

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Металне конструкције

Број индекса: 64/2017

Марко М. Арнаутовић

Употреба решеткастих конструкција при пројектовању кранова

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

Др Весна Марјановић - Ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- Да преглед карактеристика решеткастих конструкција и опише где се оне и зашто употребљавају,
- Посебан осврт на употребу конструкција при пројектовању кранова,
- Прикаже пример пројектовања стреле крана

Препоручена литература:

- [1] Петковић З., Острић Д., Металне конструкције у машиноградњи 1, Институт за механизацију Машинског факултета у Београду, Београд 1996.
- [2] Буђевац Д., Марковић З., и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд, 2007.
- [3] Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције- приручник за прорачуне, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 1998.

Крагујевац 02.03.2020

Ментор:

Др Весна Марјановић

Садржај

1. Увод.....	1
2. Решеткасте конструкције	4
3. Прорачун при конструисању решеткастих носача	11
4. Облици попречног пресека решеткастог носача	13
5. Дизалице	15
6. Торањске (грађевинске) дизалице	19
7. Софтвер Autodesk Robot Structural Analysis	23
8. Анализа конкретног примера решеткасте конструкције	30
8.1 Моделирање, задавање оптерећења и анализа првог дела стреле крана	32
8.2 Анализа везе штапова	47
9. Закључак	52
Литература.....	53

Резиме

У овом завршном раду се описују карактеристике решеткастих конструкција и зашто су оне у неким ситуацијама боље од осталих типова конструкција. Дата су поделе конструкција и њихово поље примене. Описане су карактеристике дизалица а посебна пажња је на грађевинским дизалицама. На крају рада дата је анализа у софтверу **Autodesk Robot Structural Analysis**, који је пример практичне примене решеткастог носача у конструисању грађевинских кранова.

Кључне речи: Решеткасти носачи, анализа, грађевинске дизалице,

Abstract

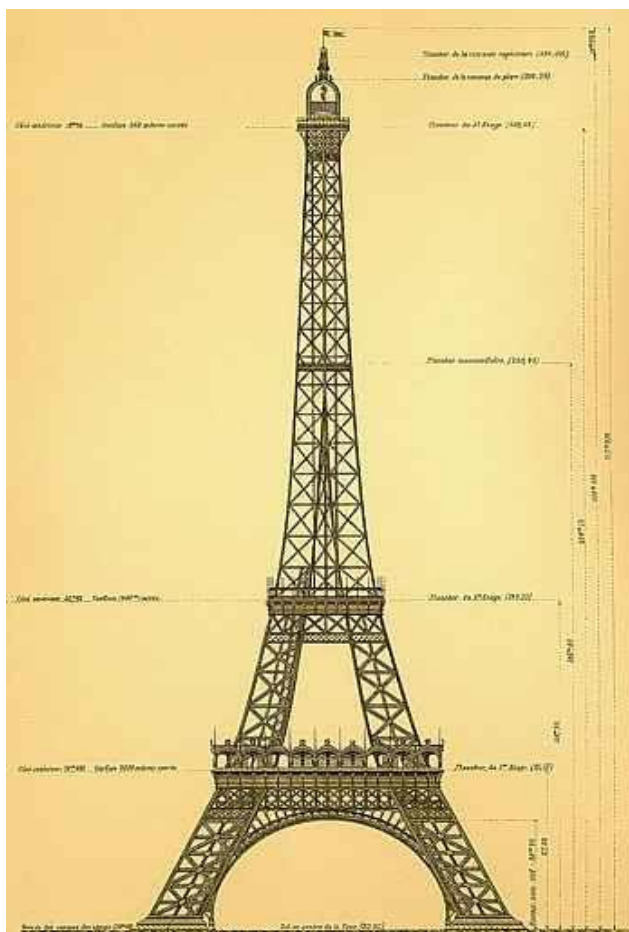
In this work we are describing characteristics of lattice constructions and why they are better in some cases than others types of constructions. We gave divisions and they field of use. Described characteristics of cranes and special attention is on tower cranes. In the end of work we gave analysis in software **Autodesk Robot Structural Analysis**, we analysed example of lattice bracket, that can be seen in practical use in construction of tower crane.

