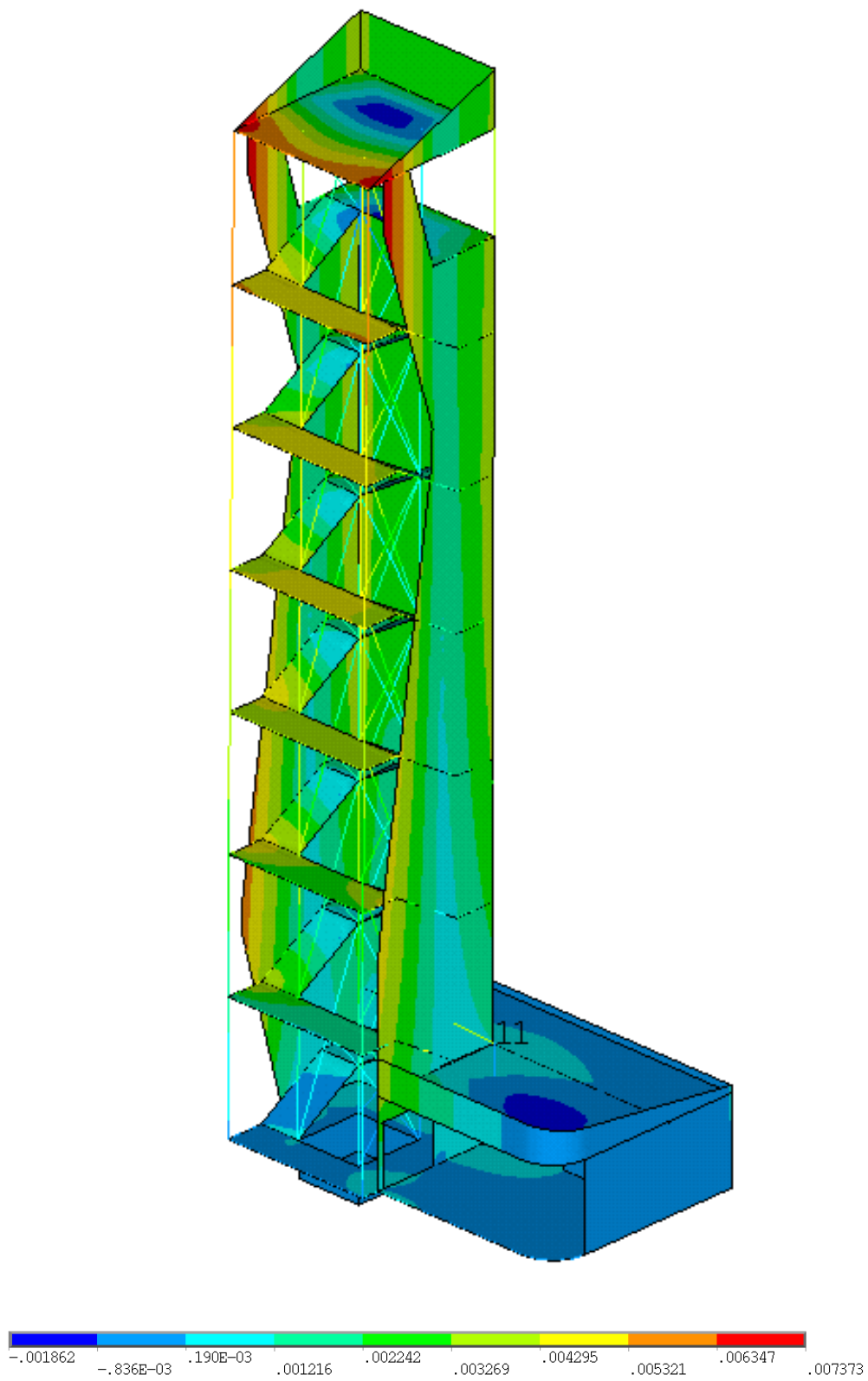
4.5 Výstupy – grafické



Obr. 27: Přemístění uzlů ve směru U_x (Vlastní tvorba)



