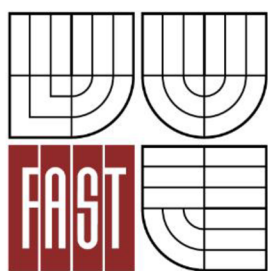




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
Institute of Structural Mechanics

VÝPOČET STROPNEJ KONŠTRUKCIE METÓDOU KONEČNÝCH PRVKOV POMOCOU PROGRAMU ANSYS

CALCULATION OF CEILING STRUCTURE BY ANSYS FEM PROGRAM

DIPLOMOVÁ PRÁCA

MASTER'S THESIS

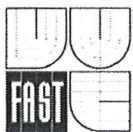
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN JURÁŇ

VEDÚCI PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JARMILA KŘIVÁKOVÁ, CSc.

BRNO 2012



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 3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Juráš Martin


Název Výpočet stropní konstrukce metodou konečných prvků pomocí programu ANSYS

Vedoucí diplomové práce Ing. Jarmila Křiváková, CSc.

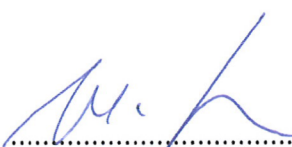
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2011

Datum odevzdání diplomové práce 13. 1. 2012

V Brně dne 31. 3. 2011


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




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

Podklady a literatura

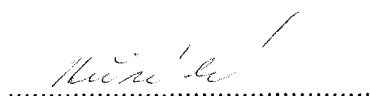
- Kolář, V., Němec, I., Kanický, V., FEM - Principy a praxe metody konečných prvků. Vydavatelství Computer Press, 1997
- Teory Reference - Ansys rerase 11.0
- ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí
- ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí

Zásady pro vypracování

Vytvořit konečně prvkový model zadané stropní konstrukce pro výpočet programem ANSYS. Provést výpočet této konstrukce, vybrat nejvíce namáhané oblasti a navrhnout vhodné úpravy stropní konstrukce tak, aby vyhověla požadavkům na ni kladeným.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací



Ing. Jarmila Křiváková, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Vytvoriť konečne prvkový model stropnej konštrukcie pre výpočet normálového napätia za ohybu programom ANSYS. Vyhodnotiť vypočítané napätia a priehyby a porovnať s výsledkami jednoduchého ručného výpočtu. Extrémy týchto veličín porovnať s normami predpísanými hodnotami.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

ANSYS, konečný prvok, oceľový I profil, normálové napätie za ohybu, zaťaženie, podoprenie, priehyb

ABSTRACT

Create finite elements model (FEM) for solution direct stress of bend by ANSYS. Analyze calculated stress and deflection, compare with results by simple manually-operated calculation. Extremes of these quantities compare with results by encoded rule.

KEYWORDS

ANSYS, finite element, steel I profile, carrier steel grid, direct stress of bend, load, supporting, deflection

Bibliografická citácia VŠKP

JURÁŇ, Martin. *Výpočet stropnej konštrukcie metódou konečných prvkov pomocou programu ANSYS*. Brno, 2011. 71 s., 11 s. príl. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedúci práce Ing. Jarmila Kriváková, CSc.

Prehlásenie o originalite

Prehlasujem, že túto diplomovú prácu som vypracoval samostatne s pomocou svojich vedomostí a prameňov, ktoré sú v práci uvedené.

Bc. Martin Juráň
Brno, 2012

Na tomto mieste by som rád poďakoval všetkým členom Ústavu stavebnej mechaniky, ktorí sa podieľali na vzniku tejto práce, menovite Ing. Jarmile Křivákovéj, Csc. a Ing. Aleši Nevařilovi.

OBSAH

Zoznam ilustrácií a tabuliek	2
Zoznam skratiek a značiek	5
1 Úvod a cieľ práce	7
2 Popis a výkresy existujúcej stropnej konštrukcie	9
3 Potrebné prierezové charakteristiky	11
4 Materiálové vlastnosti	12
5 Výpočet zaťaženia	13
6 Výpočet priehybu	14
7 Výpočet napätia	17
8 Posúdenie momentovej únosnosti	18
9 Popis výpočtového modelu v programe ANSYS	19
9.1 Popis celej modelovanej konštrukcie	19
9.2 Typ a popis použitých prvkov	34
9.3 Zadanie materiálových vlastností	38
9.4 Uloženie	40
9.5 Zaťaženie	45
9.6 Výpočet	48
10 Výsledky	49
10.1 Normálové napätie	49
10.2 Priehyby	51
11 Návrh vhodného podoprenia	54
12 Záver	65
12.1 Porovnanie normálových napätí vypočítaných ručným výpočtom a programom ANSYS	65
12.2 Porovnanie priehybov vypočítaných ručným výpočtom a programom ANSYS	65
12.3 Vyhodnotenie výsledkov	65
12.4 Záver	66
13 Použité zdroje	67
14 Prílohy	68

ZOZNAM ILUSTRÁCIÍ A TABULIEK

- Obrázok č. 2.1** – skladba stropnej konštrukcie vrátane popisu
- Obrázok č. 2.2** – skladba stropnej konštrukcie vrátane popisu
- Obrázok č. 2.3** – schéma pôdorysu riešenej stropnej konštrukcie
- Obrázok č. 3.1** – prierez I – profilu č. 180
- Obrázok č. 6.1** – statická schéma nosníka
- Obrázok č. 9.1** – prierez I – profilu č. 180
- Obrázok č. 9.2** – definované body obrysu prierezu
- Obrázok č. 9.3** – deliace línie prierezu
- Obrázok č. 9.4** – rozdelenie prierezu na parciálne plochy
- Obrázok č. 9.5** – rozdelenie plochy prierezu na plošné elementy
- Obrázok č. 9.6** – oceľový nosník dĺžky 4 m – rozdelenie na prvky
- Obrázok č. 9.7** – detail na stredovú čiaru trapézového plechu uloženého na I profile
- Obrázok č. 9.8** – model trapézového plechu na oceľovom nosníku, rozpätie 1,2m
- Obrázok č. 9.9** – modelovanie výplne trapézového plechu betónom
- Obrázok č. 9.10** – hraničné uzly betónovej vrstvy
- Obrázok č. 9.11** – rozdelenie nosníka a betónovej vrstvy na elementy
- Obrázok č. 9.12** – oceľový nosník s trapézovým plechom a vrstvou betónu
- Obrázok č. 9.13** – detail náväznosti jednotlivých uzlov čela I profilu, trapézového plechu a betónovej vrstvy
- Obrázok č. 9.14** – model KARI siete nad jedným nosníkom I 180
- Obrázok č. 9.15** – model KARI siete nad celou konštrukciou
- Obrázok č. 9.16** – celkový model stropnej konštrukcie
- Obrázok č. 9.17** – plošné prvky PLANE 42
- Obrázok č. 9.18** – objemové prvky typu SOLID 45
- Obrázok č. 9.19** – škrupinové prvky typu SHELL 63
- Obrázok č. 9.20** – tyčové prvky typu BEAM 44
- Obrázok č. 9.21** – geometria prvku typu MESH 200
- Obrázok č. 9.22** – geometria prvku typu PLANE 182
- Obrázok č. 9.23** – podoprenie nosných prvkov na ich koncoch (votknutie)
- Obrázok č. 9.24** – detail podoprenia nosných prvkov na ich koncoch (votknutie)
- Obrázok č. 9.25** – podoprenie nosných prvkov na ich koncoch (prosté uloženie)
- Obrázok č. 9.26** – detail podoprenia nosných prvkov na ich koncoch (prosté uloženie)

- Obrázok č. 9.27** – podoprenie krajných uzlov nosného I profilu (prosté uloženie)
- Obrázok č. 9.28** – zaťažovacie sily
- Obrázok č. 9.29** – plošné zaťaženie na celej stropnej konštrukcii
- Obrázok č. 10.1** – extrém normálového napätia v ohybe v smere globálnej osy z - nosník
- Obrázok č. 10.2** – extrém normálového napätia v ohybe v smere globálnej osy z - doska
- Obrázok č. 10.3** – priehyb stropnej konštrukcie – nosník
- Obrázok č. 10.4** – priehyb stropnej konštrukcie - doska
- Obrázok č. 10.5** – priehyb stropnej konštrukcie rez v smere osy x
- Obrázok č. 10.6** – priehyb stropnej konštrukcie pohľad axo
- Obrázok č. 11.1** – nákras umiestnenia pilierov podopierajúcich stropnú konštrukciu
- Obrázok č. 11.2** – podoprenie v krajných uzloch a v strede rozpätia (pilier)
- Obrázok č. 11.3** – podoprenie celého modelu s piliermi
- Obrázok č. 11.4** – detail podoprenia oceľových nosníkov piliermi
- Obrázok č. 11.5** – priehyby celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi
- Obrázok č. 11.6** – priehyby celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi, pohľad z boku
- Obrázok č. 11.7** – priehyby celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi, rez osou x
- Obrázok č. 11.8** – priehyby celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi, rez osou x axo
- Obrázok č. 11.9** – rez extrémom priehybu celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi
v smere osy z
- Obrázok č. 11.10** – extrém priehybu celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi v smere osy
z - nosníky
- Obrázok č. 11.11** – extrém priehybu celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi
- Obrázok č. 11.12** – extrém priehybu celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi – doska
- Obrázok č. 11.13** – priebeh normálového napätia v ohybe v smere globálnej osy z
- Obrázok č. 11.14** – extrém normálového napätia v ohybe celej stropnej konštrukcie podopretej
piliermi - nosníky
- Obrázok č. 11.15** – extrém normálového napätia v ohybe celej stropnej konštrukcie podopretej
piliermi
- Obrázok č. 11.16** – extrém normálového napätia v ohybe celej stropnej konštrukcie podopretej
piliermi – doska
- Obrázok č. 11.17** – normálové napätie v ohybe celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi –
doska

Tabuľka č. 3.1 – rozmery I-profilu č. 180

Tabuľka č. 3.2 – prierezové charakteristiky

Tabuľka č. 3.3 – prierezové charakteristiky – pokračovanie

Tabuľka č. 10.1 – porovnanie normálových napätí z ručného výpočtu a z programu ANSYS

Tabuľka č. 12.1 – porovnanie normálových napätí z ručného výpočtu a z programu ANSYS

Tabuľka č. 12.2 - porovnanie priehybov vypočítaných ručným výpočtom a programom ANSYS

Tabuľka č. 12.3 - porovnanie najvyšších hodnôt normálových napätí za ohybu vypočítaných programom ANSYS s normou stanovenými hodnotami

Tabuľka č. 12.4 - porovnanie najvyšších hodnôt priehybov podľa programu ANSYS a s normou stanovenými hodnotami

ZOZNAM SKRATIEK A ZNAČIEK

h – výška ocelového profilu

b – šírka ocelového profilu

t_1 – hrúbka stojiny ocelového profilu

t_2 – hrúbka pásnice ocelového profilu vo vzdialenosti $b/4$ od hrany profilu

r_1 – polomer zaoblenia I profilu

r_2 – polomer zaoblenia I profilu

O – plocha povrchu ocelového I profilu

A – plocha I profilu

m – hmotnosť

I_y – moment zotrvačnosti prierezu k ose y

I_z – moment zotrvačnosti prierezu k ose z

W_y – prierezový modul k ose y

W_z – prierezový modul k ose z

$W_{y,pl}$ – plastický prierezový modul k ose y

$W_{z,pl}$ – plastický prierezový modul k ose z

S_y – statický moment k ose y

S_z – statický moment k ose z

σ – normálové napätie v ohybe

N – normálové sily

M – ohybový moment

E – Yangov modul

q – hodnota zaťaženia pôsobiaca na stropnú konštrukciu

l – dĺžka nosníka

A_x – reakcia na prostom nosníku v bode A v smere osy x

A_y – reakcia na prostom nosníku v bode A v smere osy y

B_y – reakcia na prostom nosníku v bode B v smere osy z

Q – náhradné bremeno za spojité zaťaženie

c_1, c_2 – integračné konštanty

w – priehyb

ν – Poissonov súčiniteľ

M_{Sd} – návrhový ohybový moment

$M_{c,Rd}$ – (prostá) momentová únosnosť

q^{1D} – líniové zaťaženie

q^{2D} – plošné zaťaženie

Príloha č. 1 - súradnice bodov čela ocelového I profilu 180

Príloha č. 2 - prepočet zaťaženia na uzly

Príloha č. 3 - prepočet líniového zaťaženia na plošné

Príloha č. 4 - hodnoty priehybov a napätí nepodopretej a podopretej stropnej konštrukcie pri použití prvku PLANE 182 a moderných osemuzlových prvkov

Príloha č. 5 - výkres stropnej konštrukcie

Príloha č. 6 - výpočet rezervy zaťaženia

1 ÚVOD

Práca je zameraná na statický výpočet stropnej konštrukcie metódou konečných prvkov programom Ansys. Tá bude v budúcnosti využiteľná na podkrovnú vstavbu. Zmienená stropná konštrukcia je súčasťou stavebných úprav obytného domu s priestormi pre drobné podnikanie pozostávajúca zo suterénu, 1. nadzemného a 2. nadzemného podlažia. Konštrukcia vrátane obvodových stien 2. nadzemného podlažia bude posudzovaná na medzný stav použiteľnosti. Táto konštrukcia bude posudzovaná na náhodné zaťaženie od kancelárií. Existujúce schodisko bude vybúrané a bude realizované nové.

Zastropenie bude vykonané z oceľových valcovaných nosníkov I 180 v osových vzdialenostiach 1200 mm, na nich bude položený trapézový plech 50/0,8 mm (výška vlny 50 mm, hrúbka plechu 0,8 mm). Plech bude vyplnený betónom s nadbetónovaním 40 mm a s KARI sieťou 200/200 mm.

Z projektovej dokumentácie boli prevzaté potrebné údaje a charakteristiky celej stropnej konštrukcie, t. j. rozmery, materiál, skladba nosnej konštrukcie a jej uloženie a podoprenie, druh, rozmery a materiál častí stropnej konštrukcie a ďalšie skutočnosti potrebné pre výpočet. Údaje obsiahnuté v uvedenej projektovej dokumentácii boli použité pre stanovenie stáleho zaťaženia uvedeného stropu. Náhodné zaťaženie bolo špecifikované účelom stavby.

Pre výpočet napätia a deformácií nosného stropného roštu tvoreného z valcovaných I profilov programom ANSYS bol vytvorený konečne prvkový model. Tvar, rozmery a materiálové vlastnosti valcovaných profilov boli prevzaté z platných tabuliek. MKP – model stropného roštu bol zaťažený vypočítaným zaťažením. Jeho uloženie bolo modelované tak, aby čo najpresnejšie simulovalo skutočné uloženie konštrukcie.

Samotný výpočet bol prevedený metódou konečných prvkov a síce jej statickou analýzou. Získané výsledky, t. j. hodnoty normálových napätí a hodnoty priehybov vo vybraných prierezoch boli kontrolované jednoduchým ručným statickým výpočtom.

Záver práce obsahuje vyhodnotenie výsledkov vypočítaných programom ANSYS a jednoduchým ručným výpočtom a porovnanie dosiahnutých hodnôt normálového napätia pri ohybe a priehybov s hodnotami stanovenými platnými normami.

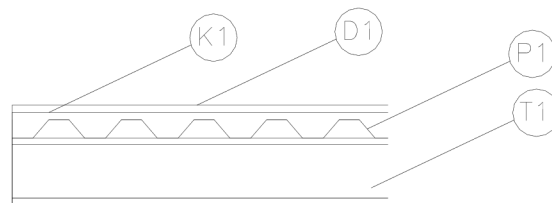
CIEĽ PRÁCE

Moderné metódy výpočtu konštrukcií metódou konečných prvkov pomocou programových súborov, používaných pre statickú analýzu konštrukcií, umožňujú získať presné rozloženie napätia a deformácií v riešenej konštrukcii. Programový súbor ANSYS patrí k vhodným a veľmi rozšíreným softwarovým produktom používaným k statickým výpočtom.

Cieľom práce bolo vytvoriť konečne prvkový model posudzovanej stropnej existujúcej konštrukcie, tvorenej oceľovými valcovanými nosníkmi, trapézovým plechom a betónovou vrstvou vystuženou KARI sieťou. Výpočtom preveriť správnosť a vhodnosť vytvoreného MKP – modelu pre riešenie zadanej problematiky v danom programovom súbore. Výsledky získané výpočtom pomocou programu ANSYS použiť pre vyhodnotenie extrémov normálového napätia pri ohybe a extrémov priehybu. Porovnať ich s prípustnými hodnotami podľa súčasne platných noriem a na ich základe potom stanoviť možnosti ďalšieho použitia konštrukcie a rozhodnúť o možnostiach ich ďalšieho zaťažovania.

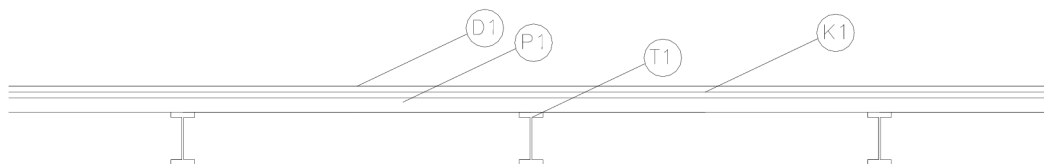
2 POPIS A VÝKRESY EXISTUJÚCEJ STROPNEJ KONŠTRUKCIE

Riešená stropná konštrukcia slúži k zastropeniu prízemí rodinného domu s plochou 9,95 x 4,0 m. Po celom obvode je uložená na obvodových stenách cez železobetónový pomúrnicový veniec. Hlavnou nosnou časťou popisovanej stropnej konštrukcie sú oceľové I profily (I 180). Slúžia ako podporná konštrukcia pre stropnú dosku tvorenú trapézovým plechom a betónom vystuženým KARI sieťou. Skladba stropnej konštrukcie je na obrázku 2.1 a 2.2.



K1 – KARI sieť , D1 – betónová doska , P1 – trapézový plech , T1 – oceľový nosník I 180

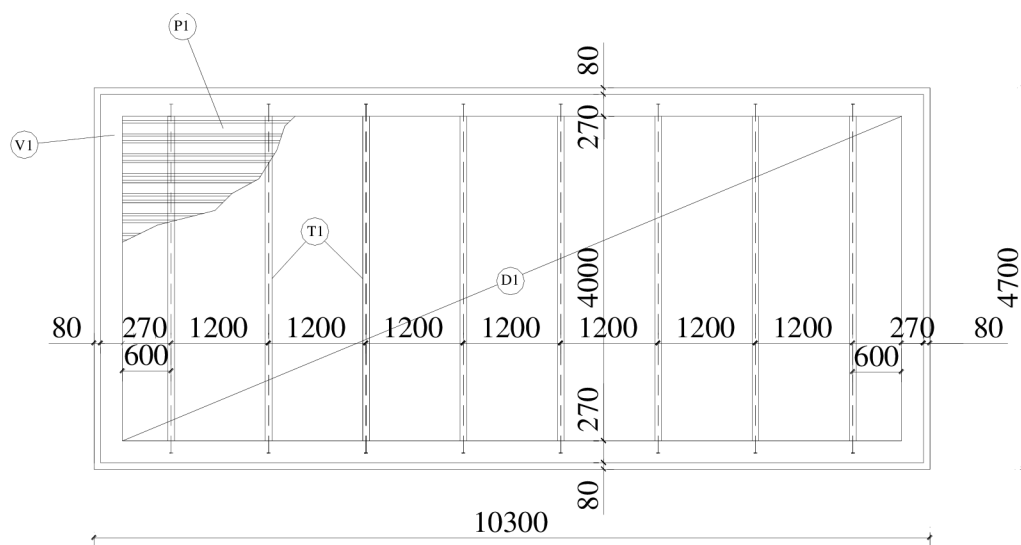
Obrázok č. 2.1 – skladba stropnej konštrukcie vrátane popisu



K1 – KARI sieť , D1 – betónová doska , P1 – trapézový plech , T1 – oceľový nosník I 180

Obrázok č. 2.2 – skladba stropnej konštrukcie vrátane popisu

Schéma pôdorysu stropnej konštrukcie je na obrázku 2.3



D1 – betónová doska , P1 – trapézový plech , T1 – oceľový nosník I 180 , V1 - veniec

Obrázok č. 2.3 – schéma pôdorysu riešenej stropnej konštrukcie

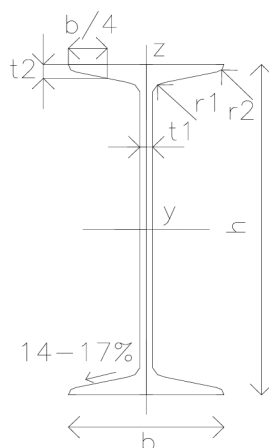
3 POTREBNÉ PRIEREZOVÉ CHARAKTERISTIKY

Pre účely statického výpočtu boli z tabuliek prevzaté nasledujúce hodnoty:

I – prierez č. 180: hmotnosť: 21 kg/m

Tabuľka č. 3.1 – rozmery I-profilu č. 180

označenie prierezu	menovité rozmery (mm)						plocha povrchu O
	h	b	t ₁	t ₂	r ₁	r ₂	m ² .1/m
180	180	82	6,9	10,4	6,9	4,1	0,64



Obrázok č. 3.1 – prierez I – profilu č.180

Tabuľka č. 3.2 – prierezové charakteristiky

statické veličiny	A	I _y	W _y	I _z	W _z
označenie prierezu	mm ²	mm ⁴	mm ³	mm ⁴	mm ³
180	2,79	14,4	160	0,812	19,8
násobiteľ	10 ³	10 ³ · 10 ³	10 ³	10 ³ · 10 ³	10 ³

Tabuľka č. 3.3 – prierezové charakteristiky – pokračovanie

statické veličiny	W _{y,pl}	S _y	S _x	W _{z,pl}
označenie prierezu	mm ³	mm ³	mm ³	mm ³
180	187	93,3	1,64	32,7
násobiteľ	10 ³	10 ³	10 ³	10 ³

4 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI

Pre statický výpočet sú nutné hodnoty tiaže a objemovej hmotnosti všetkých častí stropnej konštrukcie a to sú:

- oceľový valcovaný nosník
- trapézový plech
- konštrukčný betón
- KARI sieť

5 VÝPOČET ZAŤAŽENIA

Pozostáva z výpočtu objemu príslušnej vrstvy na jeden meter bežný a následným prenasobením tiažou.

VI. Tiaž : (I č. 180) : 219 N/mb = 0,22 kN/mb

Trapézový plech : (VSŽ 1100) : 116,28 N/mb = 0,116 kN/mb * 1,2 = 0,1395 kN/mb

Betón : ((0,09 * 1,2 * 1,0) – 0,0236) * 23000 = 1941,2 * 1,3 = 2523,56 N/mb =
= 2,52356 kN/mb

Výstuž : 47,4 N/mb = 0,0474 kN/mb

Podlaha : 910 * 1,3 = 1183 N/mb = 1,183 kN/mb

Σ 4,1135 kN/mb

Užitkové zaťaženie od kancelárií : 2,5 kN/mb

Σ 6,6135 kN/mb

Výpočet zaťaženia bol vykonaný pre všetky časti stropnej konštrukcie, teda betón, KARI sieť, trapézový plech aj podlahu. K zaťaženiu vyššie popísaných vrstiev bola pripočítaná aj vlastná tiaž oceľového I-profilu a to približne 0,22 kN/mb a hodnota užitkové zaťaženia od kancelárií 2,5 kN/mb. Výpočet zaťaženia bol vykonaný podľa normy ČSN 73 00 35 “ Zatížení stavebních konstrukcí “.

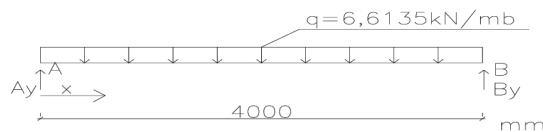
6 VÝPOČET PRIEHYBU

Priehyb bol určený podľa normy ČSN 73 14 01 “ Navrhování ocelových konstrukcí “. Pre ručný výpočet možno pri nosníku stáleho prierezu ($EI = \text{konšt.}$) s výhodou použiť Clebschovu metódu, ktorá spočíva v takej úprave integračného postupu, pri ktorej vystupujú vždy iba dve integračné konštanty. Výpočet bol vykonaný na prostom nosníku s plným rovnomerným zaťažením.

I č. 180 ako prostý nosník:

Maximálny ohybový moment:

$$M_{\max} = 1/8 * q * l^2 = 1/8 * 6,6135 * 4^2 = 13,227 \text{ kNm} \quad (6.1)$$



Obrázok č. 6.1 – *statická schéma nosníka*

Maximálne normálové napätie v ohybe:

$$\sigma_{\max} = M_{\max}/W = 13,227 * 10^6 / 161 * 10^3 = 82,16 \text{ MPa} \quad (6.2)$$

(dolné vlákna)

Priehyb v strede nosníka:

Ohybový moment vo všeobecnom priereze X:

$$M_x = 13,227 * x - 6,6135 * x^2/2$$

Výpočet reakcií na prostom nosníku:

V prvom kroku si zvolím konvenciu síl (kladný smer síl a momentu)

Z podmienky rovnováhy : $\sum F_{ix} = 0 \Rightarrow$ reakcia v smere osi x a to : $A_x = 0$ kN

$\sum F_{iy} = 0$ a $\sum M_{ai} = 0$ potom reakcie v smere osi y a to:

$-A_y + Q - B_y = 0$, kde Q – náhradné bremeno za spojité zaťaženie,

$$Q = 4 * 6,6135 = 26,454 \text{ kN}$$

$$-A_y + 26,454 - B_y = 0$$

$$-Q * 2 + B_y * 4 = 0$$

Reakcie: $A_y = B_y = 13,227$ kN

Diferenciálna rovnica ohybovej čiary:

$$EIw'' = -13,227 * x + 6,6135 * x^2/2 \quad (6.3)$$

Túto rovnicu teraz postupne dvakrát integrujeme, pričom dodržiavame pravidlo, že pri integrovaní neodstraňujeme zátvorky u dvojčlenov ($x-a_j$) a nakladáme s nimi ako s nezávislou premennou.

$$EIw' = -13,227 * x^2/2 + 6,6135 * x^3/6 = -6,6135 * x^2 + 1,10225 * x^3 + c_1 \quad (6.4)$$

$$EIw = -6,6135 * x^3/3 + 1,10225 * x^4/4 + c_1 * x + c_2 = -2,2045 * x^3 + 0,2756 * x^4 + c_1 * x + c_2 \quad (6.5)$$

Z okrajových podmienok vypočítame integračné konštanty:

Okrajové podmienky: $w(x=0) = 0 \Rightarrow C_2 = 0$

$$w(x=4) = 0$$

Dosadením:

$$x = 4 \quad 0 = -70,5344 + 4 * C_1 \Rightarrow C_1 = 17,6336$$

Ohybovú tuhosť EI vyjadríme číselne v kNm², pretože sme ohybové momenty počítali v kNm.

