

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Марко С. Денић

**ПРОРАЧУН И КОНСТРУИСАЊЕ
РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА ПРИМЕНОМ
САВРЕМЕНИХ СОФТВЕРСКИХ РЕШЕЊА**

мастер рад

Крагујевац, 2015.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Лаке конструкције

Број индекса: 306/2013

Марко С. Денић

**ПРОРАЧУН И КОНСТРУИСАЊЕ
РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА ПРИМЕНОМ
САВРЕМЕНИХ СОФТВЕРСКИХ РЕШЕЊА**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Весна Марјановић, ванр. проф.-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да одговори на задату тему редом:

1. Типови решеткастих носача
2. Прорачун и конструисање решеткастих носача
3. Методе одређивања сила у штаповима
4. Конструкцијско обликовање решеткастих носача са и без чворног лима
5. Анализа решеткастих конструкција помоћу рачунара
6. Анализа конкретне просторне решетке коришћењем савремених софтверских решења

Препоручена литература:

- [1] Милосављевић М., Радојковић М., и Кузмановић Б., Основи челичних конструкција, Грађевинска књига, Београд, 1986.
- [2] Бабин Н., Бркљач Н., Шостаков Р., Металне конструкције, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2006.
- [3] Буђевац Д., Марковић З. и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд, 2007.
- [4] Петковић З., Острић Д., Металне конструкције у машиноградњи, Институт за механизацију Машинског факултета у Београду, Београд, 1996.
- [5] Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – Приручник за прорачуне, Машински факултет, Крагујевац, 1998.

Крагујевац, 2015 ментор:

Др Весна Марјановић, ванредни професор

Резиме

На почетку рада дат је кратак историјат и теоријске основе решеткастих конструкција. Приказане су неке од првих решеткастих конструкција са својим предностима, манама и утицајем на даљи развој конструкција овог типа. Затим су дата основна правила за конструисање и кроз три примера објашњени су аналитички, графички и графо-аналитички поступци за одређивање сила у штаповима. Наведени су препоручени и често употребљавани облици попречних пресека штапова. Детаљно је приказано конструкцијско обликовање и прорачун чвора решеткастог носача и то са и без чворног лима. Поред класичног прорачуна и конструисања, последњих неколико деценија у употреби су све више модерни начини који подразумевају употребу савремених специјализованих софтвера. Дат је кратак осврт почевши од апликација за прорачун сила у штаповима једноставних решеткастих носача који се могу користити помоћу мобилних телефона до савремених моћних софтвера за анализу напона и деформација и прорачун по најновијим стандардима. Делимично су приказане могућности два програма а детаљно је извршена анализа сила, напона и деформација стреле дизалице у програму **Autodesk Robot Structural Analysis**. При овоме је у програму изабрана опција прорачуна по Еврокоду који примењује метод граничних стања, заснован на полу-пробабилистичком концепту прорачуна, уместо класичног детерминистичког који користи теорију допуштених напона.

Кључне речи: штапови, решеткасти носач, софтвер, допуштени напони, гранична стања

Abstract

At the beginning of the work there is a short historical review and theoretical basis of trusses. Some of the first trusses are shown, with their advantages and disadvantages and their effect on further development of this type of constructions. The basic rules of constructing are given and they are explained at three examples with analytical, graphic and graphic-analytical procedures for force determination in bars. Recommended and frequently used forms of cross section of bars are enlisted. It is shown in details constructional modeling and calculation of a truss's node both with and without gusset plate. Along with classical calculation and constructing, for a last few decades there have been used modern ways which have modern specialized software. There is a short look at applications for force calculation at bars of simple trusses which can be used by mobile phones as well as at modern powerful software for stress and deformation analysis and calculation according to the latest standards. It is partly shown possibilities of two programs and there is a detailed analysis of force, stress and deformation of crane jib in **Autodesk Robot Structural Analysis** program. Along with this there is in this program an option of calculation according to Eurocode standard which applies a method of limited states, based on half-probability concept of calculation, instead of classical determined concept which uses a theory of allowed stress.

Key words: bars, trusses, software, allowed stress, limited state

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ПРОСТЕ РЕШЕТКЕ	3
2.1. Решетка типа Patt	3
2.2. Решетка типа Howe.....	4
2.3. Решетка типа Warren.....	4
2.4. Решетка типа "К"	4
2.5. Решетка типа Baltimore	4
3. ПРОРАЧУН И КОНСТРУИСАЊЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА	6
4. МЕТОДЕ ОДРЕЂИВАЊА СИЛА У ШТАПОВИМА	8
4.1. Основна подела метода одређивања сила у штаповима	8
4.1.1. Метода чворова.....	8
4.1.2. Ритерова метода.....	14
4.1.3. Кремонин план сила	15
4.1.4. Kulmanova metoda.....	22
4.1.5. Метода коначних елемената.....	24
4.1.6. Прорачун према граничним стањима	26
5. ОБЛИЦИ ПОПРЕЧНОГ ПРЕСЕКА РЕШЕТКАСТОГ НОСАЧА.....	27
6. КОНСТРУКЦИЈСКО ОБЛИКОВАЊЕ И ПРОРАЧУН ЧВОРНОГ ЛИМА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА	30
7. РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ БЕЗ ЧВОРНОГ ЛИМА.....	33
8. РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ СА ЧВОРНИМ ЛИМОМ	36
9. АНАЛИЗА РЕШЕТКАСТИХ КОНСТРУКЦИЈА ПОМОЋУ РАЧУНАРА .	49
9.1. Апликације паметних телефона за прорачун решетких конструкција.....	50
9.2. Софтверски програми за анализу решетких конструкција	53

9.3. Савремени софтвери за анализу решеткастих конструкција	55
9.3.1. SAP2000	56
9.3.2. Autodesk Robot Structural Analysis	62
10. АНАЛИЗА КОНКРЕТНЕ ПРОСТОРНЕ РЕШЕТКАСТЕ КОНСТРУКЦИЈЕ У ПРОГРАМУ ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS.....	75
10.1. Пример моделирања и анализе конструкције првог елемента стреле.....	79
11. ЗАКЉУЧАК.....	125
ЛИТЕРАТУРА	127

САДРЖАЈ СЛИКА

Слика 1.1. Ајфелов торањ. Различите фазе у изградњи

Слика 1.2. Основни елементи решеткастог носача

Слика 2.1. Решетка типа Pratt (а); Решетка типа Howe (б); Решетка типа Warren (в); Решетка "К" типа (г); Решетка типа Baltimore (д)

Слика 2.2. Пример раванске (а), просторне (б) и површинске просторне решетке

Слика 4.1.1.1. Решеткасти носач

Слика 4.1.1.2. Решеткасти носач са означеним реакцијама ослонаца, чворовима и штаповима

Слика 4.1.1.3. Решеткаси носач са обојеним штаповима у циљу приказивања карактера оптерећења у штаповима

Слика 4.1.2.1. Изглед носача након замишљеног пресецања штапова 4, 5 и 6 ради одређивања сила у тим штаповима помоћу Ритерове методе

Слика 4.1.3.1. Решеткасти носач за одређивање сила помоћу Кремониног плана сила

Слика 4.1.3.2. Решеткасти носач са уцртаним оппорима ослонаца и означеним штаповима и чворовима

Слика 4.1.3.3. Основа за цртање Кремониног плана сила

Слика 4.1.3.4. Коначан облик Кремониног плана сила

Слика 4.1.3.5. Решеткаси носач са обојеним штаповима у циљу приказивања карактера оптерећења у штаповима

Слика 4.1.4.1. Пример решеткастог носача за одређивање сила у штаповима Кулмановом методом

Слика 4.1.4.2. Први корак при одређивању сила Кулмановом методом

Слика 4.1.4.3. Облик графичког решења сила Кулмановом методом

Слика 5.1. Облици попречних пресека штапова решеткастих носача

Слика 6.1. Веза штапова у чвору: а) веза са чворним лимом помоћу закивака; б) заварена веза у чвору без чворног лима; в) пример решења чвора са великим бројем штапова

Слика 6.2. Изглед чвора

Слика 6.3. Секундарни утицај услед крутих веза у чворовима

Слика 6.4. Савремени облици комбинације веза штапова решеткастих носача

Слика 7.1. Чворови решеткастих носача без чворног лима код појаса Т-пресека

Слика 7.2. Директно заваривање штапова испуне за ножице I-профила

Слика 7.3. Директно заваривање појасних штапова код појасних штапова у виду: а) U-профила; б) ојачаног угаоника

Слика 8.1. Увођење силе у чворни лим

Слика 8.2. Пресечне силе у чворном лиму: а) када је чворни лим саставни део појасних штапова; б) кад чворни лим није саставни део појасних штапова

Слика 8.3. Веза чворног лима са појасним штаповима

Слика 8.4. Утицајна линија за разлику сила у појасним штаповима

Слика 8.5. Напрезање везе чворног лима са појасним штаповима

Слика 8.6. Чвор решеткастог носача у завареној изради

Слика 8.7. Прикључак штапова испуне

Слика 8.8. Ексцентрично везивање штапова испуне вертикалног спрега

Слика 8.9. Ослоначки чворови решеткастих носача: а) центрично ослањање; б) ексцентрично ослањање

Слика 8.10. Карактеристичан чвор мостовског носача

Слика 8.11. Чворови двозидних решеткастих носача у грађевинарству

Слика 9.2.1. Модули софтвера MD Solids (уоквирен модул за решеткасте конструкције)

Слика 9.3.1.1. Одабир модула конструкција при креирању пројекта

Слика 9.3.1.2. Одабир конструкције и преглед основних параметара

Слика 9.3.1.3. Радно окружење програма SAP2000

Слика 9.3.1.4а. Одабир резултата испитивања

Слика 9.3.1.4б. Приказ резултата у Microsoft Excel-у, угиб чворова (црвено уоквирено – могућност одабира резултата)

Слика 9.3.1.5. Дијаграм аксијалне силе приказан на 3D моделу

Слика 9.3.1.6. Приказ анализе попречног пресека штапа

Слика 9.3.2.1. Група софтвера за грађевинске конструкције

Слика 9.3.2.2. Прозор за одабир нове конструкције

Слика 9.3.2.3. Радно окружење програма Autodesk Robot Structural Analysis

Слика 9.3.2.4. Одабир стандарда за прорачун конструкције

Слика 9.3.2.5. Подмодули

Слика 9.3.2.6. Одабир покретног оптерећења и задавање путање

Слика 9.3.2.7. Креирање покретног оптерећења

Слика 9.3.2.8. Задавање оптерећења ветром

Слика 9.3.2.9. Одабир стандардне решеткасте конструкције

Слика 9.3.2.10. Измена параметара стандардне конструкције

Слика 9.3.2.11. Приказ резултата

Слика 9.3.2.12а. Изглед резултата приказаних у оквиру програма Microsoft Word.

Слика 9.3.2.12б. Изглед резултата приказаних у оквиру програма Microsoft Word.

Слика 10.1. Изглед грађевинске дизалиц

Слика 10.2. Изглед стреле грађевинске дизалице

Слика 10.3. Преглед саставних делова грађевинске дизалице

Слика 10.4. Изглед првог дела стреле

САДРЖАЈ ТАБЕЛА

Табела 4.1.1.1. Интезитети сила у штаповима решеткастог носача

Табела 4.1.3.1. Интезитети сила у штаповима решеткастог носача

Табела 9.1.1. Апликације за анализу решеткастих конструкција

Табела 9.1.2. Анализа решеткасте конструкције у AndTruss2D

Табела 9.1.3. Приказ резултата испитивања решеткасте конструкције у апликацији AndTruss2D

Табела 9.2.1. Софтвери за анализу решеткастих конструкција

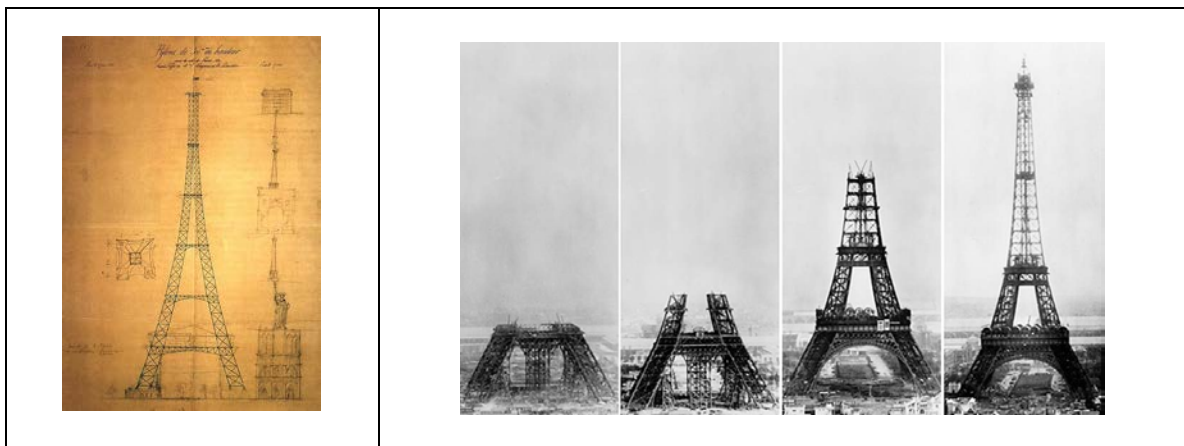
Табела 9.3.1. Софтвери RFEM 5 и RSTAB 8

1. УВОД

При конструисању један од важних циљева је што мањи утрошак материјала. С тим основним циљем инжењери имају задатак да, у конкретној конструкцији, на основу идеје и скице, одреде све параметре и, на крају, напоне који су најважнији за димензионисање конструкције.

Било који тип носача, као посебан вид конструкције, има параметар који треба размотрити пре самог осмишљавања конструкције, а то је однос сопствене масе и масе терета коју носе. Из жеље да се добију носачи са што мањим утрошком материјала, настали су решеткасти носачи. Насупрот њима, постоје пуни носачи. Ова два основна типа носача имају својих предности и мана, али најважнија предност решеткастих носача је, свакако, у великој мери мањи утрошак материјала у односу на пуне носаче, а самим тим и већа носивост. Примери решеткастих носача могу се наћи у машинским и грађевинским конструкцијама.

Једна од првих конструкција у облику решетке, значајна колико за уметност толико и за напредак индустрије, је Ајфелов торањ. Доказ значаја овог торња за напредак индустрије и инжењерства налази се у преко 18 000 израђених техничких цртежа и 50 ангажованих инжењера, који су за сваки елемент конструкције израдили радионичке цртеже. На слици 1.1 приказане су различите фазе у изградњи торња.[13,25]



Слика 1.1. Ајфелов торањ. Различите фазе у изградњи

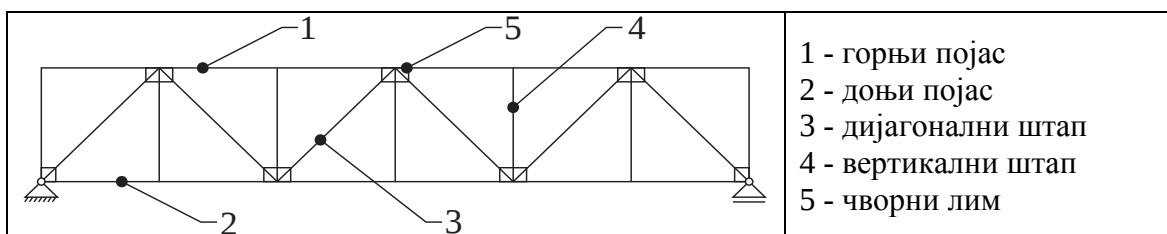
Решеткасти носачи се састоје од међусобно повезаних појасних штапова и штапова испуна (дијагонала и вертикала) који формирају најчешће троугаону структуру. Штапови испуне који чине ту структуру изложени су претежено аксијалним силама и, према томе, дијаграм нормалних напона је константан.

Треба нагласити да троугаона структура представља најстабилнију геометријску фигуру којој је потребно свега три штапа и три чвора. Како би структура била стабилна потребно је фиксирати само два од три чвора. Насупрот томе, четвороугаона структура садржи четири штапа и четири чвора и потребно је фиксирати три од четири чвора како би структура била стабилна.

Код пуних носача, у области еластичности, нормални напони линеарно се мењају по висини попречног пресека. Као последица те промене напона код мосних дизалица могу се приметити промене висине у попречном пресеку профила "моста" у циљу смањења утрошка материјала.

Из тога проистиче да се при димензионисању штапова решеткастог носача користи јединствена вредност напона па се, према врло једноставном поступку, утврђује минимална вредност површине попречног пресека која је потребна да пренесе оптерећење. Поступак димензионисања аксијално напрегнутих штапова је врло једноставан само у случају ако су у питању затежуће силе у штаповима. У случају да се при прорачуну сила у штаповима добије негативна вредност силе, то даље индикује да је штап аксијално притиснут, па се поступак димензионисања у односу на претходни проширује, јер је неопходно проверити стабилност штапа против извијања.

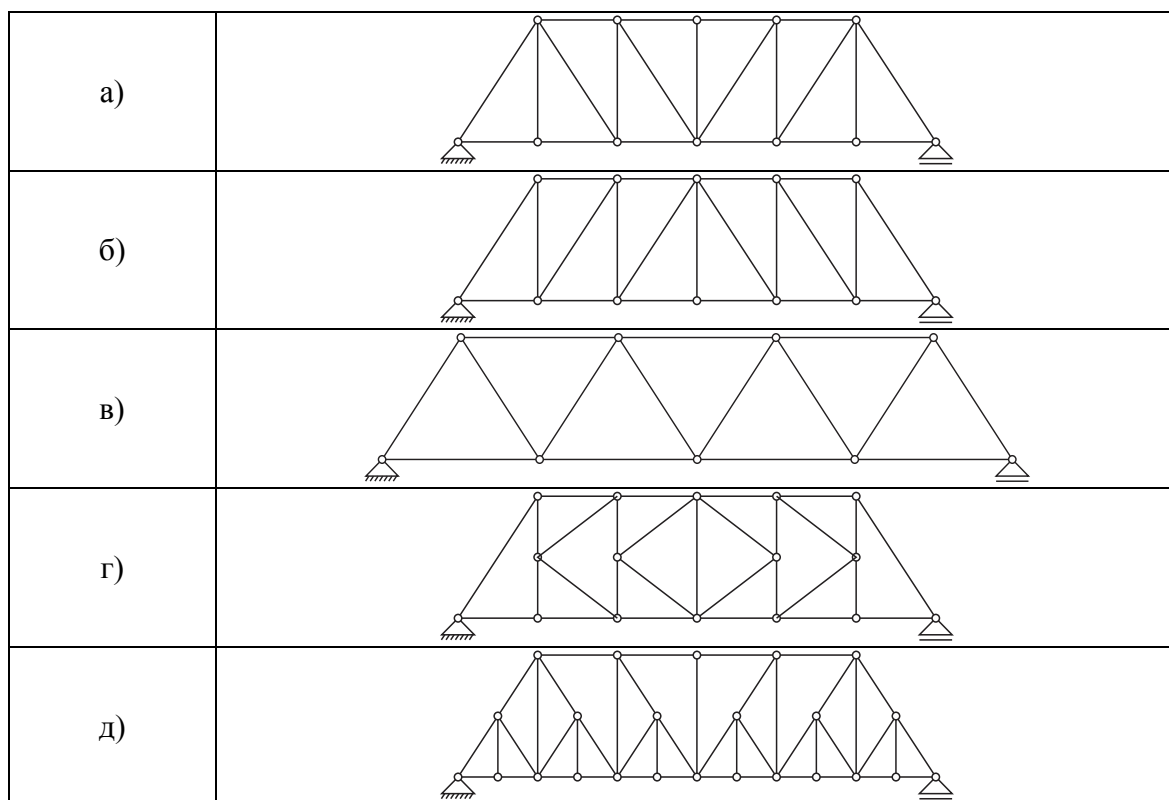
Основни елементи решеткастог носача приказани су на слици 1.2.[1,2,3]



Слика 1.2. Основни елементи решеткастог носача

2. ПРОСТЕ РЕШЕТКЕ

Имајући у виду број затегнутих и број мање пожељних притиснутих штапова настале су неке од, данас већ увелико познатих типова решеткиастих конструкција. Пет основних типова решетки приказани су на слици 2.1.[26]



Слика 2.1. Решетка типа Patt (а); Решетка типа Howe (б); Решетка типа Warren (в); Решетка "K" типа (г); Решетка типа Baltimore (д)

2.1.Решетка типа Patt

На слици 2.1а приказана је Патова решетка, као једна од најзаступљенијих у пракси. Пројектовали су је Томас и Калеб Пат, 1844. године у САД. Због карактеристика које поседује изведен је читав низ њених варијација. Конструкција има, поред вертикалних, и дијагоналне елементе који падају према вертикалној оси симетрије решетки. Сви дијагонални штапови, осим оних на крајевима, оптерећени су на затезање. Захваљујући постављању вертикалних штапова, дијагонални штапови су растерећени. Самим тим, за разлику од вертикалних штапова, за дијагоналне штапове може бити усвојен исти профил мањег попречног пресека.

2.2.Решетка типа Howe

На слици 2.1б приказана је решетка типа Хов коју је патентирао 1840. године амерички проналазач Вилијам Хов. Она је слична Патовој решетки, али се дијагонални елементи пењу према вертикалној оси симетрије решетки. Вертикални елементи су оптерећени на затезање, док су дијагонале притиснуте. Стога је конструкција неекономична за челичне мостове и у пракси се данас ређе користи, мада је у прошлости била у широкој употреби при конструкцији железничких мостова. Код тих мостова обично су вертикале израђиване од челика, а дијагонале од дрвета. Управо због таквог карактера оптерећења и материјала који је коришћен за дијагоналне елементе, ове конструкције су биле врло непоуздане. Оне су сматране узрочником великог броја рушења мостова и железничких несрећа.

2.3.Решетка типа Warren

На слици 2.1в приказана је решетка типа Варен коју су 1848. године патентирали Џејмс Варен и Вилоби Монзони у Великој Британији. Она је једна од најједноставнијих типова решетки, препознатљива по основним елементима облика једнакоугаоног троугла. Овај облик се користи за премошћавање мањих распона, од 50 до 100 метара. У пракси се срећу и варијације основног облика са додатком вертикала у циљу остварења већих распона. Опадајуће дијагонале су оптерећене на затезање (као код Патове) а растуће на притисак (као код решетки типа Хов).

2.4.Решетка типа "К"

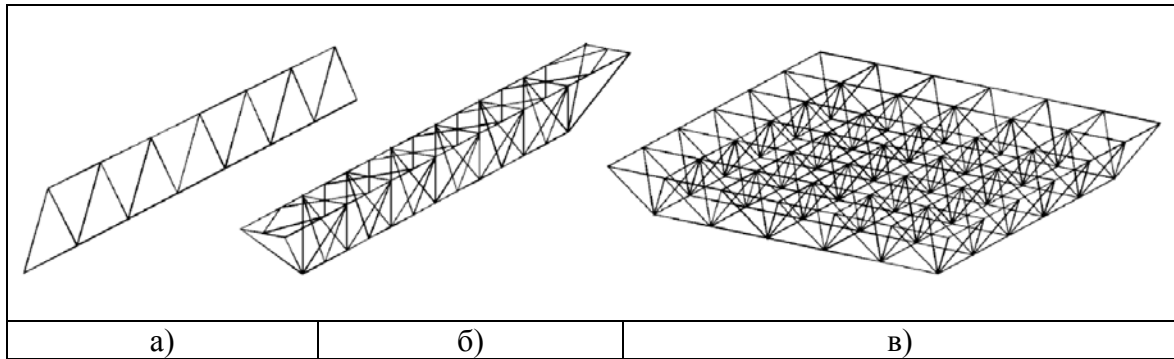
На слици 2.1г приказана је решетка типа "К". Она се примењује код високих решеткастих конструкција, јер подупируће дијагонале смањују могуће деформације вертикалних штапова. Некадашњи Варадински мост у Новом Саду поседовао је решеткасту конструкцију оваквог типа.

2.5.Решетка типа Baltimore

На слици 2.1д приказана је конструкција Балтиморове решетки као варијација Патове. Основна модификација се огледа у постојању штапова испуна. На овај начин постигнуто је скраћење штапова доњег појаса и дијагонала, што је значајно код конструкција мостова.

Данас су најзаступљеније решетки типа Пат и решетки типа Варен. Наравно да постоје и многи други типови решетки, али само као варијације Патове и Варенове конструкције. У време настанка ових конструкција јако је тешко било аналитичким путем одредити силе у штаповима при утицају статичких оптерећења и извршити сва потребна димензионисања. Додатне потешкоће у прорачуну јављају се при утицају покретног оптерећења, ветра и других врста оптерећења. Данас је, уз помоћ рачунара и специјализованих програмских софтвера, тај посао доста олакшан, па конструктори имају већу слободу за реализацију нових идеја, односно испитивања нових типова решетки.

Као што се из претходних примера може приметити, сваки од предходних типова решетки лежи у једној равни. У том смислу решетки можемо поделити на: раванске (а), просторне (б) и површинске просторне носаче (в). Пример је приказан на слици 2.2.



Слика 2.2. Пример раванске (а), просторне (б) и површинске просторне решетки

На основу слике 2.2 може се закључити да се један од пет типова решетки (или једна од њихових варијација) могу спајати у више равни ради добијања просторних, односно површинских просторних решетки. Примена просторних решетки је неоспорно доминантна у односу на раванске, али је њихов прорачун веома компликован, па се понекад, када за то постоје услови, како сам задатак диктира, може просторна решетка расчланити на више простих раванских носача, а затим се свака посебно прорачунава.[1,27]

3. ПРОРАЧУН И КОНСТРУИСАЊЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

При конструисању решеткистих носача неопходно је придржавати се неких основних правила. Она се односе, пре свега, на чворове и чворне лимове. Како се спајање штапова може извршити на више начина, тако се јављају различити потенцијални проблеми на које треба обратити пажњу пре самог конструисања.

На облик чвора и чворног лима највише утичу оптерећење и попречни пресек штапа. Што је оптерећење веће, опције за обликовање чворишта се смањују и готово је неопходно користи чворни лим за везу штапова.

Димензионисање штапова је прилично једноставно, али оно што може изазвати потешкоће је карактер те силе, односно да ли је она притискујућа или затежућа. Уколико је сила у штапу притискујућа она може изазвати нежељена избочавања и нестабилности штапа пре него што дође до критичног напона према коме је тај штап димензионисан. У том смислу прибегава се попречним пресецима који су погодни за подношење тих врста деформација и проверавају се на извијање.

С друге стране, треба обратити пажњу на позиционирање штапова у чворишту. Непходно је да се тежишне линије попречних пресека штапова секу у једној тачки познатијој као тачка чвора. Како попречни пресеци штапова, димензије чворног лима, као и димензије читаве конструкције понекад то недозвољавају, мора се одступити од тог правила. То одступање дозвољено је у случају када је оптерећење решеткистог носача слабо.

На основу свега овога може се закључити да основна правила (претпоставке) која превасходно треба поштовати, ако то случај дозвољава, су[27]:

1. Штапови решетки су у чворовима зглобно ослоњени.
2. Спољашње силе (оптерећења и силе у ослонцима) делују само у чворовима решетки.
3. Дужина притиснутих штапова треба да буде што мања.
4. Штапови треба да буду прави између чворова.
5. Углови штапова испуне не треба да буду сувише оштри (не мањи од 30°).
6. Монтажни наставци појасних штапова изводе се изван чворова (у непосредној близини) на страни слабије оптерећеног штапа.

При конструисању решеткастих носача може се појавити статички одређен и статички неодређен задатак. Разлика између њих је у броју штапова који чине конструкцију. Статички одређен решеткасти носач састављен је из штапова који чине непроменљиве геометријске облике. Најчешће је то троугао код раванских носача или тетраедар код просторних решеткастих носача.

Пре него што се одреде силе у штаповима, након установљеног облика решетке, важно је одредити број штапова, као и број чворова. Између броја штапова и броја чворова постоји веза:

$$s = 2 \cdot n - 3 \quad (3.1)$$

где је n – број чворова а s – број штапове. Ако је услов задовољен следи закључак да је решетка статички одређена. Ако је $s > 2 \cdot n - 3$, постоји унутрашња статичка неодређеност решетке, а ако је $s < 2 \cdot n - 3$, ради се о механизму.

4. МЕТОДЕ ОДРЕЂИВАЊА СИЛА У ШТАПОВИМА

Одређивање сила у штаповима један је од најважнијих задатака у прорачуну конструкције решеткастог носача, јер се само тачним утврђивањем сила може са великом сигурношћу извршити димензионисање штапова, односно одредити потребне површине попречног пресека штапова. Тачније речено, потребно је, преко познавања сила у штаповима, познавати напоне у конструкцији. Где год су напони већи од допуштених за задати материјал конструкције, неопходно је извршити корекције.

4.1. Основна подела метода одређивања сила у штаповима

Силе у штаповима могу се одредити на више начина. Посебно се издваја метода коначних елемената која се може решавати аналитичким путем или помоћу рачунара. Данас је, напредком технологије, интересанта примена рачунарских софтвера у поступку одређивања сила у штаповима.

Најпознатије класичне методе за одређивање сила у штаповима се могу сврстати у две групе и то:[25]

1. аналитичке методе,
2. графичке методе.

У аналитичке методе спада Метода чворова и Ритерова метода. У графичке методе спадају Кремонин план сила и Кулманова метода.

Треба напоменути да су аналитичке методе врло једноставне, али је њихова мана та што, уколико се погрешно израчуна једна од сила у штапу, она се касније уводи у прорачун ради одређивања осталих непознатих сила и тиме се грешка „провлачи“ кроз читав поступак прорачуна.

За прорачун целог носача погодна је Метода чворова и Кремонин план сила. Ритерова и Кулманова метода погодне су за прорачун само неких штапова.

4.1.1. Метода чворова

За успешну анализу решеткасте конструкције, неопходно је поштовати алгоритам задатка који почиње са два основна корака:[26]

1. Ослободити се спољашњих веза и увести одговарајуће реакције веза.
2. За решетку као целину писати једначине равнотеже и одредити реакције веза.

Наиме, како на решетку делује равнски систем сила њена равнотежа ће бити остварена ако су главни вектор система и главни момент за произвољно одабрану тачку А једнак нули.

$$F_g = 0, \quad M_{gA} = 0 \quad (4.1)$$

Први, векторски услов се пројектовањем на осе координатног система ху своди на две скаларне једначине, а претходни услов равотеже трансформише се у следећи систем једначина равнотеже:

$$1. \sum_{i=1}^n F_{xi} = 0, \quad 2. \sum_{i=1}^n F_{yi} = 0, \quad 3. \sum M_A = 0. \quad (4.2)$$

који подразумева да је сума пројекција свих сила на осе координатног система једнака нули и да је сума момената свих сила и спрегова за произвољну тачку у равни једнака нули.

Осим једначина равнотеже (4.2), могу се писати и алтернативни облици једначина равнотеже. Један од њих се огледа у писању три моментне једначине за тачке А, В и С:

$$1. \sum M_A = 0, \quad 2. \sum M_B = 0, \quad 3. \sum M_C = 0, \quad (4.3)$$

при чему су А, В и С неколинеарне тачке.

Трећи корак у алгоритму решавања задатака је израчунавање сила у штаповима.

Поступак методе издвајања чворова подразумева да се пође од чвора у коме се сучељавају само два штапа. Силе у лаким штаповима, као унутрашње силе, претпостављају се као затежуће. Осим тога, силе реакције везе истог лаког штапа које делују на различите чворове постављају се по принципу акције и реакције. Писањем једначина равнотеже за сучеони систем сила у равни:

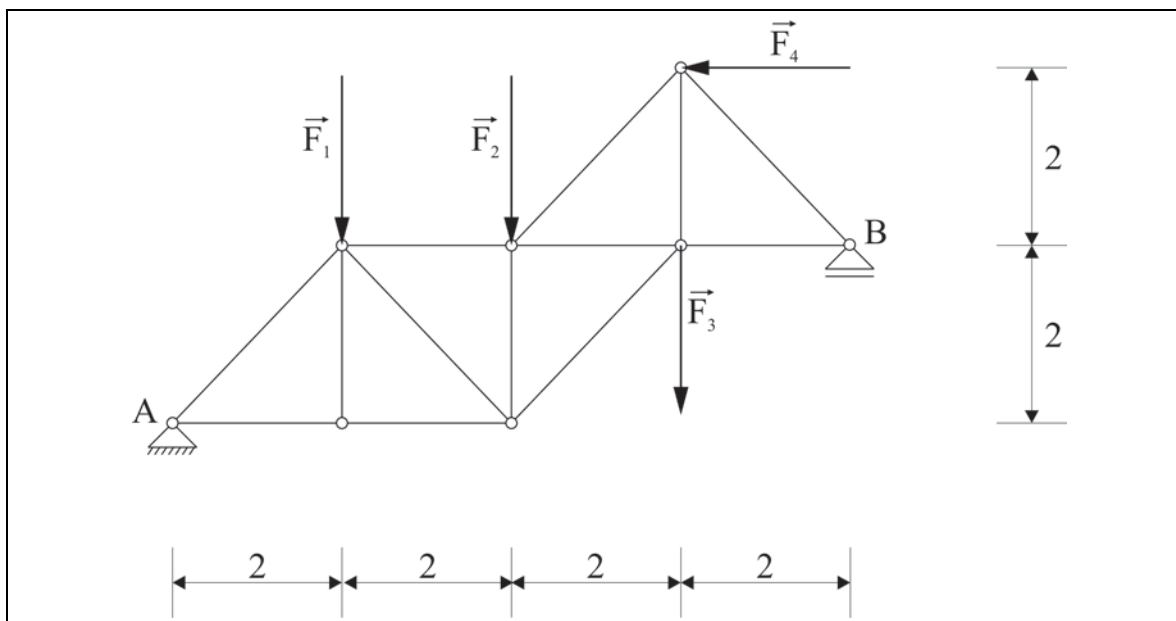
$$1. \sum_{i=1}^n F_{xi} = 0, \quad 2. \sum_{i=1}^n F_{yi} = 0, \quad (4.4)$$

одређују се силе у штаповима. Сукцесивно, прелази се са чвора на чвор, имајући у виду да број непознатих сила које делују у чвору буде највише два. Добијени предзнак минус уз интезитет силе у лаком штапу указује да је тај штап притиснут, док предзнак плус указује да је штап затегнут.[16]

При примени метода издвајања дела решетке врши се замишљено пресецање решетке по штаповима у којима је потребно одредити силе, тако да број пресечених штапова не буде већи од три. Затим се замењује утицај пресечених штапова силама које су им колинеарне и затезне. Пошто је решетка на овај начин подељена на два дела, а сваки од њих мора бити у равнотежи, бира се део решетке за који ће се писати једначине равнотеже. Препоручљиво је посматрати онај део решетке на који делује мање сила. Такође, препоручује се писање три моментне једначине за три неколинеарне тачке (4.3), иако је могуће писати и друге облике једначина равнотеже, на пример (4.2).

Кроз наредни пример 4.1.1. биће детаљно приказан поступак одређивања сила у штаповима помоћу методе издвајања чворова.

Пример 4.1. За решетку приказану на слици 4.1.1.1, оптерећену силама интензитета 2 kN, потребно је одредити реакције у ослонцима и силе у штаповима.



Слика 4.1.1.1. Решетки носач

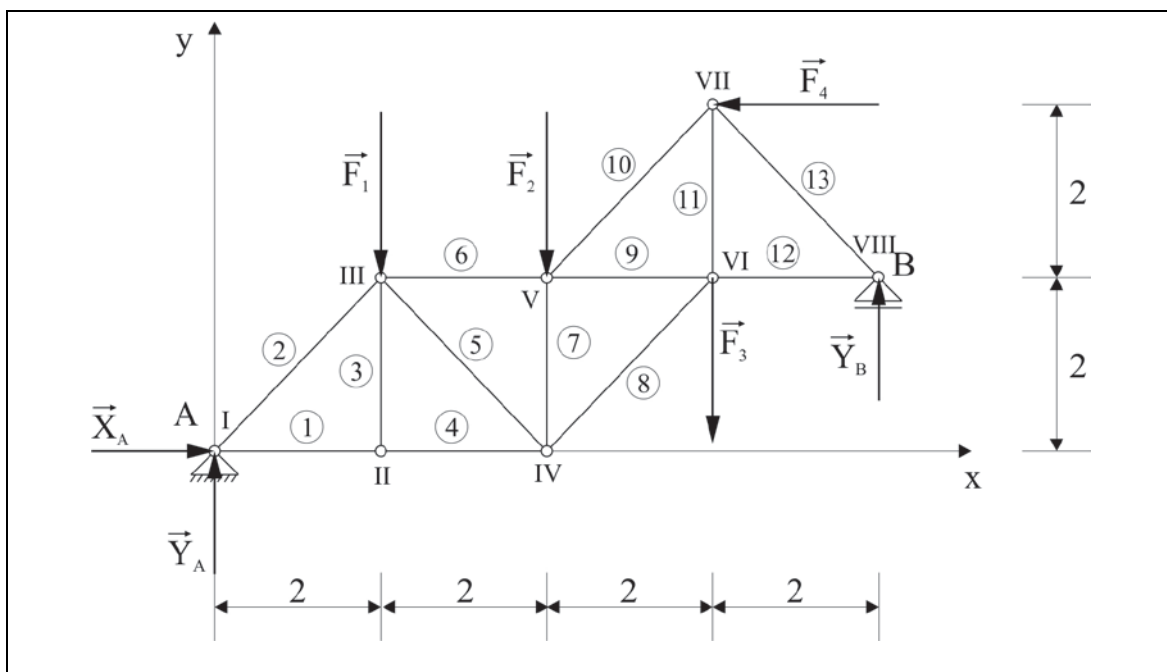
Решење: Пре ослобађања од спољашњих веза, нумерисаће се штапови и чворови. Укупан број штапова у овој решетки је тринаест, а чворова осам. Штапови су нумерисани арапским, а чворови римским бројевима (слика 4.1.1.2). На основу једнакости броја штапова и вредности коју даје релација $s = 2 \cdot 8 - 3 = 13$ закључује се да ова решетка поседује особину унутрашње статичке одређености. Ова решетка је у тачки А ослоњена на непокретни, а у тачки В на покретни ослонац. Дејство ових веза је замењено силама X_A и Y_A у тачки А и силом Y_B у тачки В.

Једначине равнотеже решетки су:

$$\begin{aligned} 1. \sum F_{xi} = 0: & \quad X_A - F_4 = 0, \\ 2. \sum F_{yi} = 0: & \quad Y_A - F_1 - F_2 - F_3 - Y_B = 0, \\ 3. \sum M_A = 0: & \quad -2 \cdot F_1 - 4 \cdot F_2 - 6 \cdot F_3 + 4 \cdot F_4 + 8 \cdot Y_B = 0, \end{aligned}$$

па су вредности реакција ослонаца:

$$X_A = 2 \text{ kN}, \quad Y_A = 4 \text{ kN}, \quad Y_B = 2 \text{ kN}.$$



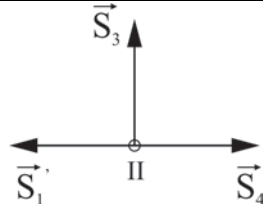
Слика 4.1.1.2. Рештасти носач са означеним реакцијама ослонаца, чворовима и штаповима

Силе у штаповима ће се најпре одредити методом издвајања чворова. Ова метода, као што је већ поменуто, подразумева анализу равнотеже сваког чвора појединачно. Полази се од чвора у ком се сучељавају највише два штапа. У овом случају кренуће се од чвора А (нумерисаног римским I). У овом чвору делују компоненте реакције непокретног зглоба X_A и Y_A и силе у штаповима 1 и 2 непознатих интензитета и смерова у правцу штапова. Погодно је претпоставити да су штапови оптерећени на затезање. То значи да при анализи равнотеже чвора смер сила у штаповима иде од посматраног чвора ка штапу. На следећим скицама приказани су системи сила који делују на чворове, а поред слике су исписане једначине равнотеже:

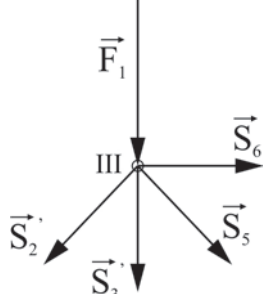
	Чвор I: $4. \sum F_{xi} = 0: \quad X_A + S_1 + S_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$ $5. \sum F_{yi} = 0: \quad Y_A + S_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$
--	--

Решавањем ових једначина добија се да су силе у штаповима $S_1 = 2 \text{ kN}$, $S_2 = -4\sqrt{2} \text{ kN}$, одакле се закључује да је штап 1 затегнут, јер је добијена вредност за силу у штапу 1 позитивна. С обзиром да је предзнак испред вредности силе у штапу 2 негативан, следи да је штап 2 оптерећен на притисак.

Сада се прелази на чвор II, у коме су везани штапови 1, 3 и 4. Непознате у једначинама равнотеже за овај чвор биће силе у штаповима 3 и 4, док је због принципа акције и реакције сила у штапу 1 познатог интезитета.

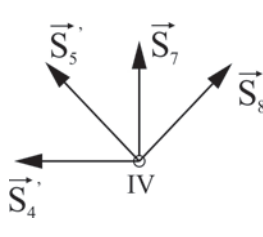
	Чвор II: $6. \sum F_{xi} = 0: \quad -S_1 + S_4 = 0$ $7. \sum F_{yi} = 0: \quad S_3 = 0$
---	--

Одавде следи да је штап 3 неоптерећен, а сила у штапу 4 је $S_4 = 2 \text{ kN}$, што значи да је овај штап затегнут.

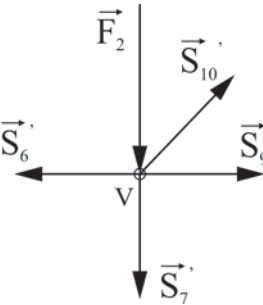
	Чвор III: $8. \sum F_{xi} = 0: \quad -S_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + S_5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + S_6 = 0$ $9. \sum F_{yi} = 0: \quad -S_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - S_5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - S_3 - F_1 = 0$
---	--

На основу написаних једначина следи да је $S_6 = -6 \text{ kN}$, $S_5 = 2\sqrt{2} \text{ kN}$

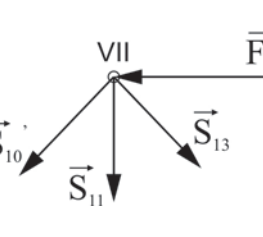
Аналгоно овој процедури врши се анализа равнотеже преосталих чворова.

	Чвор IV: $10. \sum F_{xi} = 0: \quad -S_4 - S_5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + S_8 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$ $11. \sum F_{yi} = 0: \quad S_5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + S_7 + S_8 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$
---	--

Дакле, интезитет силе у штапу 8 је $S_8 = 4\sqrt{2} \text{ kN}$, док је $S_7 = -6 \text{ kN}$

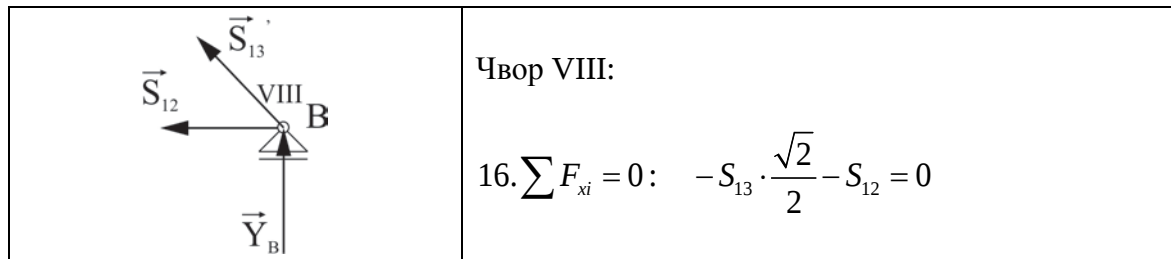
	Чвор V: $12. \sum F_{xi} = 0: \quad S_{10} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + S_9 - S_6 = 0$ $13. \sum F_{yi} = 0: \quad -F_2 - S_7 + S_{10} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$
---	---

Интезитет сила у штапу 9 и 10 су $S_9 = -2 \text{ kN}$, $S_{10} = -4\sqrt{2}$

	Чвор VII: $14. \sum F_{xi} = 0: \quad -S_{10} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + S_{13} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - F_4 = 0$ $15. \sum F_{yi} = 0: \quad -S_{10} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - S_{13} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - S_{11} = 0$
---	---

Решавањем ове једначине добија се да су силе у штаповима 11 и 13 $S_{13} = -2\sqrt{2}$, $S_{11} = 6 \text{ kN}$.

Одређивање силе у штапу 12 могуће је извршити само писањем једначине равнотеже по хоризонталном правцу било за чвор VII или VIII.



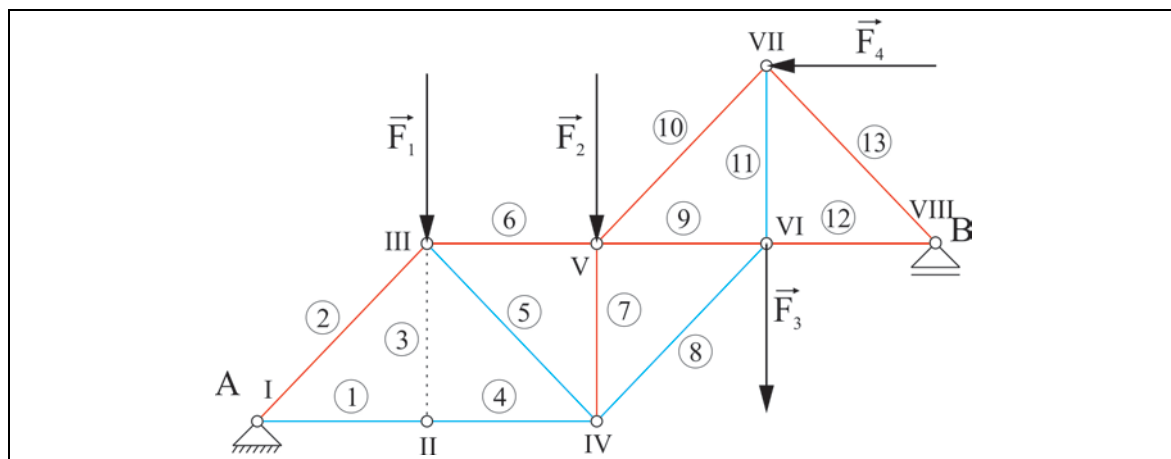
Интезитет силе у штапу 12 износи $S_{12} = 2 \text{ kN}$

Бројне вредности сила у штаповима, као и одговарајући карактер оптерећења дати су у табели 4.1.

Табела 4.1.1.1. Интезитети сила у штаповима решеткастог носача

Броја штапа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Сила $S_i (+)$ [kN]	2		0	2	$2\sqrt{2}$			$4\sqrt{2}$			6	2	
Сила $S_i (-)$ [kN]		$4\sqrt{2}$				6	6		2	$4\sqrt{2}$			$2\sqrt{2}$

На слици 4.1.1.3 приказано је оптерећење решетке, где су црвеном бојом обојени штапови оптерећени на притисак, а плавом бојом они који су затегнути. Неоптерећени штап је приказан испрекиданом линијом. Овакво представљање решеткастог носача даје комплетну слику оптерећења њених штапова услед дејства активних сила.



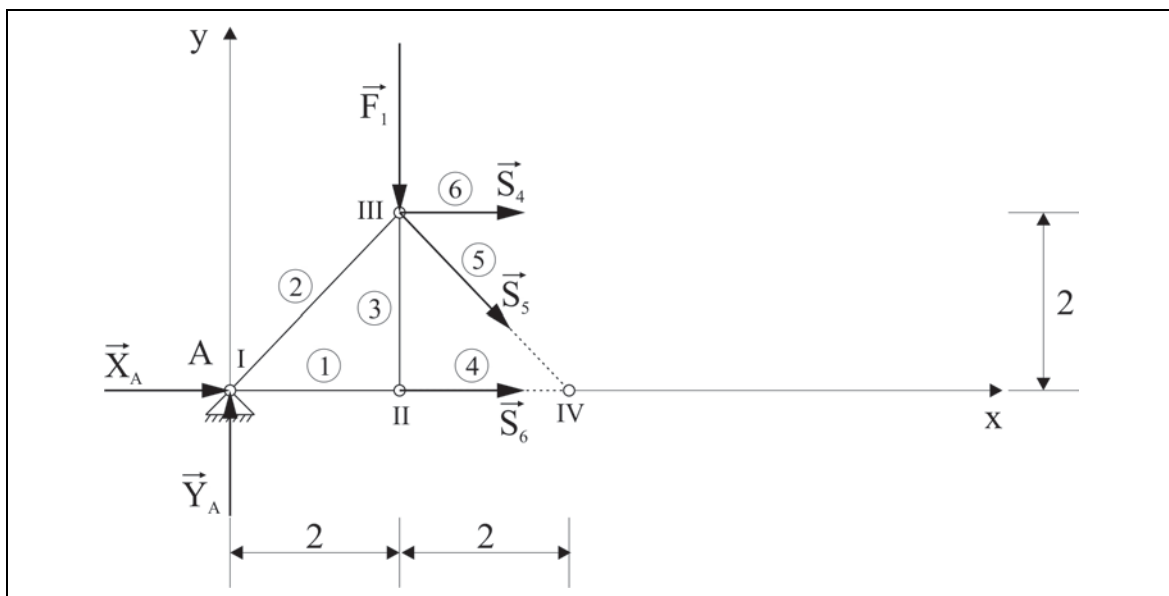
Слика 4.1.1.3. Решетки носач са обојеним штаповима у циљу приказивања карактера оптерећења у штаповима

4.1.2. Ритерова метода

Ритерова метода је у основи аналитичка, али најчешће је у примени као графоаналитичка због тога што се неке геометријске величине не одређују аналитички, већ се директно читавају из нацрта носача са оптерећењем.[26]

Ритерова метода биће објашења на примеру 4.1 и биће одређене силе у штаповима 4, 5 и 6.

