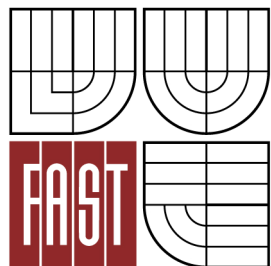




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

MODELOVÁNÍ A STATICKÁ ANALÝZA STROPNÍ KONSTRUKCE V PROGRAMU ANSYS

SIMULATION AND STATIC ANALYSIS OF CEILING STRUCTURE BY ANSYS FEM PROGRAM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR OBRŠLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JARMILA KŘIVÁKOVÁ, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Petr Obršlík
Název	Modelování a statická analýza stropní konstrukce v programu ANSYS
Vedoucí diplomové práce	Ing. Jarmila Křiváková, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

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

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

Podklady a literatura

- Kolář, V., Němec, I., Kanický, V., FEM - Principy a praxe metody konečných prvků. Vydavatelství Computer Press 1997
- Teory Refrence - Ansys 13.0
- ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí

Zásady pro vypracování

Navrhnout stropní konstrukci nad zadaným půdorysem obytné stavby a vytvořit model pro výpočet metodou konečných prvků programem Ansys. Provést statickou analýzu a posouzení konstrukce, navrhnout vhodné úpravy konstrukce tak, aby vyhověla požadavkům na ni kladeným.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Jarmila Křiváková, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá především modelováním a statickou analýzou stropní konstrukce v klasickém prostředí programu ANSYS. Úvodní část je zaměřena na ověření správnosti modelu nejvíce namáhané části konstrukce s jednoduchým ručním statickým výpočtem podle průběhu napětí na spojitém nosníku. Hlavní část práce je věnována modelování ocelobetonové konstrukce, typům prvků a způsobu zadání zatížení a okrajových podmínek v programu ANSYS. Na závěr práce jsou zobrazeny výsledky napětí a deformací a konstrukce je posouzena na mezní stav únosnosti a na mezní stav použitelnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

ANSYS, typ prvku, okrajové podmínky, zatížení, metoda konečných prvků, napětí, deformace, ocelový nosník, průvlak, ideální průřez, pracovní součinitel, spojitý nosník, Clapeyronova metoda, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti

ABSTRACT

This thesis mainly deals with modeling and static analysis of the ceiling structure in the basic environment of ANSYS. The first part is focused on verifying correctness of the model most stressed parts of the structure with a simple hand-static calculation by the process of stress on a continuous beam. The main part is devoted to modeling composite structure, element types, specifying loads and boundary conditions by ANSYS FEM program. In the end, there are the results of stress and deflection presented, and the structure is evaluated at the ultimate limit state and serviceability limit state.

KEYWORDS

ANSYS, element type, boundary conditions, load, finite element method, stress, deflection, steel beam, girder, ideal cross-section, working coefficient, continuous beam, Clapeyron's method, ultimate limit state, serviceability limit state

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Petr Obršlík *Modelování a statická analýza stropní konstrukce v programu ANSYS*. Brno, 2014. 87 s., 15 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Jarmila Křiváková, CSc..

Prohlášení:

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

V Brně dne 12.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Petr Obršlík

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Petr Obršlík

Poděkování:

Na tomto místě chci poděkovat především vedoucí mé diplomové práce Ing. Jarmile Křivákové, CSc. za cenné rady a ochotnou pomoc při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za veškerou podporu.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	3
SEZNAM TABULEK.....	5
1 ÚVOD A CÍL PRÁCE.....	6
1.1 Úvod.....	6
1.2 Cíl práce.....	7
2 POPIS DISPOZICE A STROPNÍ KONSTRUKCE.....	8
2.1 Popis dispozice.....	8
2.2 Popis stropní konstrukce	8
2.3 Skladba stropu.....	10
2.3.1 Beton C20/25	10
2.3.2 KARI síť	11
2.3.3 VSŽ 11082 (1142H)	11
2.3.4 Ocelový nosník profilu I 160	12
2.4 Výpočet vlastní tíhy nosné konstrukce	13
2.5 Skladba podlahy	13
2.6 Výpočet ostatního stálého zatížení.....	14
2.6.1. Podlaha.....	14
2.6.1. Podhled	14
3 STATICKÝ VÝPOČET NEJVÍCE NAMÁHANÉHO NOSNÍKU A POROVNÁNÍ S ANSYSSEM.....	15
3.1 Výpočet ohybového momentu od vlastní tíhy	15
3.2 Ideální průřez – průřezové charakteristiky.....	18
3.2.1 Zjištění polohy těžiště ideálního průřezu.....	18
3.2.2 Výpočet momentu setrvačnosti ideálního průřezu.....	22
3.3 Hmotnost nejvíce namáhaného nosníku a porovnání s programem.....	24
4 TVORBA MKP MODELU	26
4.1 Popis konstrukce a modelu.....	26
4.2 Typy použitých prvků	27
4.2.1 SOLID 185.....	27
4.2.2 SHELL 181	27
4.2.3 BEAM 188.....	28
4.2.4 SOLID 65.....	30
4.3 Zadání materiálových vlastností	30
4.4 Modelování v ANSYSu	32
4.4.1 Zadání bodů (keypoints) do globálního kartézského souřadnicového systému	

4.4.2	Spojení bodů (keypoints) v úsečky (lines).....	34
4.4.3	Nastavení dělení (meshing) úseček.....	34
4.4.4	Vytvoření ploch (areas)	34
4.4.5	Protahování ploch do prostoru po předepsané dráze - vznik objemů (volumes)	36
4.4.6	Tvorba sítě z objemů na elementy podle rozdělených úseček (lines).....	36
5	ŘEŠENÍ – (SOLUTION).....	47
5.1	Zadání okrajových podmínek.....	47
5.2	Zadání zatížení	49
5.2.1	Shrnutí zatížení	49
5.2.2	Kombinace zatížení.....	50
5.2.3	Přepočítání zatížení pro ANSYS.....	51
5.3	VÝPOČET	61
6	VÝSLEDKY - (POSTPROCESSING).....	62
6.1	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	63
6.1.1	Normálové napětí na nosníku profilu I 160	63
6.1.2	Normálové napětí na průvlaku profilu č. 2x U 160	65
6.1.3	Normálové napětí v betonové desce	66
6.2	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	69
6.2.1	Průhyby ocelových nosníků.....	69
6.2.2	Průhyb ocelového průvlaku	70
6.2.3	Průhyb betonové desky	71
6.2.4	Zohlednění postupu montáže	72
7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	78
7.1	Nosník profilu I 160	79
7.2	Průvlak profilu 2x U 160.....	80
7.3	Betonová deska.....	80
8	ZÁVĚR	82
	SEZNAM ZKRATEK	83
	POUŽITÉ ZDROJE	85
	PŘÍLOHY	87

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 2.1 - Schéma tvaru stropu

Obrázek č. 2.2 - Skladba stropu – podélný řez

Obrázek č. 2.4 - Podélný řez betonovou deskou na metr běžný

Obrázek č. 2.5 - Trapézový plech - rozměry

Obrázek č. 2.6 - Geometrie profilu I 160

Obrázek č. 2.7 - Skladba podlahy

Obrázek č. 2.8 - Podhled Rigips

Obrázek č. 3.1 - Statické schéma spojitého nosníku

Obrázek č. 3.2 - Diagramy posouvajících sil a ohybových momentů

Obrázek č. 3.3 - Složený průřez a) příčný řez, b) podélný řez

Obrázek č. 3.4 - Betonová deska na délku 1bm

Obrázek č. 3.5 - Ideální průřez

Obrázek č. 3.6 - Ideální průřez – těžiště průřezu

Obrázek č. 3.7 - Hodnota napětí v ANSYSU σ_{ANSYS}

Obrázek č. 4.1 - Prostorový prvek SOLID 185

Obrázek č. 4.2 - Přiřazení tloušťky plechu k prvku SHELL 181

Obrázek č. 4.3 - Skořepinový prvek SHELL 181

Obrázek č. 4.4 - Prutový prvek BEAM 188

Obrázek č. 4.5 - Přiřazení průřezu prutovému prvku BEAM 188

Obrázek č. 4.6 - Prostorový prvek SOLID 65

Obrázek č. 4.7 - Body (Keypoints) I 160

Obrázek č. 4.8 - Plochy (Areas) I 160

Obrázek č. 4.9 - Plochy (Areas) 2x U 160

Obrázek č. 4.10 - Křížení profilů I 160 s profilem 2x U 160

Obrázek č. 4.11 - Tvorba sítě konečných prvků

Obrázek č. 4.12 - Návaznost uzlů - plech, kari síť, betonová část

Obrázek č. 4.13 - Úsečky pro plech, kari síť a betonovou část

Obrázek č. 4.14 - Úsečky pro plech, kari síť a betonovou část

Obrázek č. 4.15 - Přiřazení atributů pro kari síť

Obrázek č. 4.16 - Konečné prvky - trapézový plech, kari síť, betonová část

Obrázek č. 4.17 - Trapézový plech, kari síť, betonová část – prvky

Obrázek č. 4.18 - Dialogové okno pro výběr prvků

Obrázek č. 4.19 - Ocelový nosník profilu I 160 – prvky (ID 1) typu SOLID 185

Obrázek č. 4.20 - Trapézový plech – prvky (ID 2) typu SHELL 181

Obrázek č. 4.21 - KARI síť – prvky (ID 3) typu BEAM 188

Obrázek č. 4.22 - Betonová deska – prvky (ID 4) typu SOLID 185

Obrázek č. 4.23 - Příčný řez nosníku a betonové desky

Obrázek č. 4.24 - Podélný řez nosníku a betonové desky

Obrázek č. 5.1 - Okrajové podmínky na celé stropní konstrukci

Obrázek č. 5.2 - Detail - Okrajové podmínky nosníku a betonové desky

Obrázek č. 5.3 - Detail - Okrajové podmínky průvlaku a betonové desky

Obrázek č. 5.4 - Zadání zatížení uzlových sil

Obrázek č. 5.5 - Zadání zatížení na uzly prvku

Obrázek č. 5.6 - Zadání zatížení na plochy prvku

Obrázek č. 5.7 - Plošné zatížení na horní plochy betonových prvků

Obrázek č. 5.8 - Plošné zatížení na prvky – směr působení

Obrázek č. 5.9 - Napětí od bodového zatížení do uzlů prvků + vlastní tíha

Obrázek č. 5.10 - Napětí od plošného zatížení na plochy prvků + vlastní tíha

Obrázek č. 5.11 - Statické schéma spojitého nosníku pro kombinaci zatížení na MSÚ

Obrázek č. 5.13 - Zadání zatížení na celou nosnou konstrukci

Obrázek č. 5.14 - Detail – Zadání zatížení na nosnou konstrukci

Obrázek č. 5.15 - Vyskakovací okno po správném vyřešení úlohy

Obrázek č. 6.1 - Normálové napětí SZ na ocelových nosnících

Obrázek č. 6.2 - Detail vykreslení maximálního normálového napětí SZ

Obrázek č. 6.3 - Detail vykreslení maximálního normálového napětí SZ

Obrázek č. 6.5 - Detail vykreslení normálového napětí SX ve středu průvlaku

Obrázek č. 6.6 - Normálové napětí SZ na betonové desce

Obrázek č. 6.7 - Detail napětí betonové desky v tlaku

Obrázek č. 6.8 - Detail napětí betonové desky v tahu

Obrázek č. 6.9 - Maximální napětí betonové desky v tahu

Obrázek č. 6.10 - Deformace ocelových nosníků ve směru globální osy y (průhyb)

Obrázek č. 6.11 - Největší průhyb ocelového nosníku profilu I č. 160

Obrázek č. 6.12 - Největší průhyb ocelového průvlaku profilu 2x U č. 160

Obrázek č. 6.13 - Deformace betonové desky ve směru globální osy y (průhyb)

Obrázek č. 6.14 - Zadání zatížení na ocelový nosník

Obrázek č. 6.15 - Průhyb na nosníku v I kroku montáže

Obrázek č. 6.16 - Zadání zatížení na úsek konstrukce

Obrázek č. 6.17 - Svislá deformace prvků v II kroku montáže

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 2.1 - Rozměry profilu I 160

Tabulka č. 2.2 - Průřezové charakteristiky profilu I 160

Tabulka č. 2.3 - Výpočet vlastní tíhy konstrukce

Tabulka č. 2.4 - Výpočet zatížení od podlahy

Tabulka č. 4.1 - Souhrn typů prvků a k nim přiřazených materiálových modelů

Tabulka č. 4.2 - Atributy prvků

Tabulka č. 6.1 - extrémní hodnoty napětí pro MSÚ

Tabulka č. 6.2 - extrémní hodnoty průhybů pro MSP

Tabulka č. 6.3 - Shrnutí zatížení vlastní tíhy konstrukce

Tabulka č. 6.4 - Souhrn typů prvků a k nim přiřazených materiálových modelů

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

1.1 Úvod

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením ocelobetonové stropní konstrukce, která je navržena jako alternativní řešení pro výstavbu řadových rodinných domů v zastavěné oblasti Brno - Líšeň.

Podkladem pro návrh nosné stropní konstrukce byla studie a předběžný návrh půdorysu rodinných domů. Architektonický záměr předloženého projektu měl být zachován. Navrhovaná stropní konstrukce měla být koncipována tak, aby lépe vyhovovala požadavkům na variabilní uspořádání dispozice a tím umožnila zvětšení vnitřního prostoru, který může být rozdělen příčkami dle individuálních požadavků investora. Z tohoto důvodu byla z původní dispozice odstraněna část nosné zdi, která se nahradila ocelovým průvlakem.

Diplomová práce obsahuje návrh výše zmíněné stropní konstrukce nad 1. nadzemním podlažím, která je navržena jako ocelobetonový strop z ocelových válcovaných nosníků, ocelových profilovaných plechů (tzv. trapézových plechů) a betonové desky vyztužené KARI sítí.

Navržená stropní konstrukce je modelovaná metodou konečných prvků (MKP) pomocí programu ANSYS 13.0 a vypočtená statickou analýzou. Pro modelování je využito elementárního prostředí programu ANSYS, preprocesor. MKP model stropní konstrukce je podrobně popsán v kapitole 4, této práce. Výsledné extrémní hodnoty napětí a deformací získané výpočtem v programu ANSYS jsou posouzeny dle platných norem, především posudek na únosnost a použitelnost.

Pro ověření správnosti modelování a výpočtu konstrukce metodou konečných prvků byla vybrána nejvíce namáhaná část stropní konstrukce, která byla rovněž vypočtena zjednodušeným ručním statickým výpočtem, uvedeným v kapitole 3. Výsledky ručního výpočtu byly posouzeny a porovnány s odpovídajícími hodnotami získanými teoretickým výpočtem v programu ANSYS.

1.2 Cíl práce

Cílem této práce je navrhnout stropní konstrukci nad 1. nadzemním podlažím rodinných domů, jejichž výstavba se uvažuje v lokalitě Brno – Líšeň, a navrženou konstrukci vyřešit metodou konečných prvků pomocí programu ANSYS. K její verifikaci bude použit jednoduchý ruční statický výpočet vybrané části stropní konstrukce, z kterého lze zjistit extrémní hodnoty napětí a průhybů. Tyto hodnoty se poté porovnají s odpovídajícími hodnotami získanými teoretickým výpočtem v programu ANSYS. Celá stropní konstrukce se na závěr posoudí na únosnost a použitelnost podle platných českých technických norem.

2 POPIS DISPOZICE A STROPNÍ KONSTRUKCE

2.1 Popis dispozice

Stropní konstrukce bude navržena na obdélníkový půdorys o rozměrech 10,490 m x 9,500 m s výřezem nutným k provedení dvouramenného schodiště bez podesty. Rozměrově se jedná o výřez obdélníku 2,000 m x 1,800 m. Nosný systém svislých konstrukcí je tvořen kromě obvodových stěn dvěma příčnými nosnými stěnami, které poslouží k podepření stropní konstrukce a ke zmenšení rozpětí nosných prvků. Část jedné vnitřní stěny bude nahrazena průvlakem profilu 2x U 160 s ohledem na rozšíření prostoru s možností variabilního uspořádání příček.

2.2 Popis stropní konstrukce

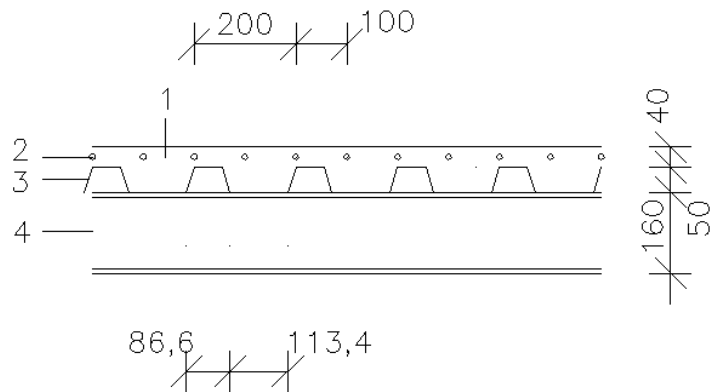
Vzhledem k jednoduchosti a univerzálnosti řešení je stropní konstrukce navržena jako ocelobetonová z válcovaných nosníků, trapézových plechů a železobetonové desky vyztužené KARI sítí. Hlavními nosnými vodorovnými prvky jsou za tepla válcované ocelové nosníky profilu I 160. V případě ocelobetonových stropů jsou ocelové nosníky a plechy umístěny ve spodní části složeného průřezu a na ně se vybetonuje železobetonová deska, která je především určena k přenášení tlaku za ohybu. [1]

Spolu s trapézovým plechem a betonovou vyztuženou deskou vytváří ocelový nosník složený průřez, který využívá výborných vlastností oceli pro přenášení tahových namáhání v tažené části a betonu pro přenášení tlaku v tlačené části průřezu. Ze statického hlediska je tedy efektivně a účelně využit všechen materiál a jeho vlastnosti.

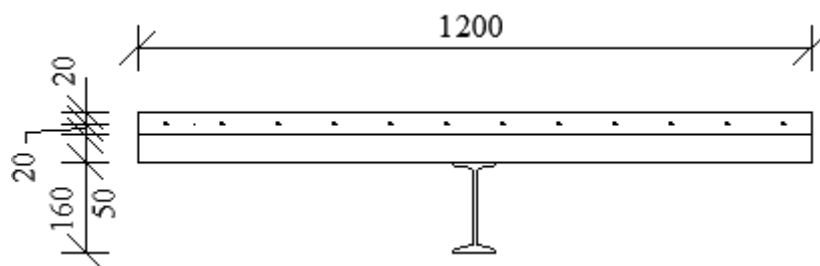
Při betonování desky se projeví výhoda trapézového plechu, který působí zároveň i jako ztracené bednění. Tímto je ušetřeno za systémové bednění. Nevýhodou ocelobetonových konstrukcí je jejich vyšší akustická propustnost a nízká protipožární odolnost. I přesto, že plech spolupůsobí s betonovou deskou a při teplotním zatížení od požáru nezpůsobí destrukci celé konstrukce, je třeba řešit jejich protipožární ochranu. Proti požáru je nezbytné chránit ocelové nosníky minimálně protipožárními nástřiky nebo speciálními nehořlavými podhledy.

2.3 Skladba stropu

- 1 beton C20/25
- 2 KARI síť
- 3 VSŽ plech
- 4 ocelový nosník profilu I 160

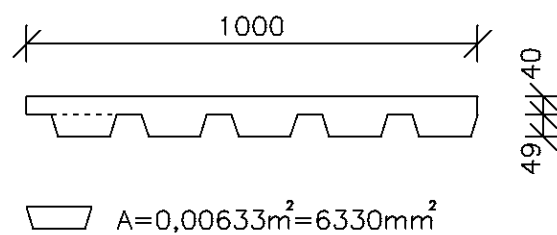


Obrázek č. 2.2 – Skladba stropu – podélný řez



Obrázek č. 2.3 – Skladba stropu – příčný řez

- 2.3.1 Beton C20/25**
- $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$...objemová hmotnost
 - $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$...objemová tíha



Obrázek č. 2.4 – Podélný řez betonovou deskou na metr běžný

2.3.2 KARI síť - svařovaná síť z ocelových drátů žebírkových tvářených za studena

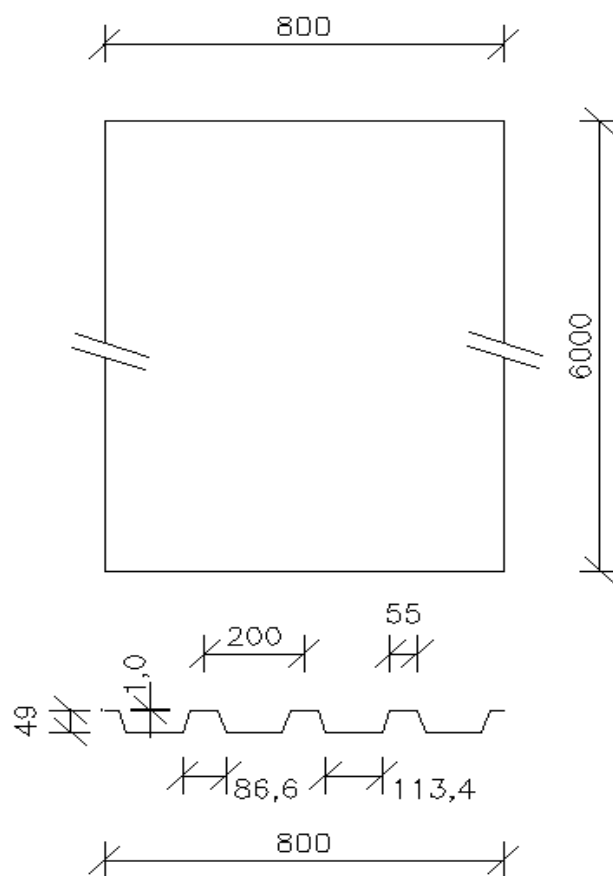
- typ KH30, KARI 6mm, oko 100 x 100 mm, formát 3 x 2 m

- hmotnost 26,64kg/ks

- hmotnost 4,44 kg/m²

2.3.3 VSŽ 11082 (1142H) - trapézový plech

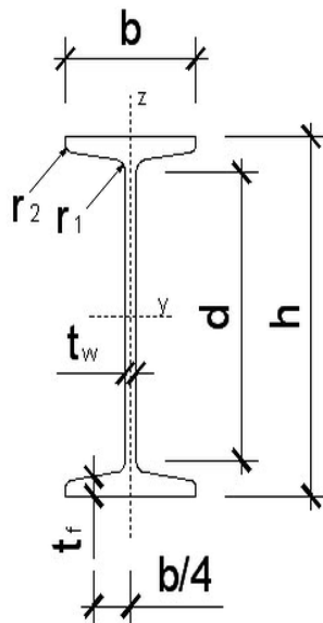
- hmotnost m = 54 kg/ks



Obrázek č. 2.5 – Trapézový plech - rozměry

2.3.4 Ocelový nosník profilu I 160

Geometrie a průřezové charakteristiky profilu I 160:



Obrázek č. 2.6 – Geometrie profilu I 160

Tabulka č. 2.1 – Rozměry profilu I 160

	Hmotnost	Rozměry					
	G	h	b	t_w	t_f	r_1/r_2	d
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm
násobek							
I 160	17,9	160	74	6,3	9,5	6,3/3,8	125,8

Tabulka č. 2.2 - Průřezové charakteristiky profilu I 160

	Průřezové charakteristiky				
	A	I_y	W_y	I_z	W_z
	mm^2	mm^4	mm^3	mm^4	mm^3
násobek	10^3	10^6	10^3	10^6	10^3
I 160	2,280	9,34	117	0,546	14,8

V tabulce č. 2.2 značí:

A	... obsah plochy celého průřezu [mm ²]
I _y ; I _z	... moment setrvačnosti průřezu k ose y; z [mm ⁴]
W _y ; W _z	... průřezový modul k ose y; z [mm ³]

2.4 Výpočet vlastní tíhy nosné konstrukce

Výpočet zatížení je proveden dle platné normy ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Stanovení intenzity zatížení je zahrnuto v následujících tabulkách.

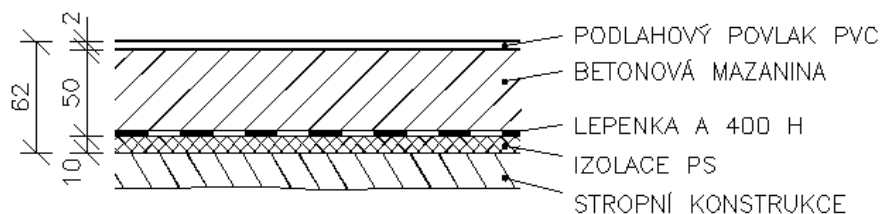
Zatížení vlastní tíhou stavebních prvků je vyjádřeno na základě jejich rozměrů a objemových tíh uváděných v normě, případně v technických příručkách.

Tabulka č. 2.3 – Výpočet vlastní tíhy konstrukce

TYP	OBJEMOVÁ TÍHA [kN/m ³]	TLOUŠŤKA [m]	ROZPĚTÍ [m]	g _{0k} [kN/m]
I160	78,50	plocha = 2,280x10 ⁻³ m ⁻²		0,1790
VSŽ plech 11082	0,54kN/ks	0,54kN/(6x0,8) m ²	1,200	0,1350
KARI síť tl.6mm	0,2664kN/ks	0,2664kN/(3x2) m ²	1,200	0,0533
Beton C20/25 - deska	24,00	0,040	1,200	1,1520
Beton C20/25 - zalití	24,00	0,00633	1,200	0,9115

$$\sum g_{0k} = \underline{\underline{2,4308}}$$

2.5 Skladba podlahy



Obrázek č. 2.7 – Skladba podlahy

2.6 Výpočet ostatního stálého zatížení

2.6.1. Podlaha

Tabulka č. 2.4 - Výpočet zatížení od podlahy

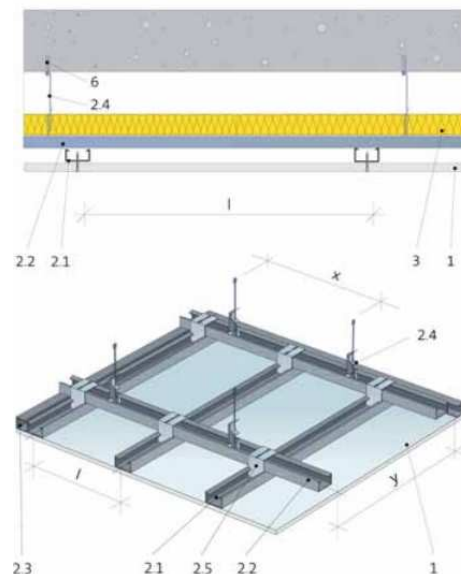
TYP	OBJEMOVÁ TÍHA [kN/m ³]	TLOUŠŤKA [m]	ROZPĚTÍ [m]	g _{1k} [kN/m]
PVC	13,0000	0,0020	1,2000	0,0312
Betonová mazanina	24,0000	0,0500	1,2000	1,4400
Lepenka A - 400H	9,0000	0,0007	1,2000	0,0076
Polystyrén	0,2500	0,0100	1,2000	0,0030

$$\sum g_{1k} = \underline{1,4818}$$

2.6.1. Podhled

Vzhledem k vysoké náročnosti na akustické požadavky stropní konstrukce bude zavěšen akustický podhled s modrou akustickou deskou Rigips. Akustické podhledy jsou speciální nenosné stropní konstrukce. Používají se tam, kde je třeba výrazně zlepšit nejen vzduchovou, ale i kročejovou neprůzvučnost nosné stropní konstrukce. [2]

Vhodným podhledem je zvolen zavěšený podhled s desky MA (DF) - akustické. Označení 4.10.13 MA s hmotností $g_{2k} = 13\text{kg/m}^2$.