$E = 210 * 10^6$ kPa – modul pružnosti oceli

$I = 17,1 * 10^{-6}$ mm⁴ – moment zotrvačnosti valcovaného profilu I 180

Takže ohybová tuhosť a jej prevrátená hodnota sú :

$$EI = 210 * 10^6 * 17,1 * 10^{-6} = 3591 \text{ kNm}^2$$

$$1/EI = 278,5 * 10^{-6} \text{ kN}^{-1}\text{m}^{-2}$$

Dosadením integračných konštánt a ohybovej tuhosti do rovnice dostávame rovnicu ohybovej čiary v metroch:

$$\text{Rovnica priehybu : } EIw = -2.2045 * x^3 + 0.2756 * x^4 + 17.6336 * x \quad (6.6)$$

Dosadením za $x = 2$ m: (nebezpečný prierez uprostred nosníka)

$$EIw (x = 2) = - 17.636 + 4.4096 + 35.2672 = 22.0408 \text{ kNm}^3$$

$$\text{Priehyb : } w (x = 2) = 22.0408 * 10^{12} / 2.1 * 10^5 * 17.1 * 10^6 = \mathbf{6.1378 \text{ mm}}$$

Kontrola :

$$EIw (x = 2) = 5/384 * q * l^4 = 5/384 * 6.6135 * 4^4 = 22.045 \text{ kNm}^3$$

$$w (x = 2) = 22.045 * 10^{12} / 2.1 * 10^5 * 17.1 * 10^6 = \mathbf{6.139 \text{ mm}}$$

Posúdenie priehybu podľa normy ČSN 73 14 01:

max normou prípustná hodnota priehybu :

$$w_{\text{max}} = (1 / 600) * l = 4000 / 600 = \mathbf{6.67 \text{ mm}} \quad (6.7)$$

$$w (x = 2) \leq w_{\text{max}}$$

$$\mathbf{6.1378 \text{ mm} \leq 6.67 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}}$$

7 VÝPOČET NAPÄTIA

Výpočet napätia v ohybe bol stanovený normou ČSN 73 14 01 “Navrhování ocelových konstrukcí”.

Napätie v ohybe sa podľa teórie pružnosti stanoví podľa vzťahu

$$\sigma = M / W \text{ (MPa)}$$

kde: σ – napätie v ohybe

M – ohybový moment pôsobiaci na nosník

W – prierezový modul, pre I 180 $W = 161 * 10^{-3} \text{ mm}^3$

Pre nosník dĺžky 4,0 m platí:

Max. ohybový moment:

$$M_{\max} = 1/8 * q * l^2 = 1/8 * 6,6135 * 4^2 = 13,227 \text{ kNm}$$

Max. normálové napätie v ohybe:

$$\sigma = M_{\max} / W = 13,227 * 10^6 / 161 * 10^3 = \mathbf{82,16 \text{ MPa}}$$

8 POSÚDENIE MOMENTOVEJ ÚNOSNOSTI

Pre posúdenie momentovej únosnosti bola použitá norma ČSN 73 14 01 “Navrhování ocelových konstrukcí“.

Prvky namáhané prostým ohybom sa posudzujú podľa podmienky:

$$M_{Sd} \leq M_{c,Rd} \quad (8.1)$$

kde: M_{Sd} – návrhový ohybový moment

$M_{c,Rd}$ – (prostá) momentová únosnosť, ktorá sa vypočíta

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} * f_y) / \gamma_{MO} \quad (8.2)$$

W_{pl} – plastický prierezový modul

f_y – medza klzu

γ_{MO} – dielči súčiniteľ spoľahlivosti materiálu nadobúdajúci hodnotu 1,15

Plastický prierezový modul vychádza z predpokladu plastifikácie celého prierezu, je daný

$$\text{vzťahom } W_{pl} = 2 * I_{S_y}^{A/2} \quad (8.3)$$

kde $I_{S_y}^{A/2} = \int_{A/2} z dA = (A/2) * z_c$ – statický moment polovice prierezu k ťažiskovej ose y – na dve rovnaké polovice je prierez rozdelený plastickou neutrálnou osou, ktorá je všeobecne rôzna od osy ťažiskovej.

I 180

$$W_{pl} = 187 * 10^3 \text{ mm}^3$$

S 235

Moment od vonkajšieho zaťaženia :

$$M_{sd} = 1/8 * q_{sd} * l^2 = 1/8 * 6,6135 * 4^2 = \mathbf{13,227 \text{ kNm}}$$

Plastický moment únosnosti :

$$M_{pl,Rd} = (W_{pl} * f_y) / \gamma_{MO} = (187 * 10^3 * 235) / 1,15 = 38,213 * 10^6 \text{ Nmm} = \mathbf{38,213 \text{ kNm}}$$

$$M_{sd} \leq M_{pl,Rd}$$

$$\mathbf{13,227 \text{ kNm} \leq 38,213 \text{ kNm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}}$$

9 POPIS VÝPOČTOVÉHO MODELU V PROGRAME ANSYS

9.1 Popis celej modelovanej konštrukcie

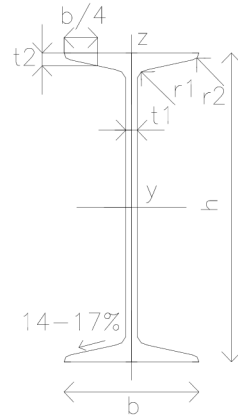
Pre posúdenie stropnej konštrukcie bola v ANSYSE vymodelovaná jej oceľová nosná časť, pozostávajúca z ôsmich nosníkov I 180 dĺžky 4m a ďalej boli vymodelované ďalšie vrstvy stropnej konštrukcie ako trapézový plech a betónová vrstva vystužená KARI sieťou.

Oceľové I profily boli v ANSYSE modelované tak, že sme z tabuliek prevzali presné rozmery a z nich bola vymodelovaná plocha prierezu nosníka. Prierezová plocha prvkov v ANSYSE bola vytvorená tak, že v globálnom súradnicovom systéme boli definované hraničné body a pomocou nich boli vytvorené hraničné krivky a čiary. Tieto potom vymedzili plochu modelovaného prierezu. Začiatok globálneho súradnicového systému bol položený do ľavého dolného bodu profilu I 180. Pred rozdelením akejkoľvek entity na prvky je nutné tieto prvky najskôr definovať. Pre vytvorenie elementov prierezu boli definované plošné elementy. Nebolo použité automatické generovanie prvkov, ale prierezová plocha bola rozdelená na dielčie plochy a následne na plošné prvky podľa obrázka 9.4 . Plošné prvky sú navrhnuté tak, aby rozdelili výšku prierezu na “8” vrstiev.

Postup modelovania prierezu:

1. Zadanie bodov v globálnom súradnicovom systéme.
2. Spojenie bodov do úsečiek (línii).
3. Pre vytvorenie častí kruhových oblúkov je treba definovať pomocný valcový súradnicový systém a v ňom vytvoriť časť kruhových oblúkov.
4. Nastavenie vhodného delenia (mesh) na línie.
5. Nameshovanie plošných oblastí príkazom main menu => preprocessor => meshing => mesh => areas => mapped => 3 or 4 sided

Modelovaná stropná konštrukcia bola v programe ANSYS použitá na výpočet napätia a priehybu a má pôdorysné rozmery 9,95 m x 4,0 m. Jedná sa o model oceľového stropného roštu nad rodinným domom.



Obrázok č. 9.1 – prierez I – profilu č. 180

Model bol v programe ANSYS vytvorený nasledujúcimi krokmi:

13. Najskôr bol vymodelovaný profil I 180, ktorý bol zadaný pomocou súradníc (rozmerov) profilu.

Rozmery I profilu:

$$h = 180,0 \text{ mm}$$

$$b = 82,0 \text{ mm}$$

$$t_1 = 6,9 \text{ mm}$$

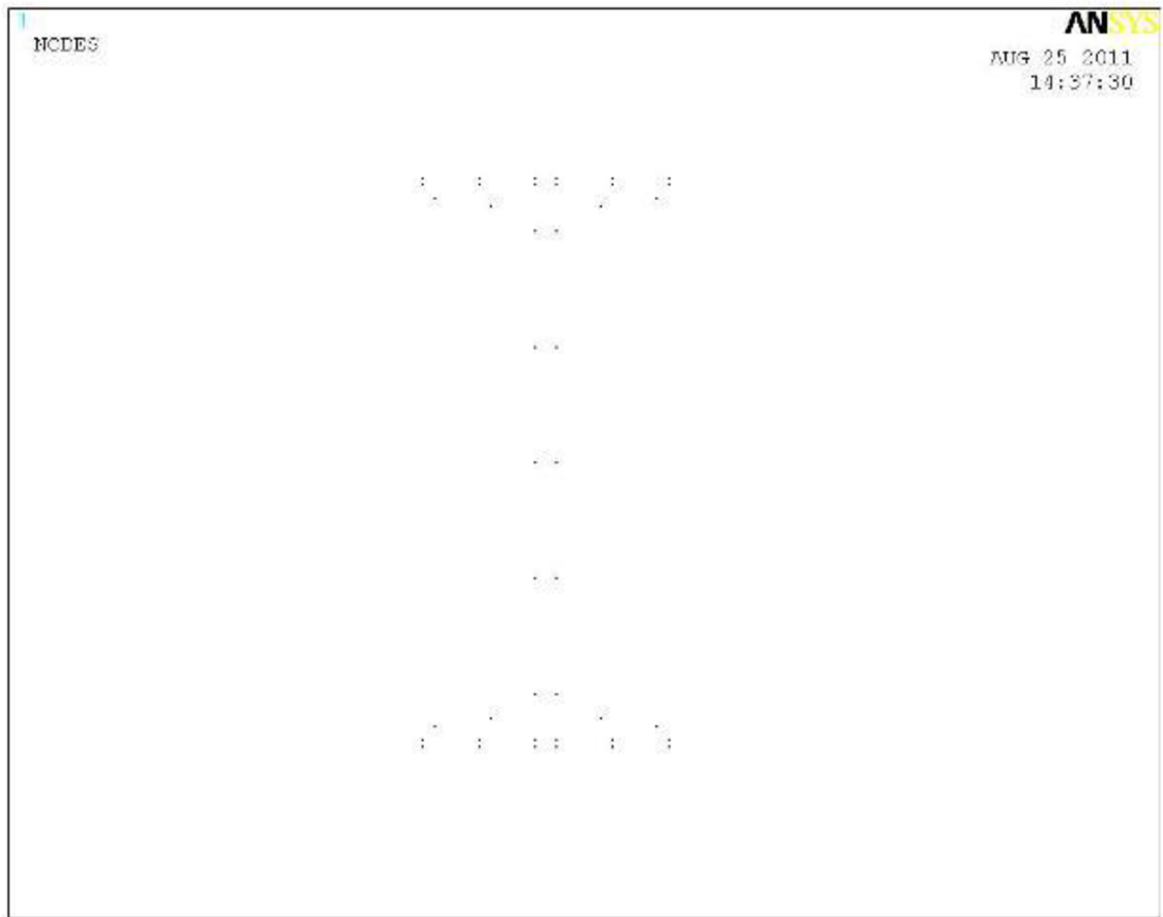
$$t_2 = 10,4 \text{ mm}$$

$$r_1 = 6,9 \text{ mm}$$

$$r_2 = 4,1 \text{ mm}$$

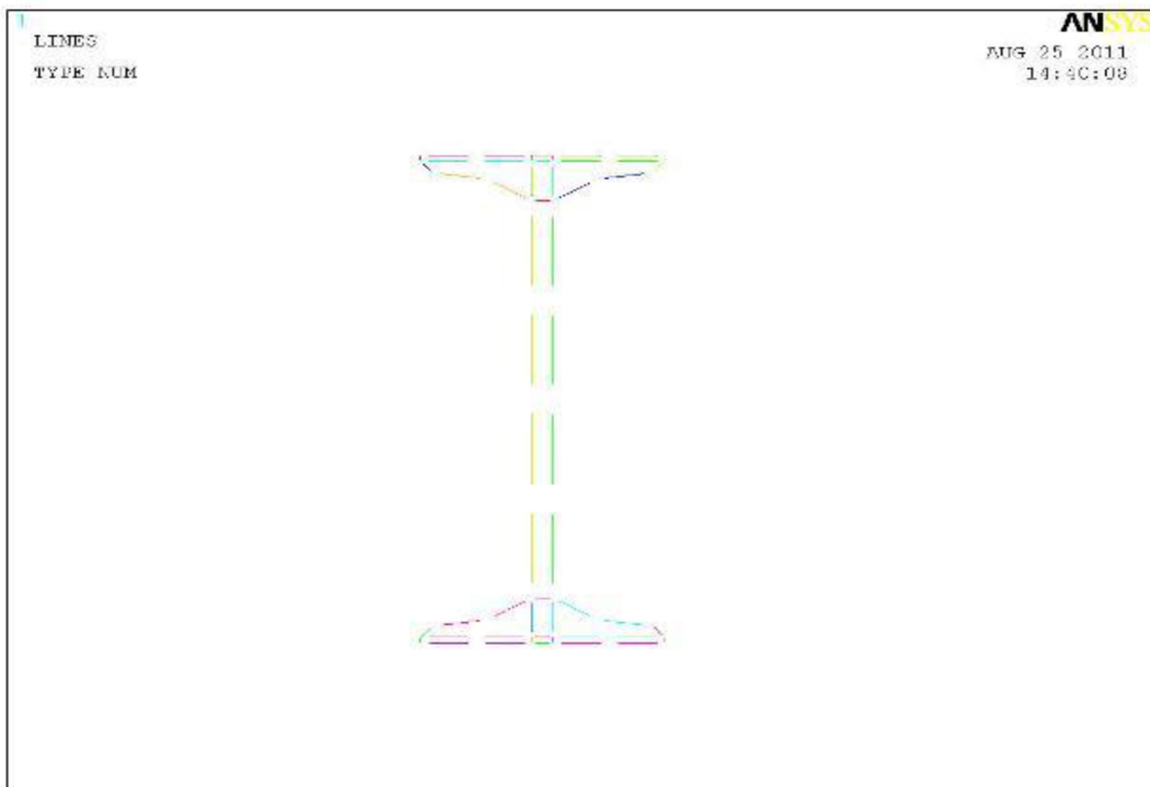
Zadávanie súradníc:

main menu => preprocessor => modeling => create => keypoints => in active cs a tu boli zadané súradnice jednotlivých bodov. Číslovanie a súradnice jednotlivých keypoints, vid' príloha č. 1.

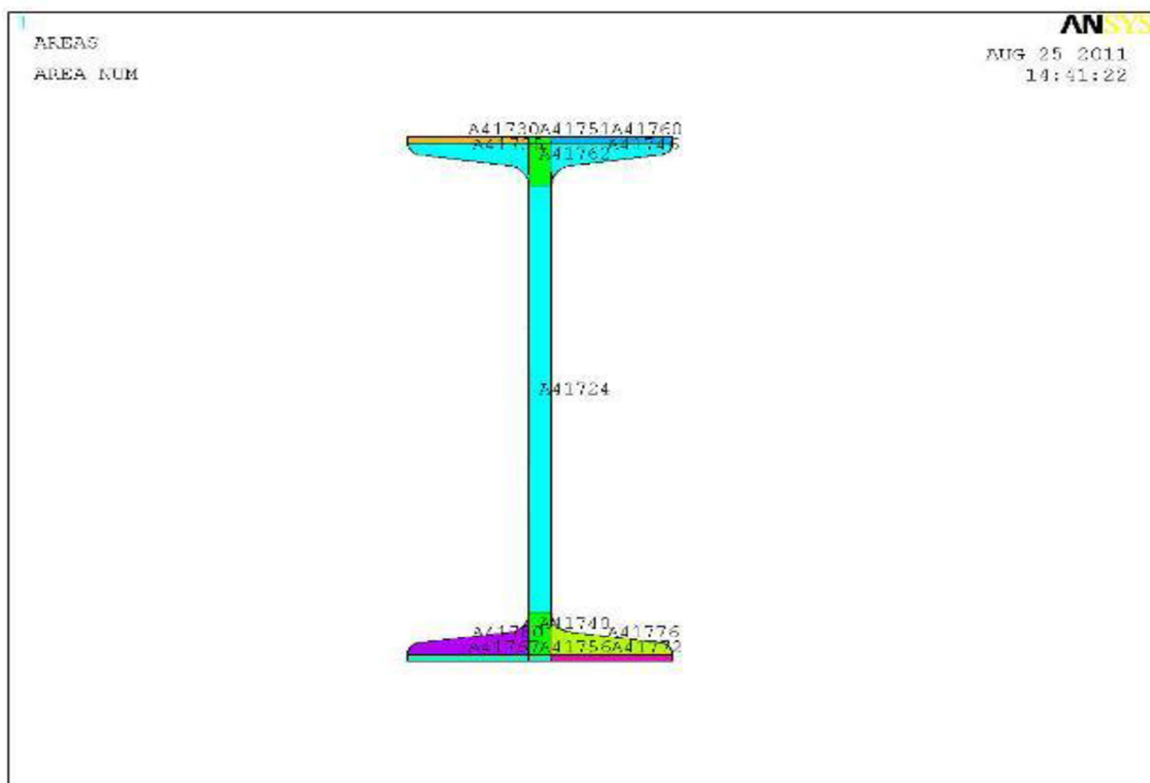


Obrázok č. 9.2 – *definované body obrysu prierezu*

14. V druhom kroku boli jednotlivé body spojené čiarami, main menu => preprocessor => modeling => create => lines => straight line
3. V predchádzajúcom kroku vytvorené čiary sú následne rozdelené na menšie celky, main menu => preprocessor => meshing => size controls => manual size => lines => picked lines, vybrali sme príslušné čiary a rozdelili na menšie časti.



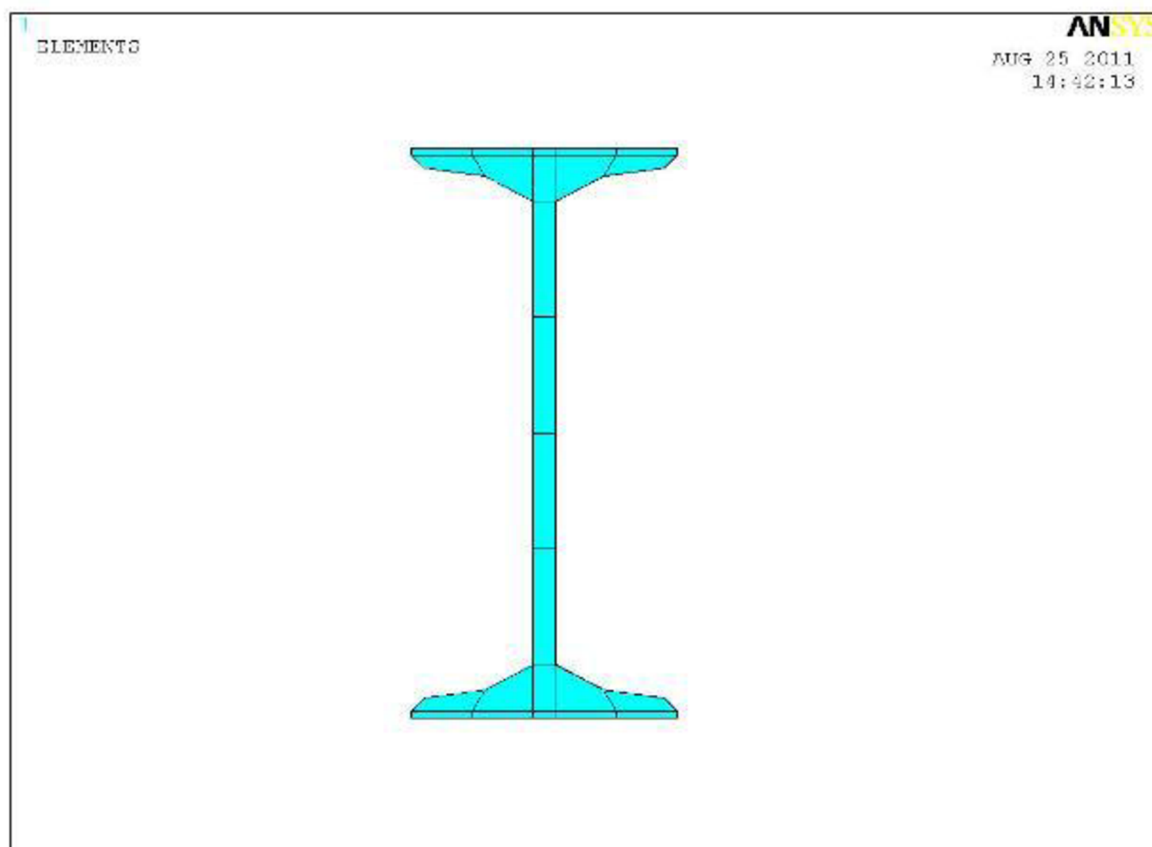
Obrázok č. 9.3 – *deliace línie prierezu*



Obrázok č. 9.4 – *rozdelenie prierezu na parciálne plochy*

4. Z čiar je následne potrebné vytvoriť plochy (areas),
main menu => preprocessor => modeling => create => areas => arbitrary => by lines,
vybraním jednotlivých čiar a následným potvrdením bola vytvorená plocha.
5. V ďalšom kroku je popísaná tvorba elementov,
main menu => preprocessor => meshing => mesh => areas => mapped 3 or 4 sided
6. Tvorba modelu samostatného I profilu (nosníka),
main menu => preprocessor => modeling => operate => extrude => areas => along
lines, vybrali sme jednotlivé plochy a čiary, podľa ktorých sa má plocha vysunúť.

Pred rozdelením akejkoľvek entity na prvky je nutné tieto prvky najskôr definovať. Pre vytvorenie elementov prierezu boli definované plošné prvky PLANE 42, prierezová plocha bola rozdelená na parciálne plochy a následne na plošné prvky. Plošné prvky sú navrhnuté tak, aby rozdelili výšku prierezu na “8” vrstiev.



Obrázok č. 9.5 – rozdelenie plochy prierezu na plošné elementy

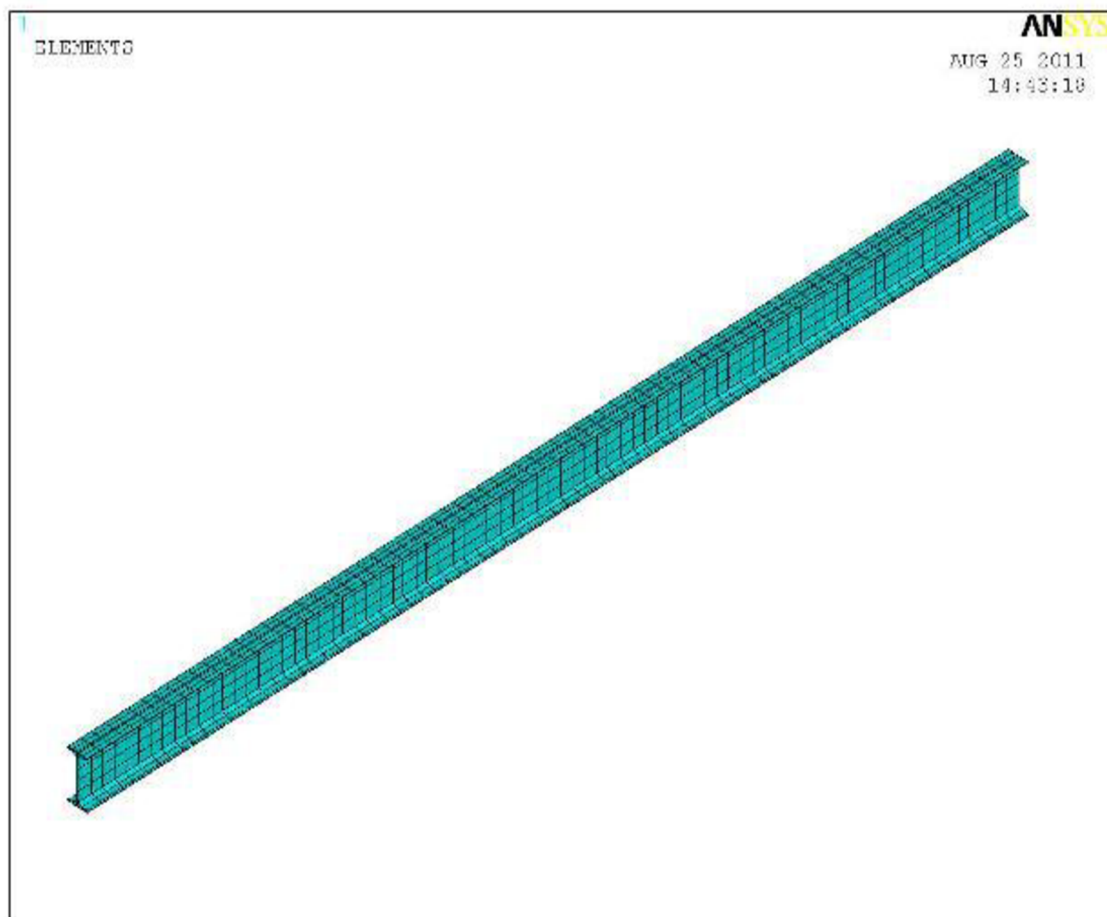
Objemové prvky boli získané vytiahnutím prierezovej plochy do objemu, t. j. ťahaním plošných prvkov po úsečke príkazom “main menu => preprocessor => modeling => operate => extrude => areas => along lines”. Rozdelenie po dĺžke prvku je zvolené v závislosti na dĺžke prvku tak, aby vyhovovalo požiadavkám tvarovej proporcie objemových prvkov. Po vygenerovaní objemových prvkov je nutné všetky plošné prvky odstrániť, teda vymazať. Takto bola vytvorená sieť objemových elementov v tvare osemuzlových väčšinou pravouhlých kvádrov.

Postup vytvorenia priestorového modelu:

1. Zadanie protiľahlého, t. j. zodpovedajúceho koncového bodu modelovaného nosníka. (Vymodelovaná prierezová plocha predstavuje počiatočný prierez prvku a zodpovedajúcim koncovým bodom k napr. ľavému dolnému rohu počiatočného prierezu je ľavý dolný roh koncového prierezu.)
2. Spojenie protiľahlých bodov do úsečky.
3. Nastavenie delenia úsečky.
4. Tiahnutie nameshovaných plôch po úsečke.
5. Vymazanie pomocných čiar a bodov.
6. Vymazanie plošných prvkov.
7. Kontrola modelu. (Model by mal obsahovať iba objemové prvky SOLID 45.)

Prvkovanie jednotlivých nosných prvkov po dĺžke je rovnomerné. Celý model je tvorený z ôsmich profilov I 180 a na nich je uložený trapézový plech s vystuženou betónovou vrstvou.

Obrázok 9.6 ukazuje rozdelenie nosníka na objemové prvky SOLID 45.



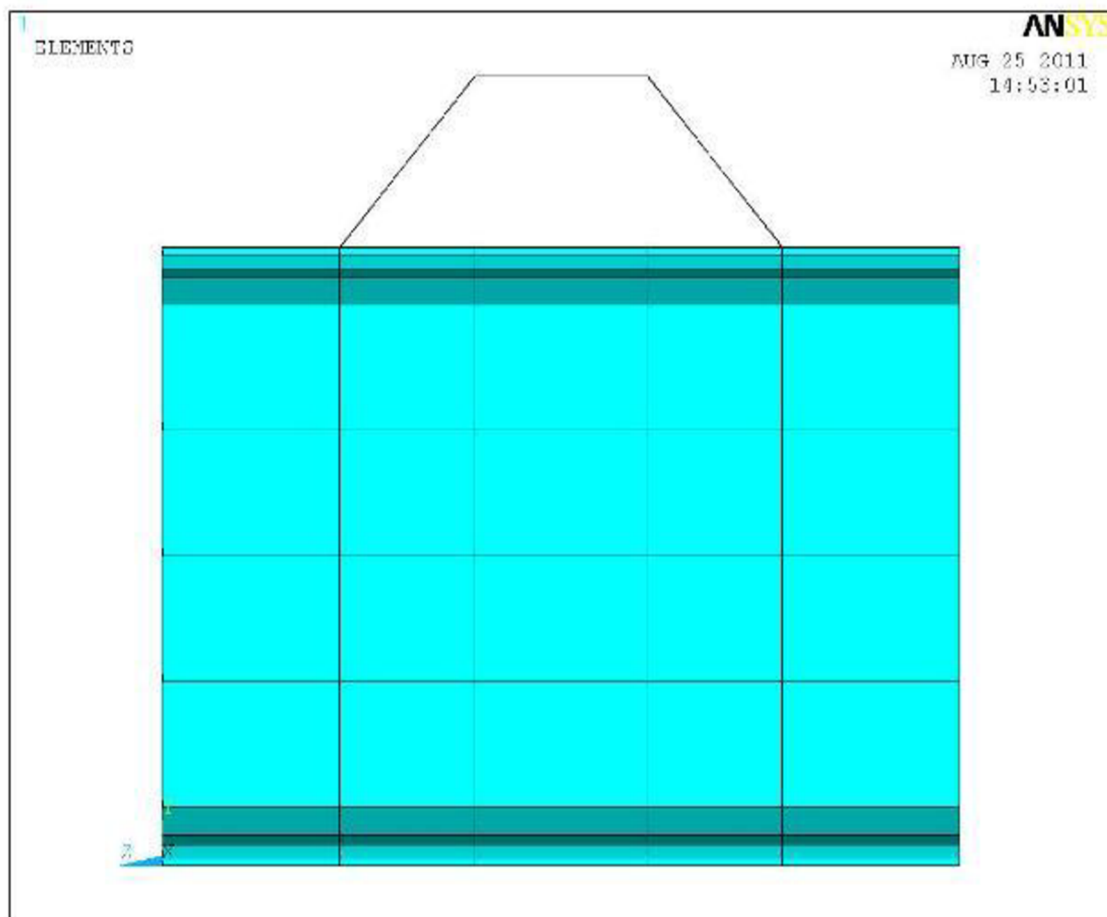
Obrázok č. 9.6 – ocelový nosník dĺžky 4 m – rozdelenie na prvky

Po vymodelovaní celého ocelového nosníka boli vytvorené ďalšie vrstvy stropnej konštrukcie a to trapezový plech a betónová vrstva s výstužou.