Да би се одредиле вредности сила у штаповима 4, 5 и 6 Ритеровом методом врши се замишљено пресецање решетке по штаповима у којима се желе одредити силе. Скица је приказана сликом 4.1.2.1.



Слика 4.1.2.1. Изглед носача након замишљеног пресецања штапова 4, 5 и 6 ради одређивања сила у тим штаповима помоћу Ритерове методе

Затим се посматра равнотежа једног од делова решетке. Погодно је анализирати онај део решетке који је оптерећен мањим бројем сила. У овом примеру биће посматран леви део решетке, а утицај десног дела решетке улази преко пресечених штапова, то јест преко сила у пресеченим штаповима за које је погодно претпоставити да су затегнути. На тај начин леви део решетке се третира као плоча на које делују компоненте реакција ослонаца А, сила F_1 , и силе S_4 , S_5 и S_6 .

Даља анализа подразумева писање једначина равнотеже за равански систем произвољних сила за који се, као што је познато, могу писати три једначине равнотеже. Непознате вредности сила могу се одредити писањем три моментне једначине које гласе:

$$17. \sum M_{IV} = 0: \quad 2 \cdot F_1 - 4 \cdot Y_A - 2 \cdot S_6 = 0$$

$$18. \sum M_{III} = 0: \quad 2 \cdot X_A - 2 \cdot Y_A + 2 \cdot S_4 = 0$$

$$19. \sum M_I = 0: \quad -2 \cdot F_1 - 2 \cdot S_6 - S_5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

а њиховим решавањем следи $S_4 = 2 \text{ kN}$, $S_5 = 2\sqrt{2} \text{ kN}$, $S_6 = -6 \text{ kN}$, чиме се потврђују решења добијена методом издвајања чворова.

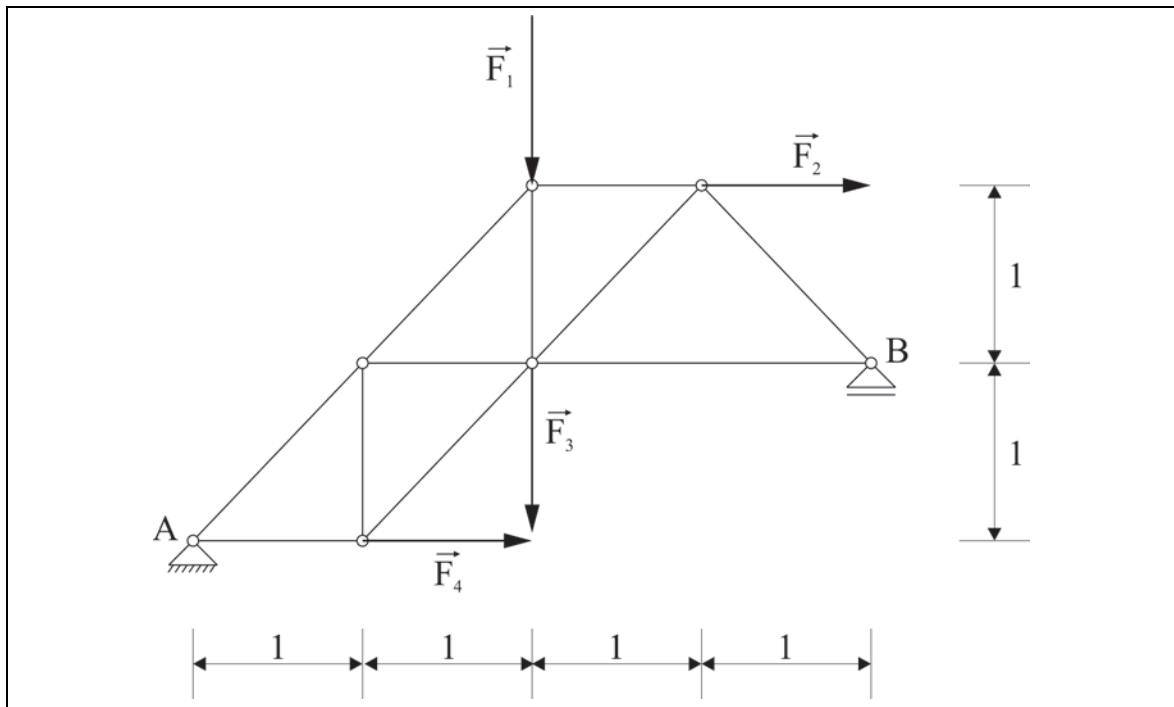
4.1.3. Кремонин план сила

Кремонин план сила је графичка метода одређивања сила у свим штаповима која је, такође, базирана на задовољавању услова равнотеже сваког чвора посебно. Графички услов равнотеже представља затворен полигон сила. На исти начин, један од услова равнотеже решеткистог носача је затворен полигон спољашњих сила.

Да би се у потпуности нацртао Кремонин план сила неопходно је поштовати следећа правила:

- Одређивање отпора ослонаца,
- Све спољашње силе које делују на решетку као целину цртају се ван контуре решетки,
- Затворен полигон спољашњих сила нацрта се у размери, али тако што се оне надовезују редоследом, каквим се на њих наилази при обиласку око решетки у смеру казаљке на сату. Тако добијен полигон спољашњих сила представља основу Кремониног плана сила,
- Затим се графички решава један по један чвор. Могу се решавати само они чворови који у датом тренутку немају више од две непознате силе.

На слици 4.1.3.1 приказан је решеткасти носач на коме ће се одредити силе у штаповима помоћу Кремониног плана сила.

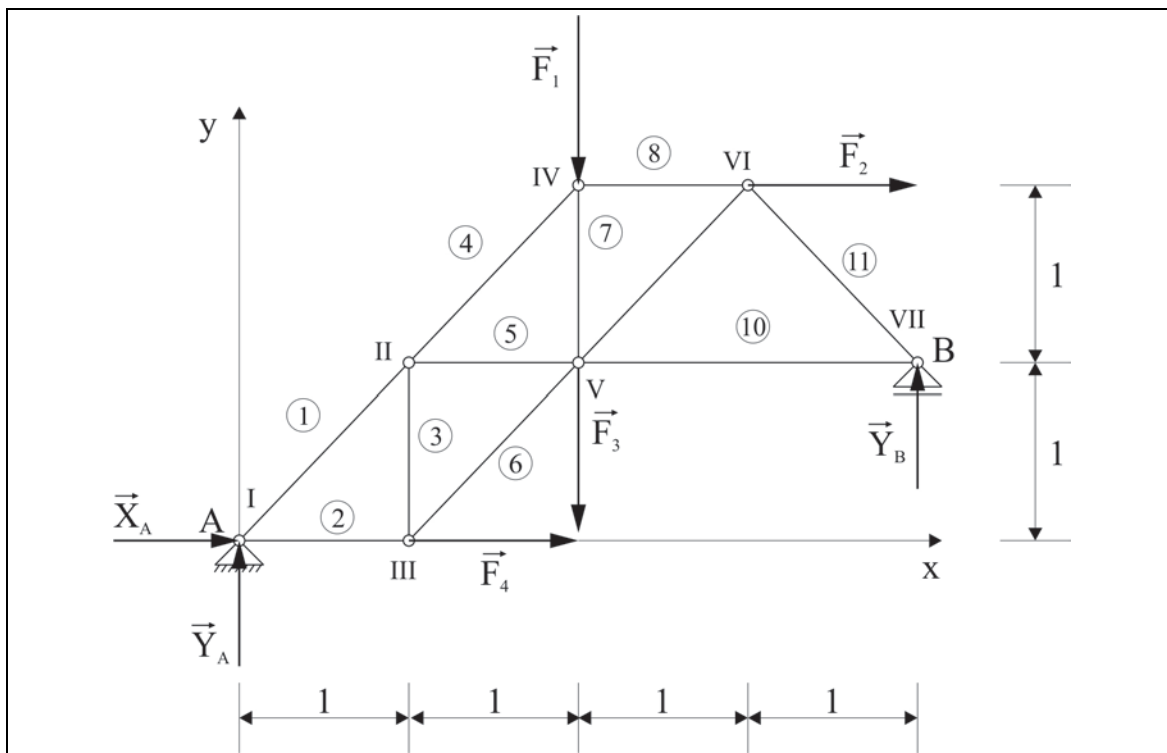


Слика 4.1.3.1. Решеткасти носач за одређивање сила помоћу Кремониног плана сила

Спољашње силе које делују на носач имају следеће вредности: $F_1 = 2 \text{ kN}$, $F_2 = 1 \text{ kN}$, $F_3 = 1 \text{ kN}$ и $F_4 = 1 \text{ kN}$.

Као и у претходним поступцима, на самом почетку решавања задатка, потребно је одредити отпоре ослонаца и означити бројевима штапове и чворове. Штапови ће бити означени арапским, а чворови римским бројевима.

На слици 4.1.3.2 прииказан је решеткасти носач са уцртаним отпорима ослонаца и означеним штаповима и чворовима.



Слика 4.1.3.2. Решеткасти носач са уцртаним отпорима ослонаца и означеним штаповима и чворовима

Постављају се једначине за одређивање отпора ослонаца:

$$\begin{aligned} 1. \sum F_{xi} = 0: & \quad Y_A - F_1 - F_3 + Y_B = 0, \\ 2. \sum F_{yi} = 0: & \quad -X_A + F_2 + F_4 = 0, \\ 3. \sum M_A = 0: & \quad -F_1 \cdot 2 - F_2 \cdot 2 - F_3 \cdot 2 + Y_B \cdot 4 = 0. \end{aligned}$$

одакле следи:

$$\begin{aligned} 1. \sum F_{xi} = 0 & \Rightarrow Y_B = 2 \text{ kN}, \\ 2. \sum F_{yi} = 0 & \Rightarrow Y_A = 1 \text{ kN}, \\ 3. \sum M_A = 0 & \Rightarrow X_A = 2 \text{ kN}. \end{aligned}$$

The diagram shows a frame structure with a horizontal beam of length 2 m and a vertical column of height 2 m. The forces and dimensions are as follows:

- Forces:**
 - $\vec{F}_1$: 1 kN, acting vertically downwards at the left end of the beam.
 - $\vec{F}_2$: 1 kN, acting horizontally to the right at the bottom end of the column.
 - $\vec{F}_3$: 1 kN, acting vertically upwards at the joint between the beam and the column.
 - $\vec{F}_4$: 1 kN, acting horizontally to the right at the joint between the beam and the column.
 - $\vec{F}_A$: Reaction force at the top-left support, acting along the beam.
 - $\vec{F}_B$: Reaction force at the top-right support, acting vertically upwards.
- Dimensions:**
 - Horizontal distance from the left end of the beam to the joint: 1 m.
 - Horizontal distance from the joint to the right end of the beam: 1 m.
 - Vertical distance from the bottom of the column to the joint: 1 m.
 - Vertical distance from the joint to the top of the column: 1 m.

На следећим скицама биће решаван сваки чвор појединачно и на постојећу основу Кремнониног плана сила биће учртане силе у размери које делују на тај чвор. Усвојен је смер математички негативан (смер кретања казаљке на сату)

Чвор I:

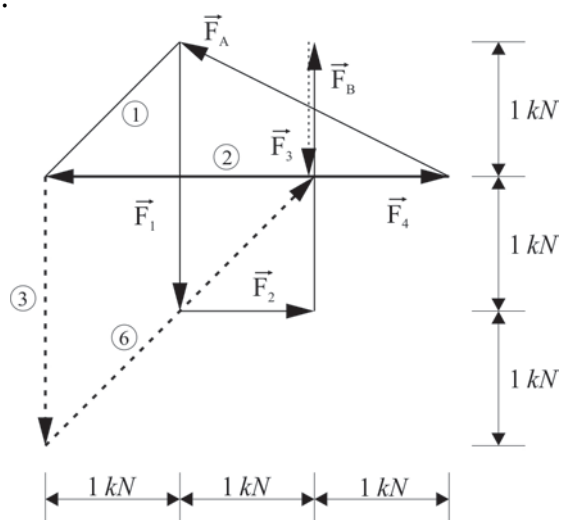
The diagram shows a truss joint (Чвор I) with the following forces and dimensions:

- Internal Forces:**
 - $\vec{F}_1$: Horizontal force pointing left.
 - $\vec{F}_2$: Vertical force pointing down.
 - $\vec{F}_3$: Vertical force pointing up.
 - $\vec{F}_4$: Horizontal force pointing right.
- External Forces:**
 - $\vec{F}_A$: Force at the top-left corner, pointing up and to the right.
 - $\vec{F}_B$: Force at the top-right corner, pointing up and to the left.
- Dimensions:**
 - Horizontal segments: Each is 1 kN long.
 - Vertical segments: Each is 1 kN high.

Штан	Сила [kN]	
	+	-
1		$\sqrt{2}$
2	3	

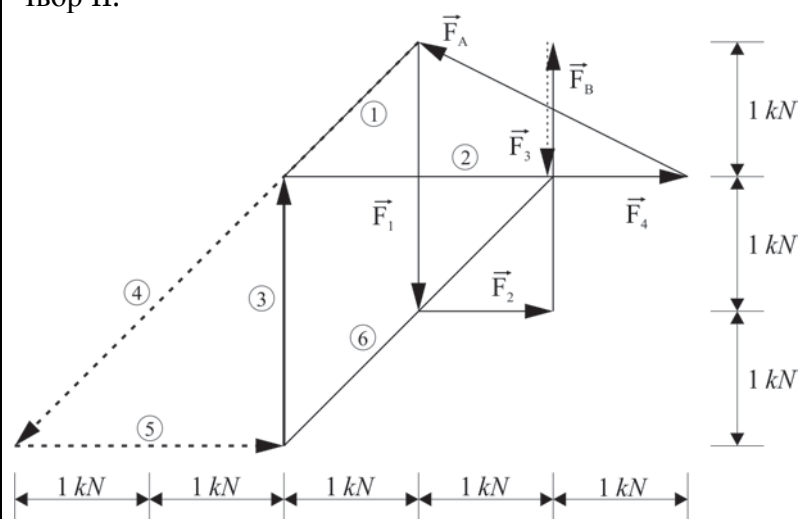
Штап	Сила [kN]	
	+	-
1		$\sqrt{2}$
2	3	

Чвор III:



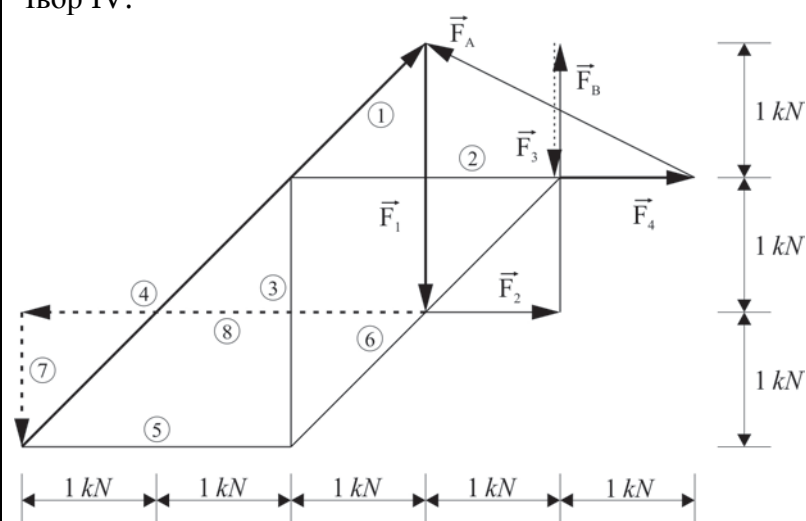
Шаг	Сила [kN]	
	+	–
3		2
6	$2\sqrt{2}$	

Чвор II:



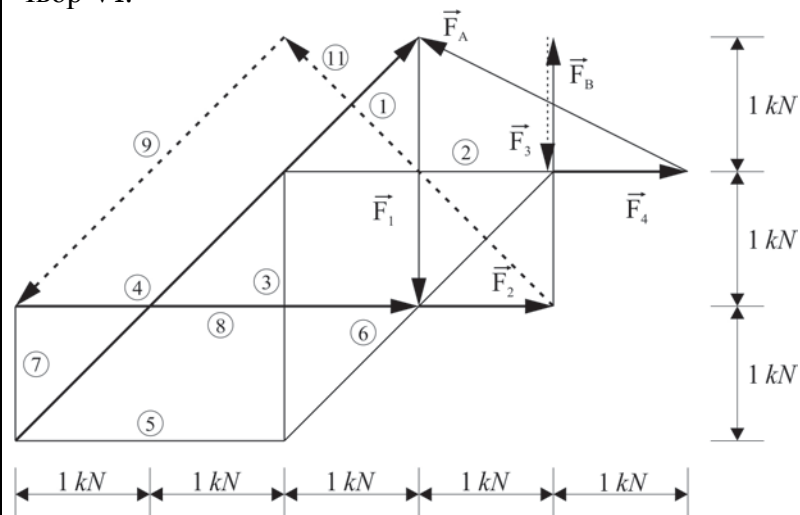
Шаг	Сила [kN]	
	+	–
4		$3\sqrt{2}$
5	2	

Чвор IV:



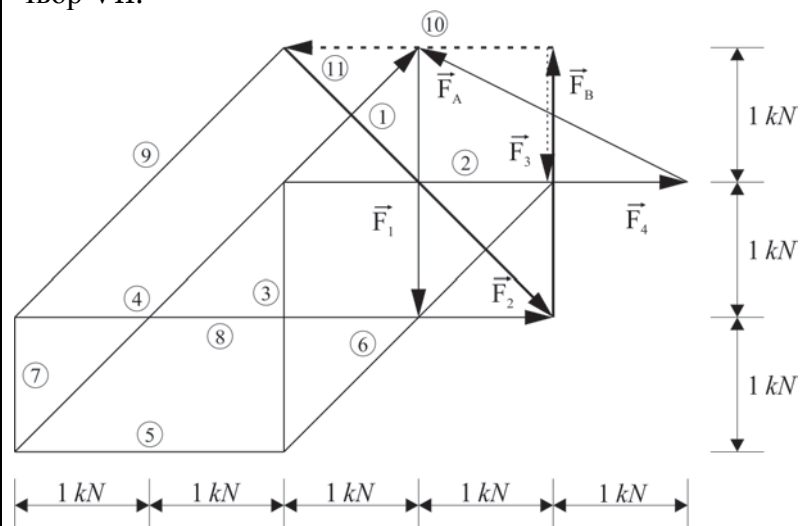
Шаг	Сила [kN]	
	+	–
8		3
7	1	

Чвор VI:



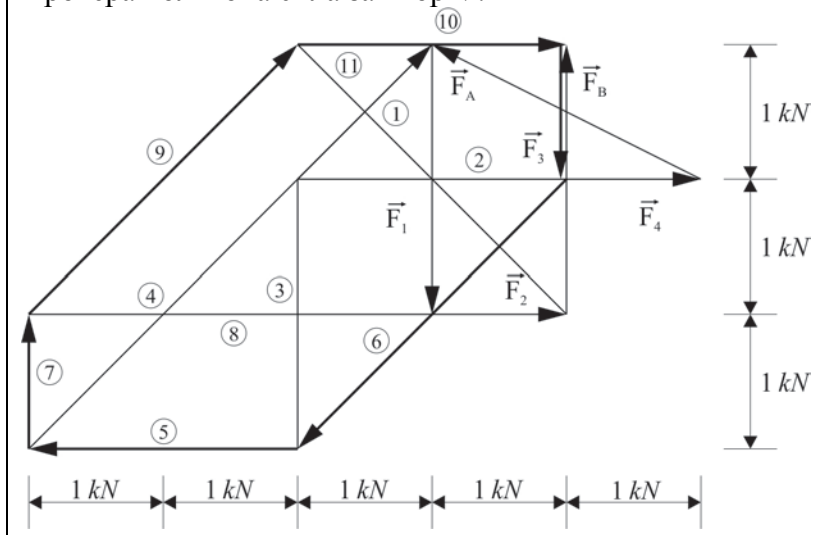
Штап	Сила [kN]	
	+	–
11		$2\sqrt{2}$
9	$2\sqrt{2}$	

Чвор VII:

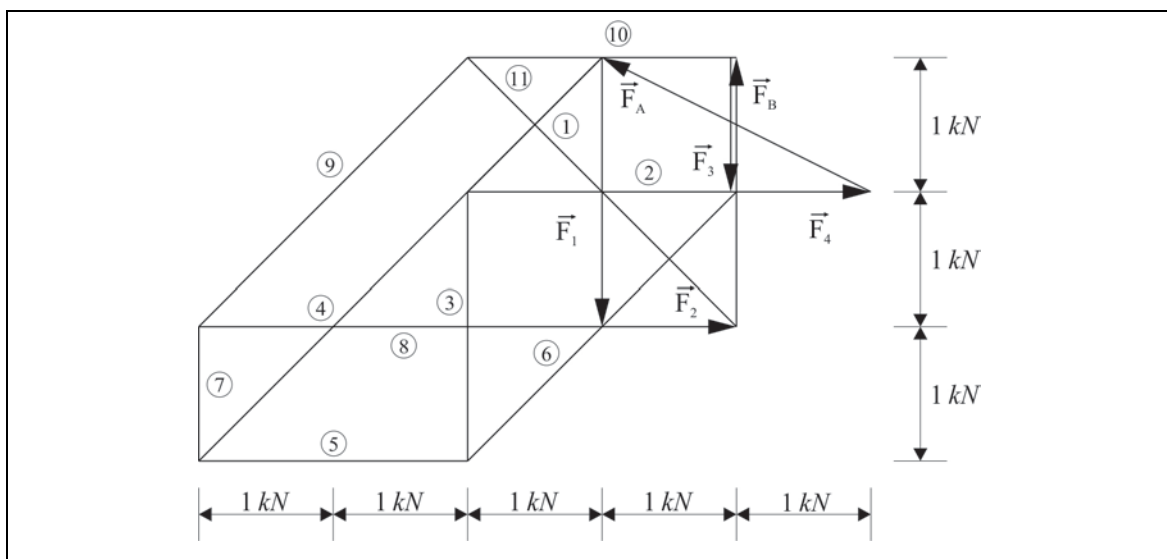


Штап	Сила [kN]	
	+	–
10	2	

Провера полигона сила за чвор V:



На слици 4.1.3.4 приказан је коначан облик Крeмониног плана сила. У табели 4.1.3.1 приказане су вредности сила очитане са Крeмониног плана сила.

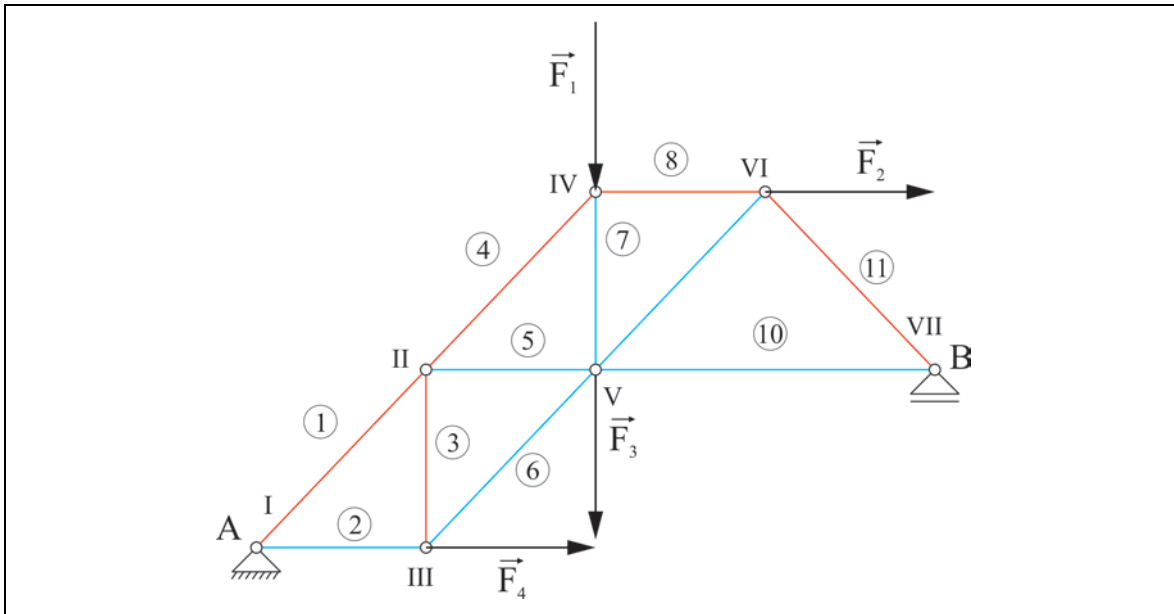


Слика 4.1.3.4. Коначан облик Крeмониног плана сила

Табела 4.1.3.1. Интезитети сила у штаповима решеткастог носача

Броја штапа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сила $S_i (+)$ [kN]		3			2	$2\sqrt{2}$	1		$2\sqrt{2}$	2	
Сила $S_i (-)$ [kN]	$\sqrt{2}$		2	$3\sqrt{2}$				3			$2\sqrt{2}$

На слици 4.1.3.5. приказан је решеткасти носач на коме су црвеном бојом обојени штапови који су изложени сили притиска, док су плавом бојом обојени штапови који су изложени сили затезања.



Слика 4.1.3.5. Решеткасти носач са обојеним штаповима у циљу приказивања карактера оптерећења у штаповима

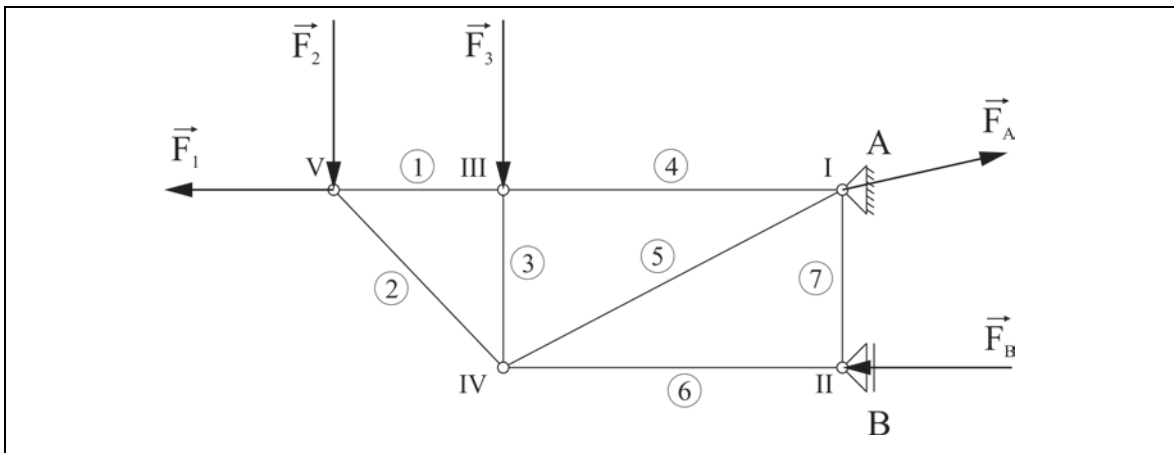
4.1.4. Kulmanova metoda

Кулманова метода је метода која подразумева графичко уравнотежавање четири силе. Како ова метода служи за одређивање сила у одеђеном пресеку, а пресек се врши преко максимално три штапа, три од четири силе су непознате. Четврта сила представља резултанту свих спољашњих сила, које делују на решеткаси носач која је у сваком случају позната.[17,25]

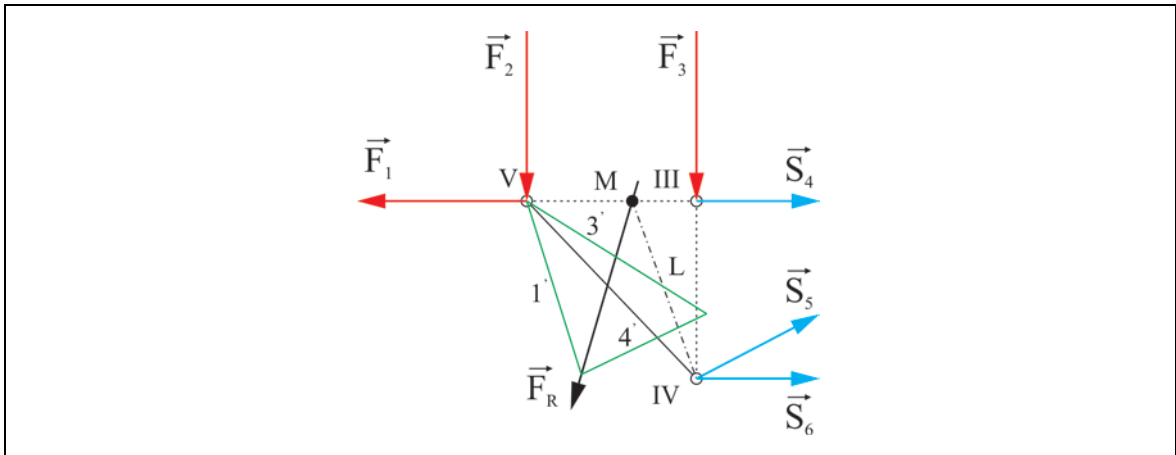
Графички услов равнотеже четири силе формулисан је тако да су четири силе у равнотежи ако резултанта две силе лежи на истом правцу са резултантом друге две силе, једнака је са њом по величини, а супротног је смера. Тај правац је познат као Кулманов правац.

Код графичког решавања решеткастог носача није потребно претпоставити карактер силе у штапу. На крају, након решавања, треба означити оријентације сила и тада прочитати предзнаке сила у штаповима.

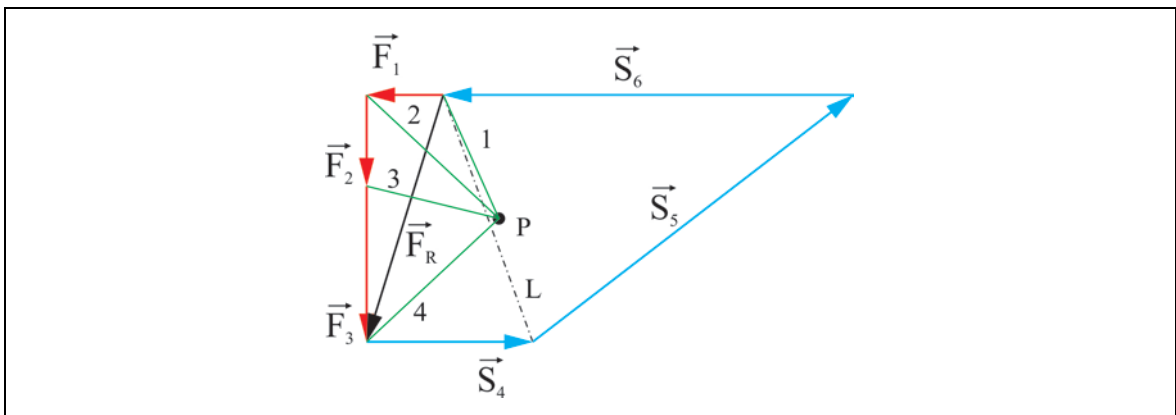
На слици 4.1.4.1 приказан је решеткасти носач на коме ће бити одређене силе у штаповима 4, 5 и 6 помоћу Кулманове методе.



Слика 4.1.4.1. Пример решеткастог носача за одређивање сила у штаповима Кулмановом методом



Слика 4.1.4.2. Први корак при одређивању сила Кулмановом методом



Слика 4.1.4.3. Облик графичког решења сила Кулмановом методом

4.1.5. Метода коначних елемената

При анализи сила, напона и деформација код решеткастих носача често се користи и метода коначних елемената.

Методама математичке физичке појаве из природе описују се математичким моделима, најчешће систем диференцијалних једначина. Ти системи се решавају помоћу приближних нумеричких метода, које се имплементирају у рачунарске програме. Због лакше имплементације тих нумеричких метода развијени су универзални и наменски пакети који не захтевају познавање програмерских вештина.[23]

Једна од савремених метода нумеричке анализе је и метода коначних елемената. За разлику од осталих нумеричких метода, које се заснивају на математичкој дискретизацији једначина граничних проблема, метода коначних елемената заснива се на физичкој дискретизацији посматраног подручја. Уместо елемената диференцијално малих димензија, основу за сва проучавања представља део подручја коначних димензија, мање подручје или коначни елемент.

Због тога су основне једначине помоћу којих се описује стање у појединим елементима, а помоћу којих се формулише и проблем у целини, уместо диференцијалних или интегралних, обичне алгебарске. Са становишта физичке интерпретације то значи да се посматрано подручје, као континуум са бесконачно много степени слободе, замењује дискретним моделом међусобно повезаних коначних елемената са коначним бројем степени слободе. С обзиром на то да је број дискретних модела за један гранични проблем неограничено велики, основни задатак је да се изабере онај модел који најбоље апроксимира одговарајући гранични проблем.

Анализа и решавање проблема механике континуума по методи коначних елемената увек се своди на процес „корак по корак“, што је од огромног практичног значаја за примену рачунара у ефективном прорачуну. У том процесу, који се може приказати као једноставан алгоритам, издваја се шест седећих корака:

- дискретизација континуума
- избор интерполационих функција
- рачунање карактеристика елемента
- формирање једначина за мрежу коначних елемената
- решавање система једначина
- прорачун потребних утицаја

Од наведених шест корака, прва три су нарочито важна. Начин дискретизације, избор облика елемената, као и укупног броја елемената, зависе од природе проблема који се решава и потребне тачности траженог решења. Поред броја и облика елемената важан је и избор чворова, основних непознатих у њима и интерполационих функција. Помоћу интерполационих функција дефинише се поље променљивих у сваком елементу, од њиховог избора непосредно зависи и континуитет на границама између појединих елемената, а самим тим и тачност апроксимације. Променљиве у елементу могу бити скаларне, векторске или тензорске величине.

Карактеристике појединих елемената одређују се независно од мреже елемената као целине. Матрица крутости формира се аутономно за поједине елементе, а потом на основу њих, сасвим једноставно, формира се матрица за систем у целини.

С обзиром на то да је геометрија елемената по правилу једноставна, то практично значи да се комплексан проблем разбија на низ једноставних проблема.

Последња три корака, иако су за практичне прорачуне од великог значаја, данас спадају у оквире рутинског посла, који је прилагођен аутоматском раду рачунара.

4.1.6. Прорачун према граничним стањима

Еврокод пружа могућност инжењерима пројектантима да у потпуности искористе еласто-пластична својства челика и прецизно утврде носивост попречних пресека или елемената, посебно узимајући у обзир понашање челика као материјала изван еластичне области деформација. Понашање конструкције више се неограничава на еластичну област, већ се анализира њено понашање све до достизања граничног стања носивости или употребљивости. Гранична стања су она стања конструкције чијим достизањем, односно прекорачењем конструкција губи своју употребну функцију или услове носивости. Гранична стања се могу поделити на две групе:

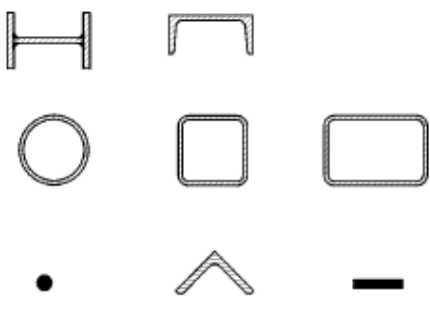
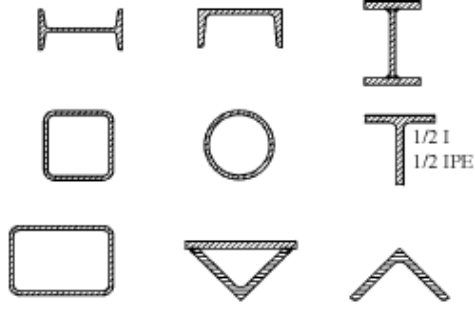
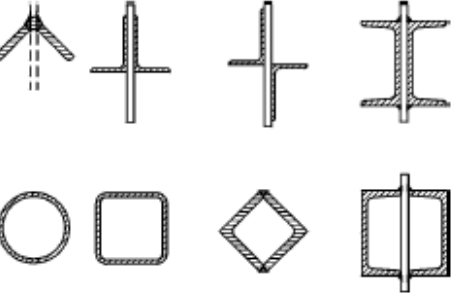
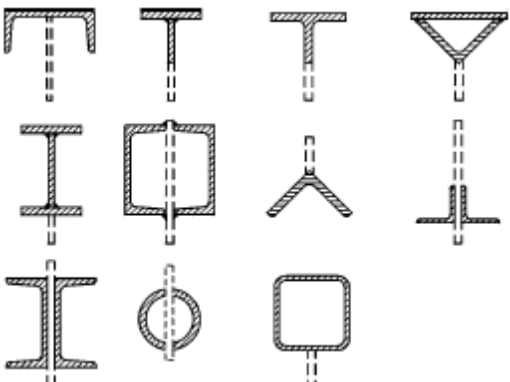
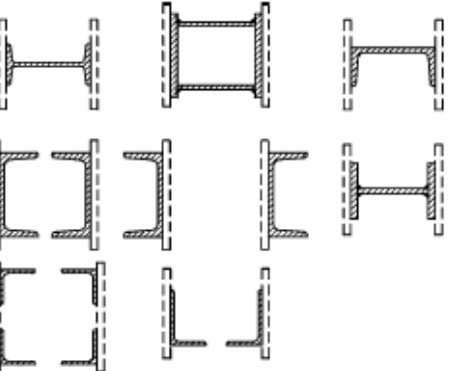
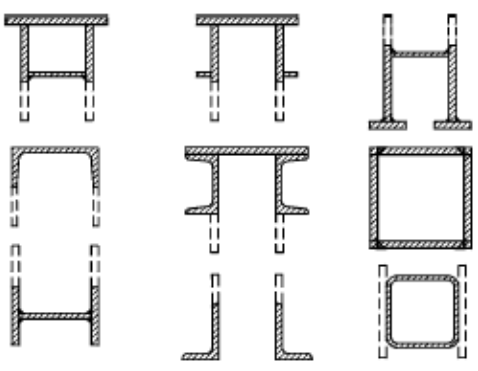
- гранична стања носивости (ULS – Ultimate Limit State) и
- гранична стања употребљивости (SLS – Serviceability Limit State)

У Еврокоду примењује се метода граничних стања заснована на полупробабилистичком концепту прорачуна. Примена оваквих метода прорачуна омогућава пројектовање рационалних челичних конструкција што је био један од основних разлога за увођење нових метода прорачуна и нових прописа, а имајући у виду вечиту тржишну утакмицу.[29]

Савремена софтверска решења, посебно у Европи, користе као основу прорачун по Еврокоду. Пример у овом раду, дат на крају, користи овај тип прорачуна.

5. ОБЛИЦИ ПОПРЕЧНОГ ПРЕСЕКА РЕШЕТКАСТОГ НОСАЧА

Избор попречног пресека штапа зависи од интензитета напрезања, начина конструкцијског обликовања веза у чворовима, положаја штапа у конструкцији и предвиђене функције решеткастог носача. Попречни пресек чине сви стандардни ваљани профили, како отвореног, тако и затвореног попречног пресека. Ваљани профили примењују се као самостални, једноделни штапови или као саставни елемент вишеделних попречних пресека. Неки од најчешће примењиваних облика попречних пресека стандардних ваљаних профила приказани су на слици 5.1.[1,2,3,5,8]

	Штапови испуне	Појасни штапови
Решетки носачи без чврног лима		
	а)	б)
Једнозидни решеткасти носачи		
	в)	г)
Двозидни решеткасти носачи		
	д)	ђ)

Слика 5.1. Облици попречних пресека штапова решеткастих носача

На слици 5.1 може се уочити да се избор попречног пресека врши према врсти штапа (појасни штапови или штапови испуне) и према томе како је остварена веза између појасних штапова и штапова испуна (решеткасти носачи без чворног лима и решеткасти носачи са чворним лимом).

Избор облика попречних пресека појасних штапова и штапова испуна не може се вршити независно један од другог. Приликом избора пресека штапова, код решеткастих носача без чворног лима треба избегавати комбинације чије је директно везивање конструкцијски неповољно.

Посебно су атрактивни решеткасти носачи код којих су и појасни штапови и штапови испуне израђени од шупљих профила повезаних директним заваривањем. Примењују се углавном у грађевинарству као кровни носачи и то у виду двопојасних, или чешће, тропојасних и четворопојасних решеткастих носача.

Појасни штапови решеткастих носача без чворног лима (слика 5.1б) чине ваљани L, U и I, шупљи профили кружног, квадратног и правоугаоног попречног пресека. Посебно су интересантни „Т профили“. При везивању ових штапова ребро има улогу чворног лима и из тог разлога су веома погодни за конструкциона извођења решеткастих носача.

Штапови испуне код решеткастих носача без чворног лима (слика 5.1а) директно се, заваривањем, везују за појасне штапове. Могуће је остварити и везу завртњевима уколико се за појасни штап користи Т профил са довољном висином ребра за правилан распоред завртњева.

Код једнозидних решеткастих носача веза штапова испуне за појасне штапове остварује се индиректно, преко чворног лима. Као појасни штапови (слика 5.1г) користе се стандардни ваљани производи, једноделног или вишеделног попречног пресека и профили образовани заваривањем. Чворни лим се за појасне штапове везује заваривањем или, ређе, завртњевима. Штапови испуне (слика 5.1в) су, углавном, ваљани L и U-профили и шупљи пресеци кружног и квадратног попречног пресека. Дводелни штапови се најчешће израђују од L и U-профила. За затегнуте штапове се примењују "леђима" окренути L или U-профили, док су за притиснуте штапове, због веће отпорности на извијање, повољнији унакрсно постављени L и I-профили. Због изједначене отпорности на извијање око обе главне осе инерције, сандучасти пресеци добијени заваривањем два L или U-профила, посебно су повољни за притиснуте штапове. Везе штапова испуне за чворни лим се остварују заваривањем или помоћу завртњева.

Чворни лимови се, код двозидних решеткастих носача, постављају у две паралелне равни, што омогућава постављање већег броја шавова, односно завртњева за везу штапова испуне. На овај начин могу да се пренесу значајне аксијалне силе, које се јављају код штапова испуне тешких решеткастих носача. Код оваквих носача веза чворног лима са појасним штаповима, по правилу, остварује се заваривањем.

Појасни штапови двозидних решеткастих носача (слика 5.1ђ) израђују се од ваљаних U, I и L-профила једноделног и дводелног попречног пресека и сандучастих, шеширастих и И-профила образованих заваривањем. Код мостовских решеткастих носача се, по правилу, примењују заварени сандучасти и шеширасти попречни пресеци и дводелни попречни пресеци образовани од два U-профила са или без ојачања. У грађевинарству, због мањих напрезања, појасни штапови израђују се од шупљих квадратних и правоугаоних попречних пресека, као и ваљаних U и I-

профила. Затегнути појасни штапови могу да се формирају и од два разнокрака L-профила.

Попречни пресеци штапова испуне двозидних решеткастих носача (слика 5.1д) обликују се тако да имају две паралелне равни преко којих се остварује веза са чворним лимовима. Осим тога, њихова укупна висина треба да одговара унутрашњем растојању између чворних лимова. Као затегнути штапови испуне најчешће се примењују U-профили, ваљани или заварени I профили и пресеци формирани од два једнакокрака или разнокрака L-профила. За притиснуте штапове користе се сандучасти пресеци у завареној изради и вишеделни попречни пресеци образовани од U или L-профила.

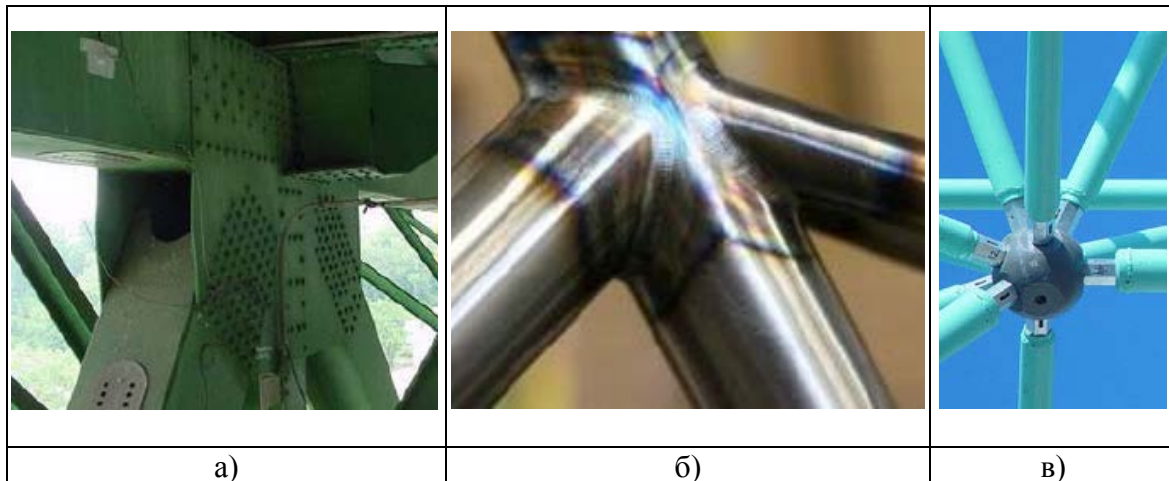
Код вишеделних попречних пресека, без обзира да ли се ради о притиснутим или затегнутим штаповима, потребно је местимично повезивање самосталних елемената. Док је код затегнутих штапова повезивање самосталних елемената конструктивне природе, пре свега ради очувања геометрије и спречавања оштећења при транспорту, код притиснутих елемената растојање тачака местимичног придржавања утиче на понашање штапа, а самим тим и на поступак прорачуна.

6. КОНСТРУКЦИЈСКО ОБЛИКОВАЊЕ И ПРОРАЧУН ЧВОРНОГ ЛИМА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

Са становишта конструкцијског обликовања чворови решеткастих носача представљају веома осетљиве и деликатне детаље. Веза штапова испуне са појасним штаповима може да се оствари директно или преко чворног лима. Директни прикључци се, по правилу, изводе у завареној изради, мада је код појасних штапова Т-пресека могућа примена завртњева за везу штапова испуне од угаоника са ребром Т-пресека. Међутим, у већини случајева непходно је предвидети чворне лимове који омогућавају индиректно увођење сила у чворове решеткастих носача.[1,4,8]

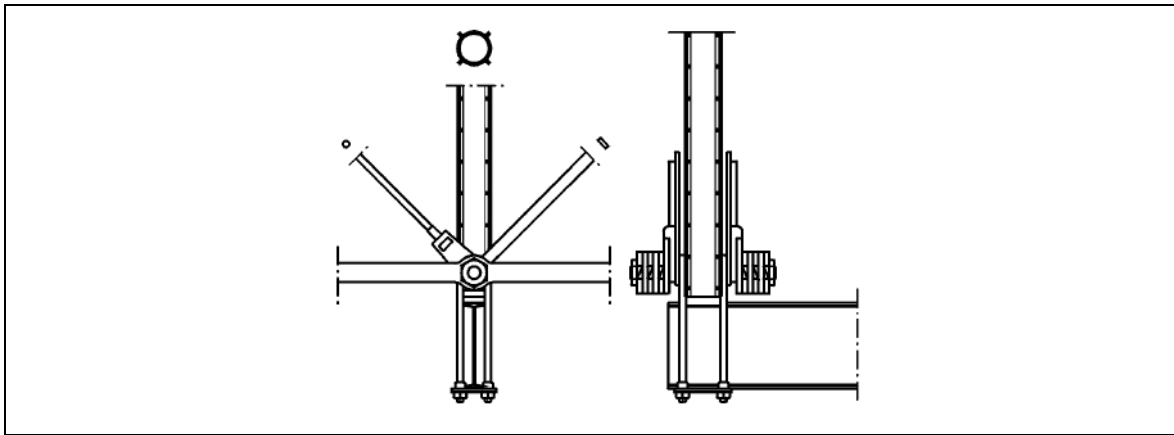
Постоји јасна подела у којим случајевима се користе решеткасти носачи без чворног лима и са чворним лимом. Са напретком технологије, посебно са напретком технологије заваривања у погледу квалитета, имајући у виду период настанка решеткастих носача, све више се одступа од ове поделе. Наиме, могуће је брже, једноставније и јефтиније извршити конструкционо извођење решеткастог носача заваривањем без чворног лима, а да се при том некада за одговарајућу ситуацију користио чворни лим за везу штапова.