Key word: Lattice bracket,analyse, tower cranes.

1.Увод

Решеткасти носачи се примењују када конструкција треба да пренесе оптерћење преко великог распона и дохвата, они су настали из циља да се уз минимални утошак материјала добије што боља конструкција. Уз решеткасте носаче постоје и пуни носачи, и то су два основна типа носача. Предност решеткасти носача у односу на пуне је мањи утошак материјала и самим тим и већа носивост. Практични примери се могу наћи у грађевинским и машинским конструкцијама.

Једна од првих конструкција која је израђена од решеткастих носача је Ајфелов торањ, она је значајна за машинство јер је то пројекат на коме је радило преко 50 инжењера и одрађено је преко 18 000 техничких цртежа, као и прорачуна носивости конструкције, оптерећења и др.



Слика 1.1 Ајфелова кула (торањ) [14]

Код пуних носача напон на граници еластичности се мења са променом поречног пресека, док се код штапова у решеткастим носачима вредност напона не мења већ носивост мењамо бројем штапова који чине конструкцију. У штаповима решеткастих носача јављају се само аксијалне притискујуће или затежуће силе и константан нормални напон у попречном пресеку. То је и велика предност ових конструкција јер је прорачун напона и деформација једноставан.

Од давнина је постојала жеља човечанства да преко неких помагала диже терет на висину, стари грци су први осмислили дизалицу која је у почетку била погођена људском снагом а затим животинском снагом. Дизалице представљају веома битне машине у инжењерству. Данас се могу наћи разни облици дизалица и они су специфични за различите употребе. У овом раду ћемо се највише бавити грађевинским дизалицама. Торањска дизалица се састоји од стуба и стреле(руке), на стрели се налази систем ужади за пренос терета.



Слика 1.2 Конструктивно решење крана из 15. века [16]

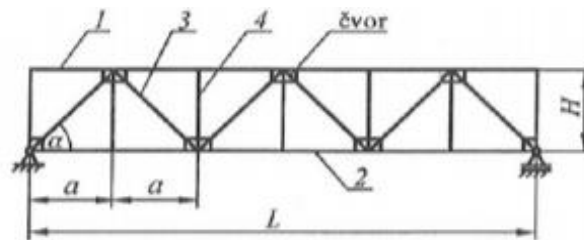


Слика 1.3 Савремено конструктивно решење највеће дизалице на свету [17]

2. Решеткасте конструкције

Из тежње да се се добију носачи уз минималан утрошак материјала настају решеткасти носачи. У погледу на утрошени материјал, решеткасти носачи су повољнији од пуних. Са друге стране технологија израде решеткастих носача је сложенија од технологије израде пуних носача.

Решеткасти носачи се састоје од појасних штапова и штапова испуне (Слика 2.1.), док се појасни штапови састоје од горњег (1) односно доњег појаса (2), а штапови испуне састоје од дијагонала (3) и вертикала (4) који формирају троугаону структуру. Овако конструисани носачи су идеални за велике распоне и већа оптерећења.



Слика 2.1. Скица са позицијама решеткастог носача (1, 2 су појасеви, 3 дијагонале, 4 вертикале)

Како су штапови решеткастих носача аксијално напрегнути дијаграм нормалних напона је константан, па се може остварити боље искоришћење напона него код пуних носача, код којих се у области еластичног померања нормални напони линеарно мењају по висини попречног пресека. Отуда проистиче мањи утрошак материјала у односу на еквивалентне пуне носаче. Међутим израда решеткастих носача захтева већи број радних операција па је јединична цена решеткастих већа у односу на пуне носаче. [2]