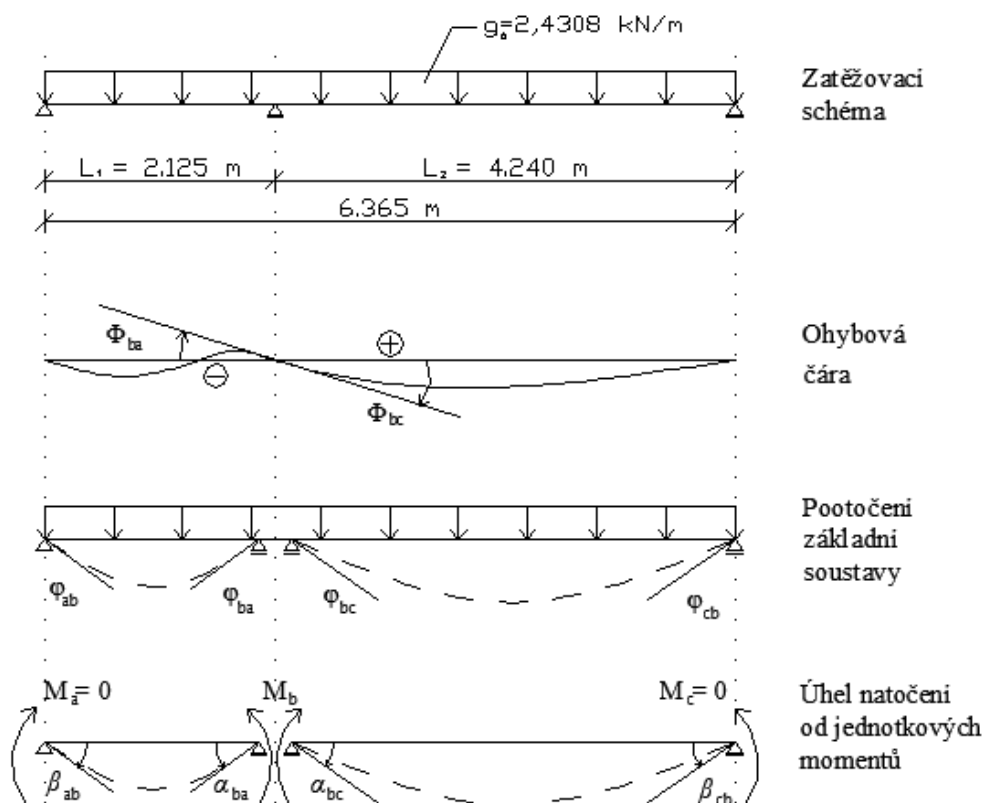


Obrázek č. 2.8 – Podhled Rigips

3 STATICKÝ VÝPOČET NEJVÍCE NAMÁHANÉHO NOSNÍKU A POROVNÁNÍ S ANSYSEM

Pro ověření správnosti MKP modelu v programu ANSYS byla vybrána nejvíce namáhaná část navržené stropní konstrukce zatížená pouze vlastní tíhou. Tímto se zjistí, zdali je model korektně vytvořen. Statické a zatěžovací schéma nosníku je znázorněno na obrázku 3.1.

3.1 Výpočet ohybového momentu od vlastní tíhy



Obrázek č. 3.1 - Statické schéma spojitěho nosníku

Jednotková natočení u prutů s konstantním průřezem jsou:

$$\alpha_{ba} = \frac{l_1}{3EI} \qquad \beta_{ab} = \frac{l_1}{6EI} \qquad (3.1.1)$$

$$\alpha_{bc} = \frac{l_2}{3EI} \qquad \beta_{cb} = \frac{l_2}{6EI} \qquad (3.1.2)$$

Dosazeno do vztahů (3.1.1) a (3.1.2)

$$\alpha_{ba} = \frac{2,125}{3EI} \qquad \beta_{ab} = \frac{2,125}{6EI}$$

$$\alpha_{bc} = \frac{4,240}{3EI} \qquad \beta_{cb} = \frac{4,240}{6EI}$$

Výpočet skutečných pootočení:

$$\varphi_{ba} = \frac{1}{24} * \frac{g \cdot l_1^3}{EI} \qquad (3.1.3)$$

Dosazeno do vztahu (3.1.3)

$$\varphi_{ba} = \frac{1}{24} * \frac{g \cdot l_1^3}{EI} = \frac{1}{24} * \frac{2,4308 * 2,125^3}{EI} = \frac{0,9719}{EI}$$

$$\varphi_{bc} = \frac{1}{24} * \frac{g \cdot l_2^3}{EI} = \frac{1}{24} * \frac{2,4308 * 4,240^3}{EI} = \frac{7,7203}{EI}$$

Deformační podmínka:

$$\Phi_{ba} = - \Phi_{bc} \qquad (3.1.4)$$

Obecný tvar třímomentové rovnice (Clapeyronova rovnice):

$$\beta_{ab} * M_a + (\alpha_{ba} + \alpha_{bc}) * M_b + \beta_{cb} * M_c + \varphi_{ba} + \varphi_{bc} = 0 \qquad (3.1.5)$$

Dosazeno do vztahu (3.1.5)

$$\frac{2,125}{6EI} * 0 + \left(\frac{2,125}{3EI} + \frac{4,240}{3EI} \right) * M_b + \frac{4,240}{6EI} * 0 + \frac{0,9719}{EI} + \frac{7,7203}{EI} = 0$$

$$\left(\frac{6,365}{3EI} \right) * M_b = - \frac{8,6922}{EI}$$

Odtud
$$\underline{M_b = -4,0969 \text{ kNm}}$$

Ve vztahu (3.1.5) značí:

M_a, M_b, M_c	... nadpodporové momenty
$E = 2,1E11 \text{ Pa}$	... modul pružnosti oceli
I	... moment setrvačnosti průřezu
EI	... ohybová tuhost

Výpočet podporových reakcí z momentových podmínek rovnováhy:

$$M_b^P: \quad -M_b + R_{yc} * L_2 - g * \frac{L_2^2}{2} = 0 \quad (3.1.6)$$

$$M_b^L: \quad M_b - R_{ya} * L_1 + g * \frac{L_1^2}{2} = 0 \quad (3.1.7)$$

Dosazeno do vztahu (3.1.6)

$$-(-4,0969) + R_{yc} * 4,240 - 2,4308 * \frac{4,240^2}{2} = 0 \quad \Rightarrow \underline{R_{yc} = 4,1870 \text{ kN}}$$

Dosazeno do vztahu (3.1.7)

$$-4,0969 - R_{ya} * 2,125 + 2,4308 * \frac{2,125^2}{2} = 0 \quad \Rightarrow \underline{R_{ya} = 0,6548 \text{ kN}}$$

Výpočet podporové reakce ze součtové silové podmínky rovnováhy:

$$R_{ya} + R_{yb} + R_{yc} = g * L \quad (3.1.8)$$

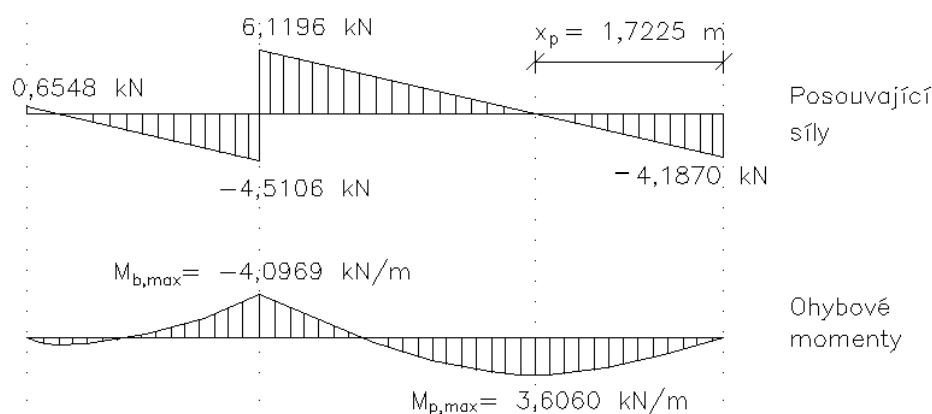
Dosazeno do vztahu (3.1.8)

$$0,6548 + R_{yb} + 4,1870 = 2,4308 * (2,125 + 4,240) \quad \Rightarrow \underline{R_{yb} = 10,6302 \text{ kN}}$$

Ve vztazích (3.1.6) – (3.1.8) značí:

R_{ya}	... svislá reakce v podpoře „a“
R_{yb}	... svislá reakce v podpoře „b“
R_{yc}	... svislá reakce v podpoře „c“

Diagramy vnitřních sil a momentů:



Obrázek č. 3.2 - Diagramy posouvajících sil a ohybových momentů

Výpočet polohy přechodového průřezu:

$$x_p = V/g_0 \quad (3.1.9)$$

Dosazeno do vzorce (3.4.9)

$$x_p = 4,1870 / 2,4308 = 1,7225 \text{ m}$$

Výpočet maximálního kladného ohybového momentu:

$$M_{p,max} = R_{yc} * x_p - g_0 * \frac{x_p^2}{2} \quad (3.1.10)$$

Dosazeno do vzorce (3.1.10)

$$M_{p,max} = 4,1870 * 1,7225 - 2,4308 * \frac{1,7225^2}{2} = \underline{3,6060 \text{ kN/m}}$$

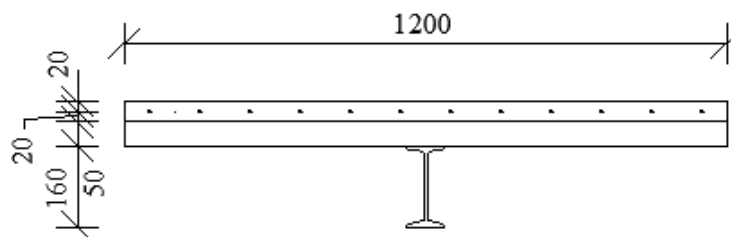
3.2 Ideální průřez – průřezové charakteristiky

Ocelový stropní nosník spolu s železobetonovou deskou tvoří složený průřez, jehož průřezové charakteristiky lze zjistit pomocí tzv. ideálního průřezu, který je zobrazen na obrázku č. 3.5. Betonová část se výpočtově převede na ocel užitím pracovního součinitele „n“, tj. poměru modulu pružnosti oceli a betonu. S tímto ideálním průřezem se následně zachází jako s průřezem ocelovým. Trapézový plech a výztuž betonu (KARI síť) se vzhledem k nízké ohybové tuhosti při výpočtu zanedbávají.

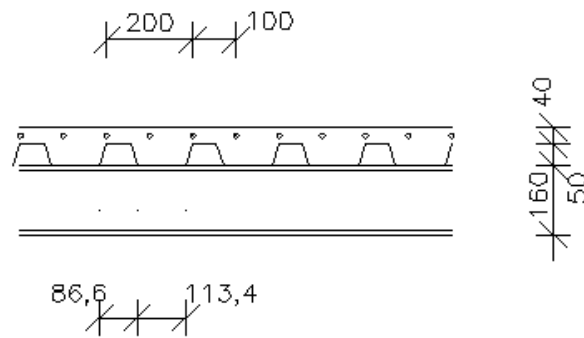
3.2.1 Zjištění polohy těžiště ideálního průřezu

Mnohotvárnost betonové desky vlivem geometrie trapézového plechu v podélném směru je nahrazena betonovou deskou s obdélníkovým průřezem. Tloušťka betonové desky je přepočtena (3.2.2) na náhradní ekvivalentní tloušťku betonové desky.

a)

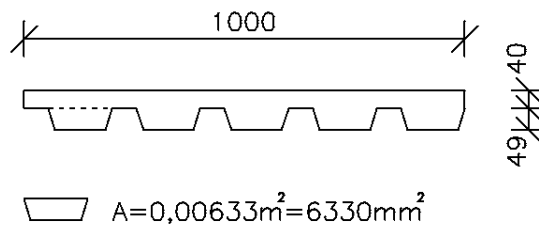


b)



Obrázek č. 3.3 – Složený průřez a) příčný řez, b) podélný řez

Pro zvolený betonový průřez je spočtena náhradní ekvivalentní tloušťka h_c pomocí obsahu plochy S na běžný metr délky desky.



Obrázek č. 3.4 – Podélný řez betonovou deskou na metr běžný

$$S = 5 * A + 1000 * 40 \quad (3.2.1)$$

Dosazeno do vzorce (3.2.1):

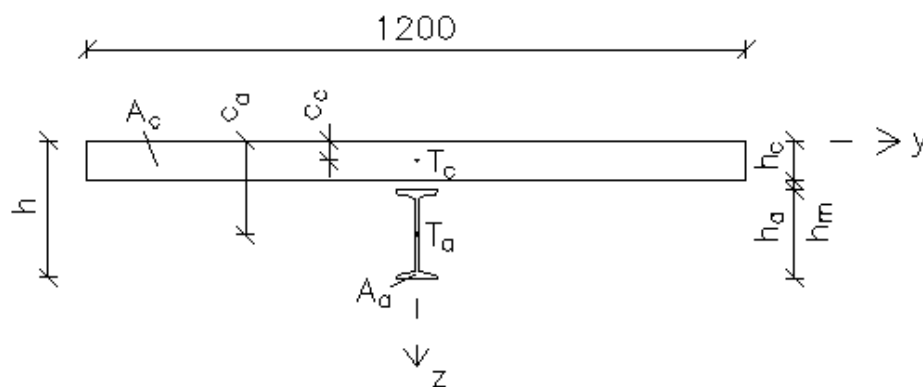
$$S = 5 * 6330 + 40000 = 71650 \text{ mm}^2$$

Náhradní ekvivalentní tloušťka betonové desky je:

$$h_c = \frac{S}{b_m} \quad (3.2.2)$$

Dosazeno do vzorce (3.2.2):

$$h_c = \frac{71650}{1000} = 71,650 \text{ mm}$$



Obrázek č. 3.5 – Ideální průřez

Z obrázku č. 3.5 značí:

$h = 250,000$ mm	celková výška průřezu
$h_c = 71,650$ mm	náhradní ekvivalentní tloušťka betonové desky
$h_a = 160,00$ mm	výška ocelového nosníku
$h_m = 18,350$ mm	vzdálenost od hrany betonové desky k ocelovému nosníku
$c_c = 35,825$ mm	vzdálenost od osy y k těžišti betonové desky
$c_a = 170,000$ mm	vzdálenost od osy y k těžišti ocelového nosníku
T_c	těžiště betonové desky
T_a	těžiště ocelového nosníku

Pracovní součinitel se vypočte jako poměr modulů pružnosti oceli a betonu

$$n = \frac{E_a}{E_c} \quad (3.2.3)$$

kde: $E_a = 210$ GPa	... Youngův modul pružnosti oceli
$E_c = 30$ GPa	... Youngův modul pružnosti betonu
n	... pracovní součinitel

Dosazeno do vztahu (3.2.3):

$$n = \frac{210}{30} = 7$$

Výpočet ploch průřezu:

$A_a = 2280$ mm ²	... plocha ocelového průřezu
$A_c = 71,650 * 1200 = 85980$ mm ²	... plocha betonového průřezu

$$A_i = \frac{A_c}{n} + A_a \quad (3.2.4)$$

Dosazeno do vztahu (3.2.4):

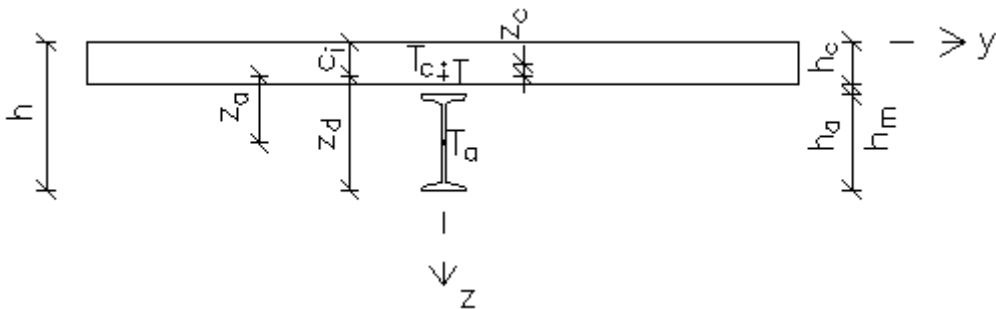
$$A_i = \frac{85980}{7} + 2280 = 14563 \text{ mm}^2 \quad \dots \text{ plocha ideálního průřezu}$$

Těžiště průřezu:

$$c_i = \frac{\frac{A_c \cdot c_c}{n} + A_a \cdot c_a}{A_i} \quad (3.2.5)$$

Dosazeno do vzorce (3.2.5):

$$c_i = \frac{\frac{85980 \cdot 35,825}{7} + 2280 \cdot 170}{14563} = \frac{827633}{14563} = 56,831 \text{ mm}$$



Obrázek č. 3.6 – Ideální průřez – těžiště průřezu

Dále jsou vypočteny vzdálenosti, které jsou patrné z obrázku č. 3.5 a č. 3.6:

$$z_c = c_i - c_c \quad (3.2.6)$$

$$z_a = c_a - c_i \quad (3.2.7)$$

$$z_d = h - c_i \quad (3.2.8)$$

Dosazeno do (3.2.6):

$$z_c = 56,831 - 35,825 = 21,006 \text{ mm}$$

Dosazeno do (3.2.7):

$$z_a = 170,000 - 56,831 = 113,169 \text{ mm}$$

Dosazeno do (3.2.8):

$$z_d = 250,000 - 56,831 = 193,169 \text{ mm}$$

3.2.2 Výpočet momentu setrvačnosti ideálního průřezu

$$I_i = I_a + A_a * z_a^2 + \frac{I_c}{n} + \frac{A_c * z_c^2}{n} \quad (3.2.9)$$

Ve vztahu (3.2.9) značí:

I_i	...moment setrvačnosti ideálního průřezu
I_a	...moment setrvačnosti ocelového průřezu
I_c	...moment setrvačnosti betonového průřezu

Dosazeno do (3.2.9):

$$\begin{aligned} I_i &= 9,34 * 10^6 + 2280 * 113,169^2 + \left[\frac{\left(\frac{1}{12} * 1200 * 71,650^3 \right)}{7} \right] + \left[\frac{(85980 * 21,006^2)}{7} \right] = \\ &= 9,34 * 10^6 + 29\,200\,467 + 5\,254\,732 + 5\,419\,836 = \\ &= 49\,215\,035 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Výpočet průřezového modulu:

$$W_i = \frac{I_i}{z_d} \quad (3.2.10)$$

Ve vztahu (3.2.10) značí:

W_i	... průřezový modul ke spodním vláknům
z_d	... vzdálenost od těžiště ke spodním vláknům

Dosazeno do (3.2.10):

$$W_i = \frac{49\,215\,035}{193,169} = 254\,777 \text{ mm}^3 = 2,54777 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Pro snadnější způsob hledání napětí v ANSYSU je model a ruční statický výpočet porovnán v nejnamáhanější části delšího pole spojitého nosníku, kde je očekáván maximální kladný ohybový moment. V místě maximálního ohybového momentu na spojitém nosníku (nad vnitřní podporou) se vyskytují v programu ANSYS lokální extrémy vlivem bodového podepření nosníku. Z tohoto důvodu se porovnává napětí v poli spojitého nosníku, kde tyto extrémy vlivem bodového podepření nevznikají.

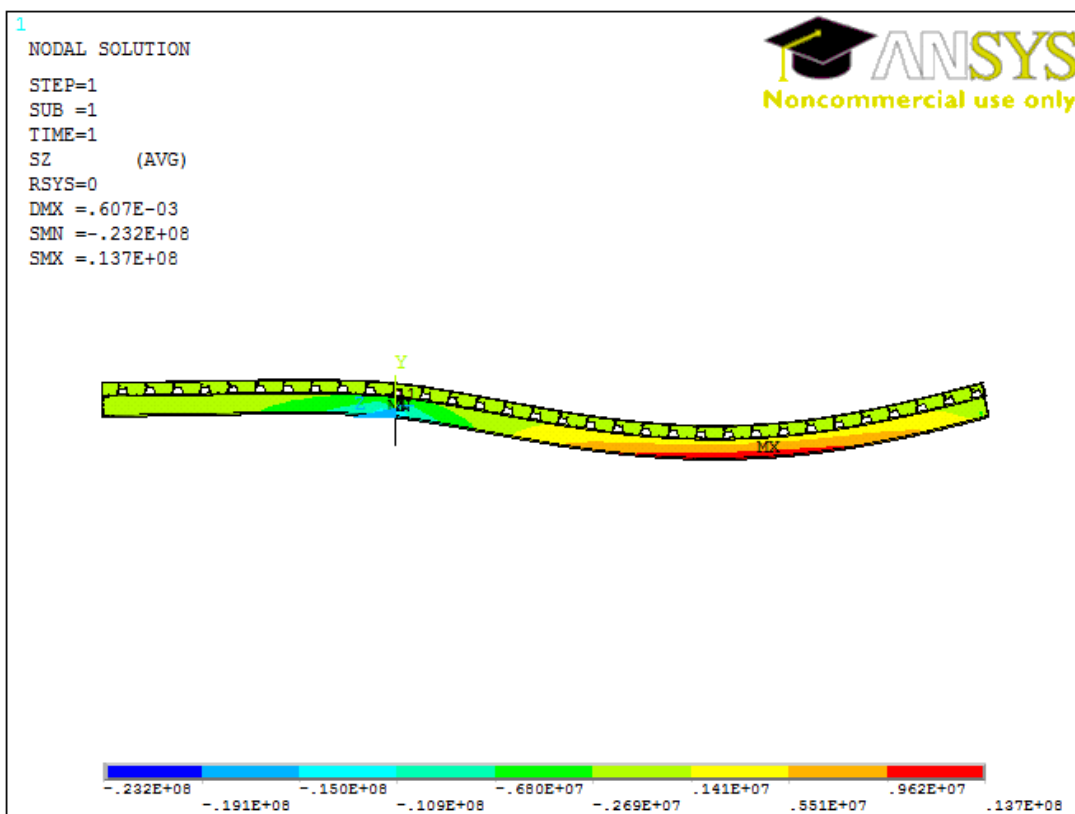
Maximální napětí v místě největšího kladného ohybového momentu v delším poli spojitého nosníku bude vypočteno dle:

$$\sigma = \frac{M_{p,max}}{W_i} \quad (3.2.11)$$

Dosazeno do (3.2.11):

$$\sigma = \frac{3606}{2,54777 * 10^{-4}} = 0,1415 * 10^8 \text{ Pa}$$

Zjištěná hodnota napětí z ANSYSu ve stejném místě: $\sigma_{ANSYS} = 0,1370 * 10^8 \text{ Pa}$



Obrázek č. 3.7 – Hodnota napětí v ANSYSU σ_{ANSYS}

Odchylka mezi ručním výpočtem a hodnotou v ANSYSu je 3,3 %.

Odchylka může být způsobena především zanedbáním trapézových plechů a KARI sítě při výpočtu průřezového modulu ideálního průřezu. Dalším faktorem ovlivňujícím odchylku mohou být malé odlišnosti v modelu, převážně při tvorbě sítě konečných prvků. Vzhledem k náročnosti modelu na operační paměť počítače není možné vytvořit síť konečných prvků s takovou hustotou, aby přesně vystihla skutečnou

konstrukci, tudíž mohlo dojít k menším změnám mezi reálnou konstrukcí a konečně-prvkovým modelem vytvořeným v ANSYSu. Tyto nepřesnosti modelu jsou však téměř zanedbatelné.

Po verifikaci vymodelované části konstrukce s ručním statickým výpočtem je třeba dokončit celý model stropu. Při malé odchylce v napětí mezi ručním statickým výpočtem a výpočtem v programu na části stropní konstrukce lze očekávat správně vymodelovanou část konstrukce, kterou je možné použít na celý model stropu. Tento model je považován za ekvivalentní k reálné stropní konstrukci.

3.3 Hmotnost nejvíce namáhaného nosníku a porovnání s programem

Jako další kontrola je provedena kontrola skutečné hmotnosti s hmotností materiálů v programu ANSYS. Hmotnost je vypočtena na celou délku nosníku.

Hodnoty hmotností jednotlivých částí konstrukce podle typu prvku, vypočítané programem ANSYS:

```
*** MASS SUMMARY BY ELEMENT TYPE ***
TYPE      MASS
  1      114.387
  2      81.7072
  3      35.7666
  4     1285.70
```

Výpočet hmotnosti jednotlivých částí konstrukce je proveden na délku nosníku L dle:

$$m = G * L \quad (3.3.1)$$

- ocelový nosník o průřezu I 160

Dosazeno do (3.3.1):

$$m = 17,9 * 6,365 = 113,9335 \text{ kg}$$

$$m_{\text{ansys}} = 114,387 \text{ kg}$$

Odchylka 0,40 %

- VSŽ plech 11082 = 1142 H

Dosazeno do (3.3.1):

$$m = 13,5 * 6,365 = 85,9275 \text{ kg}$$

$$m_{\text{ansys}} = 81,7072 \text{ kg}$$

Odchylka 4,91 %

- KARI síť Feron a tl. 6 mm 100 x 100 mm

Dosazeno do (3.3.1):

$$m = 5,33 * 6,365 = 33,925 \text{ kg}$$

$$m_{\text{ansys}} = 35,7666 \text{ kg}$$

Odchylka 5,15 %

- BETON C20/25

Dosazeno do (3.3.1):

$$m = 206,35 * 6,365 = 1313,42 \text{ kg}$$

$$m_{\text{ansys}} = 1285,70 \text{ kg}$$

Odchylka 2,16 %

4 TVORBA MKP MODELU

4.1 Popis konstrukce a modelu

Stropní konstrukce je navržena na obdélníkový půdorys o rozměrech 10,490 m x 9,500 m s obdélníkovým prostupem (2,000 m x 1,800 m) pro schodiště. Celým objektem prochází dvě nosné stěny, které poslouží jako podpory stropní konstrukce. Část jedné stěny je nahrazena průvlakem profilu 2 x U 160.

Vzhledem k tomu, že je konstrukce složena z různých materiálů, tzn. různé materiálové a geometrické vlastnosti, bude také zapotřebí zvolit vhodné typy prvků. Pro ocelové válcované nosníky profilu I a pro ocelový válcovaný průvlak je zvolen základní prostorový prvek typu SOLID 185. Tento prvek je také použit při tvorbě betonové desky. Betonu může být také přiřazen trojrozměrný prvek SOLID 65 (concret 65), který je vhodný přímo pro úlohy, které řeší chování betonu. Je tedy zapotřebí nelineárního výpočtu, či dynamického nebo únavového zatížení. V tomto případě se jedná o lineární statickou úlohu, a tak by byl nelineární výpočet nevyužit. Pro trapézový plech je zvolen rovinný prvek typu skořepina - SHELL 181, kterému je přiřazena daná tloušťka. V modelu bude zobrazena pouze plocha s přiřazenou tloušťkou. Pro tvorbu KARI sítě je vhodné použít prvek prutového (nosníkového) typu BEAM, a to BEAM 188, který se v modelu projeví jako úsečka, které je přiřazen daný průřez.

Nosná konstrukce je zatížena vlastní tíhou, ostatním stálým zatížením, tj. podlaha a podhled, a užitným zatížením stropních konstrukcí pro obytné plochy – Kategorie A. Mimořádné zatížení není třeba započítávat. Zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce je docíleno pomocí zadání tíhového zrychlení. Ostatní stálé a proměnné zatížení bude přepočítáno na zatížení uzlové, působící ve směru globální osy Y na osu ocelových nosníků. Vypočtené maximální hodnoty napětí a průhybu v posuzovaných částech konstrukce budou v závěru práce posouzeny na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Dle druhu mezního stavu jsou použity součinitele zatížení podle normy ČSN EN 1990.

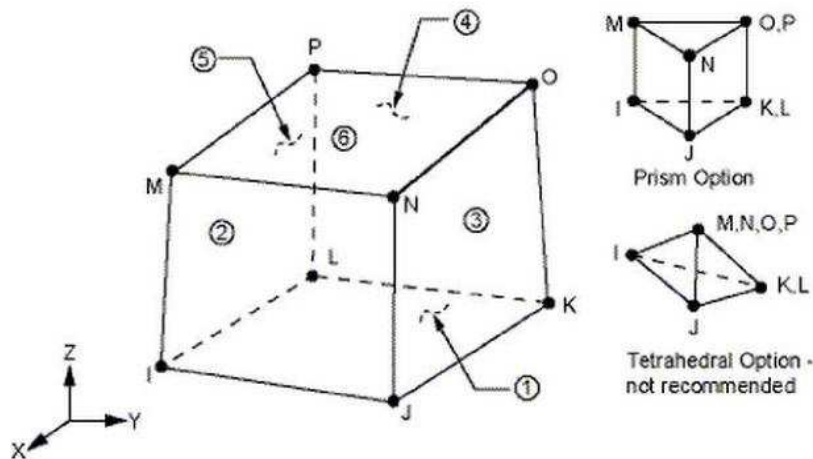
4.2 Typy použitých prvků

4.2.1 SOLID 185

Prostorové konstrukce se modelují pomocí prvku typu „solid“. Jako vhodný prvek pro modelování tuhé trojrozměrné struktury je zvolen element typu SOLID 185.