Веза штапова испуна са појасним штаповима у време настанка решеткастих носача замишљена је као зглоб. Та веза је, из технолошких разлога, апроксимирана чворним лимом (слика 6.1а). Код лакше оптерећених конструкција веза се остварује директно, заваривањем (слика 6.1б). Са напретком технологије, поново се враћају чепови – зглобови у везе решеткастих носача. (слика 6.1в)

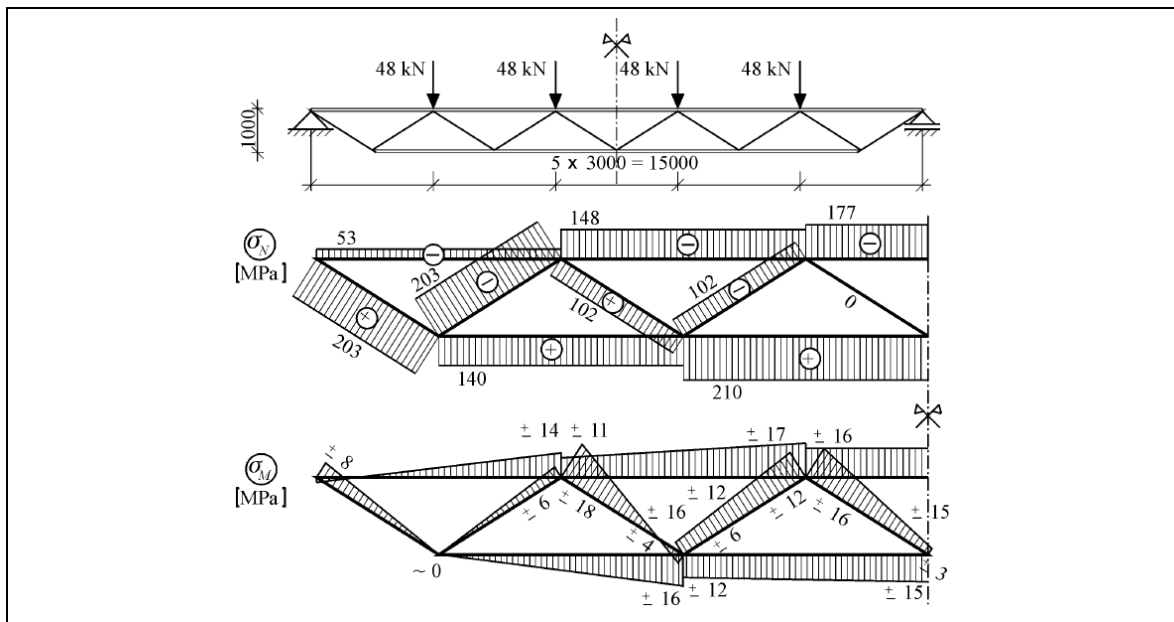


Слика 6.1. Веза штапова у чвору: а) веза са чворним лимом помоћу закивака; б) заварена веза у чвору без чворног лима; в) пример решења чвора са великим бројем штапова

У време настанка решеткастих носача веза штапова испуна и појасних штапова остваривана је помоћу чепова (зглобова) (слика 6.2). Међутим, овакве везе су веома компликоване за израду, незадовољавају естетске критеријуме, нису се показале као трајне у пракси (корозија, лоша технолошка решења...). Зато су се примењивали другачији начини спајања штапова, који представљају круту везу. Као последица одступања од теоријских претпоставки и примене крутих веза у штаповима јављају се секундарни напони од момента савијања. У великом броју случајева ти утицаји се могу занемарити. Пример се може видети на слици 6.3. на којој се уочава да су нормални напони услед аксијалних сила (σ_N) и преко десет пута већи од секундарних напона изазваних савијањем (σ_M).[1,4]



Слика 6.2. Изглед чвора остварен чепом (зглобом)



Слика 6.3. Секундарни утицај услед крутих веза у чворовима

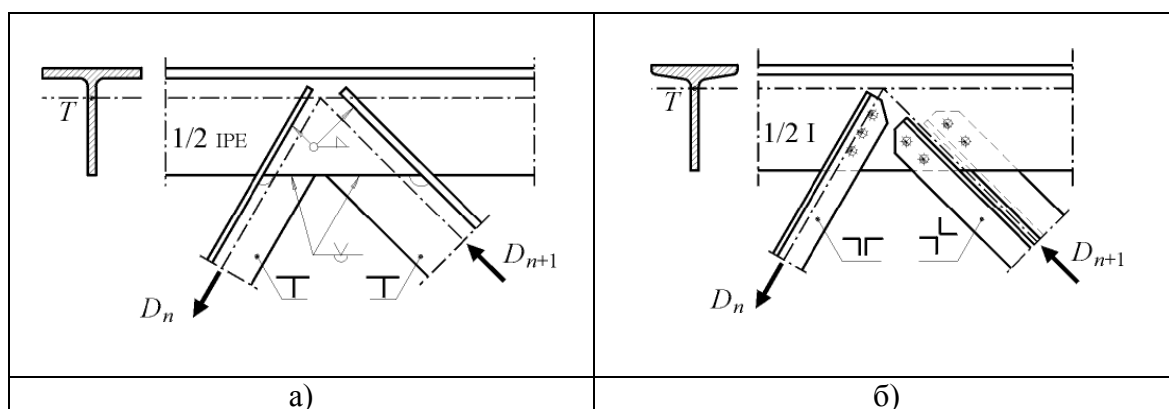
Неке од савремених комбинованих облика веза штапова решеткастих носача приказани су на слици 6.4.



Слика 6.4. Савремени облици комбинације веза штапова решеткастих носача

7. РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ БЕЗ ЧВОРНОГ ЛИМА

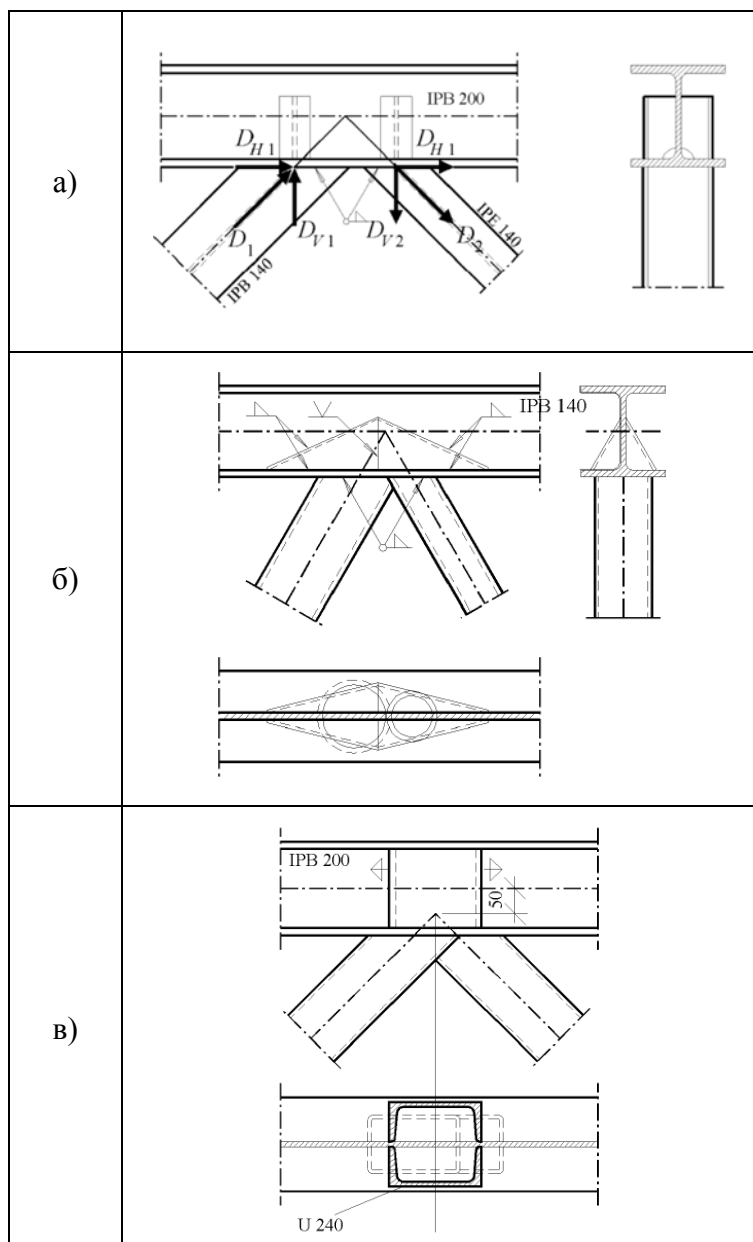
Појава заваривања као технолошког процеса спајања метала и његова употреба у челичним носећим конструкцијама омогућила је већу примену решеткастих носача без чворних лимова. Код оваквих носача веза штапова испуне се остварује директним заваривањем штапова испуне за појасеве решеткастог носача. Код појасних штапова у облику Т- пресека веза штапова испуне остварује се преко ребра, које на неки начин представља чворни лим, па се, осим заваривања, могу применити и механичка спојна средства (слика 7.1б). Као штапови испуне могу да се користе Т- профили (слика 7.1а), који имају већу крутост од угаоника, али захтевају посебну обраду крајева што поскупљује везу.[1,3]



Слика 7.1. Чворови решеткастих носача без чворног лима код појаса Т-пресека

Решеткасти носачи са појасним штаповима Т-пресека представљају својеврстан прелаз између класичних решеткастих носача са чворним лимом и решеткастих носача без чворног лима. Овакви чворови могу да се примењују само када је висина ребра довољна за реализацију везе штапова испуне. У супротном, на ребро се заварује чворни лим, па се такви чворови не могу сврстати у ову групу решеткастих носача.

Када се појасни штапови образују од ваљаних или заварених I-профила (слика 7.2) веза штапова испуне остварује се директним заваривањем за унутрашњу ножицу. Као штапови испуне могу да се користе ваљани I-профили (слика 7.2а) и шупљи профили кружног (слика 7.2б) и правоугаоног (слика 7.2в) попречног пресека.



Слика 7.2. Директно заваривање штапова испуне за ножице I-профила

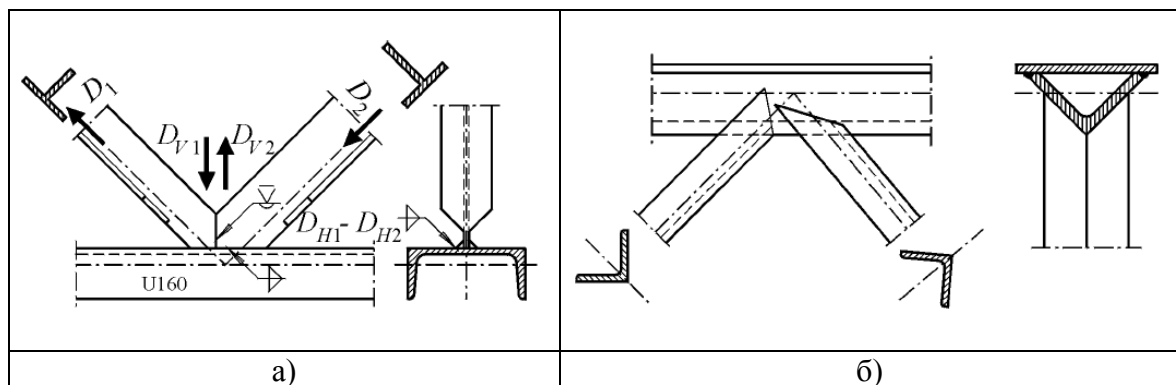
На местима везе дијагоналних штапова јављају се хоризонталне и вертикалне компоненте сила. Вертикалне компоненте D_{V1} и D_{V2} (слика 7.2а) делују управно на појас, и само у случају мањих сила могу да се прихвате помоћу ножице I-профила. Када су силе у дијагоналама већег интензитета, да би се спречила прекомерна деформација ножице која утиче на смањење носивости везе, потребно је предвидети укрућење. Ова укрућења заварују се за ножице и ребро I-профила, па спречавају

деформацију ножице и уједно обезбеђују правилно увођење силе у ребро појасног штапа. Укрућења могу да буду изведена у виду ваљаних Т-профила заварених са обе стране ребра на местима уношења сила (слика 7.2 а). Пошто је ребро појасног штапа на делу између прикључка штапова испуне изложено смицању због спрега сила (D_{V1} и D_{V2}), укрућења у облику U- профила (слика 7.2в) и челичних лимова (слици 7.2б) су још ефикаснија, јер, осим што спречавају деформацију ножице и обезбеђује правилно увођење вертикалних сила, повећавају и отпорност ребра појасног штапа на смицање.

Као појасни штапови могу да се користе и положени U- профили (слика 7.3а). Веза штапова испуне остварује се директним заваривањем за ребро U-профила. Пошто ребро има веома малу крутост на савијање, оно не може да прими вертикалне компоненте D_{V1} и D_{V2} које делују управно на њега. Међусобним заваривањем штапова испуне, пре везе са ребром појасног штапа, уравнотежују се вертикалне компоненте супротног смера, па се избегава савијање ребра. У хоризонталним шавовима за везу штапова испуне са појасом јавља се само подужни напон услед суме хоризонталних компонената сила у дијагоналама D_{H1} и D_{H2} .

Примена појасних штапова од једног угаоника, који у случају притиснутог појаса може бити ојачан ламелом (слика 7.3б) могућа је, али у комбинацији са штаповима испуне који су такође у виду једног угаоника окренутог тако да му тежиште и јача оса инерције $\xi - \xi$ леже у равни решеткастог носача.

Решеткасти носачи од шупљих профила често се обликују без чворног лима тако што се штапови испуне директним заваривањем везују за појасне штапове.



Слика 7.3. Директно заваривање појасних штапова код појасних штапова у виду: а) U-профила; б) ојачаног угаоника

8. РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ СА ЧВОРНИМ ЛИМОМ

При конструисању чворних лимова тежи се да они буду:

- минималних димензија и
- једноставног облика .

Што су веће димензије чворног лима, већа је и крутост чвора, па се због тога повећавају секундарни утицаји услед момента савијања у крутим угловима. Димензије чворног лима битно зависе од углава између штапова. Исувише оштри углови (мањи од 30°) проузрокују знатно веће димензије чворних лимова, па их треба избегавати.

Док су димензије и облик чворног лима условљени положајем и димензијама штапова испуне, као и конструктивним решењем њиховог прикључка за чворни лим, то јест дужином везе, дебљина чворног лима зависи од нивоа напрезања. Чворни лим има двојаку функцију: да омогући увођење сила из штапова испуне у чвор решеткастог носача и да обезбеди равнотежу чвора. Због тога се у њему јавља сложено – двоосно напонско стање, које се не може једноставно аналитички дефинисати. Дијаграми напона у чворном лиму могу да се одреде експерименталним поступцима (на пример, напонско–оптичком анализом модела), нумеричким методама (нпр. метода коначних елемената) и директним мерењем при испитивању конструкције. Међутим, упркос овако сложеном напрезању чворног лима, при његовом димензионисању могу да се примене приближне методе засноване на стварној расподели напона. С обзиром на двојаку функцију чворног лима његова дебљина треба да се одреди на основу два критеријума: увођења сила у чвор и равнотеже чвора. Другим речима, гранично стање лома чворног лима може да наступи услед парцијалног лома у зони прикључка штапова испуне, или потпуним ломом на месту теоријског чвора.

Реалан распоред нормалних напона у зони увођења силе у чворни лим (слика 8.1а), одређен на основу неке прецизније анализе (нумеричке или експерименталне), дозвољава примену упрошћеног прорачунског модела, који подразумева линеарно простирање напона под углом од 30°. Према овом моделу дијаграм нормалних напона је константан на ефективној ширини b_{eff} (слика 8.1ц). Контролу напона треба спровести у меродавном пресеку у којем се јавља максимална сила. Код веза са механичким спојним средствима то је пресек кроз последњи ред завртњева (слика 8.1б), односно закивака, док се код веза у завареној изради овај пресек поклапа са завршетком шавова (слика 8.1ц).

Према томе, контрола напона у чворном лиму треба да се спроведе на следећи начин:

- за везу завртњевима

$$\sigma = \frac{F}{A_{neto}} = \frac{F}{t \cdot (b_{eff} - n \cdot d_0)} \leq \sigma_{dop} \quad (8.1)$$

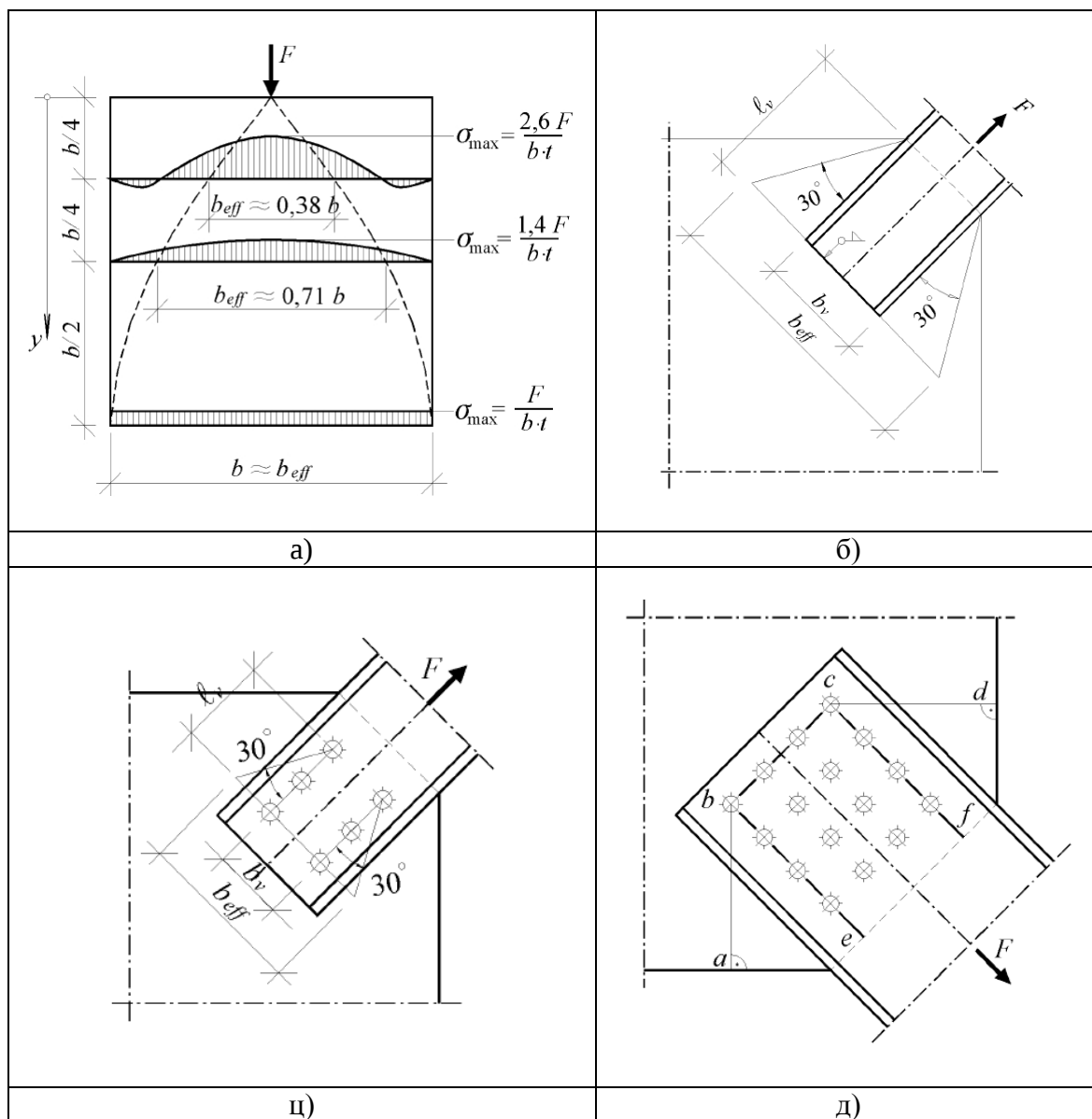
- за везу у завареној изради

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{t \cdot b_{eff}} \leq \sigma_{dop} \quad (8.2)$$

У оба случаја ефективна ширина чворног лима на месту меродавног пресека b_{eff} може да се одреди на исти начин:

$$b_{eff} = b_v + 2 \cdot \tan 30^\circ \cdot l_v, \quad (8.3)$$

где су b_v и l_v ширина и дужина везе (слика 6.2.1б,ц)



Слика 8.1. Увођење силе у чворни лим

Код широких затегнутих штапова испуне, који су за чворни лим везани са неколико линија завртњева (слика 8.1д), лом чворног лима може да наступи по изломљеним нето пресецима а – б – с – д, или код кратких веза е – б – с – ф. Контрола напона у назначеним пресецима треба да се спроведе са пуном силом затезања и нето површином пресека, добијеном на основу геометрије изломљеног пресека и броја рупа за завртњеве кроз које пролази посматрани пресек.

Са становишта прорачуна потпуног лома чворног лима на месту теоријског чвора, разликују се два случаја:

- 1) када је чворни лим саставни део појасних штапова (слика 8.2а)
- 2) када чворни лим није саставни део појасних штапова (слика 8.2б)

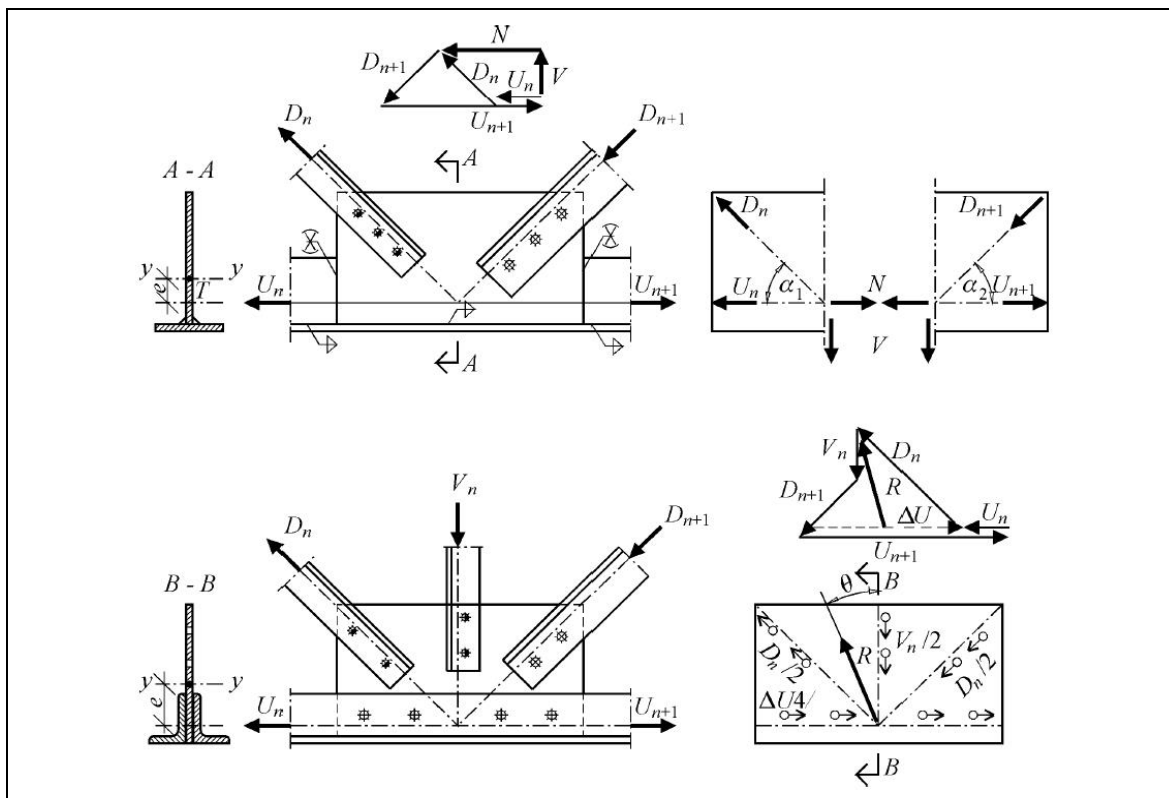
У првом случају најоптерећенији пресек А-А, који сачињавају појасни штап и чворни лим, изложен је дејству аксијалне силе N , смичуће силе V и момента ексцентрицитета M . За чвор решеткастог носача који је приказан на слици 6.2.2а, ове пресечне силе могу да се одреде на следећи начин:

$$N = U_n + D_n \cdot \cos \alpha_1 \quad (8.4)$$

$$V = D_n \cdot \sin \alpha_1 \quad (8.5)$$

$$M = N \cdot e \quad (8.6)$$

где је e растојање између тежишта појасних штапова и тежишта пресека А-А (слика 8.2а). У неким случајевима дебљина чворног лима може да се одреди на основу емпиријских препорука. Тако на пример, код тешких, двозидних решеткастих носача (на пример, мостовски носачи), код којих чворни лимови уједно представљају ребра појасних штапова, због сложеног напрезања, дебљина чворног лима треба да буде 20 – 30% већа од максималне дебљине ребра суседних појасних штапова, с тим да његова дебљина буде барем за 2 – 4 mm већа.



Слика 8.2. Пресечне силе у чворном лиму: а) када је чворни лим саставни део појасних штапова; б) кад чворни лим није саставни део појасних штапова

Када чворни лим није саставни део појасних штапова, већ је са појасним штаповима повезан заваривањем или завртњевима, на њега делује резултанта унутрашњих сила $\vec{R}$ (слика 6.2.2б) која може да се одреди из услова равнотеже сила са једне стране чвора. У случају чвора решеткастог носача приказаног на слици 8.2б, резултанта која делује у пресеку В-В може да се одреди као векторски збир сила:

$$\vec{R} = \vec{D}_n + \vec{\Delta} \cdot \frac{U}{2} \quad (8.7)$$

где је ΔU разлика сила у појасним штаповима ($\Delta U = U_{n+1} - U_n$), а D_n сила у затегнутој дијагонали. Пресечне силе, које напрежу чворни лим (N , V и M), могу се одредити када се изврши редукција резултанте унутрашњих сила ($\vec{R}$) на тежиште попречног пресека чворног лима В-В:

$$N = R \cdot \sin \Theta \quad (8.8)$$

$$V = R \cdot \cos \Theta \quad (8.9)$$

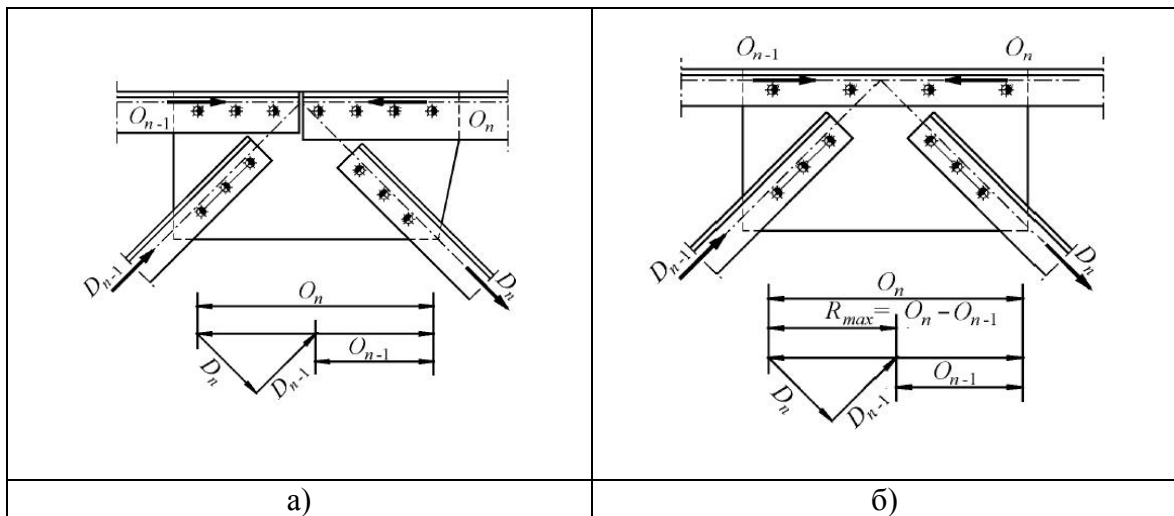
$$M = N \cdot e \quad (8.10)$$

Када се веза вертикале са чворним лимом остварује завртњевима, проверу напона у пресеку В-В услед овако срачунатих сила треба извршити за нето пресек. Међутим, ако је веза остварена са малим бројем завртњева (на пример 2 или 3), утицај рупа може да се занемари.

С обзиром на димензије чворног лима, напони који се у њему јављају услед пресечних сила (N , V и M), добијених приближним поступком који је изложен у предходном делу, углавном нису значајни, па су за димензионисање чворног лима најчешће меродавни нормални напони услед увођења сила у чвор.

Веза чворног лима са појасним штаповима углавном се изводи заваривањем или помоћу механичких спојних средстава. При прорачуну ове везе, било да је она остварена заваривањем или помоћу механичких спојних средстава, постоје два суштински различита случаја:

- 1) када се појасни штапови прекидају у чвору (слика 8.3а),
- 2) када се појасни штапови не прекидају у чвору (слика 8.3б).



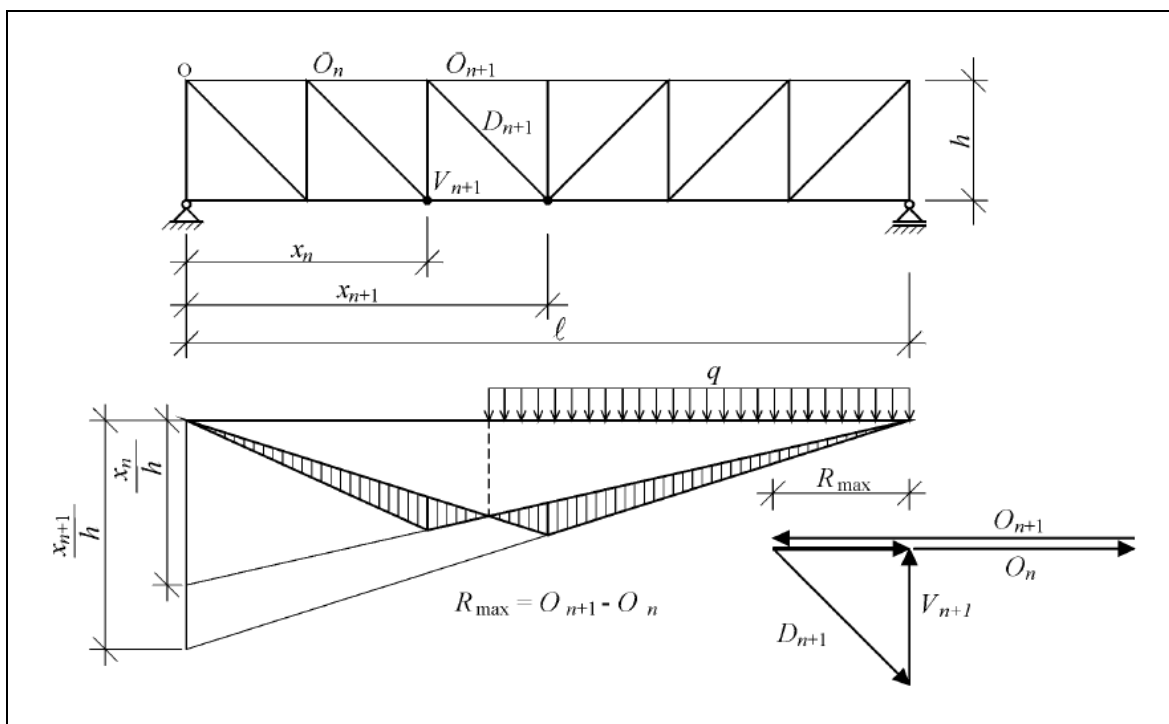
Слика 8.3. Веза чворног лима са појасним штаповима

Први случај је неповољнији са становишта напрезања чворног лима и његове везе са појасним штаповима. Наиме, када се појасни штапови прекидају у чвору, везу сваког штапа треба димензионисати према сили која се у њему јавља (O_n односно O_{n-1}). Стога, треба избегавати прекид појасних штапова у чвору, јер је у том случају веза знатно мање напрегнута, па самим тим и јефтинија. Код непрекинутих појасних штапова, због материјалног континуитета, веза чворног лима са појасним штаповима треба да пренесе само максималну резултанту која се јавља у штаповима испуне $R_{\max}$. За чвор приказан на слици 8.3б ова резултанта је једнака разлици сила у појасним штаповима ($R_{\max} = O_n - O_{n-1}$).

Код решеткастих носача који су изложени дејству покретног оптерећења, као што су мостовски или крански носачи, резултанту треба одредити на основу утицајне линије за разлику сила (слика 8.4). Вредност максималне резултанте може да се одреди и приближно према следећем изразу:

$$R_{\max} = 1,2 \div 1,5 \cdot (\max O_{n+1} - \max O_n) \quad (8.11)$$

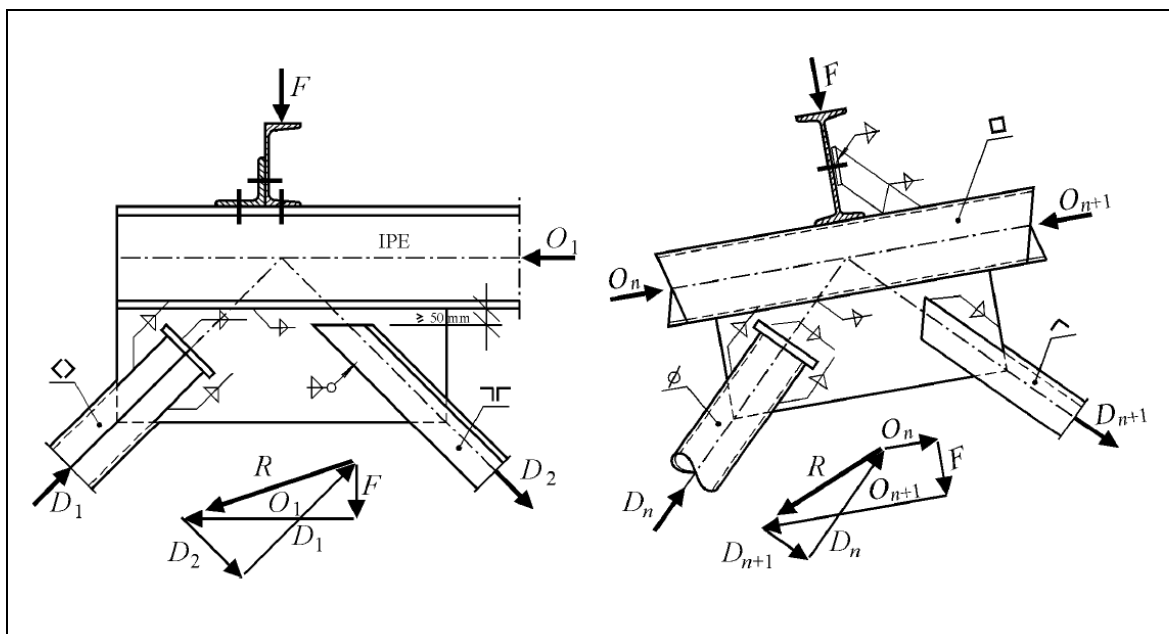
где су $\max O_{n+1}$ и $\max O_n$ максималне вредности сила у суседним појасним штаповима.



Слика 8.4. Утицајна линија за разлику сила у појасним штаповима

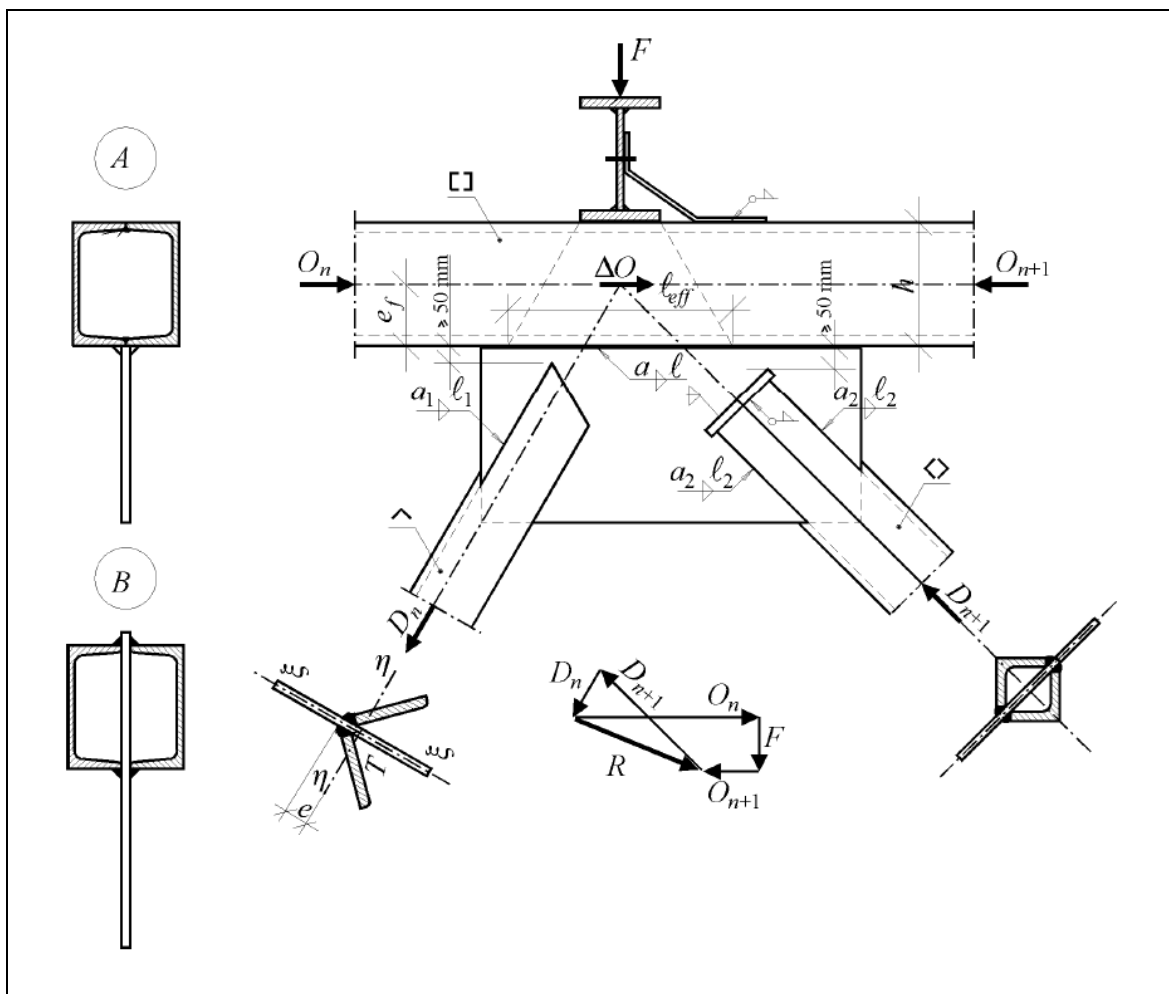
Уколико у чвору делује и спољашње оптерећење у виду концентрисане силе, везу чворног лима са појасним штаповима треба димензионисати и за дејство ове силе. На слици 8.5 приказана су два карактеристична чвора у којима делује и спољашња концентрисана сила F . Сила R , према којој се димензионише веза чворног лима, може да се одреди на основу плана сила као векторски збир резултанте штапова испуне и спољашње силе F (слика 8.5). Треба напоменути да ова сила R делује у чвору и да, уколико се тежиште појасних штапова не поклапа са тежиштем везе, долази до ексцентрицитета, који треба узети у обзир при прорачуну спојних средстава. Овај ексцентрицитет проузрокује моменат савијања у вези.

За остварење везе чворног лима са појасним штаповима углавном се користи заваривање. Предности веза у завареној изради у односу на везе механичким спојним средствима су, пре свега, бржа, једноставнија и јефтинија израда. Осим тога, избегава се слабљење попречног пресека појасних штапова и самог чворног лима рупама за спојна средства.



Слика 8.5. Напрезање везе чворног лима са појасним штаповима

Прорачун везе чворног лима у завареној изради илустрован је на примеру чвора решеткастог носача приказаног на слици 8.6.



Слика 8.6. Чвор решеткастог носача у завареној изради

Да би се одредила стварна дужина шавова (l) за везу чворног лима са појасом, неопходно је да се најпре израчунају везе штапова испуне од чијих дужина зависе облик и димензије чворног лима. Без обзира што је потребна дужина шавова за везу чворног лима са појасом, која проистиче из искоришћења напона, углавном мања од дужине чворног лима, заваривање обавезно треба извести по читавој дужини.

Веза притиснуте дијагонале (D_{n+1}), која је израђена од два L- профила која образују сандучаст пресек (слика 8.6) остварује се са четири подужна угаона шавова ($a_2 \times l_2$). Тежиште штапа се поклапа са тежиштем шавова, па се у њима јавља само компонента напона која је паралелна са осом шавова. Контрола напона своди се на:

$$V_{II} = \frac{D_{n+1}}{A_{w,2}} = \frac{D_{n+1}}{4 \cdot a_2 \cdot l_2} \leq \sigma_{w,dop} \quad (8.12)$$

Код свих штапова испуне затвореног попречног пресека (на пример шупљи хладно обликовани профили кружног и правоугаоног попречног пресека, два

U- профила, и тако даље), веза се остварује на исти начин, па је и поступак прорачуна аналоган. Обавезно треба предвидети затварање шупљих профила на његовим крајевима како би се унутрашњост заштитила од корозије. Затварање се остварује помоћу челичних лимова који се заварују за чворни лим и штап испуне (слика 8.6).

Везе затегнутих штапова израђених од једног угаоника (D_n) обавезно се изводе заваривањем. Да би се избегло ексцентрично напрезање угаоника, он се поставља тако да му тежиште и главна оса инерције $\xi - \xi$ леже у средњој равни чворног лима (слика 8.6), па се веза механичким спојним средствима не може остварити. Да би се остварили угаони шавови неопходна је претходна обрада (расецање) крајева угаоника како би се обезбедило његово налагање на чворни лим. Због непклапања тежишта штапа и везе долази до ексцентричног напрезања шавова, па се осим смичуће компоненте (V_{II}) у њима јавља и нормална компонента напона (n). Контрола напона огледа се у следећем:

$$V_{II} = \frac{D_n}{A_{w,1}} = \frac{D_n}{2 \cdot a_1 \cdot l_1} \leq \sigma_{w,dop} \quad (8.13)$$

$$n = \frac{D_n \cdot e}{W_{w,1}} = \frac{D_n \cdot e}{2 \cdot a_1 \cdot l_1^2 / 6} \leq \sigma_{w,dop} \quad (8.14)$$

$$\sigma_{w,u} = \sqrt{n^2 + V_{II}^2} = V_{II} \cdot \sqrt{1 + 36 \cdot (e/l_1)^2} \leq \sigma_{w,dop} \quad (8.15)$$

Дакле, осим појединачне контроле обе компоненте напона, потребно је проверити и упоредни напон $\sigma_{w,u}$. Примена штапова испуне од једног угаоника који је „леђима“ ослоњен на чворни лим се, упркос једноставној вези, не препоручује, јер тежиште штапа не лежи у равни решеткистог носача, па се јавља ексцентрично напрезање и штапа и везе.

Када су одређене дужине шавова (l_1 и l_2) за везу штапова испуне са чворним лимом, уз поштовање минималног растојања између краја штапова испуне и појасних штапова ($> 50 \text{ mm}$), могу се одредити и димензије чворног лима. У случају чвора приказаног на слици 8.6 веза чворног лима са појасним штаповима може да се оствари на два начина (варијанта А и В приказане на слици 8.6). Када се чворни лим везује само са доње стране појаса (варијанта А) тежиште шавова се не поклапа са тежиштем штапа, па се у шавовима јавља момент ексцентрицитета:

$$M = (O_{n+1} - O_n) \cdot e_f = \Delta O \cdot h / 2 \quad (8.16)$$

где је e_f растојање између тежишта појаса и шавова, које је код двоосно симетричних пресека једнако половини висине појасног штапа $h/2$. Према томе, услед силе ΔO у шавовима се јављају следеће компоненте напона:

$$V_{II} = \frac{\Delta O}{A_w} = \frac{\Delta O}{2 \cdot a \cdot l} \quad (8.17)$$

$$n_M = \frac{M}{W_w} = \frac{\Delta O \cdot h / 2}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} \quad (8.18)$$

Услед концентрисане силе F која делује у чвору јавља се додатни нормални напон у шавовима:

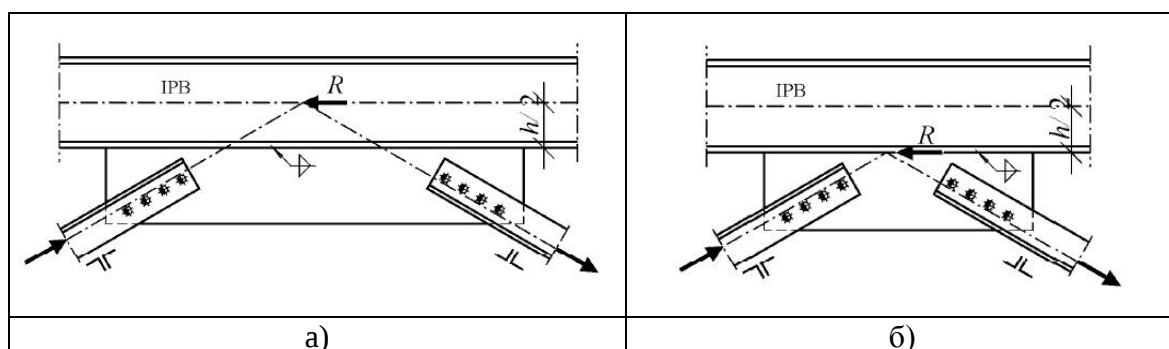
$$n_F = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l_{eff}} \quad (8.19)$$

где је l_{eff} ефективна ширина шавова која се добија уз претпоставку да се напони услед силе F линеарно шире под углом од 45° (слика 8.6). Провера упоредних напона врши се на следећи начин:

$$\sigma_{w,u} = \sqrt{(n_M + n_F)^2 + V_{II}^2} \leq \sigma_{w,dop} \quad (8.20)$$

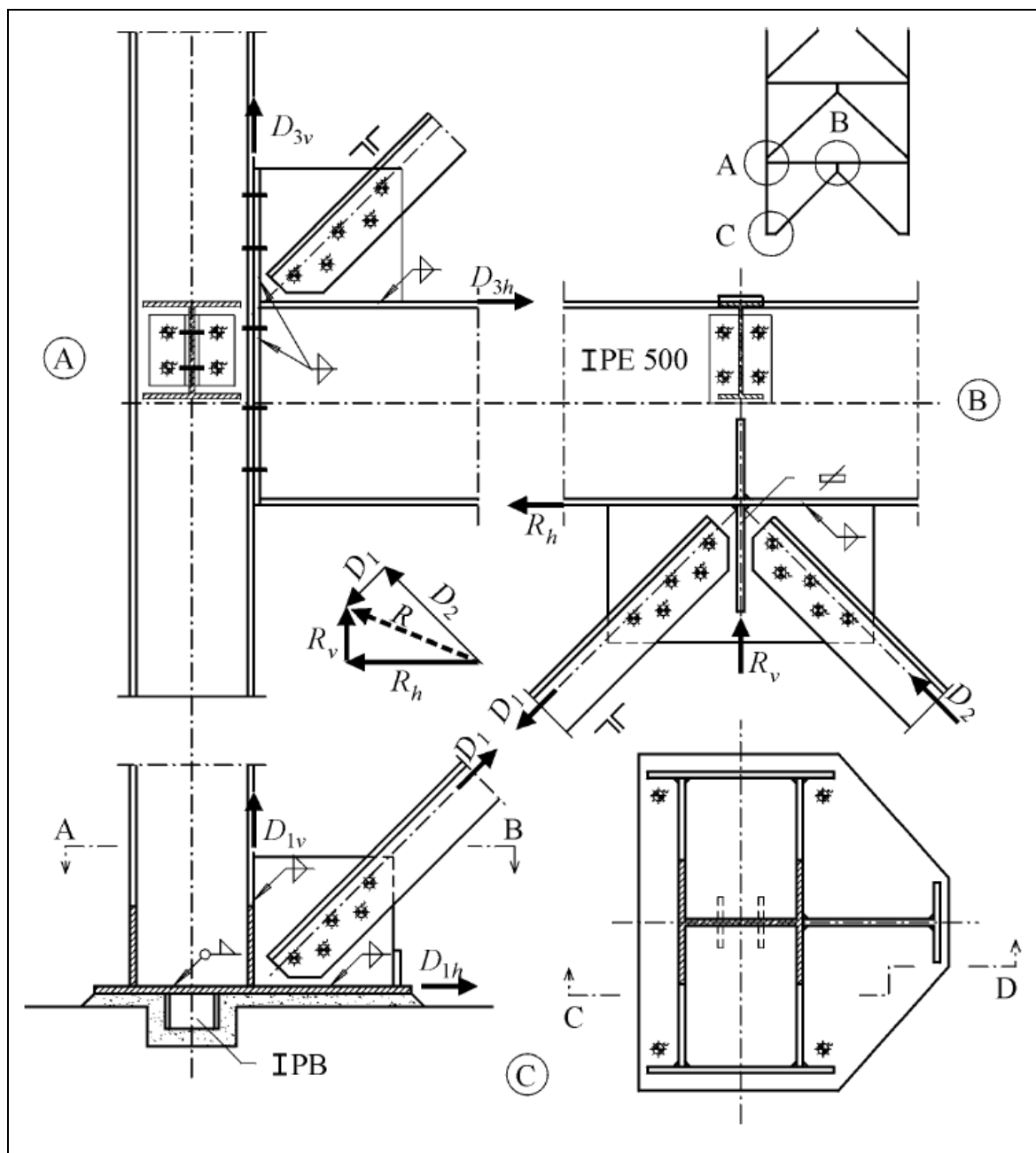
У другој варијанти (слика 8.6 В) тежиште шавова се поклапа са тежиштем појаса, па отпада компонента нормалног напона (n_M) услед момента ексцентрицитета (8.18). Извођење овакве везе захтева посебну обраду појасних штапова и два пута већу дужину шавова. Осим тога, јавља се испупчење на горњој површини појаса, које знатно компликује ослањање носача преко којег се уноси оптерећење (на пример рожњаче или подни носачи). Стога се препоручује примена прве варијанте (А) која је знатно једноставнија и јефтинија. Због велике дужине шавова напони у њима, и поред ексцентричног напрезања, нису искоришћени, па се углавном могу применити угаони шавови минималне дебљине ($a = 3 \text{ mm}$).