Na vymodelovanie trapezového plechu bol zadefinovaný škrupinový prvok SHELL 63.

Postup tvorby:

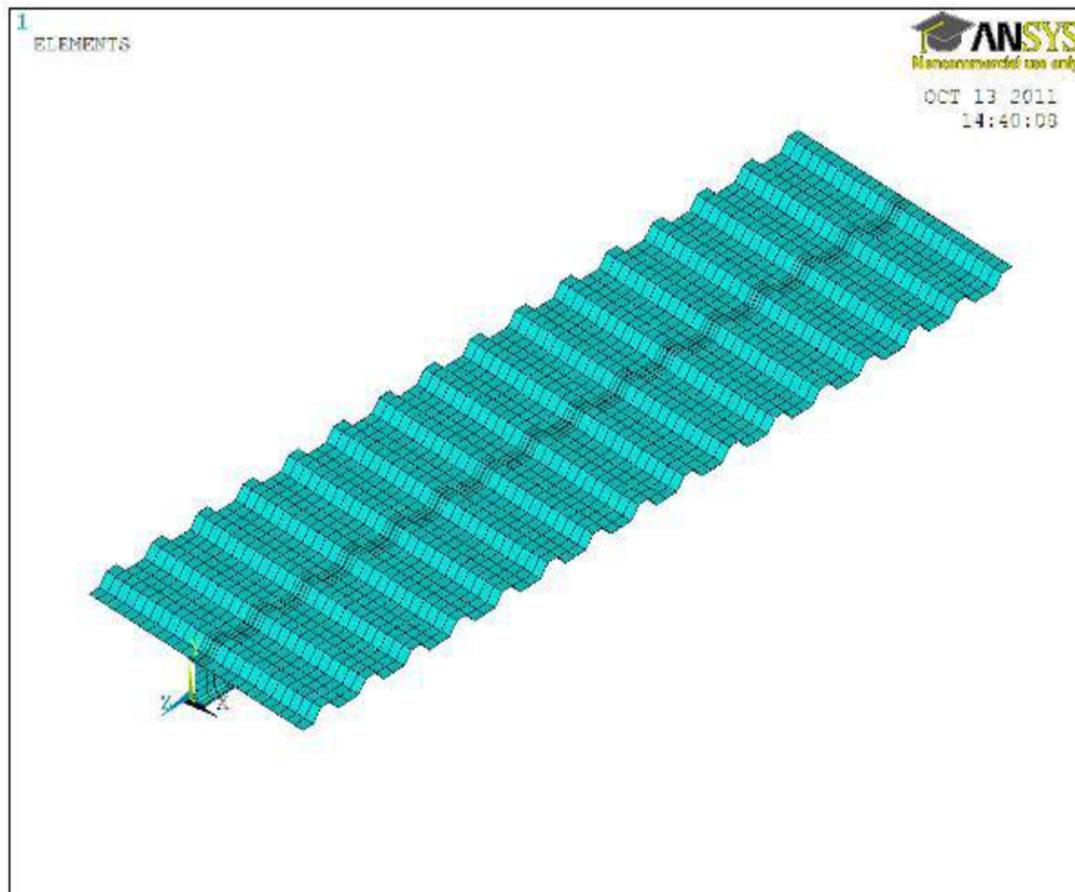
1. Zadanie súradníc hraničných bodov plechu.
2. Spojenie bodov na čiary.
3. Zadefinovanie hrúbky plechu zavedením reálnej konštanty č.1. Preprocessor =>real constants => add/edit/delete => (následne dol vybraný typ prvku SHELL 63) a do kolonky „Shell thickness at node I TK (I)“ bola zadaná hodnota $8,0 * 10^{-4}$ m.



Obrázok č. 9.7 – detail na stredovú čiaru trapézového plechu uloženého na I profile

Na vytvorenie samotného plechu bol použitý príkaz:

main menu => preprocessor => modeling => operate => extrude => lines => along lines a po rozdelení čiar na príslušný počet prvkov bol prvok nameshovaný: main menu => preprocessor => meshing => mesh => areas => mapped => 3 or 4 sided.



Obrázok č. 9.8 – model trapézového plechu na oceľovom nosníku, rozpätie 1,2m

Po vymodelovaní trapézového plechu nasleduje vrstva betónu, ktorá je rozdelená tak, aby bolo možné priamo do uzlov definovať model KARI siete.

Na vymodelovanie betónovej vrstvy boli opäť zadané hraničné body, čiary, plochy a následne elementy.

Postup tvorby betónovej vrstvy:

11. Najskôr boli na hranici modelu vytvorené plochy, ktoré vyplňajú vlny v trapézovom plechu. Hraničné body týchto plôch sú zároveň aj hraničnými bodmi betónu.

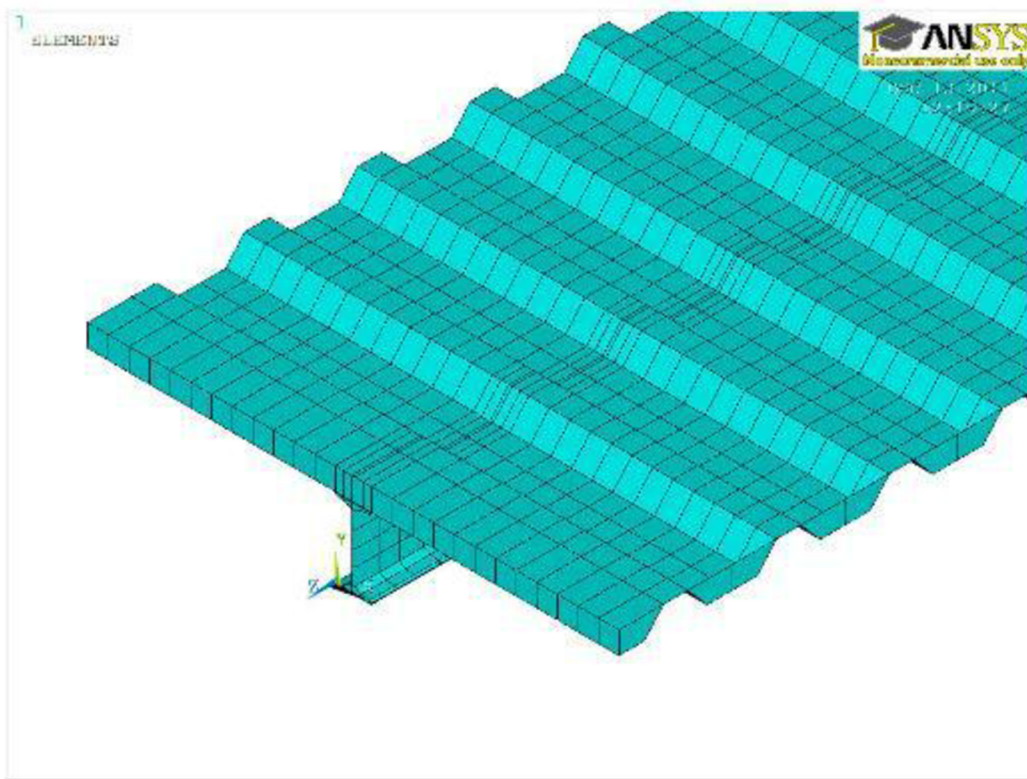
12. Takto vymodelované plochy boli nameshované plošným prvkom PLANE 42.

main menu => preprocessor => meshing => mesh => areas => mapped 3 or 4 sided

13. Následne boli tieto plochy vytiahnuté do objemu po línii kopírujúcej celú šírku modelu.
(1,2 m)

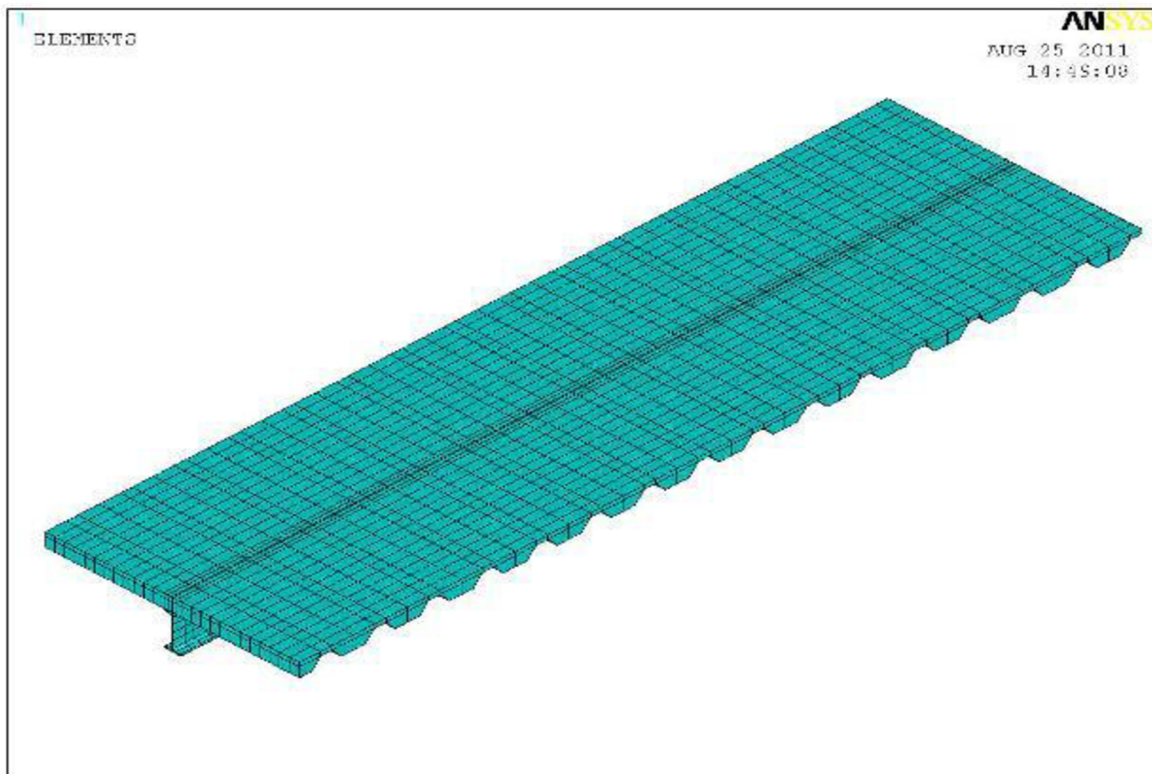
main menu => preprocessor => modeling => operate => extrude => areas => along lines, vybrali sme jednotlivé plochy a čiary, podľa ktorých sa má plocha vysunúť.

Týmto postupom boli vyplnené všetky vlny v plechu. (SOLID 45)

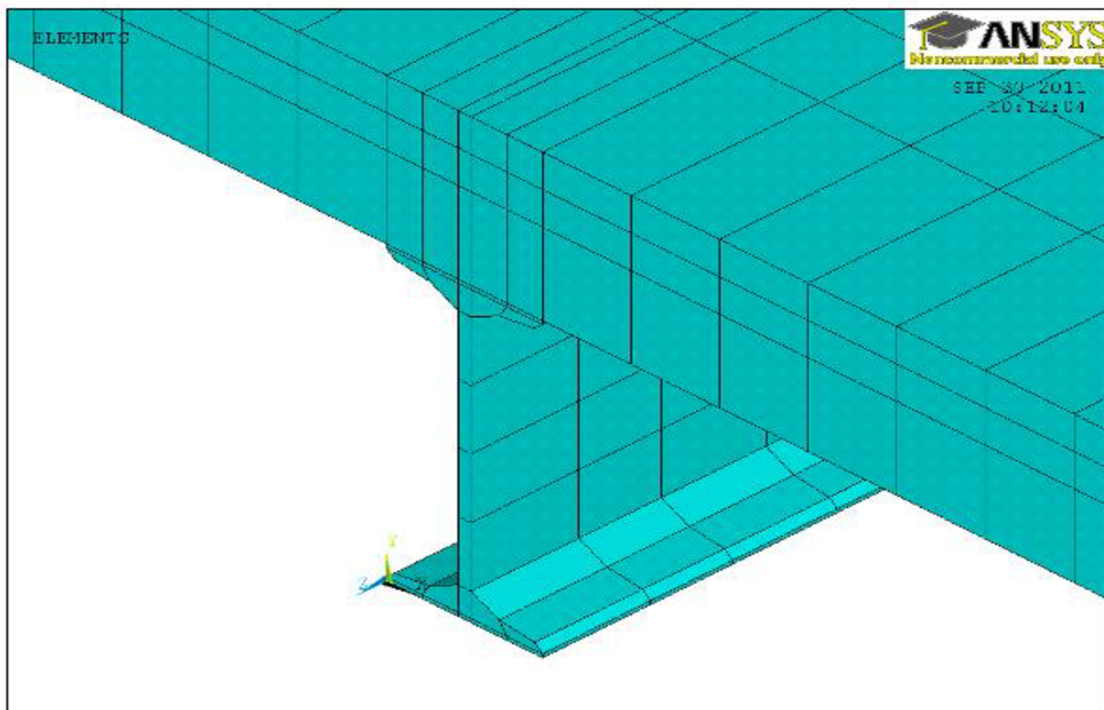


Obrázok č. 9.9 – *modelovanie výplne trapézového plechu betónom*

14. V ďalšom kroku boli vymodelované 2 vrstvy betónu s hrúbkou 20 mm zadefinovaním hraničných bodov a vytvorením plôch a objemov. Rozdelenie vrstiev na prvky bolo prispôbené tomu, aby bolo možné následne do uzlov zadefinovať KARI sieť (BEAM 44) s veľkosťou oka 200 mm.



Obrázok č. 9.12 – ocelový nosník s trapézovým plechom a vrstvou betónu

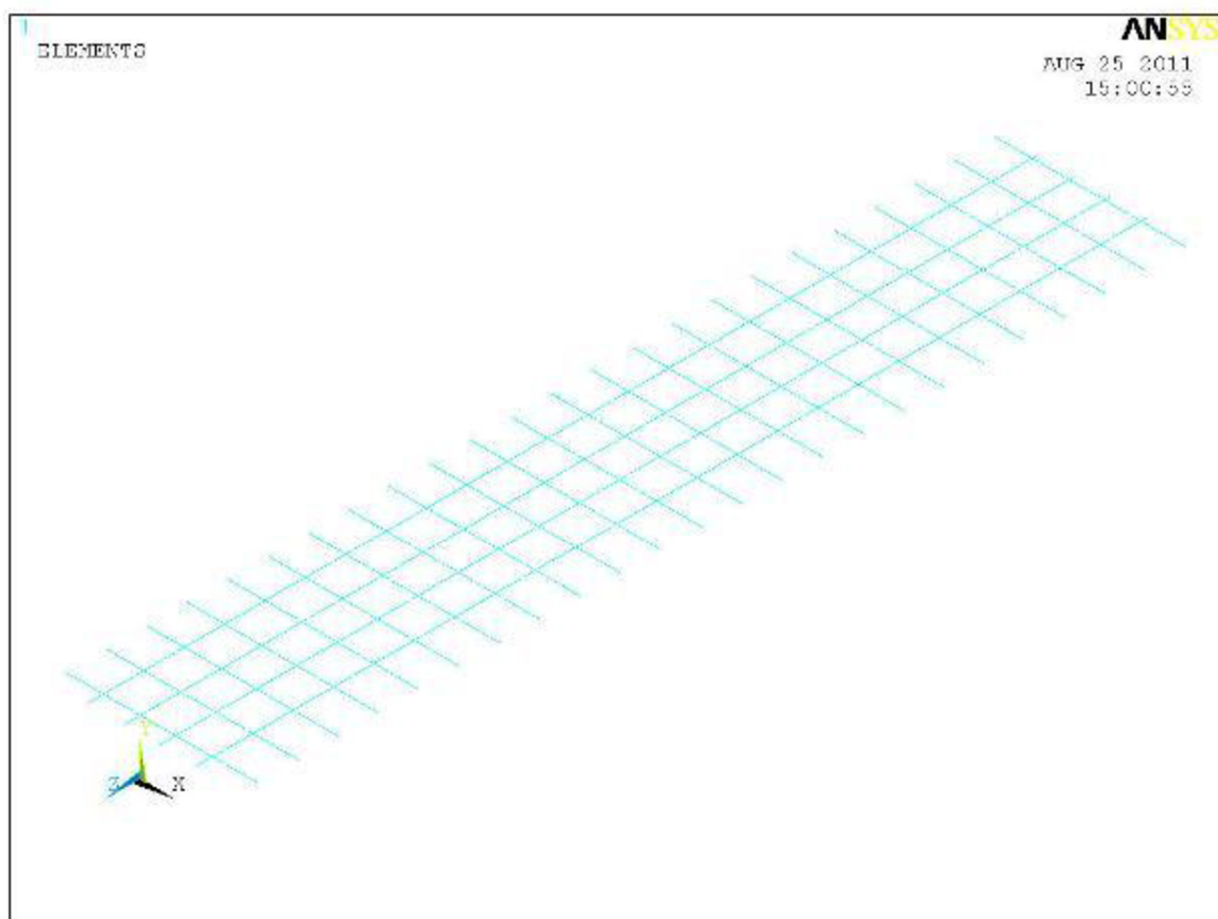


Obrázok č. 9.13 – detail náväznosti jednotlivých uzlov čela I profilu, trapézového plechu a betónovej vrstvy

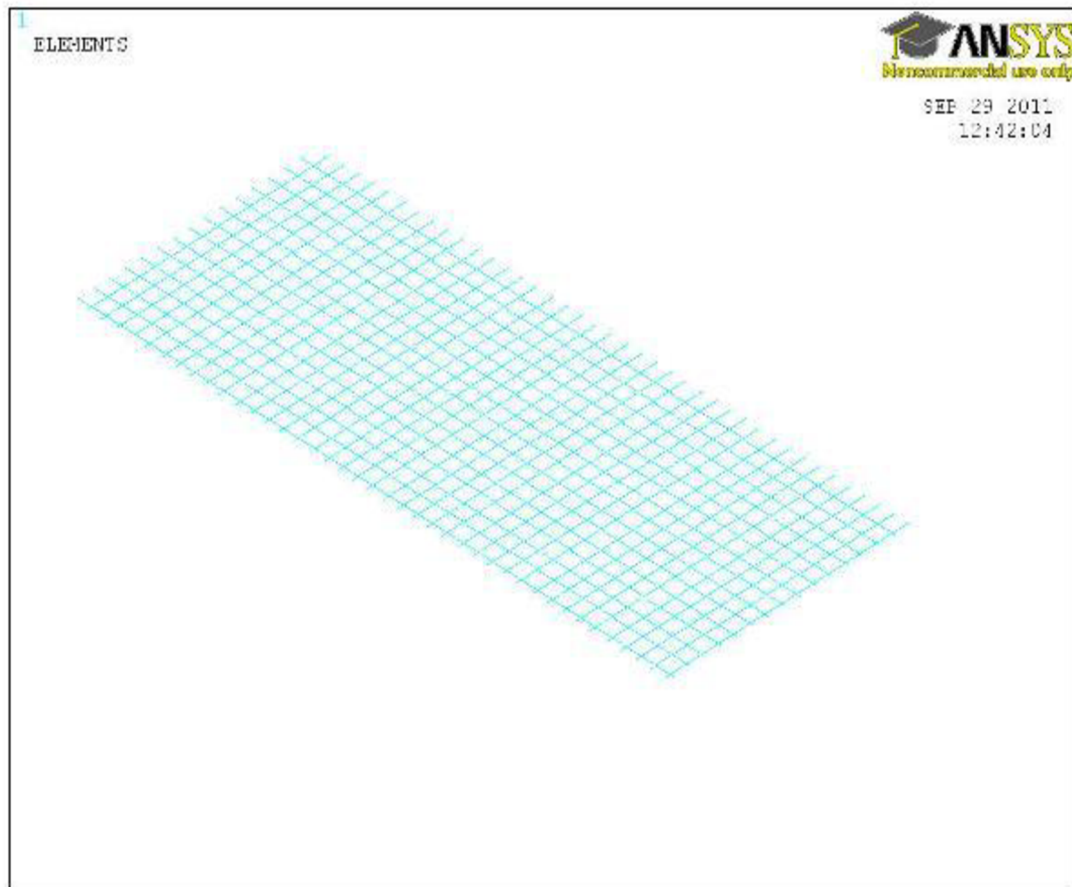
V ďalšom kroku bolo potrebné zdefinovať prvky pre výstuž a to BEAM 44. Pre tieto prvky bolo potrebné zadať ďalšiu reálnu konštantu a to definovaním prierezovej plochy výstuže. (profil 6 mm, po 200mm => $A = 28,274 \text{ mm}^2$).

Postup tvorby:

1. Vloženie uzlov do keypointsov v závislosti na rozmeroch ôk KARI siete.
2. Spojenie uzlov čiarami.
3. Rozdelenie čiar na menšie časti.
4. Príkazom „**aatt, (mat, real, type)**“ bol vybraný typ prvku BEAM 44.
 - materiál bola zadaná oceľ ako materiálová skupina
 - súborom reálnych konštánt definujem prierezovú plochu
 - typu prvku je priradený BEAM 44
5. Nameshovanie prvkom BEAM 44.

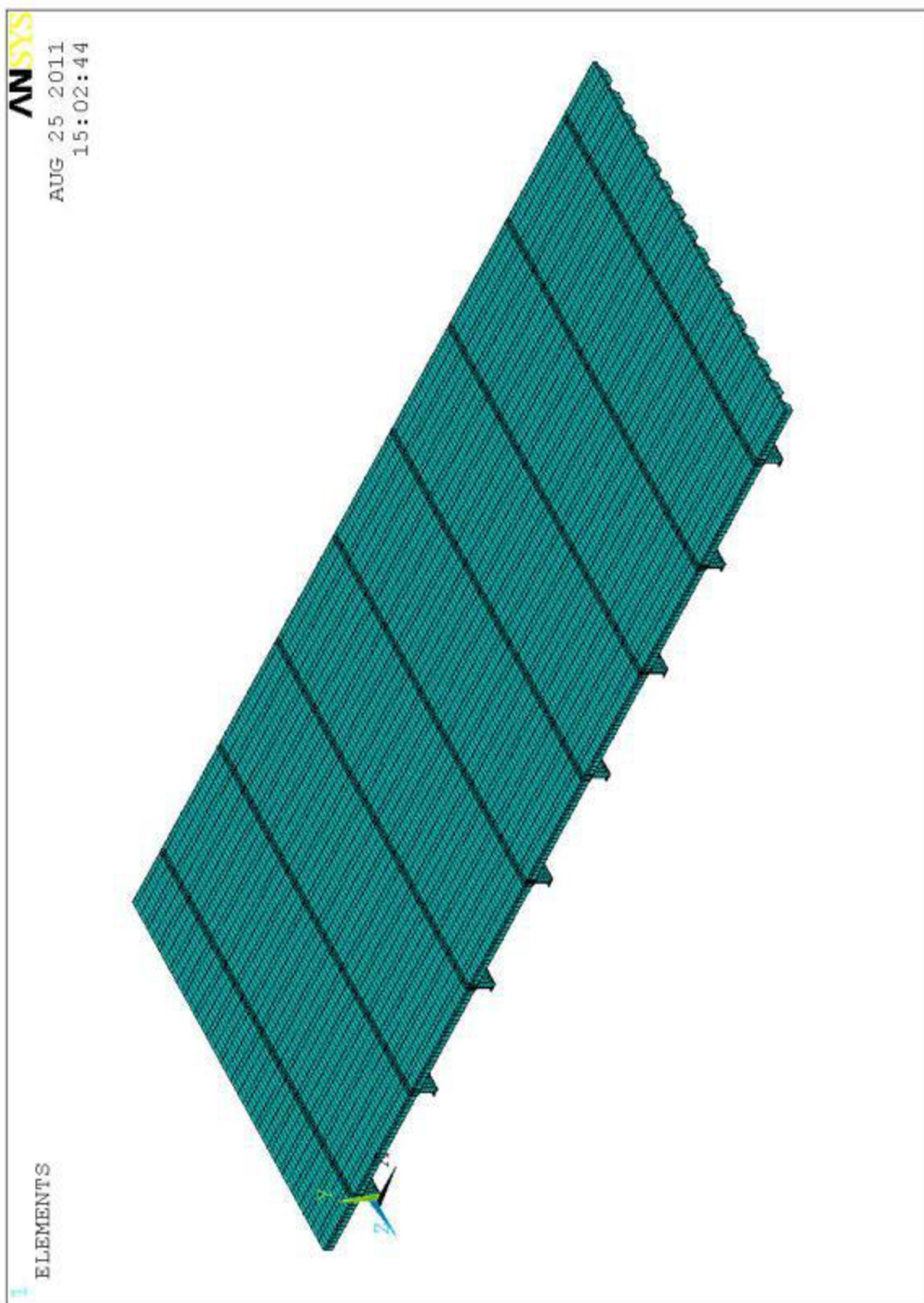


Obrázok č. 9.14 – model KARI siete nad jedným nosníkom I 180



Obrázok č. 9.15 – *model KARI siete nad celou konštrukciou*

Celkový model stropnej konštrukcie, ktorý obsahuje 96648 priestorových prvkov typu SOLID 45, 1096 prvkov BEAM 44, 18264 prvkov typu SHELL 63 a 103536 uzlov je na obrázku 9.16.