Postup zadání: Preprocessor => Element Type => Add / Edit / Delete => Add

Je definován jako osmi-uzlový prvek, šestistěn, mající v každém uzlu tři stupně volnosti převedeny do globálních souřadnic X, Y, Z. Jedná se o posuny ve směru os X, Y, Z. Prvek typu SOLID 185 je základní trojrozměrný objemový prvek, tzv. „brick“ s 24 mi stupni volnosti, vhodný pro statickou analýzu. Geometrie a rozmístění uzlu jsou znázorněny na následujícím obrázku. [10]



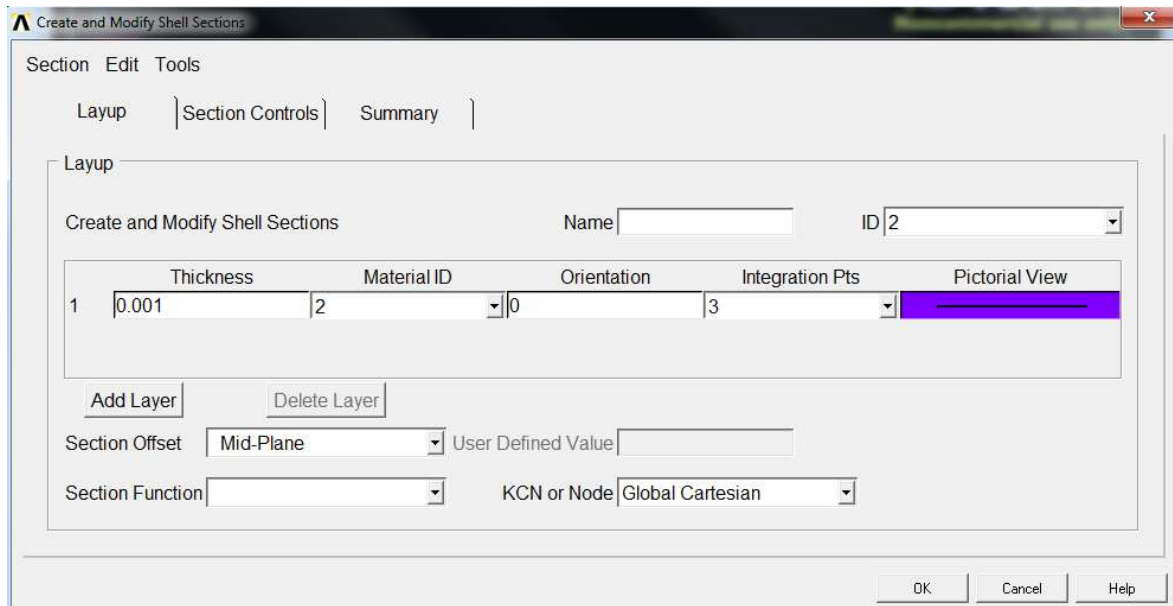
Obrázek č. 4.1 - Prostorový prvek SOLID 185

4.2.2 SHELL 181

Tento typ prvku je vhodný pro analýzu tenkých skořepinových konstrukcí. Jedná se o čtyř-uzlový typ prvku se šesti stupni volnosti v každém uzlu – posuny v ose X, Y a Z, pootočení kolem os X, Y a Z. SHELL 181 je vhodný typ prvku pro lineární použití, ale také pro řešení velkých pootočení a velkých deformací za použití nelineární analýzy.

Prvek SHELL 181 je definován čtyřmi uzly (I, J, K a L) a jeho vlastnosti jsou definovány v sekci pro skořepiny, kde se zadá tloušťka a přiřadí se materiálové vlastnosti. [10]

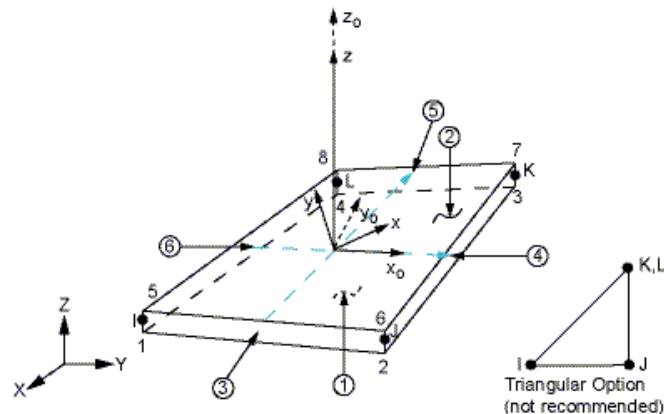
Postup zadání: Preprocessor => Sections => Shell => Lay-up => Add / Edit



Obrázek č. 4.2 – Přiřazení tloušťky plechu k prvku SHELL 181

Thickness je v tomto případě tloušťka trapézového plechu - 0,001 m. Je zde třeba přiřadit také materiálové vlastnosti oceli.

Následující obrázek zobrazuje geometrii prvku, umístění uzlů a souřadný systém prvku.

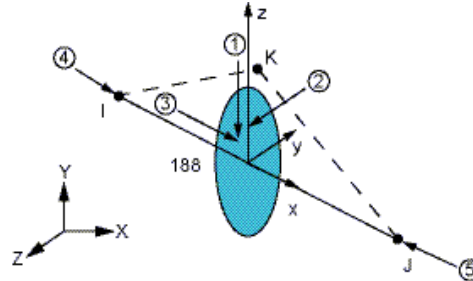


Obrázek č. 4.3 - Skořepinový prvek SHELL 181

4.2.3 BEAM 188

Prvek BEAM 188 je vhodný pro analýzu štíhlých, kratších a masivnějších prutových konstrukcí. Tento element je založen na prutové teorii dle Timoschenka, která zahrnuje účinky smykových přetvoření a umožňuje volbu vázaného, či volného kroucení. BEAM 188 je lineární, kvadratický, či krychelný dvou-uzlový prvek se šesti nebo sedmi stupni

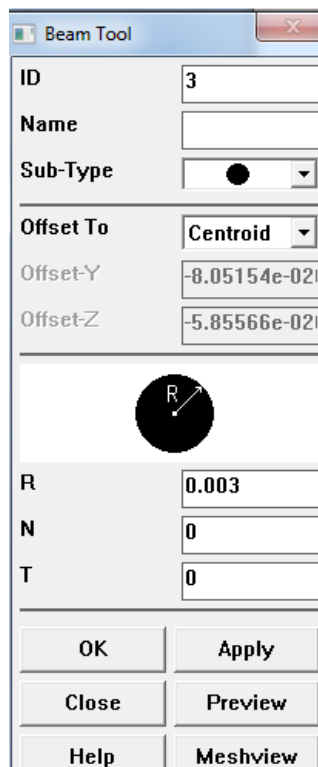
volnosti v každém uzlu. Stupně volnosti zahrnují posuny ve směrech os X, Y a Z a pootočení kolem os X, Y a Z. Sedmý stupeň volnosti je volitelný pro rozsah kroucení. Tento prvek je velmi vhodný pro lineární použití, pro řešení velkých rotací a velkých deformací za použití nelineárního výpočtu. [10]



Obrázek č. 4.4 - Prutový prvek BEAM 188

K prutu je přiřazen průřez, který je vytvořen v sekci prutů, kde se zároveň přiřazují materiálové modely s nadefinovanými vlastnostmi. V tomto případě se jedná o KARI síť kulatého průřezu o průměru 0,006 m.

Postup zadání: Preprocessor => Sections => Beam => Common sections



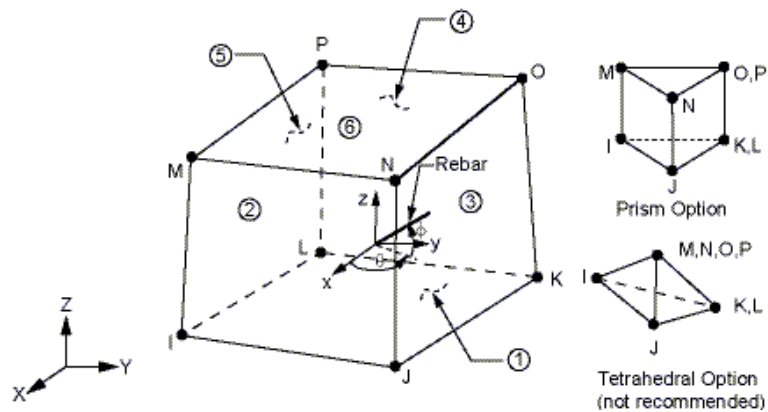
Obrázek č. 4.5 – Přiřazení průřezu prutovému prvku BEAM 188

4.2.4 SOLID 65

SOLID 65 se používá pro prostorové modelování těles s výztužnými prvky. Tento prvek je schopen praskání (tvorby trhlin) v tahu a drcení v tlaku. Je tedy vhodný při modelování betonu a zachycení jeho skutečného chování. Další možnosti použití jsou při zjišťování chování jiných druhů kompozitů, např. skleněné vlákno, či kámen jako geologický materiál. Nejdůležitější stránkou tohoto prvku je řešení nelineárních materiálových vlastností. Úlohy jsou řešeny pomocí nelineárního výpočtu. Prvek je možné použít při nutnosti zohlednit plastickou deformaci, potrhání ve třech kolmých směrech, drcení, nebo creepu (tečení) materiálu. [10]

Pro kontrolu byl použit na betonovou desku nejdříve prvek SOLID 185, a poté prvek SOLID 65. Po vyřešení úlohy s těmito elementy bylo zjištěno stejných průběhů napětí i deformací. Pokud se tedy jedná o lineární statickou úlohu, stačí použít element typu SOLID 185.

Prvek je definován osmi uzly, které mají tři stupně volnosti v každém uzlu - posuny ve směrech X, Y a Z.



Obrázek č. 4.6 – Prostorový prvek SOLID 65

4.3 Zadání materiálových vlastností

Každému prvku je třeba definovat materiálové vlastnosti. Tyto vlastnosti se zadají do jednotlivých modelů, které se poté přiřadí k individuálnímu typu prvku. Vzhledem k očekávanému lineárnímu chování konstrukce a statickému zatížení je zadán pouze Yangův modul pružnosti, Poissonův součinitel a hustota (objemová hmotnost).

Postup zadání lineárních pružných vlastností materiálu:

- a) Preprocessor => Material Props => Material Models => Structural =>
=> Linear => Elastic => Isotropic

Postup zadání hustoty (objemové hmotnosti) materiálu:

- b) Preprocessor => Material Props => Material Models => Structural =>
Density

Materiálové modely:

Model č. I - nosník průřezu I 160: OCEL
- $E_a = 210 \text{ GPa} = 210 * 10^9 \text{ Pa}$... Youngův modul pružnosti oceli
- $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$... objemová hmotnost
- $\nu = 0,3$... Poissonův součinitel

Model č. II - VSŽ plech 11082 = 1142 H: OCEL
- $E_a = 210 \text{ GPa} = 210 * 10^9 \text{ Pa}$... Youngův modul pružnosti oceli
- $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$... objemová hmotnost
- $\nu = 0,3$... Poissonův součinitel

Model č. III - KARI síť Ferona tl. 6 mm 100 x 100 mm: OCEL
- $E_a = 195 \text{ GPa} = 195 * 10^9 \text{ Pa}$... Youngův modul pružnosti oceli
- $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$... objemová hmotnost
- $\nu = 0,3$... Poissonův součinitel

Model č. IV - BETON C20/25: BETON
- $E_a = 30 \text{ GPa} = 30 * 10^9 \text{ Pa}$... Youngův modul pružnosti oceli
- $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$... objemová hmotnost
- $\nu = 0,2$... Poissonův součinitel

Pro přehlednost jsou v následující tabulce zobrazeny typy prvků a k nim přiřazeny materiálové vlastnosti tak, jak je zadáno v ANSYSu.

Tabulka č. 4.1 – Souhrn typů prvků a k nim přiřazených materiálových modelů

	Typ prvku	Materiálový model č.	Yangův modul [Pa]	Poissonův Součinitel [-]	Hustota [kg/m ³]
Ocelové válcované nosníky	SOLID 185	ID 1	210*10 ⁹	0,3	7850
Trapézový plech	SHELL 181	ID 2	210*10 ⁹	0,3	7800
KARI síť	BEAM 188	ID 3	195*10 ⁹	0,3	7850
Beton C20/25	SOLID 185	ID 4	30*10 ⁹	0,2	2400

4.4 Modelování v ANSYSu

Pro tvorbu konečně-prvkového numerického modelu bude použito klasického prostředí ANSYSu, tzv. preprocesor, v kterém je postupně zadávána geometrie celé stropní konstrukce. Na začátku bude popsán postup modelování v místě křížení profilu „I“ s průvlakem profilu 2x U 160. Velmi důležitá je zde návaznost jednotlivých uzlů na sebe. Poté bude popsán způsob protažení ocelových profilů do prostoru a následné vytvoření trapézového plechu, KARI sítě a betonové desky. Každé části konstrukce musí být přiřazen určitý typ prvku, kterému jsou zadány materiálové vlastnosti.

Jakmile je část konstrukce převedena na dané prvky (a tudíž je vytvořena síť konečných prvků), je možné tyto prvky kopírovat na konečný tvar celé stropní konstrukce.

Postup modelování v klasickém prostředí programu ANSYS

1. Zadání bodů (keypoints) do globálního kartézského souřadnicového systému
2. Spojení bodů (keypoints) v úsečky (lines)

3. Nastavení dělení (meshing) úseček
4. Vytvoření ploch (areas)
5. Protažení ploch do prostoru - vznik objemů (volumes)
6. Tvorba sítě z objemů na elementy podle rozdělených úseček (lines)
7. Zkopírování prvků - vytvoření MKP modelu

4.4.1 Zadání bodů (keypoints) do globálního kartézského souřadnicového systému

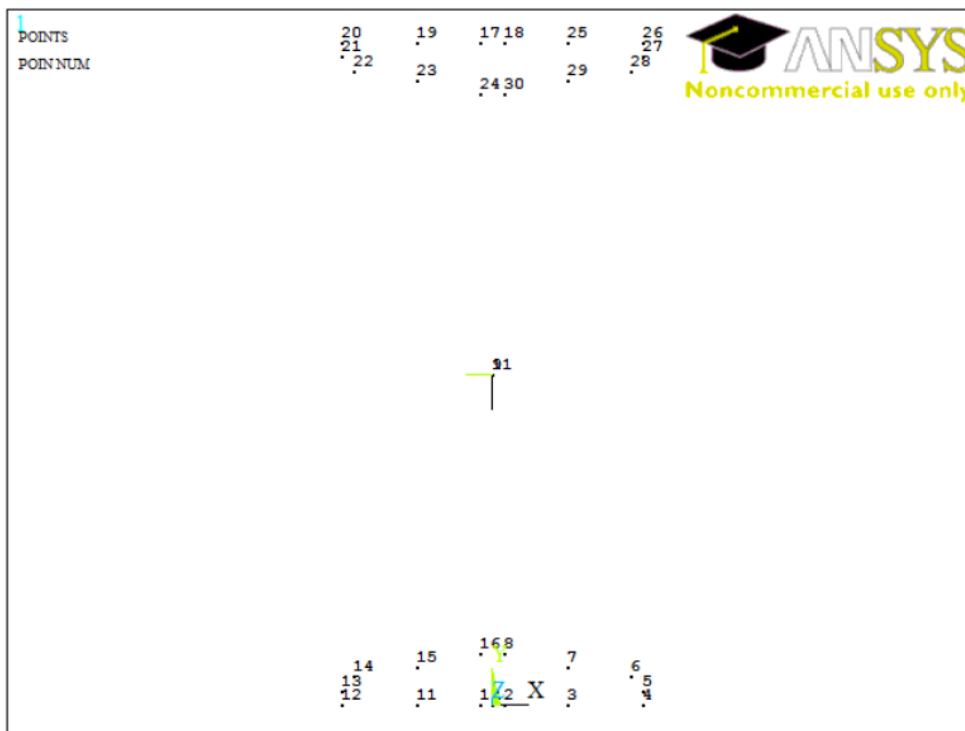
Postup zadání:

Preprocessor => Modeling => Create => Keypoints => In Active CS

Postup pro získání informací o bodech (keypointech):

Utility Menu => List => Keypoint => Coordinates Only

Souřadnice bodů profilu „I“ jsou zobrazeny v příloze č. I.



Obrázek č. 4.7 - Body (Keypoints) I 160

4.4.2 Spojení bodů (keypoints) v úsečky (lines)

Postup zadání:

Preprocessor => Modeling => Create => Lines => Lines => Straight line

4.4.3 Nastavení dělení (meshing) úseček

Nastavení dělení úseček je důležité již na začátku, aby vznikla pravidelná síť konečných prvků při její pozdější tvorbě.

Postup zadání:

Preprocessor => Meshing => Size controls => Manual size => Lines => Picked lines

4.4.4 Vytvoření ploch (areas)

Postup zadání:

Preprocessor => Modeling => Create => Areas => Arbitrary => By Lines

Vytvoření ploch se provede výběrem hraničních úseček. Všechny plochy profilů I a U jsou znázorněny na obrázcích 4.8 a 4.9.

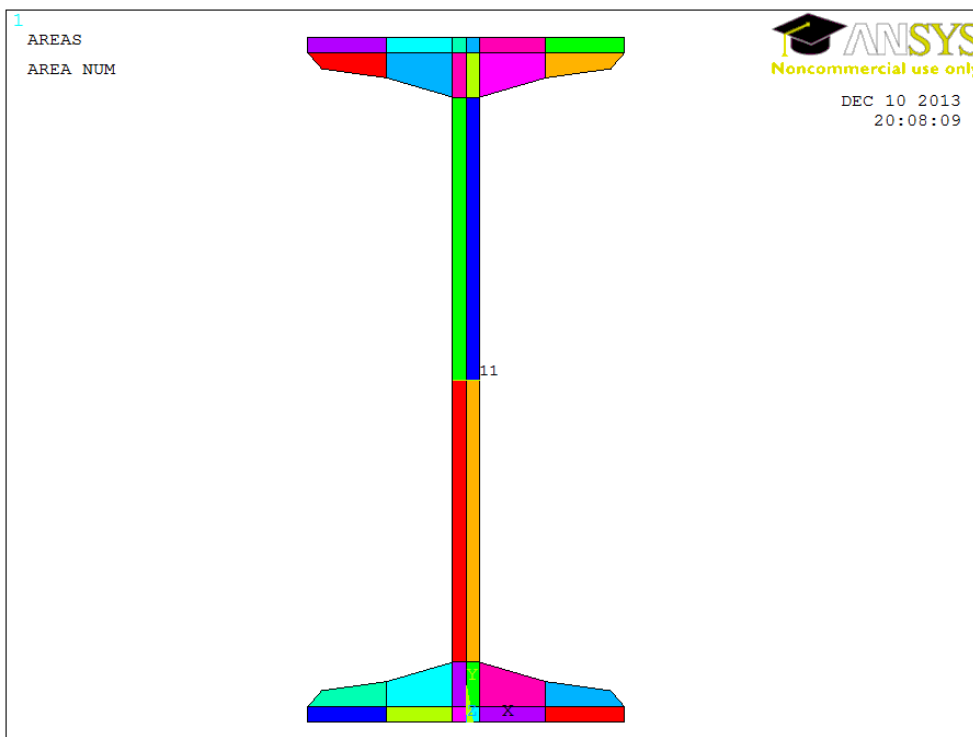
Tímto způsobem je vytvořen profil I 160 a na něj kolmý profil 2x U160. Pro urychlení tvorby profilů je vhodné použít funkci zrcadlení kolem souřadnicových os, které jsou zřejmé z obrázku č. 4.7. Na spodním líci v ose profilu I 160 je vložen globální souřadnicový systém. Pomocí něj je možné symetricky zrcadlit čtvrt profilu I 160. Před zrcadlením zbývající poloviny profilu I 160 je třeba zvolit nový uživatelský souřadnicový systém, kolem kterého lze plochy I profilu zrcadlit. Tento uživatelský kartézský souřadnicový systém je patrný z obrázku č. 4.7, na kterém je znázorněn ve středu profilu I 160. Podobným postupem, s novým uživatelským souřadnicovým systémem (viz obrázek č. 4.10), jsou vytvořeny plochy profilu 2x U160.

Postup definování nového uživatelského lokálního systému výběrem třemi body:

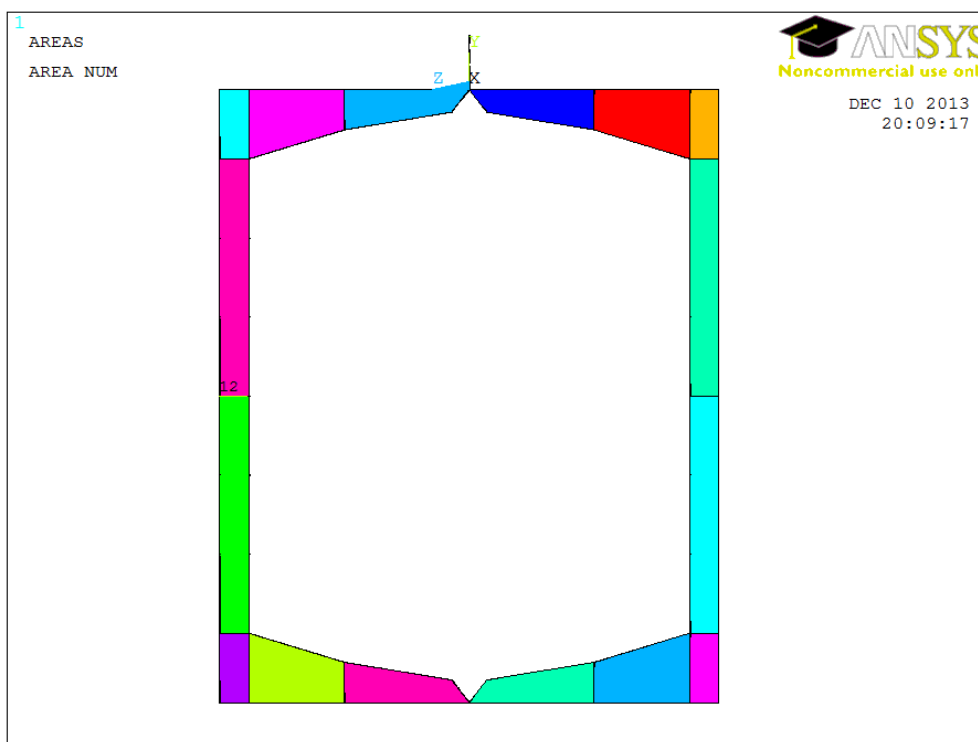
Utility Menu => WorkPlane => Local Coordinate Systems => Create Local CS => By 3 Keypoints +

Postup zrcadlení:

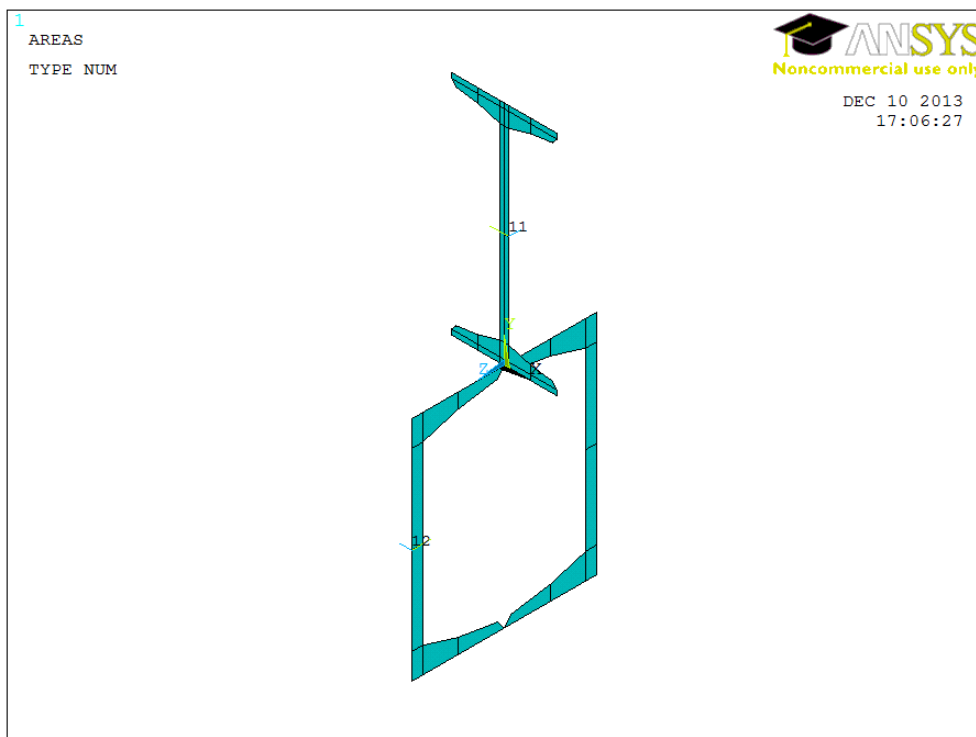
Preprocessor => Modeling => Reflect => Areas



Obrázek č. 4.8 - Plochy (Areas) I 160



Obrázek č. 4.9 - Plochy (Areas) 2x U 160



Obrázek č. 4.10 – Křížení profilů I 160 s profilem 2x U 160

4.4.5 Protahení ploch do prostoru po předepsané dráze - vznik objemů (volumes)

Postup zadání:

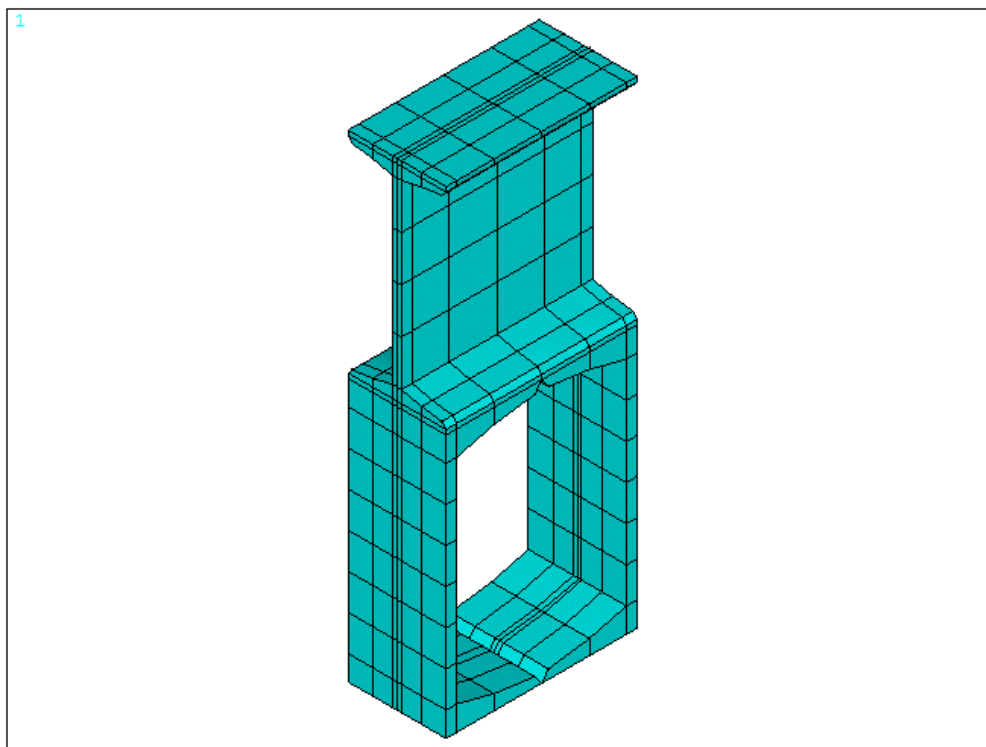
Preprocessor => Modeling => Operate => Extrude => Areas => Along lines

4.4.6 Tvorba sítě z objemů na elementy podle rozdělených úseček (lines)

Postup zadání:

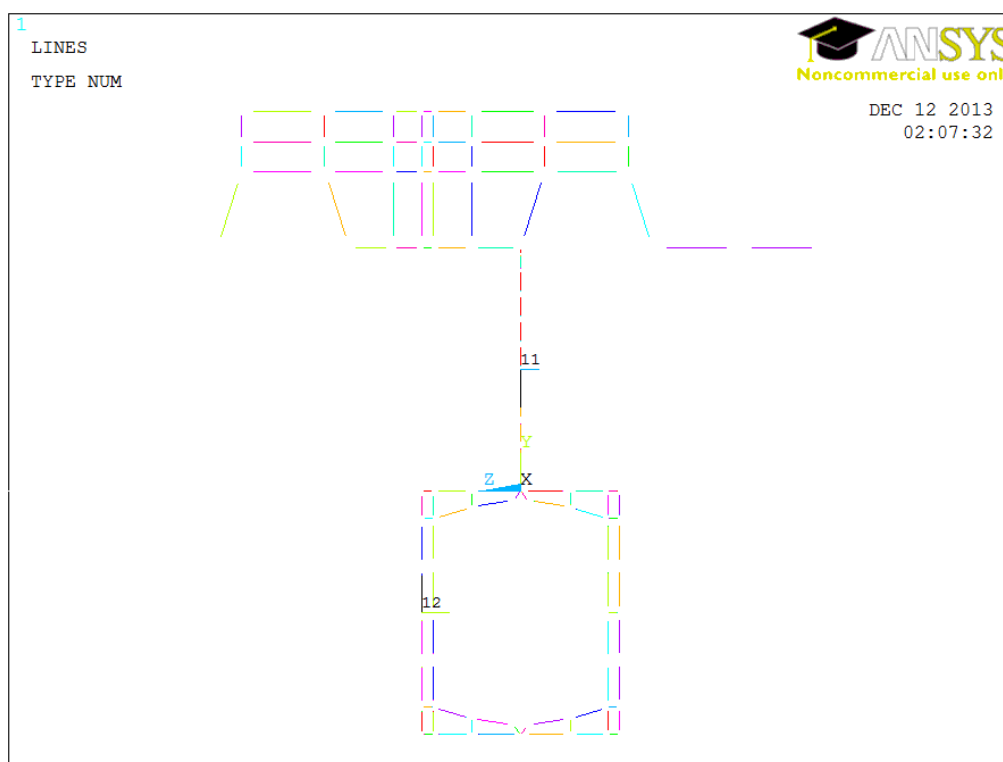
Preprocessor => Meshing => Mesh => Volumes => Mapped 4 or 6 sided

Jakmile jsou hotovy prvky průvlaku a nosníku a je zajištěna jejich návaznost (viz obrázek č. 4.11), může se přejít k modelování zbývajících částí konstrukce.