Ако су појасни штапови масивни, што је углавном случај код решеткастих носача чији је појас изложен локалном савијању (на пример крански носач), центрична веза штапова испуне проузоркује веома дугачке чворне лимове, који су нерационални и естетски неприхватљиви (слика 8.7а), па се у оваквим случајевима прибегава ексцентричном прикључку штапова испуне (слика 8.7б). На тај начин се знатно смањују димензије чворног лима. Крути појасни штап се додатно оптерећује моментом ексцентрицитета ($M = R \cdot h/2$), који се јавља као последица оваквог прикључка, а шавови су ослобођени дејства момента ексцентрицитета.



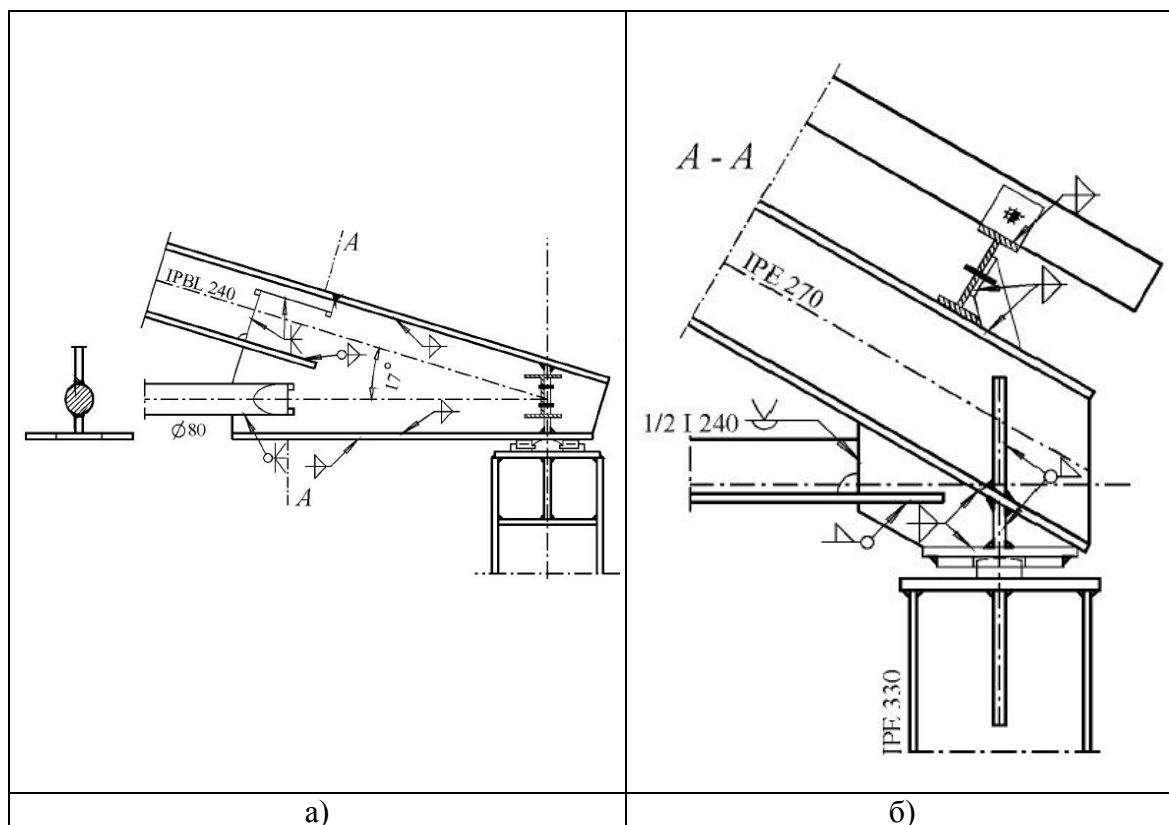
Слика 8.7. Прикључак штапова испуне

Уобичајно је да се штапови испуне у оваквим случајевима центришу на доњу ивицу појасног штапа (слика 8.7 б). Ексцентрично везивање се може применити и код вертикалних спрегова у зградама скелетног типа (слика 8.8). При образовању попречних модела обавезно треба узети у обзир ексцентрицитет веза. Ово се најједноставније постиже увођењем кратких штапова бесконачне крутости (слика 8.8).



Слика 8.8. Ексцентрично везивање штапова испуне вертикалног спрега

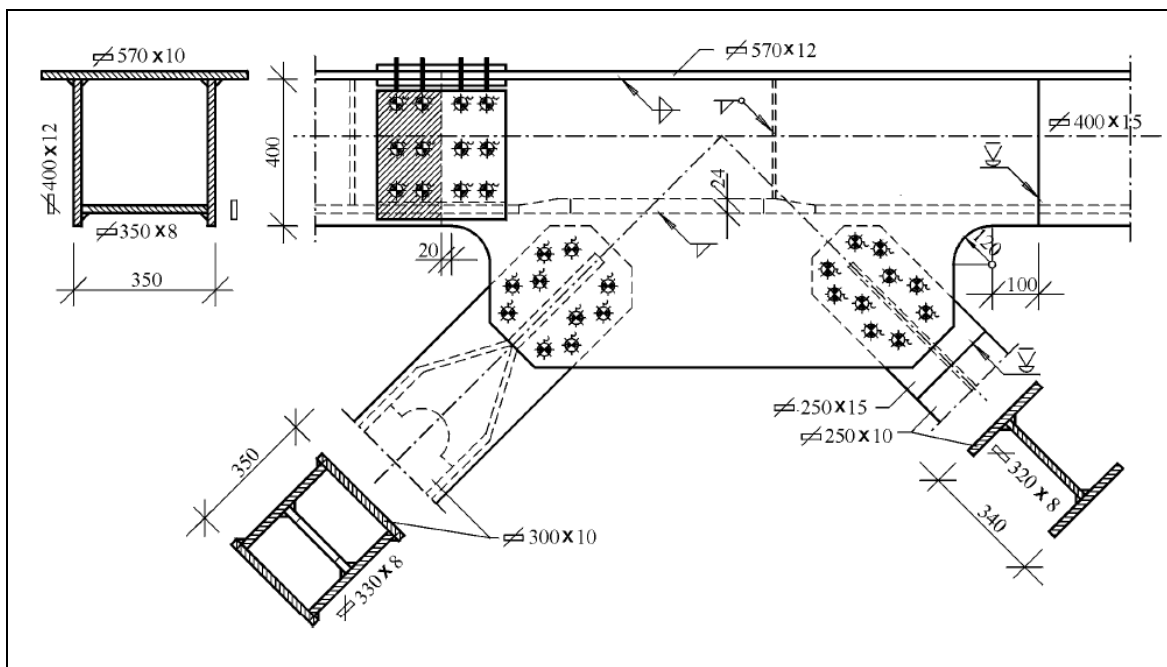
Приликом обликовања ослоначких чворова треба тежити да оса ослонца пролази кроз чвор решеткастог носача. Испуњење овог захтева код штапова решеткастих носача, који се у ослоначком чвору сустичу под веома оштрим углом, доводи до веома дугачких чворних лимова (слика 8.9а). Увођење ослоначке реакције (R) у штапове решеткастог носача остварује се савијањем чворног лима, па попречни пресек А-А треба проверити на дејство момента савијања $M = R \cdot e$. Стога је углавном неопходно да се чворни лим ојача, на пример заваривањем једне појасне ламеле са доње стране чворног лима (слика 8.9а). Ослањање решеткастог носача може бити и ексцентрично (слика 8.9б) ако се на тај начин (мање растојање e) смањује савијање чворног лима.



Слика 8.9. Ослоначки чворови решеткастих носача: а) центрично ослањање; б) ексцентрично ослањање

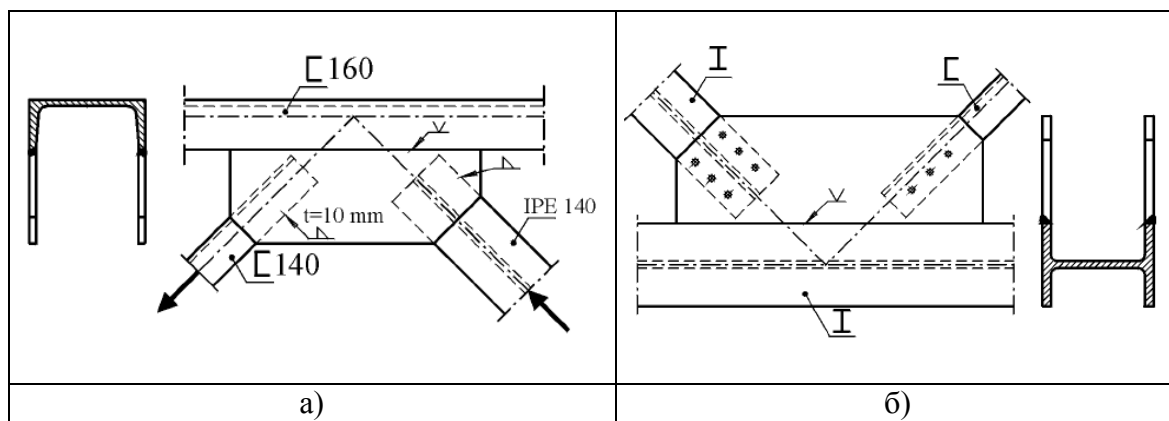
Двозидни решеткасти носачи се углавном примењују као главни носачи железничких и друмских мостова. Обликовање чворова оваквих, тешких решеткастих носача је веома специфично. На слици 8.10 приказан је чвор једног мостовског носача. Због изразито динамичког оптерећења, при обликовању чворног лима треба избегавати оштре прелазе, а полупречник заобљења треба да буде већи од 100 mm. Чворни лимови су уједно и ребра сандучастог пресека појасних штапова. Њихова веза са ребрима појасних штапова остварује се сучеоним шавовима "S" квалитета. Ова веза се обавезно помера за више од 100 mm од краја заобљења како би се избегла концентрација напона у шавовима. Пошто је дебелина чворног лима због сложеног напрезања већа од дебелине ребра, ивицу чворног лима на месту сучеоног шава треба одредити тако да његова дебелина буде једнака дебелини ребра појасног штапа. Благ прелаз са једне на другу дебелину обезбеђује се нагибом, не мањим од 1:5. Монтажни наставак је позициониран уз чвор на страни мање напрегнутог штапа. Примењују се високовредни завртњеви са пуном силом притезања или закивци. Код сандучастих пресека потребно је предвидети отвор на доњој ножици, којим се омогућава постављање спојних средстава. Слабљење доње ножице овим отвором надокнађује се повећањем њене дебелине. Сандучасти пресек се херметички затвара помоћу лимова за укрућење који се обавезно постављају са обе стране монтажног наставка. Осим тога, да би се очувала геометрија сандучастог пресека и обезбедила извесна торзиона крутост, оваква укрућења се, сем на местима монтажних наставка, постављају и у трећинама појасних штапова. Због велике висине носача, која је углавном већа од уобичајеног транспортног габарита (2900 mm), веза штапова испуне за чворни лим остварује се механичким спојним средствима. Висина штапова испуне мора бити

једнака унутрашњем растојању чворних лимова. Притиснуте дијагонале су углавном сандучастог пресека. На месту везе са чворним лимом ребра сандучастог пресека се благо повијају и спајају тако да дијагонала у зони наставка има I-пресек. Да би се прихватиле скретне силе, које се јављају у повијеним ребрима притиснуте дијагонале, на средини висине ребра поставља се хоризонтално подужно укрућење.



Слика 8.10. Карактеристичан чвор мостовског носача

Осим у мостоградњи, двозидни решеткасти носачи примењују се и у грађевинарству, код јаче напрегнутих носача. Неки карактеристични примери чворова двозидних решеткастих носача у грађевинарству дати су на слици 8.11. Чворни лимови се заварују за појасне штапове у две паралелне равни. Најчешће се као појасни штапови користе ваљани U или I-профили, који су положени тако да њихове ножице леже у две паралелне вертикалне равни. Чворни лимови се заварују за ножице појасних штапова сучеоним шавовима, док се штапови испуне са чворним лимовима спајају заваривањем (слика 8.11а) или завртњевима (слика 8.11б). Уколико су појасни штапови уски, извођење угаоних шавова са унутрашње стране чворног лима може бити знатно отежано, па се у овом случају препоручују завртњеви. Да би се остварила веза штапова испуне са чворним лимовима, ови штапови морају имати две паралелне спољашње стране, чије је растојање једнако унутрашњем растојању чворних лимова. Стога се, као штапови испуне код оваквих решеткастих носача, користе углавном U и I-ваљани профили и вишеделни пресеци формирани од два угаоника или U-профила.



Слика 8.11. Чворови двозидних решеткастих носача у грађевинарству

9. АНАЛИЗА РЕШЕТКАСТИХ КОНСТРУКЦИЈА ПОМОЋУ РАЧУНАРА

У време настака решеткастих конструкција инжењери су се користили претходно описаним методама како би дошли до резултата, тачније стабилне конструкције. Треба напоменути да у то време није постојао алат у виду данашњег дигитрона који би тај поступак убрзао или на било који начин олакшао. Из тог разлога постоје, данас помало заборављене, графичке методе. Њихова практичност се огледа баш у томе што нису захтевале било какво рачунање. Потребно је било само пажљиво наносити силе на „план сила“ и водити рачуна о размери. Након тога следи једноставно читавање непознатих сила.

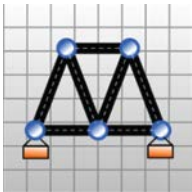
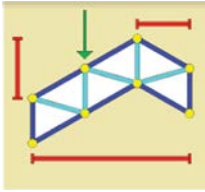
Данас је инжењерски посао готово незамислив без помоћи рачунара. Применом рачунара поступак је вишеструко убрзан и олакшан. Али то није главна предност оваквог поступка. Рачунари су преузели рачунски део посла који је био све тежи како су конструкције постајале веће и компликованије, са више појасева, штапова и чворова. С обзиром на то, инжењеру преостаје велика слобода за осмишљавање нових видова конструкција остављајући увек места за нека додатна побољшања. На тај начин, поступак се могао понављати више пута све док се не би пронашло задовољавајуће решење.

Међутим, примена рачунара се може спровести на основу застарелих графичких метода помоћу програма за 2Д цртање. Неки од тих програма су AutoCAD, CorelDRAW, SketchUP... Помоћу ових програма се може врло лако и прецизно цртати план сила, па чак и за неке компликованије конструкције али се опет не користе у пракси већ програми могу послужити само за репрезентативно представљање графичких метода.

9.1. Апликације паметних телефона за прорачун решеткастих конструкција

Како је моћ некадашњих првих рачунара више стотина пута превазиђена у облику данашњих паметних телефона, тај непотпуно искоришћен потенцијал софтверски програмери видели су као шансу да инжењерима пруже још једноставнији приступ прорачуну решеткастих конструкција. Тако су настале неке од популарних инжењерских апликација које се бесплатно могу преузети са Google-овог сервера „Play Store“. Неке од тих апликација приказане су у табели 9.1.1 од којих неке данас имају и преко 50 000 корисника.

Табела 9.1.1. Апликације за анализу решеткастих конструкција

				
AndTuss2D	Aperiron Truss 2D FEM	Parametric Trusses	W Roof Trusses Free Trial	Structural Analysis-II

Интерфејс је врло једноставно осмишљен што је заједничка особина и предност свих поменутих апликација. То омогућава кориснику лако и брзо сналажење при решавању конкретних проблема у поступку анализе решеткастих конструкција.

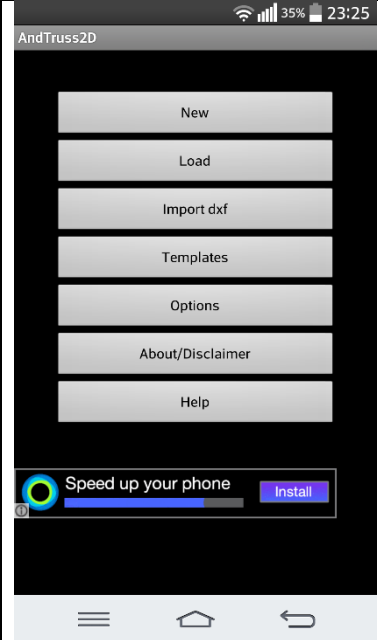
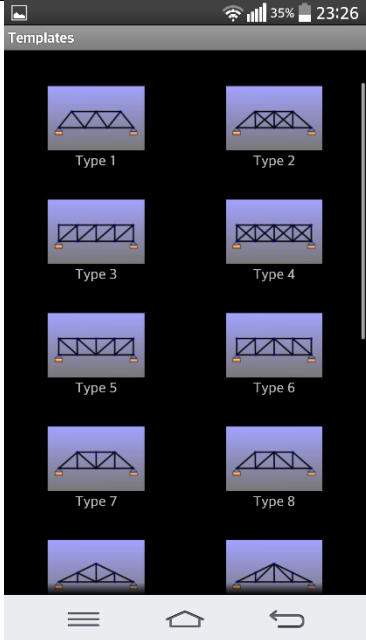
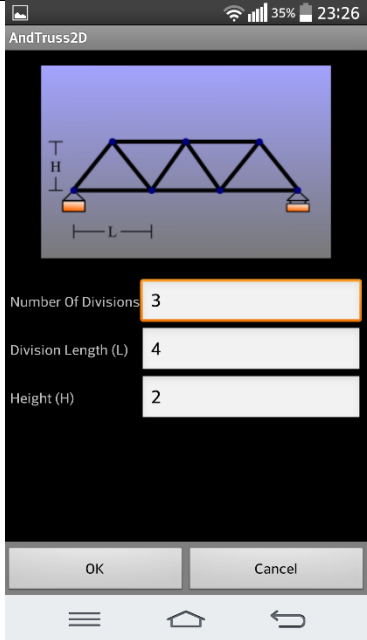
Посебна погодност неких од апликација је унапред припремљена база стандардних решеткастих конструкција, а све у циљу бржег и лакшег добијања резултата.

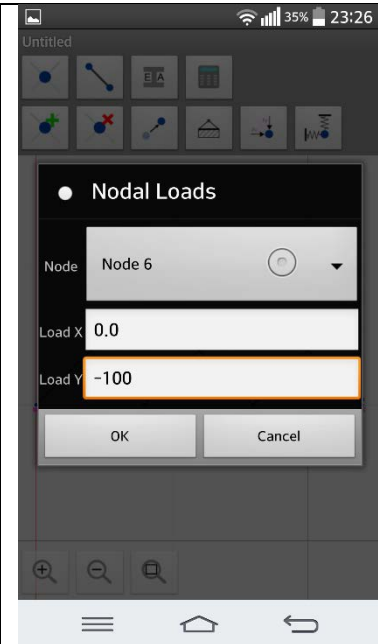
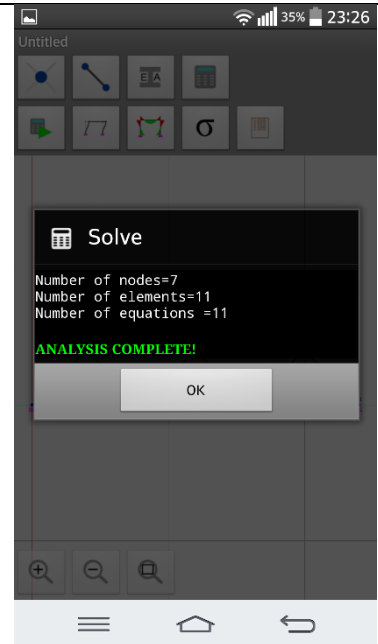
Такође, може се пронаћи велика база стандардних ваљаних профила за одабир попречних пресека штапова решеткасте конструкције, док неке од апликација нуде само унос модула еластичности и површину попречног пресека коју корисник мора прочитати из неке накнадне табеле.

Као и многе друге, и ове апликације прате тренд глобалног умрежавања (омогућена је размена података), што олакшава посао корисницима уколико раде у тиму.

На наредном примеру приказаном у табели 9.1.2 може се видети кроз колико корака је потребно проћи како би се добили резултати истраживања подразумевајући да један корак представља један клик у апликацији уз уношење неких од захтеваних параметара.

Табела 9.1.2. Анализа решеткасте конструкције у AndTruss2D

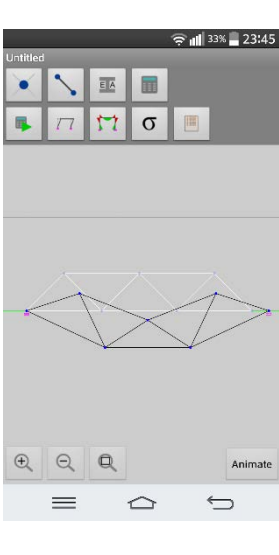
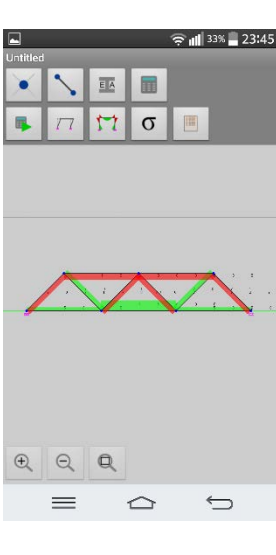
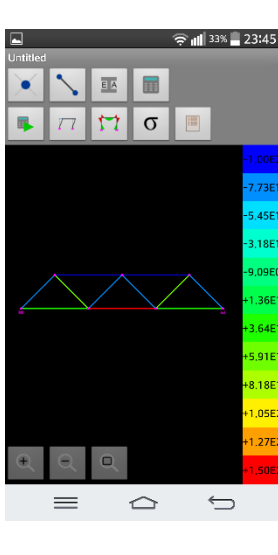
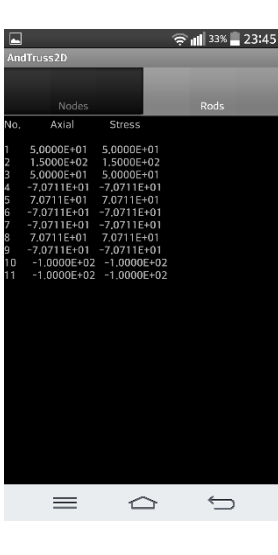
		
1. „Templates“-Одабир стандардних решеткастих конструкција	2. „Type“-Одабир једног од 20 понуђених типова решеткастих конструкција	3. Унос висине, ширине као и број поља решеткасте конструкција

	
4. Задавање оптерећења за одговарајући чвор	5. Анализирање решеткасте конструкције

Након извршене симулације могу се очитати резултати испитивања. Апликација нуди приказ деформације решетке као и њену анимацију, статичке дијаграме, напоне и табеларни приказ напона у штаповима.

Резултати испитивања за конкретну конструкцију приказани су у табели 9.1.3.

Табела 9.1.3. Приказ резултата испитивања решеткасте конструкције у апликацији AndTruss2D

			 <table> <tr> <th>No.</th> <th>Axial</th> <th>Stress</th> </tr> <tr><td>1</td><td>5.0000E+01</td><td>5.0000E+01</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.5000E+02</td><td>1.5000E+02</td></tr> <tr><td>3</td><td>5.0000E+01</td><td>5.0000E+01</td></tr> <tr><td>4</td><td>-7.0711E+01</td><td>-7.0711E+01</td></tr> <tr><td>5</td><td>7.0711E+01</td><td>7.0711E+01</td></tr> <tr><td>6</td><td>-7.0711E+01</td><td>-7.0711E+01</td></tr> <tr><td>7</td><td>-7.0711E+01</td><td>-7.0711E+01</td></tr> <tr><td>8</td><td>7.0711E+01</td><td>7.0711E+01</td></tr> <tr><td>9</td><td>-7.0711E+01</td><td>-7.0711E+01</td></tr> <tr><td>10</td><td>-1.0000E+02</td><td>-1.0000E+02</td></tr> <tr><td>11</td><td>-1.0000E+02</td><td>-1.0000E+02</td></tr> </table>	No.	Axial	Stress	1	5.0000E+01	5.0000E+01	2	1.5000E+02	1.5000E+02	3	5.0000E+01	5.0000E+01	4	-7.0711E+01	-7.0711E+01	5	7.0711E+01	7.0711E+01	6	-7.0711E+01	-7.0711E+01	7	-7.0711E+01	-7.0711E+01	8	7.0711E+01	7.0711E+01	9	-7.0711E+01	-7.0711E+01	10	-1.0000E+02	-1.0000E+02	11	-1.0000E+02	-1.0000E+02
No.	Axial	Stress																																					
1	5.0000E+01	5.0000E+01																																					
2	1.5000E+02	1.5000E+02																																					
3	5.0000E+01	5.0000E+01																																					
4	-7.0711E+01	-7.0711E+01																																					
5	7.0711E+01	7.0711E+01																																					
6	-7.0711E+01	-7.0711E+01																																					
7	-7.0711E+01	-7.0711E+01																																					
8	7.0711E+01	7.0711E+01																																					
9	-7.0711E+01	-7.0711E+01																																					
10	-1.0000E+02	-1.0000E+02																																					
11	-1.0000E+02	-1.0000E+02																																					
Деформације	Статички дијаграми	Напони	Табеларни приказ сила и напона																																				

За потребе оквирног сагледавања основних параметара резултата решеткасте конструкције ове апликације су сасвим задовољавајуће. Међутим, и оне имају своје недостатке. Само неки од њих су:

- израда техничке документације,
- конструкција чвора,
- одабир врсте чворишта,
- провера штапова на извијање,
- одређивање масе конструкције,
- комбиновање различитих врста оптерећења,
- утицај покретног оптерећења,
- анализа просторних решетки и други.

Претходно наведени недостаци, као обавезне целине глобалног прорачуна, неопходни су за комплетну анализу конструкције. Самим тим, оне се не могу користити за нека озбиљнија конструисања, јер саме конструкције захтевају проверу по више тачака и помоћу стандардизованих прорачуна.

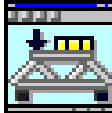
9.2. Софтверски програми за анализу решеткастих конструкција

Због својих ограничених димензија и потенцијала, који су далеко мањи од десктоп рачунара, софтверски пакети који раде на windows оперативној платформи, нуде много шири спектар могућности у односу на апликације које су наведене у претходном поглављу. Софтвери теже да смање недостатке апликација и једина разлика између самих софтвера огледа се у томе како је дизајниран интерфејс софтвера, односно како су програмери сагледали однос корисника са софтвером и колико је једноставно његово коришћење.

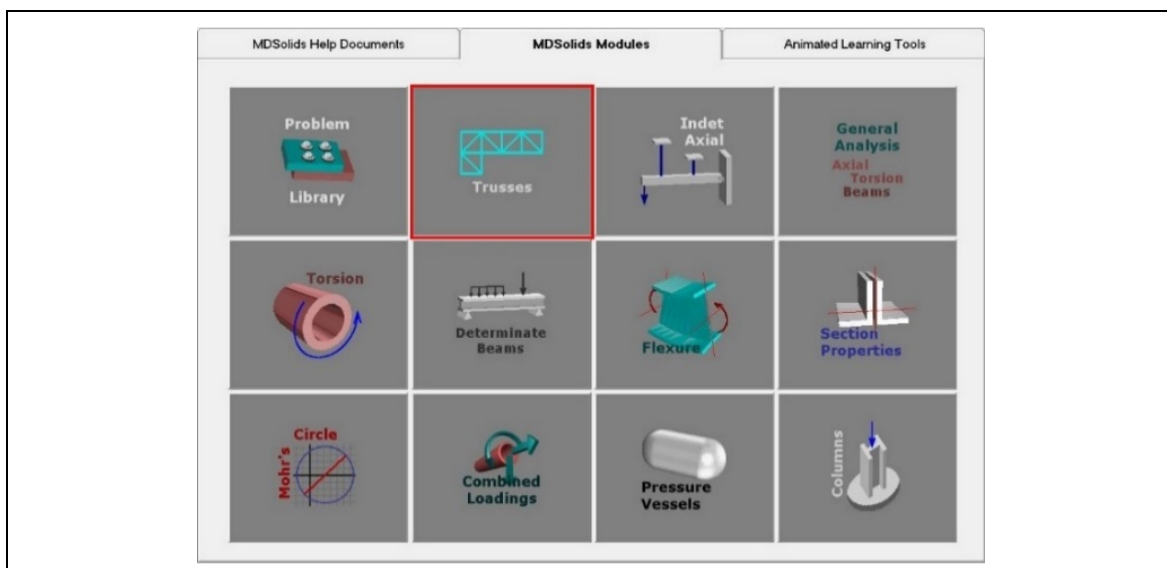
Међутим, кроз историју развоја софтвера оваквог типа могуће је уочити поделу на једноставније софтвере са могућностима налик апликацијама и софтвере који садрже све опције за комплетан прорачун најсложенијих конструкција.

У табели 9.3.1 приказани су неки од првих једноставнијих софтвера. Цена ових софтвера је релативно мала, иако нуде значајне могућности у односу на апликације.[9]

Табела 9.2.1. Софтвери за анализу решеткастих конструкција

				
MDSolids	2D Frame Analysis	SimpleTruss	FrameMaster	Engilab Beam 2D

MDSolids је софтвер који преко својих модула (слика 9.2.1) нуди широк спектар могућности за решавање инжењерских проблема (извијање штапова, статичке греде, одређивање Моровог круга, одређивање геометријских карактеристика за задати попречни пресек и друге). Програм MDSolids је програмиран да буде првенствено едукативан. Међутим, модул за решеткасте конструкције је прилично једноставан и у том смислу превазиђен је од стране појединих апликација. То је и оправдано с обзиром на преостале могућности софтвера у односу на друге софтвере из табеле 9.2.1. Изузев MDSolids-а, сви софтвери из табеле 9.2.1. креирани су превасходно за анализу решеткастих конструкција. Међу њима се истиче 2D Frame Analysis.



Слика 9.2.1. Модули софтвера MD Solids (уоквирен модул за решеткасте конструкције)

Компанија ENGISSOL, која је развила софтвер 2D Frame Analysis, основана је 2003 и данас има преко 7000 корисника у преко 60 земаља. Циљ компаније био је креирање инжењерских алата за најразличитије инжењерске проблеме при том усклађујући се са неким од најзначајних стандарда као што су: Eurocodes, DIN, BS, ACI, UBV, AISC и други. Накнада за коришћење софтвера је симболична што је велика предност као могућност покретања софтвера на рачунарима различитих јачина. У оквиру овог софтвера нуди се одличан алат за структурну анализу и дизајн уз бескомпромисни квалитет.

Међутим, неписано је правило да величина софтвера, односно простор који заузима на хард-диску рачунара, говори о томе колико је софтвер компликован и које су све његове могућности. С обзиром на то, и овај софтвер има ограничене могућности, оне су ипак оне довољне за анализирање озбиљнијих инжењерских проблема.

9.3.Савремени софтвери за анализу решеткастих конструкција

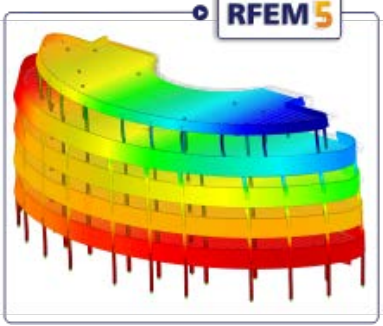
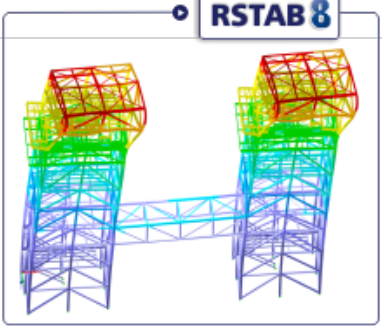
Данас су развијени софтвери са готово неограниченим могућностима у погледу сложености конструкције. Практично, софтвери су прављени за анализу конструкција које још нису осмишљене, али и за оне које су осмишљене, а сматрају се финансијски и технички неизводљиве, па се у том смислу могу поново анализирати. Помоћу софтвера може се проверити изводљивост сваке идеје.

Цена софтвера сразмерно расте са могућностима софтвера. Са повећањем могућности софтвера повећава се потражња за рачунаром са јачим карактеристикама, јер је тешко оптимизовати софтвере са циљем да софтвер ради на слабијим рачунарима, па се од рачунара захтева „сурова“ снага за обраду информација. На тај начин ограничен је број корисника, па су само веће компаније у могућности да купе и користе лиценциране софтвере. Цена се креће од пар хиљада евра до преко десет хиљада евра. У ту цену треба укључити трошкове за обуку корисника због изузетне сложености и великог броја могућности софтвера.[10,11]

Неки од софтвера за анализу решеткастих конструкција су: *SAP 2000* и *Autodesk Robot Structural Analysis*.

„Длубал“ је Немачка фирма која се од 1987. године бави развијањем софтвера за прорачунске анализе конструкција. Ова фирма је творац неколико професионалних, специјализованх и скупих софтвера за структурну и динамичку анализу конструкција. Међу њима посебно се истичу два софтвера приказана у табели 9.3.1[30,31]

Табела 9.3.1. Софтвери RFEM 5 и RSTAB 8

	
RFEM 5	RSTAB 8

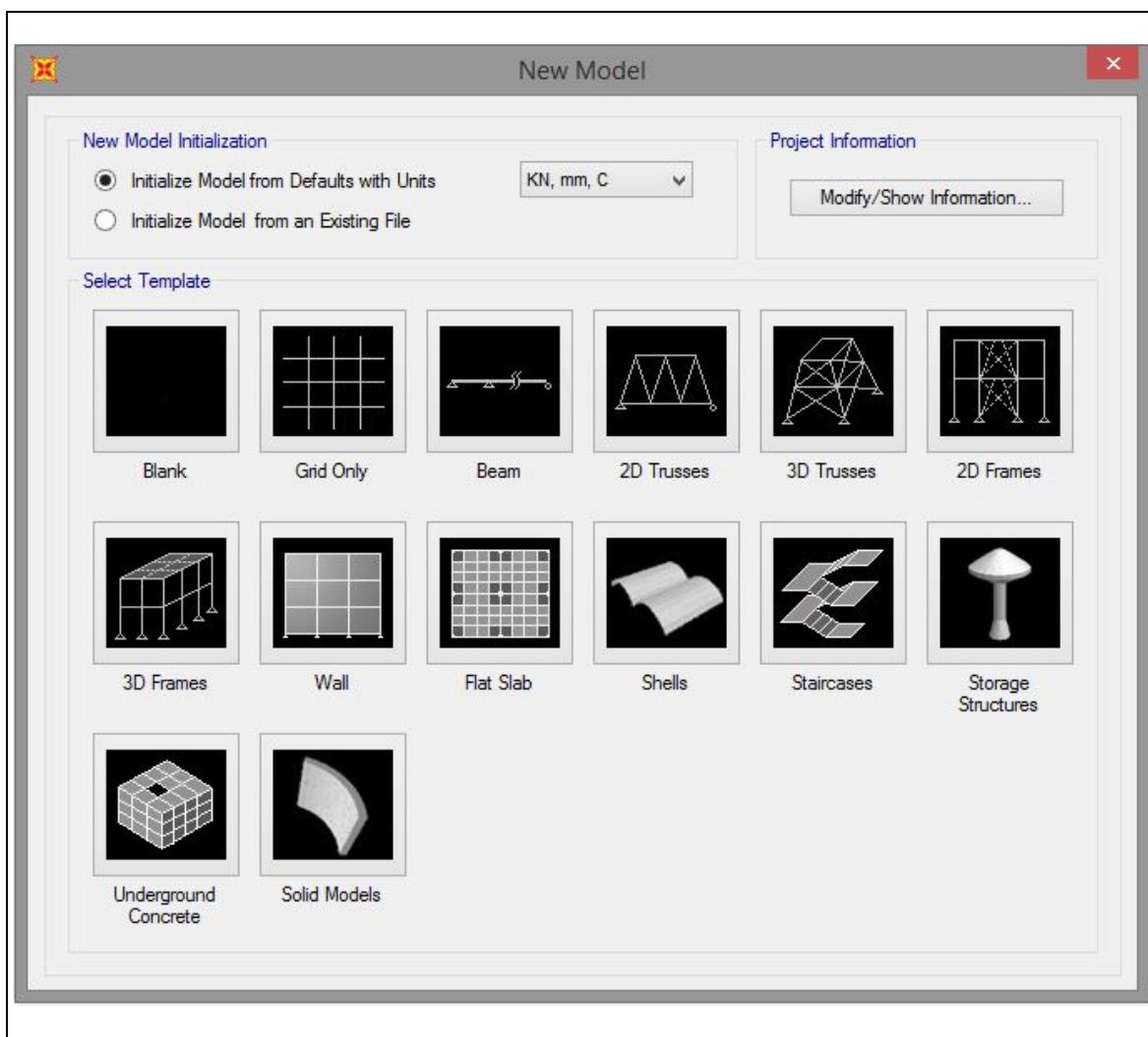
4.1.7.

9.3.1.SAP2000

Име SAP је био синоним за аналитичке методе још од његовог представљања пре више од 30 година. SAP2000 прати у истој традицији веома софистициран, интуитиван и разноврстан кориснички сервис који покреће ненадмашан модул за анализу и алате за дизајнирање које инжењери користе у индустрији, транспорту, цивилном инжењерству и друге.[12,18]

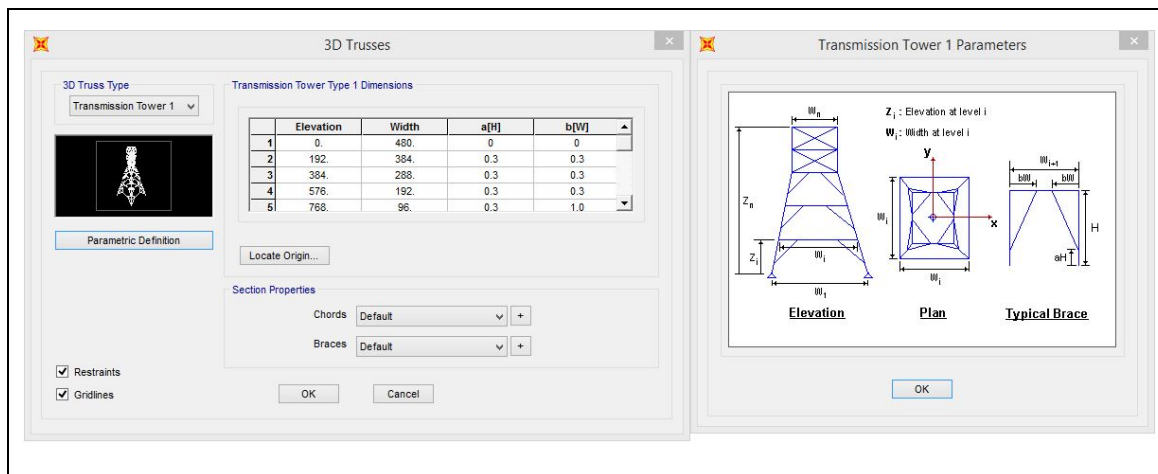
Софтвер има стандардну базу решеткастих конструкција, како раванских тако и просторних, које се једноставно могу учитати у пројекат и повезати са постојећом конструкцијом. Јако је важно правилно извршити преношење дејства спољашњих оптерећења на конструкцију из реалног окружења, на пример, утицај ветра, снега и сеизмичких активности.

При покретању пројекта, на самом почетку, неопходно је одабрати тип конструкције (слика 9.3.1.1).



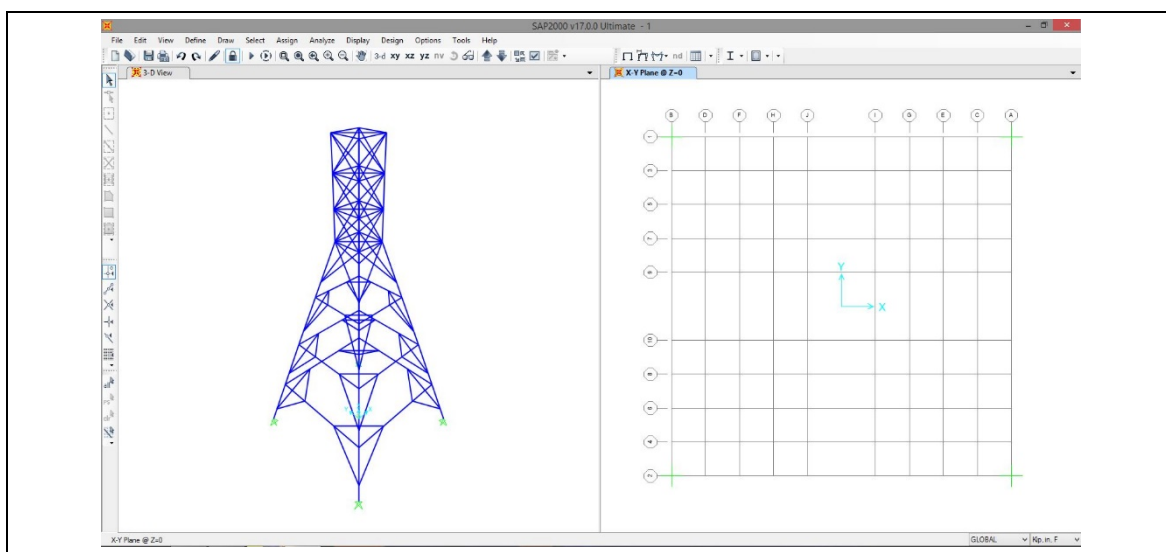
Слика 9.3.1.1. Одабир модула конструкција при креирању пројекта

На слици 9.3.1.1 јасно се види да софтвер нуди модул за раванске и просторне решеткасте носаче. У сваком од модула постоје претходно креиране стандарне конструкције. Преко одређених параметара дозвољено је делимично мењање конструкције (број појасева, висина и ширина конструкције). У модулу 3D Truss могуће је одабрати, као стандардизовану решеткасту конструкцију, кровни носач, четири различита типа торња, као и торањ који је стабилизован преко челичних ужади. Један од примера може се видети на слици 9.3.1.2.



Слика 9.3.1.2. Одабир конструкције и преглед основних параметара

Након учитавања конструкције отвара се прозор који је стандардан за све модуле и подељен је вертикално на два дела. Максимално може бити подељен на четири дела. Леви део приказује 3D модел конструкције док, десни прозор приказује једну од одабраних равни (ху, хz или зу). Радно окружење праказано је на слици 9.3.1.3.



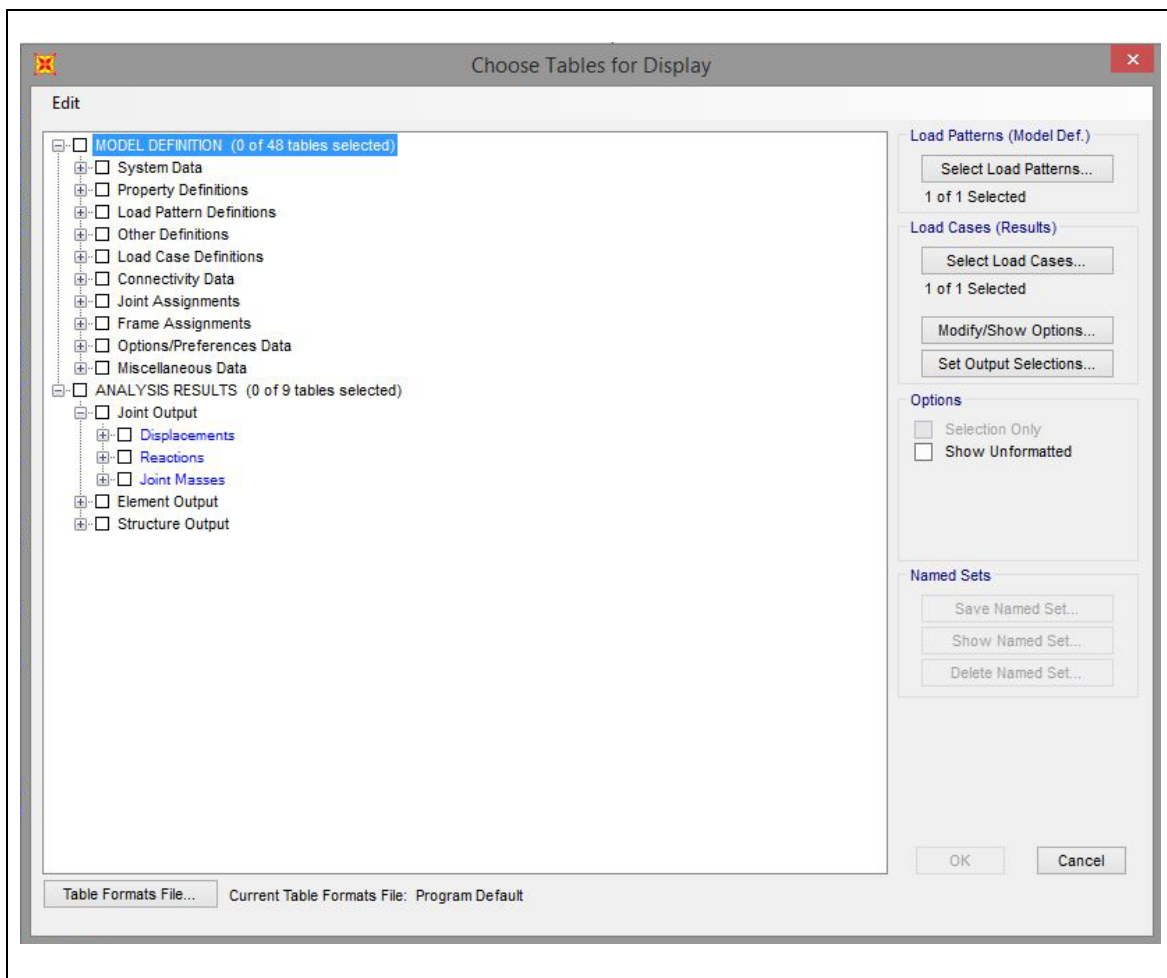
Слика 9.3.1.3. Радно окружење програма SAP2000

У заглављу радног окружења налази се велики број падајућих менија (File, Edit, View, Define, Draw, Select, Assign, Analyze, Display, Design, Options, Tools и Help). Најзначајније су *Define*, *Analyze* и *Display*.

У картица *Define*, поред осталих опција, врши се задавање оптерећења. Остављена је могућност да се креирају комбинације оптерећења која ће се касније једним кликом задавати постојећој конструкцији. Поред тога, независно се могу задавати покретна оптерећења, као и утицај ветра и сеизмичких потреса.

Једна од најважнијих картица је *Analyze*. У њој се врши покретање симулације. Док претходни софтвери и апликације нису имали ту могућност, у програмском пакету SAP2000 може се одабрати другачији тип анализе који се накнадно може извршити.