Obr. 28: Přemístění uzlů ve směru U_y (Vlastní tvorba)



Obr. 29: Přemístění uzlů ve směru Uz (Vlastní tvorba)

4.6 Shrnutí práce s programem

Práce s programem je velmi náročnou disciplínou. Mnoho věcí je zcela nových. Bez základního začátečnického kurzu je práce v programu, dovolím si tvrdit, nemožná. Po zvládnutí kurzu se uživatel již začíná orientovat v pracovním prostředí a dále je nutné se soustředit na propracovaný Help. Postupem času je uživatel schopen zadávání příkazů ve zkratkách přes příkazovou řádku, čímž je celá práce s programem velmi usnadněna a hlavně zrychlena. Časová dotace pro zhotovení této řešení konstrukce od modelu po konečné výstupy je cca 2-3 týdny. Zde je nutné také zmínit, že základní geometrie (jednotlivé body konstrukce) byla převzata z programu Scia Engineer, bez tohoto kroku by byla časová dotace ještě větší.

Bohužel, možnosti programu Ansys jsou tak široké, že v podstatě není možné, aby se v programu naučil uživatel sám od začátku. Mnoho věcí, které jsou pro zadávání zásadní, uživatele ani nenapadne. Pokud narazí na nějaký větší problém, málokdy je schopen sám ho vyřešit, často je nutná přítomnost zkušenějších odborníků. Postupem času jsem usoudil, že nejdůležitější věci při práci s Ansysem jsou již dříve nabitě zkušenosti a množství odpracovaných hodin v tomto programu.

5 Porovnání programů

5.1 Porovnání funkcí

Modelování konstrukce rozhledny nebylo složité, a proto nelze objektivně zhodnotit funkce obou programů a tak je vhodné zde pouze uvést hlavní výhody a možnosti obou softwarů.

Výhody

Scia Engineer – knihovna průřezů

- výstup do 3D pdf
- snadná tvorba zatěžovacích stavů, kombinací, tříd zatížení

Ansys

- okamžité výstupy do textových dokumentů
- okamžitá tvorba obrázků (identická s pracovní plochou)
- větší škála možností nastavení jednotlivých konečných prvků a sítě konečných prvků

5.2 Porovnání dostupnosti a technické podpory

Cena základní licence programu Scia Engineer se pohybuje okolo 250 000,- Kč a je to zhruba šestina částky za licenci Ansys (cca 1 500 000,- Kč). Z těchto cenových hladin je z části patrné jejich použití v praxi. Malé množství statických firem velikosti s.r.o. nebo v.o.s. je schopno investovat do softwaru přes milion korun, proto se běžné konstrukce typu rodinné domy, bytové domy, administrativní budovy atd. projektují v programu Scia Engineer, zatímco nadnárodní společnosti, projektující strategicky významné objekty se více ztotožní s programem Ansys. S tím se ovšem pojí další problém a to je poptávka po odbornících pracujících samostatně v programu Ansys. Zpravidla je jeden profesionální projektant dražší než potřebná licence.

Technická podpora obou programů je na velmi vysoké úrovni. Programy disponují značně obsáhlými pomocnými adresáři – Help. Zatímco u Scia Engineer je potřeba Help zcela výjimečně, u Ansysu je potřeba tento pomocník téměř vždy. Pokud se uživatel setká s problémy, které nejsou obsaženy v Helpech, je možnost zaslat e-mail technické podpoře programu, tedy odborníkům na slovo vzatým, kteří často pomáhají i s vývojem samotného programu.

5.3 Porovnání z hlediska uživatele

V tomto případě je téměř jednoznačná sympatie s programem Scia Engineer. Jeho koncepce se zdá pro každodenní praxi statika pozemních staveb velmi vítaná a užitečná. Na seznámení se s programem stačí jeden den, tvorbu modelu konstrukce, zatížení, okrajové podmínky a nastavení výstupů lze zvládnout do dvou týdnů a při každodenní práci se uživatel z úrovně začátečník na úroveň expert může dostat za dva až tři měsíce. Naproti tomu Ansys. Seznámení se s programem trvá minimálně týden. Modelování konstrukcí, jejich řešení a použitelnost výstupů trvá týdny až měsíce. A kdo by se chtěl nazývat expertem přes Ansys, tak musí být mimo jiné velmi sebevědomý a trávit u programu celý den po dobu několika let. Tyto časové údaje samozřejmě závisí na zručnosti každého projektanta.