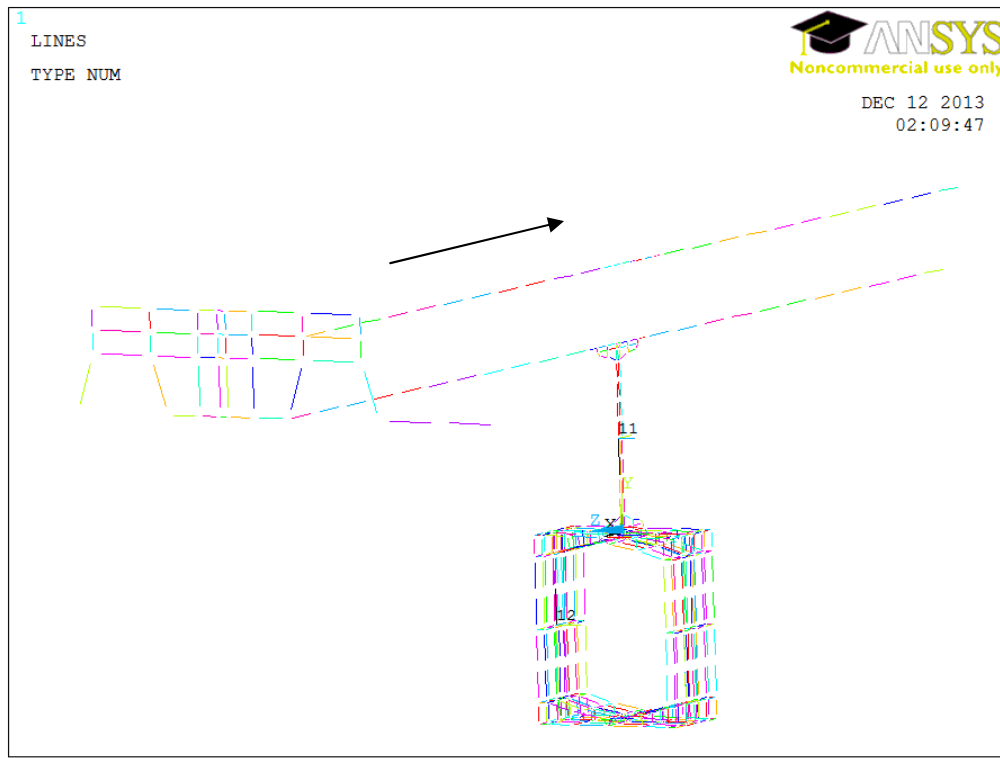
Obrázek č. 4.11 – Tvorba sítě konečných prvků

Za použití výše (4.4.1 – 4.4.6) uvedených postupů lze vymodelovat prvky trapézového plechu, KARI sítě a betonové desky.



Obrázek č. 4.12 – Ná vaznost uzlů - plech, kari síť, betonová část

Nejdříve se vytvoří body, které představují geometrii trapézového plechu, umístění prutů KARI sítě a tloušťku betonové desky. Tyto body jsou spojeny v úsečky dle postupu (4.4.2).



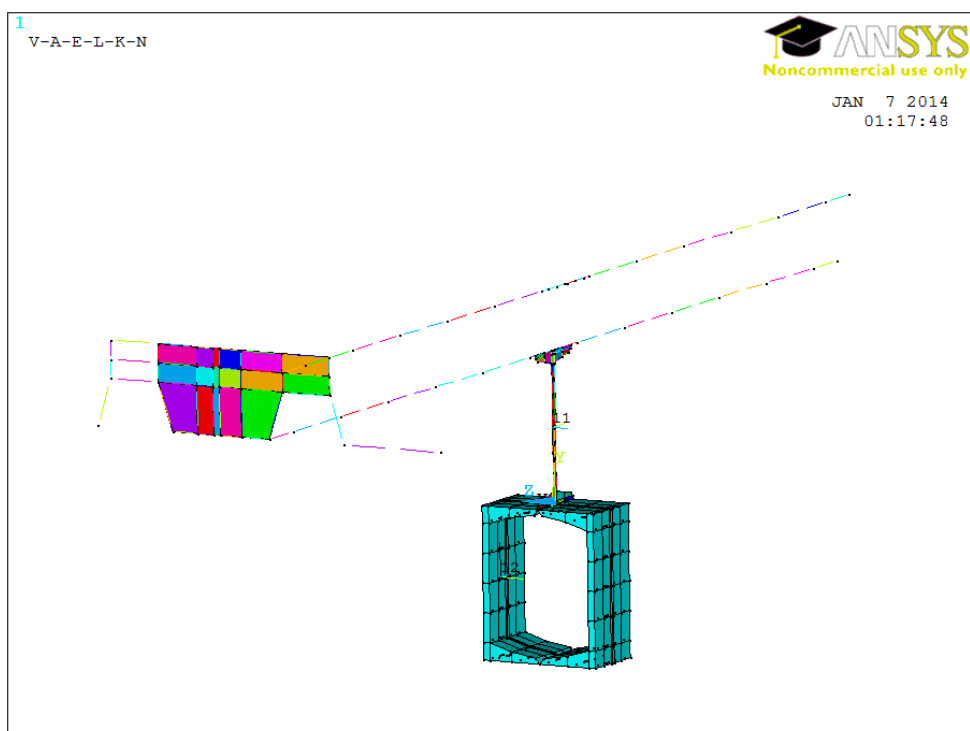
Obrázek č. 4.13 – Úsečky pro plech, kari síť a betonovou část

Pro vymodelování ploch trapézového plechu je zapotřebí zaměnit funkci protažení ploch tak, aby byly taženy úsečky po určité dráze. Na obrázku č. 4.13 jsou znázorněny úsečky a dráha, po které se budou protahovat, dle následujícího postupu.

Postup zadání:

Preprocessor => Modeling => Operate => Extrude => Lines => Along lines

Plochy z obrázku č. 4.14 budou protaženy podle stejných úseček, kolmých na I průřez ocelového nosníku. Postup zadání je stejný jako v podkapitole (4.4.5). Tyto úsečky mají celkovou délku 1,2 m a představují tím osovou vzdálenost nosníků. Vzniknou objemy, které tvoří část betonové desky, dle tvaru trapézového plechu.



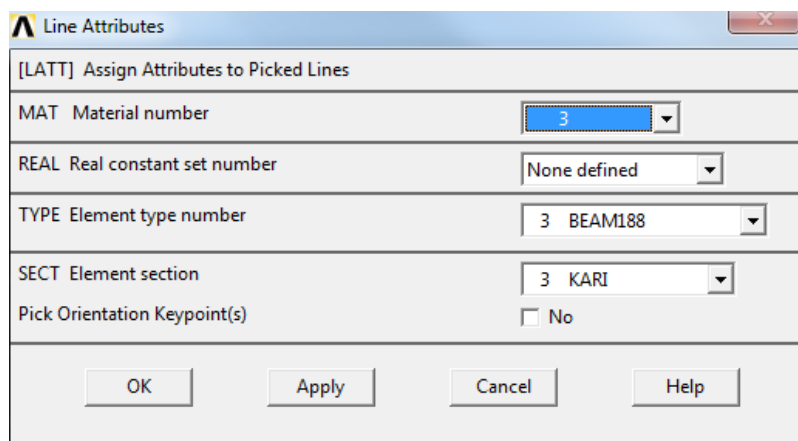
Obrázek č. 4.14 – Úsečky pro plech, kari síť a betonovou část

Před samotnou tvorbou sítě je třeba přiřadit jednotlivým úsečkám, plochám a objemům jejich materiálové vlastnosti podle následujícího postupu. Tyto vlastnosti jsou již nadefinované v kapitolách 4.2 a 4.3.

Preprocessor => Meshing => Operate => Mesh Attributes => Picked Lines

Preprocessor => Meshing => Operate => Mesh Attributes => Picked Areas

Preprocessor => Meshing => Operate => Mesh Attributes => Picked Volumes



Obrázek č. 4.15 – Přiřazení atributů pro kari síť

Zde jsou postupně zadávány atributy jednotlivým částem konstrukce. V následující tabulce jsou shrnuty všechny atributy prvků - materiálové modely, typy prvků a profily elementů.

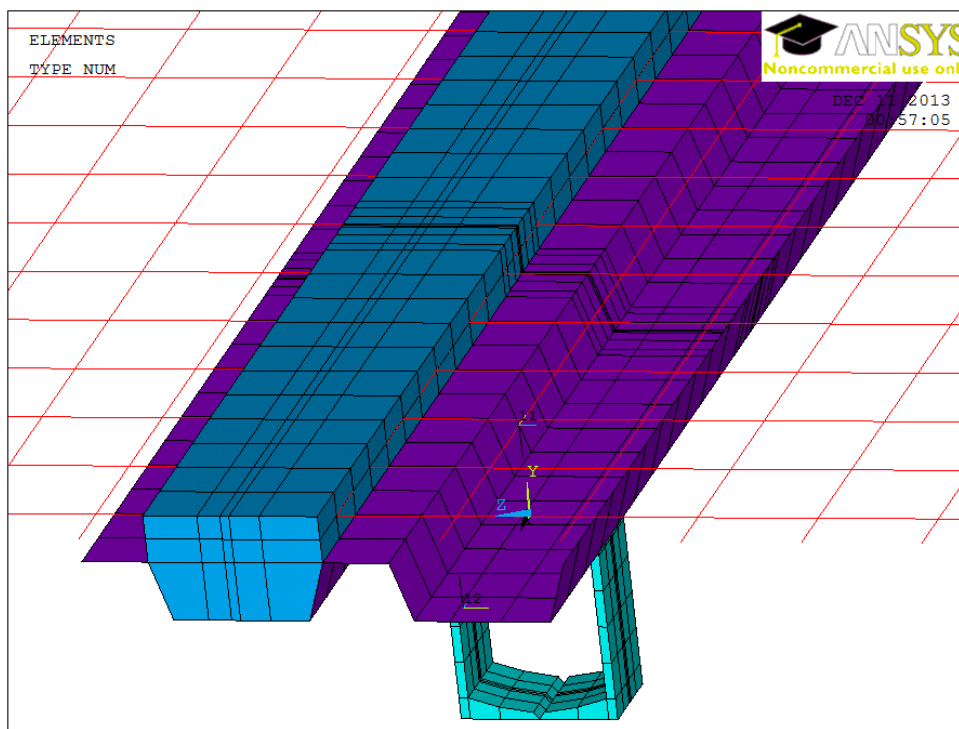
Tabulka č. 4.2 – Atributy prvků

	Materiálový model č.	Element typu č.	Profil elementu
Ocelové válcované nosníky	ID 1	1 - SOLID 185	-
Trapézový plech	ID 2	2 - SHELL 181	2 - PLECH
KARI síť	ID 3	3 - BEAM 188	3 - KARI
Beton C20/25	ID 4	4 - SOLID 185	-

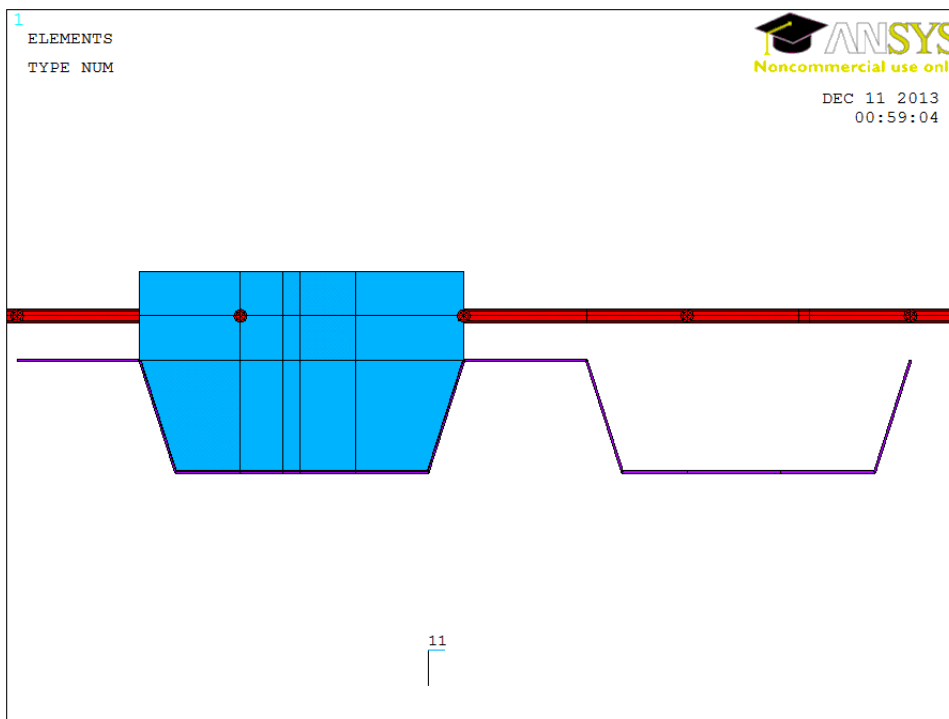
Po přiřazení všech materiálových vlastností pro určité typy prvků je vytvořena síť konečných prvků. Část konečných prvků je možné vidět v axonometrickém zobrazení na obrázku č. 4.16.

Postup zadání:

Preprocessor => Meshing => Mesh => Lines (Areas, Volumes)



Obrázek č. 4.16 – Konečné prvky - trapézový plech, kari síť, betonová část



Obrázek č. 4.17 – Trapézový plech, kari síť, betonová část – prvky

Na obrázku č. 4.17 je znázorněn úsek modelu konstrukce v nárysu. Zde se nachází trapézový plech s definovanou tloušťkou, rozmístění prutů KARI sítě s definovaným průřezem a část betonové desky zalité do trapézového plechu.

Následně jsou všechny prvky nakopírovány, aby vystihly přesnou geometrii pásu stropní konstrukce.

Postup zadání:

Preprocessor => Modeling => Copy => Lines (Areas, Volumes)

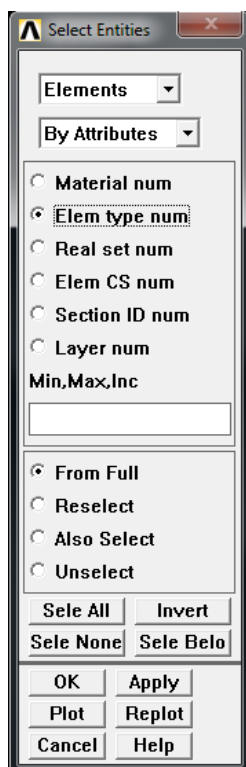
Selekce jednotlivých prvků na nosníku

Samotný výběr jednotlivých prvků pro vizuální ověření správnosti modelu, případně pro zpřehlednění se provádí pomocí příkazu:

Postup zadání:

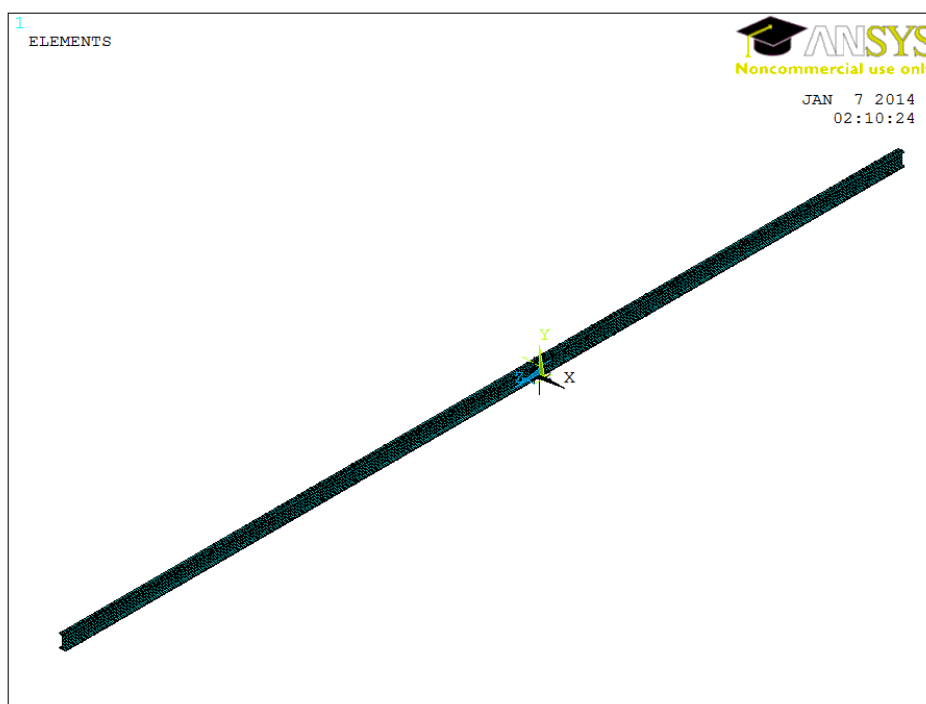
Utility menu => Select => Entities => Elements => By attributes

V dialogovém okně se mohou, vybrat prvky, případně materiál, který je prvkům nadefinován:



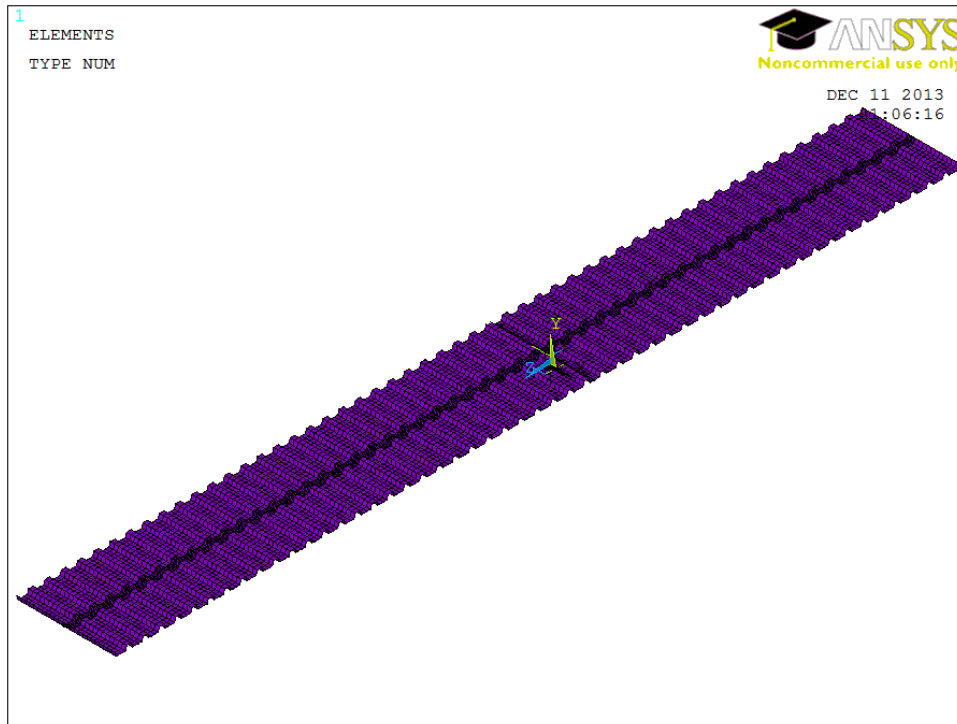
Obrázek č. 4.18 – Dialogové okno pro výběr prvků

V následujících obrázcích jsou postupně vybrány prvky podle jejich typu. Na obrázku č. 4.19 je zobrazen ocelový nosník profilu I 160, kterému náleží prvky typu SOLID 185.

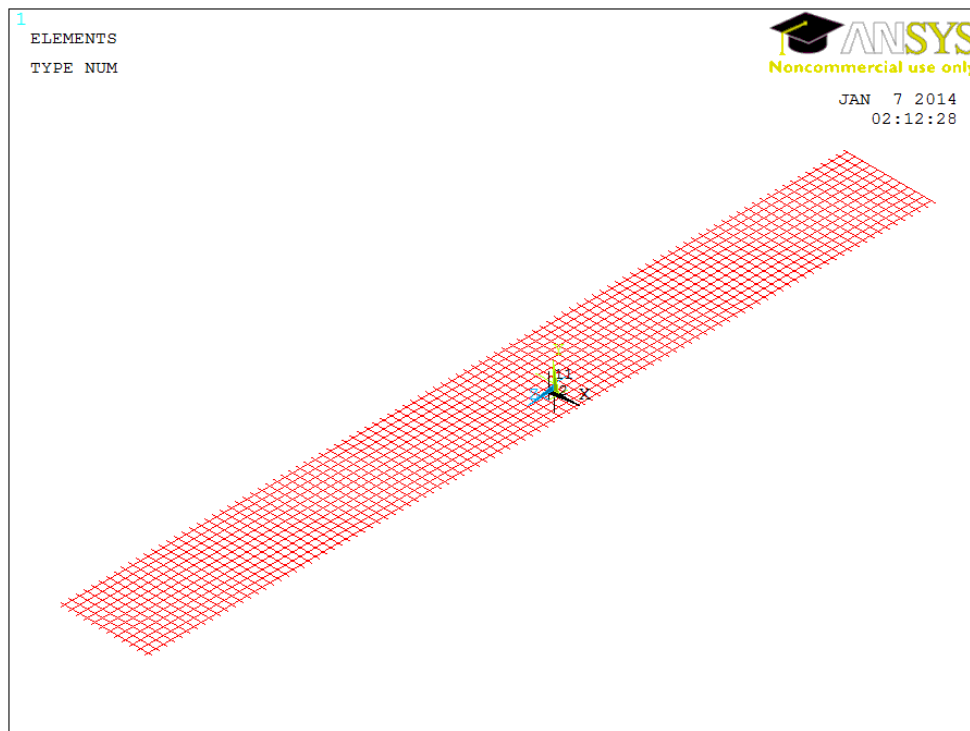


Obrázek č. 4.19 – Ocelový nosník profilu I 160 – prvky (ID 1) typu SOLID 185

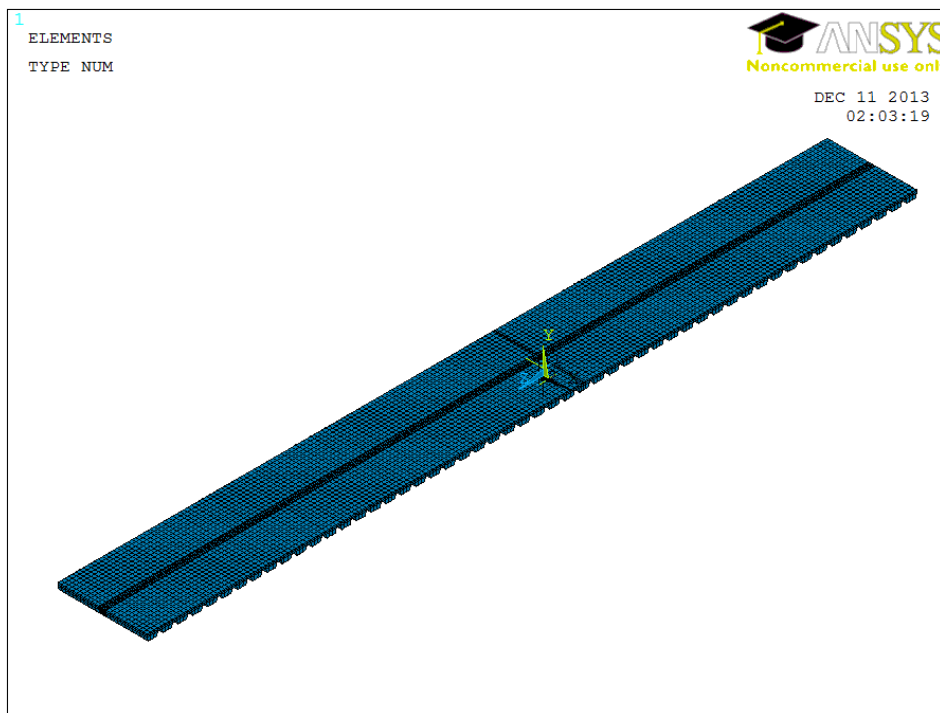
Na obrázku č. 4.20 je zobrazen pás trapézového plechu (SHELL 181) na šířku 1,2 m a délku ocelového nosníku. Na stejném pásu znázorňuje obrázek č. 4.21 prutové prvky (BEAM 188) KARI sítě a odpovídající část betonové desky s prvky SOLID 185 a materiálovým modelem ID 4 je vykreslena na obrázku č. 4.22.



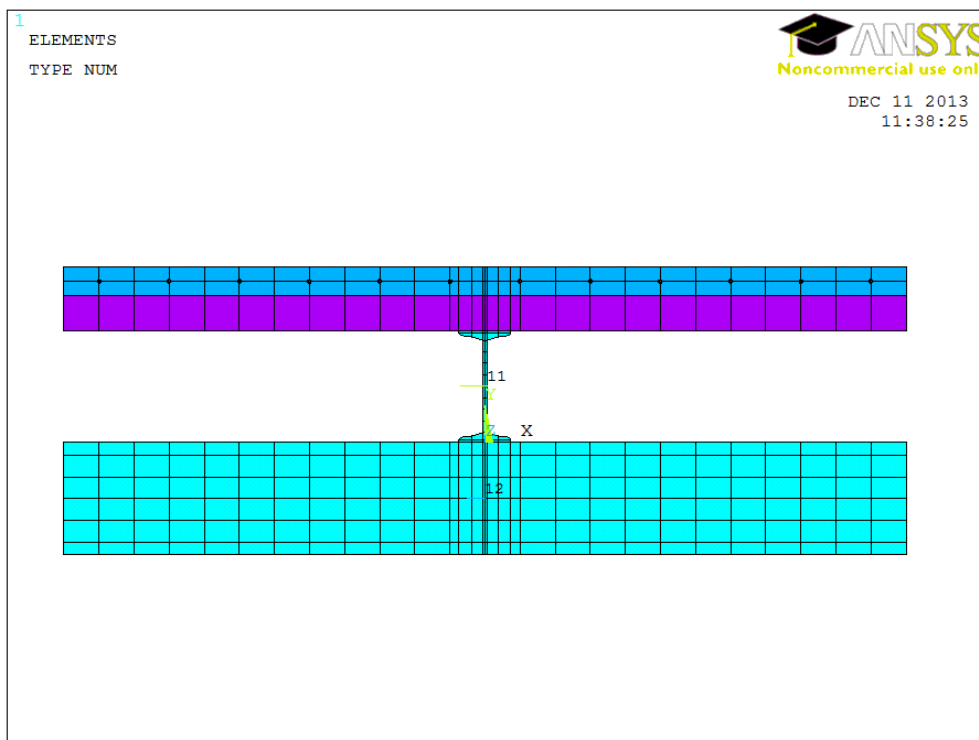
Obrázek č. 4.20 – Trapézový plech – prvky (ID 2) typu SHELL 181



Obrázek č. 4.21 – KARI síť – prvky (ID 3) typu BEAM 188



Obrázek č. 4.22 – Betonová deska – prvky (ID 4) typu SOLID 185



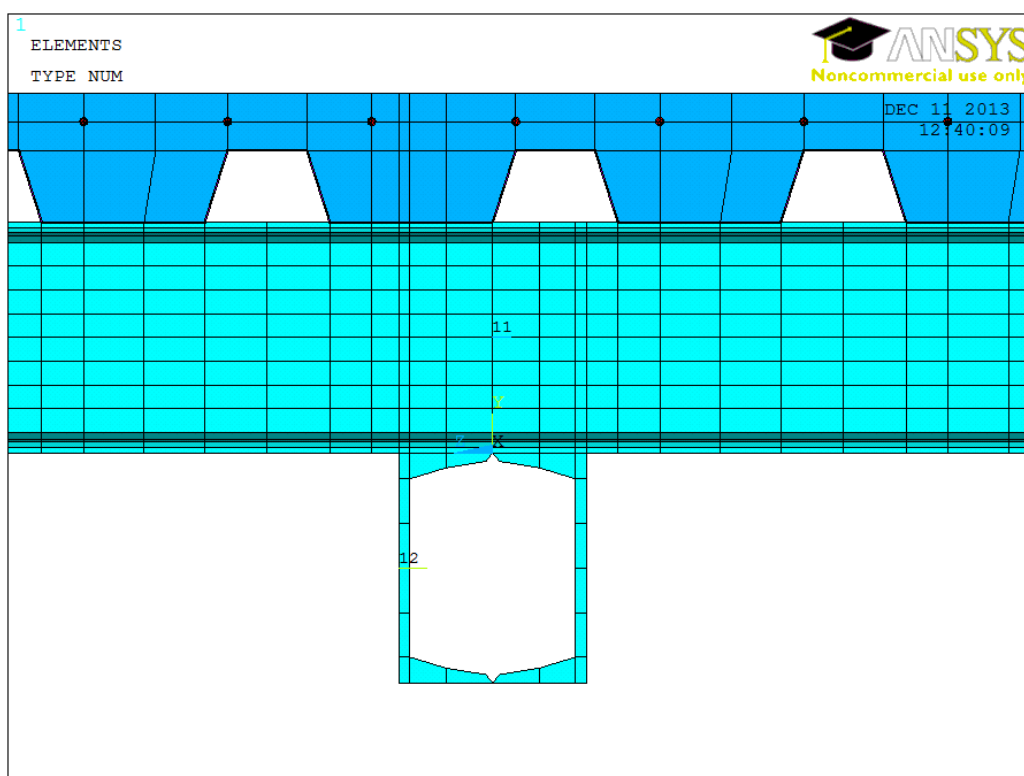
Obrázek č. 4.23 – Příčný řez nosníku a betonové desky

Obrázek č. 4.23 představuje příčný řez pásu konstrukce, s podélným řezem části průvlaku. Na obrázku č. 4.24 je znázorněn podélný řez části konstrukce (ocelový nosník

profilu I, trapézový plech, KARI síť a betonová deska) a příčný řez průvlaku o profilu 2x U 160. Tento pás prvků je dále kopírován tak, aby nosníky byly vzdálené o osovou vzdálenost po 1,2 m. Kopírují se postupně všechny úsečky, plochy a objemy do konečné podoby celé stropní konstrukce.