За приказ резултата предвиђена је картица *Display*. Практично, кликом на иконцу *Show Tables...* отвара се прозор у коме је остављена могућност кориснику да одабере које резултате жели да прегледа. Након одабира врши се припрема резултата који се могу сачувати у екстензији *.xlsx који отвара програм Microsoft Excel. Пример је приказан на слици 9.3.1.4а и 9.3.1.4б [24]

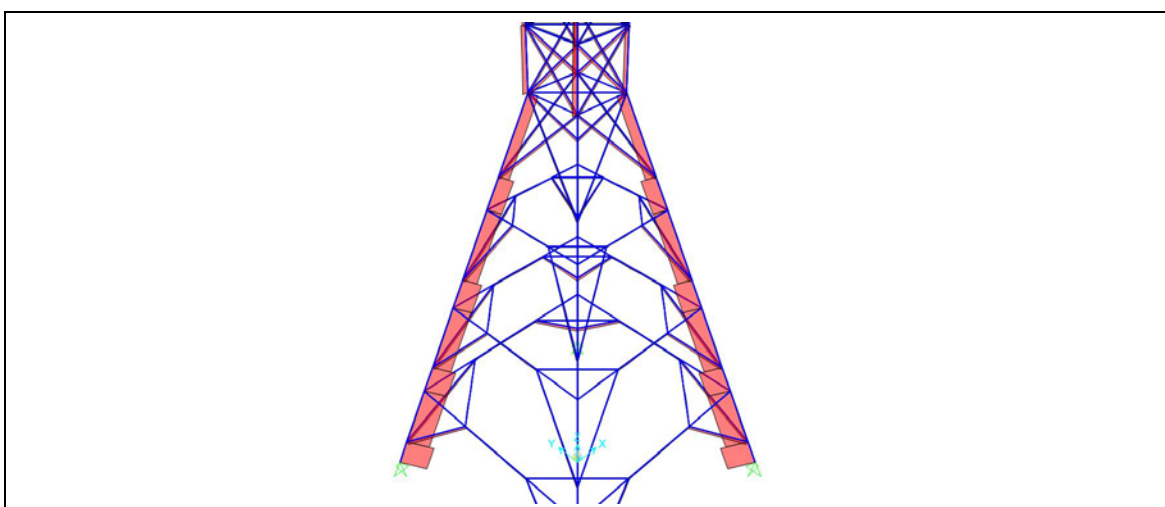


Слика 9.3.1.4а. Одабир резултата испитивања

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	TABLE: Joint Displacements										
2	Joint	OutputCase	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3		
3	Text	Text	Text	mm	mm	mm	Radians	Radians	Radians		
4	1	DEAD		0.00000	0.00000	0.00000	0.00012	-0.00012	0.00000		
5	2	DEAD		0.00193	0.00193	-0.26043	-0.00003	0.00003	0.00000		
6	3	DEAD		-0.16443	-0.16446	-0.00848	0.00003	-0.00003	0.00000		
7	4	DEAD		0.00941	0.00602	-0.27974	-0.00001	0.00003	0.00000		
8	5	DEAD		0.00602	0.00946	-0.27973	-0.00003	0.00001	0.00000		
9	6	DEAD		0.00000	0.00000	0.00000	-0.00012	-0.00012	0.00000		
10	7	DEAD		0.00193	-0.00193	-0.26043	0.00003	0.00003	0.00000		
11	8	DEAD		-0.16443	0.16446	-0.00848	-0.00003	-0.00003	0.00000		
12	9	DEAD		0.00941	-0.00602	-0.27974	0.00001	0.00003	0.00000		
13	10	DEAD		0.00602	-0.00946	-0.27973	0.00003	0.00001	0.00000		
14	11	DEAD		0.00000	0.00000	0.00000	0.00012	0.00012	0.00000		
15	12	DEAD		-0.00193	0.00193	-0.26043	-0.00003	-0.00003	0.00000		
16	13	DEAD		0.16443	-0.16446	-0.00848	0.00003	0.00003	0.00000		
17	14	DEAD		-0.00941	0.00602	-0.27974	-0.00001	-0.00003	0.00000		
18	15	DEAD		-0.00602	0.00946	-0.27973	-0.00003	-0.00001	0.00000		
19	16	DEAD		0.00000	0.00000	0.00000	-0.00012	0.00012	0.00000		
20	17	DEAD		-0.00193	-0.00193	-0.26043	0.00003	-0.00003	0.00000		
21	18	DEAD		0.16443	0.16446	-0.00848	-0.00003	0.00003	0.00000		
22	19	DEAD		-0.00941	-0.00602	-0.27974	0.00001	-0.00003	0.00000		
23	20	DEAD		-0.00602	-0.00946	-0.27973	0.00003	-0.00001	0.00000		
24	21	DEAD		0.00417	0.00417	-0.45919	0.00001	-0.00001	0.00000		
25	22	DEAD		-0.01584	-0.01578	-0.32231	0.00000	0.00000	0.00000		
26	23	DEAD		0.00707	0.00469	-0.37243	0.00003	-0.00001	0.00000		
27	24	DEAD		0.00469	0.00699	-0.37245	0.00001	-0.00003	0.00000		
28	25	DEAD		0.00417	-0.00417	-0.45919	-0.00001	-0.00001	0.00000		
29	26	DEAD		-0.01584	0.01578	-0.32231	0.00000	0.00000	0.00000		
30	27	DEAD		0.00707	-0.00469	-0.37243	-0.00003	-0.00001	0.00000		
Function - Time History - User Grid Lines Groups 1 - Definitions Groups 3 - Masses and Weights Joint Coordinates EDIT											

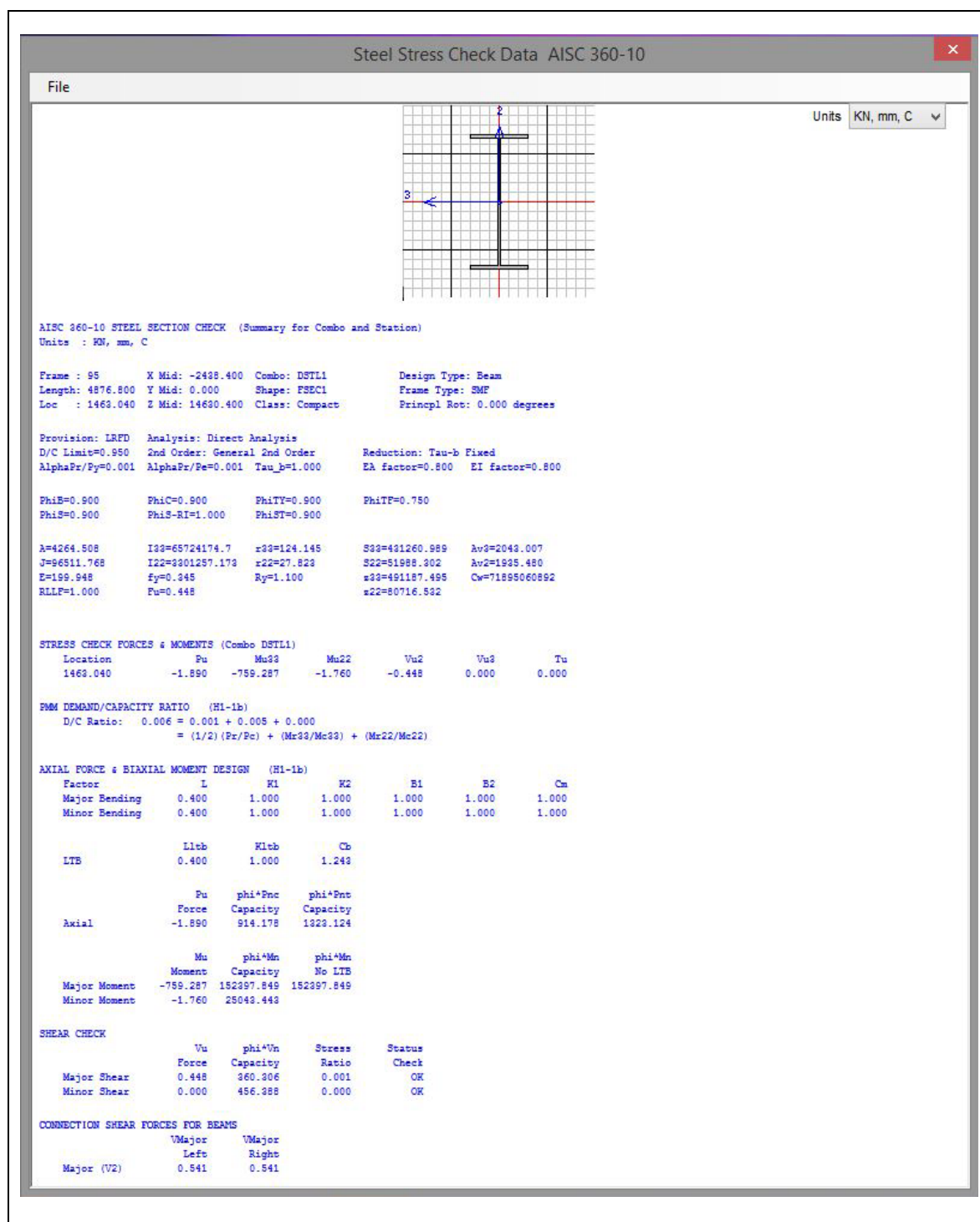
Слика 9.3.1.46. Приказ резултата у Microsoft Excel-у, угиб чворова (црвено уоквирено – могућност одабира резултата)

Поред табеларног приказа резултата, неопходно је приказати и сагледати дијаграме сила и напона. Могуће је на 3D моделу приказати дијаграме и извршити подешавање изгледа тих дијаграма (са вредностима, обојени или провидни дијаграми). Пример је приказан на слици 9.3.1.5.



Слика 9.3.1.5. Дијаграм аксијалне силе приказан на 3D моделу

На слици 9.3.1.6 приказан је изглед попречног пресека штапа са основним карактеристикама. У горњем десном углу прозора извештаја постоји могућност промене јединица мере.



Слика 9.3.1.6. Приказ анализе попречног пресека штапа

Софтвер SAP2000 се непрекидно развија. Од једноставне 2Д анализе данас софтвер подржава велику комплексну 3Д нелинеарну анализу. Развија се посебан модул за мостове са унапред припремљеним шаблонима конструкција и оптерећења. Такође, ради бољег и бржег упознавања корисника са новинама у програму, креирају се десетоминутни туторијали на званичном интернет сајту, који корисника упућују у све новине и предности новог модула.

9.3.2. Autodesk Rorbot Structural Analysis

Компанија Autodesk настала је 1982. године и данас поседује велики број специјализованих софтвера које користе архитекте, грађевински и машински инжењери, дизајнери и многи други. Тренутно компанија располаже са 185 софтвера, а само неки од најпознатијих су:

- 3ds Max
- AutoCAD
- Inventor
- Maya
- Simulation Mechanical
- Moldflow
- Robot Structural Analysis

На званичном сајту компаније извршена је подела софтвера према областима инжењерства. На слици 9.3.2.1 приказани су софтвери за грађевинске конструкције.[20]



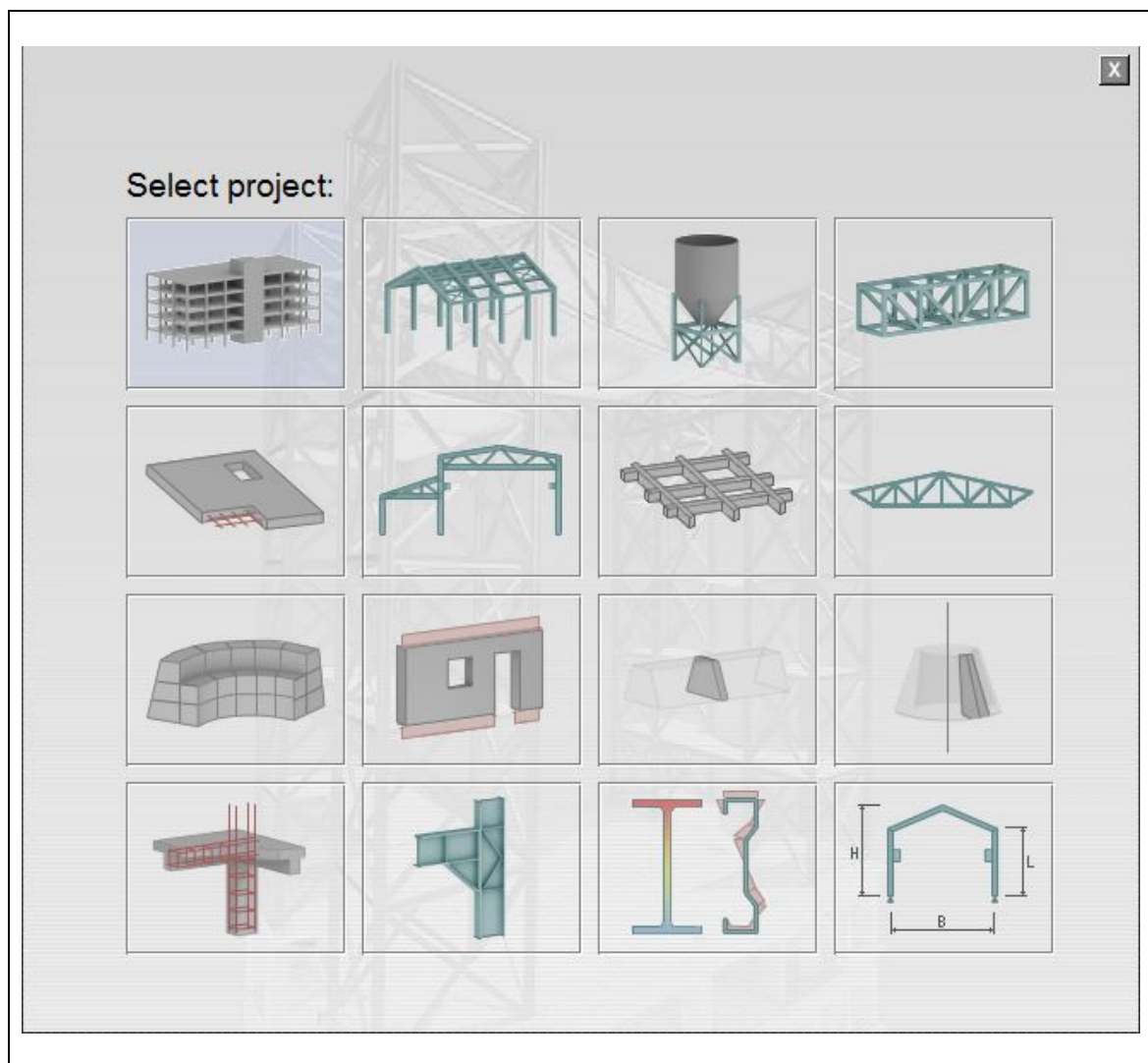
Слика 9.3.2.1. Група софтвера за грађевинске конструкције

Неки од софтвера као што је *Inventor* поседује широк спектар примене, па се може наћи у већем броју група.

За напредну структурну анализу креиран је софтвер *Robot Structural Analysis*. Осмишљен је тако да инжењерима пружа алате помоћу којих могу да разумеју понашање конструкције било ког типа и да изврше њено испитивање у складу са одређеним стандардима. У склопу софтвера уграђен је BIM – Bilding Information

Modeling, систем који омогућава размену информација између чланова тима, па и читавих тимова који учествују у пројектовању. Било каква измена на пројекту прослеђује се свим члановима и остаје документована. На тај начин убрзано је пројектовање и читав процес пројектовања подложен је мањем броју грешака.[19]

При самом покретању софтвера условљен је одабир конструкције. Прозор за одабир пројекта приказан је на слици 9.3.2.2.

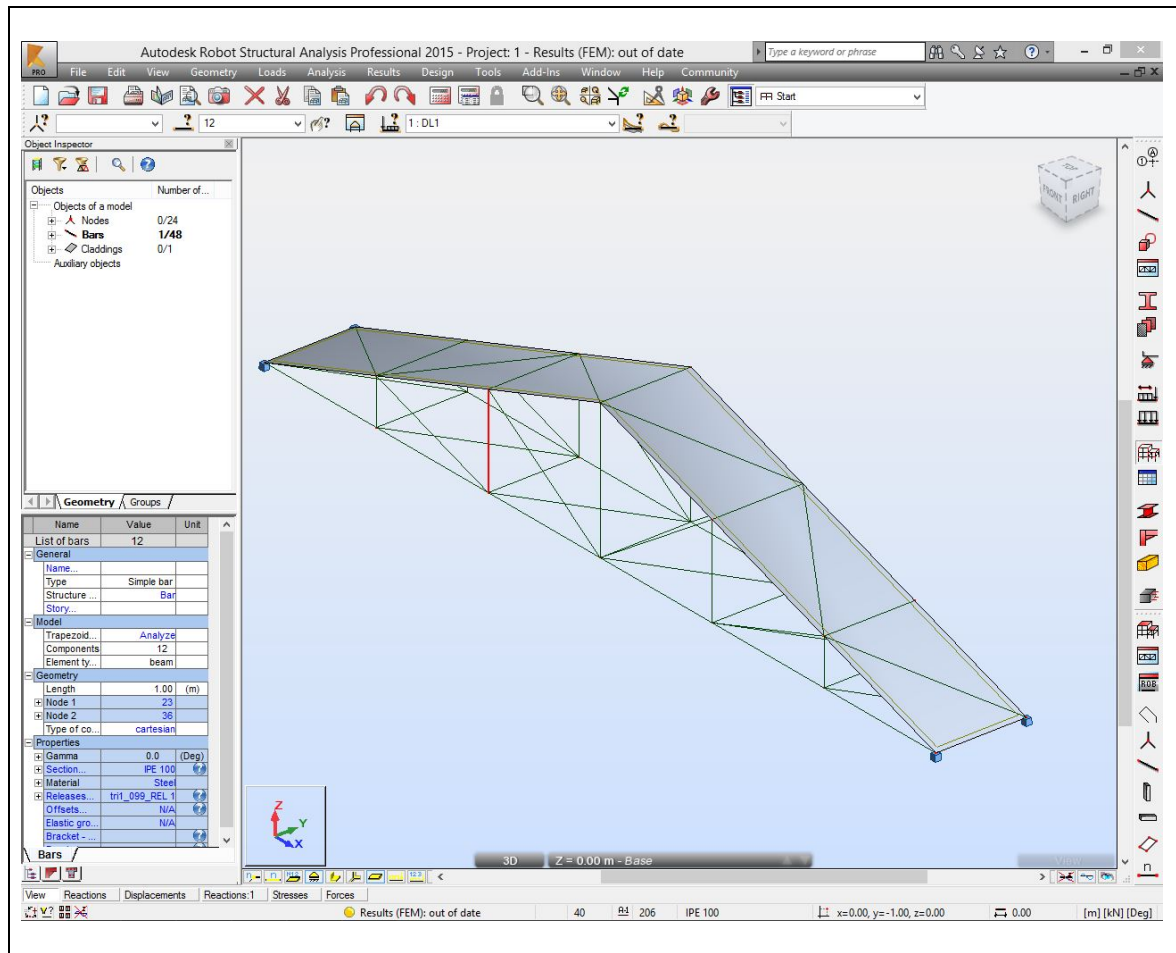


Слика 9.3.2.2. Прозор за одабир нове конструкције

У склопу прозора са слике 9.3.2.2 међу понуђеним пројектима може се одабрати: *Building Design*, *Frame 3D Design*, *Shell Design*, *Truss 3D Design*, *Plate Design*, *Frame 2D Design*, *Grillage Design*, *Truss 2D Design*, *Volumetric Structure Design*, *Plane Stress Structure Design*, *Plane Deformation Structure Design*, *Axsymmetric Structure Design*, *RC Elements Design*, *Connection Design*, *Section Definition*, *Parametrized Structure Design*.

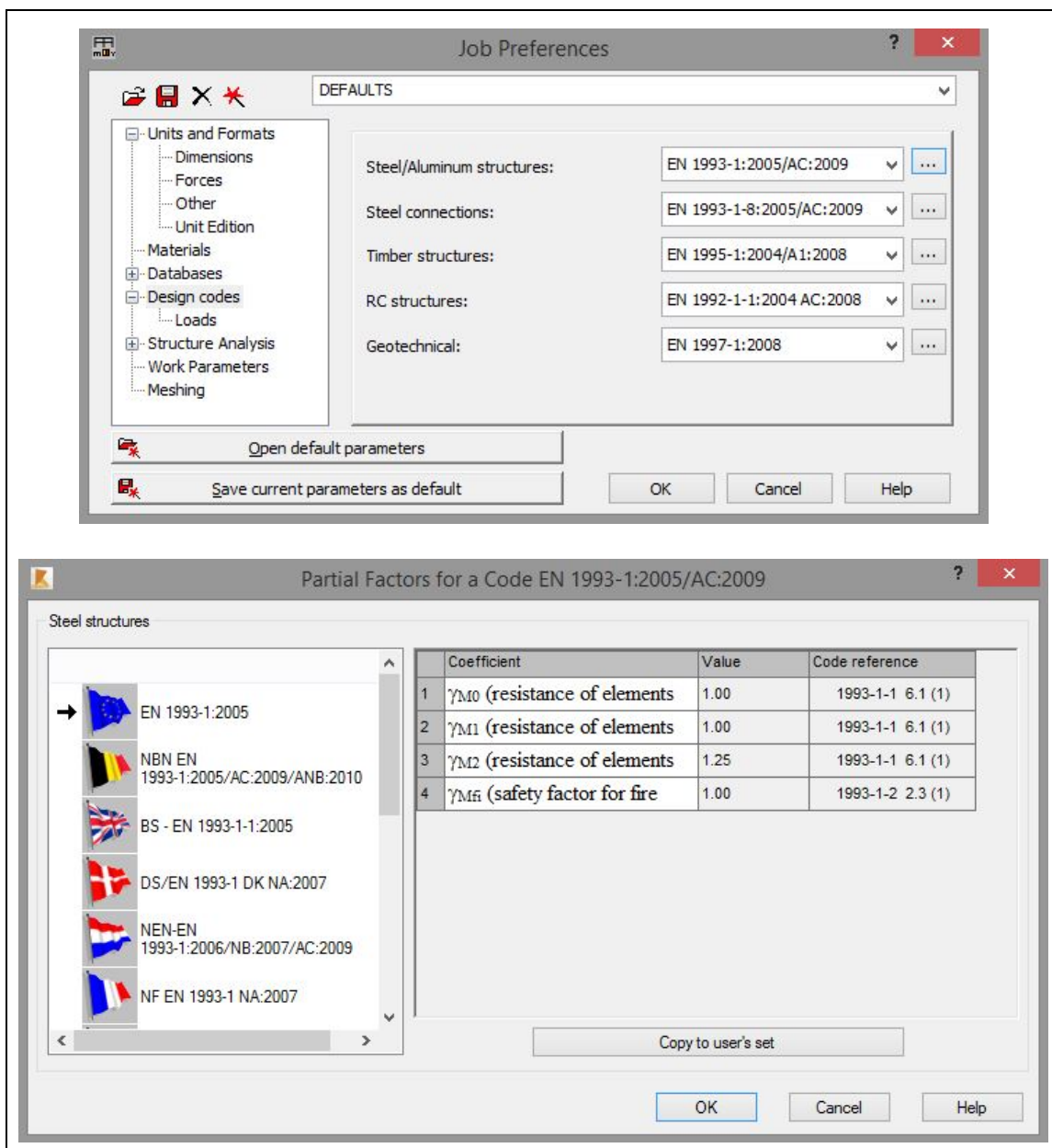
Одабиром новог пројекта *Truss 3D Design* отвара се прозор који је углавном исти за све друге пројекте. На десној страни прозора налази се стабло модела испод кога се налази мањи прозор који приказује неке од основних карактеристика било ког

селектованог објекта. Стабло модела подразумева чворове, штапове испуне и појасне штапове, који се могу груписати ради лакшег прегледа и селектовања, ради боље прегледности и лакше евентуалне измене попречног пресека, дужина и слично. Пример радног окружења приказан је на слици 9.3.2.3[28]



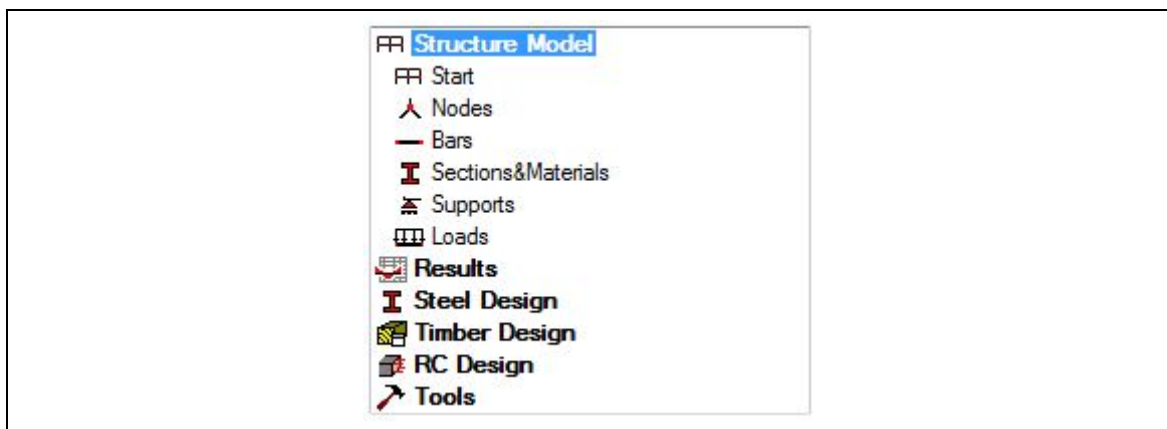
Слика 9.3.2.3. Радно окружење програма Autodesk Robot Structural Analysis

За боље пословање фирме *Autodesk* морало се приступити усклађивању прорачуна симулација са свим већим, у свету признатим, стандардима. На слици 9.3.2.4 приказана је опција *Job preferences...* за одабир стандарда по којима ће се вршити прорачун. На самом почетку треба извршити прави одабир стандарда, као и подешавања јединица које се користе у прорачуну које се, такође, може извршити у овом прозору.[28]



Слика 9.3.2.4. Одабир стандарда за прорачун конструкције

Једна од најважнијих особина овог програма је једноставан прозор у заглављу за одабир подмодула који је приказан на слици 9.3.2.5.[21]



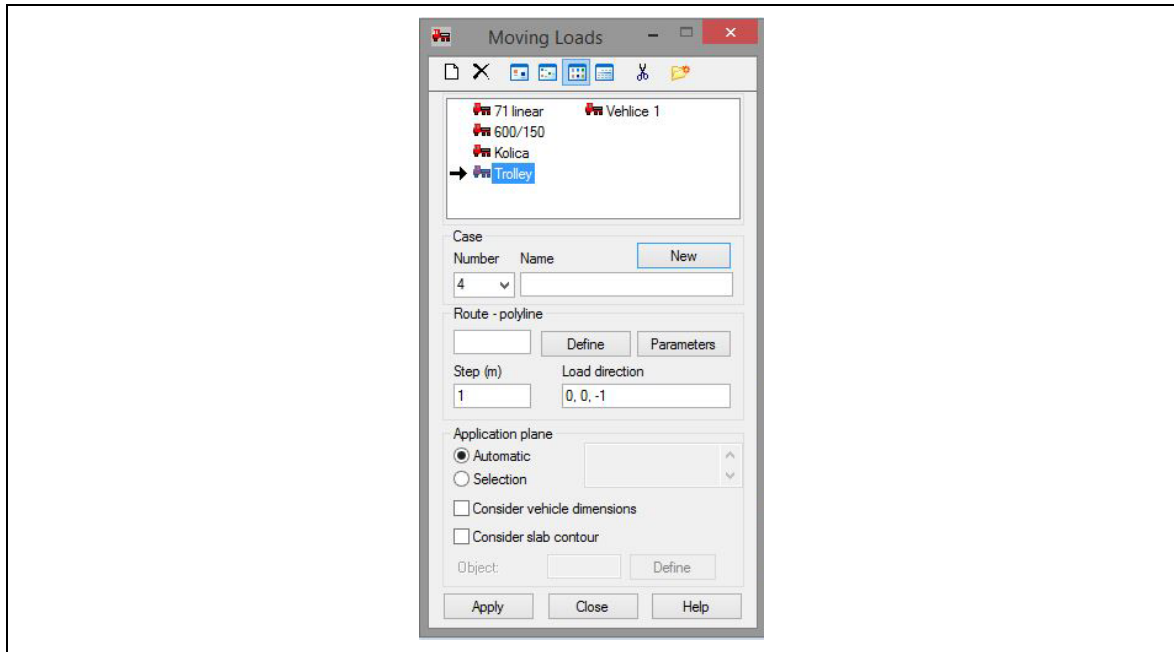
Слика 9.3.2.5. Подмодули

Подмодули се могу разликовати од случаја до случаја у зависности који је тип пројекта на почетку одабран. Подмодули су подељени тако да је олакшано „кретање“ кроз конструисање, затим преглед резултата, одабира попречног пресека штапова конструкције и за посебне елементе, дрвену и бетонску грађу. Последњи подмодул *Tools* служи за корисничко дефинисање попречног пресека, прављење забелешки и за израду техничке документације. Најважнији подмодули су *Structure Model* и *Results*.

Structure Model подмодул служи за корисничко креирање конструкције. У њему се задају попречни пресеци претходно моделираних штапова. Затим се врши увођење ограничења појединих чворова у циљу формирања ослонаца конструкције. Након тога следи задавање оптерећења. Пре било ког увођења оптерећења неопходно је програму задати сопствено оптерећење конструкције, јер у супротном остала оптерећења неће бити доступна.

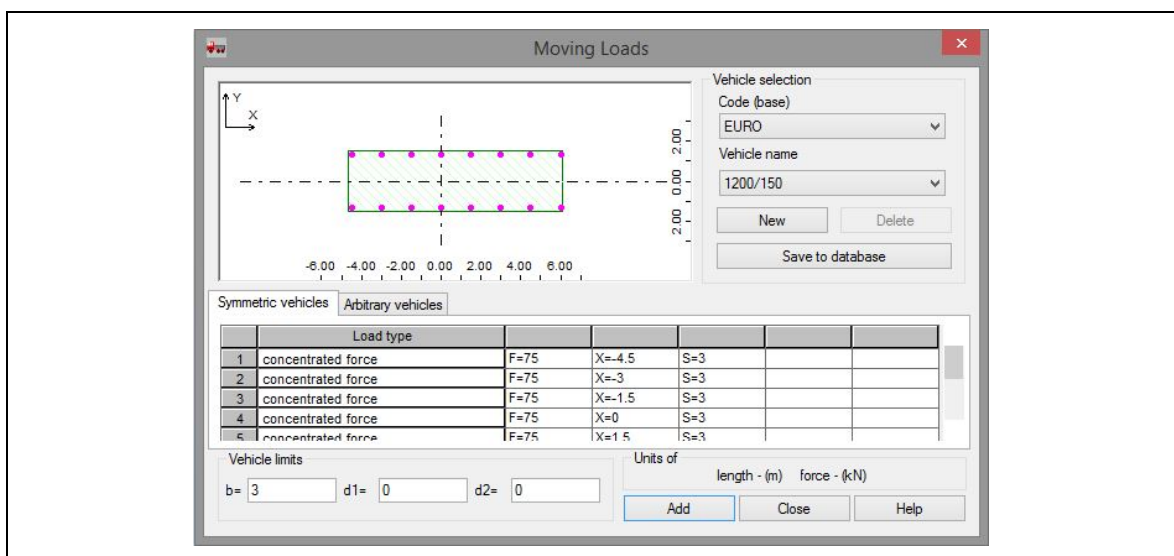
У погледу оптерећења, посебна пажња је посвећена *Special Loads (Moving...) loads..* за задавање покретног оптерећења и *Wind and Snow* за задавање ветра и снега као оптерећења. Изглед прозора за задавање покретног оптерећења приказан је на слици 9.3.2.6.

У прозору приказаном на слици 9.4.2.6 врши се одабир претходно креираних покретних оптерећења и задаје се путања његовог кретања најчешће одабиром неке од греде у конструкцији или преко иконице *Polyline* где се креира линија путање покретног оптерећења.



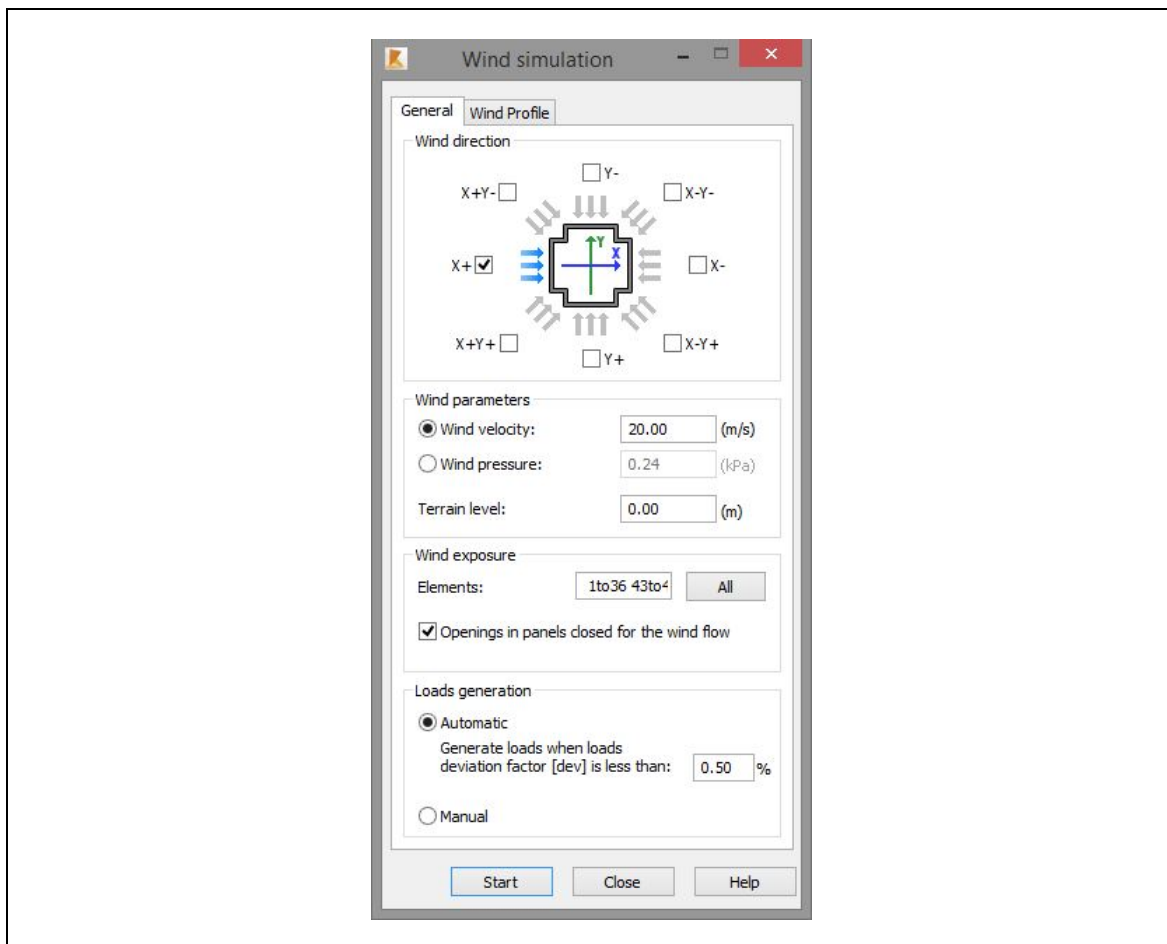
Слика 9.3.2.6. Одабир покретног оптерећења и задавање путање

Кликом на иконицу *New* отвара се нов прозор за креирање покретног оптерећења или се одабир може извршити из претходно креиране базе стандардних покретних оптерећења. Пример је приказан на слици 9.3.2.7.[28]



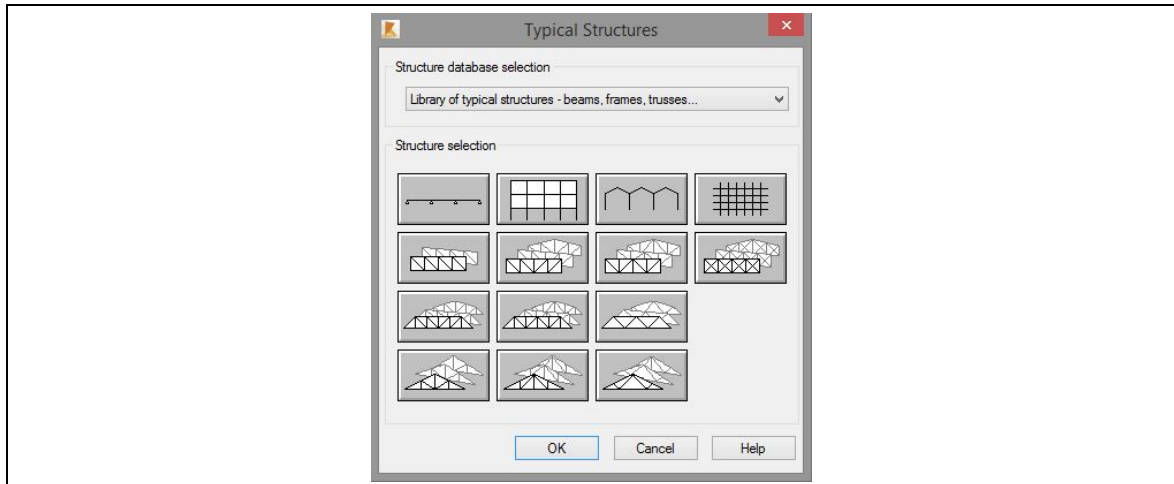
Слика 9.3.2.7. Креирање покретног оптерећења

Оптерећење ветром задаје се преко иконице *Wind loads simulation – Generate wind loads....* Кроз четири једноставна корака може се извршити симулација оптерећења ветра. Неопходно је задати правац дејства ветра, брзину ветра, висину терена на којој се налази конструкција и на које елементе конструкције делује ветар. Могу се једностано селектовати сви елементи или извршити селекција само поједних елемената. Евентуално, уколико конструкција поседује панеле који затварају конструкцију када су у питању решеткасте конструкције, треба означити да ли су предвиђени отвори на панелима на конструкцији отворени или затворени за време симулације. Пример задавања оптерећења у виду ветра приказан је на слици 9.3.2.8.



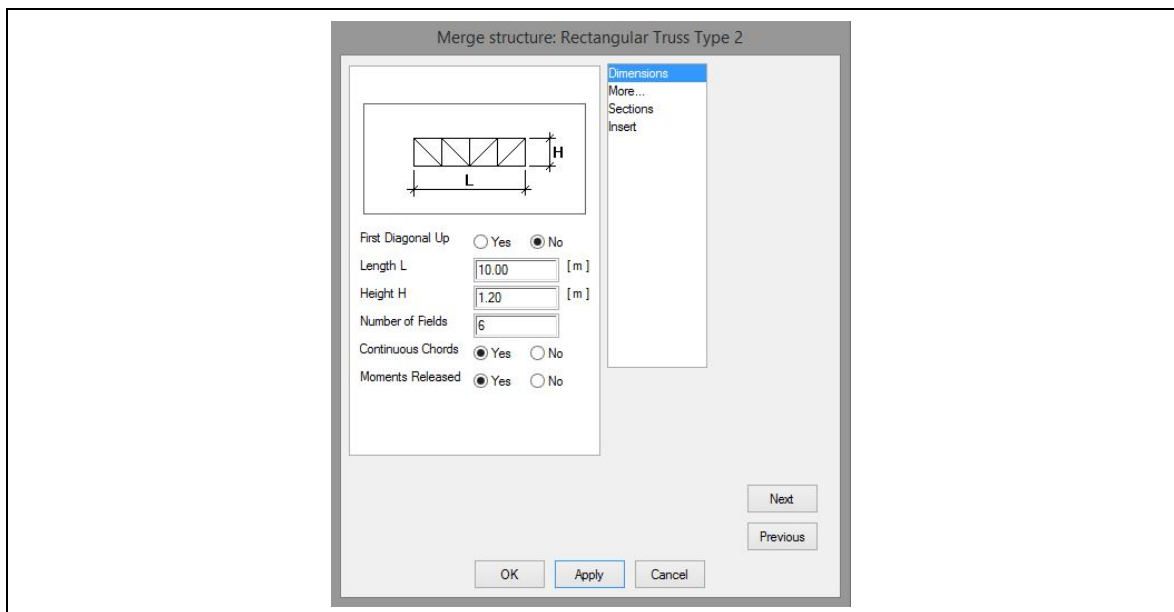
Слика 9.3.2.8. Задавање оптерећења ветром

Како би кориснику олакшао конструисање, *Robot* поседује стандардну базу параметризованих конструкција. У зависности од одабира типа пројекта при покретању програма нуде се различите базе конструкција. У случају одабира *Truss 3D Design* понуђене конструкције приказане су на слици 9.3.2.9.



Слика 9.3.2.9. Одабир стандардне решеткасте конструкције

Након одабира типа конструкције, с обзиром да је параметризована, може се променити неколико параметара као што су висина, дужина, број појаса и друго. Такође, може се директно задати попречни пресек штапова који се касније може мењати. При „убацивању“ конструкције у нов пројекат може се задати почетак конструкције преко координата координатног система и евентуални угао контрукције, као и скалирање читаве конструкције. Пример је приказан на слици 9.3.2.10.



Слика 9.3.2.10. Измена параметара стандардне конструкције

За приказ резултата користи се подмодул *Results* који у себи садржи опције *Result*, *Detailed Analysis*, *Stress Analysis – bars Stress* и *Analysis – structure*. Преласком на подмодул *Results* радно окружење поприма другачији изглед. Задржава се изглед модела, с тим да се на моделу приказују евентуални резултати. Поред модела налази се прозор за одабир резултата као што су: *NTM (силе и моменти)*, *Deformation*, *Stressess*, *Reaction* и др. У картици *Parameters* врши се подешавање изгледа резултата, односно дијаграма. Резултати се могу приказивати у оквиру новог прозора и вредности резултата могу се скалирати како би њихов изглед био погоднији за преглед.

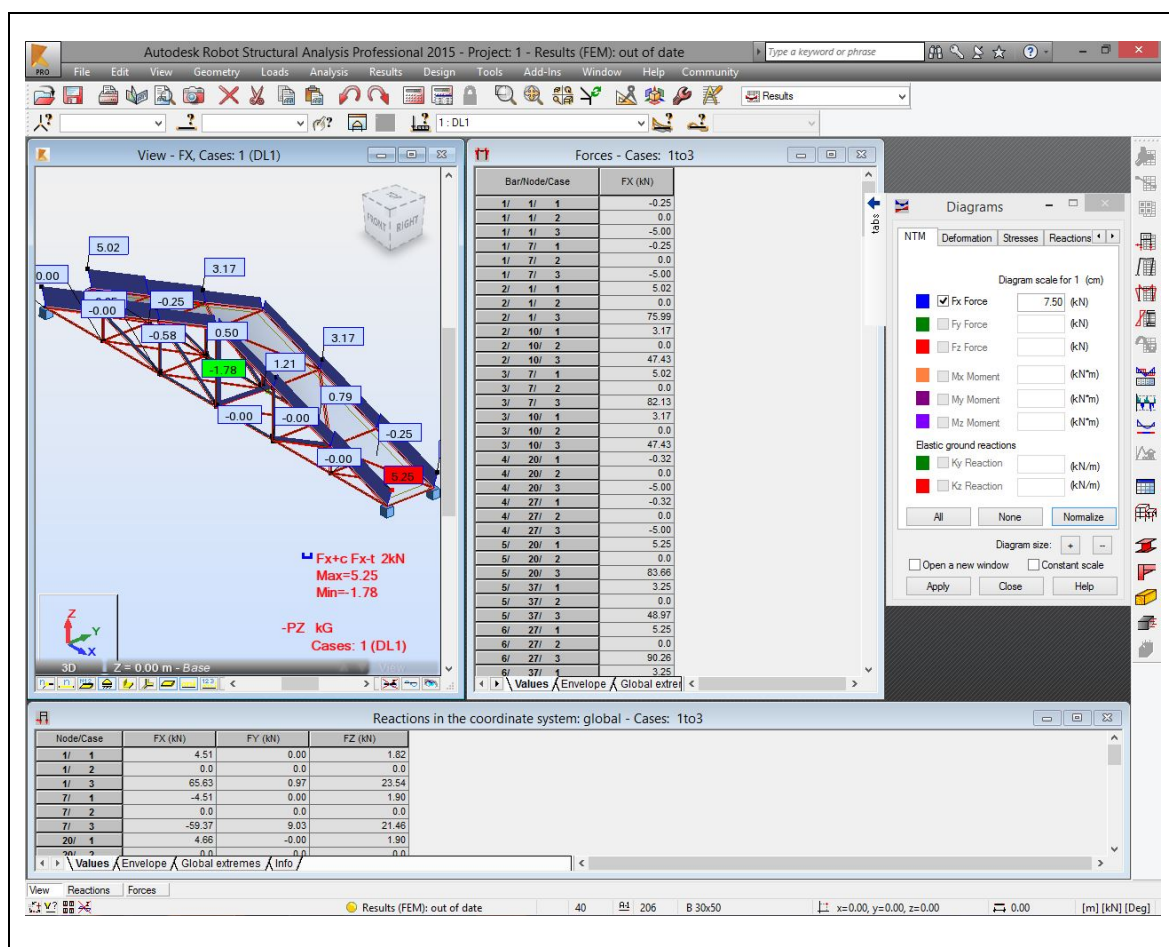
Посебно се отварају прозори за преглед утицајне линије штапова, детаљну анализу штапова и напона који детаљније приказују резултате испитивања. Резултати се преводе у табеле које може отворити програм *Microsoft Excel*.

Само приказивање резулта, ма колико оно било погодно за преглед, није довољно ако се не може документовати на папиру. За ту потребу креирана је иконица *Printout Composition* која служи за стандардизовање приказа резултата. Активирањем ове иконице отвара се прозор који је подељен на два дела. На левом делу прозора налази се стандардна база резулта и појединачним селектовањем и кликом на иконицу *Open* преводи се у десни део прозора у коме се двокликом отварају резултати у програму *Microsoft Word*. Резултати се могу отворати и у *Microsoft Excele*-у или било ком интернет претраживачу.

У току прегледа резултата на моделу се могу директно фотографисати резултати који се јављају као кориснички у претходно поменутом прозору.

Резултати се приказују у стандардној форми, са оквиром и заглављем у које се уноси аутор пројекта, адреса, назив пројекта и у том смислу олакшава се њихово документовање.

Пример изгледа резултат у оквиру 3D модела приказан је на слици 9.3.2.11.



Слика 9.3.2.11. Приказ резултата

На слици 9.4.2.11 приказана је кровна решеткаста конструкција где су, услед сопственог оптерећења, на самим штаповима исцртани дијаграми са вредностима. Црвено маркирано је максимална вредност силе, док је зелено маркирано означена минимална вредност силе. Такође, резултате прати и табеларни приказ. Доња табела приказује реакције ослонаца за сваки појединачни случај оптерећења, док горња табела приказује вредности силе у штапу, односно чвору и случај оптерећења који изазива ту силу.

На слици 9.3.2.12a и 9.3.2.12b приказан је изглед резулта преведен у Word документ.[6]

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015 Author: Denic Marko Address:		File: Roof Truss.rtd Project: Roof Truss	
Steel Member Verification			
STEEL DESIGN			
CODE: EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.			
ANALYSIS TYPE: Member Verification			
CODE GROUP:			
MEMBER: 1	POINT: 1	COORDINATE: x = 0.33	
L = 3.00 m			
LOADS:			
Governing Load Case: 3 WIND1			
MATERIAL:			
Steel (S235) fy = 235.00 MPa			
 SECTION PARAMETERS: IPE 100			
h=10.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.5 cm	Ay=7.26 cm ²	Az=5.08 cm ²	Ax=10.32 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=171.01 cm ⁴	Iz=15.92 cm ⁴	Ix=1.10 cm ⁴
tf=0.6 cm	Wply=39.41 cm ³	Wplz=9.15 cm ³	
INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:			
N _{Ed} = 10.00 kN			
N _{c,Rd} = 242.60 kN			
N _{b,Rd} = 3.90 kN			
Class of section = 1			
 LATERAL BUCKLING PARAMETERS:			
BUCKLING PARAMETERS:			
			
About y axis:		About z axis:	
Ly = 9.00 m	Lam_y = 2.35	Lz = 9.00 m	Lam_z = 7.72
Lcr,y = 9.00 m	Xy = 0.16	Lcr,z = 9.00 m	Xz = 0.02
Lamy = 221.12		Lamz = 724.76	
Date : 18/06/15		Page : 1	

Слика 9.3.2.12a. Изглед резултата приказаних у оквиру програма Microsoft Word.

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015
Author: **Denic Marko**
Address:

File: **Roof Truss.rtd**
Project: Roof Truss

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.04 < 1.00$ (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

$\Lambda_{bda,y} = 221.12 > \Lambda_{bda,max} = 210.00$

$\Lambda_{bda,z} = 724.76 > \Lambda_{bda,max} = 210.00$

INSTABLE

$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 2.56 > 1.00$ (6.3.1.1.(1))

Instability !!!

Слика 9.3.2.126. Изглед резултата приказаних у оквиру програма Microsoft Word.

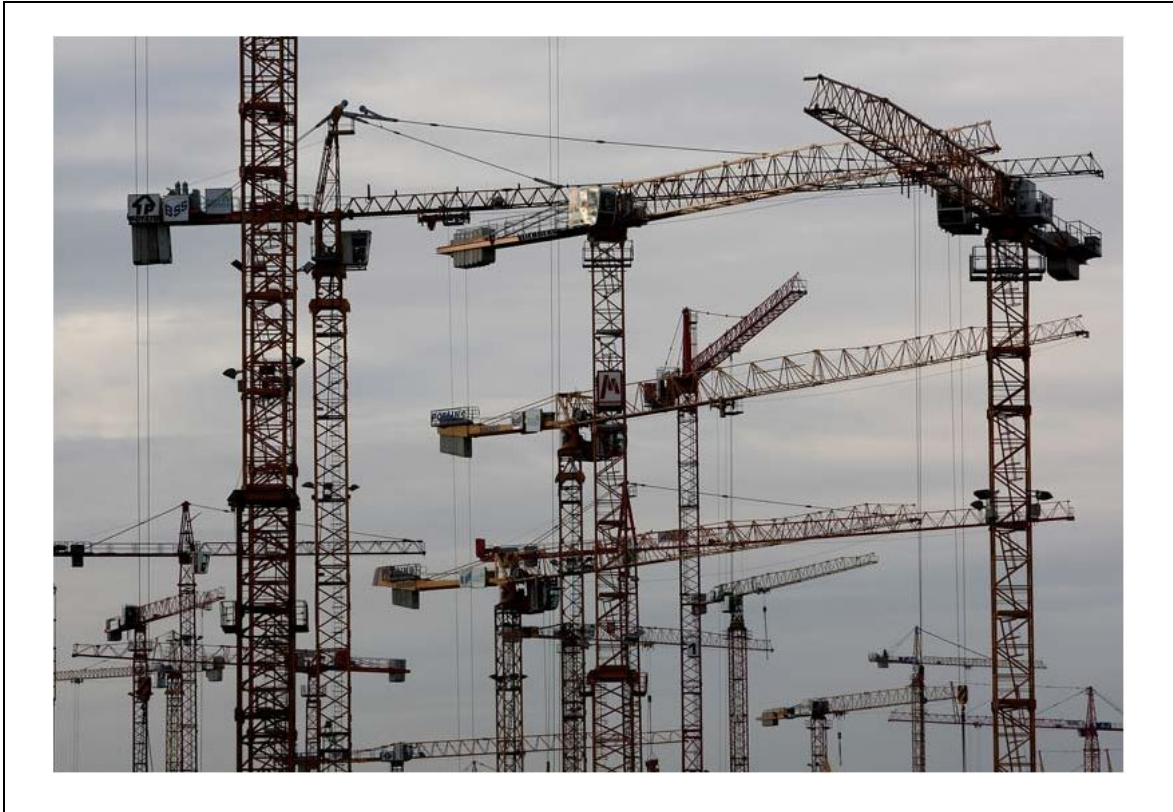
На слици 9.3.2.12а и 9.3.2.12б приказана је провера штапова према Еурокоду. На самом почетку дат је опис попречног пресека штапа, оптерећења и друго.