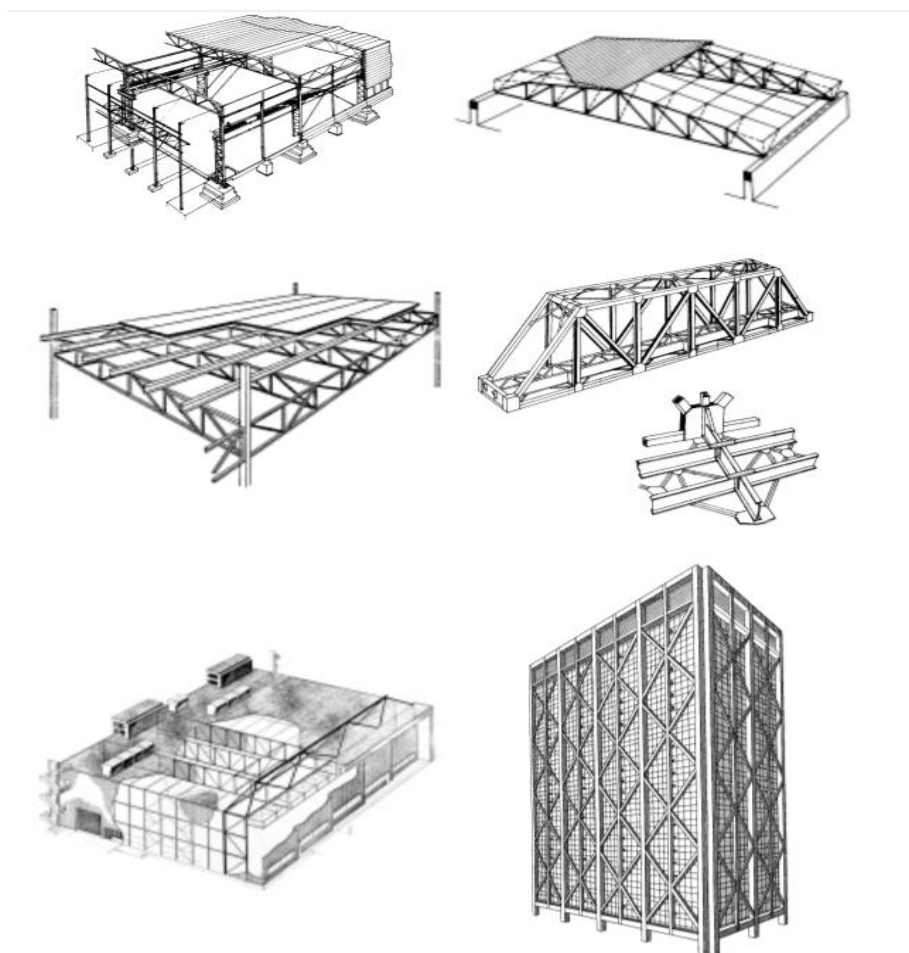
Пријем момената савијања остварује се помоћу појасних штапова а штапови испуне прихватају само смичуће силе. Углавном се примењују за пријем тешких оптерећења и премощавање великих распона, јер се у тим случајевима пуни носачи тешки и нерационални. [2],

Решеткасти носачи представљају право решење искључиво код великих распона оптерећених статичким оптерећењем. Примена решеткастих носача код машина за механизацију је готово обавезна. [1]

Примењују се код:

- Грађевинских дизалица
- Великих роторних багера
- Мостова великих распона
- Кровних носача

На слици 2.2 су приказани примери примене решеткастих конструкција у зградарству и машиноградњи



Слика 2.2 Примери примене решеткастих конструкција [2]