Postup zadání:

Preprocessor => Modeling => Copy => Lines (Areas, Volumes)



Obrázek č. 4.24 – Podélný řez nosníku a betonové desky

Před zadáním zatížení a uložení je nutné konstrukci tzv. „vyčistit“, tj. smazat postupně všechny přebývající, či zdvojené části (objemy, plochy, úsečky, body) konstrukce.

Preprocessor => Modeling => Delete => Volumes (areas, keypoints)

Pro zajištění spojitosti modelu je třeba spojit síť konečných prvků a zkomprimovat číslování uzlů a bodů. Výše uvedeným postupem se sloučí všechny společné uzly. Tímto krokem je zajištěna kontinuita modelu.

Postup zadání pro spojení konečných prvků:

Preprocessor => Numbering Ctrl => Merge Items

Postup zadání pro sloučení číslování prvků:

Preprocessor => Numbering Ctrl => Compress numbers

Po těchto krocích je model celého stropu složen pouze z prvků SOLID 185 (ID 1), SHELL 181 (ID 2), BEAM 188 (ID 3) a SOLID 185 (ID 4). Pro jednotlivé prvky jsou zadány různé materiály, viz materiálové modely.

Celkový počet elementů celé stropní konstrukce – 303 694

Z toho: 73 800 prvků typu SOLID 185 (ID 1)
 66 782 prvků typu SHELL 181 (ID 2)
 40 324 prvků typu BEAM 188 (ID 3)
 122 788 prvků typu SOLID 185 (ID 4)

Modelování stropní konstrukce je v rámci preprocesoru dokončeno. V příloze č. III je zobrazena selekce jednotlivých prvků na celé konstrukci.

5 ŘEŠENÍ – (SOLUTION)

Postup k výpočtu

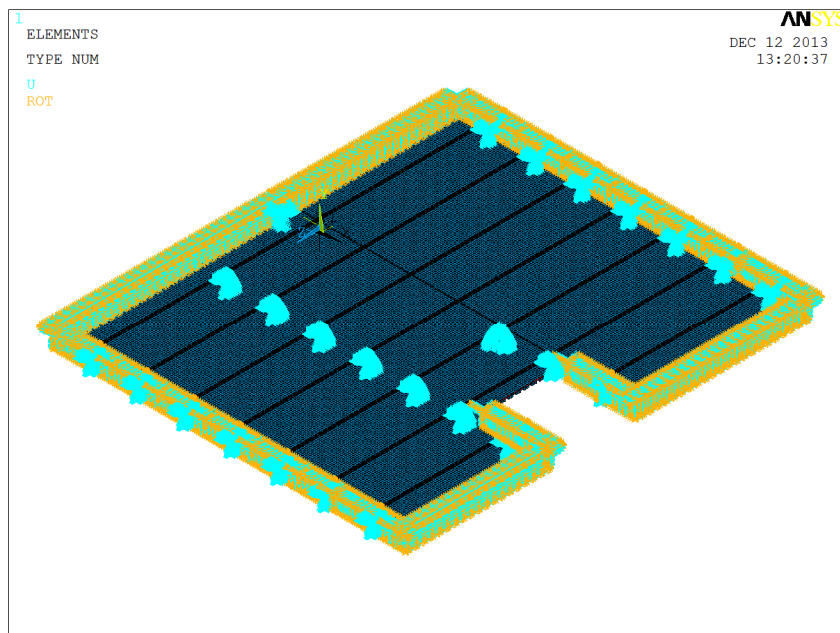
1. Zadání okrajových podmínek
2. Zadání zatížení
3. Výpočet

5.1 Zadání okrajových podmínek

Před samotným výpočtem modelu je nutno zadat okrajové podmínky tak, aby bylo zachováno reálné uložení konstrukce. Ocelový stropní nosník je prostě uložen přes podbetonovanou podkladní ocelovou podložku na nosné stěně na minimální bezpečnou délku uložení 150 mm. Betonová deska vyztužená KARI sítí je zatažena do železobetonového pozednicového věnce. Zde se tedy předpokládá zabránění posuvům i pootočení ve všech směrech. V příloze č. VII je uvažováno s jinými okrajovými podmínkami pro kontrolu výsledků při řešení úlohy.

ANSYS pracuje s okrajovými podmínkami jako s deformačním zatížením. Postup zadání okrajových podmínek se tedy děje v řešiči, kde se také definuje zatížení. Okrajovými podmínkami se rozumí zamezení posuvů a pootočení jednotlivým uzlům v globálních souřadnicových osách X, Y a Z.

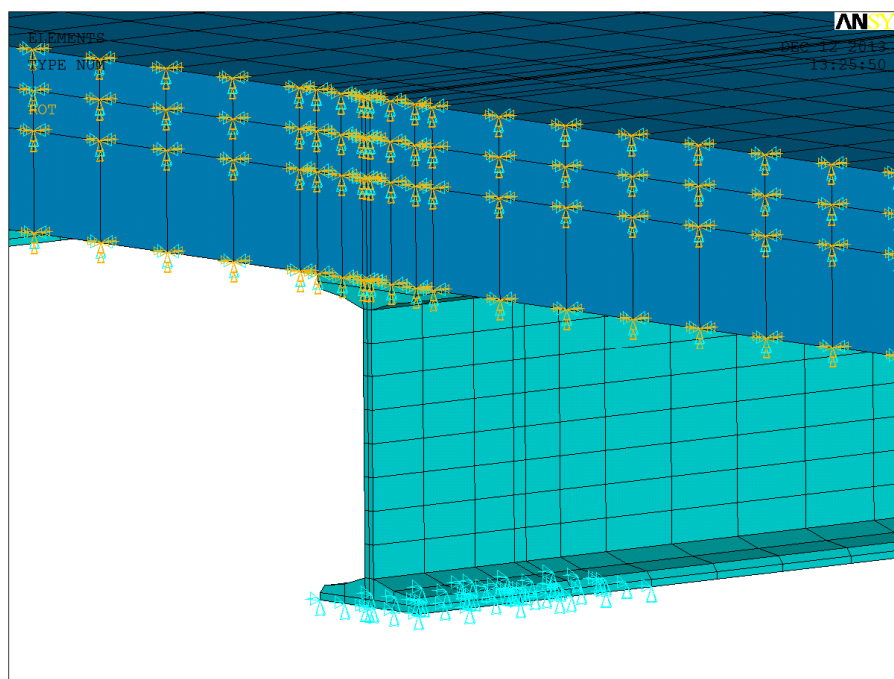
Solution => Define loads => Apply => Structural => Displacement



Obrázek č. 5.1 – Okrajové podmínky na celé stropní konstrukci

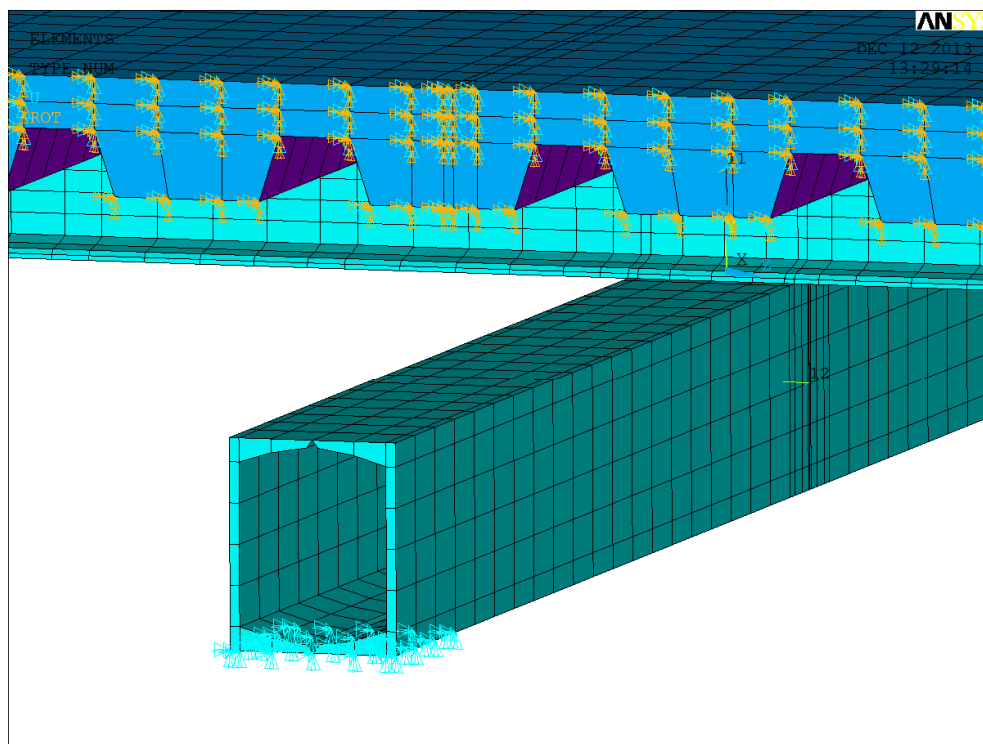
Globální souřadnicová osa Z je umístěna uprostřed nosníku profilu I 160 při spodním líci ocelových pásnic a podélně rozděluje ocelobetonový nosník na dvě symetrické části. Globální souřadnicová osa X je umístěna kolmo na osu Z. Ve směru osy X je vymodelován ocelový průvlek profilu 2x U 160. Při horním okraji prův laku leží osa X. Kladné souřadnice globální osy Y jsou orientovány svisle od modelu stropní konstrukce směrem nahoru. Pomocí takto vloženého modelu do globálního souřadnicového systému je možné zadat okrajové podmínky. Detail umístění počátku globálních souřadnicových os je vyobrazen v příloze č. IV.

Uzlům betonové desky, KARI síť a trapézového plechu kolem stropní konstrukce bude zamezeno všem posuvům a všem pootočením v osách X, Y a Z. Uzlům u podepření ocelových nosníků bude zamezeno pouze posuvům ve směru svislé globální osy Y a X. Podepření nosníků u obvodových stěn je zamezeno posuvům ve směru globální souřadnicové osy Y, X a Z. Na obrázku č. 5.2 jsou zobrazeny výše popsané okrajové podmínky.



Obrázek č. 5.2 – Detail - Okrajové podmínky nosníku a betonové desky

Okrajové podmínky u prův laku jsou shodné, jako je tomu u prostého nosníku. U obvodových stěn je zamezeno posuvům ve směru globální souřadnicové osy Y, Z a X. Na druhém konci prův laku je zabráněno posuvům ve směru Y a Z globální souřadnicové osy. Obrázek č. 5.3 zobrazuje detail podepření prův laku a zatažení betonové desky do železobetonového věnce.



Obrázek č. 5.3 – Detail - Okrajové podmínky průvlaku a betonové desky

5.2 Zadání zatížení

Dalším a posledním krokem, před samotným výpočtem konstrukce, je zadávání zatížení – vlastní tíha, ostatní stálé a užitné zatížení. Užitné zatížení je převzato z normy jako doporučená hodnota pro obytné budovy - kategorie A. Zatížení je spočteno dle platných norem ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí a ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Kombinace zatížení jsou provedeny pro mezní stav únosnosti a pro mezní stav použitelnosti.

5.2.1 Shrnutí zatížení

- vlastní tíha konstrukce $g_{0k} = 2,4308 \text{ kN/m}$
- ostatní stálé zatížení $g_{1k} = 1,4818 \text{ kN/m}$
 $g_{2k} = 0,13 \text{ kN/m}^2 * 1,2 \text{ m} = 0,1560 \text{ kN/m}$
- užitné zatížení (kat.A) $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2 * 1,2 \text{ m} = 2,4000 \text{ kN/m}$

5.2.2 Kombinace zatížení

Mezní stav únosnosti (MSÚ)

Pro posouzení MSÚ lze použít vztahu (6.10) z normy.

$$\sum \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \sum \gamma_{G,i} * G_{k,i} + \sum \gamma_{q,k} * Q_k \quad (5.1)$$

Dosazeno do vztahu (5.1):

$$1,35 * 2,4308 + 1,35 * (1,4818 + 0,1560) + 1,5 * 2,4000 = 9,0926 \text{ kN/m}$$

Rovnoměrně spojitě zatížení je dále použito pro posouzení únosnosti stropní konstrukce.

$$g_{MSU} = 9,0926 \text{ kN/m}$$

Ve vztahu značí:

$\gamma_{G,j} = 1,35$	... součinitel stálého zatížení
$\gamma_{q,k} = 1,5$	... součinitel proměnného zatížení
$G_{k,j} = \sum g_0 = 2,4308 \text{ kN/m}$	... zatížení stálé - od stropní konstrukce
$G_{k,i} = \sum g_1 = 1,4818 + 0,1560 \text{ kN/m}$	... zatížení stálé - od podlahy
$Q_k = q_k = 2,4 \text{ kN/m}$	... zatížení proměnné - užité

Mezní stav použitelnosti (MSP)

Zatížení pro MSP je spočteno jako součet všech zatížení stálých a proměnných.

$$g_{MSP} = \sum G_0 + \sum G_1 + \sum Q \quad (5.2)$$

Dosazeno do (5.2):

$$g_{MSP} = 2,4308 + (1,4818 + 0,1560) + 2,4 = 6,4686 \text{ kN/m}$$

Rovnoměrně spojitě zatížení je dále použito pro posouzení použitelnosti (průhybu) stropní konstrukce

$$g_{MSP} = 6,4686 \text{ kN/m}$$

5.2.3 Přepočet zatížení pro ANSYS

Zadat zatížení v programu lze několika způsoby. Pro zjištění vhodného způsobu budou porovnány dva typy zadání zatížení. Jedná se o zadání zatížení, které působí do jednotlivých uzlů jako síly, nebo o zadání plošného zatížení, které působí jako tlak na plochy prvků. Vzhledem k tomu, že nosná konstrukce je vymodelována a konečným prvkům je přiřazena objemová hmotnost, nebude v přepočtu zatížení uvažována vlastní tíha. Vlastní tíha je zadaná pomocí tíhového zrychlení. Porovnání způsobů zatížení bude provedeno pouze na části nosníku pro velkou náročnost na vnitřní paměť počítače a využití procesoru.

a) Působení účinků od zatížení do uzlů prvků

Pokud se zadává působení účinků od zatížení do uzlů prvků, je třeba přepočítat zatížení na síly. Lze použít vztahu (5.1) a (5.2) bez vlastní tíhy, která je zohledněna níže uvedeným způsobem.

Dosazeno do vztahu (5.1):

$$g_{MSU} = 1,35 * 0 + 1,35 * (1,4818 + 0,1560) + 1,5 * 2,4000 = 5,8110 \text{ kN/m}$$

převedení na základní jednotky pro Ansys: $g = 5811,0 \text{ N/m}$.

Dosazeno do (5.2):

$$g_{MSP} = 0 + (1,4818 + 0,1560) + 2,4 = 4,0378 \text{ kN/m}$$

převedení na základní jednotky pro Ansys: $g = 4037,8 \text{ N/m}$.

Toto liniové zatížení působící v ose nosníků na jednotlivé uzly je násobeno spolupůsobící šířkou. Pro rychlejší a snadnější zadávání sil je spolupůsobící šířka $b = 0,1 \text{ m}$, délka oka KARI síť.

Výpočet zatěžující síly jednotlivého uzlu:

$$G = g * b \tag{5.3}$$

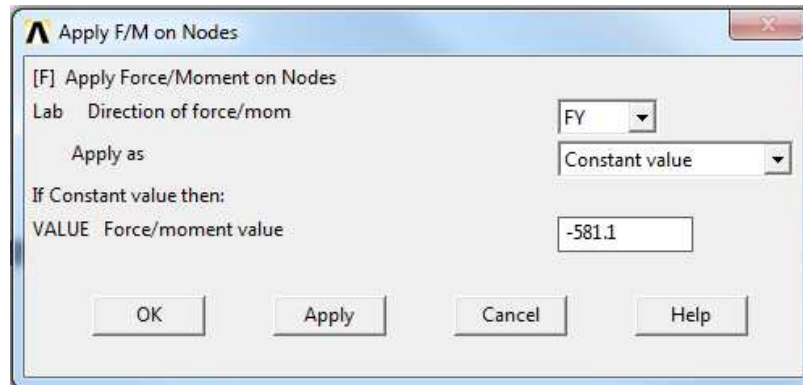
Dosazeno do (5.3):

$$G_{MSU} = 5811,03 * 0,1 = 581,10 \text{ N}$$

$$G_{MSP} = 4037,80 * 0,1 = 403,78 \text{ N}$$

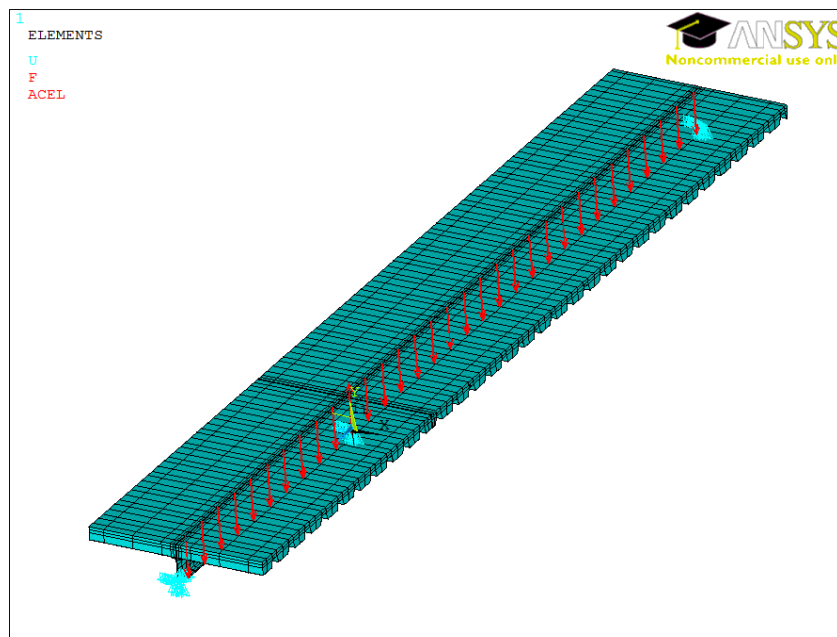
Postup zadání sil v Ansysu:

Solution => Define loads => Apply => Structural => Force/Moment => On Nodes



Obrázek č. 5.4 – Zadání zatížení uzlových sil

Touto silou G jsou v programu ANSYS zatíženy uzly prvků stropní konstrukce dle následujícího obrázku (ve směru působení sil, tj. záporné znaménko):



Obrázek č. 5.5 – Zadání zatížení na uzly prvku

Postup zadání tíhového zrychlení pro započítání vlastní tíhy:

Solution => Define loads => Apply => Structural => Inertia => Gravity => Global

Zde je zadáno tíhové zrychlení ve směru globální osy Y o velikosti $a_0 = 9,81 \text{ m/s}^2$ znásobené o dílčí součinitele zatížení pro MSÚ.

$$a_d = a_0 * \gamma_g \quad (5.4)$$

kde a_0 tíhové zrychlení
 γ_g dílčí součinitel stálého zatížení

Dosazeno do vztahu (5.4):

$$a_d = 9,81 * 1,35 = 13,2435 \text{ m/s}^2$$

Kladná hodnota zrychlení ve směru globální osy Y udává gravitaci v záporném směru globální osy Y, proto je v ANSYSu zadaná hodnota tíhového zrychlení kladná. Dílčím součinitelem je dosaženo návrhových hodnot od vlastní tíhy.

b) Působení účinků od zatížení na plochy prvků

Pokud se zadává působení účinků od zatížení na plochy prvků, je třeba spočítat plošné zatížení. S výhodou lze použít vztahu (5.1) pro liniové zatížení, které je následně převedeno na plošné pomocí zatěžovací šířky $b = 1,2 \text{ m}$

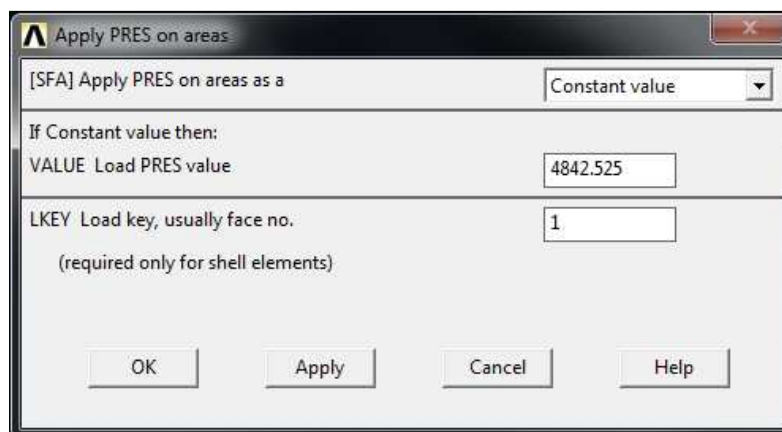
$$g_{0d} = g_{MSU} / b \quad (5.5)$$

Dosazeno do vztahu (5.5):

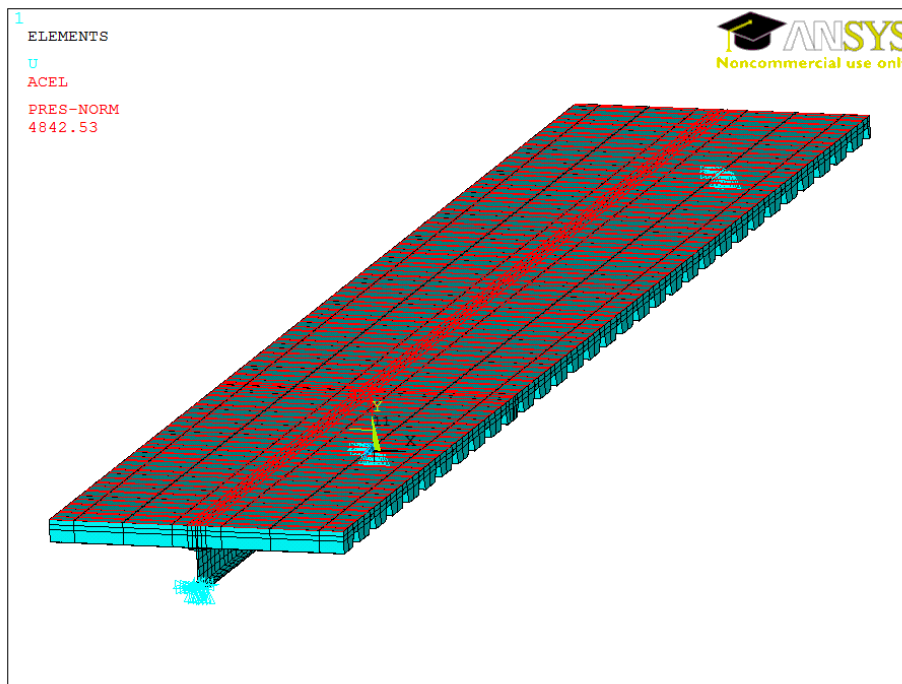
$$g_{0d} = 5811,03 / 1,2 = 4842,525 \text{ N/m}^2$$

Toto plošné zatížení je zavedeno do ANSYSu následujícím způsobem jako tlak působící na plochy prvků:

Solution => Define loads => Apply => Structural => Pressure => On Areas



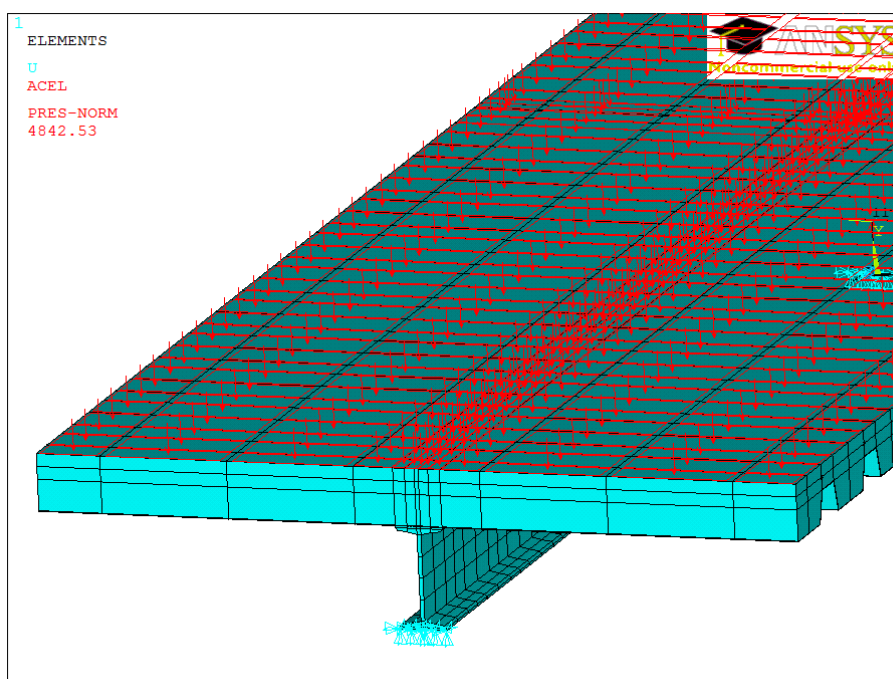
Obrázek č. 5.6 – Zadání zatížení na plochy prvku



Obrázek č. 5.7 – Plošné zatížení na horní plochy betonových prvků

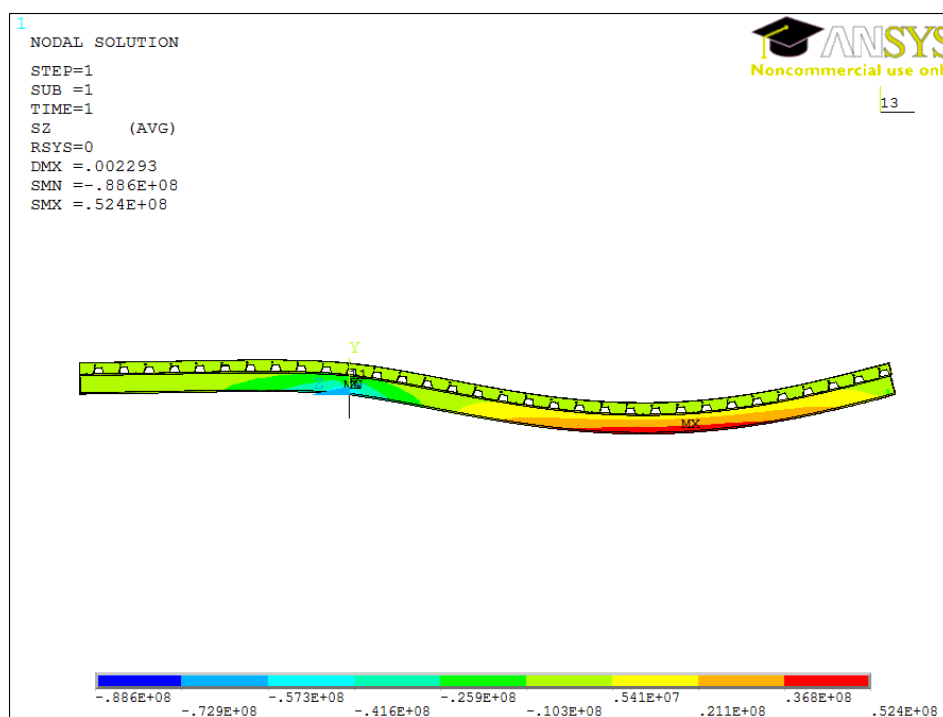
Aby bylo zřejmé, jakým směrem působí plošné zatížení, budou pomocí dalšího příkazu zobrazeny šipky v těžišti ploch, ve kterém směru působí.