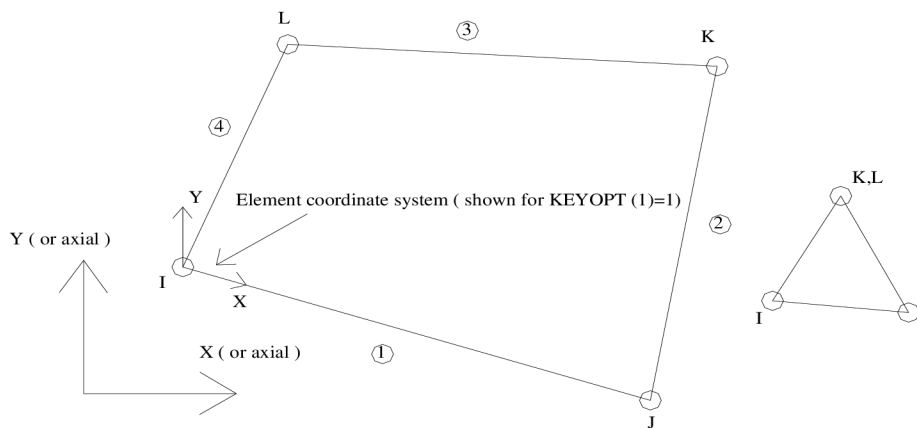


Obrázok č. 9.16 – celkový geometrický model stropnej konštrukcie

9.2 Typ a popis použitých prvkov

PLANE 42

Plošný štvoruzlový prvok. Zvolený spôsob modelovania objemových prvkov ťahaním po čiare je podmienený definovaním pomocných plošných prvkov, ktoré rozdelia na elementy celú prierezovú plochu modelovaného nosníka a po vytvorení objemového modelu budú odstránené. Na tento účel boli použité prvky v ANSYSE označené ako PLANE 42. Jedná sa o štvoruzlové plošné prvky zobrazené na obrázku 9.17.

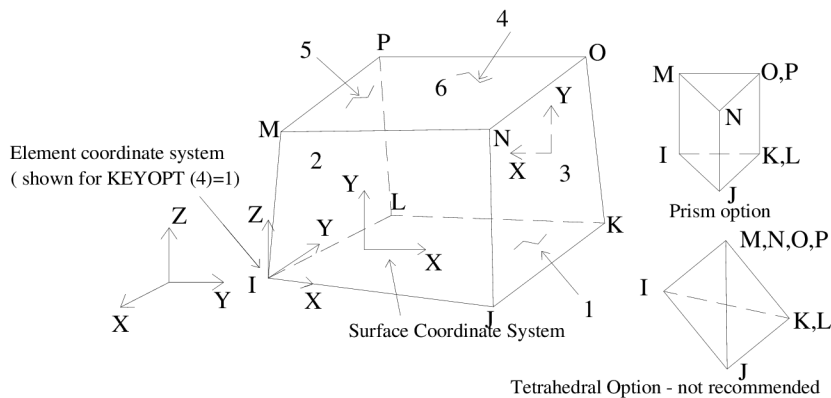


Obrázok č. 9.17 – plošné prvky PLANE 42

SOLID 45

Základný prvok svojho typu. Pre vytvorenie objemu je nutné definovať objemové prvky typu SOLID. Z ponuky programu ANSYS boli vybrané osemuzlové priestorové prvky SOLID 45 znázornené na obrázku 9.18.

Jedná sa o osemuzlové priestorové prvky vhodné pre statickú analýzu konštrukcií.

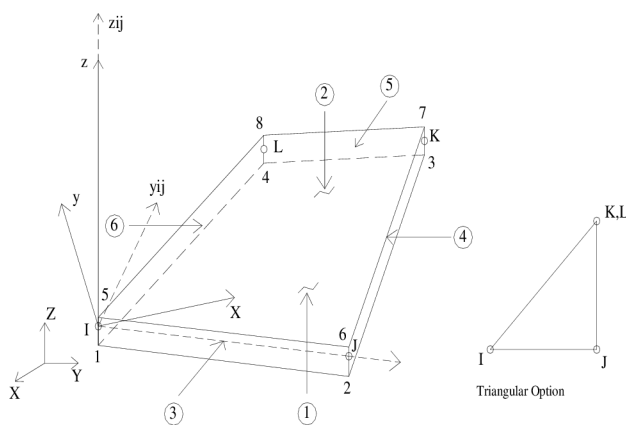


Obrázok č. 9.18 – objemové prvky typu SOLID 45

SHELL 63

Na vymodelovanie trapézového plechu hrúbky 0,008 m boli zadefinované škrupinové prvky typu SHELL 63. Hrúbka plechu bola zadaná cez reálne konštanty.

SHELL 63 má obe ohybovú aj membránovú schopnosť. Obe sú povolené v rovine a pri normálnom zaťažení. Prvok má 6 stupňov voľnosti: posuny v x, y a z a rotácie okolo ôs x, y a z. Sú schopné veľkej výchylky. Konzistentná dotyčnicová matica tuhosti je k dispozícii na použitie pre veľké výchylky.

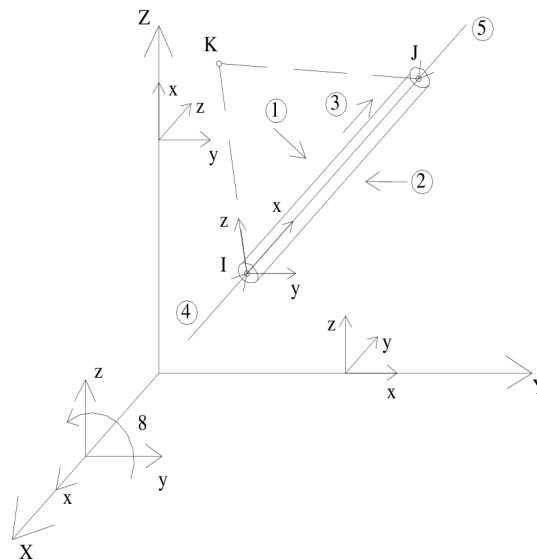


Obrázok č. 9.19 – škrupinové prvky typu SHELL 63

BEAM 44

Pomocou prvkov BEAM 44 je vymodelovaná výstuž v betónovej vrstve (KARI sieť s okami 200 mm).

BEAM 44 je jednoosový prvok s napät'ovými, krútiacimi a ohybovými schopnosťami. Prvok má 6 stupňov voľnosti a to: posuny v uzloch v smeroch x , y a z a krútenie okolo ôs x , y a z . Tento prvok povoľuje rôzne nesymetrické geometrie a povoľuje koncovým uzlom, aby sa posunuli od centrálnej osi lúča (beam).



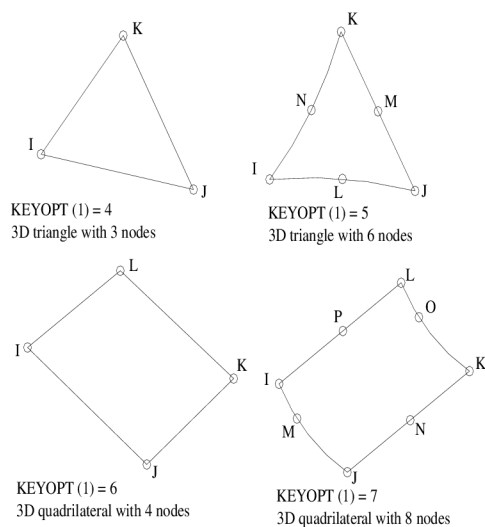
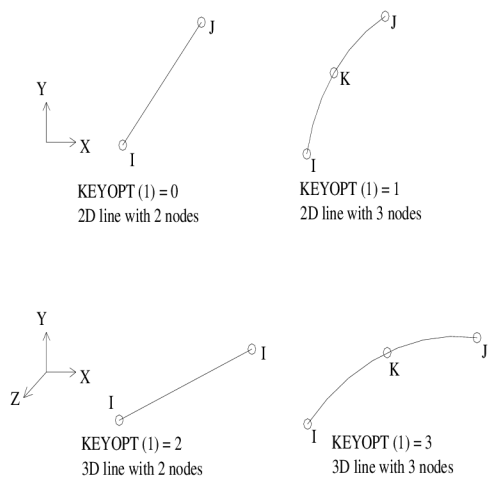
Obrázok č. 9.20 – tyčové prvky typu BEAM 44

MESH 200

Mesh 200 je prvok iba na meshovanie, neprispieva ku riešeniu. Tento prvok môže byť použitý na nasledujúce typy operácií:

- meshovanie čiar v 2D alebo 3D priestore
- meshovanie plôch alebo objemov v 3D priestore s trojuholníkmi, štvoruholníkmi, tetraédrami alebo kvádrami
- dočasné uskladnenie prvkov keď fyzikálna analýza ešte nebola špecifikovaná

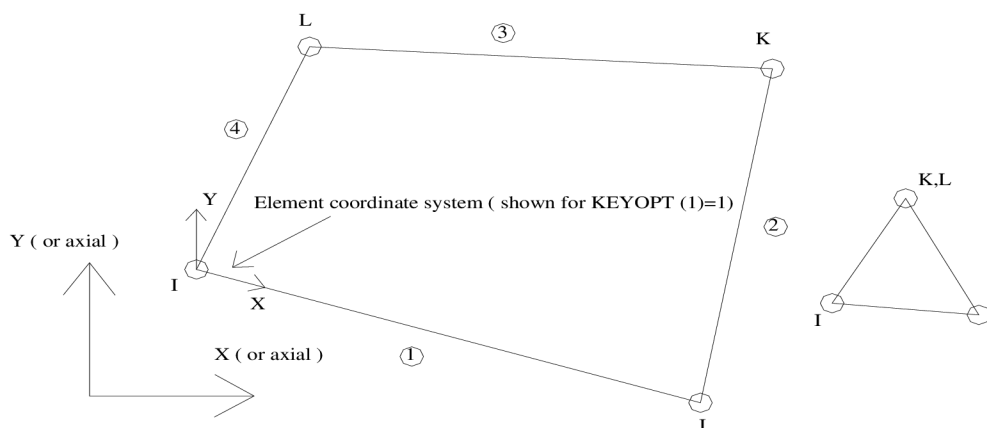
Mesh 200 môže byť použitý na spájanie s ostatnými typmi prvkov v ANSYSSE. Keď nie je viac potrebný, môže byť vymazaný. Jeho prítomnosť nemá vplyv na výsledky riešenia. Mesh 200 prvky môžu byť zmenené na iné typy prvkov použitím príkazu EMODIF.



Obrázok č. 9.21 – geometria prvku typu MESH 200

PLANE 182

Prvok PLANE 182 a modernejšie osemuzlové prvky sa v súčasnosti používa vo zväčšenej miere. Využíva sa na modelovanie pevných štruktúr v 2D. Býva použitý ako ktorýkoľvek rovinný prvok. Je definovaný štyrmi uzlami s dvomi stupňami voľnosti a to posuny v smeroch x a y. Prvok je plastický a odoláva veľkým namáhaniam.



Obrázok č. 9.22 – geometria prvku typu PLANE 182

Pri použití tohto typu prvku sa výsledky nezmenia, viď príloha č.4.

9.3 Zadanie materiálových vlastností

Vlastnosti oceli:

Výpočet vychádza z predpokladu, že v žiadnom oceľovom prvku nedôjde k dosiahnutiu napätia na medzi klzu. Preto je ako materiálový model oceľových prvkov vybraný elastický homogénny materiál v ANSYSE zadaný hodnotami:

Density: 7856 kg/m^3 (objemová hmotnosť)

Linear Isotropic: $E_x = 2,1e11 \text{ Pa}$ (Yangov modul)

$\nu = 0,3$ (Poissonov súčiniteľ)

Nosné prvky sú z ocele, ktorá bola zadaná do programu ANSYS, zadaním mernej hmotnosti (density) hodnotou 7856 kg/m^3 .

Postup zadávania:

Preprocessor => material props => material models => density => 7856 kg/m^3 .

V ďalšom kroku boli zadané lineárne izotropické vlastnosti materiálu (linear isotropic

material properties). Oceľ je izotropický materiál, má teda vo všetkých smeroch rovnaké fyzikálne vlastnosti.

V tomto kroku boli zadané nasledujúce hodnoty:

- modul pružnosti oceli: 210 GPa
- poissonovo číslo: 0,3

Postup zadávania:

Preprocessor => material props => material models => linear => isotropic => Ex = 2,1 * 10¹¹ Pa.

prxy = 0,3

Vlastnosti betónu:

Vlastnosti betónu ovplyvňujú prevažne skladba a pomer jeho základných zložiek. Špeciálnych vlastností možno dosiahnuť pridaním vhodných prísad s cieľom pozitívne ovplyvniť jeho počiatočné aj konečné vlastnosti. Pre stavebníctvo má najväčší význam cementový betón.

Medzi výhody betónu patrí možnosť ľubovoľného tvarovania v plastickom stave, relatívne vysoká pevnosť v tlaku, nehorľavosť, trvanlivosť. Naopak nevýhodou je malá pevnosť v ťahu, objemová nestálosť a nízka špecifická pevnosť.

Vlastnosti betónovej vrstvy boli do programu zadané uvedením mernej hmotnosti : 2500 kg/m³.

Postup zadávania:

Preprocessor => material props => material models => density => 2500 kg/m³.

V nasledujúcom kroku boli zadané nasledujúce hodnoty:

- modul pružnosti betónu: 33,27 GPa
- poissonovo číslo: 0,2

Postup zadávania:

Preprocessor => material props => material models => linear => isotropic => Ex = 0,3327 * 10¹¹ Pa.

prxy = 0,2

Vlastnosti výstuže:

Na vystuženie betónovej vrstvy bola použitá KARI sieť typu KY51. Krytie výstuže je 20 mm. Priemer pozdĺžneho aj priečného drôtu je 8 mm, s veľkosťou oka 200 x 200 mm a celkovými rozmermi jedného kusa 2000 x 3000 mm. Hmotnosť jedného kusu je 23,7 kg. Zadávanie vlastností KARI siete do programu ANSYS bolo obdobné ako v prípade oceli a betónu.

Preprocessor => material props => material models => density => 7856 kg/m³.

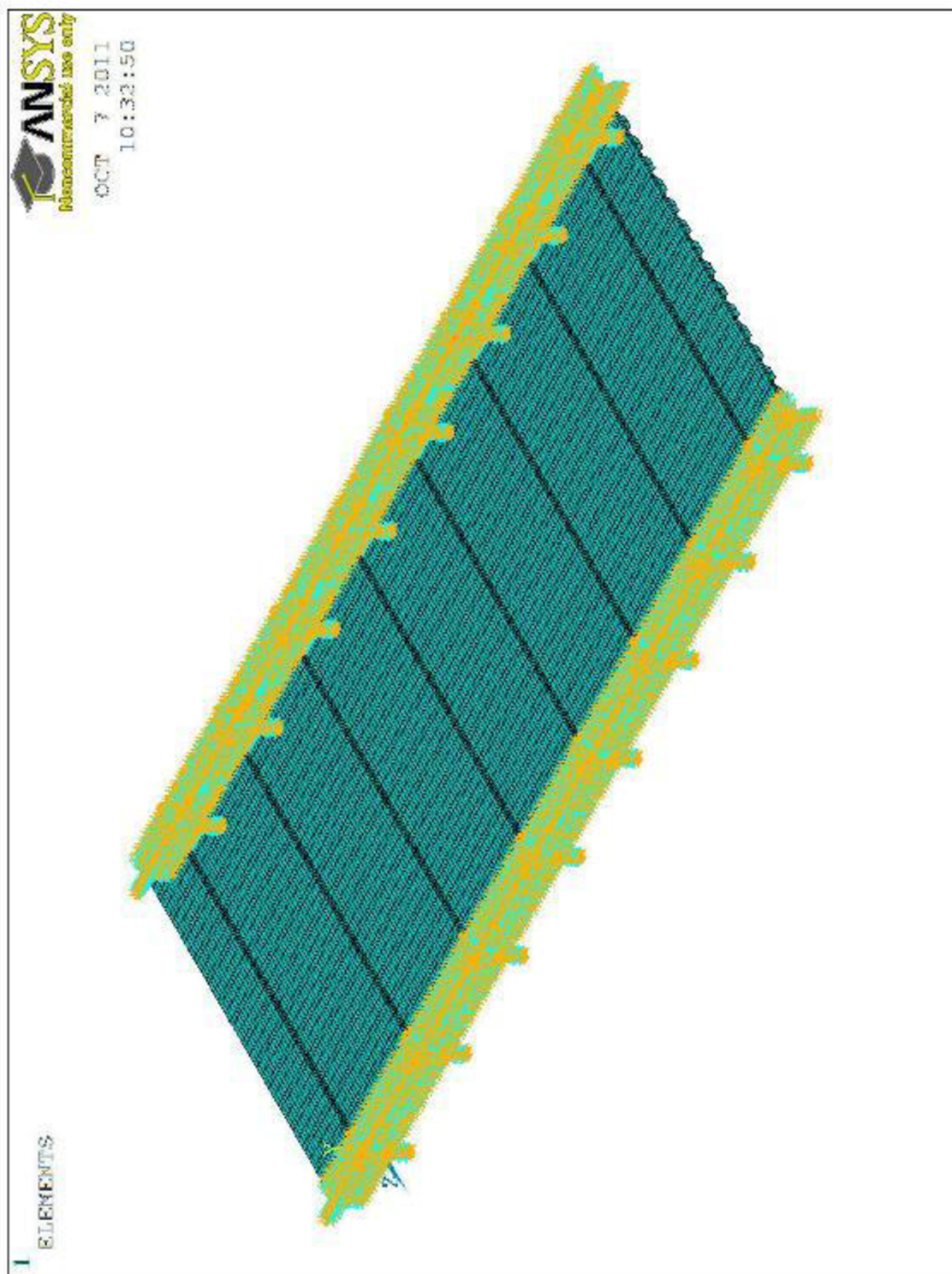
- modul pružnosti: 195 GPa
- poissonovo číslo: 0,15

Postup zadávania:

Preprocessor => material props => material models => linear => isotropic => Ex =
1,95 * 10¹¹ Pa.
prxy = 0,15

9.4 Uloženie

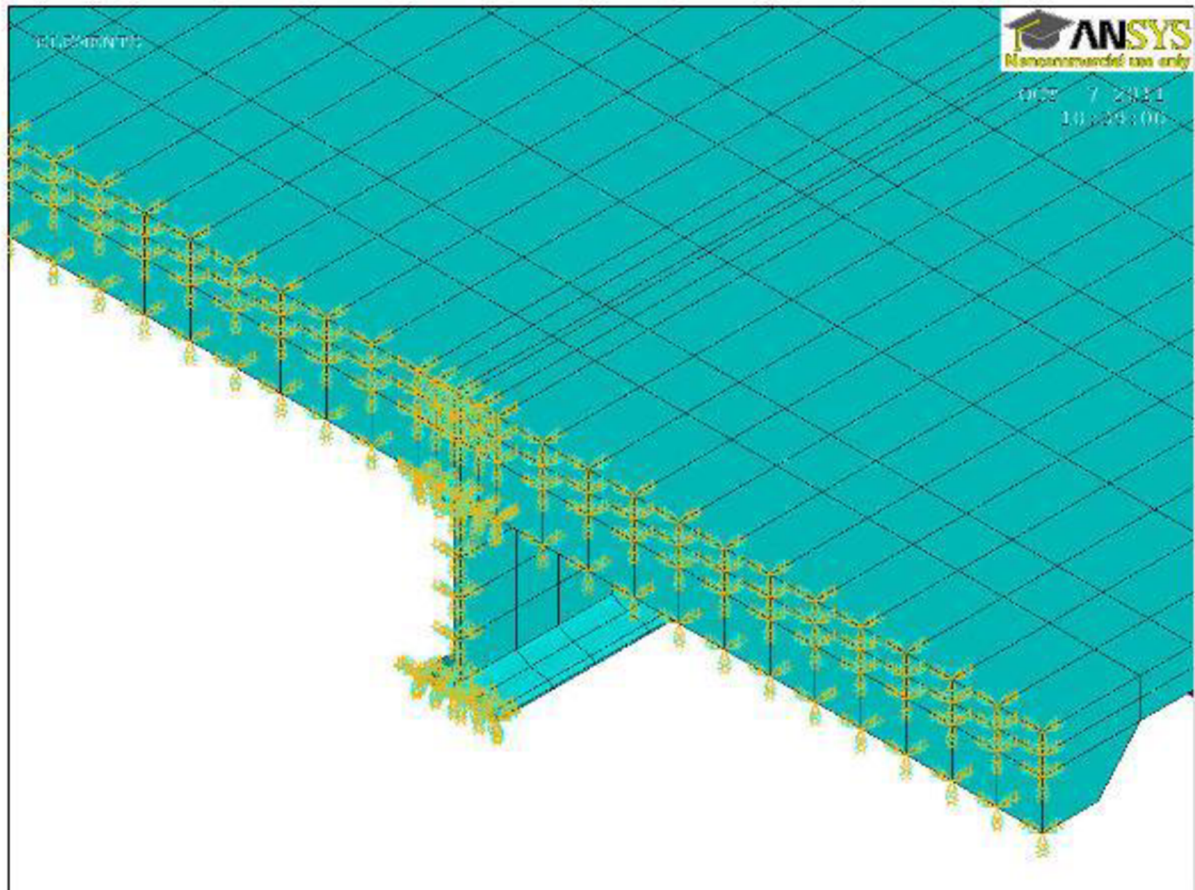
Uloženie stropnej konštrukcie môže byť uvažované ako votknutie do pomúrnicového venca obvodových múrov a do výpočtu je zahrnuté zadaním nulových posuvov v smere globálnych súradníc x, y a z a nulových pootočení. Tieto podmienky boli zadané do všetkých obvodových uzlov modelu. (obrázok 9.23).



Obrázok č. 9.23 – podoprenie nosných prvkov na ich koncoch (votknutie)

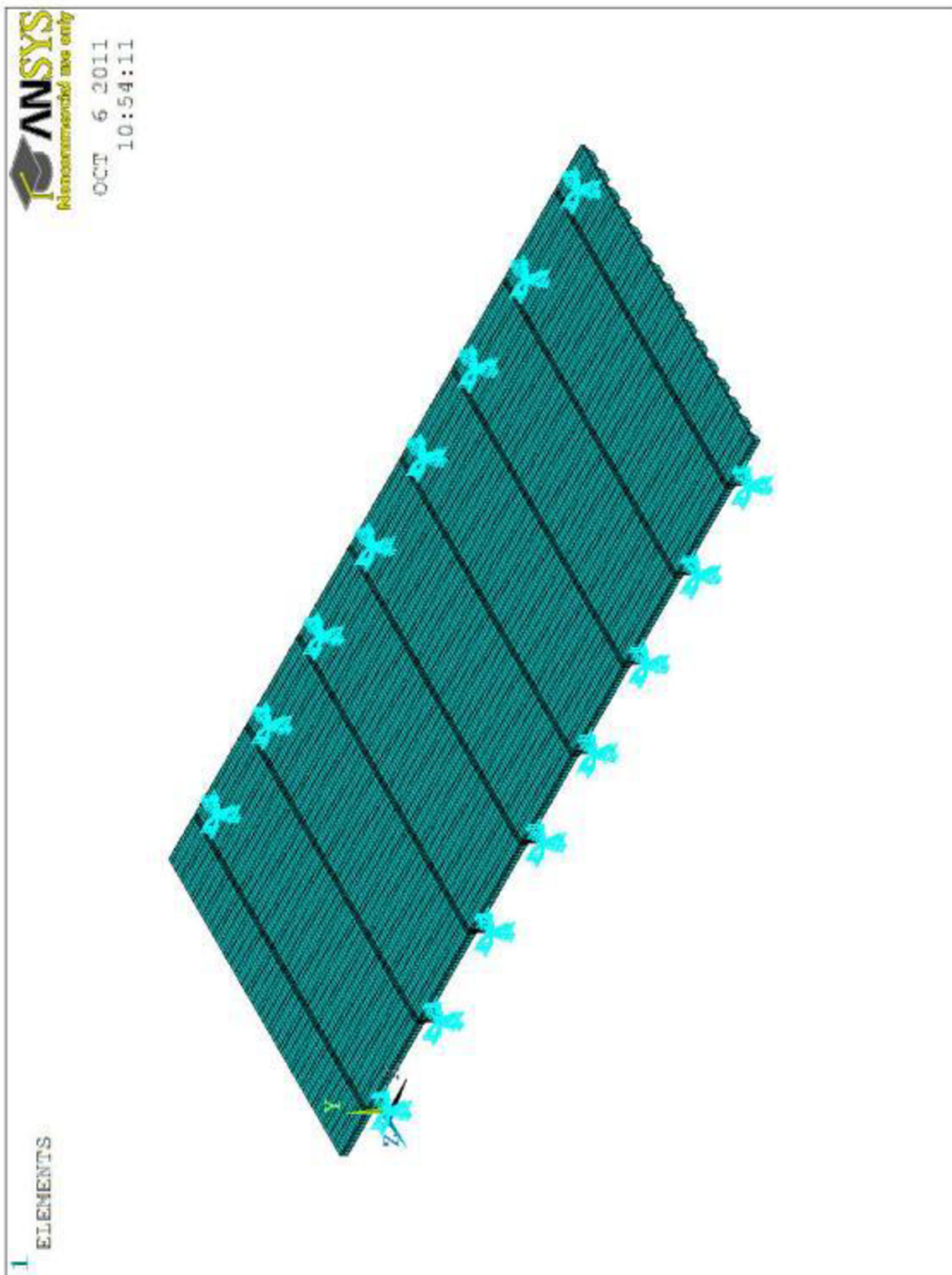
Postup zadania podoprenia:

main menu => solution => define loads => apply => structural => displacement => on nodes
(teraz vyberieme príslušné uzly, do ktorých chceme vložiť podporu a následne vyberieme smery, v ktorých sa má pohyblivosť zastaviť, v našom prípade všetky posuny a pootočenia).