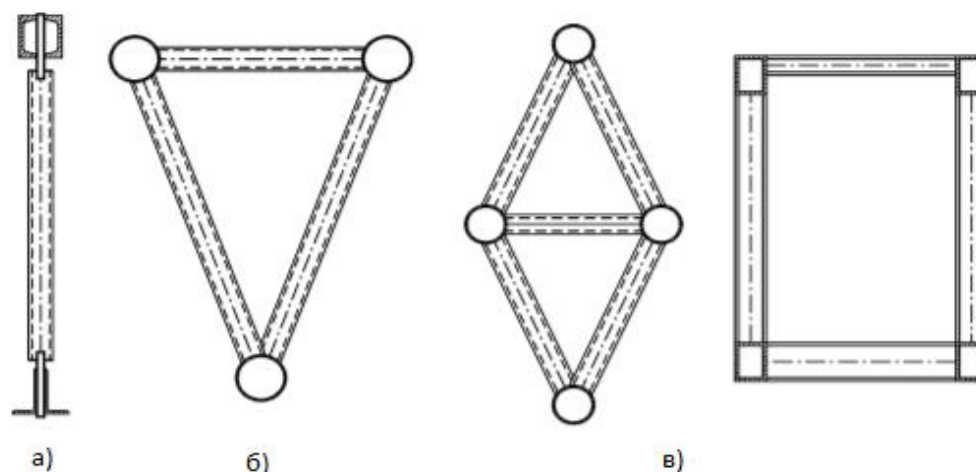
На основу приказаних примера може да се уочи разноликост димензија, облика и просторног положаја решеткастих носача. Имајући у виду ове, али и друге разлика које се пре свега односе на конструкцијско обликовање, извршена је подела решеткастих носача

.Подела може да се изврши на основу више критеријума:

- Према броју појасева
- Према просторном положају
- Према интензитету напрезања
- Према начину обликовања чворова

Према броју појасева, могу се поделити на: двопојасне(Слика 3. под а) и вишепојасне(Слика 2.3. под б,в);

Двопојасни се састоје од два појаса, док вишепојасни могу да имају три, четири, пет, па чак у неким ситуацијама и шест појасева.



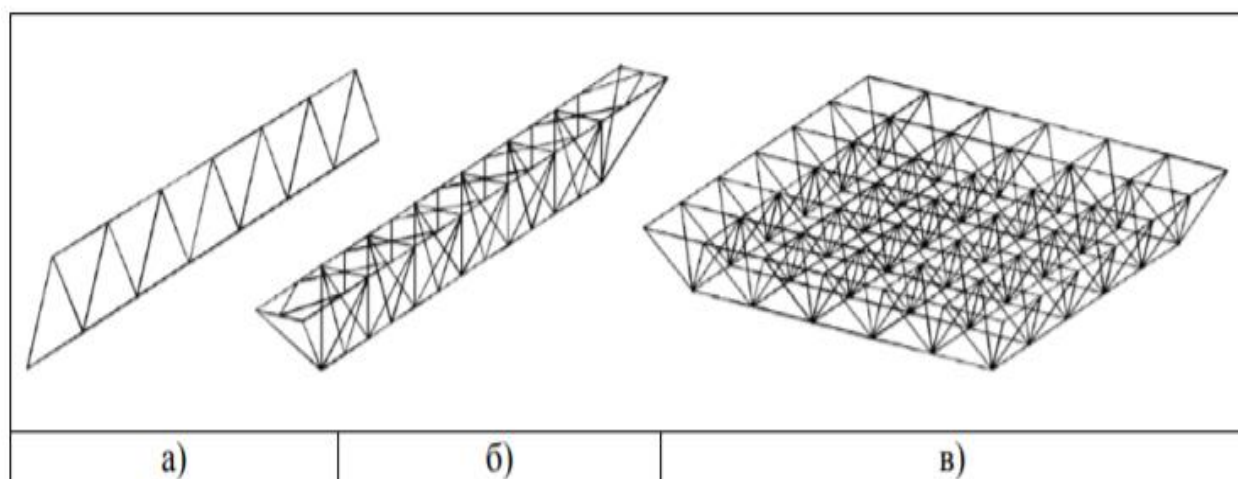
Слика 2.3. Подела по броју појасева [2]

С обзиром на просторни положај штапова могу се поделити на раванске и просторне. Равански решеткасти носачи(Слика 2.4. под а) су носачи код којих осне линије свих штапова леже у једној равни па ти носачи имају два појаса што значи да се могу сврстати у двопојасне носаче. Када осне линије штапова не леже у једној равни већ формирају просторну структуру онда су то просторне вишепојасне решетке. Са статичког становишта просторни решеткасти носачи могу се поделити на линијске и

површинске. Линијски носачи (Слика 2.4. под б) имају јасно изражен правац пружања, односно једну димензију (дужину) која је доминантна у односу на друге две (ширину и висину попречног пресека).