Utility Menu => PlotCtrls => Symbols => Pressures => Arrows

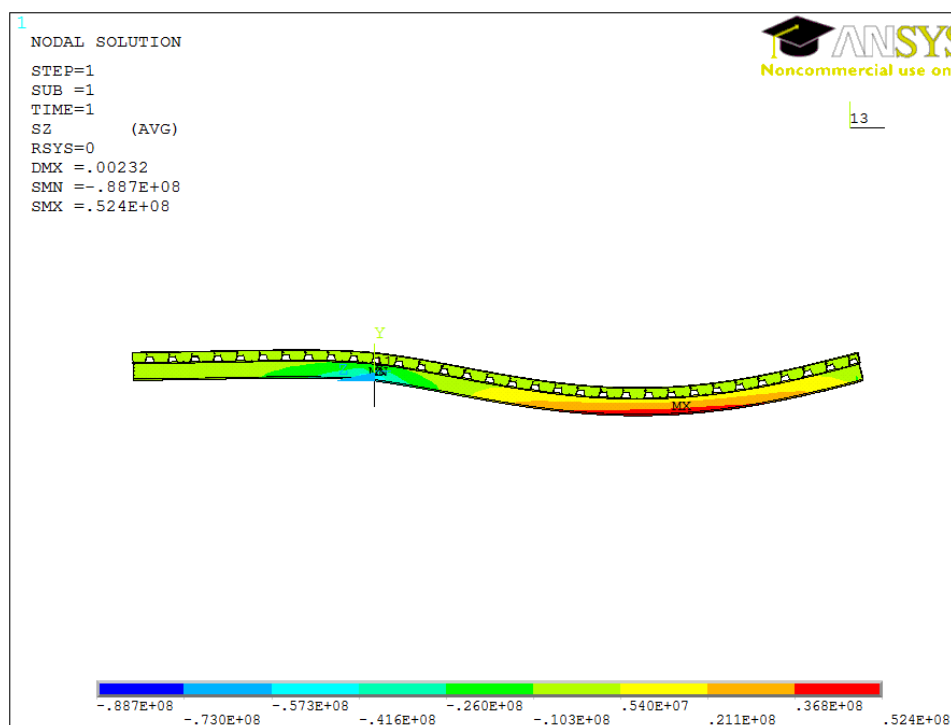


Obrázek č. 5.8 – Plošné zatížení na prvky – směr působení

Výsledky napětí na konstrukci pro porovnání způsobů zatížení na uzly a na plochy prvků jsou zobrazeny v obrázcích č. 5.9 a 5.10. Postup vykreslení napětí je popsán v kapitole 6 - Výsledky.



Obrázek č. 5.9 – Napětí od bodového zatížení do uzlů prvků + vlastní tíha



Obrázek č. 5.10 – Napětí od plošného zatížení na plochy prvků + vlastní tíha

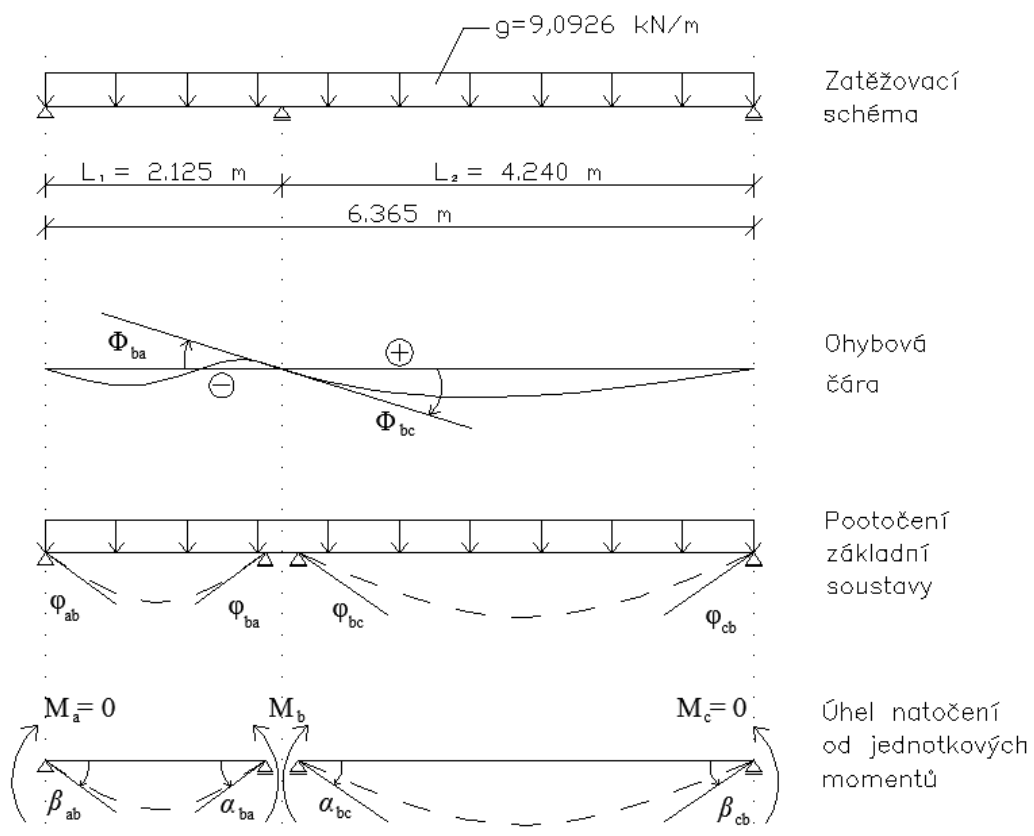
Průběh napětí, který je zobrazen na obrázku č. 5.9 a 5.10 je téměř totožný, a tudíž lze předpokládat podobné chování konstrukce zatížené jak od sil do uzlů na osu nosníku, tak tlakem na všechny zatěžované plochy prvků.

Zadat zatížení na celý model konstrukce je tedy otázka vhodnosti zvolení určitého typu zatížení tím způsobem, který lépe odpovídá skutečnosti.

Napětí na nosníku bude porovnáno s ručním výpočtem v delším poli spojitého nosníku, kde se nachází maximální napětí ve spodních vláknech. Postup ručního výpočtu bude použit podobný, jako je tomu v kapitole 3. Hodnoty spojitého zatížení jsou spočteny pro mezní stav únosnosti, dle vztahu (5.1).

$$g_{MSU} = 9,0926 \text{ kN/m}$$

Výpočet ohybového momentu pro kombinaci zatížení na MSÚ



Obrázek č. 5.11 – Statické schéma spojitého nosníku pro kombinaci zatížení na MSÚ

Dosažením do vztahů (3.1.1) a (3.1.2) jsou vypočtena jednotková natočení:

$$\alpha_{ba} = \frac{2,125}{3EI} \qquad \beta_{ab} = \frac{2,125}{6EI}$$

$$\alpha_{bc} = \frac{4,240}{3EI} \qquad \beta_{cb} = \frac{4,240}{6EI}$$

Výpočet skutečných pootočení se zjistí dosažením do vztahu (3.1.3)

$$\varphi_{ba} = \frac{1}{24} * \frac{g * l_1^3}{EI} = \frac{1}{24} * \frac{9,0926 * 2,125^3}{EI} = \frac{3,6354}{EI}$$

$$\varphi_{bc} = \frac{1}{24} * \frac{g * l_2^3}{EI} = \frac{1}{24} * \frac{9,0926 * 4,240^3}{EI} = \frac{28,8785}{EI}$$

Deformační podmínka:

$$\Phi_{ba} = - \Phi_{bc} \qquad (3.1.4)$$

Z obecného tvaru třímomentové rovnice (3.1.5) je získán nepodporový moment M_b .

$$\frac{2,125}{6EI} * 0 + \left(\frac{2,125}{3EI} + \frac{4,240}{3EI} \right) * M_b + \frac{4,240}{6EI} * 0 + \frac{3,6354}{EI} + \frac{28,8785}{EI} = 0$$

$$\left(\frac{6,365}{3EI} \right) * M_b = - \frac{32,5239}{EI}$$

Odtud

$$\underline{M_b = - 15,3294 \text{ kNm}}$$

Výpočet podporových reakcí z momentových podmínek rovnováhy:

Dosaženo do vztahu (3.1.6)

$$-(-15,3294) + R_{yc} * 4,240 - 9,0926 * \frac{4,240^2}{2} = 0 \quad \Rightarrow \underline{R_{yc} = 15,6609 \text{ kN}}$$

Dosaženo do vztahu (3.1.7)

$$-15,3294 - R_{ya} * 2,125 + 9,0926 * \frac{2,125^2}{2} = 0 \quad \Rightarrow \underline{R_{ya} = 2,4471 \text{ kN}}$$

Výpočet podporové reakce ze součtové silové podmínky rovnováhy:

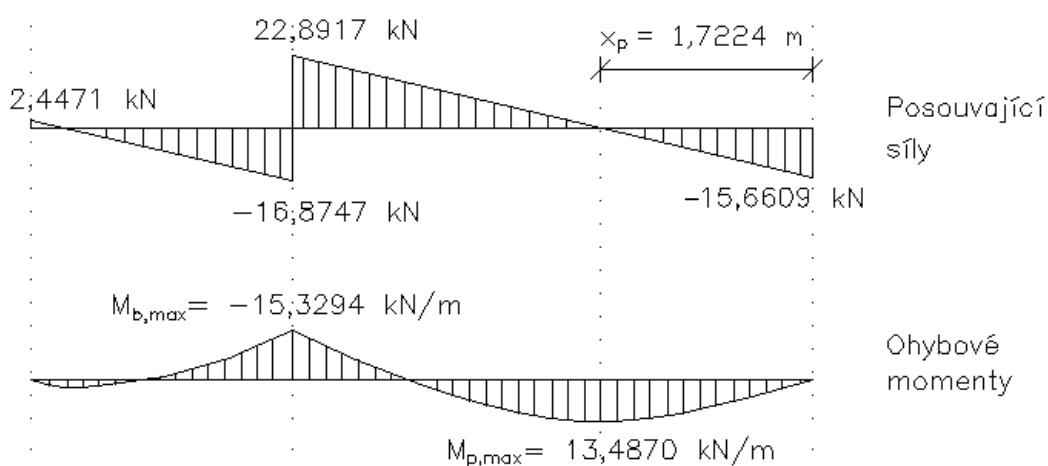
Dosazeno do vztahu (3.1.8)

$$2,4471 + R_{yb} + 15,6609 = 9,0926 * (2,125 + 4,240) \quad \Rightarrow \quad \underline{R_{yb} = 39,7664 \text{ kN}}$$

Ve vztazích (3.1.6) – (3.1.8) značí:

R_{ya}	... svislá reakce v podpoře „a“
R_{yb}	... svislá reakce v podpoře „b“
R_{yc}	... svislá reakce v podpoře „c“

Diagramy vnitřních sil a momentů:



Obrázek č. 5.12 - Vykreslení posouvajících sil a ohybových momentů

Vzdálenost, kde se nachází maximální kladný ohybový je vypočtena ze vzorce (3.1.9)

$$x_p = 15,6609 / 9,0926 = 1,7224 \text{ m}$$

Maximální kladný ohybový moment je získán dosazením do vzorce (3.1.10)

$$M_{p,max} = 15,6609 * 1,7224 - 9,0926 * \frac{1,7224^2}{2} = \underline{13,4870 \text{ kN/m} = 13487,0 \text{ N/m}}$$

Ručním výpočtem se zjistí hodnota maximálního napětí ve spodních vláknech dosazením do vzorce (3.2.11) :

$$\sigma = \frac{M_{p,max}}{W_i} = \frac{13487,0}{2,54777 * 10^{-4}} = 0,5294 * 10^8 \text{ Pa}$$

kde:

$$W_i = 2,54777 * 10^{-4} \text{ m}^3 \quad \dots \text{ průřezový modul ke spodním vláknům průřezu (3.2.10)}$$

Výsledky z ANSYSu z nejnámáhanějšího nosníku budou porovnány s ručním výpočtem pro zjištění správnosti zadání zatížení.

Napětí z ANSYSu viz obrázek č. 5.9: $\sigma_{ANSYS} = 0,5240 * 10^8 \text{ Pa}$

Napětí pomocí ručního výpočtu: $\sigma = 0,5294 * 10^8 \text{ Pa}$

Odchylka ručního výpočtu oproti programu ANSYS je 2,0%, a tudíž lze očekávat správnost při zadávání a přepočtu zatížení na uzlové síly.

Pro zadání zatížení na celý model je zvolen typ uzlových sil, které působí na osu nosníku do jednotlivých uzlů po délce 0,1 m. Tato hodnota je roznášecí délkou ke každému zatěžovanému uzlu. Pro zjednodušení a zpřehlednění zadání sil se jedná o délku oka KARI sítě 0,1 m, a to především kvůli vzájemné návaznosti jednotlivých uzlů.

Zde jsou uvedeny velikosti sil, které byly zadány na osu nosníků celé konstrukce (viz obrázek č. 5.13) pro:

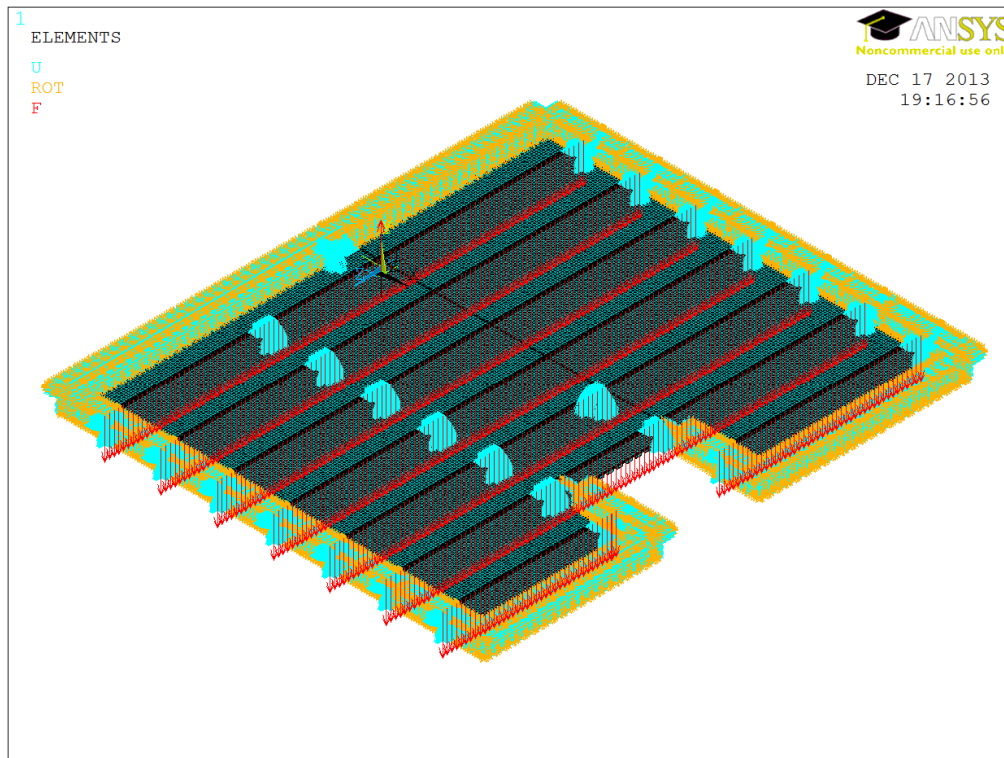
- mezní stav únosnosti

$$G_{MSU} = 5811,03 * 0,1 = 581,10 \text{ N}$$

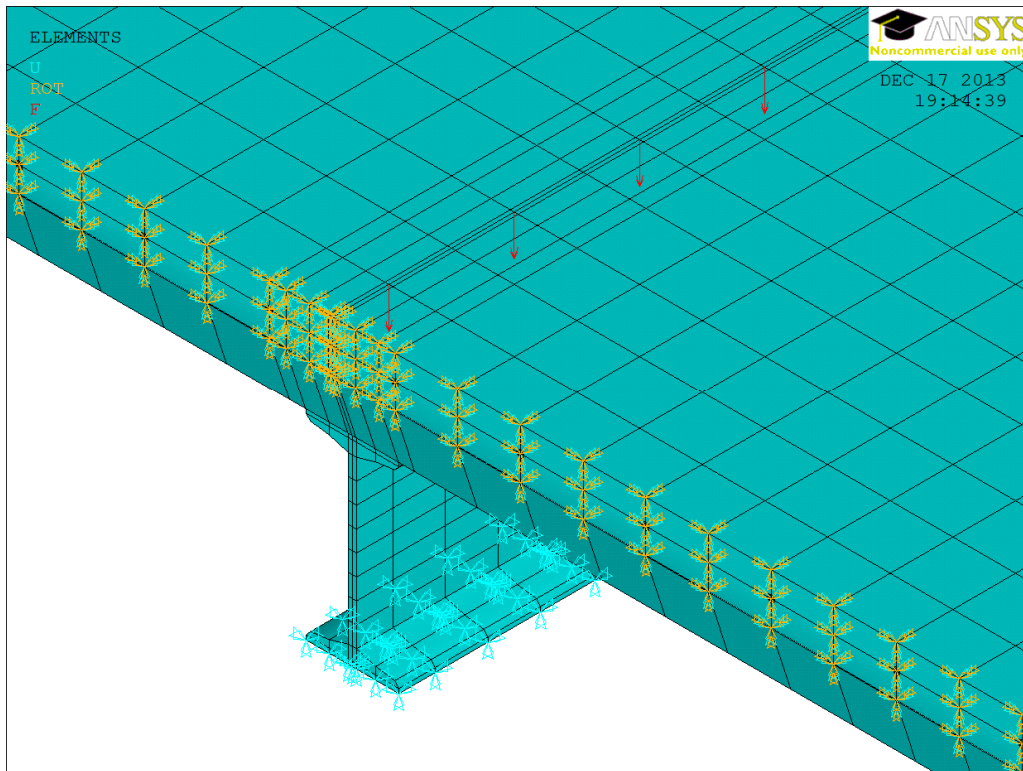
- mezní stav použitelnosti

$$G_{MSP} = 4037,80 * 0,1 = 403,78 \text{ N}$$

Obrázek č. 5.13 zobrazuje veškeré okrajové podmínky části konstrukce a zatížení uzlovými silami na osu nosníku a zatížení vlastní tíhou. Na dalším obrázku je detailněji vykresleno zadání uzlovými silami.



Obrázek č. 5.13 – Zadání zatížení na celou nosnou konstrukci



Obrázek č. 5.14 – Detail – Zadání zatížení na nosnou konstrukci

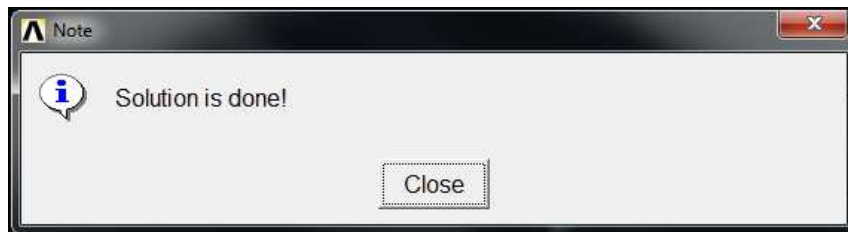
5.3 VÝPOČET

Před vykreslením výsledných napětí a deformací konstrukce, je úloha řešena lineární statickou analýzou – sestavení lineárních rovnic a jejich následné vyřešení. Kombinace pro mezní stav únosnosti a použitelnosti je zapsána každá do jednoho zatěžovacího stavu, který je řešen zvlášť.

Postup zadání:

Solution => Solve => Current LS

Po úspěšném vyřešení úlohy se zobrazí vyskakovací okno s oznámením o vyřešeném výpočtu.



Obrázek č. 5.15 – Vyskakovací okno po správném vyřešení úlohy

6 VÝSLEDKY - (POSTPROCESSING)

Po dokončení výpočtu je rozšířena část vizualizace řešení a je možné se dostat buď ke grafickému vykreslení výsledků přímo na modelu konstrukce, anebo k textovým výsledkům, kde je možné zjistit přesné výsledky k jednotlivým uzlům, či elementům. Tato konstrukce bude posouzena zvlášť na mezní stav únosnosti a na mezní stav použitelnosti. Pro posouzení s mezními hodnotami MSÚ bude vykresleno na modelu maximální napětí a pro MSP budou vykresleny maximální deformace.

Grafický výstup normálových napětí (MSÚ)

Postup zadání:

General Postprocessor => Plot Results => Contour Plot => Nodal Solution

V následující tabulce: „*Contour Nodal Solution Data*“ se zvolí *Stress => X - Component of Stress*

Grafický výstup deformací – průhybu (MSP)

Postup zadání:

General Postprocessor => Plot Results => Contour Plot => Nodal Solution

V následující tabulce: „*Contour Nodal Solution Data*“ se zvolí *DOF Solution => Y - Component of Displacement*

Textový výstup

Postup zadání:

General Postprocessor => List Results => Nodal Solution

V následující tabulce: „*List Nodal Solution Data*“ se zvolí

DOF Solution => Y - Component of Displacement – pro deformace

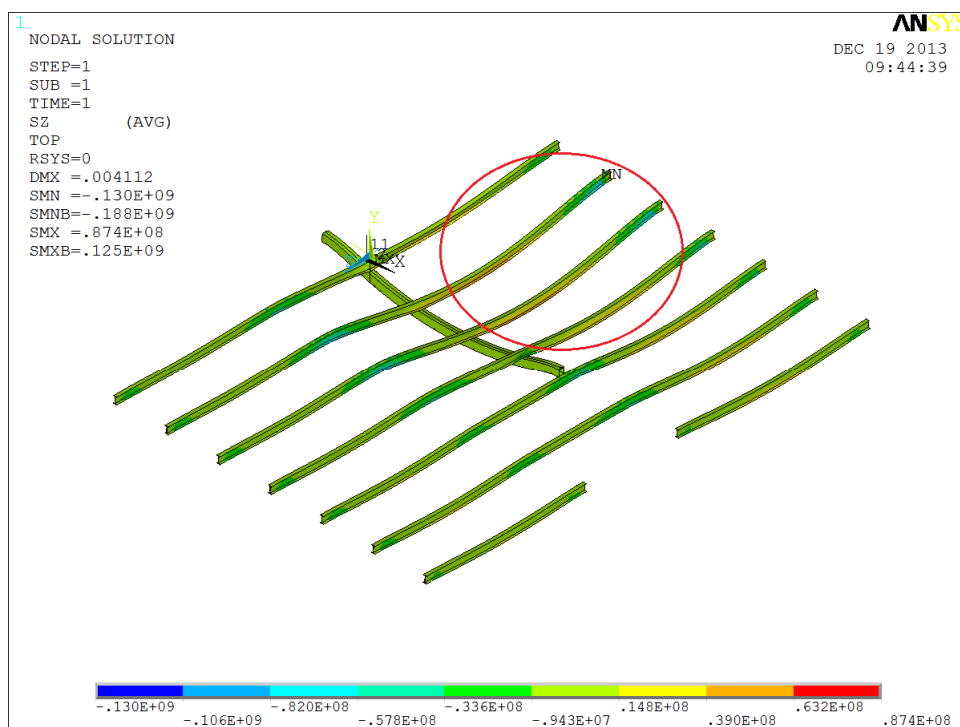
Stress => X - Component of Stress – pro napětí

Pro lepší přehlednost budou výsledky graficky vykresleny na modelu konstrukce a pomocí výběru budou vyznačeny maximální hodnoty v nejkritičtějších místech. Vzhledem k tomu, že se jedná o ocelobetonovou konstrukci, budou posouzeny zvlášť ocelové nosníky na mez kluzu oceli a zvlášť betonová deska podle mezních hodnot materiálových vlastností – pevnost v tahu a pevnost v tlaku betonu. Průhyby budou také posouzeny zvlášť pro ocelové nosníky i pro betonovou desku.

6.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

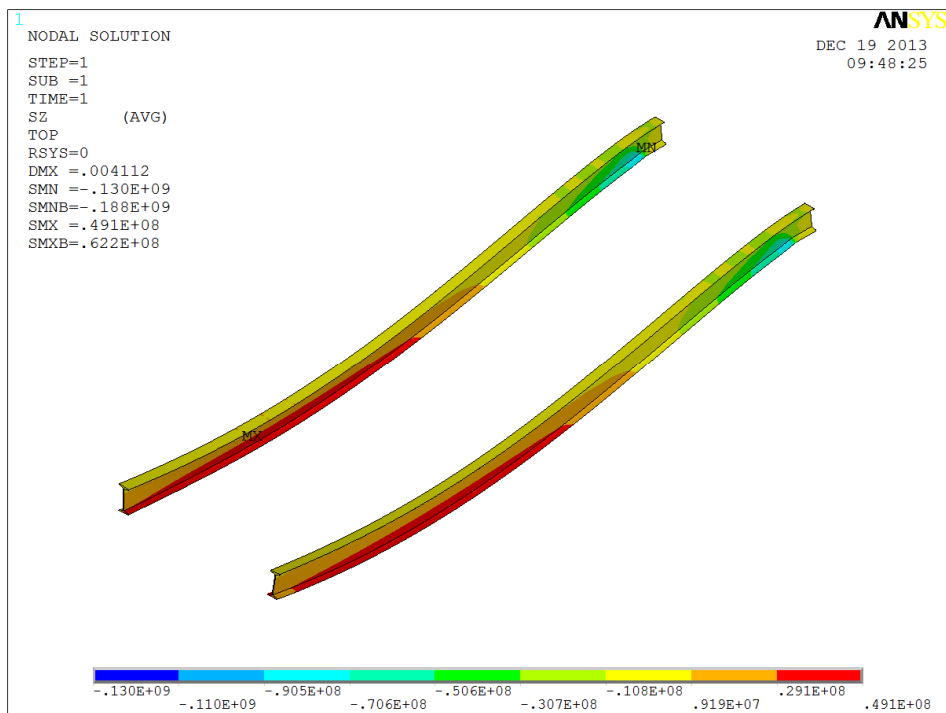
6.1.1 Normálové napětí na nosníku profilu I 160

Na následujících obrázcích je znázorněno normálové napětí ve směru globální souřadnicové osy Z. Pro výpočet úlohy bylo použito zatížení násobené dílčími součiniteli spolehlivosti materiálu pro mezní stav únosnosti. Návrhové hodnoty zatížení jsou vypočteny v kapitole 5.2.3.