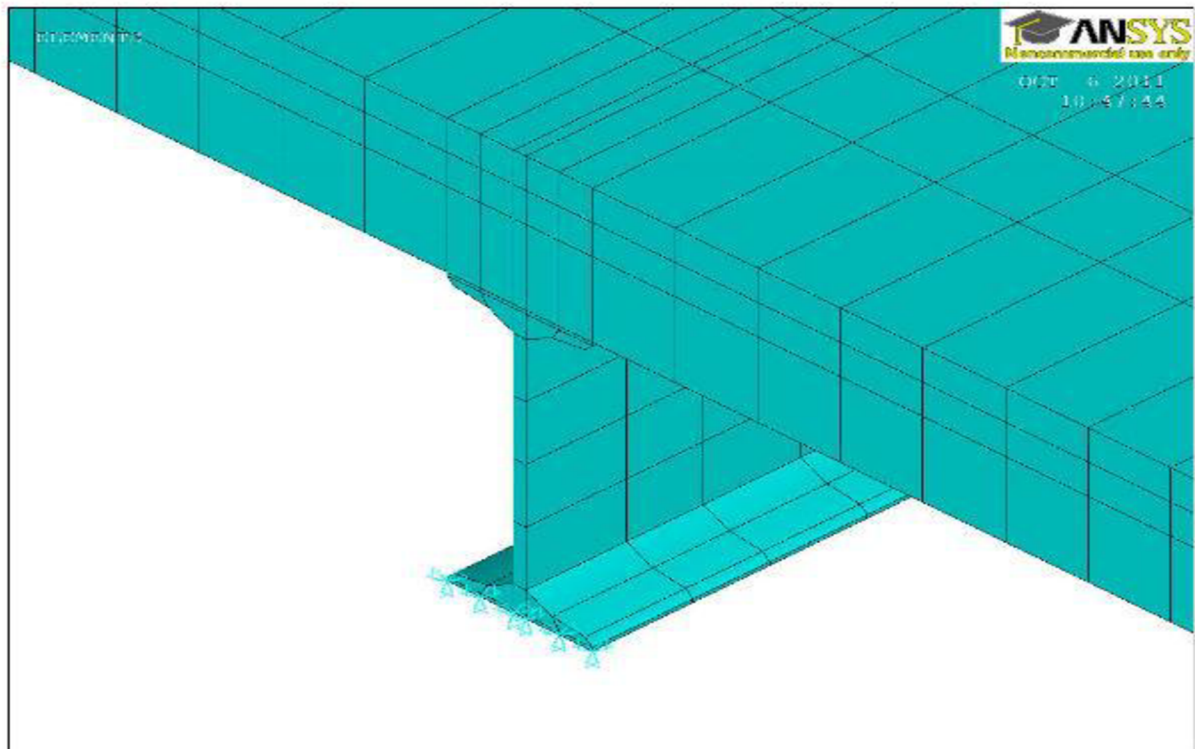


Obrázok č. 9.24 – detail podoprenia nosných prvkov na ich koncoch (votknutie)

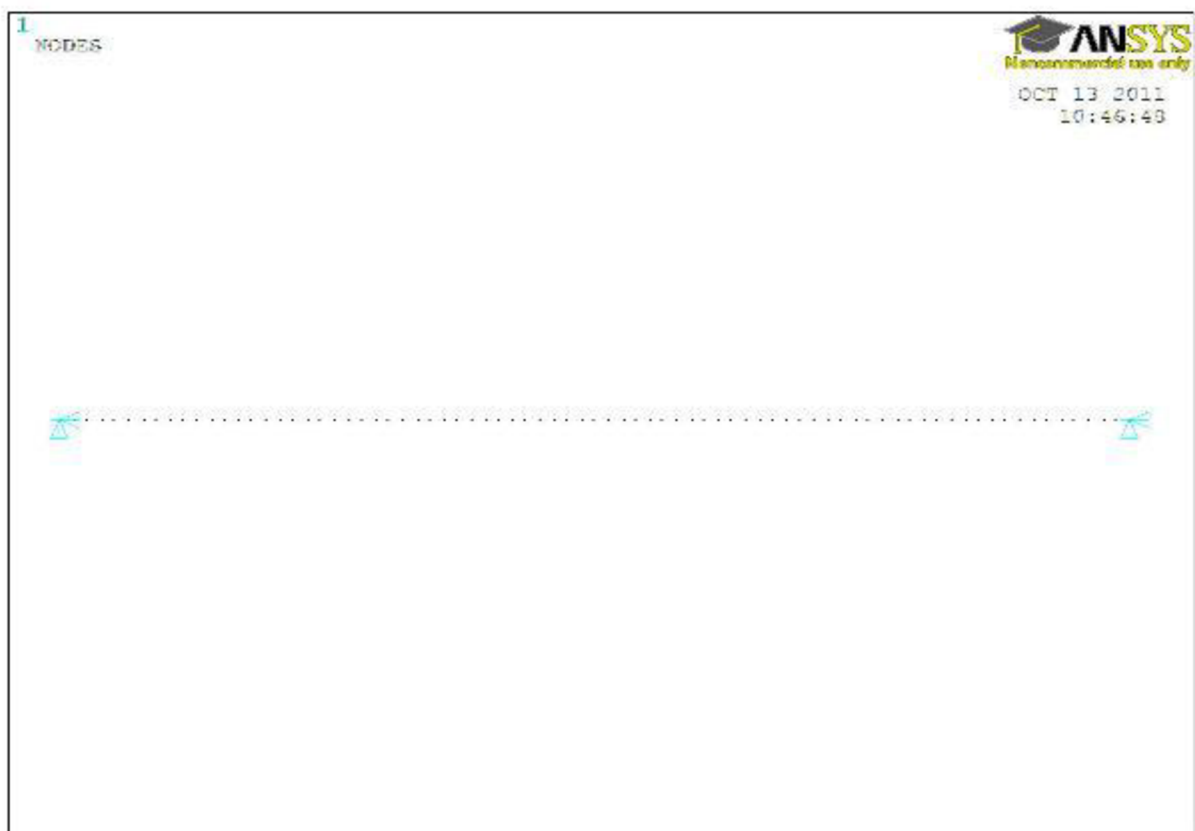
Na nasledujúcich obrázkoch 9.25 a 9.26 je znázornené uvažovanie prostého uloženia a v tomto prípade je teda zabránené iba posuvom v smere globálnych súradníc x, y a z. (I profily sú položené na pomúrnicovom venci)



Obrázok č. 9.25 – *podoprenie nosných prvkov na ich koncoch (prosté uloženie)*



Obrázok č. 9.26 – detail podoprenia nosných prvkov na ich koncoch (prosté uloženie)



Obrázok č. 9.27 – podoprenie krajných uzlov nosného I profilu (prosté uloženie)

9.5 Zaťaženie

Vlastná tiaž oceľových častí modelu je do výpočtu zahrnutá zadaním tiažového zrýchlenia v smere globálnej poloosy. Bola zadaná nasledujúcim postupom: main menu => preprocessor => loads => define loads => apply => structural => inertia => gravity => global: následne bola zadaná konkrétna hodnota tiažového zrýchlenia v smere osy y a to $9,81 \text{ m/s}^{-2}$.

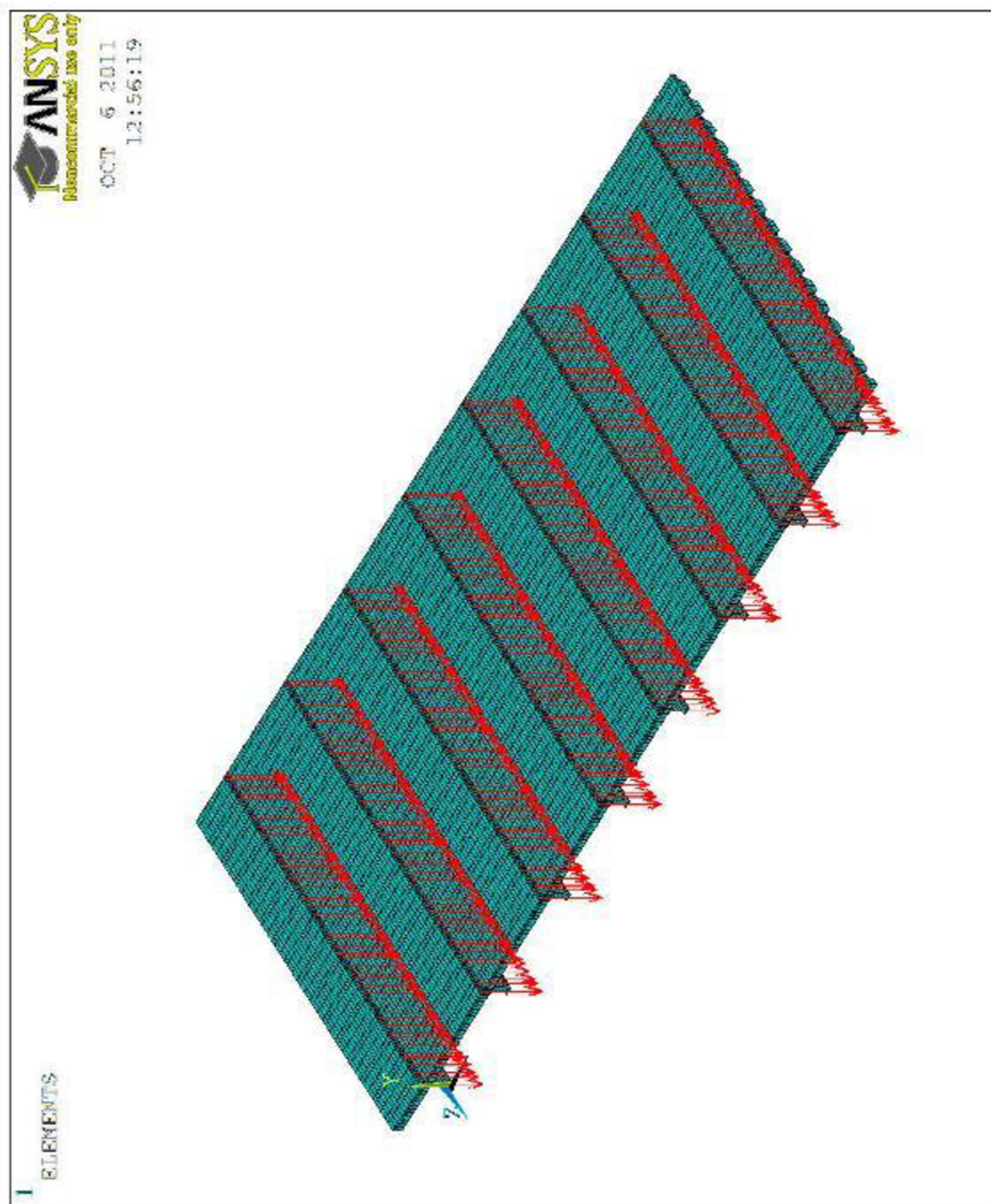
Stále zaťaženie stropnej konštrukcie je prepočítané do uzlov a zadané ako uzlové sily F_z v smere globálnej osy $-y$.

Zaťaženie bolo spočítané na 1m bežný dĺžky nosníka plochy stropu hodnotou $q = 6,6135 \text{ kN/m}$ a následne rozpočítané na sily v uzloch F_z tak, že každému uzlu prináleží časť rovnomerného zaťaženia na dĺžke l_u zodpovedajúce vzdialenosti uzlov. Potom každá sila v uzle zodpovedá dielčiemu náhradnému bremenu a platí: $F_z = Q_z = q * L_z$. Veľkosť uzlových síl je tak závislá na hustote delenia nosníka, teda na počte uzlov. Výpis zaťaženia v uzloch je v prílohe č. 2.

Vypočítané hodnoty uzlových síl (náhradných bremien) boli vložené do uzlov nasledujúcim postupom:

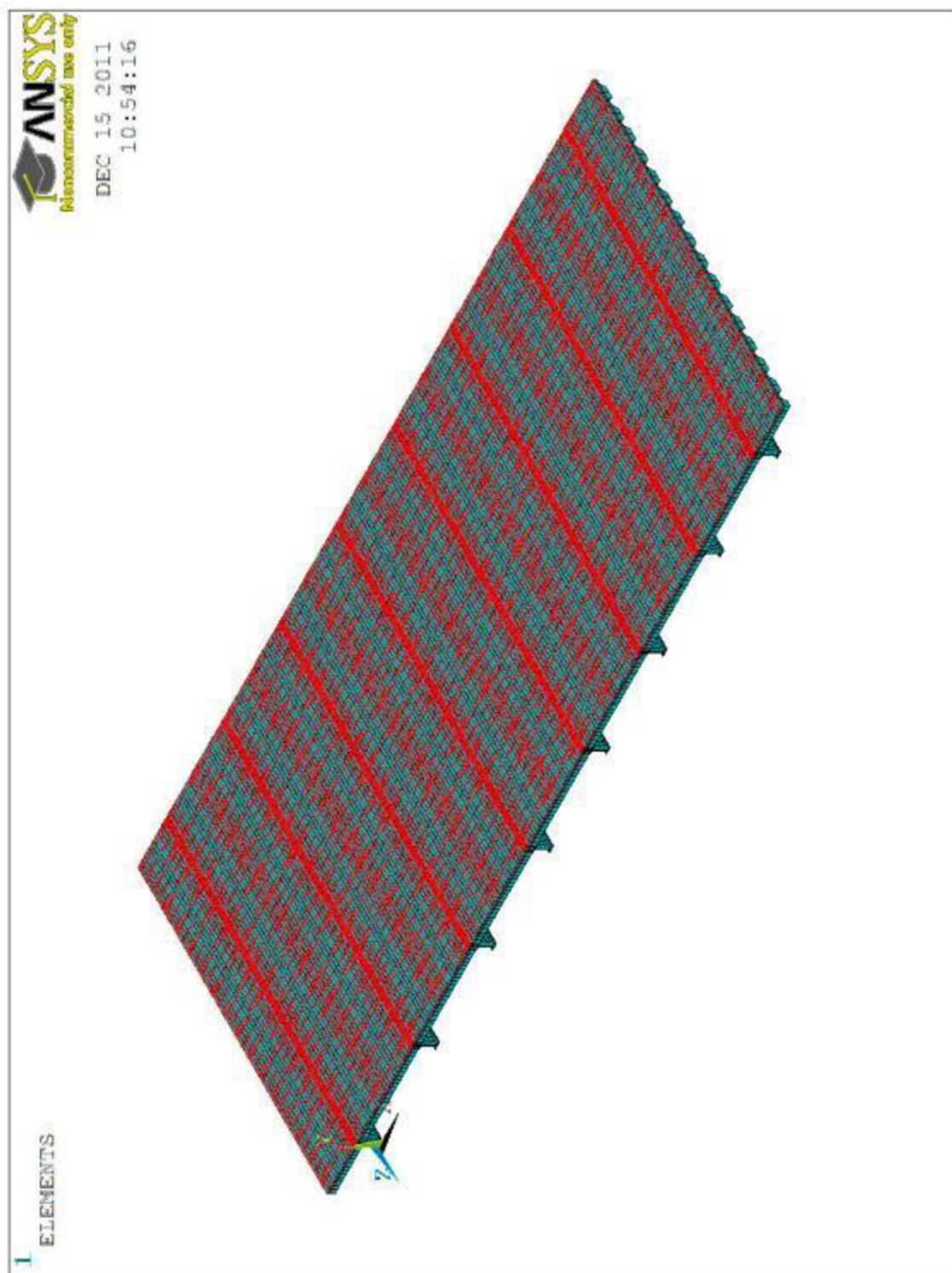
main menu => preprocessor => loads => define loads => apply => structural => force/moment => on nodes.

V tomto kroku boli vybrané príslušné uzly, smer sily (v tomto prípade F_Y) a bola zadaná konkrétna hodnota so záporným znamienkom.



Obrázok č. 9.28 – *zaťažovacie sily*

Ku porovnania výsledkov boli použité uzlové sily, pretože tento druh zaťaženia lepšie odpovedá skutočnosti, ale ďalšia možnosť zadania zaťaženia je zaťaženie plošné na celom povrchu stropnej konštrukcie. Postup zadávania: main menu => preprocessor => loads => define loads => apply => structural => pressure => on area. Následne bola zadaná hodnota (viď príloha č. 3).



Obrázok č. 9.29 – plošné zaťaženie na celej stropnej konštrukcii

9.6 Výpočet

Výpočet popísaného modelu konštrukcie bol vykonaný lineárnou statickou analýzou. Bol zameraný na získanie extrémnych hodnôt normálového napätia za ohybu a extrémov priehybu stropnej konštrukcie. Získané hodnoty oboch uvedených veličín sú ďalej popísané v kapitole výsledkov.

10 VÝSLEDKY

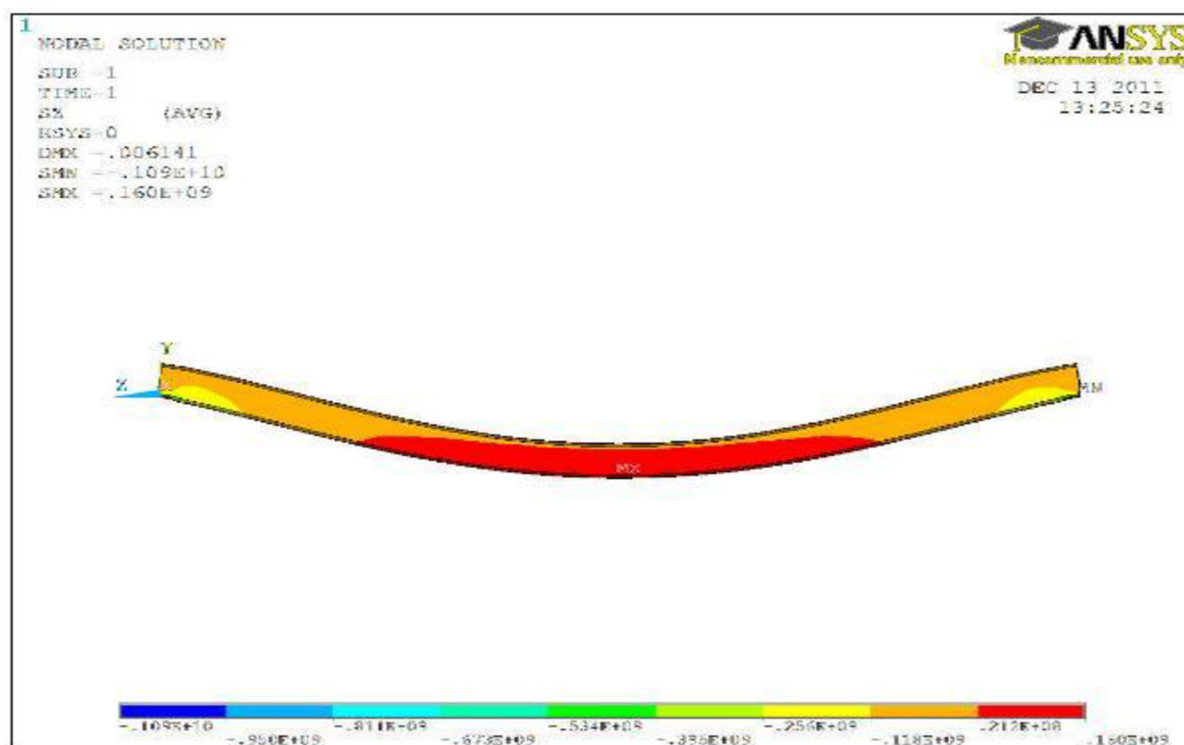
Výpočet bol zameraný predovšetkým na normálové napätia za ohybu v nosných oceľových prierezoch stropu a betónovej vrstve a ich deformácie, t. j. priehyby. Tieto hodnoty boli potom ďalej použité pre vyhodnotenie únosnosti stropu a možnosti jeho ďalšieho zaťažovania. Výsledky sú ďalej prezentované formou tabuliek a obrázkov.

10.1 Normálové napätie za ohybu

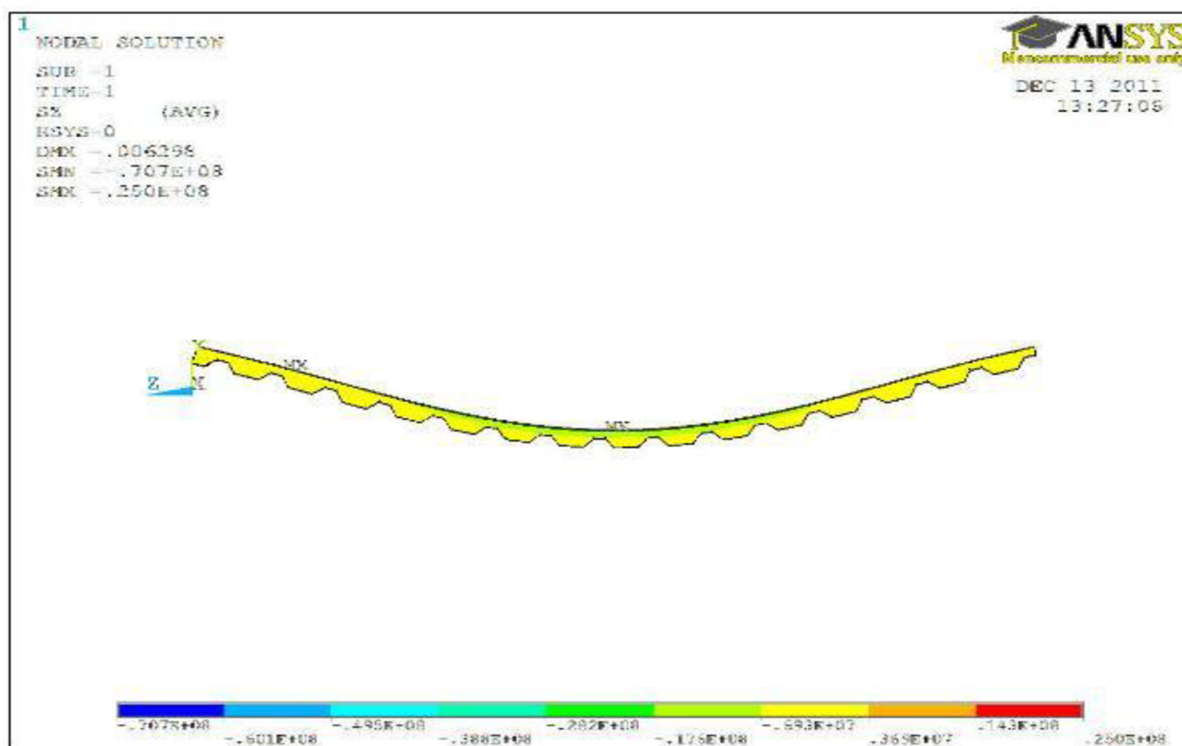
Hodnoty normálových napätí v ohybe sú vybrané v najvzdialenejších uzloch prierezu, t. j. v dolných a horných vláknach. Hodnota normálového napätia je uvedená v nasledujúcej tabuľke

Tabuľka č. 10.1 – porovnanie normálových napätí z ručného výpočtu a z programu ANSYS

dĺžka nosníka (m)	hodnota normálového napätia získaná ručným výpočtom (MPa)	hodnota normálového napätia získaná z programu ANSYS (MPa)
4,0	82,16	78,14



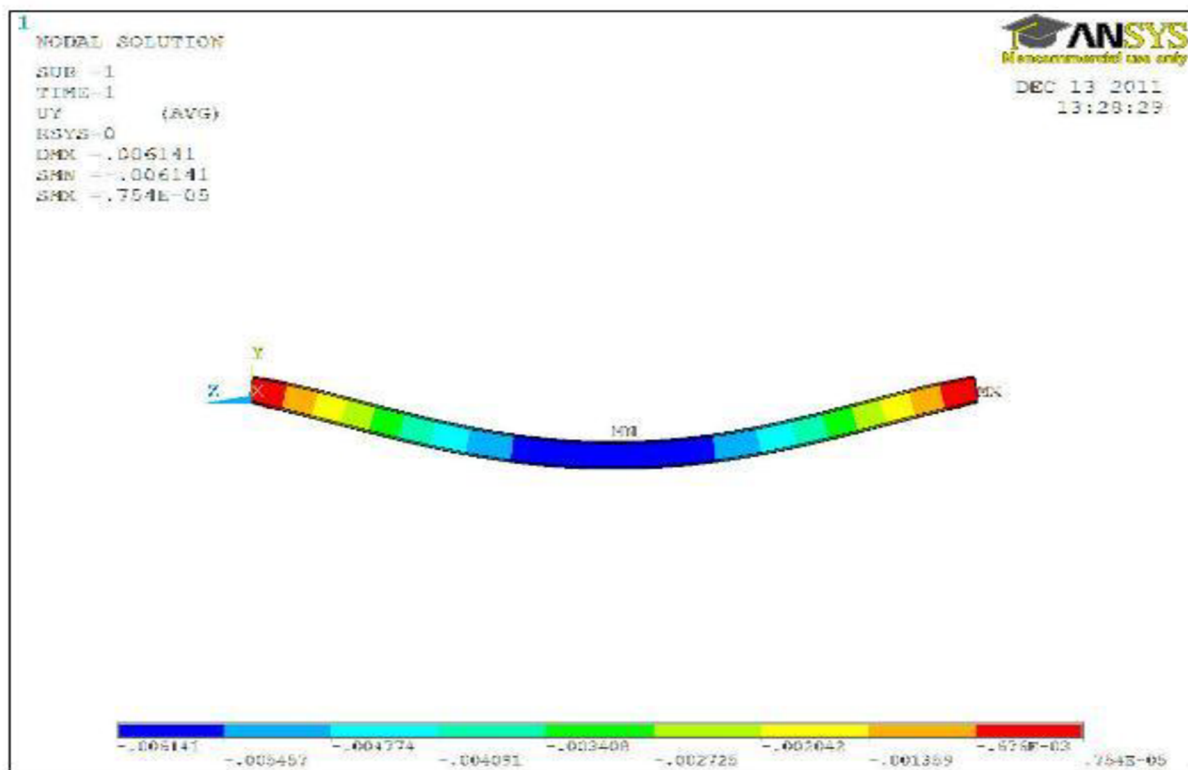
Obrázok č. 10.1 – extrém normálového napätia v ohybe v smere globálnej osy z – nosník



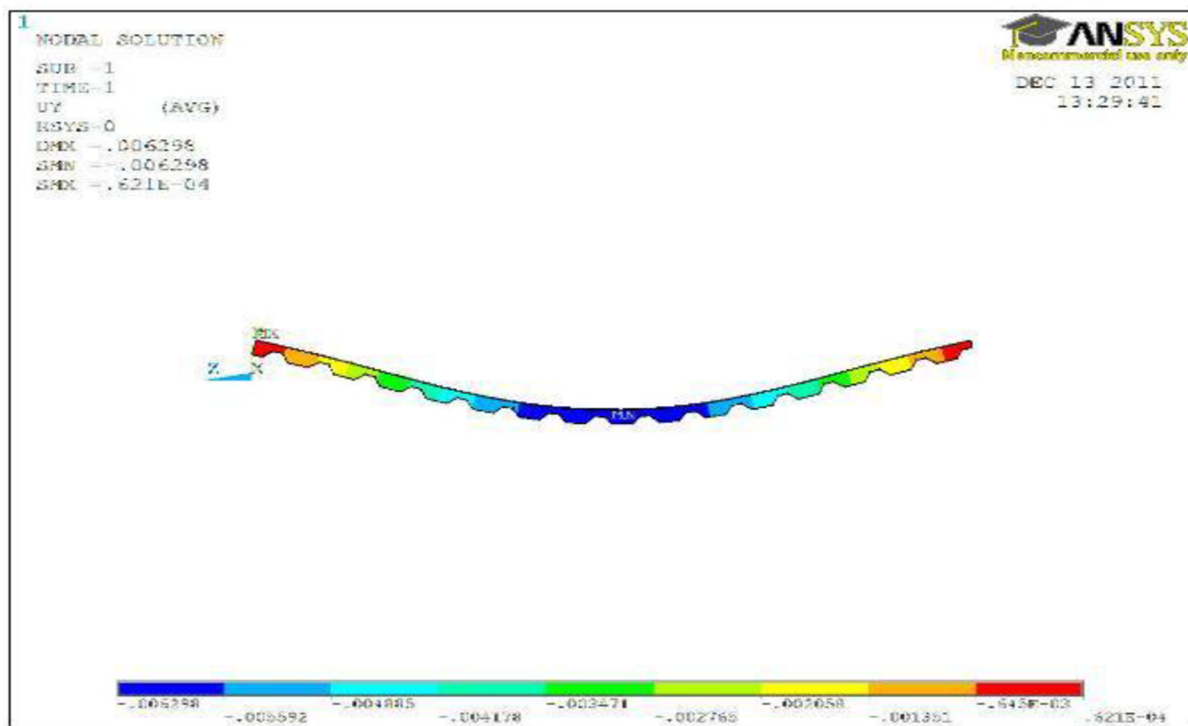
Obrázok č. 10.2 – extrém normálového napätia v ohybe v smere globálnej osy z – doska

10.2 Priehyby

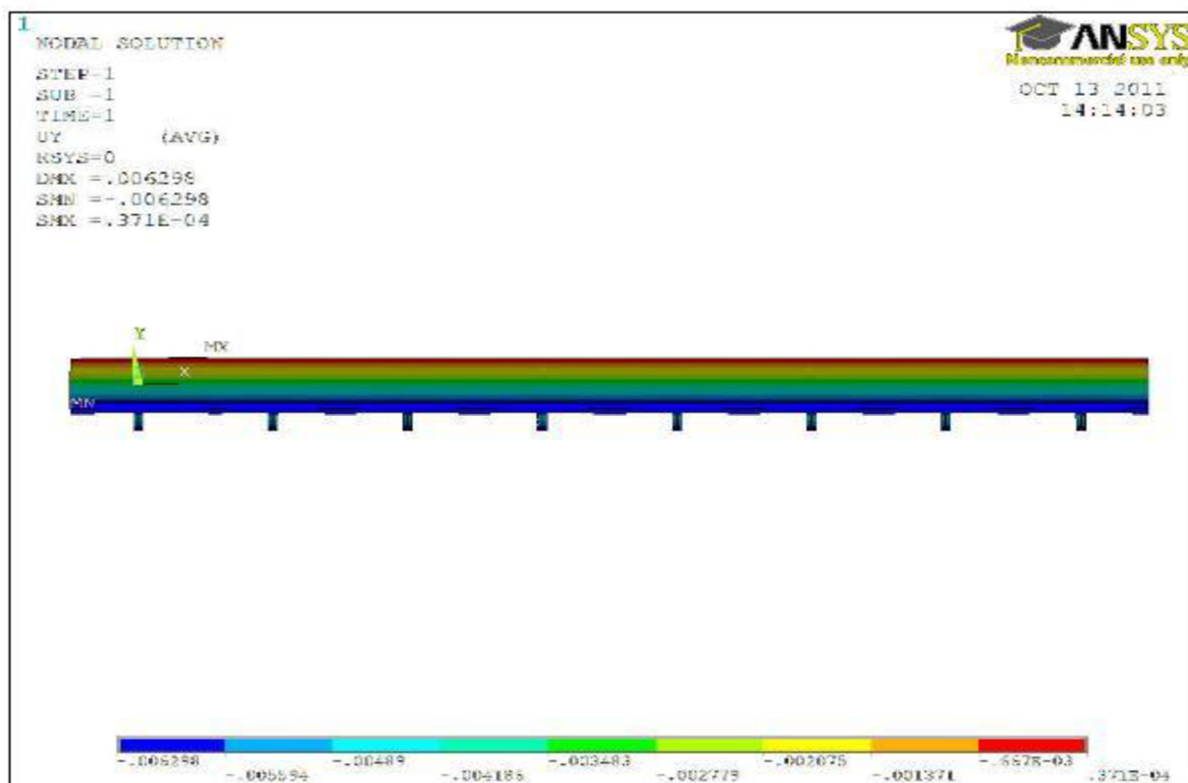
V programe ANSYS bola spočítaná extrémna hodnota priehybu, ktorá je 6,397 mm.