Са слике 9.3.2.12а може се видети да под утицајем трећег случаја оптерећења са ознаком *Wind1*, штап 1 не пролази проверу на извијање.

Након тог извештаја може се закључити да следи повећање попречног пресека и (или) конструисање додатних укрућења, или неко друго решење.

10. АНАЛИЗА КОНКРЕТНЕ ПРОСТОРНЕ РЕШЕТКАСТЕ КОНСТРУКЦИЈЕ У ПРОГРАМУ ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

Примена решеткастих конструкција у машинству, као и у грађевини, је велика. Међутим, употреба решеткастих носача за конструисање грађевинских дизалица (кранова) је свакако веома интересантна и врло често незаменљива (слика 10.1).



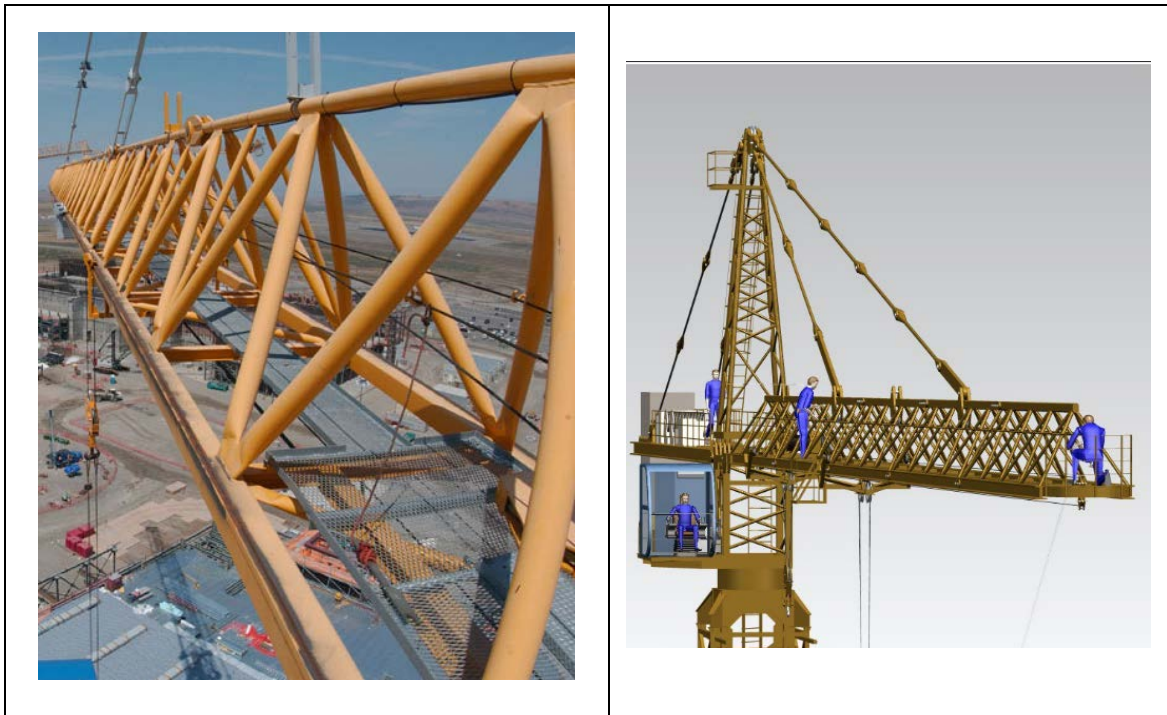
Слика 10.1. Изглед грађевинске дизалице

Разлог значаја грађевинске дизалице лежи у томе што, готово увек, учествује у изградњи других типова конструкција. Погодна је у односу на друге дизалице, јер има велики распон и висину дизања терета, а при том и значајну носивост. На просечном грађевинском земљишту довољно је поставити једну, највише две дизалице као би опслуживале читаво градилиште. Међутим, због продуктивности и недостатка времена у изградњи најчешће се поставља више грађевинских дизалица.

Распон ове дизалице може бити и до 100 метара. На примеру једне мање дизалице распона 58 метара може се табеларно очитати да уз основу дизалице (од 2,5 до 14 m) она има носивост 6 тона, док на самом крају дизалице (стреле) има носивост од 1 тоне.[14,15,22]

Изузев стуба, који и сам чини решеткасту конструкцију, најважнији део дизалице је стрела. Она носи колица која се крећу дуж ње и омогућавају постизање значајних распона у зависности од типа дизалица.

Изглед стреле приказан је на слици 10.2.



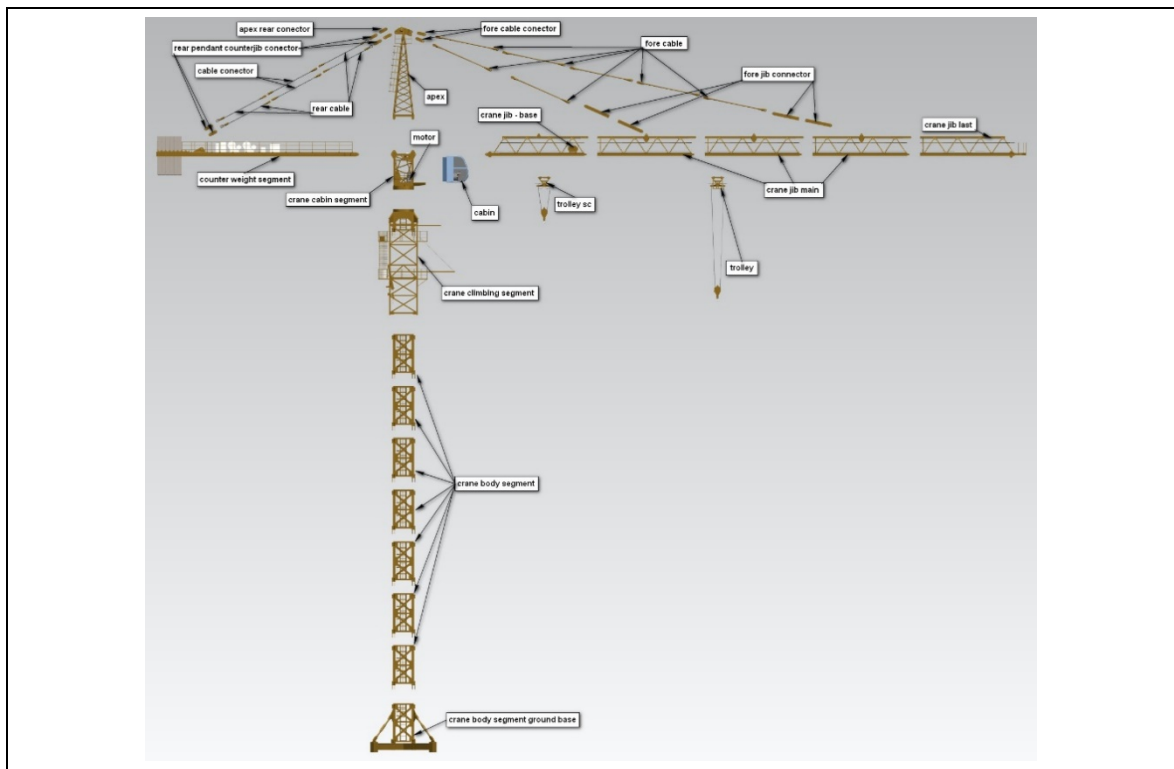
Слика 10.2. Изглед стреле грађевинске дизалице

Стрелу најчешће, као просторну решетку, чине три појасна штапа, а попречни пресек је троугаона структура. Појасни штапови су најчешће кутијасти профили или стандардни ваљани I профил, док штапови испуне чине цевасти пофили кружног попречног пресека. Погодни су и стандардни ваљани T профили због лаког центрисања штапа и везивања за чворни лим, јер се то постиже исецањем ребра и уметањем чворног лима.[8]

Посебна пажња посвећена је обликовању крајева штапова испуна и вези штапова испуна са појасним штаповима, што се може видети на слици 10.2. Крајеви штапова су спљоштени и самим тим је лакше остварити заварен спој, олакшана је монтажа, смањена је ширина профила појасног штапа и побољшано је центрисање штапа.

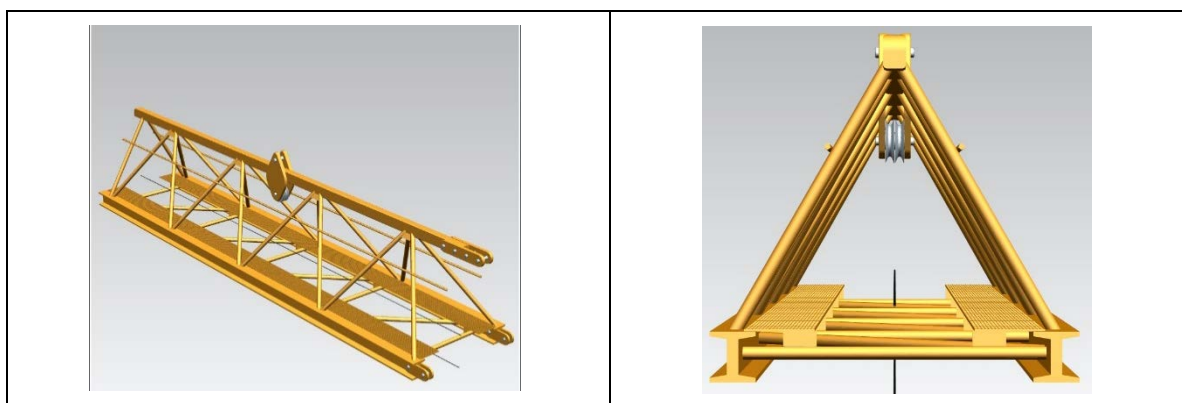
Иако је стрела прозрачна што је велика предност решеткастих конструкција, с обзиром да се налази на великој висини (у неким случајевима и преко 100 m), у зависности од терена на коме се налази при јаким ветровима, механизам за окретање стреле се одблокирава како би се стрела управила у правцу ветра да се не би вршило додатно отерећење на читаву конструкцију.

У зависности од дужине стреле, она може бити састављена из више делова као и читава конструкција. Пример је приказан на слици 10.3.



Слика 10.3. Преглед саставних делова грађевинске дизалице

Изглед првог дела стреле (до стуба) приказан је на слици 10.4.



Слика 10.4. Изглед првог дела стреле

На слици 10.4. може се видети да су доњи појасни штапови сачињени од стандардног ваљаног I профила. Горњи појасни штап је сачињен од кутијастог

профила правоугаоног попречног пресека. Штапови испуне су сачињени од цевастог профила кружног попречног пресека.

Такође, може се закључити да стрелу чине две равни решетке типа Warren које захватају угао од 50° . Угао у оквиру једне решетке између штапова испуна је 56.5° .

Доњи појасеви су попречно повезани штаповима. Између попречних штапова налазе се дијагонале.

10.1.Пример моделирања и анализе конструкције првог елемента стреле

Конструкцију најпре треба учитати из постојеће базе, одредити основне димензије, задати угао који заклапа са хоризонталном равни и након тога је пресликати. Затим је повезати попречним и дијагоналним штаповима. Након тога, пожељно је груписати штапове испуне и појасне штапове. Тиме је олакшано селектовање и провера попречних пресека штапова.

Након завршеног моделирања може се закључити да је конструкција сачињена од три појасна штапа означена бројем 40, 41 и 42 и двадесет пет штапова испуна означених бројевима 2... 9, 24... 31, 43... 51. Штапови су повезани са укупно 14 чворова. Резултат моделирања приказан је у прилогу 1, 2 и 3.

Прилог 1.

Data - Nodes					
Node	X (m)	Y (m)	Z (m)	Support code	Support
3	0.0	0.0	0.0	xxx	Pinned
4	1.00	0.96	1.15	xxx	Pinned
5	2.00	0.0	0.0		
6	3.00	0.96	1.15		
7	4.00	0.0	0.0		
8	5.00	0.96	1.15		
9	6.00	0.0	0.0		
10	7.00	0.96	1.15		
11	8.00	0.0	0.0		
27	0.0	1.93	0.0	xxx	Pinned
29	2.00	1.93	0.0		
31	4.00	1.93	0.0		
33	6.00	1.93	0.0		
35	8.00	1.93	0.0		

Прилог 2.

Data - Bars							
Bar	Node 1	Node 2	Section	Material	Length (m)	Gamma (Deg)	Type
2	3	4	TRON 60x5	S 235	1.80	-56.5	Simple bar
3	4	5	TRON 60x5	S 235	1.80	-56.5	Simple bar
4	5	6	TRON 60x5	S 235	1.80	-56.5	Simple bar
5	6	7	TRON 60x5	S 235	1.80	-56.5	Simple bar
6	7	8	TRON 60x5	S 235	1.80	-56.5	Simple bar
7	8	9	TRON 60x5	S 235	1.80	-56.5	Simple bar
8	9	10	TRON 60x5	S 235	1.80	-56.5	Simple bar
9	10	11	TRON 60x5	S 235	1.80	0.0	Simple bar
24	27	4	TRON 60x5	S 235	1.80	56.5	Simple bar
25	4	29	TRON 60x5	S 235	1.80	56.5	Simple bar
26	29	6	TRON 60x5	S 235	1.80	56.5	Simple bar
27	6	31	TRON 60x5	S 235	1.80	56.5	Simple bar
28	31	8	TRON 60x5	S 235	1.80	56.5	Simple bar
29	8	33	TRON 60x5	S 235	1.80	56.5	Simple bar
30	33	10	TRON 60x5	S 235	1.80	56.5	Simple bar
31	10	35	TRON 60x5	S 235	1.80	0.0	Simple bar
40	4	10	TREC 150x100x5	S 235	6.00	0.0	Beam
41	3	11	IPE 220	S 235	8.00	0.0	Beam
42	27	35	IPE 220	S 235	8.00	0.0	Beam
43	11	35	TRON 60x5	S 235	1.93	0.0	Simple bar
44	3	27	TRON 60x5	S 235	1.93	0.0	Simple bar
45	5	29	TRON 60x5	S 235	1.93	0.0	Simple bar
46	7	31	TRON 60x5	S 235	1.93	0.0	Simple bar
47	9	33	TRON 60x5	S 235	1.93	0.0	Simple bar
48	3	29	TRON 60x5	S 235	2.78	0.0	Simple bar
49	5	31	TRON 60x5	S 235	2.78	0.0	Simple bar
50	7	33	TRON 60x5	S 235	2.78	0.0	Simple bar
51	9	35	TRON 60x5	S 235	2.78	0.0	Simple bar

У табели **Data – Nodes** прилога 1 приказане су координате чворова. Са „Pinned“ означени су чворови који представљају ослонце конструкције. У сва три случаја конструкција је укљештена.

У табели **Data – Bars** прилога 2 може се прочитати број којим је означен штап, из којих чворова се сачињава, попречни пресек штапа, материјал штапа, дужина, угао који заклапа са хоризонталом и тип штапа. Са „Simple bar“ означени су штапови испуне, а са „Beam“ појасни штапови. Попречни пресек штапова чине стандардни профили израђени по EUROCODE стандарду из групе TRON (цеваст профил 60x5), IPE 220 (стандардни ваљани I профил) и TREC (правоугаони профил 150x100x5).

TRON чини штапове испуне, TREC је горњи појасни штап, а IPE доњи појасни штап.

Материјал је челик S235 по Еурокоду што је еквивалент Č0361 по SRPS стандарду.

Дужина доњих појасних штапова износи 8 m, горњег појасног штапа 6 m, штапова испуна у две пресликане равни 1,8 m док у хоризонталној равни попречни штапови имају дужину од 1,93 m, а дијагонале 2,78 m.

У прилогу 3 дата је табела под називом **Data – Section** у којој су приказане карактеристике попречних пресека штапова решеткасте конструкције (AX, AY, AZ – површине попречних пресека; IX, IY, IZ – аксијални моменти инерције).

Прилог 3

Data - Sections							
Section name	Bar list	AX (mm ²)	AY (mm ²)	AZ (mm ²)	IX (mm ⁴)	IY (mm ⁴)	IZ (mm ⁴)
TREC 150x100x5	40	2388.00	1061.33	1061.33	8056000.00	7465000.00	3957000.00
IPE 220	41 42	3337.05	2014.85	1307.64	88600.00	27718400.00	2048860.00
TRON 60x5	2to9 24to31 43to51	868.65	434.35	434.35	669531.00	334766.00	334766.00

У прилогу 4 дата је табела под називом **Data – Materials** која приказује карактеристике материјала штапова решеткасте конструкције (E - модул еластичности, G - модул клизања, NI - Поасонов коефицијент, LX - температурни коефицијент, RO - специфична густина, Re - напон на граници течења.).

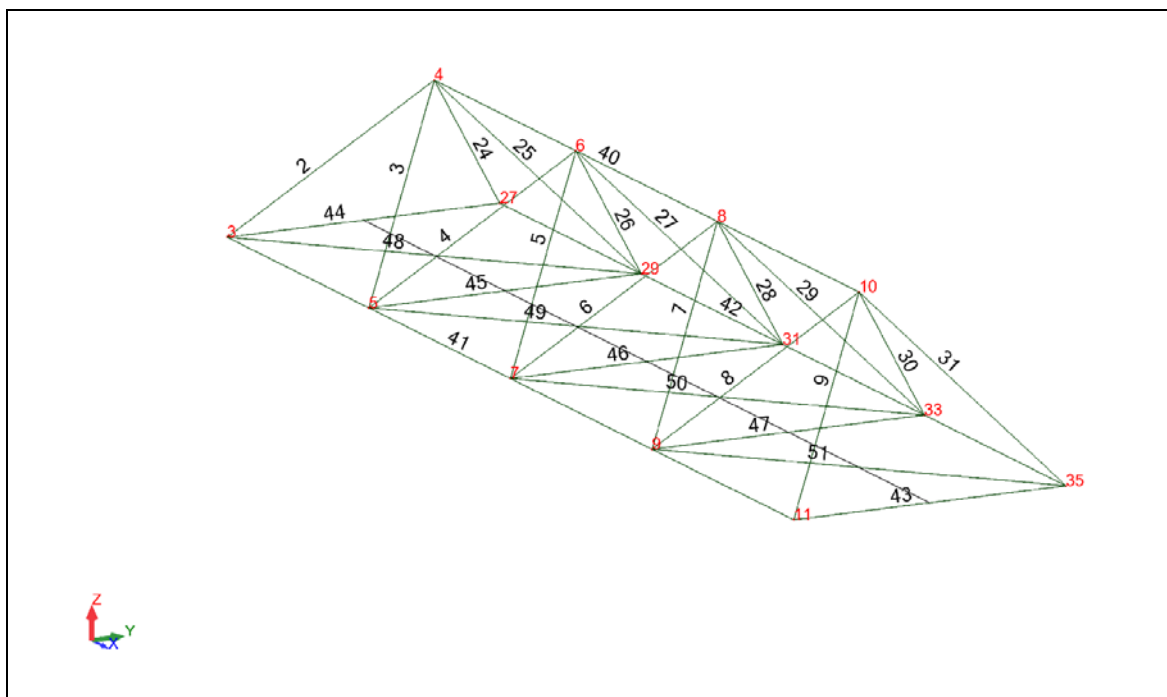
Прилог 4

Data - Materials

	Material	E (MPa)	G (MPa)	NI	LX (1/°C)	RO (kN/m3)	Re (MPa)
1	S 235	210000.00	81000.00	0.30	0.00	77.01	235.00

Изглед конструкције са означеним штаповима и чворовима приказан је у прилогу 4.

Прилог 4



У доњем левом углу приказане су главне осе координатног система. Црвено су означени бројеви чворова, док су црном бројеви штапова.

Након моделирања конструкције, приступа се задавању оптерећења, најпре оптерећење као последица сопствене тежине. У прилогу 5 дата је табела са оптерећењима.

Прилог 5

Loads - Cases

Case	Label	Case name	Nature	Analysis type
1	DL1	DL1	Structural	Static - Linear
2	MOV1	Moving load		Analysis of moving load cases
6	WIND1	Wind Simulation Y+ 40 m/s	wind	Static - Linear

Са DL1 означено оптерећење услед сопствене тежине конструкције. MOV1 представља покретно оптерећење у виду концентрисане силе у вредности од 30 kN. Покретно оптерећење делују дуж читаве решеткасте конструкције (8 m). WIND1 претставља оптерећење ветра који делује управно на решетку. Брзина ветра износи 40 m/s.

У прилогу 6 представљена је табела са реакцијом ослонаца.

Reactions in the coordinate system: global - Cases: 1, 2, 4 & 6 : Global extremes:

in the coordinate system: global - Cases: 1 4to6

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
MAX	90.49	0.08	30.34
Node	3	3	4
Case	Moving load/9	1	Moving load/9
MIN	-180.98	-0.08	-0.17
Node	4	4	27
Case	Moving load/9	1	Moving load/9

С обзиром да се поједини носачи (мостови) димензионишу према дозвољеном угибу, а не према допуштеном напону, у наредној табели прилога 7 представљене су вредности померања чворова услед различитих оптерећења. Као и у претходном случају биће представљене екстремне вредности које потичу од покретног оптерећења.

Програм даје резултате реакције ослонаца за сваки случај оптерећења појединачно. Одабиром табеле „*Global extremes*“ добијени су резултати приказани у прилогу 6.

Прилог 7.

Displacements: Cases: Movig load : Global extremes: 1

- Cases: 2 (Moving load)

	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
MAX	1.2	0.7	0.3
Node	10	11	35
Case	Moving load/9	Moving load/9	Moving load/1
MIN	-0.6	-0.0	-10.7
Node	11	29	11
Case	Moving load/9	Moving load/1	Moving load/9

Максимална вредност угиба износи 11,7 mm (чвор 11). Ако се узме у обзир да је искуствено усвојено да угиб греде од 1 m износи 1 mm, а дужина појасног штапа у примеру износи 8 m, може се закључити да је угиб читаве конструкције у допуштеним границама.

Како је претходно напоменуто, главни задатак решавања решетких конструкција чини одређивање сила у штаповима како би се одредили напони у конструкцији. Следећа табела у прилогу 8 даје приказ сила у штаповима у зависности од различитих оптерећења. Биће представљени резултати сила услед дејства сопствене тежине и покретног оптерећења. Оптерећење услед утицаја ветра може се занемарити, јер су резултати испитивања показали да нема утицаја и да су силе у свим штаповима једнаке нули услед тог оптерећења.

Прилог 9

Forces - Case: 1 (DL1): Values: 1

Bar/Node/Case	FX (kN)
2/ 3/1	0.0
2/ 4/1	0.0
3/ 4/1	-5.62
3/ 5/1	-5.62
4/ 5/1	4.37
4/ 6/1	4.37
5/ 6/1	-3.90
5/ 7/1	-3.90
6/ 7/1	2.65
6/ 8/1	2.65
7/ 8/1	-2.18
7/ 9/1	-2.18
8/ 9/1	0.93
8/ 10/1	0.93
9/ 10/1	-0.60
9/ 11/1	-0.60
24/ 27/1	0.0
24/ 4/1	0.0
25/ 4/1	-5.76
25/ 29/1	-5.76
26/ 29/1	4.52
26/ 6/1	4.52
27/ 6/1	-4.04
27/ 31/1	-4.04
28/ 31/1	2.80
28/ 8/1	2.80
29/ 8/1	-2.32
29/ 33/1	-2.32
30/ 33/1	1.08
30/ 10/1	1.08
31/ 10/1	-0.74
31/ 35/1	-0.74
40/ 4/1	-16.71
40/ 10/1	-1.86
41/ 3/1	11.47
41/ 11/1	0.33
42/ 27/1	11.47
42/ 35/1	0.33
43/ 11/1	0.32
43/ 35/1	0.32
44/ 3/1	0.0
44/ 27/1	0.0
45/ 5/1	0.59
45/ 29/1	0.59
46/ 7/1	0.59
46/ 31/1	0.59
47/ 9/1	0.59
47/ 33/1	0.59

48/	3/1	0.11
48/	29/1	0.11
49/	5/1	0.11
49/	31/1	0.11
50/	7/1	0.11
50/	33/1	0.11
51/	9/1	0.11
51/	35/1	0.11

Forces - Case: 2 (Moving load): Values: 2

Bar/Node/Case/Posit./Dist. (m)		FX (kN)
2/	3/ Moving load/1/9 0.0	0.0
2/	3/ Moving load/2/9 1.00	0.0
2/	3/ Moving load/3/9 2.00	0.0
2/	3/ Moving load/4/9 3.00	0.0
2/	3/ Moving load/5/9 4.00	0.0
2/	3/ Moving load/6/9 5.00	0.0
2/	3/ Moving load/7/9 6.00	0.0
2/	3/ Moving load/8/9 7.00	0.0
2/	3/ Moving load/9/9 8.00	0.0
2/	4/ Moving load/1/9 0.0	0.0
2/	4/ Moving load/2/9 1.00	0.0
2/	4/ Moving load/3/9 2.00	0.0
2/	4/ Moving load/4/9 3.00	0.0
2/	4/ Moving load/5/9 4.00	0.0
2/	4/ Moving load/6/9 5.00	0.0
2/	4/ Moving load/7/9 6.00	0.0
2/	4/ Moving load/8/9 7.00	0.0
2/	4/ Moving load/9/9 8.00	0.0
3/	4/ Moving load/1/9 0.0	-4.26
3/	4/ Moving load/2/9 1.00	-11.96
3/	4/ Moving load/3/9 2.00	-19.77
3/	4/ Moving load/4/9 3.00	-22.94
3/	4/ Moving load/5/9 4.00	-23.36
3/	4/ Moving load/6/9 5.00	-23.47
3/	4/ Moving load/7/9 6.00	-23.50
3/	4/ Moving load/8/9 7.00	-23.55
3/	4/ Moving load/9/9 8.00	-23.80
3/	5/ Moving load/1/9 0.0	-4.26
3/	5/ Moving load/2/9 1.00	-11.96
3/	5/ Moving load/3/9 2.00	-19.77
3/	5/ Moving load/4/9 3.00	-22.94
3/	5/ Moving load/5/9 4.00	-23.36
3/	5/ Moving load/6/9 5.00	-23.47
3/	5/ Moving load/7/9 6.00	-23.50
3/	5/ Moving load/8/9 7.00	-23.55
3/	5/ Moving load/9/9 8.00	-23.80
4/	5/ Moving load/1/9 0.0	-2.48
4/	5/ Moving load/2/9 1.00	0.05
4/	5/ Moving load/3/9 2.00	3.67
4/	5/ Moving load/4/9 3.00	11.71
4/	5/ Moving load/5/9 4.00	19.66
4/	5/ Moving load/6/9 5.00	22.90
4/	5/ Moving load/7/9 6.00	23.37
4/	5/ Moving load/8/9 7.00	23.60
4/	5/ Moving load/9/9 8.00	24.39
4/	6/ Moving load/1/9 0.0	-2.48
4/	6/ Moving load/2/9 1.00	0.05
4/	6/ Moving load/3/9 2.00	3.67
4/	6/ Moving load/4/9 3.00	11.71
4/	6/ Moving load/5/9 4.00	19.66
4/	6/ Moving load/6/9 5.00	22.90
4/	6/ Moving load/7/9 6.00	23.37
4/	6/ Moving load/8/9 7.00	23.60
4/	6/ Moving load/9/9 8.00	24.39

5/	6/ Moving load/1/9 0.0	2.48
5/	6/ Moving load/2/9 1.00	-0.05
5/	6/ Moving load/3/9 2.00	-3.67
5/	6/ Moving load/4/9 3.00	-11.71
5/	6/ Moving load/5/9 4.00	-19.66
5/	6/ Moving load/6/9 5.00	-22.90
5/	6/ Moving load/7/9 6.00	-23.37
5/	6/ Moving load/8/9 7.00	-23.60
5/	6/ Moving load/9/9 8.00	-24.39
5/	7/ Moving load/1/9 0.0	2.48
5/	7/ Moving load/2/9 1.00	-0.05
5/	7/ Moving load/3/9 2.00	-3.67
5/	7/ Moving load/4/9 3.00	-11.71
5/	7/ Moving load/5/9 4.00	-19.66
5/	7/ Moving load/6/9 5.00	-22.90
5/	7/ Moving load/7/9 6.00	-23.37
5/	7/ Moving load/8/9 7.00	-23.60
5/	7/ Moving load/9/9 8.00	-24.39
6/	7/ Moving load/1/9 0.0	-0.86
6/	7/ Moving load/2/9 1.00	-0.06
6/	7/ Moving load/3/9 2.00	0.17
6/	7/ Moving load/4/9 3.00	0.64
6/	7/ Moving load/5/9 4.00	3.87
6/	7/ Moving load/6/9 5.00	11.82
6/	7/ Moving load/7/9 6.00	19.86
6/	7/ Moving load/8/9 7.00	23.48
6/	7/ Moving load/9/9 8.00	26.01
6/	8/ Moving load/1/9 0.0	-0.86
6/	8/ Moving load/2/9 1.00	-0.06
6/	8/ Moving load/3/9 2.00	0.17
6/	8/ Moving load/4/9 3.00	0.64
6/	8/ Moving load/5/9 4.00	3.87
6/	8/ Moving load/6/9 5.00	11.82
6/	8/ Moving load/7/9 6.00	19.86
6/	8/ Moving load/8/9 7.00	23.48
6/	8/ Moving load/9/9 8.00	26.01
7/	8/ Moving load/1/9 0.0	0.86
7/	8/ Moving load/2/9 1.00	0.06
7/	8/ Moving load/3/9 2.00	-0.17
7/	8/ Moving load/4/9 3.00	-0.64
7/	8/ Moving load/5/9 4.00	-3.87
7/	8/ Moving load/6/9 5.00	-11.82
7/	8/ Moving load/7/9 6.00	-19.86
7/	8/ Moving load/8/9 7.00	-23.48
7/	8/ Moving load/9/9 8.00	-26.01
7/	9/ Moving load/1/9 0.0	0.86
7/	9/ Moving load/2/9 1.00	0.06
7/	9/ Moving load/3/9 2.00	-0.17
7/	9/ Moving load/4/9 3.00	-0.64
7/	9/ Moving load/5/9 4.00	-3.87
7/	9/ Moving load/6/9 5.00	-11.82
7/	9/ Moving load/7/9 6.00	-19.86
7/	9/ Moving load/8/9 7.00	-23.48
7/	9/ Moving load/9/9 8.00	-26.01
8/	9/ Moving load/1/9 0.0	-0.26
8/	9/ Moving load/2/9 1.00	-0.02
8/	9/ Moving load/3/9 2.00	0.03
8/	9/ Moving load/4/9 3.00	0.06
8/	9/ Moving load/5/9 4.00	0.17
8/	9/ Moving load/6/9 5.00	0.60
8/	9/ Moving load/7/9 6.00	3.76
8/	9/ Moving load/8/9 7.00	11.57
8/	9/ Moving load/9/9 8.00	19.27
8/	10/ Moving load/1/9 0.0	-0.26
8/	10/ Moving load/2/9 1.00	-0.02
8/	10/ Moving load/3/9 2.00	0.03
8/	10/ Moving load/4/9 3.00	0.06
8/	10/ Moving load/5/9 4.00	0.17
8/	10/ Moving load/6/9 5.00	0.60
8/	10/ Moving load/7/9 6.00	3.76

8/	10/ Moving load/8/9 7.00	11.57
8/	10/ Moving load/9/9 8.00	19.27
9/	10/ Moving load/1/9 0.0	0.26
9/	10/ Moving load/2/9 1.00	0.02
9/	10/ Moving load/3/9 2.00	-0.03
9/	10/ Moving load/4/9 3.00	-0.06
9/	10/ Moving load/5/9 4.00	-0.17
9/	10/ Moving load/6/9 5.00	-0.60
9/	10/ Moving load/7/9 6.00	-3.76
9/	10/ Moving load/8/9 7.00	-11.57
9/	10/ Moving load/9/9 8.00	-19.27
9/	11/ Moving load/1/9 0.0	0.26
9/	11/ Moving load/2/9 1.00	0.02
9/	11/ Moving load/3/9 2.00	-0.03
9/	11/ Moving load/4/9 3.00	-0.06
9/	11/ Moving load/5/9 4.00	-0.17
9/	11/ Moving load/6/9 5.00	-0.60
9/	11/ Moving load/7/9 6.00	-3.76
9/	11/ Moving load/8/9 7.00	-11.57
9/	11/ Moving load/9/9 8.00	-19.27
24/	27/ Moving load/1/9 0.0	0.0
24/	27/ Moving load/2/9 1.00	0.0
24/	27/ Moving load/3/9 2.00	0.0
24/	27/ Moving load/4/9 3.00	0.0
24/	27/ Moving load/5/9 4.00	0.0
24/	27/ Moving load/6/9 5.00	0.0
24/	27/ Moving load/7/9 6.00	0.0
24/	27/ Moving load/8/9 7.00	0.0
24/	27/ Moving load/9/9 8.00	0.0
24/	4/ Moving load/1/9 0.0	0.0
24/	4/ Moving load/2/9 1.00	0.0
24/	4/ Moving load/3/9 2.00	0.0
24/	4/ Moving load/4/9 3.00	0.0
24/	4/ Moving load/5/9 4.00	0.0
24/	4/ Moving load/6/9 5.00	0.0
24/	4/ Moving load/7/9 6.00	0.0
24/	4/ Moving load/8/9 7.00	0.0
24/	4/ Moving load/9/9 8.00	0.0
25/	4/ Moving load/1/9 0.0	-4.26
25/	4/ Moving load/2/9 1.00	-11.96
25/	4/ Moving load/3/9 2.00	-19.77
25/	4/ Moving load/4/9 3.00	-22.94
25/	4/ Moving load/5/9 4.00	-23.36
25/	4/ Moving load/6/9 5.00	-23.47
25/	4/ Moving load/7/9 6.00	-23.50
25/	4/ Moving load/8/9 7.00	-23.55
25/	4/ Moving load/9/9 8.00	-23.80
25/	29/ Moving load/1/9 0.0	-4.26
25/	29/ Moving load/2/9 1.00	-11.96
25/	29/ Moving load/3/9 2.00	-19.77
25/	29/ Moving load/4/9 3.00	-22.94
25/	29/ Moving load/5/9 4.00	-23.36
25/	29/ Moving load/6/9 5.00	-23.47
25/	29/ Moving load/7/9 6.00	-23.50
25/	29/ Moving load/8/9 7.00	-23.55
25/	29/ Moving load/9/9 8.00	-23.80
26/	29/ Moving load/1/9 0.0	-2.48
26/	29/ Moving load/2/9 1.00	0.05
26/	29/ Moving load/3/9 2.00	3.67
26/	29/ Moving load/4/9 3.00	11.71
26/	29/ Moving load/5/9 4.00	19.66
26/	29/ Moving load/6/9 5.00	22.90
26/	29/ Moving load/7/9 6.00	23.37
26/	29/ Moving load/8/9 7.00	23.60
26/	29/ Moving load/9/9 8.00	24.39
26/	6/ Moving load/1/9 0.0	-2.48
26/	6/ Moving load/2/9 1.00	0.05
26/	6/ Moving load/3/9 2.00	3.67
26/	6/ Moving load/4/9 3.00	11.71
26/	6/ Moving load/5/9 4.00	19.66

26/	6/ Moving load/6/9	5.00	22.90
26/	6/ Moving load/7/9	6.00	23.37
26/	6/ Moving load/8/9	7.00	23.60
26/	6/ Moving load/9/9	8.00	24.39
27/	6/ Moving load/1/9	0.0	2.48
27/	6/ Moving load/2/9	1.00	-0.05
27/	6/ Moving load/3/9	2.00	-3.67
27/	6/ Moving load/4/9	3.00	-11.71
27/	6/ Moving load/5/9	4.00	-19.66
27/	6/ Moving load/6/9	5.00	-22.90
27/	6/ Moving load/7/9	6.00	-23.37
27/	6/ Moving load/8/9	7.00	-23.60
27/	6/ Moving load/9/9	8.00	-24.39
27/	31/ Moving load/1/9	0.0	2.48
27/	31/ Moving load/2/9	1.00	-0.05
27/	31/ Moving load/3/9	2.00	-3.67
27/	31/ Moving load/4/9	3.00	-11.71
27/	31/ Moving load/5/9	4.00	-19.66
27/	31/ Moving load/6/9	5.00	-22.90
27/	31/ Moving load/7/9	6.00	-23.37
27/	31/ Moving load/8/9	7.00	-23.60
27/	31/ Moving load/9/9	8.00	-24.39
28/	31/ Moving load/1/9	0.0	-0.86
28/	31/ Moving load/2/9	1.00	-0.06
28/	31/ Moving load/3/9	2.00	0.17
28/	31/ Moving load/4/9	3.00	0.64
28/	31/ Moving load/5/9	4.00	3.87
28/	31/ Moving load/6/9	5.00	11.82
28/	31/ Moving load/7/9	6.00	19.86
28/	31/ Moving load/8/9	7.00	23.48
28/	31/ Moving load/9/9	8.00	26.01
28/	8/ Moving load/1/9	0.0	-0.86
28/	8/ Moving load/2/9	1.00	-0.06
28/	8/ Moving load/3/9	2.00	0.17
28/	8/ Moving load/4/9	3.00	0.64
28/	8/ Moving load/5/9	4.00	3.87
28/	8/ Moving load/6/9	5.00	11.82
28/	8/ Moving load/7/9	6.00	19.86
28/	8/ Moving load/8/9	7.00	23.48
28/	8/ Moving load/9/9	8.00	26.01
29/	8/ Moving load/1/9	0.0	0.86
29/	8/ Moving load/2/9	1.00	0.06
29/	8/ Moving load/3/9	2.00	-0.17
29/	8/ Moving load/4/9	3.00	-0.64
29/	8/ Moving load/5/9	4.00	-3.87
29/	8/ Moving load/6/9	5.00	-11.82
29/	8/ Moving load/7/9	6.00	-19.86
29/	8/ Moving load/8/9	7.00	-23.48
29/	8/ Moving load/9/9	8.00	-26.01
29/	33/ Moving load/1/9	0.0	0.86
29/	33/ Moving load/2/9	1.00	0.06
29/	33/ Moving load/3/9	2.00	-0.17
29/	33/ Moving load/4/9	3.00	-0.64
29/	33/ Moving load/5/9	4.00	-3.87
29/	33/ Moving load/6/9	5.00	-11.82
29/	33/ Moving load/7/9	6.00	-19.86
29/	33/ Moving load/8/9	7.00	-23.48
29/	33/ Moving load/9/9	8.00	-26.01
30/	33/ Moving load/1/9	0.0	-0.26
30/	33/ Moving load/2/9	1.00	-0.02
30/	33/ Moving load/3/9	2.00	0.03
30/	33/ Moving load/4/9	3.00	0.06
30/	33/ Moving load/5/9	4.00	0.17
30/	33/ Moving load/6/9	5.00	0.60
30/	33/ Moving load/7/9	6.00	3.76
30/	33/ Moving load/8/9	7.00	11.57
30/	33/ Moving load/9/9	8.00	19.27
30/	10/ Moving load/1/9	0.0	-0.26
30/	10/ Moving load/2/9	1.00	-0.02
30/	10/ Moving load/3/9	2.00	0.03

30/	10/ Moving load/4/9 3.00	0.06
30/	10/ Moving load/5/9 4.00	0.17
30/	10/ Moving load/6/9 5.00	0.60
30/	10/ Moving load/7/9 6.00	3.76
30/	10/ Moving load/8/9 7.00	11.57
30/	10/ Moving load/9/9 8.00	19.27
31/	10/ Moving load/1/9 0.0	0.26
31/	10/ Moving load/2/9 1.00	0.02
31/	10/ Moving load/3/9 2.00	-0.03
31/	10/ Moving load/4/9 3.00	-0.06
31/	10/ Moving load/5/9 4.00	-0.17
31/	10/ Moving load/6/9 5.00	-0.60
31/	10/ Moving load/7/9 6.00	-3.76
31/	10/ Moving load/8/9 7.00	-11.57
31/	10/ Moving load/9/9 8.00	-19.27
31/	35/ Moving load/1/9 0.0	0.26
31/	35/ Moving load/2/9 1.00	0.02
31/	35/ Moving load/3/9 2.00	-0.03
31/	35/ Moving load/4/9 3.00	-0.06
31/	35/ Moving load/5/9 4.00	-0.17
31/	35/ Moving load/6/9 5.00	-0.60
31/	35/ Moving load/7/9 6.00	-3.76
31/	35/ Moving load/8/9 7.00	-11.57
31/	35/ Moving load/9/9 8.00	-19.27
40/	4/ Moving load/1/9 0.0	7.98
40/	4/ Moving load/2/9 1.00	0.05
40/	4/ Moving load/3/9 2.00	-8.59
40/	4/ Moving load/4/9 3.00	-27.54
40/	4/ Moving load/5/9 4.00	-52.59
40/	4/ Moving load/6/9 5.00	-78.36
40/	4/ Moving load/7/9 6.00	-104.26
40/	4/ Moving load/8/9 7.00	-130.13
40/	4/ Moving load/9/9 8.00	-154.58
40/	10/ Moving load/1/9 0.0	0.59
40/	10/ Moving load/2/9 1.00	0.03
40/	10/ Moving load/3/9 2.00	-0.07
40/	10/ Moving load/4/9 3.00	-0.14
40/	10/ Moving load/5/9 4.00	-0.38
40/	10/ Moving load/6/9 5.00	-1.32
40/	10/ Moving load/7/9 6.00	-8.34
40/	10/ Moving load/8/9 7.00	-25.67
40/	10/ Moving load/9/9 8.00	-42.76
41/	3/ Moving load/1/9 0.0	-1.62
41/	3/ Moving load/2/9 1.00	6.61
41/	3/ Moving load/3/9 2.00	15.26
41/	3/ Moving load/4/9 3.00	26.49
41/	3/ Moving load/5/9 4.00	39.26
41/	3/ Moving load/6/9 5.00	52.20
41/	3/ Moving load/7/9 6.00	65.17
41/	3/ Moving load/8/9 7.00	78.13
41/	3/ Moving load/9/9 8.00	90.49
41/	11/ Moving load/1/9 0.0	-0.15
41/	11/ Moving load/2/9 1.00	-0.01
41/	11/ Moving load/3/9 2.00	0.02
41/	11/ Moving load/4/9 3.00	0.03
41/	11/ Moving load/5/9 4.00	0.09
41/	11/ Moving load/6/9 5.00	0.33
41/	11/ Moving load/7/9 6.00	2.09
41/	11/ Moving load/8/9 7.00	6.42
41/	11/ Moving load/9/9 8.00	10.69
42/	27/ Moving load/1/9 0.0	-1.62
42/	27/ Moving load/2/9 1.00	6.61
42/	27/ Moving load/3/9 2.00	15.26
42/	27/ Moving load/4/9 3.00	26.49
42/	27/ Moving load/5/9 4.00	39.26
42/	27/ Moving load/6/9 5.00	52.20
42/	27/ Moving load/7/9 6.00	65.17
42/	27/ Moving load/8/9 7.00	78.13
42/	27/ Moving load/9/9 8.00	90.49

42/	35/ Moving load/1/9 0.0	-0.15
42/	35/ Moving load/2/9 1.00	-0.01
42/	35/ Moving load/3/9 2.00	0.02
42/	35/ Moving load/4/9 3.00	0.03
42/	35/ Moving load/5/9 4.00	0.09
42/	35/ Moving load/6/9 5.00	0.33
42/	35/ Moving load/7/9 6.00	2.09
42/	35/ Moving load/8/9 7.00	6.42
42/	35/ Moving load/9/9 8.00	10.69
43/	11/ Moving load/1/9 0.0	-0.14
43/	11/ Moving load/2/9 1.00	-0.01
43/	11/ Moving load/3/9 2.00	0.02
43/	11/ Moving load/4/9 3.00	0.03
43/	11/ Moving load/5/9 4.00	0.09
43/	11/ Moving load/6/9 5.00	0.32
43/	11/ Moving load/7/9 6.00	2.01
43/	11/ Moving load/8/9 7.00	6.19
43/	11/ Moving load/9/9 8.00	10.31
43/	35/ Moving load/1/9 0.0	-0.14
43/	35/ Moving load/2/9 1.00	-0.01
43/	35/ Moving load/3/9 2.00	0.02
43/	35/ Moving load/4/9 3.00	0.03
43/	35/ Moving load/5/9 4.00	0.09
43/	35/ Moving load/6/9 5.00	0.32
43/	35/ Moving load/7/9 6.00	2.01
43/	35/ Moving load/8/9 7.00	6.19
43/	35/ Moving load/9/9 8.00	10.31
44/	3/ Moving load/1/9 0.0	0.0
44/	3/ Moving load/2/9 1.00	0.0
44/	3/ Moving load/3/9 2.00	0.0
44/	3/ Moving load/4/9 3.00	0.0
44/	3/ Moving load/5/9 4.00	0.0
44/	3/ Moving load/6/9 5.00	0.0
44/	3/ Moving load/7/9 6.00	0.0
44/	3/ Moving load/8/9 7.00	0.0
44/	3/ Moving load/9/9 8.00	0.0
44/	27/ Moving load/1/9 0.0	0.0
44/	27/ Moving load/2/9 1.00	0.0
44/	27/ Moving load/3/9 2.00	0.0
44/	27/ Moving load/4/9 3.00	0.0
44/	27/ Moving load/5/9 4.00	0.0
44/	27/ Moving load/6/9 5.00	0.0
44/	27/ Moving load/7/9 6.00	0.0
44/	27/ Moving load/8/9 7.00	0.0
44/	27/ Moving load/9/9 8.00	0.0
45/	5/ Moving load/1/9 0.0	3.60
45/	5/ Moving load/2/9 1.00	6.37
45/	5/ Moving load/3/9 2.00	8.61
45/	5/ Moving load/4/9 3.00	6.00
45/	5/ Moving load/5/9 4.00	1.98
45/	5/ Moving load/6/9 5.00	0.31
45/	5/ Moving load/7/9 6.00	0.07
45/	5/ Moving load/8/9 7.00	-0.03
45/	5/ Moving load/9/9 8.00	-0.32
45/	29/ Moving load/1/9 0.0	3.60
45/	29/ Moving load/2/9 1.00	6.37
45/	29/ Moving load/3/9 2.00	8.61
45/	29/ Moving load/4/9 3.00	6.00
45/	29/ Moving load/5/9 4.00	1.98
45/	29/ Moving load/6/9 5.00	0.31
45/	29/ Moving load/7/9 6.00	0.07
45/	29/ Moving load/8/9 7.00	-0.03
45/	29/ Moving load/9/9 8.00	-0.32
46/	7/ Moving load/1/9 0.0	-0.87
46/	7/ Moving load/2/9 1.00	0.06
46/	7/ Moving load/3/9 2.00	1.87
46/	7/ Moving load/4/9 3.00	5.93
46/	7/ Moving load/5/9 4.00	8.44
46/	7/ Moving load/6/9 5.00	5.93

46/	7/ Moving load/7/9 6.00	1.87
46/	7/ Moving load/8/9 7.00	0.06
46/	7/ Moving load/9/9 8.00	-0.87
46/	31/ Moving load/1/9 0.0	-0.87
46/	31/ Moving load/2/9 1.00	0.06
46/	31/ Moving load/3/9 2.00	1.87
46/	31/ Moving load/4/9 3.00	5.93
46/	31/ Moving load/5/9 4.00	8.44
46/	31/ Moving load/6/9 5.00	5.93
46/	31/ Moving load/7/9 6.00	1.87
46/	31/ Moving load/8/9 7.00	0.06
46/	31/ Moving load/9/9 8.00	-0.87
47/	9/ Moving load/1/9 0.0	-0.32
47/	9/ Moving load/2/9 1.00	-0.03
47/	9/ Moving load/3/9 2.00	0.07
47/	9/ Moving load/4/9 3.00	0.31
47/	9/ Moving load/5/9 4.00	1.98
47/	9/ Moving load/6/9 5.00	6.00
47/	9/ Moving load/7/9 6.00	8.61
47/	9/ Moving load/8/9 7.00	6.37
47/	9/ Moving load/9/9 8.00	3.60
47/	33/ Moving load/1/9 0.0	-0.32
47/	33/ Moving load/2/9 1.00	-0.03
47/	33/ Moving load/3/9 2.00	0.07
47/	33/ Moving load/4/9 3.00	0.31
47/	33/ Moving load/5/9 4.00	1.98
47/	33/ Moving load/6/9 5.00	6.00
47/	33/ Moving load/7/9 6.00	8.61
47/	33/ Moving load/8/9 7.00	6.37
47/	33/ Moving load/9/9 8.00	3.60
48/	3/ Moving load/1/9 0.0	0.00
48/	3/ Moving load/2/9 1.00	0.00
48/	3/ Moving load/3/9 2.00	0.00
48/	3/ Moving load/4/9 3.00	0.00
48/	3/ Moving load/5/9 4.00	0.00
48/	3/ Moving load/6/9 5.00	0.00
48/	3/ Moving load/7/9 6.00	0.00
48/	3/ Moving load/8/9 7.00	0.00
48/	3/ Moving load/9/9 8.00	0.00
48/	29/ Moving load/1/9 0.0	0.00
48/	29/ Moving load/2/9 1.00	0.00
48/	29/ Moving load/3/9 2.00	0.00
48/	29/ Moving load/4/9 3.00	0.00
48/	29/ Moving load/5/9 4.00	0.00
48/	29/ Moving load/6/9 5.00	0.00
48/	29/ Moving load/7/9 6.00	0.00
48/	29/ Moving load/8/9 7.00	0.00
48/	29/ Moving load/9/9 8.00	0.00
49/	5/ Moving load/1/9 0.0	0.00
49/	5/ Moving load/2/9 1.00	0.00
49/	5/ Moving load/3/9 2.00	0.00
49/	5/ Moving load/4/9 3.00	0.00
49/	5/ Moving load/5/9 4.00	0.00
49/	5/ Moving load/6/9 5.00	0.00
49/	5/ Moving load/7/9 6.00	0.00
49/	5/ Moving load/8/9 7.00	0.00
49/	5/ Moving load/9/9 8.00	0.00
49/	31/ Moving load/1/9 0.0	0.00
49/	31/ Moving load/2/9 1.00	0.00
49/	31/ Moving load/3/9 2.00	0.00
49/	31/ Moving load/4/9 3.00	0.00
49/	31/ Moving load/5/9 4.00	0.00
49/	31/ Moving load/6/9 5.00	0.00
49/	31/ Moving load/7/9 6.00	0.00
49/	31/ Moving load/8/9 7.00	0.00
49/	31/ Moving load/9/9 8.00	0.00
50/	7/ Moving load/1/9 0.0	-0.00
50/	7/ Moving load/2/9 1.00	0.00