Určitě není od věci podotknout, že ve Scie Engineer není až takový problém se naučit zcela samostatně. V programu Ansys je tato cesta z důvodu obsáhlosti funkcí a možností různých nelineárních a dynamických výpočtů v podstatě nemožná pro standardní uživatele, zvyklé na běžné CAD systémy. Je tedy nutné absolvovat kurz, lépe kurzy. Pro studenty existuje řada těchto kurzů zdarma, pracující si však tento kurz musí zaplatit. Cena víkendového kurzu se pohybuje okolo 20-ti tisíc korun.

5.4 Porovnání kvality výstupů

Oba programy mají tuto stránku na velmi vysoké úrovni. V obou případech se jedná o záležitost dvou až tří kliknutí myší. Proto bych opět vyzdvihl možnost tvorby 3D pdf ve Scia Engineer. V Ansysu je nutné ocenit rychlost provedení výstupů a kompatibilitu s mnoha běžnými programy ať už textového či jiného charakteru.

5.5 Celkové srovnání

Scia Engineer je komerční software pro modelování běžných konstrukcí v každodenní praxi, primárně vytvořen pro stavební inženýry.

Ansys má universální použití ve všech odvětvích inženýrské praxe a téměř neomezené možnosti simulace fyzikálních jevů (proudění, magnetismus, ...). Není primárně nastaven pro stavební praxi a tak se s výhodou uplatní na výpočtových modelech velmi složitých konstrukcí (zavěšené, visuté mosty; elektrárny a jiné budovy strategického významu).

Závěr

Bakalářská práce byla provedena přesně dle zadání. Práce představila dva statické programy pracující na metodě konečných prvků. V obou výpočetních softwarech byla vymodelována konstrukce rozhledny se stejnými parametry. Zatížení větrem bylo spočítáno dle příslušné ČSN EN 1991-1-4 (11) a aplikováno na konstrukci. Díky splnění všech podmínek práce s programy bylo možné srovnání obdržených výsledků.

Při vyhotovení modelu konstrukce a aplikaci vypočteného zatížení bylo dbáno na přesnou geometrii, stejné vlastnosti použitých materiálů a počet konečných prvků. I přes to byla zjištěna odchylka ve výsledných posunutích uzlů. Odchylka se pohybovala v řádu jednotek procent a byla s největší pravděpodobností způsobena rozdílnou sítí konečných prvků a hlavně rozdílným zadáváním liniového zatížení od zatěžovacích stavů zohledňujících vliv větru.

Dále proběhlo srovnání z hlediska uživatele, možností programů, podpory apod. Při rozsahu této konstrukce nešlo ani u jednoho z uvedených programů využít zcela jeho možnosti, schopnosti a vybavení a tím docílit objektivního posouzení.

Mým osobním cílem bylo proniknout do prostředí obou programů, zjistit na jaké bázi pracují, jakou kladou náročnost na začínajícího uživatele, čemu se vyvarovat při práci s nimi a udělat si obrázek o možnostech uplatnění programů v praxi. Zhotovení řešené konstrukce a aplikace zatěžovacích stavů proběhlo úspěšně a byl splněn i můj osobní cíl bez výhrad.