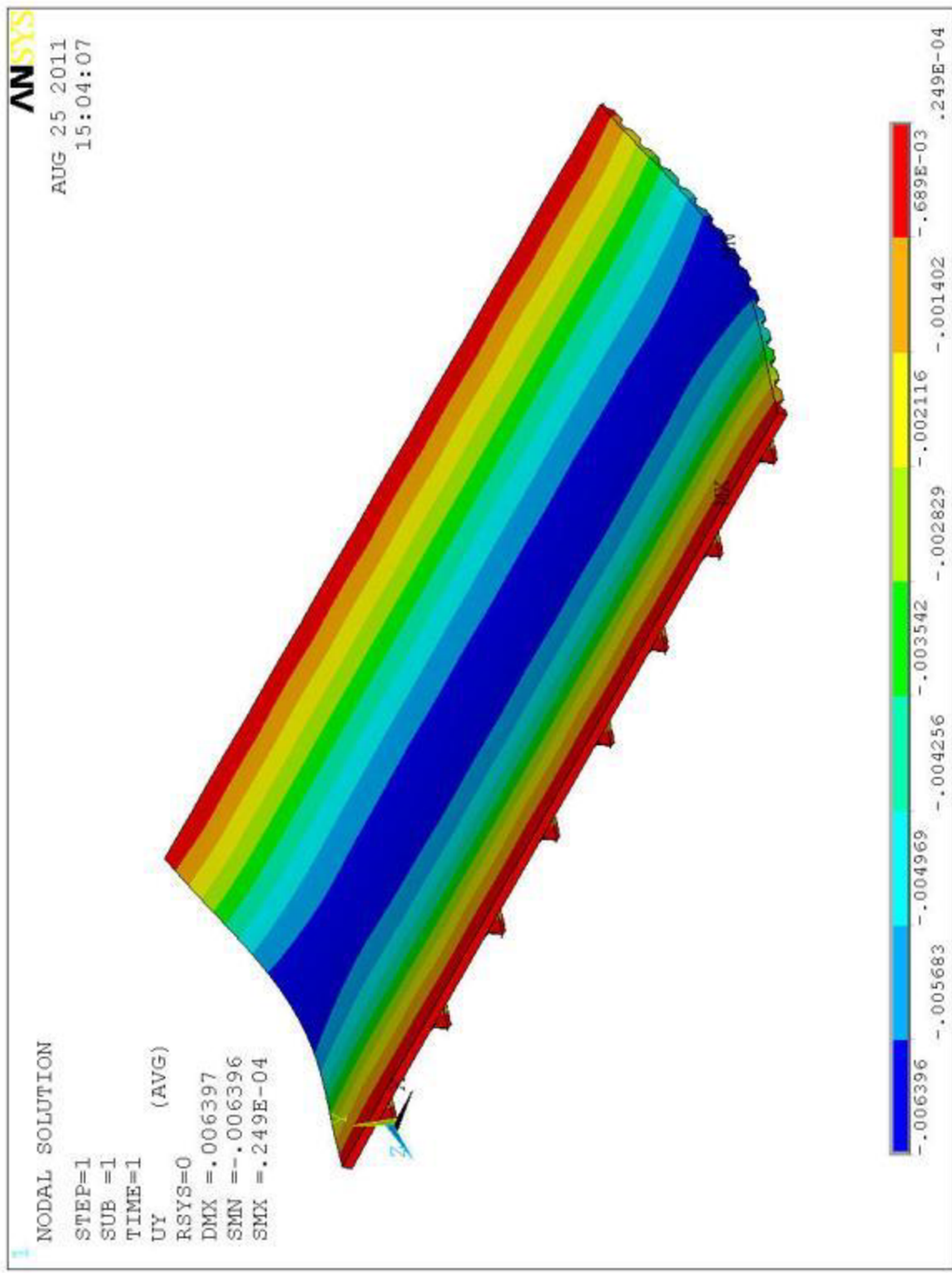
Obrázok č. 10.3 – *priehyb stropnej konštrukcie – nosník*



Obrázok č. 10.4 – *priehyb stropnej konštrukcie – doska*



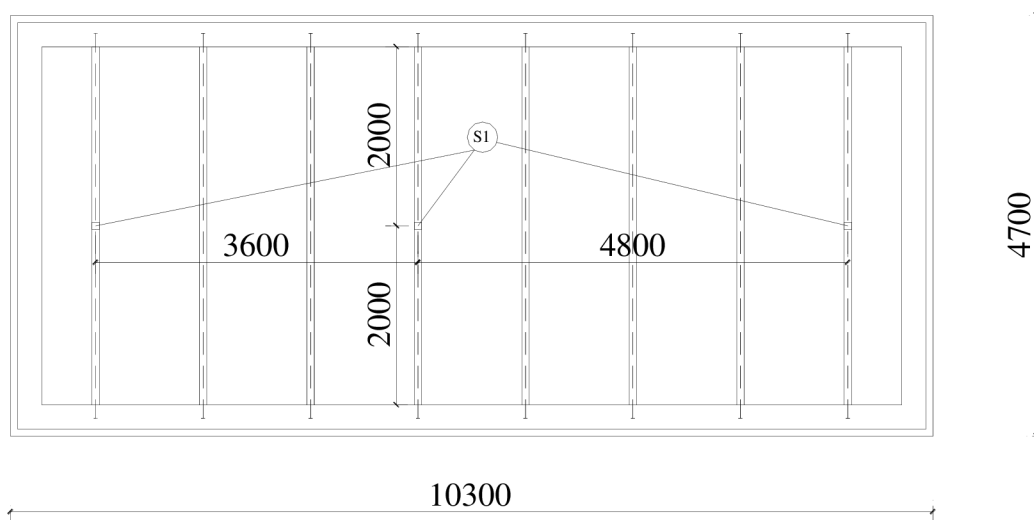
Obrázok č. 10.5 – *priehyb stropnej konštrukcie rez v smere osy x*



Obrázok č. 10.6 – *priehyb stropnej konštrukcie pohľad axo*

11 NÁVRH VHODNÉHO PODOPRENIA

Vzhľadom k veľmi malému rozdielu v priehybe medzi vypočítanou hodnotou a normou stanovenou hodnotou (4,1 %) nie je možné ďalšie priráženie stropnej konštrukcie bez návrhu vhodného podoprenia. Pre zmenšenie extrémnu priehybu bolo navrhnuté podoprenie tromi piliermi, obr. 11.1.



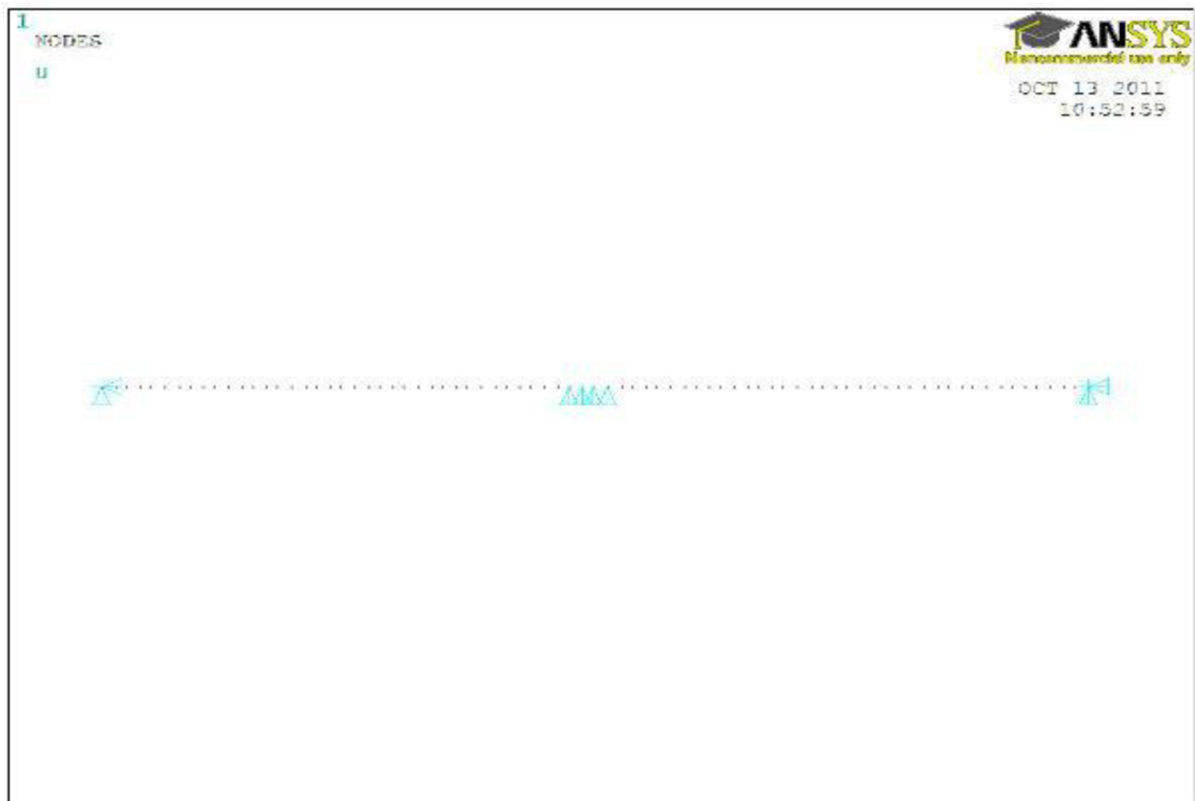
S1 – stĺpy podopierajúce stropnú konštrukciu

Obrázok č. 11.1– *nákres umiestnenia pilierov podopierajúcich stropnú konštrukciu*

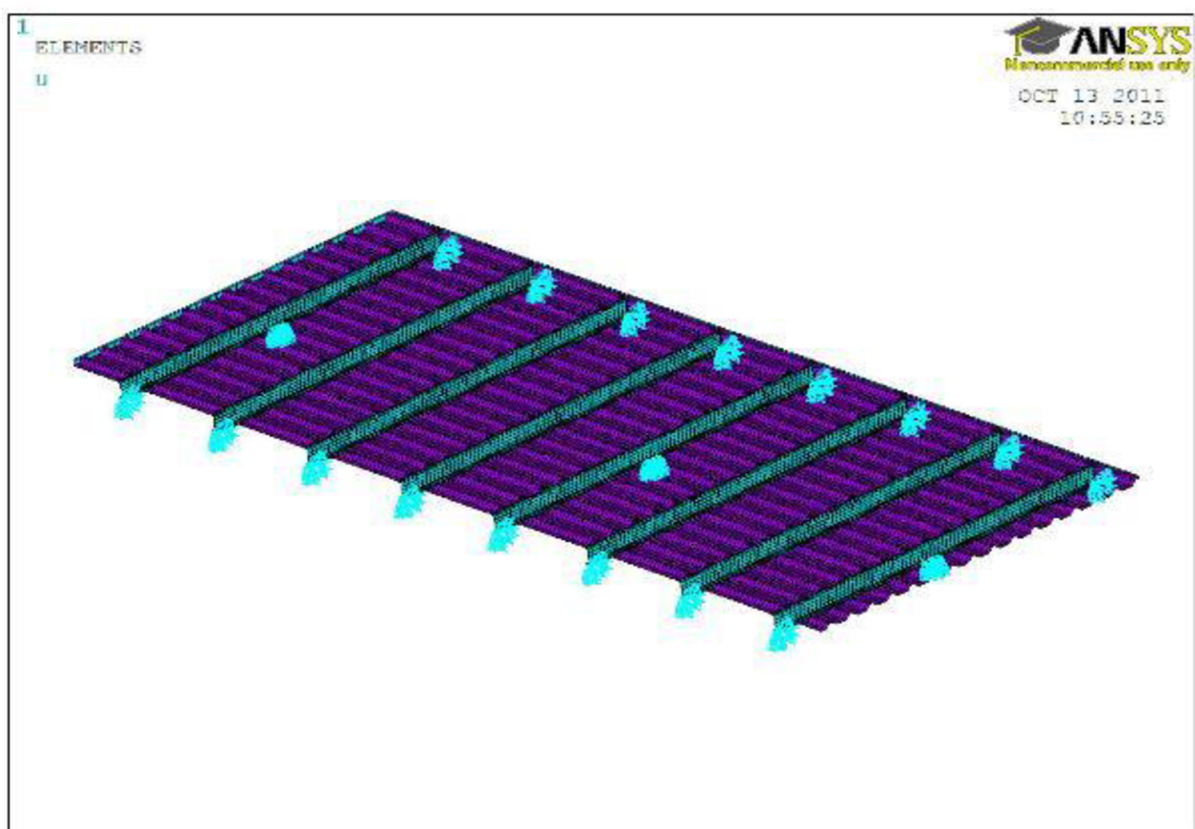
Postup zadania podpor je obdobný ako do krajných uzlov, len s tým rozdielom, že v tomto prípade je zabránené iba posuvu v smere osy y.

Postup zadania podoprenia:

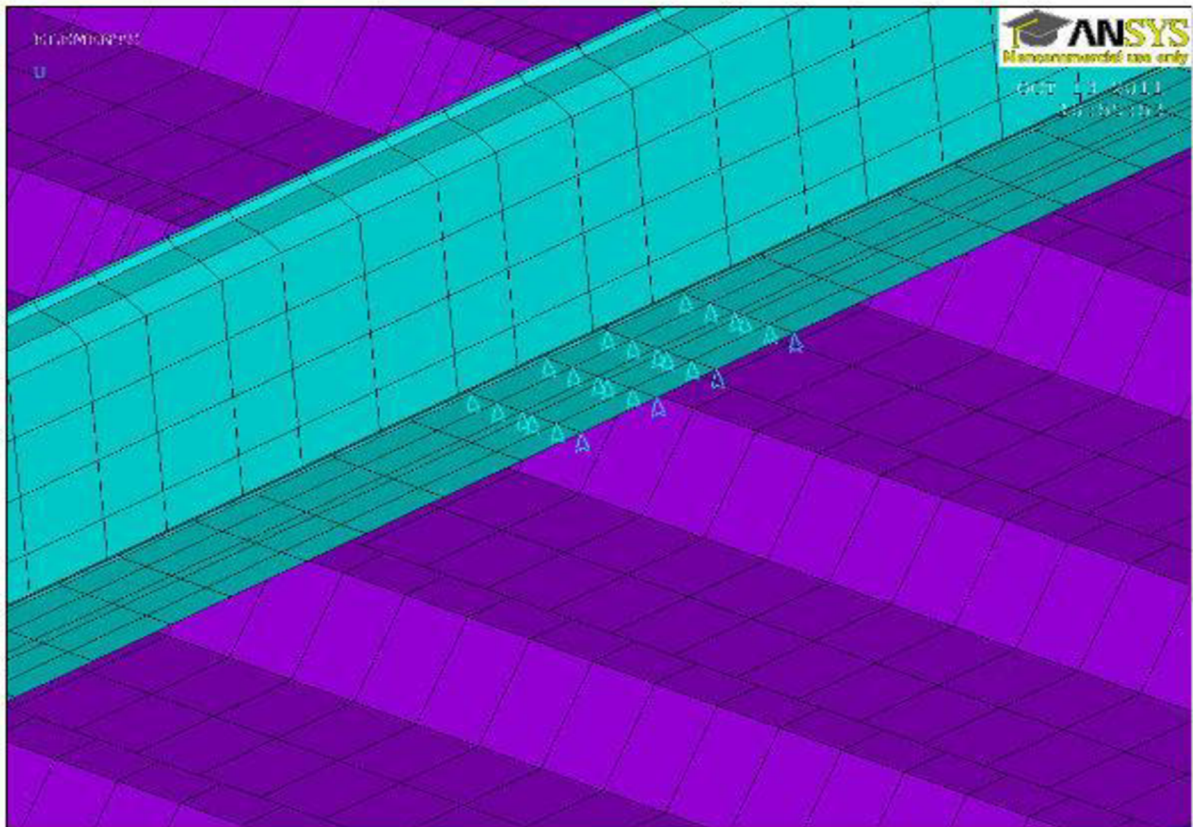
main menu => solution => define loads => apply => structural => displacement => on nodes (teraz vyberieme príslušné uzly, do ktorých chceme vložiť podporu a následne vyberieme smery, v ktorých sa má pohyblivosť zastaviť, v tomto prípade je zabránené posuvu v smere osy y).



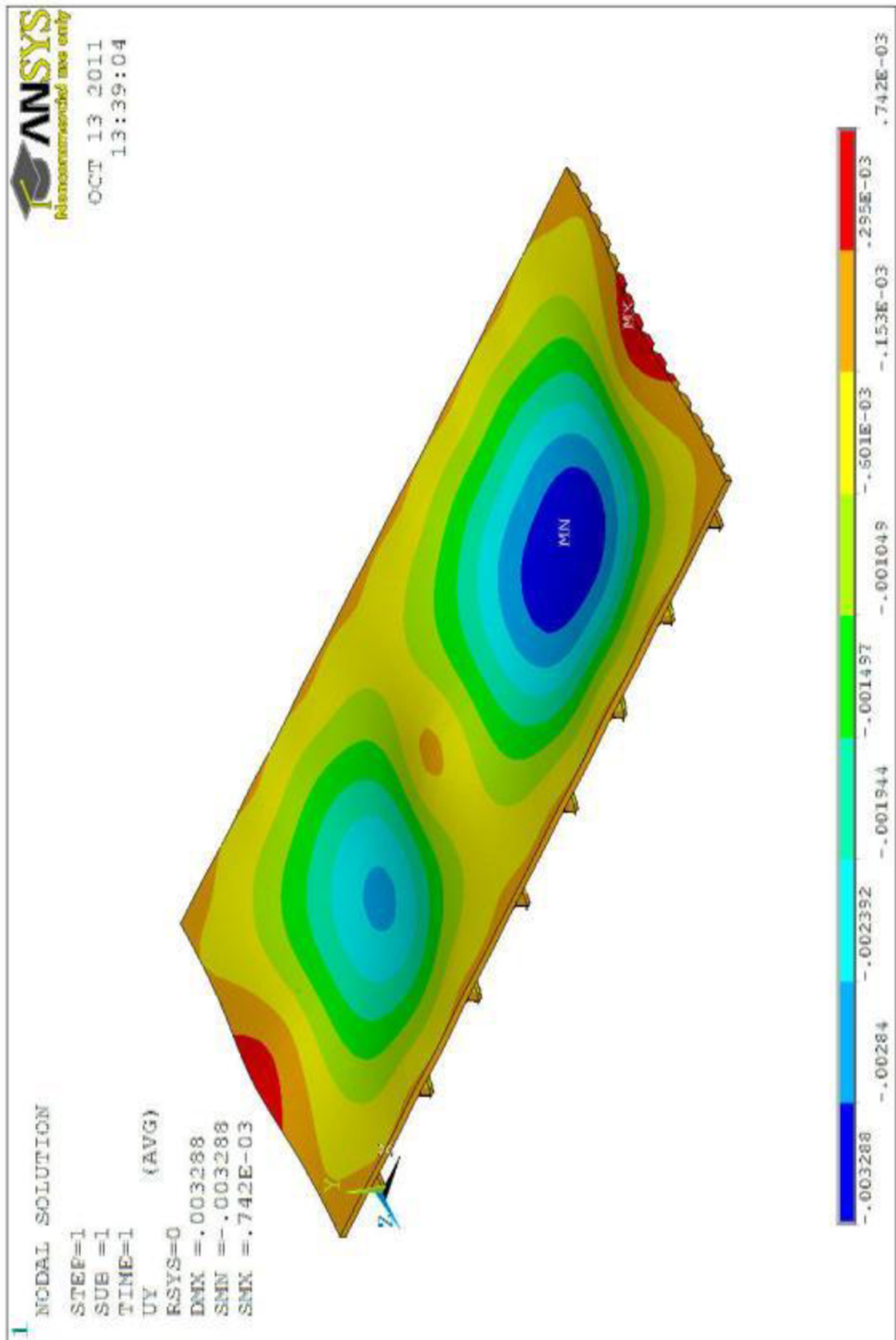
Obrázok č. 11.2 – podoprenie v krajných uzloch a v strede rozpätia (pilier)



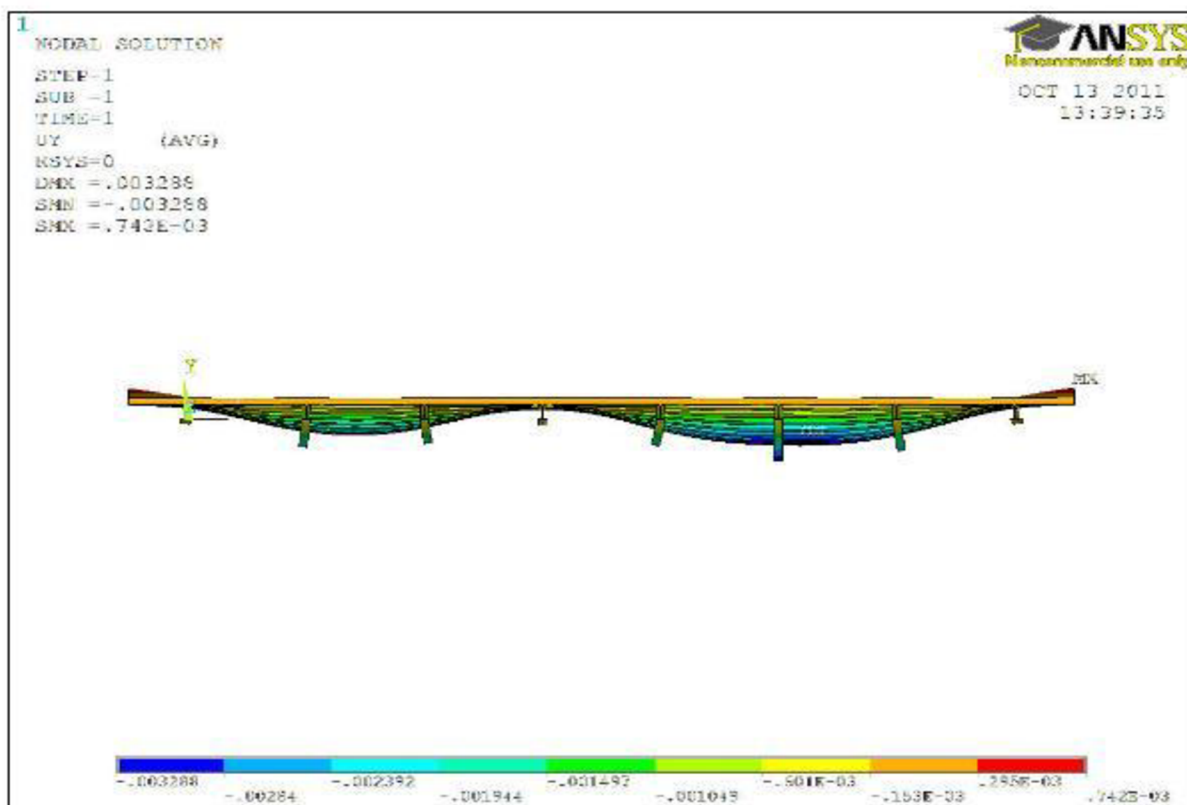
Obrázok č. 11.3 – obrázok podoprenia celého modelu s piliermi



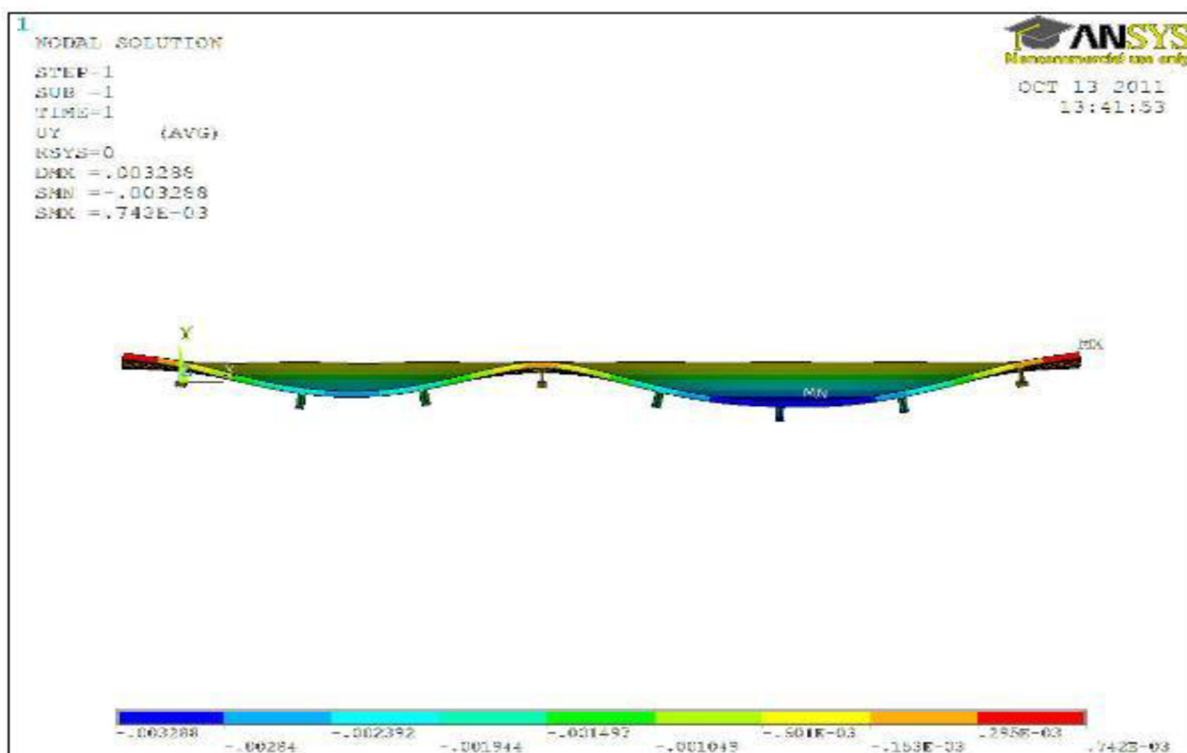
Obrázok č. 11.4 – detail podoprenia oceľových nosníkov piliermi