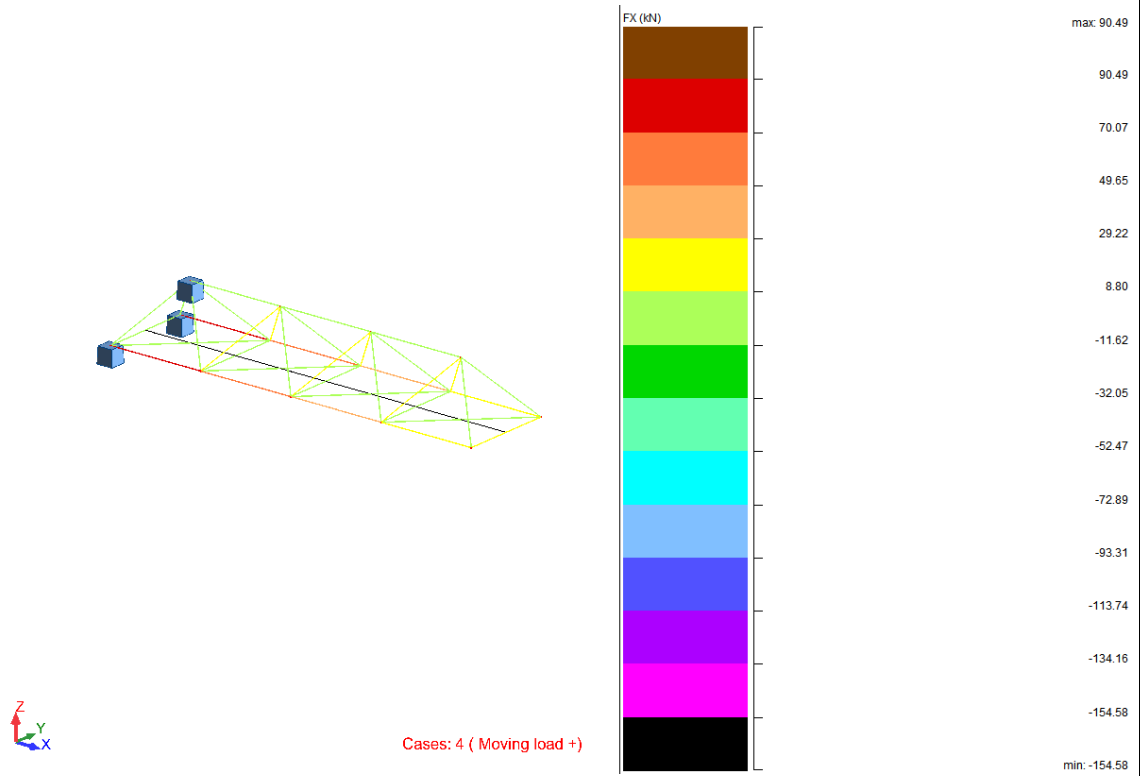
50/	7/ Moving load/3/9	2.00	0.00
50/	7/ Moving load/4/9	3.00	0.00
50/	7/ Moving load/5/9	4.00	0.00
50/	7/ Moving load/6/9	5.00	0.00
50/	7/ Moving load/7/9	6.00	0.00
50/	7/ Moving load/8/9	7.00	0.00
50/	7/ Moving load/9/9	8.00	0.00
50/	33/ Moving load/1/9	0.0	-0.00
50/	33/ Moving load/2/9	1.00	0.00
50/	33/ Moving load/3/9	2.00	0.00
50/	33/ Moving load/4/9	3.00	0.00
50/	33/ Moving load/5/9	4.00	0.00
50/	33/ Moving load/6/9	5.00	0.00
50/	33/ Moving load/7/9	6.00	0.00
50/	33/ Moving load/8/9	7.00	0.00
50/	33/ Moving load/9/9	8.00	0.00
51/	9/ Moving load/1/9	0.0	-0.00
51/	9/ Moving load/2/9	1.00	0.00
51/	9/ Moving load/3/9	2.00	0.00
51/	9/ Moving load/4/9	3.00	0.00
51/	9/ Moving load/5/9	4.00	0.00
51/	9/ Moving load/6/9	5.00	0.00
51/	9/ Moving load/7/9	6.00	0.00
51/	9/ Moving load/8/9	7.00	0.00
51/	9/ Moving load/9/9	8.00	0.00
51/	35/ Moving load/1/9	0.0	-0.00
51/	35/ Moving load/2/9	1.00	0.00
51/	35/ Moving load/3/9	2.00	0.00
51/	35/ Moving load/4/9	3.00	0.00
51/	35/ Moving load/5/9	4.00	0.00
51/	35/ Moving load/6/9	5.00	0.00
51/	35/ Moving load/7/9	6.00	0.00
51/	35/ Moving load/8/9	7.00	0.00
51/	35/ Moving load/9/9	8.00	0.00

Forces - Cases: Moving load : Global extremes: 1

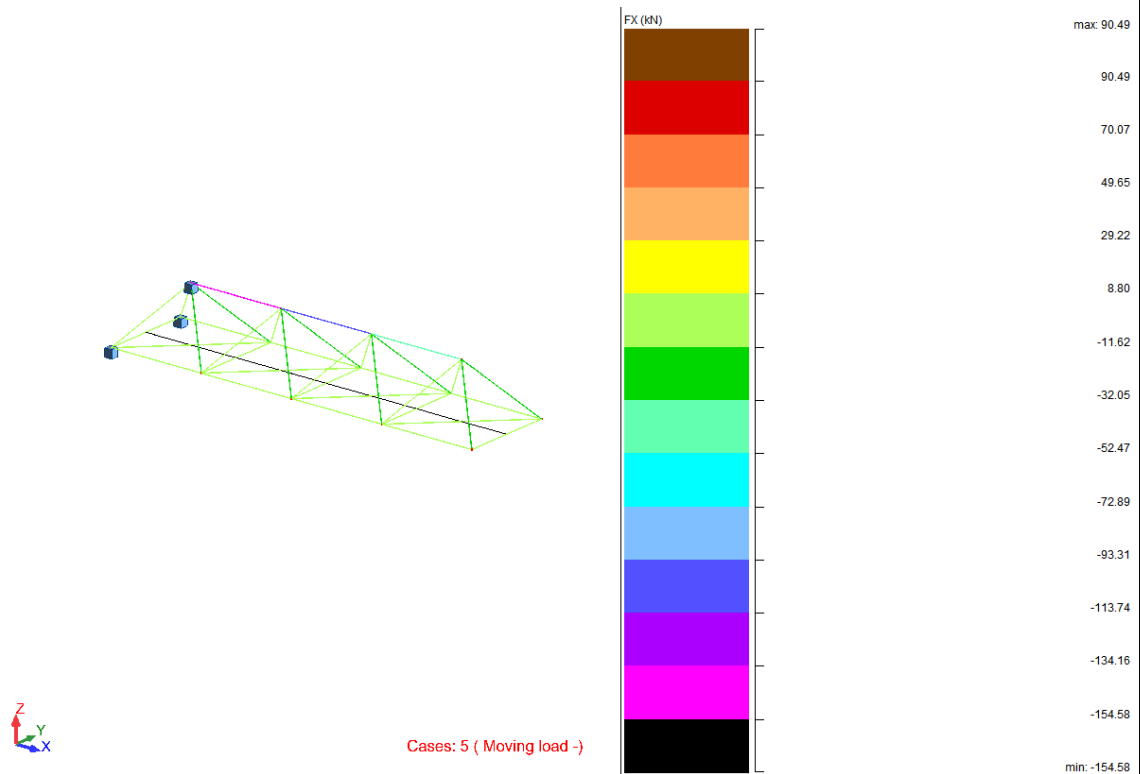
- Cases: 4 5

	FX (kN)
MAX	90.49
Bar	41
Node	3
Case	Moving load/9
MIN	-154.58
Bar	40
Node	4
Case	Moving load/9

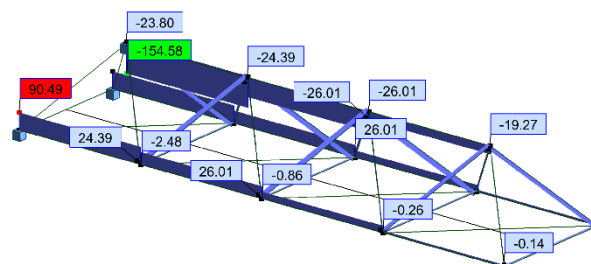
Maps for Bars - FX (kN) Cases: 4 (Moving load +)



Maps for Bars - FX (kN) Cases: 5 (Moving load -)



View - FX, Cases: 5 (Moving load -)



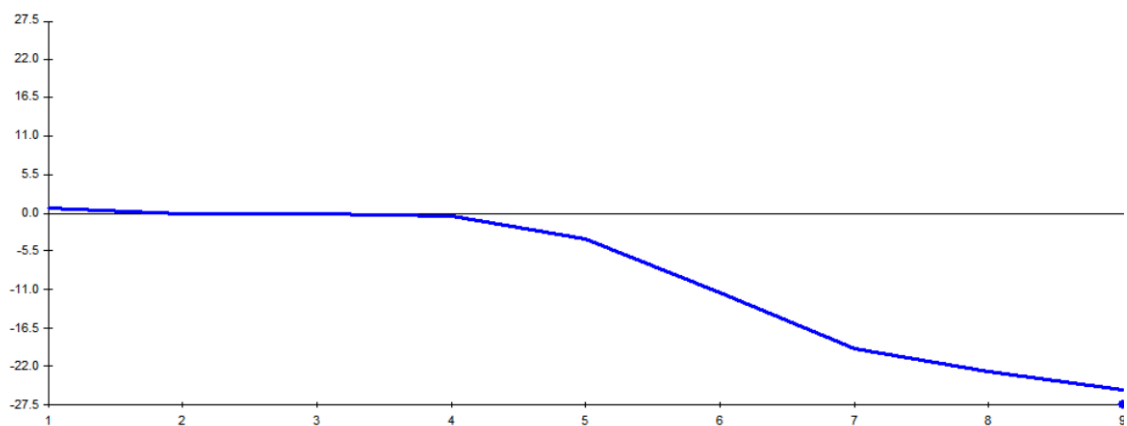
Fx+c Fx-l 50kN
 Max=90.49
 Min=-154.58
 Cases: 5 (Moving load -)

Из прегледа табела прилога 9 може се закључити да су најоптерећенији појасни штапови 40 и 41 у чворовима 4 и 3 респективно услед покретног оптерећења. Како би се боље сагледао утицај покретног оптерећења извршена је подела на девет поља тако да је максимални утицај у табели означен са „Moving load/9“.

У прилогу 10 приказане су слике и табеле утицајних линија штапова 7, 40 и 41.

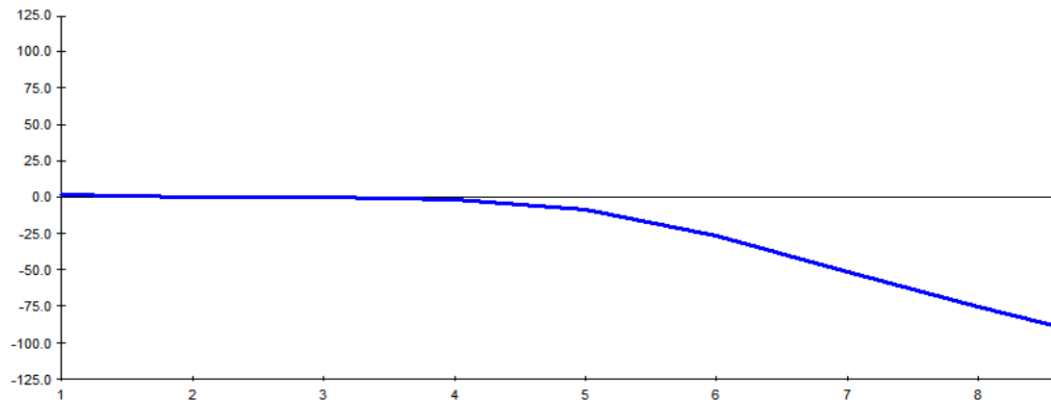
Прилог 10.

Influence Line:3 - Case: 2 (Moving load): : 1



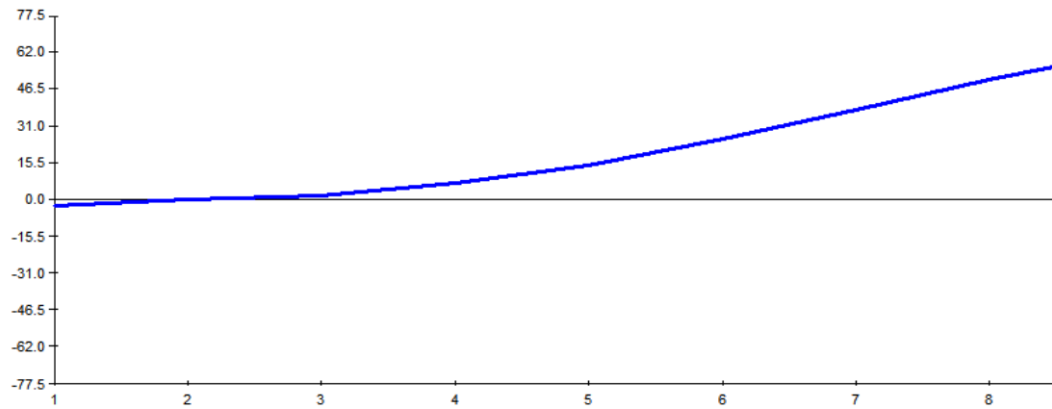
Bar/Point/Case/Posit./Dist.	FX (kN)
Sum (integral) * (m)	-72.35
Sum (+) * (m)	0.47
Sum (-) * (m)	-72.82
7/ x=0.50/ Moving load/1/9 0.0	0.86
7/ x=0.50/ Moving load/2/9 1.00	0.06
7/ x=0.50/ Moving load/3/9 2.00	-0.17
7/ x=0.50/ Moving load/4/9 3.00	-0.64
7/ x=0.50/ Moving load/5/9 4.00	-3.87
7/ x=0.50/ Moving load/6/9 5.00	-11.82
7/ x=0.50/ Moving load/7/9 6.00	-19.86
7/ x=0.50/ Moving load/8/9 7.00	-23.48
7/ x=0.50/ Moving load/9/9 8.00	-26.01

Influence Line:2 - Case: 2 (Moving load): : 1



Bar/Point/Case/Posit./Dist.	FX (kN)
Sum (integral) * (m)	-217.50
Sum (+) * (m)	1.36
Sum (-) * (m)	-218.86
40/ x=0.50/ Moving load/1/9 0.0	2.49
40/ x=0.50/ Moving load/2/9 1.00	0.17
40/ x=0.50/ Moving load/3/9 2.00	-0.44
40/ x=0.50/ Moving load/4/9 3.00	-1.55
40/ x=0.50/ Moving load/5/9 4.00	-8.97
40/ x=0.50/ Moving load/6/9 5.00	-27.55
40/ x=0.50/ Moving load/7/9 6.00	-52.41
40/ x=0.50/ Moving load/8/9 7.00	-77.77
40/ x=0.50/ Moving load/9/9 8.00	-100.47

Influence Line:1 - Case: 2 (Moving load): : 1



Bar/Point/Case/Posit./Dist.		FX (kN)
Sum (integral) * (m)		173.05
Sum (+) * (m)		174.39
Sum (-) * (m)		-1.34
41/	x=0.50/ Moving load/1/9 0.0	-2.62
41/	x=0.50/ Moving load/2/9 1.00	-0.06
41/	x=0.50/ Moving load/3/9 2.00	2.26
41/	x=0.50/ Moving load/4/9 3.00	7.27
41/	x=0.50/ Moving load/5/9 4.00	15.39
41/	x=0.50/ Moving load/6/9 5.00	26.48
41/	x=0.50/ Moving load/7/9 6.00	39.17
41/	x=0.50/ Moving load/8/9 7.00	51.97
41/	x=0.50/ Moving load/9/9 8.00	63.76

У прилогу 11 дата је табела напона услед покретног оптерећења. Напони услед оптерећења сопствене тежине су толико мали да се могу занемарити и из тог разлога наведена је само табела са екстремним вредностима како би се то практично показало.

Прилог 11.

Stresses - Case: 1 (DL1): Global extremes: 2

- Case: 1 (DL1)

	S max (MPa)
MAX	5.20
Bar	26
Node	29
Case	1
MIN	-7.00
Bar	40
Node	4
Case	1

Stresses - Case: 2 (Moving load): Values: 1

Bar/Node/Case/Posit./Dist. (m)	S max (MPa)
2/ 3/ Moving load/1/9 0.0	0.0
2/ 3/ Moving load/2/9 1.00	0.0
2/ 3/ Moving load/3/9 2.00	0.0
2/ 3/ Moving load/4/9 3.00	0.0
2/ 3/ Moving load/5/9 4.00	0.0
2/ 3/ Moving load/6/9 5.00	0.0
2/ 3/ Moving load/7/9 6.00	0.0
2/ 3/ Moving load/8/9 7.00	0.0
2/ 3/ Moving load/9/9 8.00	0.0
2/ 4/ Moving load/1/9 0.0	0.0
2/ 4/ Moving load/2/9 1.00	0.0
2/ 4/ Moving load/3/9 2.00	0.0
2/ 4/ Moving load/4/9 3.00	0.0
2/ 4/ Moving load/5/9 4.00	0.0
2/ 4/ Moving load/6/9 5.00	0.0
2/ 4/ Moving load/7/9 6.00	0.0
2/ 4/ Moving load/8/9 7.00	0.0
2/ 4/ Moving load/9/9 8.00	0.0
3/ 4/ Moving load/1/9 0.0	-4.91
3/ 4/ Moving load/2/9 1.00	-13.77
3/ 4/ Moving load/3/9 2.00	-22.76
3/ 4/ Moving load/4/9 3.00	-26.41
3/ 4/ Moving load/5/9 4.00	-26.90
3/ 4/ Moving load/6/9 5.00	-27.02
3/ 4/ Moving load/7/9 6.00	-27.06
3/ 4/ Moving load/8/9 7.00	-27.11
3/ 4/ Moving load/9/9 8.00	-27.40
3/ 5/ Moving load/1/9 0.0	-4.91
3/ 5/ Moving load/2/9 1.00	-13.77
3/ 5/ Moving load/3/9 2.00	-22.76
3/ 5/ Moving load/4/9 3.00	-26.41
3/ 5/ Moving load/5/9 4.00	-26.90

3/	5/ Moving load/6/9 5.00	-27.02
3/	5/ Moving load/7/9 6.00	-27.06
3/	5/ Moving load/8/9 7.00	-27.11
3/	5/ Moving load/9/9 8.00	-27.40
4/	5/ Moving load/1/9 0.0	-2.85
4/	5/ Moving load/2/9 1.00	0.06
4/	5/ Moving load/3/9 2.00	4.23
4/	5/ Moving load/4/9 3.00	13.49
4/	5/ Moving load/5/9 4.00	22.63
4/	5/ Moving load/6/9 5.00	26.36
4/	5/ Moving load/7/9 6.00	26.90
4/	5/ Moving load/8/9 7.00	27.16
4/	5/ Moving load/9/9 8.00	28.08
4/	6/ Moving load/1/9 0.0	-2.85
4/	6/ Moving load/2/9 1.00	0.06
4/	6/ Moving load/3/9 2.00	4.23
4/	6/ Moving load/4/9 3.00	13.49
4/	6/ Moving load/5/9 4.00	22.63
4/	6/ Moving load/6/9 5.00	26.36
4/	6/ Moving load/7/9 6.00	26.90
4/	6/ Moving load/8/9 7.00	27.16
4/	6/ Moving load/9/9 8.00	28.08
5/	6/ Moving load/1/9 0.0	2.85
5/	6/ Moving load/2/9 1.00	-0.06
5/	6/ Moving load/3/9 2.00	-4.23
5/	6/ Moving load/4/9 3.00	-13.49
5/	6/ Moving load/5/9 4.00	-22.63
5/	6/ Moving load/6/9 5.00	-26.36
5/	6/ Moving load/7/9 6.00	-26.90
5/	6/ Moving load/8/9 7.00	-27.16
5/	6/ Moving load/9/9 8.00	-28.08
5/	7/ Moving load/1/9 0.0	2.85
5/	7/ Moving load/2/9 1.00	-0.06
5/	7/ Moving load/3/9 2.00	-4.23
5/	7/ Moving load/4/9 3.00	-13.49
5/	7/ Moving load/5/9 4.00	-22.63
5/	7/ Moving load/6/9 5.00	-26.36
5/	7/ Moving load/7/9 6.00	-26.90
5/	7/ Moving load/8/9 7.00	-27.16
5/	7/ Moving load/9/9 8.00	-28.08
6/	7/ Moving load/1/9 0.0	-0.99
6/	7/ Moving load/2/9 1.00	-0.07
6/	7/ Moving load/3/9 2.00	0.19
6/	7/ Moving load/4/9 3.00	0.73
6/	7/ Moving load/5/9 4.00	4.46
6/	7/ Moving load/6/9 5.00	13.61
6/	7/ Moving load/7/9 6.00	22.87
6/	7/ Moving load/8/9 7.00	27.03
6/	7/ Moving load/9/9 8.00	29.94
6/	8/ Moving load/1/9 0.0	-0.99
6/	8/ Moving load/2/9 1.00	-0.07
6/	8/ Moving load/3/9 2.00	0.19
6/	8/ Moving load/4/9 3.00	0.73
6/	8/ Moving load/5/9 4.00	4.46
6/	8/ Moving load/6/9 5.00	13.61
6/	8/ Moving load/7/9 6.00	22.87
6/	8/ Moving load/8/9 7.00	27.03
6/	8/ Moving load/9/9 8.00	29.94
7/	8/ Moving load/1/9 0.0	0.99
7/	8/ Moving load/2/9 1.00	0.07
7/	8/ Moving load/3/9 2.00	-0.19
7/	8/ Moving load/4/9 3.00	-0.73
7/	8/ Moving load/5/9 4.00	-4.46
7/	8/ Moving load/6/9 5.00	-13.61
7/	8/ Moving load/7/9 6.00	-22.87
7/	8/ Moving load/8/9 7.00	-27.03
7/	8/ Moving load/9/9 8.00	-29.94
7/	9/ Moving load/1/9 0.0	0.99
7/	9/ Moving load/2/9 1.00	0.07
7/	9/ Moving load/3/9 2.00	-0.19

7/	9/ Moving load/4/9	3.00	-0.73
7/	9/ Moving load/5/9	4.00	-4.46
7/	9/ Moving load/6/9	5.00	-13.61
7/	9/ Moving load/7/9	6.00	-22.87
7/	9/ Moving load/8/9	7.00	-27.03
7/	9/ Moving load/9/9	8.00	-29.94
8/	9/ Moving load/1/9	0.0	-0.30
8/	9/ Moving load/2/9	1.00	-0.02
8/	9/ Moving load/3/9	2.00	0.04
8/	9/ Moving load/4/9	3.00	0.07
8/	9/ Moving load/5/9	4.00	0.19
8/	9/ Moving load/6/9	5.00	0.69
8/	9/ Moving load/7/9	6.00	4.33
8/	9/ Moving load/8/9	7.00	13.32
8/	9/ Moving load/9/9	8.00	22.19
8/	10/ Moving load/1/9	0.0	-0.30
8/	10/ Moving load/2/9	1.00	-0.02
8/	10/ Moving load/3/9	2.00	0.04
8/	10/ Moving load/4/9	3.00	0.07
8/	10/ Moving load/5/9	4.00	0.19
8/	10/ Moving load/6/9	5.00	0.69
8/	10/ Moving load/7/9	6.00	4.33
8/	10/ Moving load/8/9	7.00	13.32
8/	10/ Moving load/9/9	8.00	22.19
9/	10/ Moving load/1/9	0.0	0.30
9/	10/ Moving load/2/9	1.00	0.02
9/	10/ Moving load/3/9	2.00	-0.04
9/	10/ Moving load/4/9	3.00	-0.07
9/	10/ Moving load/5/9	4.00	-0.19
9/	10/ Moving load/6/9	5.00	-0.69
9/	10/ Moving load/7/9	6.00	-4.33
9/	10/ Moving load/8/9	7.00	-13.32
9/	10/ Moving load/9/9	8.00	-22.19
9/	11/ Moving load/1/9	0.0	0.30
9/	11/ Moving load/2/9	1.00	0.02
9/	11/ Moving load/3/9	2.00	-0.04
9/	11/ Moving load/4/9	3.00	-0.07
9/	11/ Moving load/5/9	4.00	-0.19
9/	11/ Moving load/6/9	5.00	-0.69
9/	11/ Moving load/7/9	6.00	-4.33
9/	11/ Moving load/8/9	7.00	-13.32
9/	11/ Moving load/9/9	8.00	-22.19
24/	27/ Moving load/1/9	0.0	0.0
24/	27/ Moving load/2/9	1.00	0.0
24/	27/ Moving load/3/9	2.00	0.0
24/	27/ Moving load/4/9	3.00	0.0
24/	27/ Moving load/5/9	4.00	0.0
24/	27/ Moving load/6/9	5.00	0.0
24/	27/ Moving load/7/9	6.00	0.0
24/	27/ Moving load/8/9	7.00	0.0
24/	27/ Moving load/9/9	8.00	0.0
24/	4/ Moving load/1/9	0.0	0.0
24/	4/ Moving load/2/9	1.00	0.0
24/	4/ Moving load/3/9	2.00	0.0
24/	4/ Moving load/4/9	3.00	0.0
24/	4/ Moving load/5/9	4.00	0.0
24/	4/ Moving load/6/9	5.00	0.0
24/	4/ Moving load/7/9	6.00	0.0
24/	4/ Moving load/8/9	7.00	0.0
24/	4/ Moving load/9/9	8.00	0.0
25/	4/ Moving load/1/9	0.0	-4.91
25/	4/ Moving load/2/9	1.00	-13.77
25/	4/ Moving load/3/9	2.00	-22.76
25/	4/ Moving load/4/9	3.00	-26.41
25/	4/ Moving load/5/9	4.00	-26.90
25/	4/ Moving load/6/9	5.00	-27.02
25/	4/ Moving load/7/9	6.00	-27.06
25/	4/ Moving load/8/9	7.00	-27.11
25/	4/ Moving load/9/9	8.00	-27.40
25/	29/ Moving load/1/9	0.0	-4.91

25/	29/ Moving load/2/9	1.00	-13.77
25/	29/ Moving load/3/9	2.00	-22.76
25/	29/ Moving load/4/9	3.00	-26.41
25/	29/ Moving load/5/9	4.00	-26.90
25/	29/ Moving load/6/9	5.00	-27.02
25/	29/ Moving load/7/9	6.00	-27.06
25/	29/ Moving load/8/9	7.00	-27.11
25/	29/ Moving load/9/9	8.00	-27.40
26/	29/ Moving load/1/9	0.0	-2.85
26/	29/ Moving load/2/9	1.00	0.06
26/	29/ Moving load/3/9	2.00	4.23
26/	29/ Moving load/4/9	3.00	13.49
26/	29/ Moving load/5/9	4.00	22.63
26/	29/ Moving load/6/9	5.00	26.36
26/	29/ Moving load/7/9	6.00	26.90
26/	29/ Moving load/8/9	7.00	27.16
26/	29/ Moving load/9/9	8.00	28.08
26/	6/ Moving load/1/9	0.0	-2.85
26/	6/ Moving load/2/9	1.00	0.06
26/	6/ Moving load/3/9	2.00	4.23
26/	6/ Moving load/4/9	3.00	13.49
26/	6/ Moving load/5/9	4.00	22.63
26/	6/ Moving load/6/9	5.00	26.36
26/	6/ Moving load/7/9	6.00	26.90
26/	6/ Moving load/8/9	7.00	27.16
26/	6/ Moving load/9/9	8.00	28.08
27/	6/ Moving load/1/9	0.0	2.85
27/	6/ Moving load/2/9	1.00	-0.06
27/	6/ Moving load/3/9	2.00	-4.23
27/	6/ Moving load/4/9	3.00	-13.49
27/	6/ Moving load/5/9	4.00	-22.63
27/	6/ Moving load/6/9	5.00	-26.36
27/	6/ Moving load/7/9	6.00	-26.90
27/	6/ Moving load/8/9	7.00	-27.16
27/	6/ Moving load/9/9	8.00	-28.08
27/	31/ Moving load/1/9	0.0	2.85
27/	31/ Moving load/2/9	1.00	-0.06
27/	31/ Moving load/3/9	2.00	-4.23
27/	31/ Moving load/4/9	3.00	-13.49
27/	31/ Moving load/5/9	4.00	-22.63
27/	31/ Moving load/6/9	5.00	-26.36
27/	31/ Moving load/7/9	6.00	-26.90
27/	31/ Moving load/8/9	7.00	-27.16
27/	31/ Moving load/9/9	8.00	-28.08
28/	31/ Moving load/1/9	0.0	-0.99
28/	31/ Moving load/2/9	1.00	-0.07
28/	31/ Moving load/3/9	2.00	0.19
28/	31/ Moving load/4/9	3.00	0.73
28/	31/ Moving load/5/9	4.00	4.46
28/	31/ Moving load/6/9	5.00	13.61
28/	31/ Moving load/7/9	6.00	22.87
28/	31/ Moving load/8/9	7.00	27.03
28/	31/ Moving load/9/9	8.00	29.94
28/	8/ Moving load/1/9	0.0	-0.99
28/	8/ Moving load/2/9	1.00	-0.07
28/	8/ Moving load/3/9	2.00	0.19
28/	8/ Moving load/4/9	3.00	0.73
28/	8/ Moving load/5/9	4.00	4.46
28/	8/ Moving load/6/9	5.00	13.61
28/	8/ Moving load/7/9	6.00	22.87
28/	8/ Moving load/8/9	7.00	27.03
28/	8/ Moving load/9/9	8.00	29.94
29/	8/ Moving load/1/9	0.0	0.99
29/	8/ Moving load/2/9	1.00	0.07
29/	8/ Moving load/3/9	2.00	-0.19
29/	8/ Moving load/4/9	3.00	-0.73
29/	8/ Moving load/5/9	4.00	-4.46
29/	8/ Moving load/6/9	5.00	-13.61
29/	8/ Moving load/7/9	6.00	-22.87
29/	8/ Moving load/8/9	7.00	-27.03

29/	8/ Moving load/9/9 8.00	-29.94
29/	33/ Moving load/1/9 0.0	0.99
29/	33/ Moving load/2/9 1.00	0.07
29/	33/ Moving load/3/9 2.00	-0.19
29/	33/ Moving load/4/9 3.00	-0.73
29/	33/ Moving load/5/9 4.00	-4.46
29/	33/ Moving load/6/9 5.00	-13.61
29/	33/ Moving load/7/9 6.00	-22.87
29/	33/ Moving load/8/9 7.00	-27.03
29/	33/ Moving load/9/9 8.00	-29.94
30/	33/ Moving load/1/9 0.0	-0.30
30/	33/ Moving load/2/9 1.00	-0.02
30/	33/ Moving load/3/9 2.00	0.04
30/	33/ Moving load/4/9 3.00	0.07
30/	33/ Moving load/5/9 4.00	0.19
30/	33/ Moving load/6/9 5.00	0.69
30/	33/ Moving load/7/9 6.00	4.33
30/	33/ Moving load/8/9 7.00	13.32
30/	33/ Moving load/9/9 8.00	22.19
30/	10/ Moving load/1/9 0.0	-0.30
30/	10/ Moving load/2/9 1.00	-0.02
30/	10/ Moving load/3/9 2.00	0.04
30/	10/ Moving load/4/9 3.00	0.07
30/	10/ Moving load/5/9 4.00	0.19
30/	10/ Moving load/6/9 5.00	0.69
30/	10/ Moving load/7/9 6.00	4.33
30/	10/ Moving load/8/9 7.00	13.32
30/	10/ Moving load/9/9 8.00	22.19
31/	10/ Moving load/1/9 0.0	0.30
31/	10/ Moving load/2/9 1.00	0.02
31/	10/ Moving load/3/9 2.00	-0.04
31/	10/ Moving load/4/9 3.00	-0.07
31/	10/ Moving load/5/9 4.00	-0.19
31/	10/ Moving load/6/9 5.00	-0.69
31/	10/ Moving load/7/9 6.00	-4.33
31/	10/ Moving load/8/9 7.00	-13.32
31/	10/ Moving load/9/9 8.00	-22.19
31/	35/ Moving load/1/9 0.0	0.30
31/	35/ Moving load/2/9 1.00	0.02
31/	35/ Moving load/3/9 2.00	-0.04
31/	35/ Moving load/4/9 3.00	-0.07
31/	35/ Moving load/5/9 4.00	-0.19
31/	35/ Moving load/6/9 5.00	-0.69
31/	35/ Moving load/7/9 6.00	-4.33
31/	35/ Moving load/8/9 7.00	-13.32
31/	35/ Moving load/9/9 8.00	-22.19
40/	4/ Moving load/1/9 0.0	3.34
40/	4/ Moving load/2/9 1.00	0.02
40/	4/ Moving load/3/9 2.00	-3.60
40/	4/ Moving load/4/9 3.00	-11.53
40/	4/ Moving load/5/9 4.00	-22.02
40/	4/ Moving load/6/9 5.00	-32.81
40/	4/ Moving load/7/9 6.00	-43.66
40/	4/ Moving load/8/9 7.00	-54.49
40/	4/ Moving load/9/9 8.00	-64.73
40/	10/ Moving load/1/9 0.0	0.25
40/	10/ Moving load/2/9 1.00	0.01
40/	10/ Moving load/3/9 2.00	-0.03
40/	10/ Moving load/4/9 3.00	-0.06
40/	10/ Moving load/5/9 4.00	-0.16
40/	10/ Moving load/6/9 5.00	-0.55
40/	10/ Moving load/7/9 6.00	-3.49
40/	10/ Moving load/8/9 7.00	-10.75
40/	10/ Moving load/9/9 8.00	-17.91
41/	3/ Moving load/1/9 0.0	-0.49
41/	3/ Moving load/2/9 1.00	1.98
41/	3/ Moving load/3/9 2.00	4.57
41/	3/ Moving load/4/9 3.00	7.94
41/	3/ Moving load/5/9 4.00	11.76
41/	3/ Moving load/6/9 5.00	15.64

41/	3/ Moving load/7/9	6.00	19.53
41/	3/ Moving load/8/9	7.00	23.41
41/	3/ Moving load/9/9	8.00	27.12
41/	11/ Moving load/1/9	0.0	-0.04
41/	11/ Moving load/2/9	1.00	-0.00
41/	11/ Moving load/3/9	2.00	0.01
41/	11/ Moving load/4/9	3.00	0.01
41/	11/ Moving load/5/9	4.00	0.03
41/	11/ Moving load/6/9	5.00	0.10
41/	11/ Moving load/7/9	6.00	0.63
41/	11/ Moving load/8/9	7.00	1.92
41/	11/ Moving load/9/9	8.00	3.20
42/	27/ Moving load/1/9	0.0	-0.49
42/	27/ Moving load/2/9	1.00	1.98
42/	27/ Moving load/3/9	2.00	4.57
42/	27/ Moving load/4/9	3.00	7.94
42/	27/ Moving load/5/9	4.00	11.76
42/	27/ Moving load/6/9	5.00	15.64
42/	27/ Moving load/7/9	6.00	19.53
42/	27/ Moving load/8/9	7.00	23.41
42/	27/ Moving load/9/9	8.00	27.12
42/	35/ Moving load/1/9	0.0	-0.04
42/	35/ Moving load/2/9	1.00	-0.00
42/	35/ Moving load/3/9	2.00	0.01
42/	35/ Moving load/4/9	3.00	0.01
42/	35/ Moving load/5/9	4.00	0.03
42/	35/ Moving load/6/9	5.00	0.10
42/	35/ Moving load/7/9	6.00	0.63
42/	35/ Moving load/8/9	7.00	1.92
42/	35/ Moving load/9/9	8.00	3.20
43/	11/ Moving load/1/9	0.0	-0.16
43/	11/ Moving load/2/9	1.00	-0.01
43/	11/ Moving load/3/9	2.00	0.02
43/	11/ Moving load/4/9	3.00	0.04
43/	11/ Moving load/5/9	4.00	0.10
43/	11/ Moving load/6/9	5.00	0.37
43/	11/ Moving load/7/9	6.00	2.32
43/	11/ Moving load/8/9	7.00	7.12
43/	11/ Moving load/9/9	8.00	11.87
43/	35/ Moving load/1/9	0.0	-0.16
43/	35/ Moving load/2/9	1.00	-0.01
43/	35/ Moving load/3/9	2.00	0.02
43/	35/ Moving load/4/9	3.00	0.04
43/	35/ Moving load/5/9	4.00	0.10
43/	35/ Moving load/6/9	5.00	0.37
43/	35/ Moving load/7/9	6.00	2.32
43/	35/ Moving load/8/9	7.00	7.12
43/	35/ Moving load/9/9	8.00	11.87
44/	3/ Moving load/1/9	0.0	0.0
44/	3/ Moving load/2/9	1.00	0.0
44/	3/ Moving load/3/9	2.00	0.0
44/	3/ Moving load/4/9	3.00	0.0
44/	3/ Moving load/5/9	4.00	0.0
44/	3/ Moving load/6/9	5.00	0.0
44/	3/ Moving load/7/9	6.00	0.0
44/	3/ Moving load/8/9	7.00	0.0
44/	3/ Moving load/9/9	8.00	0.0
44/	27/ Moving load/1/9	0.0	0.0
44/	27/ Moving load/2/9	1.00	0.0
44/	27/ Moving load/3/9	2.00	0.0
44/	27/ Moving load/4/9	3.00	0.0
44/	27/ Moving load/5/9	4.00	0.0
44/	27/ Moving load/6/9	5.00	0.0
44/	27/ Moving load/7/9	6.00	0.0
44/	27/ Moving load/8/9	7.00	0.0
44/	27/ Moving load/9/9	8.00	0.0
45/	5/ Moving load/1/9	0.0	4.15
45/	5/ Moving load/2/9	1.00	7.33
45/	5/ Moving load/3/9	2.00	9.91
45/	5/ Moving load/4/9	3.00	6.91

45/	5/ Moving load/5/9	4.00	2.28
45/	5/ Moving load/6/9	5.00	0.35
45/	5/ Moving load/7/9	6.00	0.08
45/	5/ Moving load/8/9	7.00	-0.03
45/	5/ Moving load/9/9	8.00	-0.36
45/	29/ Moving load/1/9	0.0	4.15
45/	29/ Moving load/2/9	1.00	7.33
45/	29/ Moving load/3/9	2.00	9.91
45/	29/ Moving load/4/9	3.00	6.91
45/	29/ Moving load/5/9	4.00	2.28
45/	29/ Moving load/6/9	5.00	0.35
45/	29/ Moving load/7/9	6.00	0.08
45/	29/ Moving load/8/9	7.00	-0.03
45/	29/ Moving load/9/9	8.00	-0.36
46/	7/ Moving load/1/9	0.0	-1.00
46/	7/ Moving load/2/9	1.00	0.07
46/	7/ Moving load/3/9	2.00	2.16
46/	7/ Moving load/4/9	3.00	6.82
46/	7/ Moving load/5/9	4.00	9.72
46/	7/ Moving load/6/9	5.00	6.82
46/	7/ Moving load/7/9	6.00	2.16
46/	7/ Moving load/8/9	7.00	0.07
46/	7/ Moving load/9/9	8.00	-1.00
46/	31/ Moving load/1/9	0.0	-1.00
46/	31/ Moving load/2/9	1.00	0.07
46/	31/ Moving load/3/9	2.00	2.16
46/	31/ Moving load/4/9	3.00	6.82
46/	31/ Moving load/5/9	4.00	9.72
46/	31/ Moving load/6/9	5.00	6.82
46/	31/ Moving load/7/9	6.00	2.16
46/	31/ Moving load/8/9	7.00	0.07
46/	31/ Moving load/9/9	8.00	-1.00
47/	9/ Moving load/1/9	0.0	-0.36
47/	9/ Moving load/2/9	1.00	-0.03
47/	9/ Moving load/3/9	2.00	0.08
47/	9/ Moving load/4/9	3.00	0.35
47/	9/ Moving load/5/9	4.00	2.28
47/	9/ Moving load/6/9	5.00	6.91
47/	9/ Moving load/7/9	6.00	9.91
47/	9/ Moving load/8/9	7.00	7.33
47/	9/ Moving load/9/9	8.00	4.15
47/	33/ Moving load/1/9	0.0	-0.36
47/	33/ Moving load/2/9	1.00	-0.03
47/	33/ Moving load/3/9	2.00	0.08
47/	33/ Moving load/4/9	3.00	0.35
47/	33/ Moving load/5/9	4.00	2.28
47/	33/ Moving load/6/9	5.00	6.91
47/	33/ Moving load/7/9	6.00	9.91
47/	33/ Moving load/8/9	7.00	7.33
47/	33/ Moving load/9/9	8.00	4.15
48/	3/ Moving load/1/9	0.0	0.00
48/	3/ Moving load/2/9	1.00	0.00
48/	3/ Moving load/3/9	2.00	0.00
48/	3/ Moving load/4/9	3.00	0.00
48/	3/ Moving load/5/9	4.00	0.00
48/	3/ Moving load/6/9	5.00	0.00
48/	3/ Moving load/7/9	6.00	0.00
48/	3/ Moving load/8/9	7.00	0.00
48/	3/ Moving load/9/9	8.00	0.00
48/	29/ Moving load/1/9	0.0	0.00
48/	29/ Moving load/2/9	1.00	0.00
48/	29/ Moving load/3/9	2.00	0.00
48/	29/ Moving load/4/9	3.00	0.00
48/	29/ Moving load/5/9	4.00	0.00
48/	29/ Moving load/6/9	5.00	0.00
48/	29/ Moving load/7/9	6.00	0.00
48/	29/ Moving load/8/9	7.00	0.00
48/	29/ Moving load/9/9	8.00	0.00
49/	5/ Moving load/1/9	0.0	0.00
49/	5/ Moving load/2/9	1.00	0.00

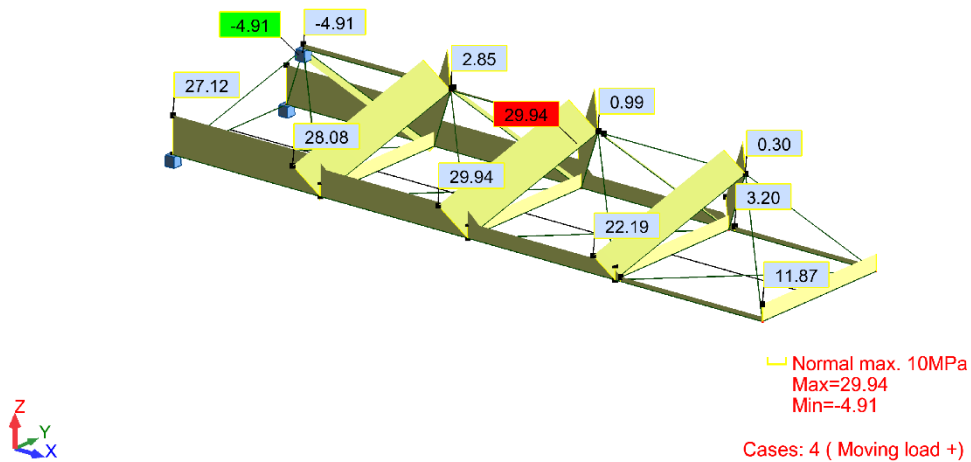
49/	5/ Moving load/3/9	2.00	0.00
49/	5/ Moving load/4/9	3.00	0.00
49/	5/ Moving load/5/9	4.00	0.00
49/	5/ Moving load/6/9	5.00	0.00
49/	5/ Moving load/7/9	6.00	0.00
49/	5/ Moving load/8/9	7.00	0.00
49/	5/ Moving load/9/9	8.00	0.00
49/	31/ Moving load/1/9	0.0	0.00
49/	31/ Moving load/2/9	1.00	0.00
49/	31/ Moving load/3/9	2.00	0.00
49/	31/ Moving load/4/9	3.00	0.00
49/	31/ Moving load/5/9	4.00	0.00
49/	31/ Moving load/6/9	5.00	0.00
49/	31/ Moving load/7/9	6.00	0.00
49/	31/ Moving load/8/9	7.00	0.00
49/	31/ Moving load/9/9	8.00	0.00
50/	7/ Moving load/1/9	0.0	-0.00
50/	7/ Moving load/2/9	1.00	0.00
50/	7/ Moving load/3/9	2.00	0.00
50/	7/ Moving load/4/9	3.00	0.00
50/	7/ Moving load/5/9	4.00	0.00
50/	7/ Moving load/6/9	5.00	0.00
50/	7/ Moving load/7/9	6.00	0.00
50/	7/ Moving load/8/9	7.00	0.00
50/	7/ Moving load/9/9	8.00	0.00
50/	33/ Moving load/1/9	0.0	-0.00
50/	33/ Moving load/2/9	1.00	0.00
50/	33/ Moving load/3/9	2.00	0.00
50/	33/ Moving load/4/9	3.00	0.00
50/	33/ Moving load/5/9	4.00	0.00
50/	33/ Moving load/6/9	5.00	0.00
50/	33/ Moving load/7/9	6.00	0.00
50/	33/ Moving load/8/9	7.00	0.00
50/	33/ Moving load/9/9	8.00	0.00
51/	9/ Moving load/1/9	0.0	-0.00
51/	9/ Moving load/2/9	1.00	0.00
51/	9/ Moving load/3/9	2.00	0.00
51/	9/ Moving load/4/9	3.00	0.00
51/	9/ Moving load/5/9	4.00	0.00
51/	9/ Moving load/6/9	5.00	0.00
51/	9/ Moving load/7/9	6.00	0.00
51/	9/ Moving load/8/9	7.00	0.00
51/	9/ Moving load/9/9	8.00	0.00
51/	35/ Moving load/1/9	0.0	-0.00
51/	35/ Moving load/2/9	1.00	0.00
51/	35/ Moving load/3/9	2.00	0.00
51/	35/ Moving load/4/9	3.00	0.00
51/	35/ Moving load/5/9	4.00	0.00
51/	35/ Moving load/6/9	5.00	0.00
51/	35/ Moving load/7/9	6.00	0.00
51/	35/ Moving load/8/9	7.00	0.00
51/	35/ Moving load/9/9	8.00	0.00

Stresses - Cases: 4 5 : Global extremes: 1

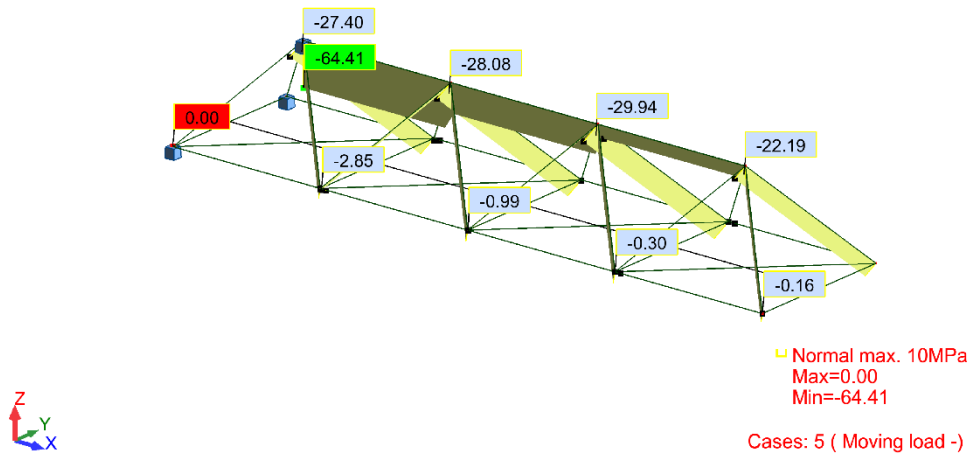
- Cases: 4 5

	S max (MPa)
MAX	29.94
Bar	28
Node	31
Case	Moving load/9
MIN	-64.73
Bar	40
Node	4
Case	Moving load/9

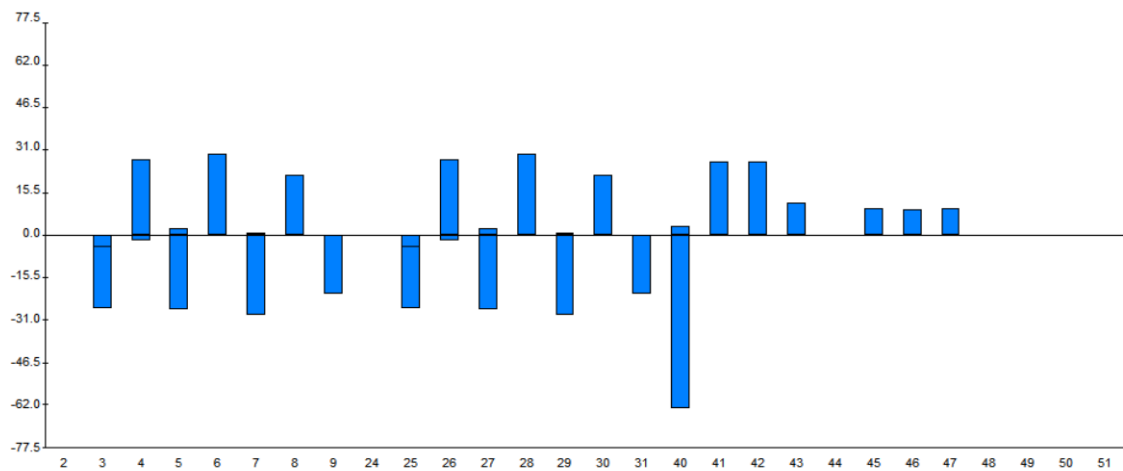
View - Cases: 4 (Moving load +)



View - Cases: 5 (Moving load -)



Global Analysis - Bars: : 3

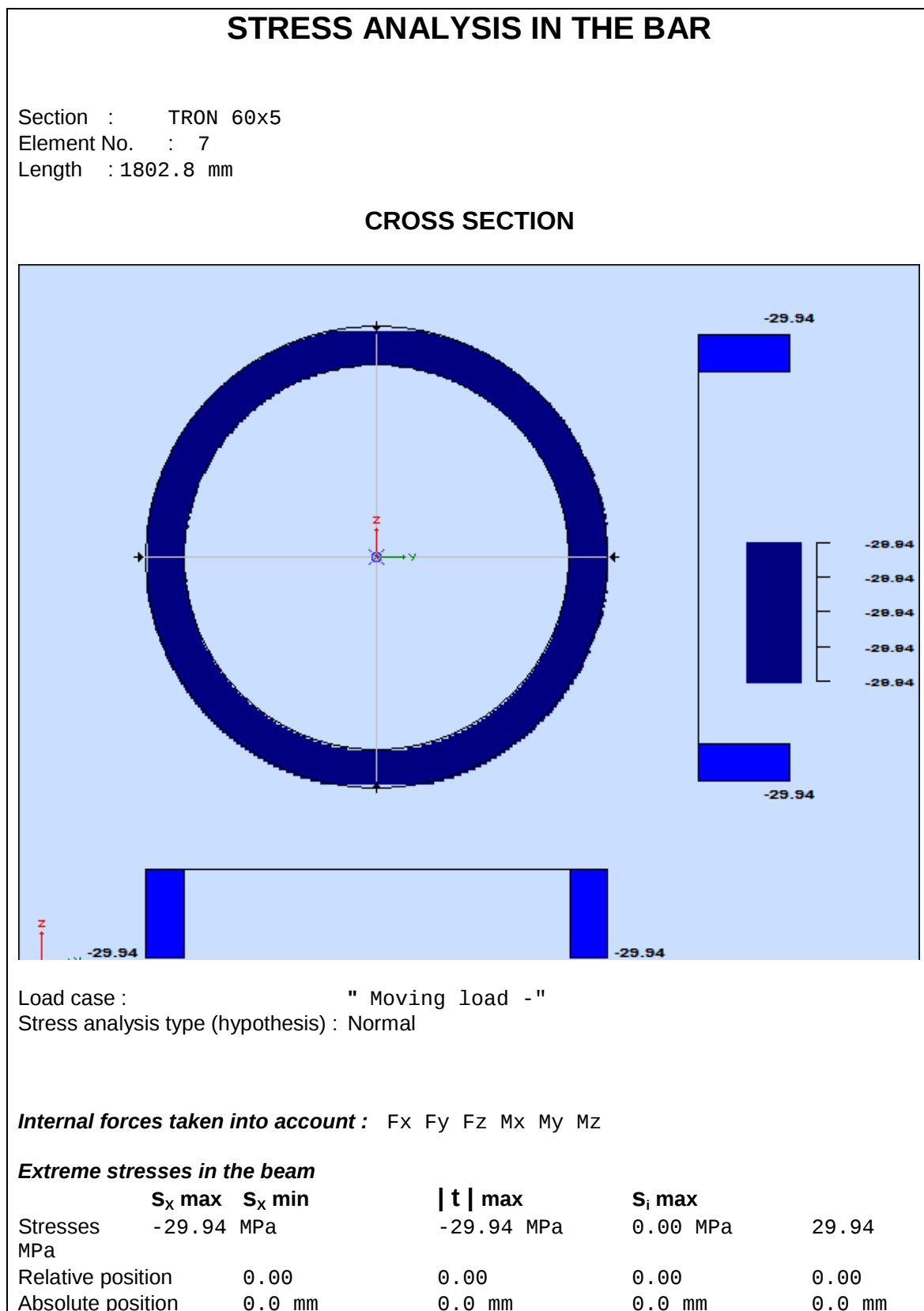


Label	Lower limit	Upper limit	Out of limit	Within limit	Color	Min	Max
Sigma (MPa)	-160.00	160.00		2to9 24to31 40to51		-64.73	29.94

Максимална вредност напона износи 64.73 MPa. Ако се узме у обзир да је допуштен напон за челик 160 MPa, може се закључити да димензије конструкције, наспрам оптерећења, задовољавају по критеријуму допушеног напона.