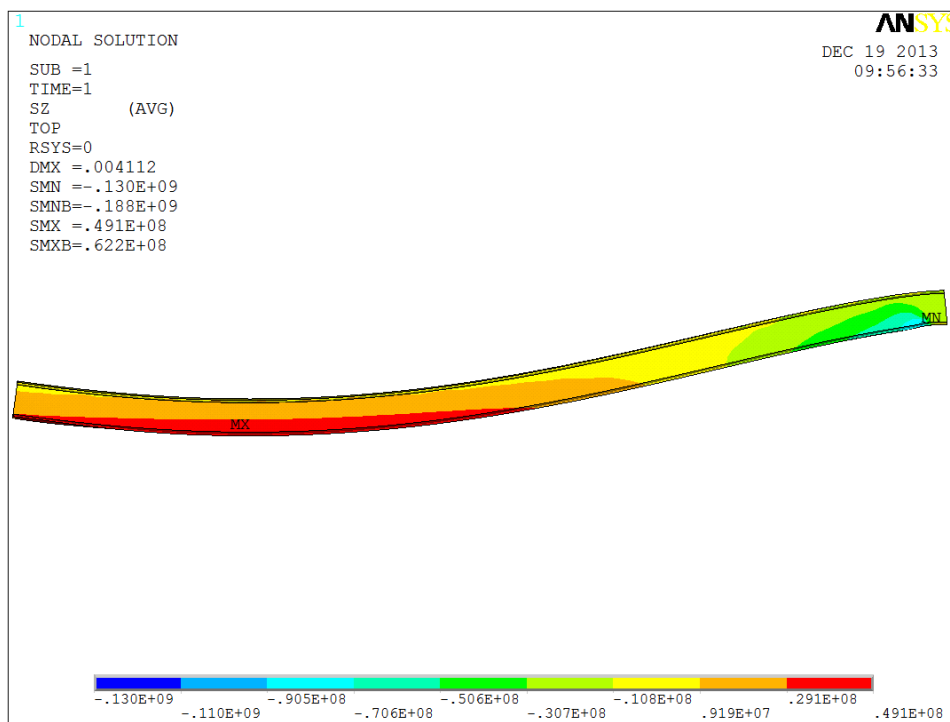
Obrázek č. 6.1 – Normálové napětí SZ na ocelových nosnících

Další obrázek vykresluje napětí na detailu dvou nejvíce namáhaných částí nosníků. Tento detail je označen na obrázku č. 6.1 červeným kruhem. Opětovnou selekcí prvků je vhodné vybrat nejvíce namáhanou část ocelového nosníku, která bude v závěru práce posouzena. Z číselné osy na obrázku č. 6.3 lze získat maximální hodnoty napětí. V místě největšího kladného momentu je maximální hodnota napětí $0,491 \cdot 10^8$ Pa. Vzhledem k tomu, že je konstrukce modelována jako celek, nedochází k maximálním napětím nad průvlakem, nýbrž u podepření nosníku. Průvlak se vlivem zatížení prohne, a tak se nosník nechová jako pravý spojitý nosník. Celková maximální hodnota se nachází u podepření – $0,130 \cdot 10^9$ Pa.



Obrázek č. 6.2 – Detail vykreslení maximálního normálového napětí SZ

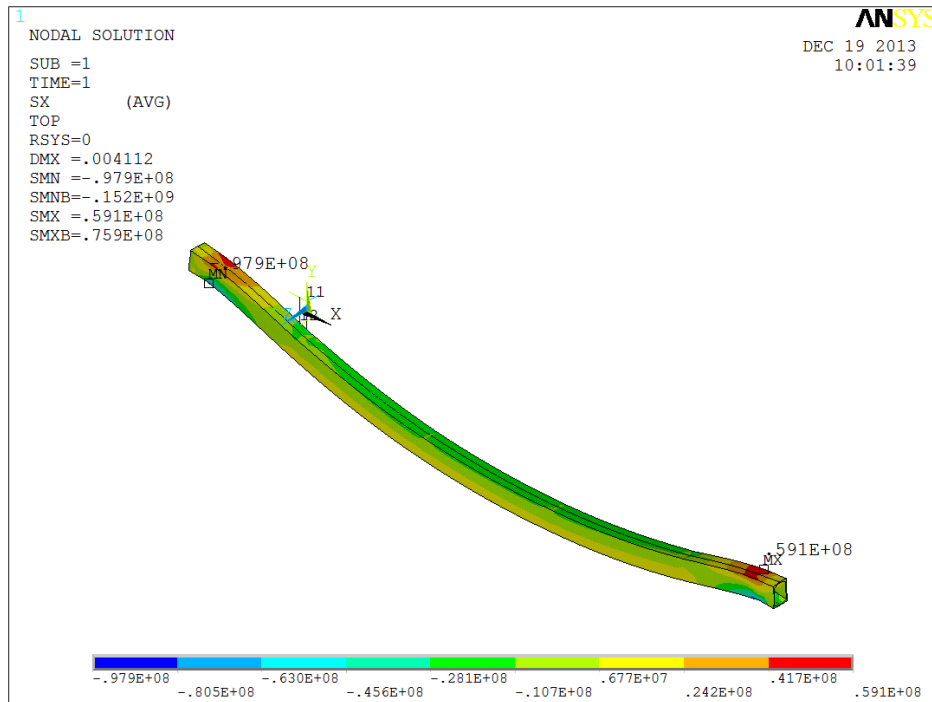
Maximální normálové napětí v posuzovaném místě je $0,491 \cdot 10^8$ Pa.



Obrázek č. 6.3 – Detail vykreslení maximálního normálového napětí SZ

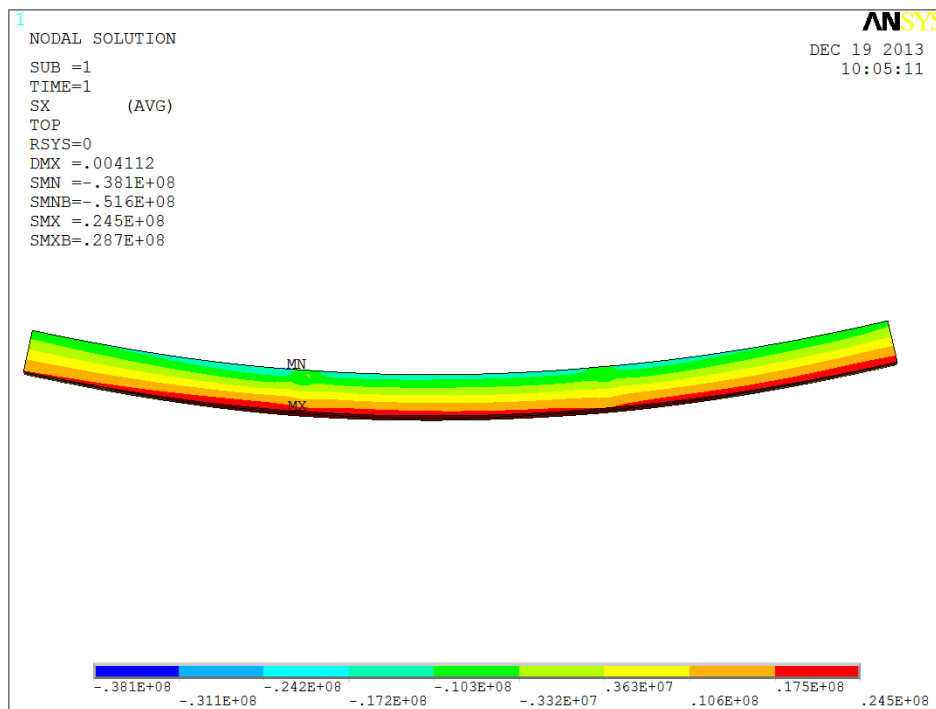
Celkové maximální normálové napětí je $0,130 \cdot 10^9$ Pa.

6.1.2 Normálové napětí na průvlaku profilu č. 2x U 160



Obrázek č. 6.4 – Normálové napětí SX na průvlaku

Pro zjištění extrémů napětí na ocelovém průvlaku profilu 2x U 160 byly vykresleno napětí ve směru globální souřadnicové osy X

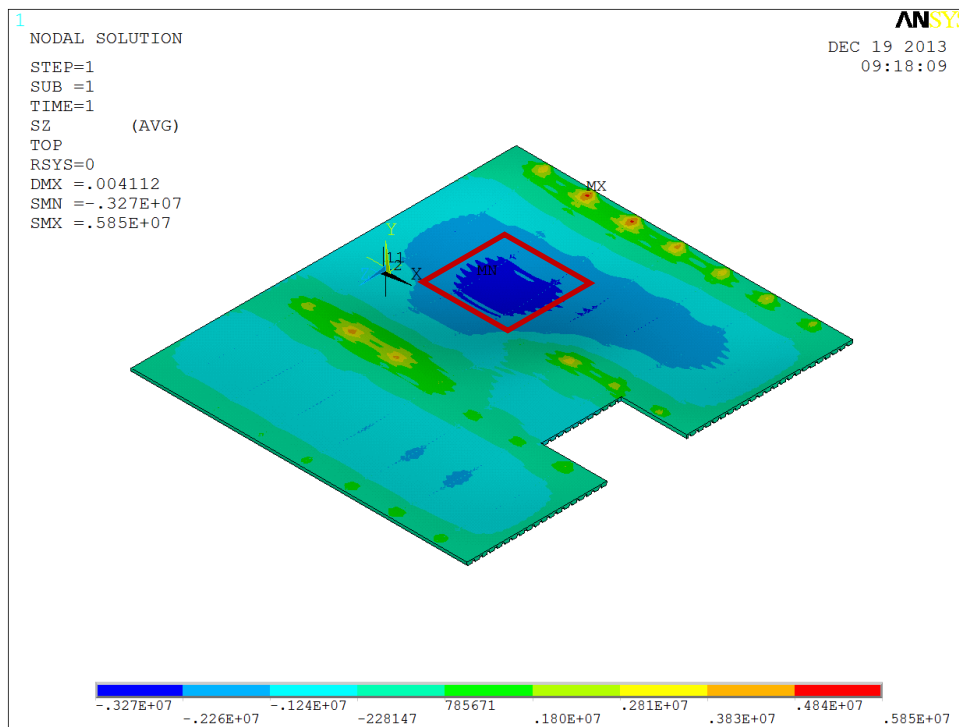


Obrázek č. 6.5 – Detail vykreslení normálového napětí SX ve středu průvlaku

Maximální normálové napětí v posuzovaném místě je patrné z detailu průvlaku na obrázku č. 6.5. Protože jsou na průvlak osazeny ocelové nosníky ve vzdálenostech po 1,2 m, je třeba brát zřetel na extrémní napětí v místech pod těmito nosníky z obrázku č. 6.4. Maximální napětí pro posouzení u průvlaku je tedy $0,979 \cdot 10^8$ Pa.

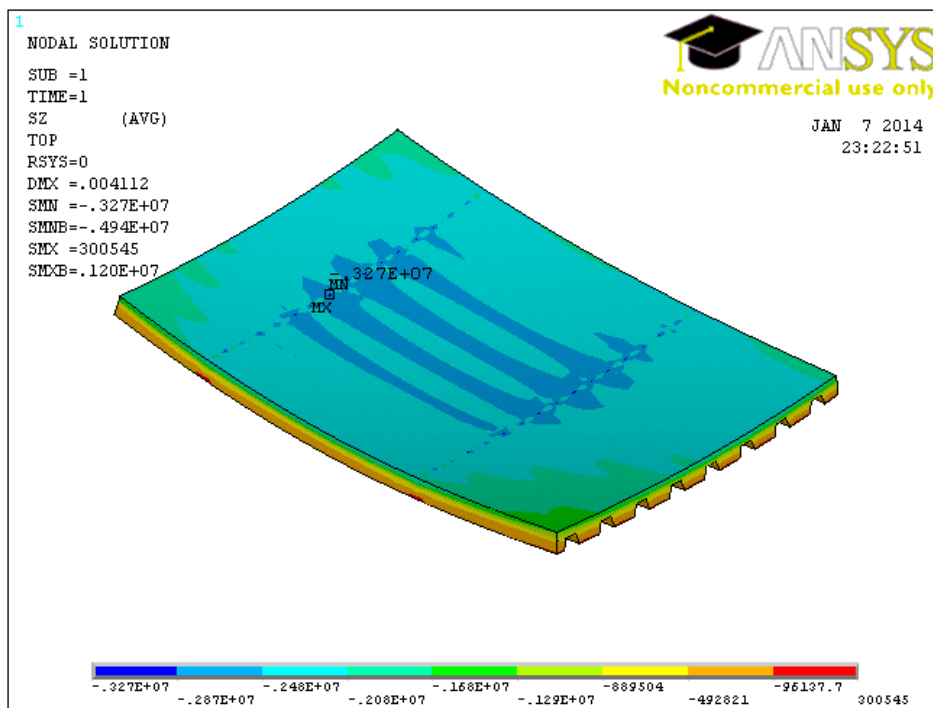
6.1.3 Normálové napětí v betonové desce

Vzhledem k různým pevnostem betonu v tahu a v tlaku je třeba zjistit maximální napětí jak v horních, tak v dolních vláknech průřezu betonové desky. Na dalším obrázku je vidět, že nejvyšší hodnota betonu v tlaku je při horním povrchu v poli desky, ale extrémní hodnota betonu v tahu se nachází u podepření. Jedná se o lokální maxima v místech teoretických podepření, které se mohou zanedbat. V těchto místech navíc pokračují nad deskou nosné obvodové a vnitřní zdi, které zamezí případnému vzniku trhlin v betonové desce. Posuzuje se tedy napětí pouze ve spodních tažených vláknech betonové desky a v místech, kde končí podepření, obvodové zdivo.



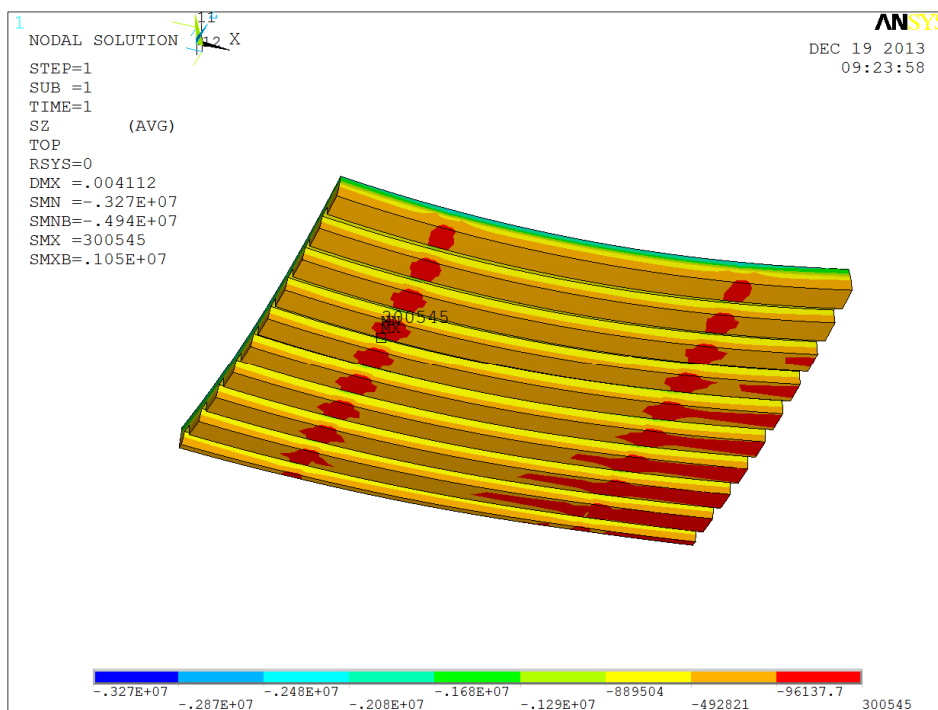
Obrázek č. 6.6 – Normálové napětí SZ na betonové desce

Na obrázku č. 6.6 je vykresleno napětí ve směru globální souřadnicové osy Z a červeně je ohraničen detail části betonové desky. Na tomto úseku se nachází maximální hodnota napětí betonu v tlaku (obrázek č. 6.7) a jí příslušná hodnota betonu v tahu (obrázek č. 6.8).



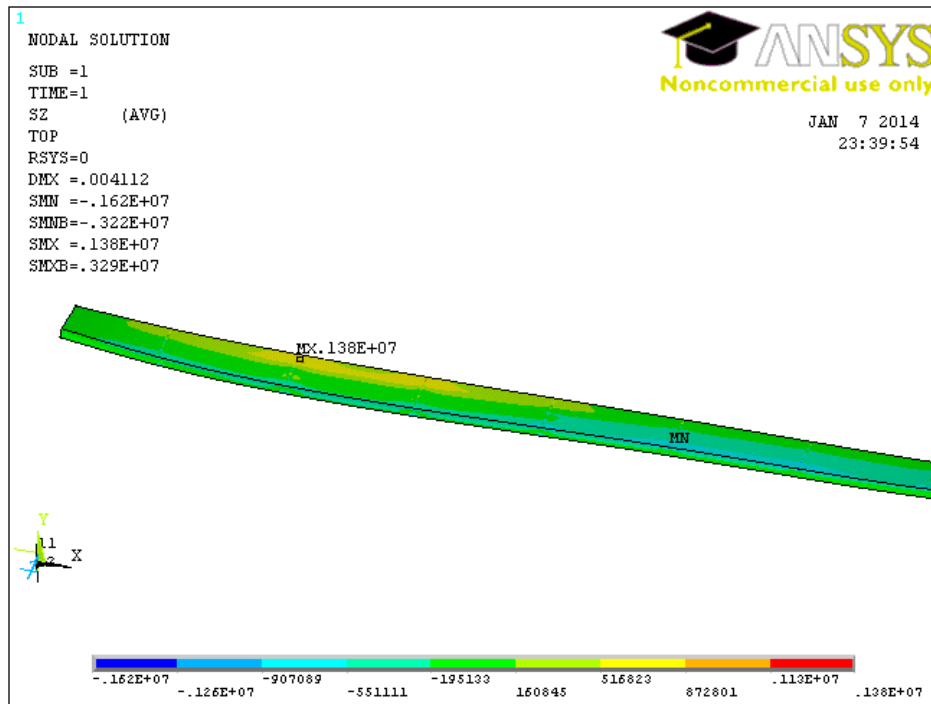
Obrázek č. 6.7 – Detail vykreslení napětí betonové desky v tlaku

Maximální hodnota napětí betonu v tlaku činí $0,327 \cdot 10^7$ Pa a její příslušná hodnota napětí betonu v tahu činí $0,301 \cdot 10^6$ Pa.



Obrázek č. 6.8 – Detail vykreslení napětí betonové desky v tahu

Lokální maxima napětí betonu v tahu pod obvodovými stěnami lze zanedbat. Nelze však zanedbat napětí betonu v tahu, které působí těsně u podepření. Maximální hodnota betonu v tahu je vyznačena na obrázku č. 6.9 a činí $0,138 \cdot 10^7$ Pa.



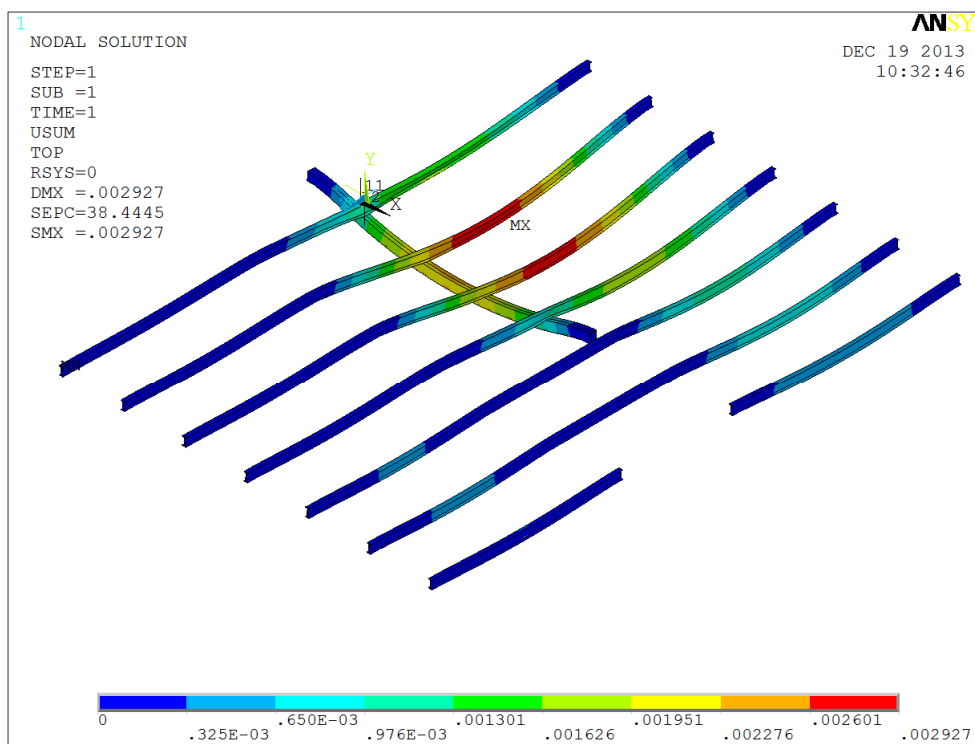
Obrázek č. 6.9 – Maximální napětí betonové desky v tahu

Tyto hodnoty extrémních napětí betonové desky budou použity pro posouzení dle platných norem.

6.2 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

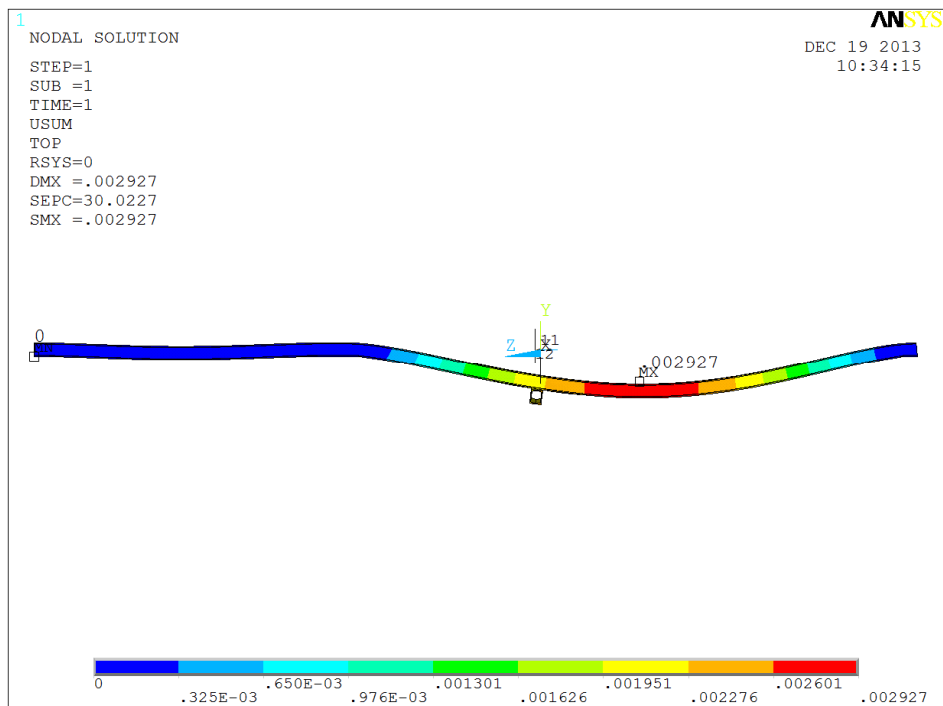
Extrémní hodnoty deformací pro posouzení na kombinace zatížení g_{MSP} , pro mezní stav použitelnosti, jsou zjištěny z deformací modelu ve směru svislé osy Y. Jelikož se jedná o složenou ocelobetonovou konstrukci, její celková tuhost vzniká až po zatvrdnutí betonové desky (28 dní). Během této doby přenáší zatížení od vlastní tlhy ocelových nosníků, VSŽ plechu, KARI sítě a čerstvého betonu pouze ocelové nosníky profilu I 160. Prvně je řešen průhyb konstrukce jako celku po zatvrdnutí betonu (dosažení požadované pevnosti) a plném spolupůsobení betonové desky. Zohlednění postupu montáže ocelobetonové konstrukce je provedeno zvlášť na konci této kapitoly.

6.2.1 Průhyby ocelových nosníků



Obrázek č. 6.10 – Deformace ocelových nosníků ve směru globální osy y (průhyb)

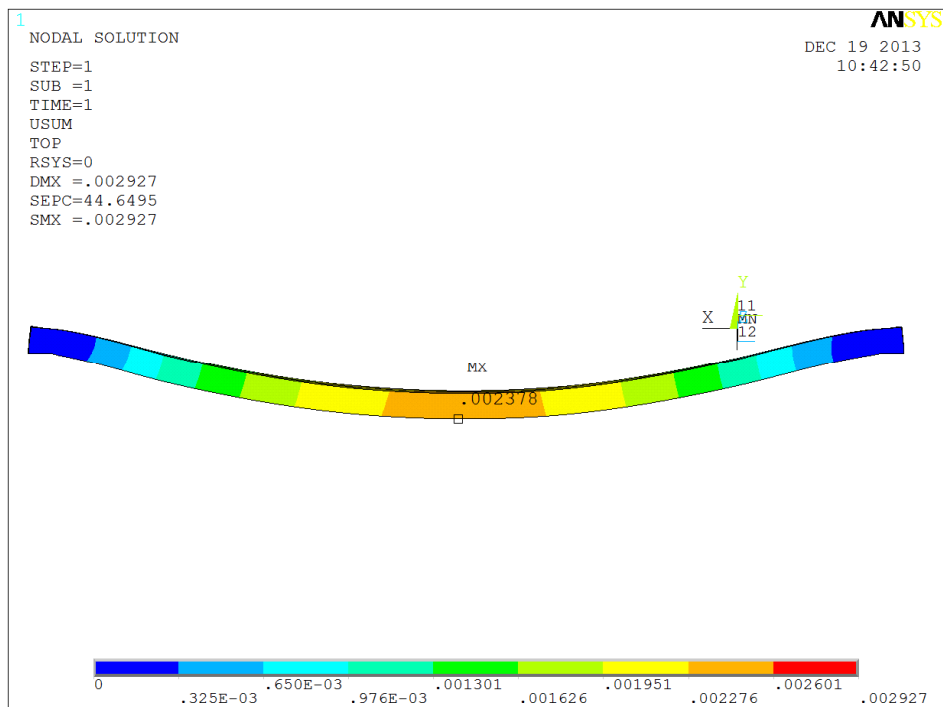
Průhyby všech ocelových nosníků jsou znázorněny na obrázku č. 6.10. Pro zjištění jednotlivých největších průhybů jsou vybrány vždy pouze ty prvky, kde se nachází maximum. Je použita selekce elementů podle typu, a poté opětovná selekce prvků vlastním výběrem.



Obrázek č. 6.11 – Největší průhyb ocelového nosníku profilu I 160

Ocelový nosník profilu I 160 se maximálně prohne o 0,002927 mm.

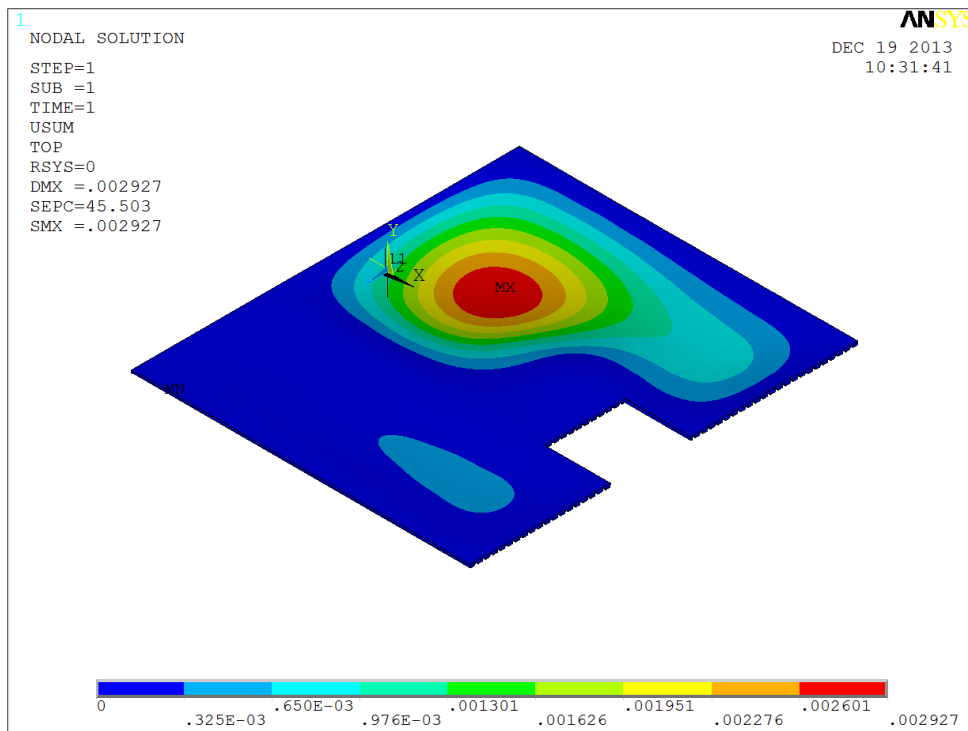
6.2.2 Průhyb ocelového průvlaku



Obrázek č. 6.12 – Největší průhyb ocelového průvlaku profilu 2x U 160

Ocelový průvlak je vybrán selekcí prvků stejným způsobem jako v podkapitole 6.2.1 a jeho maximální průhyb činí 0,002378 m.