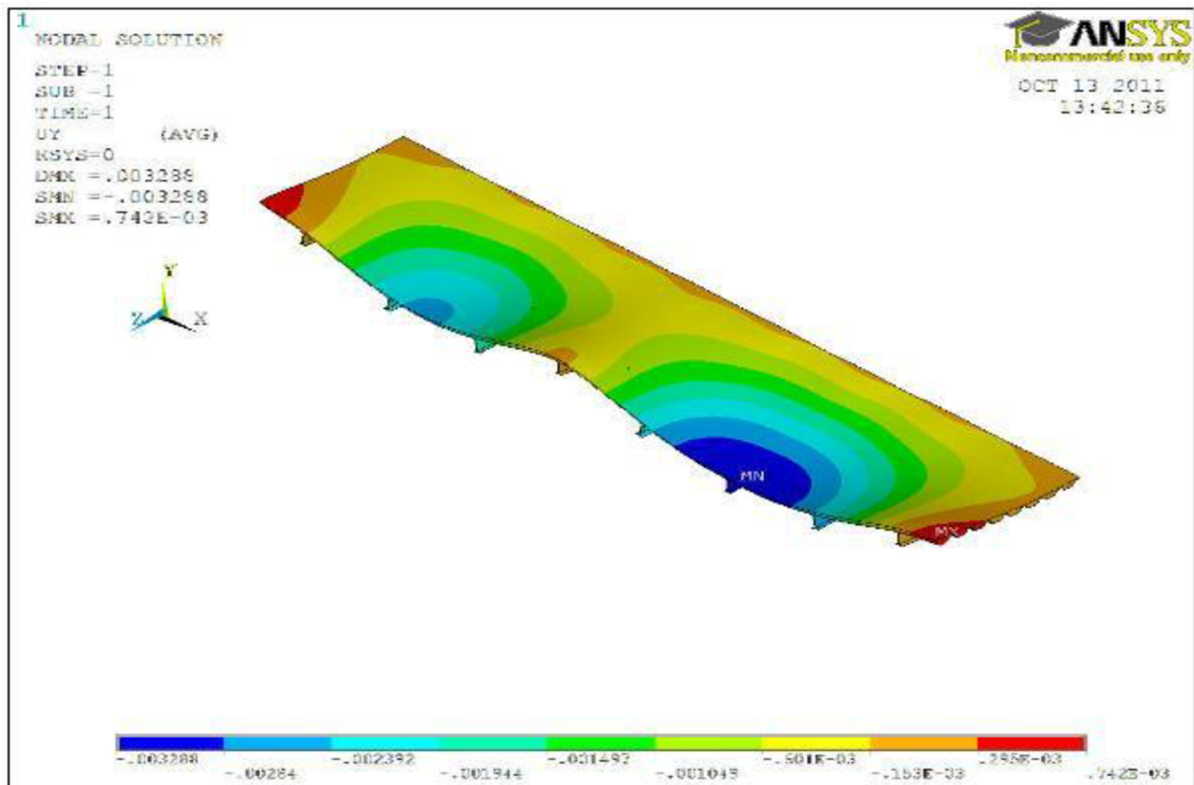
Obrázok č. 11.5 – priehyby celej stropnej konštrukcie podpretej piliermi



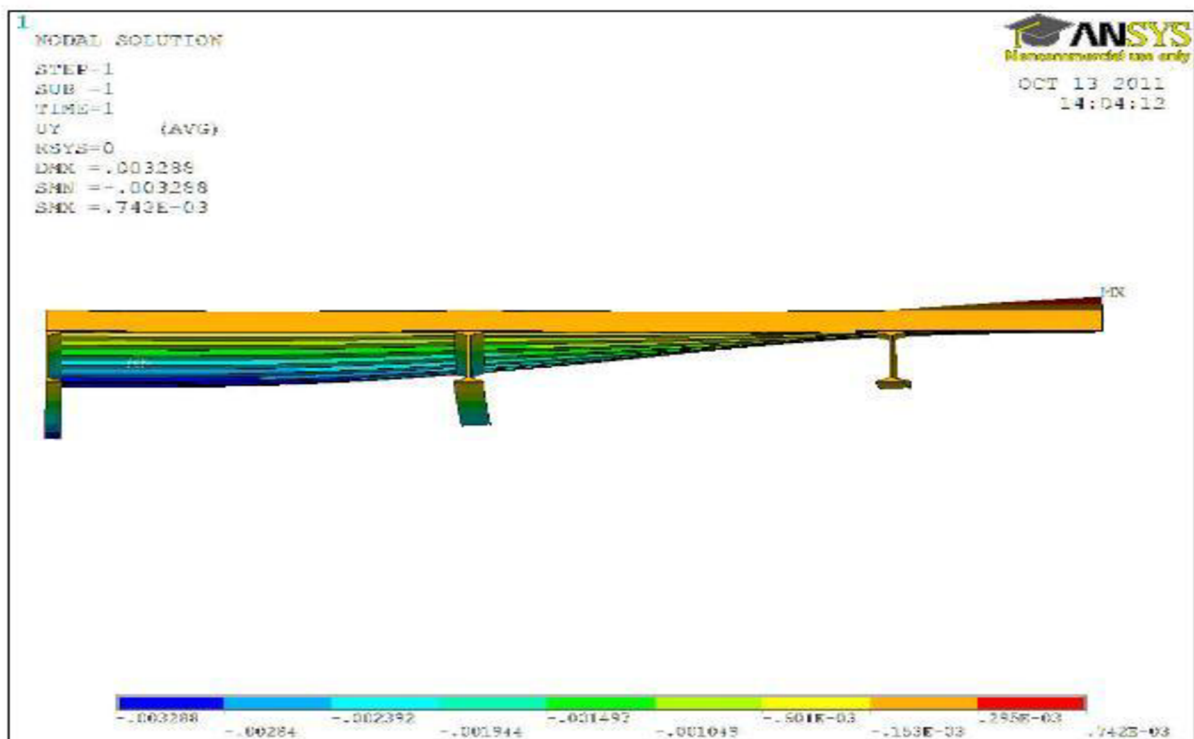
Obrázok č. 11.6 – *priehyby celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi, pohľad z boku*



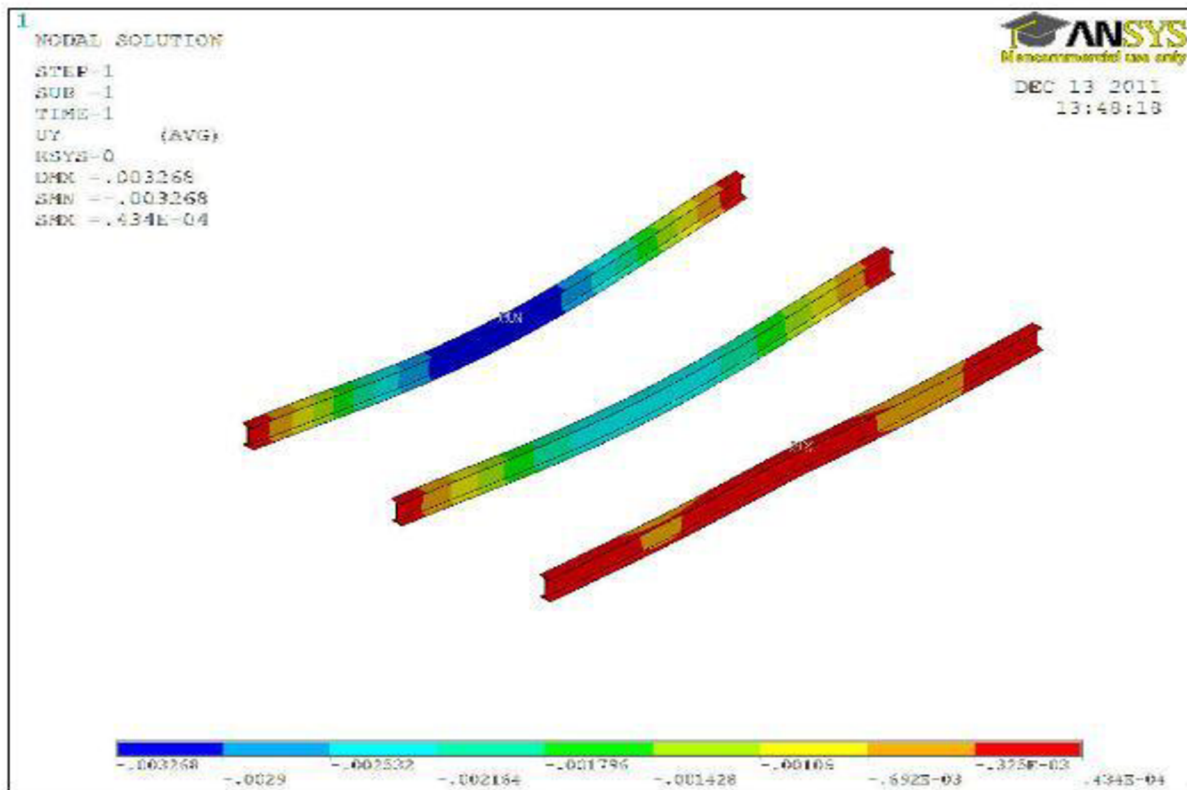
Obrázok č. 11.7 – *priehyby celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi, rez osou x*



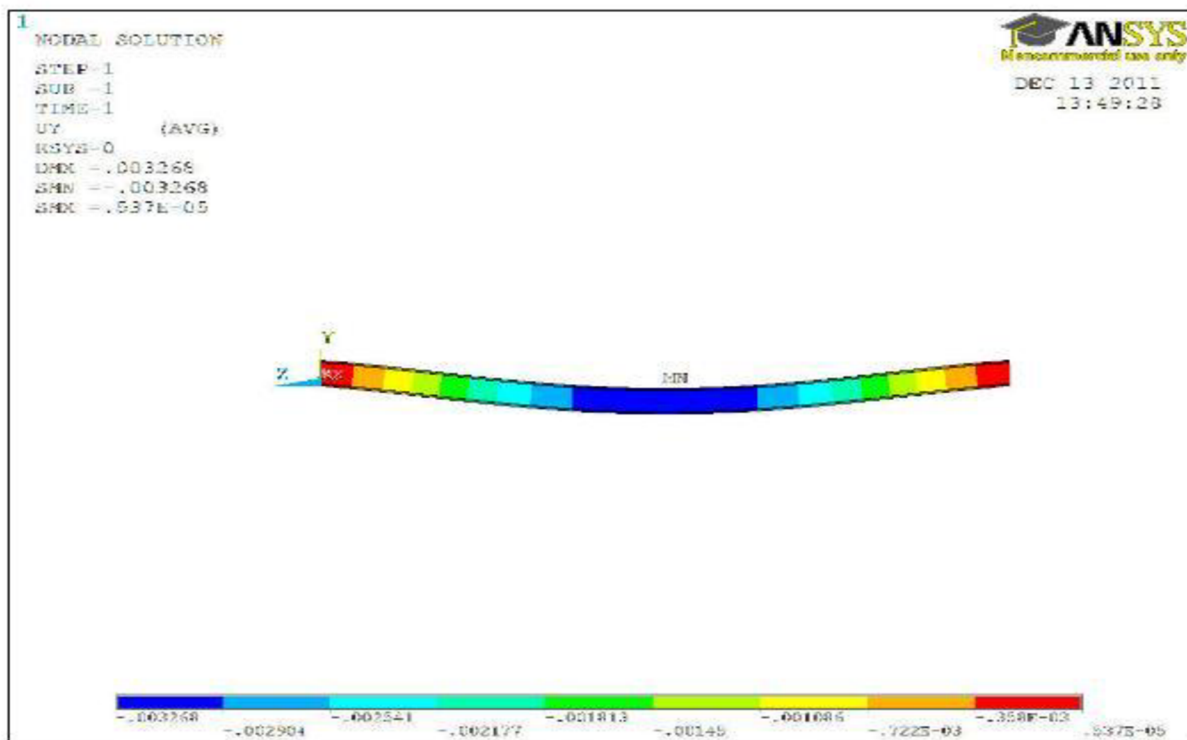
Obrázok č. 11.8 – *priehyby celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi, rez osou x axo*



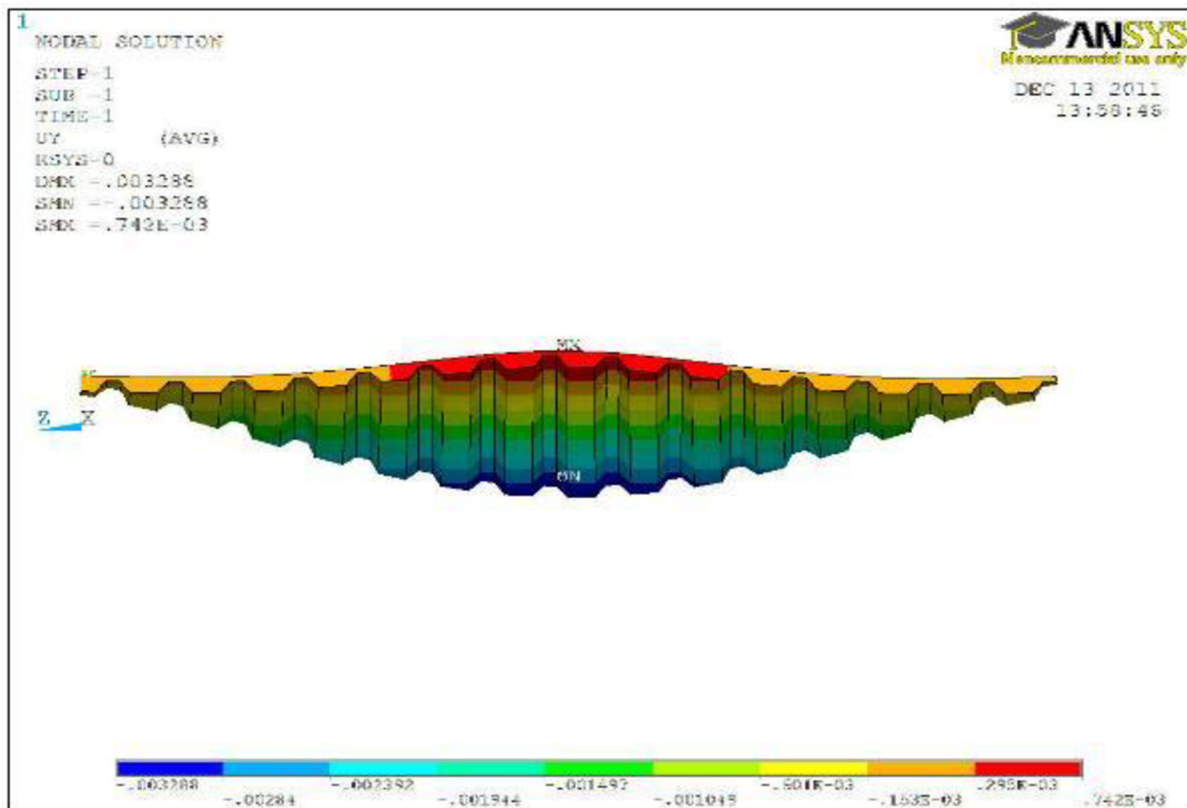
Obrázok č. 11.9 – *rez extrémom priehybu celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi v smere osy z*



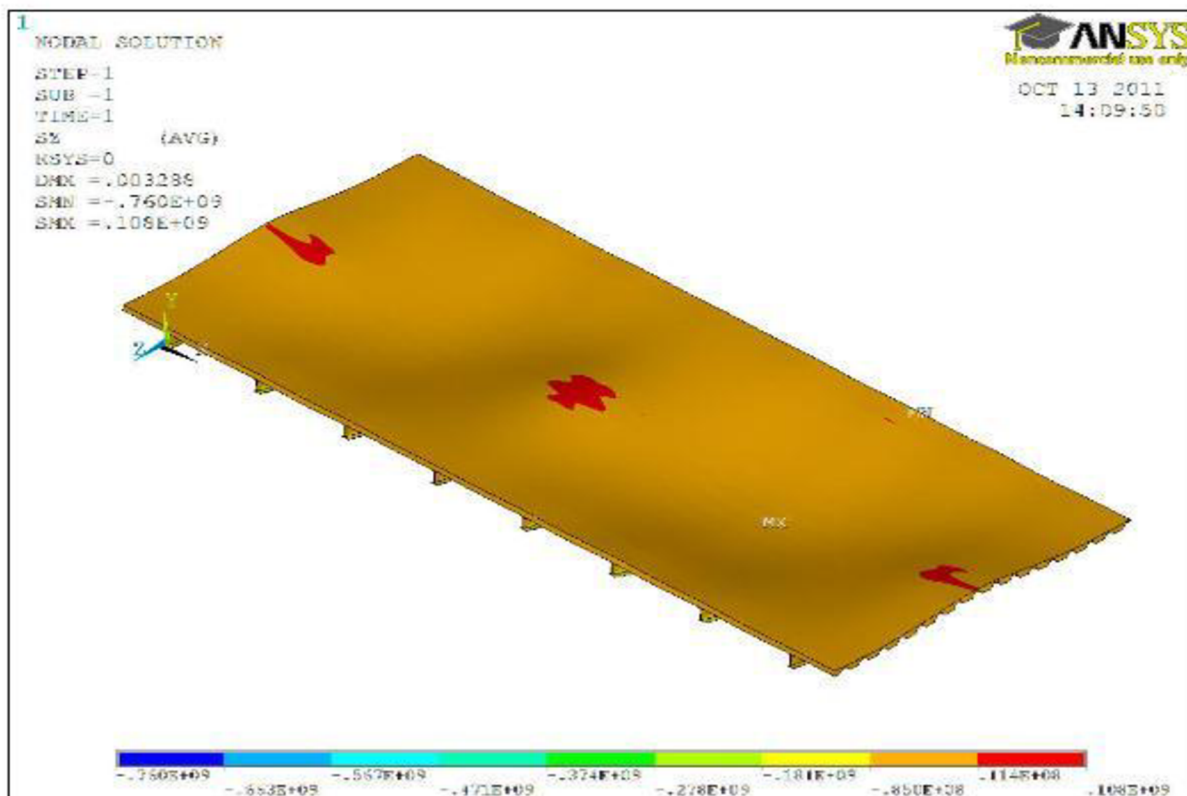
Obrázok č. 11.10 – extrém priehybu celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi v smere osy z - nosníky



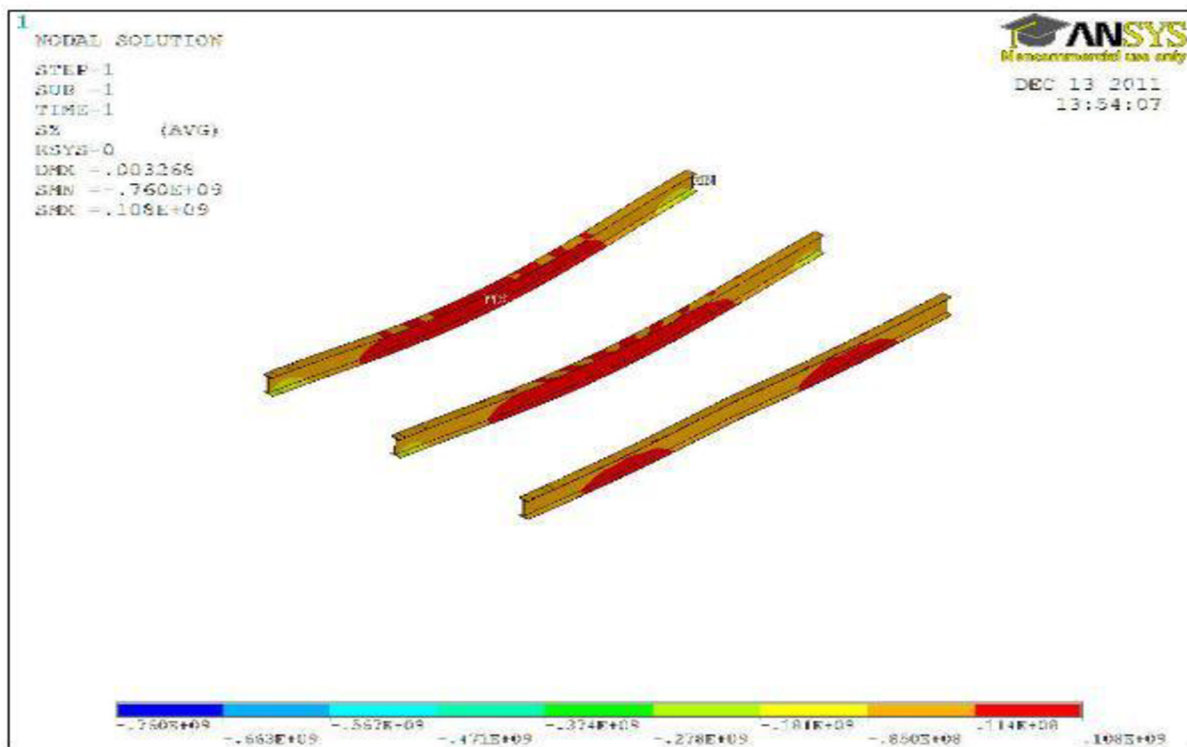
Obrázok č. 11.11 – extrém priehybu celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi



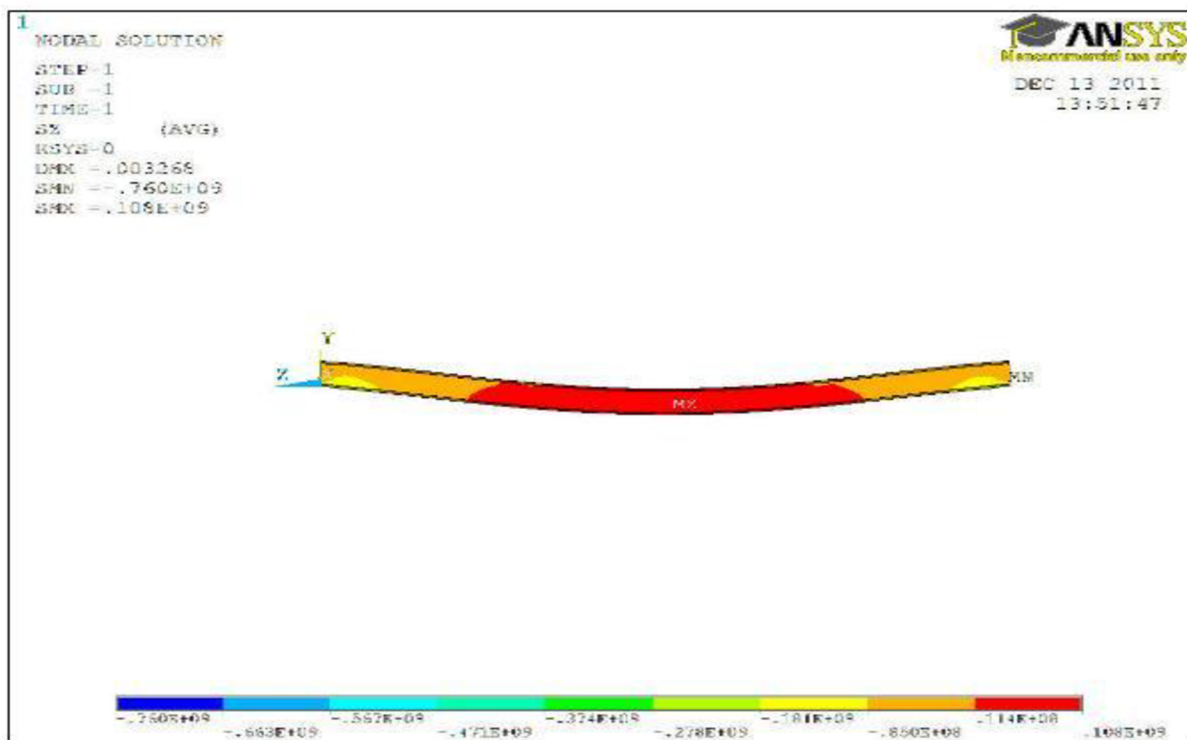
Obrázok č. 11.12 – extrém priehybu celej stropnej konštrukcie podpretej piliermi - doska



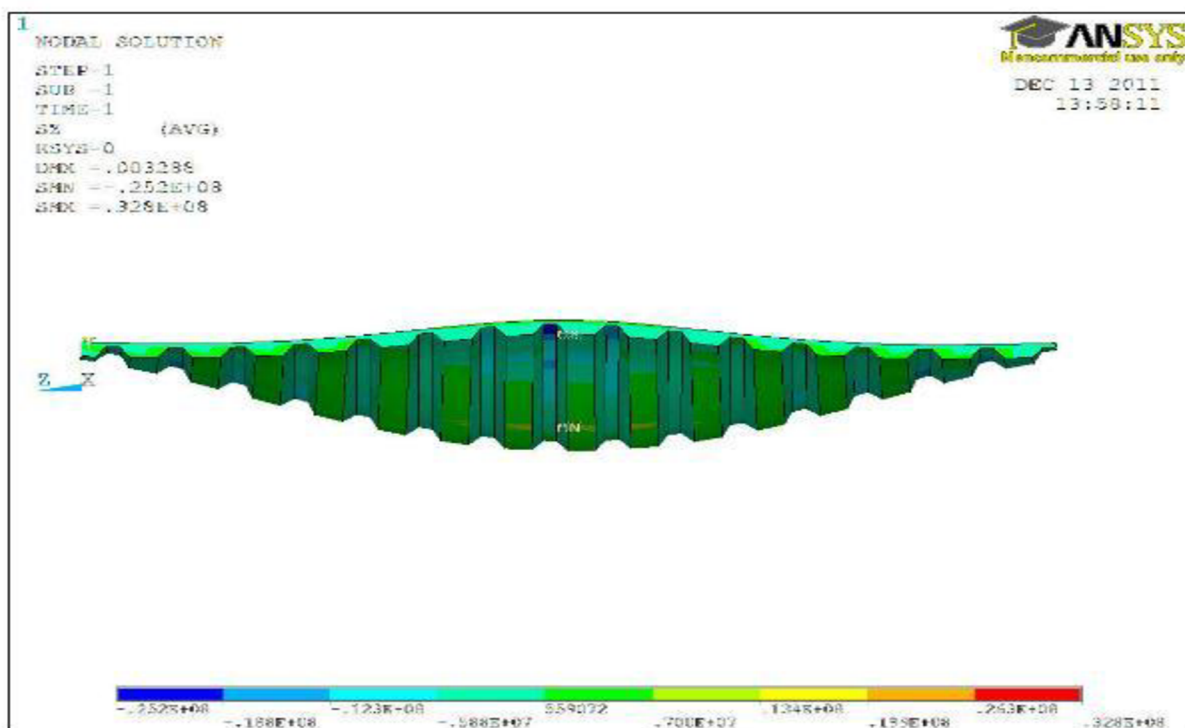
Obrázok č. 11.13 – priebeh normálového napätia v ohybe v smere globálnej osy z



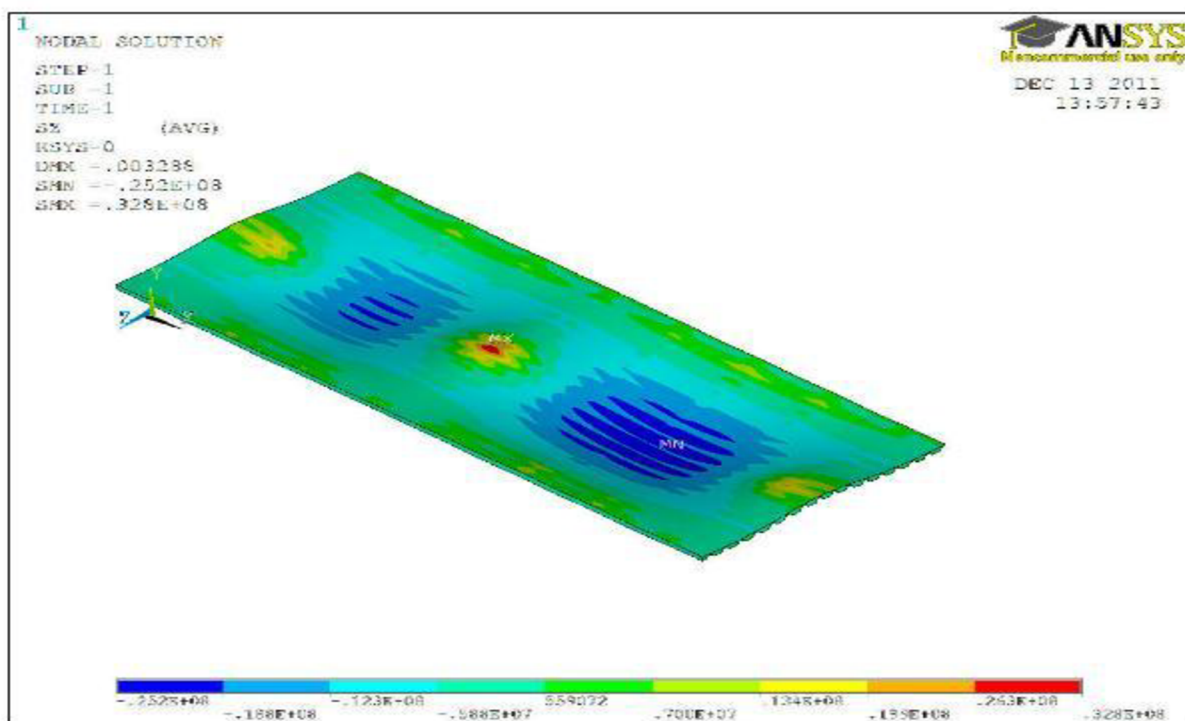
Obrázok č. 11.14 – extrém normálového napätia v ohybe celej stropnej konštrukcie podpretej piliermi – nosníky



Obrázok č. 11.15 – extrém normálového napätia v ohybe celej stropnej konštrukcie podpretej piliermi



Obrázok č. 11.16 – extrém normálového napätia v ohybe celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi – doska



Obrázok č. 11.17 – normálové napätie v ohybe celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi – doska

Podoprením stropnej konštrukcie piliermi bol radikálne znížený extrém priehybu celej konštrukcie. Priehyb klesol z hodnoty 6,369 mm na hodnotu 3,288 mm. Vhodným usporiadaním pilierov nie je ohrozené dispozičné rozloženie priestorov. Zmenšením priehybu sa zvýšila využiteľnosť stropnej konštrukcie a je tak možné ďalšie prítáženie.