Површински просторни решеткасти (Слика 2.4. под в) носачи представљају дискретизацију плоча. Као и код пуних површинских носача и код решеткастих носача две димензије су доминантне у односу на трећу (висину решеткаског носача).

Моменти савијања, који се код плоча јављају у два правца, прихватају се мрежом аксијано напрегнутих појасних штапова, док се смичуће силе код прихватају штаповима испуне. Основе мреже просторних носача углавном су тетраедар и октаедар, чијим понављањем се образује простурна структура. [2]



Слика 2.4. Подела решеткастих носачи према просторном положају [3]

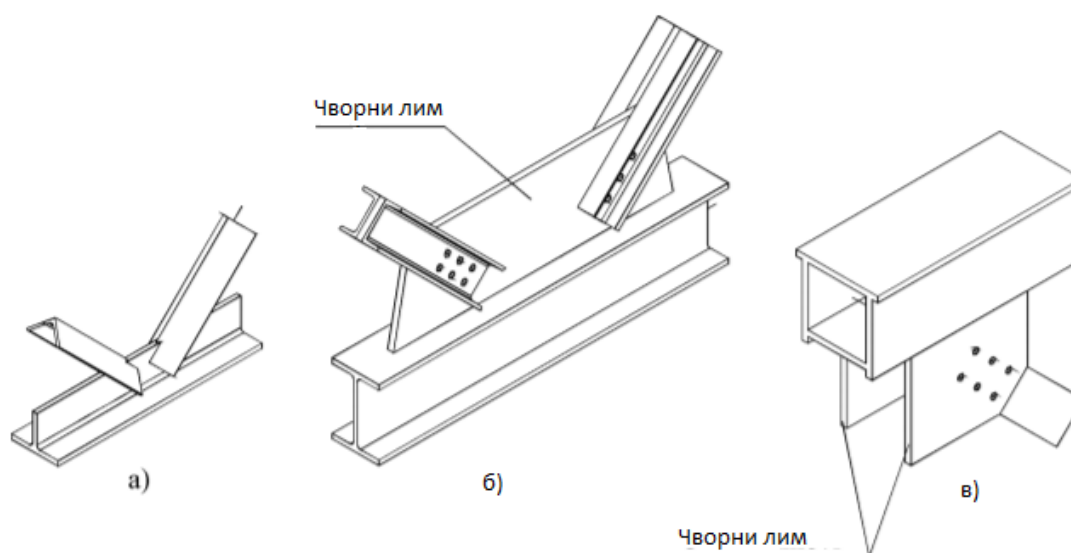
Према интензитету оптерећења решеткасти носачи се деле на: лаке, средње, тешке.

Лаки решеткасти носачи (Слика 2.5. под а) се користе углавном у зградарству, када су оптерећења мала и умереног интензитета. Израђују се најчешће од ваљаних L, T, U и евентално I профила или хладно обликованих профила отвореног и затвореног попречног пресека.

Средње тешки носачи (Слика 2.5. под б) се примењују за веће распоне и оптерећења значајног интензитета и то углавном као кровни и подни носачи или као крански носачи у

индустријским објектима. Профили који се користе као штапови решеткастих носача су претежно тешки ваљани профили (U, I, IPE, HEA, HEB). [2]