Прилог 12 представља приказ напона у задатом пресеку.

Прилог 12.



RESULTS IN THE SECTION

Section coordinates $x/l = 0.50$ (Relative) $x = 901.4$ mm (Absolute)

Forces applied to the section

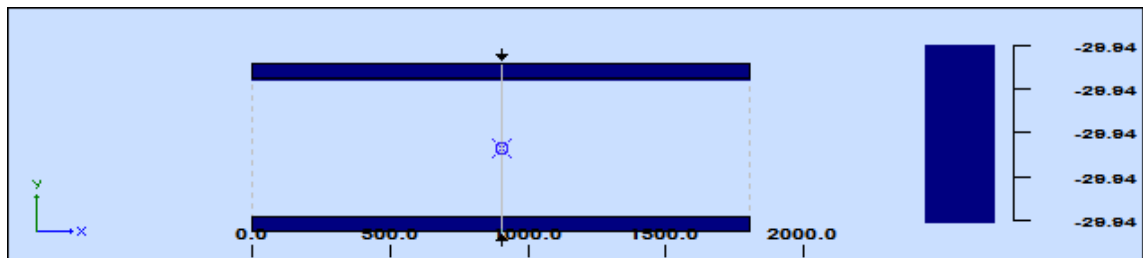
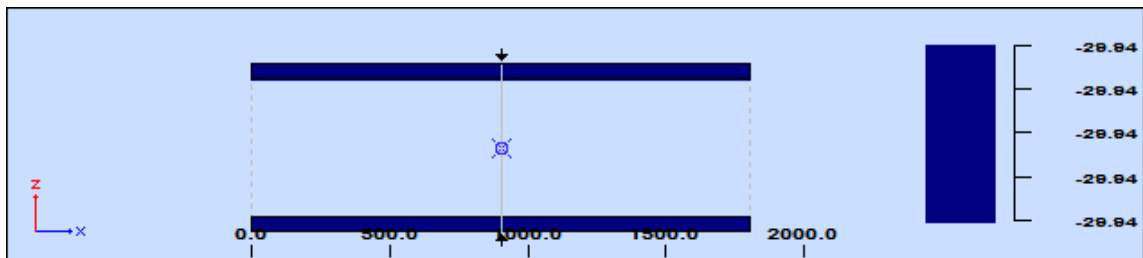
Fx = -26.01 kN **Mx** = 0.00 kN*m
Fy = 0.00 kN **My** = 0.00 kN*m
Fz = 0.00 kN **Mz** = 0.00 kN*m

Extreme stresses in the section

	S_x max	S_x min	t_{xy} max	t_{yz} max
Stresses	-29.94 MPa	-29.94 MPa	0.00 MPa	0.00 MPa
Y local	-6.0 mm	-6.0 mm	-6.0 mm	-6.0 mm
Z local	-29.4 mm	-29.4 mm	-29.4 mm	-29.4 mm

	t_{tx} max	S_i max
Stresses	0.00 MPa	29.94 MPa
Y local	-6.0 mm	-6.0 mm
Z local	-29.4 mm	-29.4 mm

LONGITUDINAL SECTION



RESULTS IN THE SECTION

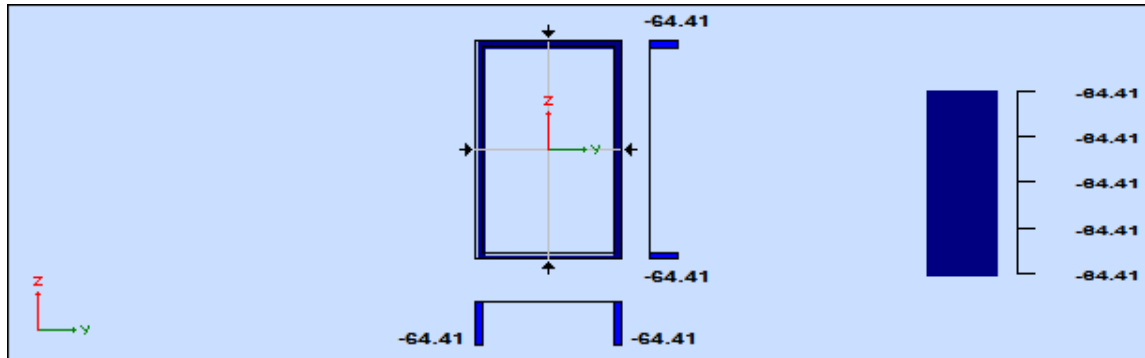
PLANE XZ	S_x max	S_x min	t_{xz} max	S_i
max				
Stresses	-29.94 MPa	-29.94 MPa	29.94 MPa	
Relative position	0.00	0.00	0.00	0.00
Absolute position	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0
mm				

PLANE XY	S_x max	S_x min	t_{xy} max	S_i
max				
Stresses	-29.94 MPa	-29.94 MPa	29.94 MPa	
Relative position	0.00	0.00	0.00	0.00
Absolute position	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0
mm				

STRESS ANALYSIS IN THE BAR

Section : TREC 150x100x5
 Element No. : 40
 Length : 6000.0 mm

CROSS SECTION



Load case : " Moving load -"
 Stress analysis type (hypothesis) : Normal

Internal forces taken into account : Fx Fy Fz Mx My Mz

Extreme stresses in the beam

	S_x max	S_x min	$ t $ max	S_i max	
Stresses	-17.82 MPa		-64.41 MPa	0.00 MPa	64.41
MPa					
Relative position	0.00		0.00	0.00	0.68
Absolute position	0.0 mm		0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm

RESULTS IN THE SECTION

Section coordinates $x/l = 0.08$ (Relative) $x = 500.0$ mm (Absolute)

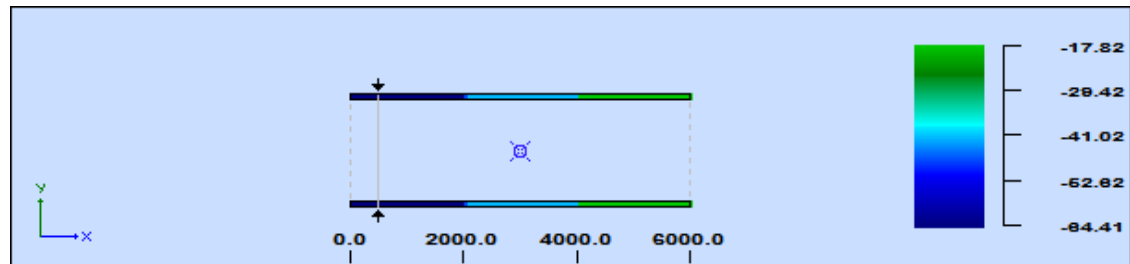
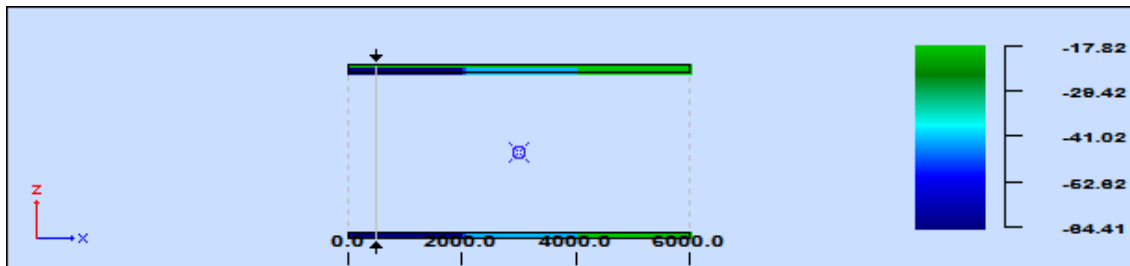
Forces applied to the section

Fx = -154.58 kN Mx = 0.00 kN*m
 Fy = 0.00 kN My = 0.00 kN*m
 Fz = 0.00 kN Mz = 0.00 kN*m

Extreme stresses in the section

	S_x max	S_x min	$t_{y \max}$	$t_{z \max}$
Stresses	-64.41 MPa	-64.41 MPa	0.00 MPa	0.00 MPa
Y local	-50.0 mm	-50.0 mm	-50.0 mm	-50.0 mm
Z local	-75.0 mm	-75.0 mm	-75.0 mm	-75.0 mm
	$t_{\max}$	S_i max		
Stresses	0.00 MPa	64.41 MPa		
Y local	-50.0 mm	-50.0 mm		
Z local	-75.0 mm	-75.0 mm		

LONGITUDINAL SECTION



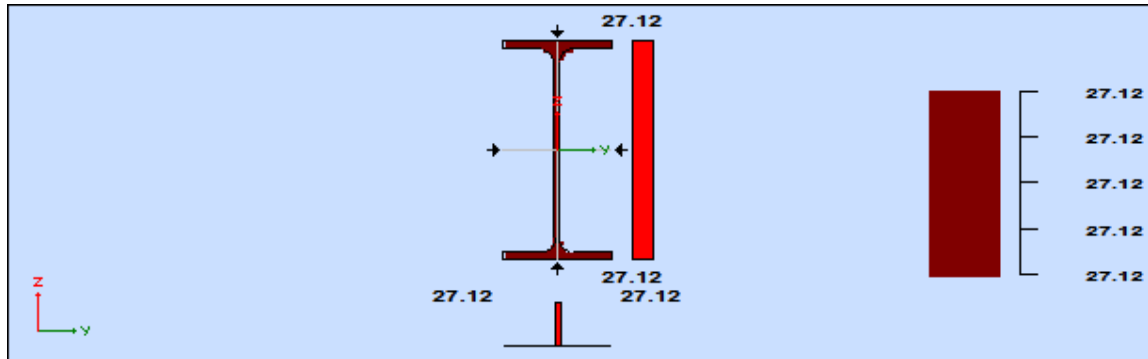
RESULTS IN THE SECTION

PLANE XZ	S_x max	S_x min	t_{xz} max	S_i
max				
Stresses -17.82 MPa	-64.41 MPa	0.00 MPa	64.41 MPa	
Relative position	0.68	0.00	0.00	0.00
Absolute position mm	4080.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0
PLANE XY	S_x max	S_x min	t_{xy} max	S_i
max				
Stresses -17.82 MPa	-64.41 MPa	0.00 MPa	64.41 MPa	
Relative position	0.68	0.00	0.00	0.00
Absolute position mm	4080.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0

STRESS ANALYSIS IN THE BAR

Section : IPE 220
 Element No. : 41
 Length : 8000.0 mm

CROSS SECTION



Load case : " Moving load +"
 Stress analysis type (hypothesis) : Normal

Internal forces taken into account : Fx Fy Fz Mx My Mz

Extreme stresses in the beam

	S_x max	S_x min	$ t $ max	S_i max	
Stresses	27.12 MPa		3.20 MPa	0.00 MPa	27.12 MPa
Relative position	0.76		0.76	0.00	0.76
Absolute position	6080.0 mm		6080.0 mm	0.0 mm	0.0 mm

RESULTS IN THE SECTION

Section coordinates $x/l = 0.06$ (Relative) $x = 500.0$ mm (Absolute)

Forces applied to the section

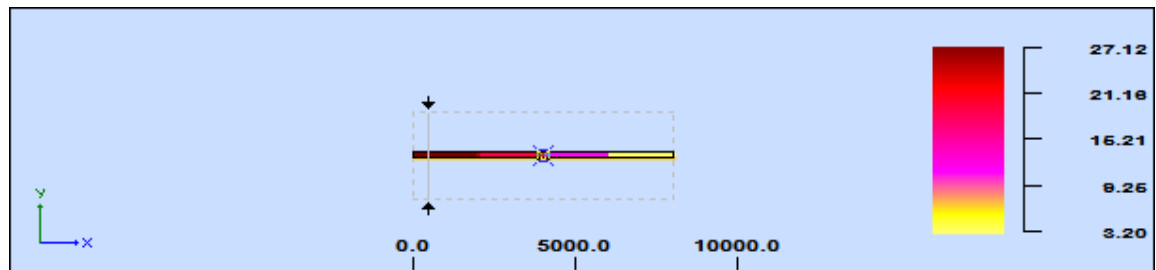
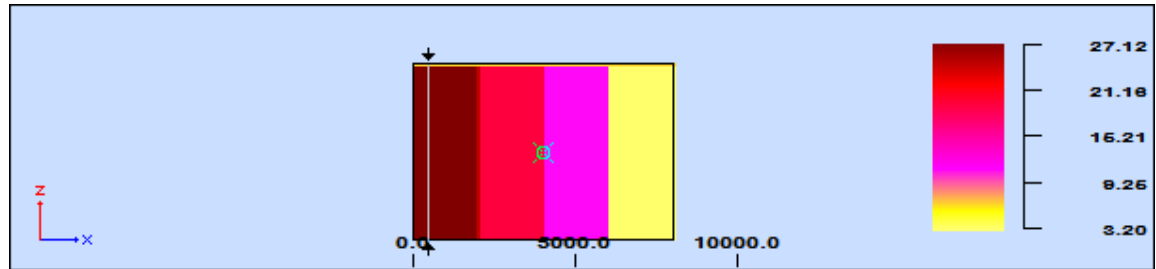
Fx = 90.49 kN Mx = 0.00 kN*m
 Fy = 0.00 kN My = 0.00 kN*m
 Fz = 0.00 kN Mz = 0.00 kN*m

Extreme stresses in the section

	S_x max	S_x min	t_{xy} max	t_{yz} max
Stresses	27.12 MPa	27.12 MPa	0.00 MPa	0.00 MPa
Y local	-55.0 mm	-55.0 mm	-55.0 mm	-55.0 mm
Z local	-110.0 mm	-110.0 mm	-110.0 mm	-110.0 mm

	t_{xz} max	S_i max
Stresses	0.00 MPa	27.12 MPa
Y local	-55.0 mm	-55.0 mm
Z local	-110.0 mm	-110.0 mm

LONGITUDINAL SECTION



RESULTS IN THE SECTION

PLANE XZ	S_x max	S_x min	t_{xz} max	S_i
max				
Stresses 27.12 MPa	3.20 MPa	0.00 MPa	27.12 MPa	
Relative position	0.00	0.76	0.00	0.00
Absolute position mm	0.0 mm	6080.0 mm	0.0 mm	0.0
PLANE XY	S_x max	S_x min	t_{xy} max	S_i
max				
Stresses 27.12 MPa	3.20 MPa	0.00 MPa	27.12 MPa	
Relative position	0.00	0.76	0.00	0.00
Absolute position mm	0.0 mm	6080.0 mm	0.0 mm	0.0

Програм *Robot* пружа анализу стабилности против извијања на основу стандарда Eurocode 3. У прилогу 13 представљене су анализе за три штапа и то 7, 40 и 41.

Прилог 13.

STEEL DESIGN																			
CODE: <i>EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.</i> ANALYSIS TYPE: <i>Member Verification</i>																			
CODE GROUP: MEMBER: 7 Simple bar_7 POINT: 1 COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m																			
LOADS: Governing Load Case: 2 Moving load /9/ 2/9*1.00																			
MATERIAL: S 235 (S 235) $f_y = 235.00 \text{ MPa}$																			
 SECTION PARAMETERS: TRON 60x5 <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td>h=60.3 mm</td> <td>gM0=1.00</td> <td>gM1=1.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ay=553.00 mm²</td> <td></td> <td>Az=553.00 mm²</td> <td>Ax=868.65 mm²</td> </tr> <tr> <td>tw=5.0 mm</td> <td>Iy=334766.00 mm⁴</td> <td>Iz=334766.00 mm⁴</td> <td>Ix=669531.00 mm⁴</td> </tr> <tr> <td>Wply=15332.12 mm³</td> <td></td> <td>Wplz=15332.12 mm³</td> <td></td> </tr> </table>				h=60.3 mm	gM0=1.00	gM1=1.00		Ay=553.00 mm ²		Az=553.00 mm ²	Ax=868.65 mm ²	tw=5.0 mm	Iy=334766.00 mm ⁴	Iz=334766.00 mm ⁴	Ix=669531.00 mm ⁴	Wply=15332.12 mm ³		Wplz=15332.12 mm ³	
h=60.3 mm	gM0=1.00	gM1=1.00																	
Ay=553.00 mm ²		Az=553.00 mm ²	Ax=868.65 mm ²																
tw=5.0 mm	Iy=334766.00 mm ⁴	Iz=334766.00 mm ⁴	Ix=669531.00 mm ⁴																
Wply=15332.12 mm ³		Wplz=15332.12 mm ³																	
INTERNAL FORCES AND CAPACITIES: N,Ed = -26.01 kN Nt,Rd = 204.13 kN Class of section = 1																			
 LATERAL BUCKLING PARAMETERS:																			
BUCKLING PARAMETERS:																			
 About y axis:		 About z axis:																	
VERIFICATION FORMULAS: <i>Section strength check:</i> $N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$																			
Section OK !!!																			

STEEL DESIGN

CODE: *EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: 40 Beam_40

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00

L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 2 Moving load /9/ 2/9*1.00

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: TREC 150x100x5

h=150.0 mm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=100.0 mm

Ay=955.20 mm²

Az=1432.80 mm²

Ax=2388.00 mm²

tw=5.0 mm

Iy=7465000.00 mm⁴

Iz=3957000.00 mm⁴

Ix=8056000.00 mm⁴

tf=5.0 mm

Wply=121500.00 mm³

Wplz=91500.00 mm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = -154.58 kN

Nt,Rd = 561.18 kN

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nt,Rd = 0.28 < 1.00 (6.2.3.(1))

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: 41 Beam_41

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00

L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 2 Moving load /9/ 2/9*1.00

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: IPE 220

h=220.0 mm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=110.0 mm

Ay=2289.21 mm²

Az=1588.13 mm²

Ax=3337.05 mm²

tw=5.9 mm

Iy=27718400.00 mm⁴

Iz=2048860.00 mm⁴

Ix=88600.00 mm⁴

tf=9.2 mm

Wply=285426.00 mm³

Wplz=58111.90 mm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 90.49 kN

Nc,Rd = 784.21 kN

Nb,Rd = 784.21 kN

Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

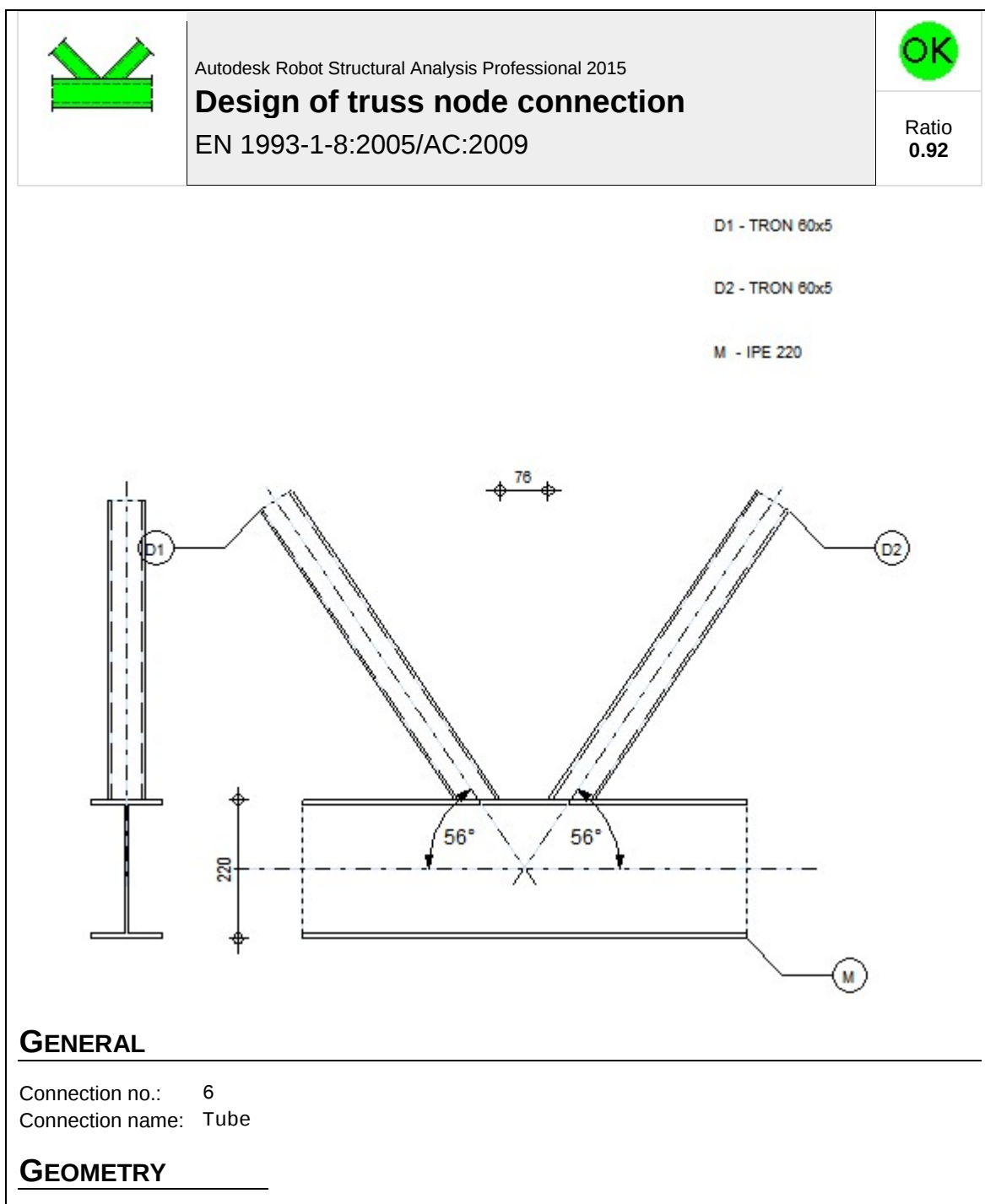
N,Ed/Nc,Rd = 0.12 < 1.00 (6.2.4.(1))

Section OK !!!

У сва три случаја стабилност је задовољена.

Програм Robot омогућава креирање и анализу везе штапова било ког типа (са или без чворног лима). У овом случају штапови испуне су директно заварени за појасне штапове. Везе се могу креирати аутоматски или мануелно. У прилогу 14 приказана је провера везе (мануелно креирана) два штапа са појасним штапом. Дебљина завареног споја износи 5 mm, а силе у дијагоналама по 160 kN.

Прилог 14.



BARS

		Chord	Diagonal 1	Diagonal 2	Post	
Section:		IPE 220	TRON 60x5	TRON 60x5		
	h	220	60	60		mm
	b_f	110	60	60		mm
	t_w	6	5	5		mm
	t_f	9	5	5		mm
	r	12	0	0		mm
Material:		S 235	S 235	S 235		
	f_y	235.00	235.00	235.00		MPa
	f_u	360.00	360.00	360.00		MPa
Angle	θ	0.0	56.0	56.0		Deg
Length	l	4000	2000	2000		mm

OFFSET

$e_0 = 0$ [mm] Offset

SPACINGS

$g_2 = 76$ [mm] Spacing of 2nd diagonal

WELDS

$a_d = 5$ [mm] Thickness of welds of diagonals and posts

LOADS

Case: Manual calculations.

CHORD

$N_{01,Ed} = 160.00$ [kN] Axial force

$M_{01,Ed} = 0.00$ [kN*m] Bending moment

$N_{02,Ed} = 160.00$ [kN] Axial force

$M_{02,Ed} = 0.00$ [kN*m] Bending moment

DIAGONAL 1

$N_1 = 160.00$ [kN] Axial force

$M_1 = 0.00$ [kN*m] Bending moment

DIAGONAL 2

$N_2 = 160.00$ [kN] Axial force

$M_2 = 0.00$ [kN*m] Bending moment

Shear forces were not included in the connection verification. The connection was designed as a truss node.

RESULTS

CAPACITY VERIFICATION EUROCODE 3: EN 1993-1-8:2005

$\gamma_{M5} = 1.00$ Partial safety factor [Table 2.1]

FAILURE MODES FOR JOINTS (I OR H SECTION CHORD MEMBERS) [Table 7.21] for $N_{i,Rd}$ and [Table 7.22] for $M_{i,Rd}$

GEOMETRICAL PARAMETERS

$\beta = 0.55$ Coefficient taking account of geometry of connection bars $\beta = (2*d_2 + 2*d_1)/(4*b_0)$ [1.5 (6)]
 $\gamma = 5.98$ Coefficient taking account of geometry of the chord $\gamma = b_0/2*t_{f0}$

TUBE BRACE FAILURE

DIAGONAL 2

$p_{eff} = 94$ [mm] Effective width in the connection of the diagonal to the chord $p_{eff} = t_w + 2*r + 7*t_f*f_{y0}/f_{y2}$

$N_{2,Rd} = 174.05$ [kN] Tension capacity $N_{2,Rd} = 0.25*\pi*2*f_{y2}*t_2*p_{eff}/\gamma_{M5}$
 $|N_2| \leq N_{2,Rd}$ $|160.00| < 174.05$ **verified** (0.92)

$M_{2,Rd} = 6.68$ [kN*m] Bending resistance $M_{2,Rd} = [f_{y2}*t_2*p_{eff}*d_2]/\gamma_{M5}$
 $|M_2| \leq M_{2,Rd}$ $|0.00| < 6.68$ **verified** (0.00)

$N_2/N_{2,Rd} + M_2/M_{2,Rd} \leq 1$ $0.92 < 1.00$ **verified** (0.92)

DIAGONAL 1

$p_{eff} = 94$ [mm] Effective width in the connection of the diagonal to the chord $p_{eff} = t_w + 2*r + 7*t_f*f_{y0}/f_{y1}$

$N_{1,Rd} = 174.05$ [kN] Tension capacity $N_{1,Rd} = 0.25*\pi*2*f_{y1}*t_1*p_{eff}/\gamma_{M5}$
 $|N_1| \leq N_{1,Rd}$ $|160.00| < 174.05$ **verified** (0.92)

$M_{1,Rd} = 6.68$ [kN*m] Bending resistance $M_{1,Rd} = [f_{y1}*t_1*p_{eff}*d_1]/\gamma_{M5}$
 $|M_1| \leq M_{1,Rd}$ $|0.00| < 6.68$ **verified** (0.00)

$N_1/N_{1,Rd} + M_1/M_{1,Rd} \leq 1$ $0.92 < 1.00$ **verified** (0.92)

CHORD SHEAR

DIAGONAL 2

$A_v = 1588.13$ [mm²] Shear area of the chord $A_v = A_0 - (2-\alpha)*b_f*t_f + (t_w + 2*r)*t_f$

$N_{2,Rd} = 259.91$ [kN] Tension capacity $N_{2,Rd} = f_{y0}*A_v/\sqrt{3}*\sin(\theta_2)/\gamma_{M5}$
 $|N_2| \leq N_{2,Rd}$ $|160.00| < 259.91$ **verified** (0.62)

DIAGONAL 1

$A_v = 1588.13$ [mm²] Shear area of the chord $A_v = A_0 - (2 - \alpha) \cdot b_r \cdot t_r + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_r$

$N_{1,Rd} = 259.91$ [kN] Tension capacity $N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot A_v / \sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1) / \gamma_{M5}$
 $|N_1| \leq N_{1,Rd}$ | 160.00 | < 259.91 **verified** (0.62)

CHORD RESISTANCE

$V_{pl,Rd} = 215.47$ [kN] Plastic resistance for shear $V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{y0}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
 $|V_{Ed}| \leq V_{pl,Rd}$ | 132.65 | < 215.47 **verified** (0.62)

$N_{0,Rd} = 705.11$ [kN] Tension capacity $N_{0,Rd} = [(A_0 - A_v) \cdot f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \cdot \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2}] / \gamma_{M5}$
 $|N_{01}| \leq N_{0,Rd}$ | 160.00 | < 705.11 **verified** (0.23)

CHORD WEB YIELDING

DIAGONAL 2

$b_w = 179$ [mm] Effective width for the chord web $b_w = d_2 / \sin(\theta_2) + 5 \cdot (t_r + r)$

$M_{2,Rd} = 6.85$ [kN*m] Bending resistance $M_{2,Rd} = 0.5 \cdot f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w \cdot (d_2 - t_2) / \gamma_{M5}$
 $|M_2| \leq M_{2,Rd}$ | 0.00 | < 6.85 **verified** (0.00)

DIAGONAL 1

$b_w = 179$ [mm] Effective width for the chord web $b_w = d_1 / \sin(\theta_1) + 5 \cdot (t_r + r)$

$M_{1,Rd} = 6.85$ [kN*m] Bending resistance $M_{1,Rd} = 0.5 \cdot f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w \cdot (d_1 - t_1) / \gamma_{M5}$
 $|M_1| \leq M_{1,Rd}$ | 0.00 | < 6.85 **verified** (0.00)

CHORD WEB INSTABILITY

DIAGONAL 2

$N_{2,Rd} = 298.92$ [kN] Tension capacity $N_{2,Rd} = (f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w / \sin(\theta_2)) / \gamma_{M5}$
 $|N_2| \leq N_{2,Rd}$ | 160.00 | < 298.92 **verified** (0.54)

DIAGONAL 1

$N_{1,Rd} = 298.92$ [kN] Tension capacity $N_{1,Rd} = (f_{y0} \cdot t_w \cdot b_w / \sin(\theta_1)) / \gamma_{M5}$
 $|N_1| \leq N_{1,Rd}$ | 160.00 | < 298.92 **verified** (0.54)

VERIFICATION OF WELDS

DIAGONAL 2

$\beta_w =$	0.80	Correlation coefficient	[Table 4.1]
$\gamma_{M2} =$	1.25	Partial safety factor	[Table 2.1]

Longitudinal weld

$\sigma_{\perp} =$	70.50 [MPa]	Normal stress in a weld	
$\tau_{\perp} =$	70.50 [MPa]	Perpendicular tangent stress	
$\tau_{\parallel} =$	67.25 [MPa]	Tangent stress	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$		$ 70.50 < 259.20$	verified (0.27)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$182.90 < 360.00$	verified (0.51)

Transverse inner weld

$\sigma_{\perp} =$	78.38 [MPa]	Normal stress in a weld	
$\tau_{\perp} =$	28.66 [MPa]	Perpendicular tangent stress	
$\tau_{\parallel} =$	0.00 [MPa]	Tangent stress	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$		$ 78.38 < 259.20$	verified (0.30)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$92.78 < 360.00$	verified (0.26)

Transverse outer weld

$\sigma_{\perp} =$	28.66 [MPa]	Normal stress in a weld	
$\tau_{\perp} =$	78.38 [MPa]	Perpendicular tangent stress	
$\tau_{\parallel} =$	0.00 [MPa]	Tangent stress	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$		$ 28.66 < 259.20$	verified (0.11)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$138.76 < 360.00$	verified (0.39)

DIAGONAL 1

$\beta_w =$	0.80	Correlation coefficient	[Table 4.1]
$\gamma_{M2} =$	1.25	Partial safety factor	[Table 2.1]

Longitudinal weld

$\sigma_{\perp} =$	70.50 [MPa]	Normal stress in a weld	
$\tau_{\perp} =$	70.50 [MPa]	Perpendicular tangent stress	
$\tau_{\parallel} =$	67.25 [MPa]	Tangent stress	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$		$ 70.50 < 259.20$	verified (0.27)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$182.90 < 360.00$	verified (0.51)

Transverse inner weld

$\sigma_{\perp} =$	78.38 [MPa]	Normal stress in a weld	
$\tau_{\perp} =$	28.66 [MPa]	Perpendicular tangent stress	
$\tau_{\parallel} =$	0.00 [MPa]	Tangent stress	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$		$ 78.38 < 259.20$	verified (0.30)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$92.78 < 360.00$	verified (0.26)

Transverse outer weld

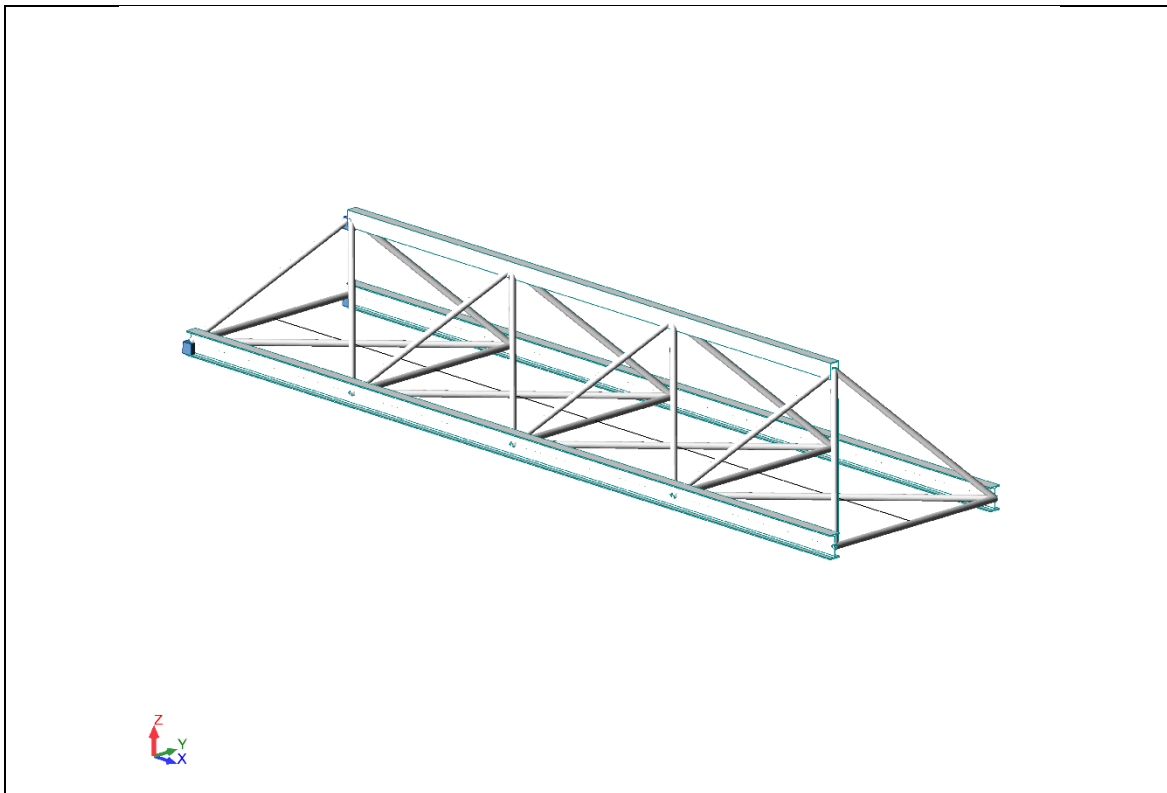
$\sigma_{\perp} =$	28.66 [MPa]	Normal stress in a weld	
$\tau_{\perp} =$	78.38 [MPa]	Perpendicular tangent stress	
$\tau_{\parallel} =$	0.00 [MPa]	Tangent stress	
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$		$ 28.66 < 259.20$	verified (0.11)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$138.76 < 360.00$	verified (0.39)

Connection conforms to the code	Ratio	0.92
--	-------	------

Како је извршена провера ове везе, тако се може извршити провера за било који чвор.

У прилогу 15 приказан је коначан излед модела. Програм нема могућност реалистичног приказа везе штапова у чворовима. Овај приказ има за циљ сагледавање конструкције и њених елемената, али не и техничког извођења чворова.

Прилог 15.



11. ЗАКЉУЧАК

Приликом сваког пројектовања конструкције треба настојати да се материјал економично искористити. Пројекат треба да задовољи архитектонске и естетске захтеве. При томе се не смеју запоставити специфични елементи који сваку конструкцију чине посебном.

Код решеткастих носача постоји велика могућност комбиновања профила при њиховом претходном прорачуну. Најчешће се примењују комбинације I, T-профила за појасне штапове због њихових повољних геометријских карактеристика и могућности постављања чворних лимова на њих. За штапове испуне најчешће се користе цевasti профили као и стандардни ваљани L-профили. Веза штапова испуна и појасних штапова може се остварити закивцима, завртњевима или заваривањем. Велики напредак технологије заваривања обезбедио је да заваривање иде у први план спајања штапова носача мањих носивости. За веће носивости готово је неопходно користи чворне лимове. Између осталог, I-профил су погодни, јер се чворни лим убацује на месту исеченог ребра. На тај начин врши се боље центрисање штапова.

Основни циљ конструктора је да добије носач одређене носивости, уз минимални утршак челика, што се може постићи рационалним коришћењем различитих попречних пресека за различите штапове решеткасте конструкције.

Главна конкуренција решеткастим носачима су лимени носачи. Предности решеткастих носача огледа се у већим распонима и носивостима док је величина самог носача нужно већа од лимених. Примена решеткастих носача је неспорно доминатна у односу на лимене носаче. Цена израде конструкције је дискутабилна, јер се технологија непрекидно развија и увек се налазе решења за бољом, једноставнијом и јефтинијом израдом конструкције. Различити извори наводе да су лимени носачи јефитнији, док други извори тврде супротно.

У раду је детаљно објашњена теоријска основа решеткастих конструкција, време настанка, као и типови решетки који су првобитно конструисани и из којих разлога се и дан данас примењују без већих измена.

Такође, извршена је анализа начина конструисања решеткастих носача.

Објашњени су аналитички, графички и графоаналитички поступци за одређивање сила у штаповима као једног од основних параметара за анализу напона у конструкцији.

Извршен је преглед попречних пресека штапова испуна у зависности од оптерећења и начина везивања са појасним штаповима. Штапови испуне могу бити оптерећени на затезање и при пројектовању се тежи да такав број штапова буде што већи, док, с друге стране, постоји тежња да се смањи број штапова који могу бити оптерећени на притисак.

Анализиране су предности и мане веза штапова са и без чворног лима. Превасошно се ове групе разликују по оптерећености носача. За носаче мање носивости користи се поступак заваривања и директног спајања штапова испуна са појасним штаповима. У супротном, примењују се чворни лимови за које штапови испуне могу бити спојени заваривањем, завртњевима и ређе закивцима.

Сагледани су сви позитивни аспекти примене апликација и рачунарских софтвера за анализу металних конструкција. Када су у питању апликације акценат је на једноставном коришћењу и брзим резултатима анализа.

За озбиљније анализе представљени су, у свету веома признати, програмски пакети SAP2000 и Autodesk Robot Structural Analysis. У њиховој сенци налазе се јефтинији и једноставнији програми са доста мање могућности.

На конкретној решеткистој конструкцији приказане су могућности програма Robot Structural Analysis у коме је извршена детаљна анализа и симулација конструкције. Све анализе вршене су према EVROCODE стандардима.

У раду су наведени основни параметри решеткисте конструкције. У прилозима су дате анализе сила, утицајних линија услед покретног оптерећења, као и анализа напона. Детаљно је приказан прорачун везе штапова у завареној изради. Такође, приказана је анализа штапова на извијање по Еврокоду.

Најразвијеније земље Европе, чланице Европске Уније, пре више од двадесет година, започеле су рад у циљу усаглашавања националних техничких прописа и стандарда из области грађевинског конструисања. Програмом Еврокода за конструкције предвиђено је девет делова. Један од њих је прорачун челичних конструкција означен као Еврокод 3 (EC3). При стварању Еврокодова примењивали су се принципи једноставности, систематичности и униформности.

Еврокод 3, такође, даје правила за прорачун механичких спојних средстава (закивака, завртњева и чепова) и заварених шавова, као и прецизна упутства за одређивање утицаја у спојним средствима за карактеристичне типове веза. У делу који се односи на статички оптерећене везе дати су и критеријуми за категоризацију веза у погледу крутости и отпорности.

Водеће европске земље из области металних конструкција (Немачка, Француска, Енглеска, Швајцарска) већ су објавиле своје Националне документе за примену Еврокода 3. Израда Националног документа за примену Еврокода 3 код нас је још увек у току.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Буђевац Д., Марковић З. и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд, 2007.
- [2] Бабин Н., Бркљач Н., Шостаков Р., Металне конструкције, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2006.
- [3] Петковић З., Острић Д., Металне конструкције у машиноградњи, Институт за механизацију Машинског факултета у Београду, Београд, 1996.
- [4] Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – Приручник за прорачуне, Машински факултет, Крагујевац, 1998.
- [5] Митровић С.: Металне и дрвене конструкције 2, Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, 2011.
- [6] Еврокод 3
- [7] Бешевић М, Тешановић А.: Металне конструкције 2-хале и складишта, Грађевински факултет у Суботици, Суботица 2011.
- [8] Сулјок-Селимбеговић М.: Челичне конструкције, Архитектонски факултет Свеучилишта у Загребу, 2003.
- [9] <http://trusses1.software.informer.com/software/> , преузето 23.06.2015
- [10] <http://www.acecoms.ait.ac.th/swpricelist.asp?1=8> , преузето 23.06.2015
- [11] http://www.monarch.hu/_arak/_eng/adesk-arak-ip.shtml , преузето 23.06.2015
- [12] <http://www.csiamerica.com/products/sap2000/features> , преузето 23.06.2015
- [13] <http://opusteno.rs/slike/2011/03/izgradnja-ajfelove-kule-10393/izgradnja-ajfelove-kule-3.html> , преузето 23.06.2015
- [14] http://www.liebherr.com/CC/en-GB/region-US/products_cc.wfw/id-12471-0/measure-nonMetric , преузето 23.06.2015
- [15] http://www.kasirgakovinc.com/kulevinc_QLCM---Q2200---80-Ton_1_en.html , преузето 23.06.2015
- [16] <http://www.mathalino.com/reviewer/engineering-mechanics/method-joints-analysis-simple-trusses> , преузето 23.06.2015
- [17] <http://budi.inzenjer.org/2012/05/kulmanova-metoda/#more-340> , преузето 23.06.2015
- [18] http://www.comp-engineering.com/products/SAP2000/graphic_highlights.html , преузето 23.06.2015

- [19] <https://adaptsolutions.wordpress.com/rsa/> , преузето 23.06.2015
- [20] <http://www.autodesk.com/products> , преузето 23.06.2015
- [21] <http://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2015/ENU/?guid=GUID-B07BC8A4-63BD-4602-AF32-3F45F7435E1D> , преузето 23.06.2015
- [22] <http://www.cn-towercrane.com/QTZ63F-5810--Tower-Crane-18.html> , преузето 23.06.2015
- [23] http://www.academia.edu/10431451/Klasi%C4%8Dne_i_savremene_metode_prora%C4%8Duna_re%C5%A1etkastih_konstrukcija , преузето 23.06.2015
- [24] <http://www.grad.hr/nastava/gs/sr/rpmk.pdf> , преузето 23.06.2015
- [25] <http://loadlearning.com/page/177/-Resetkasti-nosaci> , преузето 23.06.2015
- [26] <http://www.ivanakovacic.rs/pdf/01%20Resetkasti%20nosaci.pdf> , преузето 23.06.2015
- [27] <http://www.vpts.edu.rs/nastavni-materijali/djordjedjuricic/Metalne%20i%20drvene%20konstrukcije/Metalne%20konstrukcije/11%20Resetkasti%20nosaci.pdf> , преузето 23.06.2015
- [28] Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010 Training Manual – Metric Version
- [29] Марковић З.: Гранична стања челичних конструкција према Еврокоду, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд 2013
- [30] <https://www.dlubal.com/en/about-us.aspx>, преузето 23.06.2015
- [31] <https://www.dlubal.com/en/>, преузето 23.06.2015