12 ZÁVER

12.1 Porovnanie normálových napätí vypočítaných ručným výpočtom a programom ANSYS

K porovnaniu získaných hodnôt napätia boli vybrané prierezy, kde dochádza ku extrémom normálových napätí.

Hodnoty porovnávaných napätí vypočítané programom ANSYS a jednoduchým ručným výpočtom z kapitoly 7, sú obsiahnuté v tabuľke 12.1

Tabuľka č. 12.1 - porovnanie normálových napätí z ručného výpočtu a z programu ANSYS

dĺžka nosníka (m)	hodnota normálového napätia získaná ručným výpočtom (MPa)	hodnota normálového napätia získaná z programu ANSYS (MPa)
4,0	82,16	78,14

12.2 Porovnanie priehybov vypočítaných ručným výpočtom a programom ANSYS

Na porovnanie hodnôt priehybov ručným výpočtom a programom ANSYS bol vykonaný ručný kontrolný výpočet nosníka pôsobiaceho ako prostý nosník s rozpätím 4,0 m. Výpočet bol prevedený pomocou Clebschovej metódy, vid' kapitola 6. Porovnanie výsledkov je v nasledujúcej tabuľke 12.2.

Tabuľka č. 12.2 - porovnanie priehybov vypočítaných ručným výpočtom a programom ANSYS

hodnota z programu ANSYS (m)	priehyb podľa ručného výpočtu (m)
0,006369	0,006138

12.3 Vyhodnotenie výsledkov

Porovnanie najvyšších hodnôt normálových napätí za ohybu vypočítaných programom ANSYS s normou stanovenými hodnotami je v nasledujúcej tabuľke 12.3

Tabuľka č. 12.3 - porovnanie najvyšších hodnôt normálových napätí za ohybu vypočítaných

programom ANSYS s normou stanovenými hodnotami

hodnota z programu ANSYS (MPa)	normou stanovená hodnota (MPa)	posúdenie
78,14	210	VYHOVUJE

V tabuľke 12.4 je porovnanie najvyšších hodnôt priehybov podľa programu ANSYS s normou stanovenými hodnotami.

Tabuľka č. 12.4 - *porovnanie najvyšších hodnôt priehybov podľa programu ANSYS a s normou stanovenými hodnotami*

dĺžka nosníka (m)	priehyb ČSN (m)	priehyb ANSYS (m)	posúdenie
4,0	0,006670	0,006396	VYHOVUJE

12.4 Záver

Stropná konštrukcia pôdorysných rozmerov 9,95 x 4,70 m, vyhovuje z hľadiska priehybov. Najväčšia hodnota priehybu je na nosníku dĺžky 4,0 m a to 0,006396 m a normou povolená maximálna hodnota je 0,006670 m. Z hľadiska normálového napätia v ohybe stropná konštrukcia tiež vyhovuje. Maximálna hodnota získaná programom ANSYS je 78,14 MPa , maximálna normou povolená hodnota je 210 MPa. Z dôvodu veľmi malého rozdielu medzi normovou hodnotou a výsledkom z programu (4,1 %), však nie je možné konštrukciu priťažiť. Vhodným návrhom podoprenia stropnej konštrukcie bola získaná rezerva v zaťažení a to 0,58 kNm. Ďalšie priťaženie by bolo možné iba vtedy, ak by sa navrhlo vhodné podoprenie, ktoré by vyhovovalo ako statike stropu, tak aj možnostiam dispozičného usporiadania. Vid' kapitola 11.

13 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Doc. Ing. SVATOPLUK ŠMIŘÁK, Csc. - Pružnost a plasticita 1 pro distanční studium, 2. vydanie, Vydalo VUT v Brně 1999, ISBN 80-214-1151-1
- [2] Norma ČSN 731401: Navrhování ocelových konstrukcí
- [3] Documentation for ANSYS, Release 11.0
- [4] Norma ČSN 730035 : Zatížení stavebních konstrukcí

14 PRÍLOHY

Príloha č. 1 súradnice bodov čela ocelového I profilu 180

LIST ALL SELECTED KEYPOINTS. DSYS= 0

NO.	X, Y, Z LOCATION			THXY, THYZ, THZX ANGLES		
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.8200000E-01	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.8200000E-01	0.2080000E-02	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.7790000E-01	0.6180000E-02	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.4445000E-01	0.1675000E-01	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.000000	0.1779200	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.4445000E-01	0.1632500	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.4100000E-02	0.1738200	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.4445000E-01	0.1800000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.3755000E-01	0.1800000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.8200000E-01	0.1779200	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.3755000E-01	0.1779200	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.8200000E-01	0.1800000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.000000	0.1800000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.4445000E-01	0.1779200	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
16	0.3755000E-01	0.2080000E-02	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.3755000E-01	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
18	0.3755000E-01	0.1632500	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
19	0.7790000E-01	0.1738200	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.3755000E-01	0.1675000E-01	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000

NO.	X, Y, Z LOCATION			THXY, THYZ, THZX ANGLES		
21	0.4100000E-02	0.6180000E-02	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
22	0.000000	0.2080000E-02	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
23	0.4445000E-01	0.000000	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000
24	0.4445000E-01	0.2080000E-02	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000

Príloha č. 2 prepočet zaťaženia na uzly

dĺžka nosníka (m)	sila pôsobiaca na nosník (kN)	počet uzlov	sila na 1 uzol (kN)
4,0	26,454	96	0,276

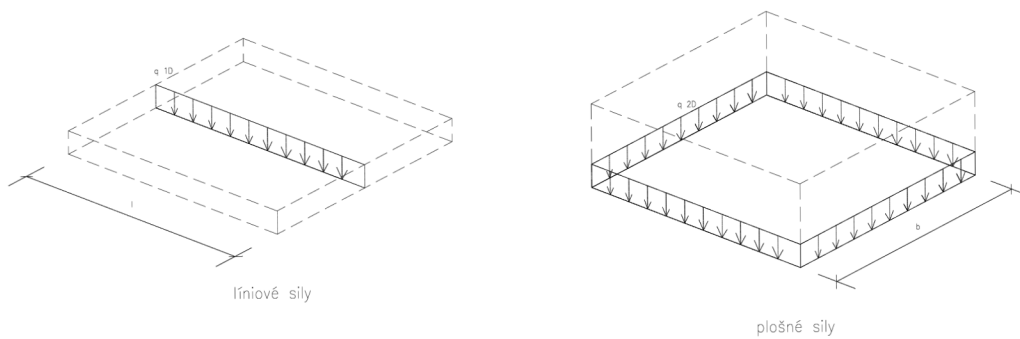
Príloha č. 3 prepočet líniového zaťaženia na plošné

$$q^{1D} = q^{2D} * b \text{ (kN/m)}$$

$$q^{2D} = q^{1D} / b = 6,6135 / 9,6 = 0,6889 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

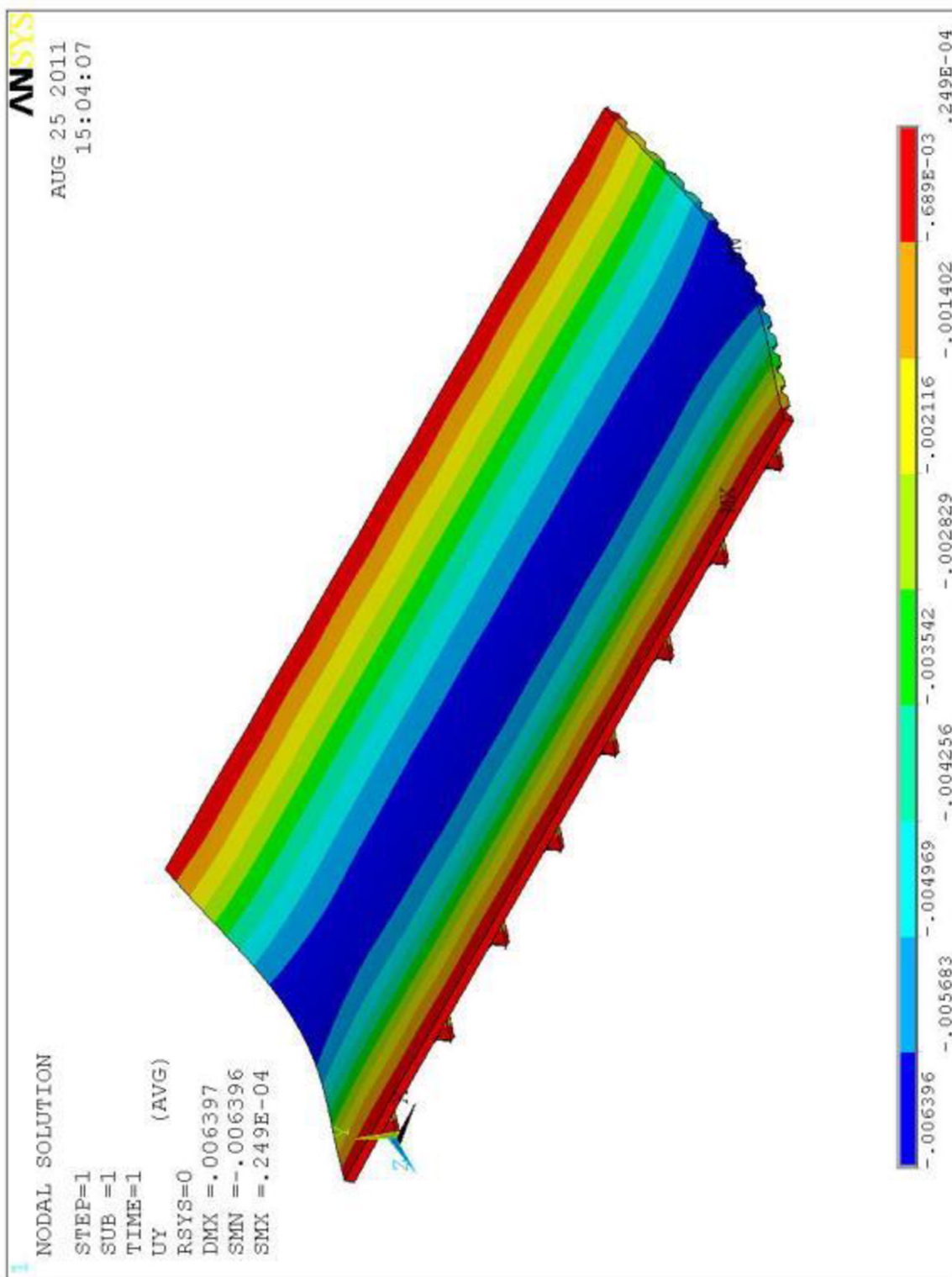
$$l = 4,0 \text{ m}$$

$$b = 9,6 \text{ m}$$

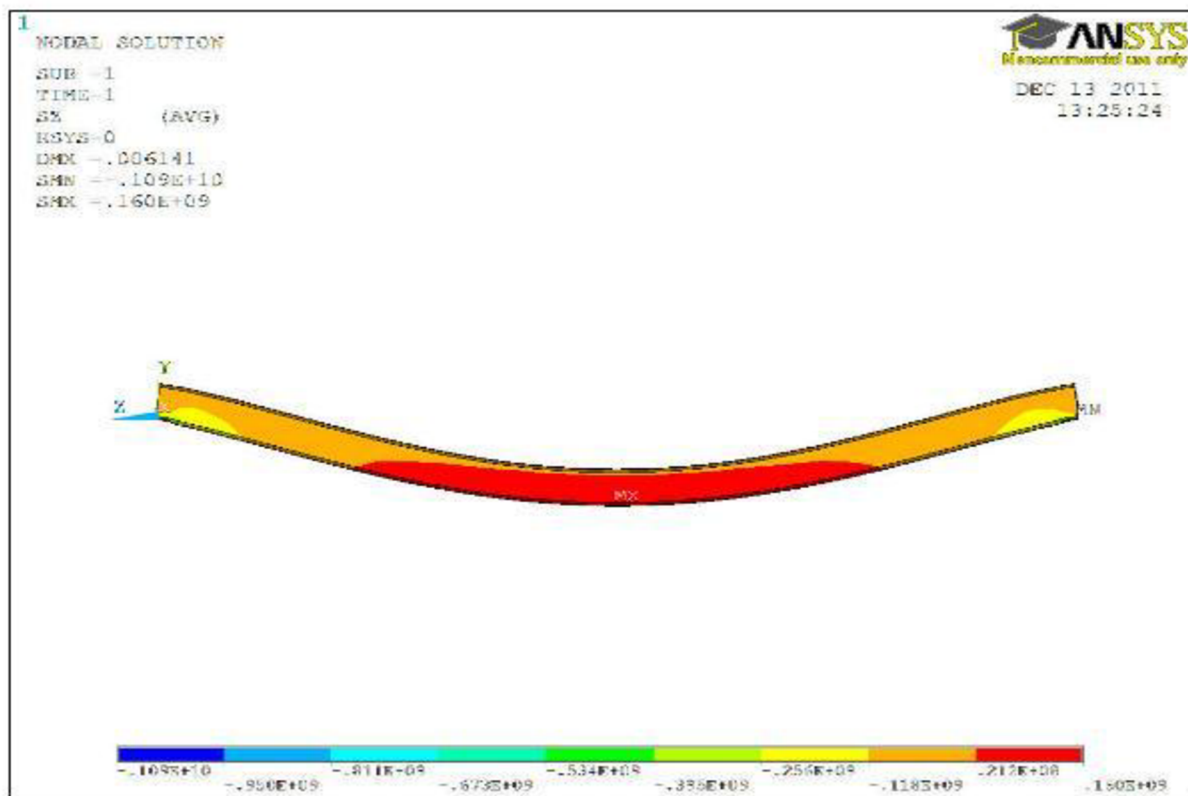


Príloha č. 3.1 – *schematické znázornenie líniových a plošných síl*

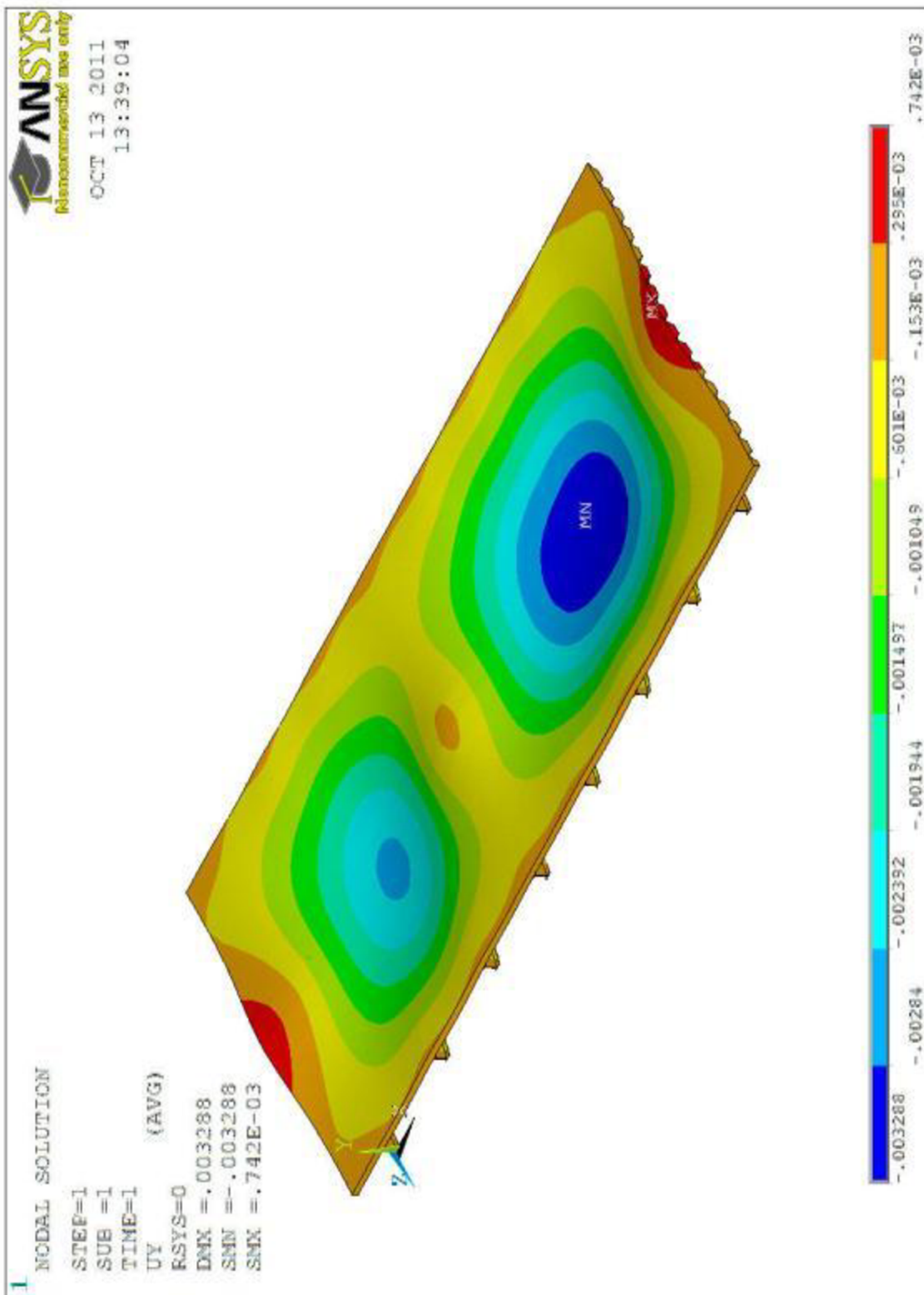
Príloha č. 4 hodnoty priehybov a napätí nepodopretej a podopretej stropnej konštrukcie pri použití prvku PLANE 182 a moderných osemuzlových prvkov.



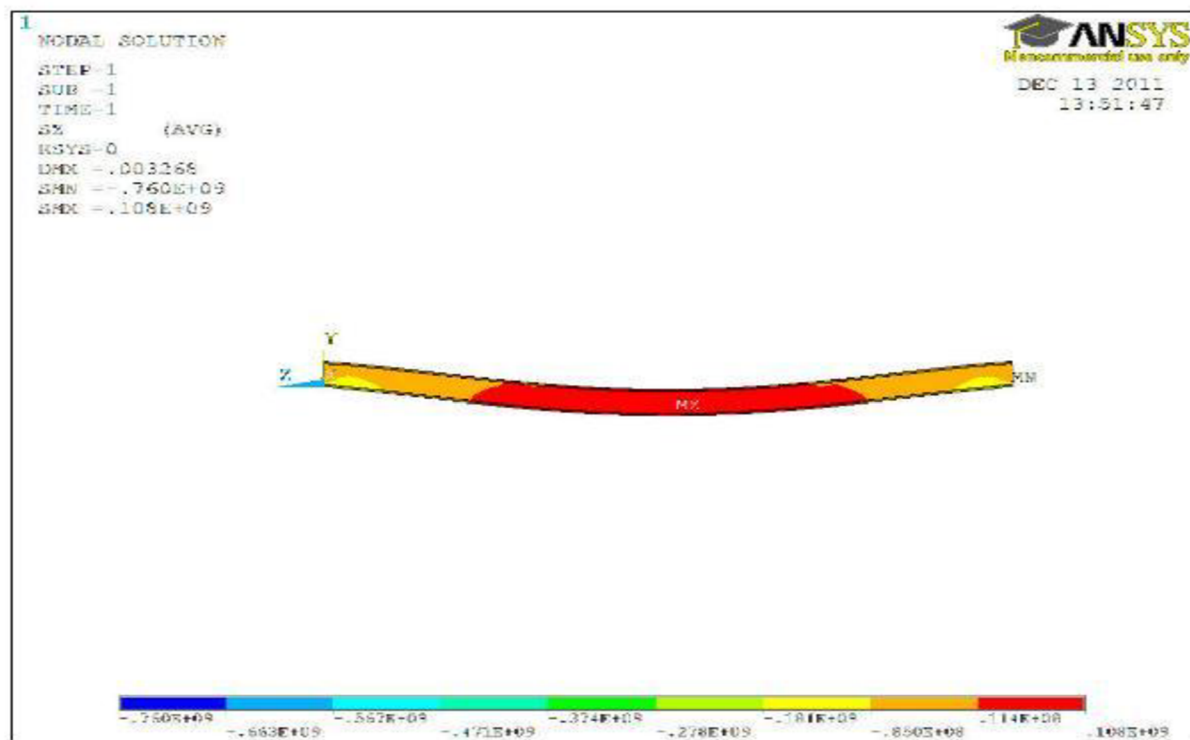
Príloha č. 4.1 – *priehyb stropnej konštrukcie bez stĺpov*



Príloha č. 4.2 – extrém normálového napätia v ohybe v smere globálnej osy z – nosník, bez stĺpov



Príloha č. 4.3 – priehyby celej stropnej konštrukcie s prvkami PLANE 182 podopretej piliermi



Príloha č. 4.4 – extrém normálového napätia v ohybe celej stropnej konštrukcie podopretej piliermi

	priehyb (mm)
konštrukcia bez stĺpov	6,396
konštrukcia so stĺpmi	3,288

Príloha č. 4.5 - porovnanie najvyšších hodnôt priehybov podľa programu ANSYS medzi podopretou a nepodopretou stropnou konštrukciou.

Extrémna hodnota napätia taktiež zostala nezmenená a teda 78,14 MPa.

Príloha č. 5 výkres stropnej konštrukcie

Príloha č. 6 výpočet rezervy zaťaženia

Priehyb bol určený podľa normy ČSN 73 14 01 "Navrhování ocelových konstrukcí". Pre ručný výpočet možno pri nosníku stáleho prierezu ($EI = \text{konšt.}$) s výhodou použiť Clebschovu metódu, ktorá spočíva v takej úprave integračného postupu, pri ktorej vystupujú vždy iba dve integračné konštanty.

I č. 180 ako prostý nosník:

Maximálny ohybový moment:

$$M_{\max} = 1/8 * q * l^2 = 1/8 * q * 4^2 = 2 * q \text{ kNm}$$

Maximálne normálové napätie v ohybe:

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W = 2 * q * 10^6 / 161 * 10^3 = (2 * q * 10^3) / 161 \text{ MPa}$$

(dolné vlákna)

Priehyb v strede nosníka:

Ohybový moment vo všeobecnom priereze X:

$$M_x = 2 * q * x - q * x^2 / 2$$

Výpočet reakcií na prostom nosníku:

V prvom kroku si zvolím konvenciu síl (kladný smer síl a momentu)

Z podmienky rovnováhy : $\sum F_{ix} = 0 \Rightarrow$ reakcia v smere osi x a to : $A_x = 0 \text{ kN}$

$\sum F_{iy} = 0$ a $\sum M_{ai} = 0$ potom reakcie v smere osi y a to:

$-A_y + Q - B_y = 0$, kde Q – náhradné bremeno za spojité zaťaženie,

$$Q = 4 * q \text{ kN}$$

$$-A_y + 4 * q - B_y = 0$$

$$-Q * 2 + B_y * 4 = 0$$

Reakcie: $A_y = B_y = 2 * q \text{ kN}$

Diferenciálna rovnica ohybovej čiary:

$$EIw'' = -2 * q * x + q * x^2 / 2$$

Túto rovnicu teraz postupne dvakrát integrujeme, pričom dodržiavame pravidlo, že pri integrovaní neodstraňujeme zátvorky u dvojčlenov ($x - a_j$) a nakladáme s nimi ako s nezávislou

premennou.

$$EIw' = -2*q*x^2/2 + q*x^3/6 + C_1$$

$$EIw = -q*x^3/3 + q*x^4/24 + C_1*x + C_2$$

Z okrajových podmienok vypočítame integračné konštanty:

$$\text{Okrajové podmienky: } w(x=0) = 0 \Rightarrow C_2 = 0$$

$$w(x=4) = 0$$

Dosadením:

$$x = 4 \quad 0 = -q*21,33 + q*10,67 + 4*C_1 \Rightarrow C_1 = 2,665*q$$

Ohybovú tuhosť EI vyjadríme číselne v kNm^2 , pretože sme ohybové momenty počítali v kNm .

$$E = 210 * 10^6 \text{ kPa} - \text{modul pružnosti oceli}$$

$$I = 17,1 * 10^{-6} \text{ mm}^4 - \text{moment zotrvačnosti valcovaného profilu I 180}$$

Takže ohybová tuhosť a jej prevrátená hodnota sú :

$$EI = 210 * 10^6 * 17,1 * 10^{-6} = 3591 \text{ kNm}^2$$

$$1/EI = 278,5 * 10^{-6} \text{ kN}^{-1}\text{m}^{-2}$$

Dosadením integračných konštant a ohybovej tuhosti do rovnice dostávame rovnicu ohybovej čiary v metroch:

$$\text{Rovnica priehybu : } EIw = -q*(x^3/3) + q*(x^4/24) + 2,665*q*x$$

Dosadením za $x = 2$ m:

$$EIw(x=2) = -2,67*q + 0,67*q + 5,33*q = 3,33*q \text{ kNm}^3$$

Limitný normou stanovený priehyb je 6,67 mm.

Priehyb : $w(x=2) = 3,33*q*10^{12} / 2,1*10^5*17,1*10^6 = 6,67 \text{ mm} \Rightarrow q = 7,193 \text{ kNm}$, z čoho vyplýva, že rezerva zaťaženia je 0,58 kNm.