6.2.3 Průhyb betonové desky



Obrázek č. 6.13 – Deformace betonové desky ve směru globální osy y (průhyb)

Svislé deformace jsou zobrazeny na obrázku č. 6.13. Maximální deformace betonové desky činí 0,002927 m.

Maximální hodnoty pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti jsou pro přehlednost shrnuty v následujících dvou tabulkách:

Tabulka č. 6.1 – extrémní hodnoty napětí pro MSÚ

	MSÚ napětí [MPa]
Nosník I 160	130,000
Průvlak 2x U160	97,900
Betonová deska - napětí v tlaku	3,270
- napětí v tahu	1,380

Tabulka č. 6.2 – extrémní hodnoty průhybů pro MSP

MSP	průhyby [mm]
Nosník I 160	2,927
Průvlak 2x U160	2,378
Betonová deska	2,927

6.2.4 Zohlednění postupu montáže

Zohlednění postupu montáže ocelobetonové konstrukce je provedeno na stejném úseku konstrukce, jako tomu bylo u porovnání modelu s ručním statickým výpočtem v kapitole 3. Jedná se o spojitý nosník, který představuje nejvíce namáhanou část stropní konstrukce. Montáž stropu je provedena bez lešení a podpěrných vzpěr, tím je zohledněn výpočet maximálního průhybu podle následujícího postupu.

V prvním kroku je spočten svislý průhyb na ocelovém nosníku. Čerstvý beton ještě nespolutpůsobí, a tak je vymodelován samotný ocelový nosník profilu I 160. Beton působí na nosník pouze jako zatížení stálé, stejně tak jako trapézový plech a KARI síť. Soustředěné montážní zatížení působí, velikosti $1,5 \text{ kN/m}^2$, působí na ploše $3 \times 3 \text{ m}$ v nejučinnější poloze. Rovnoměrné montážní zatížení o velikosti $0,75 \text{ kN/m}^2$ působí na zbývající ploše. Výpočet zatížení od vlastní tíhy konstrukce pro ocelový nosník je spočítán v tabulce č. 6.3.

Shrnutí zatížení:

Tabulka č. 6.3 – Shrnutí zatížení vlastní tíhy konstrukce

TYP	g_{ok1} [kN/m]
VSŽ plech 11082	0,1350
KARI síť tl.6mm	0,0533
Čerstvý beton C20/25 - deska	1,1520
Čerstvý beton C20/25 – zalití	0,9115

$$\sum g_{ok} = 2,2518 \text{ kN/m,}$$

převedení na základní jednotky pro Ansys:

$$g = 2251,8 \text{ N/m.}$$

Pomocí podkapitoly 5.2.3 je převedeno liniové zatížení na zatížení uzlové. Výpočet zatěžující síly jednotlivého uzlu se provede dosazením do vzorce (5.3).

$$G_0 = g_0 * b = 2251,8 * 0,1 = 225,180 \text{ N}$$

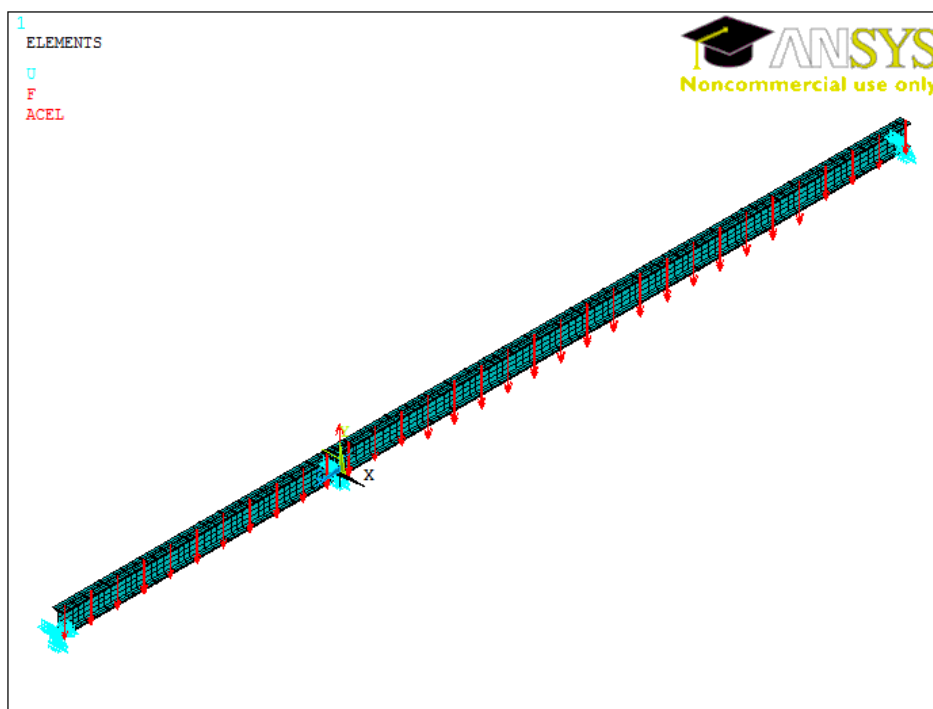
Přepočet soustředěného montážního zatížení na uzly na délku 3m:

$$G_1 = g_1 * b = (1,500 * 1,2) * 0,1 = 0,180 \text{ kN} = 180 \text{ N}$$

Přepočet rovnoměrného montážního zatížení na zbývající uzly na délku 3m:

$$G_2 = g_2 * b = (0,750 * 1,2) * 0,1 = 0,090 \text{ kN} = 90 \text{ N}$$

Vlastní tíha ocelového nosníku je v programu ANSYS zahrnuta zadáním tíhového zrychlení a objemové hmotnosti prvků. V následujícím obrázku je znázorněno zadání zatížení. V příloze č. VIII je vypočteno uzlové zatížení, které bylo použito použito v programu ANSYS. Vlastní tíha ocelového nosníku je zadána pomocí tíhového zrychlení a uzlové síly, přepočtené od zatížení konstrukce, jsou umístěny do uzlů na osu nosníku.

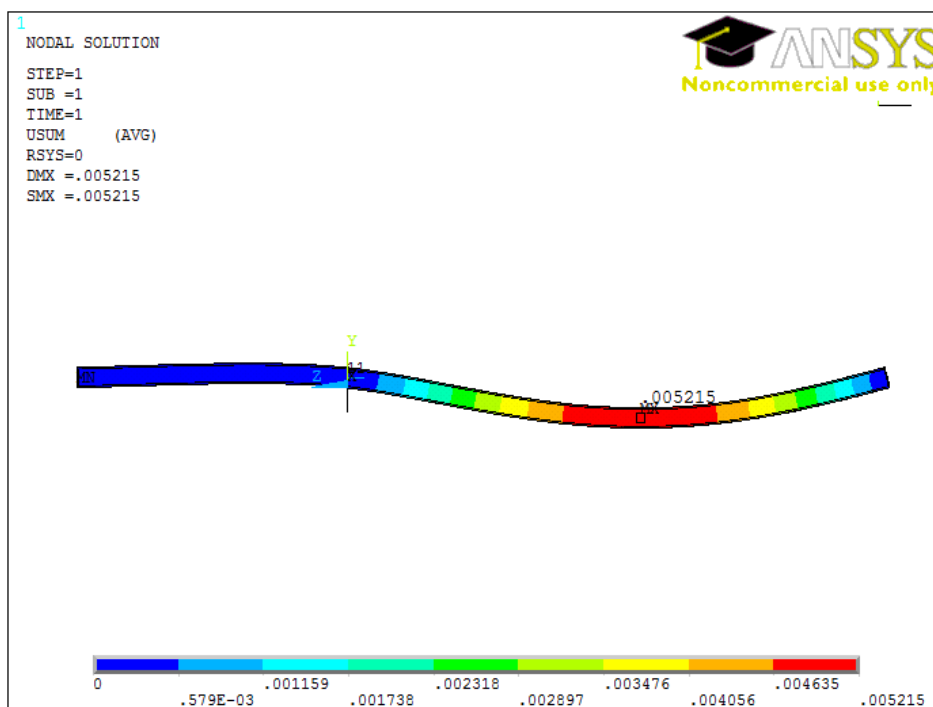


Obrázek č. 6.14 – Zadání zatížení na ocelový nosník

Tato úloha je vyřešena stejným postupem jako v kapitole 5.3. Výsledky maximálních svislých deformací jsou zjištěny v postprocesoru (viz kapitola 6).

Dle výsledků vykreslených na obrázku č. 6.15 je hodnota maximálního průhybu na nosníku 0,005215 mm.

$$w_I = 0,005215 \text{ m} = 5,215 \text{ mm}$$



Obrázek č. 6.15 – Průhyb na nosníku v I kroku montáže

Ve druhém kroku montáže je spočten průhyb na části stropní konstrukce. Beton s ocelovým nosníkem, trapézovým plechem a KARI sítí spolupůsobí, a tak je v ANSYSu vymodelována celá část konstrukce. Každému materiálu je přiřazen určitý prvek, kterému je nadefinována objemová hmotnost, aby mohla být spočtena tuhost nosníku a průhyb konstrukce. Dále je zadán Poissonův součinitel a Yaungův modul pružnosti podobně jako v tabulce 4.1 s výjimkou betonu. Vliv dotvarování betonu lze do výpočtu průhybu zakalkulovat změnou pracovního součinitele n , který je závislý na modulu pružnosti ocelového nosníku a na modulu pružnosti betonové desky. Modul pružnosti betonu s vlivem deformací vyvolaných dotvarováním betonu je vyjádřen jako efektivní modul pružnosti betonu $E_{c,eff}$. Předpokládá se, že kombinace zatížení bude působit v časovém intervalu $t_0 = 28$ dní až $t_\infty = \infty$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1+\varphi} \quad (6.1)$$

Ve vzorci (6.1) značí:

- | | |
|-------------------|---|
| φ | ... součinitel dotvarování betonu |
| $E_{cm} = 30$ GPa | ... sečnový modul pružnosti betonu C20/25 |

Postup podle normy ČSN EN 1994-1-1, Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, zjednodušuje výpočet efektivního modulu pružnosti na vzorec (6.2). Odpadá tedy výpočet součinitele dotvarování ϕ , který je roven 1.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{2} \quad (6.2)$$

Dosažením do vzorce (6.2) je vypočten efektivní modul pružnosti s vlivem dotvarování:

$$E_{c,eff} = \frac{30}{2} = 15 \text{ GPa} = 15 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

Tato hodnota je vložena do materiálových vlastností betonu v ANSYSu. Společně s ostatními materiálovými vlastnostmi jsou shrnuty hodnoty v následující tabulce.

Tabulka č. 6.4 – Souhrn typů prvků a k nim přiřazených materiálových modelů

	Typ prvku	Materiálový model č.	Yangův modul [Pa]	Poissonův Součinitel [-]	Hustota [kg/m ³]
Ocelové válcované nosníky	SOLID 185	ID 1	210*10 ⁹	0,3	7850
Trapézový plech	SHELL 181	ID 2	210*10 ⁹	0,3	7800
KARI síť	BEAM 188	ID 3	195*10 ⁹	0,3	7850
Beton C20/25	SOLID 185	ID 4	15*10 ⁹	0,2	2400

Vliv smršťování betonu na průhyb má význam vyčíslvat jen u nosníků s poměrem rozpětí ku výšce větším než 20.

$$\frac{L}{h} > 20 \quad (6.3)$$

kde: L ... rozpětí nosníku
h ... celková výška nosníku

Dosazeno do vzorce (6.3):

$$\frac{4240}{250} > 20$$

$$\underline{16,96} > 20$$

VYHOVUJE

Vzhledem k vyhovující podmínce není nutné počítat průhyb s vlivem smršťování betonu.

Charakteristické hodnoty ostatního stálého zatížení a užitečného zatížení jsou spočteny podle vzorce (5.2):

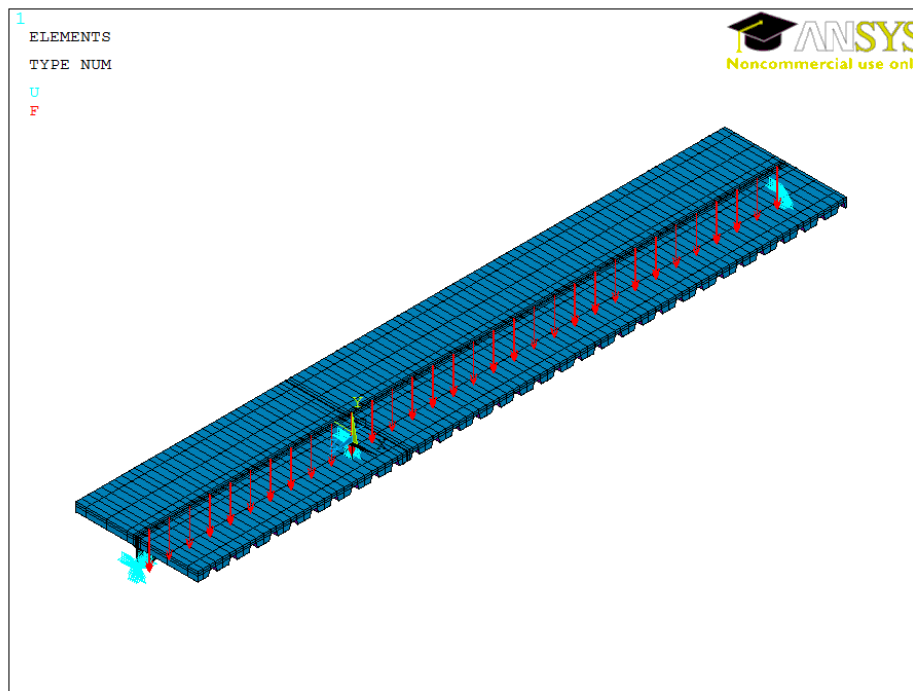
$$g_{MSP} = 0 + (1,4818 + 0,1560) + 2,4 = 4,0378 \text{ kN/m}$$

převedení na základní jednotky pro Ansys:

$$g = 4037,8 \text{ N/m.}$$

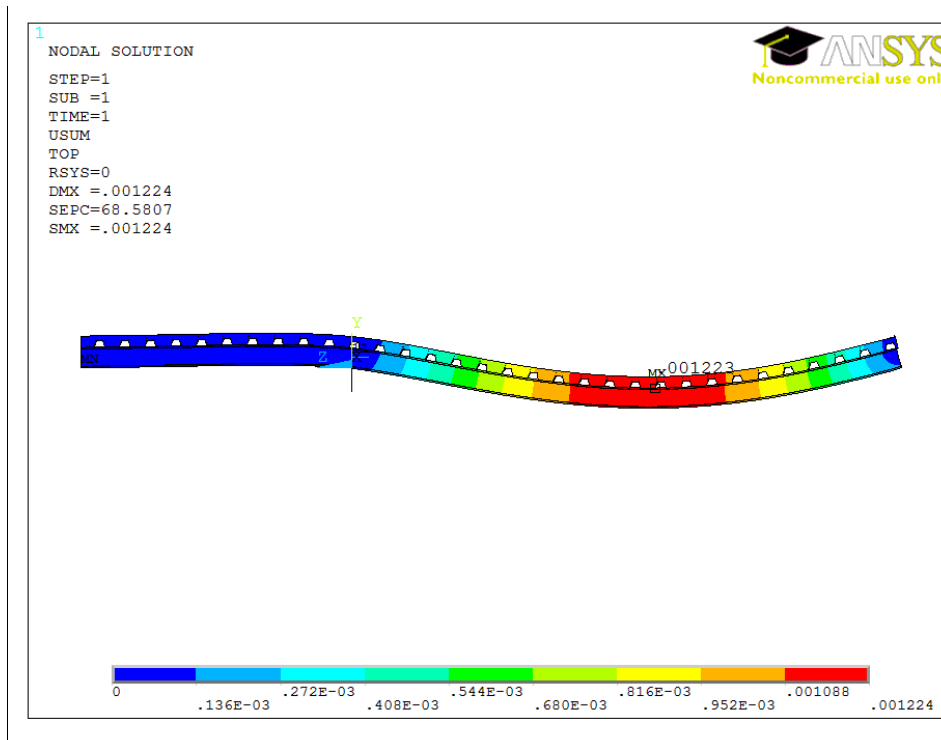
Pracuje se pouze s charakteristickými hodnotami zatížení. Ostatní stálé zatížení a užitečné zatížení je zadáno v ANSYSu pomocí uzlových sil, zřetelné na obrázku č. 6.16. Přepočet zatížení na uzlové síly je proveden dosazením do vzorce (5.3):

$$G_{MSP} = g * b = 4037,80 * 0,1 = 403,78 \text{ N}$$



Obrázek č. 6.16 – Zadání zatížení na úsek konstrukce

Následující obrázek udává hodnotu maximálního průhybu na ocelobetonovém nosníku v druhém kroku montáže.



Obrázek č. 6.17 – Svislá deformace prvků v II kroku montáže

Dle výsledků vykreslených na obrázku č. 6.17 je hodnota maximálního průhybu na nosníku 0,001223 mm.

$$w_{II} = 0,001223 \text{ m} = 1,223 \text{ mm}$$

Výsledný průhyb na nosníku je získán součtem dvou stádií montáže.

$$w_A = w_I + w_{II} \tag{6.4}$$

Dosazeno do vztahu (6.4):

$$w_A = 5,215 + 1,223 = 6,438 \text{ mm}$$

7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Extrémní hodnoty napětí a deformací získané programem ANSYS budou následně vyhodnoceny a porovnány s mezními hodnotami uvedenými v platných normách. Posudek na mezní stav použitelnosti je normami pouze doporučen, a tak veškeré hodnoty průhybů nejsou maximálně dovolené, nýbrž doporučené z hlediska funkčnosti, bezpečnosti i z estetického hlediska. Mezní stav použitelnosti počítá s charakteristickými hodnotami zatížení. Mezní stav únosnosti bere v úvahu návrhové hodnoty zatížení zvětšené o dílčí součinitele zatížení. Mezní hodnoty únosností jsou upraveny o dílčí součinitele spolehlivosti materiálu.

Materiálové charakteristiky

- ocel S 235

návrhová pevnost oceli

$$f_{yd} = f_y / \gamma_M \quad (7.1)$$

Dosazeno do vzorce (7.1):

$$f_{yd} = 235 / 1,0 = 235,000 \text{ MPa}$$

kde $f_y = 235 \text{ MPa}$ mez kluzu oceli
 $\gamma_c = 1,0$ dílčí součinitel spolehlivosti oceli

- beton třídy C 20/25

návrhová pevnost betonu v tlaku f_{cd}

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c \quad (7.2)$$

Dosazeno do vzorce (7.2):

$$f_{cd} = 20 / 1,5 = 13,333 \text{ MPa}$$

kde $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ charakteristická pevnost betonu v tlaku
 $\gamma_c = 1,5$ dílčí součinitel bezpečnosti pro beton

návrhová pevnost betonu v tahu f_{ctm}

$$f_{ctd} = f_{ctm} / \gamma_c \quad (7.3)$$

Dosazeno do vzorce (7.3):

$$f_{ctd} = 2,2 / 1,5 = 1,467 \text{ MPa}$$

kde $f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$ střední hodnota pevnosti betonu v tahu
 $\gamma_c = 1,5$ dílčí součinitel spolehlivosti betonu

Posouzení maximálních výsledků napětí a průhybů jsou provedeny v následujících kapitolách. Mezní hodnoty napětí jsou návrhové pevnosti materiálu spočteny ze vztahů (7.1) – (7.3). Doporučené mezní hodnoty průhybů jsou převzaty z platných norem.

7.1 Nosník profilu I 160

Napětí na MSÚ

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS $\sigma = 130,000 \text{ MPa}$

Mez kluzu oceli: $f_{yd} = 235,000 \text{ MPa}$

$$\sigma \leq f_{yd}$$

$$\underline{130,000 \text{ MPa} \leq 235,000 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Průhyb na MSP

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $w_A = 2,927 \text{ mm}$

Doporučené hodnoty: $w = \frac{L}{250} = \frac{4240}{250} = 16,960 \text{ mm}$

kde $L = 4,240 \text{ m} = 4240 \text{ mm}$ je rozpětí nosníku.

$$w_A \leq w$$

$$\underline{2,927 \text{ mm} \leq 16,960 \text{ mm}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Průhyb na MSP se zohledněním postupu montáže

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $w_A = 6,438 \text{ mm}$

Doporučené hodnoty: $w = \frac{L}{400} = \frac{4240}{250} = 16,960 \text{ mm}$

kde $L = 4,240 \text{ m} = 4240 \text{ mm}$ je rozpětí nosníku.

$$w_A \leq w$$

$$\underline{6,438 \text{ mm} \leq 16,960 \text{ mm}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.2 Průvlak profilu 2x U 160

Napětí na MSÚ

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $\sigma = 97,900 \text{ MPa}$

Mez kluzu oceli: $f_{yd} = 235,000 \text{ MPa}$

$$\sigma \leq f_{yd}$$

$$\underline{97,900 \text{ MPa} \leq 235,000 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Průhyb na MSP

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $w_A = 2,378 \text{ mm}$

Doporučené hodnoty: $w = \frac{L}{400} = \frac{5200}{400} = 13,000 \text{ mm}$

kde $L = 5,200 \text{ m} = 5200 \text{ mm}$ je rozpětí průvlaku.

$$w_A \leq w$$

$$\underline{2,378 \text{ mm} \leq 13,000 \text{ mm}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.3 Betonová deska

Napětí na MSÚ

- beton v tlaku

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $\sigma = 3,270 \text{ MPa}$

Pevnost betonu v tlaku: $f_{cd} = 13,333 \text{ MPa}$

$$\sigma \leq f_{cd}$$

$$\underline{3,270 \text{ MPa} \leq 13,333 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

- beton v tahu

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS: $\sigma = 1,380 \text{ MPa}$

Pevnost betonu v tlaku: $f_{ctd} = 1,467 \text{ MPa}$

$$\sigma \leq f_{ctd}$$

$$\underline{1,380 \text{ MPa} \leq 1,467 \text{ MPa}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Průhyb na MSP

Hodnoty získané pomocí programu ANSYS:

$$w_A = 2,927 \text{ mm}$$

Doporučené hodnoty:

$$w = \frac{L}{500} = \frac{4240}{500} = 8,480 \text{ mm}$$

kde $L = 4,240 \text{ m} = 4240 \text{ mm}$

je rozpětí betonové desky.

$$w_A \leq w$$

$$\underline{2,927 \text{ mm} \leq 8,480 \text{ mm}}$$

VYHOVUJE

8 ZÁVĚR

Vytvořený konečně-prvkový model je porovnán ve dvou případech s ručním statickým výpočtem.

V první části byl model zatížen pouze vlastní tíhou konstrukce s cílem zjistit správnost modelu.

V druhé části jsou porovnány dva typy zadávání zatížení, a to zatížení tlakem na plochy prvků a zatížení uzlové. Tyto druhy zatížení jsou podle stejných maximálních výsledků a velmi podobných průběhů napětí na konstrukci vyhodnoceny jako rovnocenné. Na celý model konstrukce bylo použito zatížení silami do uzlů prvků v ose ocelových nosníků.

Dále byly porovnány způsoby uložení konstrukce. V této práci se uvažuje typ uložení, který nejvíce odpovídá skutečnosti (kapitola 5.1). V příloze č. VII je zobrazen a popsán model s uvažováním prostého bodového uložení.

Získané maximální hodnoty napětí a deformací v programu ANSYS jsou v závěru práce posouzeny s mezními hodnotami uvedené v platných normách. Výsledky prokázaly, že jednotlivé části stropní konstrukce vyhoví na mezní stav únosnosti i na mezní stav použitelnosti. Tímto dílčím posouzením lze považovat celou stropní konstrukci za únosnou pro daný typ zatížení a vyhovující i z hlediska použitelnosti.

SEZNAM ZKRATEK

ρ	... objemová hmotnost
A	... obsah plochy celého průřezu [mm^2]
$I_y; I_z$	... moment setrvačnosti průřezu k ose y; z [mm^4]
$W_y; W_z$	... průřezový modul k ose y; z [mm^3]
$\gamma_{G,j}$	... součinitel stálého zatížení
$\gamma_{q,k}$	... součinitel proměnného zatížení
$\sum g_{0k}$	... zatížení stálé – vlastní tíha stropní konstrukce
$\sum g_{1k}$	... zatížení ostatní stálé - od podlahy
g_{2k}	... zatížení ostatní stálé - podhled
q_k	... zatížení proměnné - užitné
g_{MSU}	... zatížení pro mezní stav únosnosti
g_{MSP}	... zatížení pro mezní stav použitelnosti
$\alpha_{ij}; \beta_{ij}$	... deformační úhly
φ_{ij}	... skutečná pootočení
M_a, M_b, M_c	... nadpodporové momenty
E	... modul pružnosti oceli
I	... moment setrvačnosti průřezu
EI	... ohybová tuhost
R_{ya}	... svislá reakce v podpoře „a“
R_{yb}	... svislá reakce v podpoře „b“
R_{yc}	... svislá reakce v podpoře „c“
h	... celková výška průřezu
h_c	... náhradní ekvivalentní tloušťka betonové desky
h_a	... výška ocelového nosníku
h_m	... vzdálenost od hrany betonové desky k ocelovému nosníku
c_c	... vzdálenost od osy y k těžišti betonové desky
c_a	... vzdálenost od osy y k těžišti ocelového nosníku
T_c	... těžiště betonové desky
T_a	... těžiště ocelového nosníku
E_a	... Youngův modul pružnosti oceli [Pa]
E_c	... Youngův modul pružnosti betonu [Pa]

n	...pracovní součinitel
A_a	... plocha ocelového průřezu [mm ²]
A_c	... plocha betonového průřezu [mm ²]
A_i	... plocha ideálního průřezu [mm ²]
I_i	... moment setrvačnosti ideálního průřezu
I_a	... moment setrvačnosti ocelového průřezu
I_c	... moment setrvačnosti betonového průřezu
W_i	... průřezový modul ke spodním vláknům [mm ³]
z_d	... vzdálenost od těžiště ke spodním vláknům [m]
σ	... napětí v dolních vláknech nosníku
σ_{ANSYS}	... hodnota napětí odečtená z ANSYSu
$\nu = PRXY$	... Poissonův součinitel
φ	... součinitel dotvarování betonu
E_{cm}	... sečnový modul pružnosti betonu C20/25 [GPa]
$E_{c,eff}$	... efektivní modul pružnosti betonu
w	... průhyb
f_{yd}	... návrhová pevnost oceli
f_y	... mez kluzu oceli
γ_M	... dílčí součinitel spolehlivosti oceli
f_{ck}	... charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{cd}	... návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ctm}	... střední hodnota pevnosti betonu v tahu
f_{ctd}	... návrhová pevnost betonu v tahu
γ_c	... dílčí součinitel spolehlivosti betonu

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Lubomír Zlámal, edit, Brno 2005 Pozemní stavitelství I – Modul 2 – Vodorovné konstrukce]
- [2] Modré akustické systémy – Příčky, předstěny a stropy Saint-Gobain Construction Products CZ a.s., Divize Rigips, červenec 2011
http://www.rigips.cz/data/USR_001_PDF/Modre_akusticke_systemy_2011.pdf
- [3] ČSN EN 1990. Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2003.)
- [4] ČSN EN 1991-1-1. Zatížení konstrukcí: Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [5] ČSN EN 1992-1-1. Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-1: *Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [6] ČSN EN 1993-1-1 (731401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-1: *Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [7] ČSN EN 1994-1-1 Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí: Část 1-1: *Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [8] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelobetonové spřažené konstrukce*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 152 s. ISBN 978-80-01-04298-4.
- [9] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce 10: ocelobetonové konstrukce*. 2. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 1999, 131 s. ISBN 80-010-1743-5.

- [10] Release 13.0 Documentation for ANSYS

- [11] HOŘEJŠÍ, Jiří a Jan ŠAFKA. *Statické tabulky: Technický průvodce 51*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987

- [12] KOZÁK, Jiří. *Spriahnuté a kombinované ocelobetónové konštrukcie pozemných stavieb*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2000. ISBN 80-889-0532-X.

PŘÍLOHY

Seznam příloh:

Příloha č. I - Seznam souřadnic všech bodů I 160

Příloha č. II - Seznam souřadnic všech bodů profilu 2x U 160

Příloha č. III - Jednotlivé prvky na celém modelu

Příloha č. IV - Umístění globálního souřadnicového systému

Příloha č. V - Ruční statický výpočet vnitřních sil na spojitém nosníku

Příloha č. VI - Výkres stropu

Příloha č. VII - Uvažovaný způsob uložení modelu

Příloha č. VIII - Zatěžovací schéma při montáži