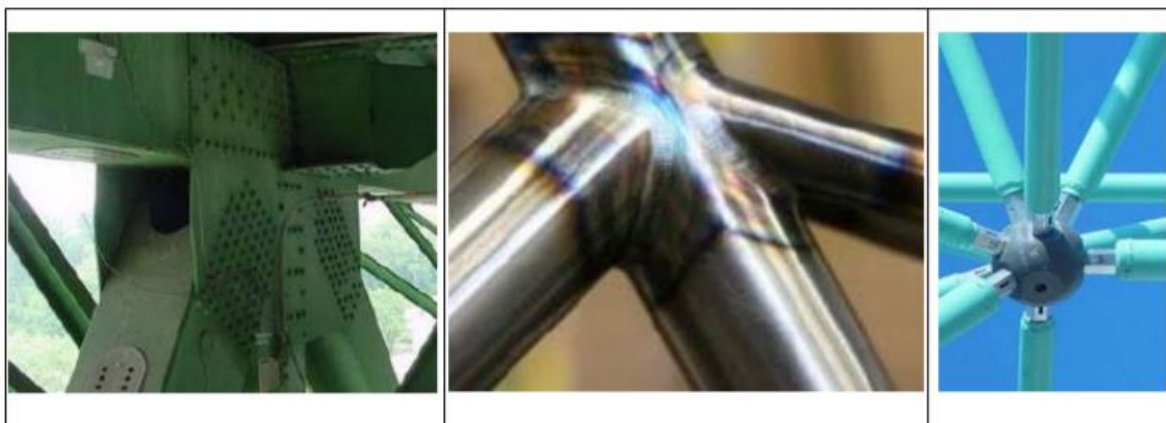
Тешки решеткасти носачи (Слика 2.5. под в) се по правилу примењују код изузетно великих распона и оптерећења. Најчешће се користи код главних мостовских носача јер се они изводе као решеткасти носачи за распоне од 30 до 100 m. Примењују се и као кровни носачи у спортским и конгресним дворима, стадионима. Штапови тешких решеткастих носача се углавном изводе у завареној изради и то сандучастих или I попречних пресека. [2]



Слика 2.5. Подела решеткастих носача по интензитету напрезања [2]

Према начину обликовања чворова, односно остваривању везе између појасних штапова и штапова испуне деле се на:

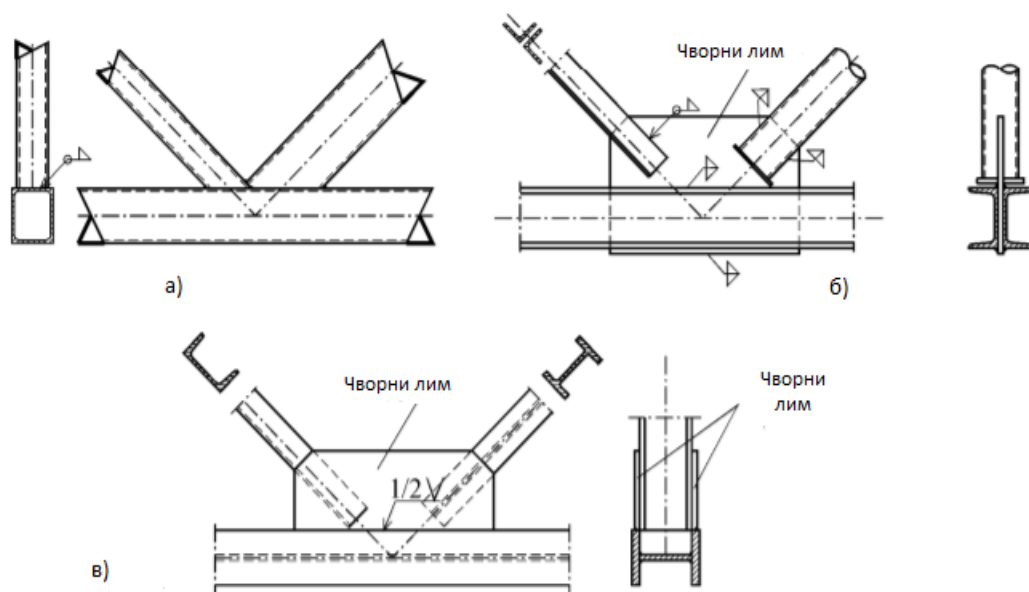
- Решеткасте носаче без чворног лима (Слика 2.7. под а);
- Решеткасте носаче са чворним лимом (Слика 2.7. под б, в);