Seznam použitých zdrojů:

- 1) KOLÁŘ, Vladimír, Ivan NĚMEC a Viktor KANICKÝ. *FEM: Principy a praxe metody konečných prvků*. Hornocholupická 22, 140 00 Praha 4: Computer press, 1997. 401 s. ISBN 80-7226-021-9
- 2) VOŘECHOVSKÝ, Miroslav. *Pružnost a plasticita*. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Brno: 2005. 22 s.
- 3) Metoda konečných prvků. In: *Example of 2D mesh.png* [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Example_of_2D_mesh.png
- 4) KIKA, Ondřej, *Statická a dynamická analýza nosné konstrukce vertikální průmyslové pece*. In *Juniorstav 2009*. Brno, Česká republika: 2009. 224 s. ISBN: 978-80-214-3810-1
- 5) *Aparthotel: Šumava* [online]. 2009 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.aparthotel-sumava.cz/rozhledna-polednik>
- 6) ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Mapa zatížení sněhem na zemi* [online]. 2011 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: www.snehovamapa.cz
- 7) Manuál k programu Scia Engineer (součást softwaru)
- 8) KOŇAS, Petr. *Introduction to Ansys for Release 5.4 fy*. Ansys, volný překlad
- 9) SHEN-YEH CHEN. The Unofficial History of ANSYS. In: [online]. 2002 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.fea-optimization.com/ansys/ANS-history.txt>
- 10) Manuál k programu Ansys (součást softwaru)

11) ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem

12) NĚMEC, Ivan, et al. *Finite element analysis of structures [principles and praxis]*. Aachen: Shaker, 2010. ISBN 978-383-2293-147.

Seznam použitých příloh:

Obr. 1: Základní velikost sítě kombinovaná se zjemněnou sítí v hlavní oblasti zájmu (3)	14
Obr. 2: Vzorový model (5 – grafická úprava)	17
Obr. 3: Stávající rozhledna na Polední hoře (5)	17
Obr. 4: Půdorys 1NP (Vlastní tvorba)	20
Obr. 5: Řez A-A' (Vlastní tvorba)	21
Obr. 6: Pohled severozápadní (Vlastní tvorba)	22
Obr. 7: Pohled jihozápadní (Vlastní tvorba)	23
Obr. 8: Schéma působení dynamických tlaků po výšce budovy (Vlastní tvorba)	26
Obr. 9: Půdorys působení tlaků a sání na budovu (Vlastní tvorba)	28
Obr. 10: Tlaky a sání větru řez A-A' (Vlastní tvorba)	29
Obr. 11: Tlaky a sání větru řez B-B' (Vlastní tvorba)	30
Obr. 12: Logo Scia Engineer (7)	31
Obr. 13: Model zhotovený v programu Scia Engineer (Vlastní tvorba)	33
Obr. 14: Znázorněné plochy s nahodilým zatížením $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$ (Vlastní tvorba)	36
Obr. 15: Znázornění sítě konečných prvků na konstrukci – Scia Engineer (Vlastní tvorba)	37
Obr. 16: Přemístění uzlů ve směru U_x (Vlastní tvorba)	40
Obr. 17: Přemístění uzlů ve směru U_y (Vlastní tvorba)	40
Obr. 18: Přemístění uzlů ve směru U_z (Vlastní tvorba)	41
Obr. 19: Logo Ansys (10)	43
Obr. 20: Pyramida návazností prvků (Vlastní tvorba)	45
Obr. 21: Základní prvky a) Keypoint, b) Line, c) Area, d) Volume (Vlastní tvorba)	45
Obr. 22: Model zhotovený v programu Ansys (Vlastní tvorba)	46
Obr. 23: Geometrie Beam44 (10)	47
Obr. 24: Geometrie Shell181 (10)	47
Obr. 25: Schéma zatěžování prvku SURF154 (10)	47
Obr. 26: Znázornění sítě konečných prvků na konstrukci – Ansys (Vlastní tvorba)	51
Obr. 27: Přemístění uzlů ve směru U_x (Vlastní tvorba)	53
Obr. 28: Přemístění uzlů ve směru U_y (Vlastní tvorba)	54
Obr. 29: Přemístění uzlů ve směru U_z (Vlastní tvorba)	55
Tab. 1: Dílčí hodnoty výpočtu a konečné hodnoty dynamických tlaků (Vlastní tvorba)	27
Tab. 2: Tlak a sání větru (Vlastní tvorba)	28
Tab. 3: Prvky pro Ansys (Vlastní tvorba)	50