Слика 2.6. Разни примери решења спајања штапова у чвор

Решеткасти носачи без чворног лима су носачи код којих се веза у чвору остварује директним везивањем штапова испуне за појасне штапове било завртњевима или заваривањем. Без чворног лима се најчешће израђују лаки решеткасти носачи, али се могу користити и за конструисање средње тешких конструкција. [2]

Решеткасти носачи са чворним лимом су носачи код којих се појасни штапови и штапови испуне повезују помоћу додатних лимова који се називају чворни лимови. Можемо да их поделимо на то колико чворних лимова се користи при повезивању штапова, па тако можемо имати један чворни лим за прикључак и они се називају једнозидни решеткасти носачи и користе се за лаке и средње тешке носаче у зградству, а када се веза остварује преко два чворна лима који леже у две паралелне равни такви носачи се називају двозидни решеткасти носачи. [2]



Слика 2.7. Подела решеткастих носача према обликовању чворног лима а) без чворног лима , б) са чворним лимом – једнозидни , в) са чворним лимом - двозидни [2]

3. Прорачун при конструисању решеткастих носача

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

На чворни лим и на његов облик највише утичу оптерећење и попречни пресек штапа. Са повећањем оптерећења долази до мањег броја опција којма се може обликовати чвориште и потребно је користити чворни лим за везу штапова.

Димезионисање штапова је поприлично једноставно, али оно што може да изазове потешкоћу је карактер силе, односно да ли је та сила притискујућа или затежућа. Укилоко је сила у штапу притискујућа она може изазвати нежељена избочавања и нестабилности штапа пре него дође до критичног напона према коме је тај штап димезионисан. У том смислу прибегава се попречним пресецима који су погодни за подношење тих врста деформација и проверавају се на извијање[3] .

С друге стране треба обратити пажњу на позиционирање штапова у чворишту. Неопходно је да се тежишне линије попречних пресека штапова секу у једној тачки званој тачка чвора. Како попречни пресеци штапова, димензије чворног лима као и димензије читаве конструкције понекад то не дозвољавају, мора се одступити од тог правила. Такво одступање дозвољено је само у случају кад је оптерећење решеткастог носача слабо.

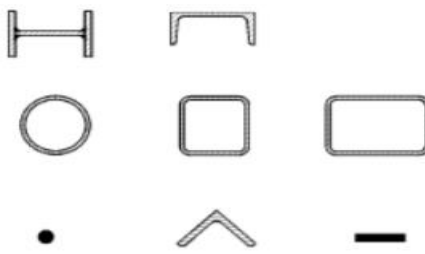
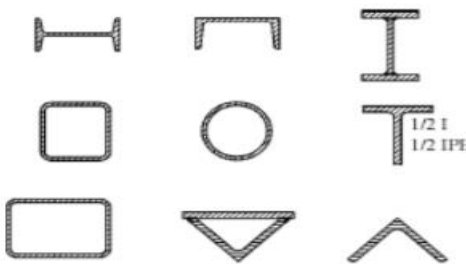
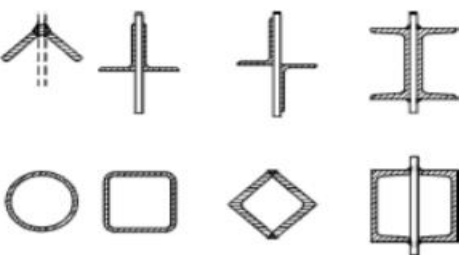
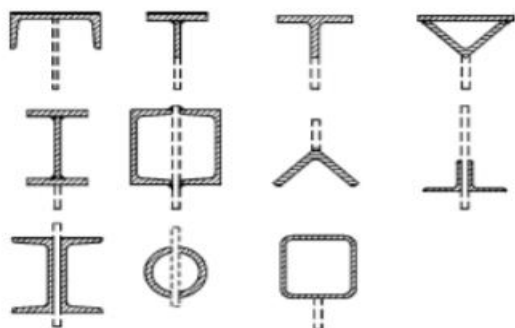
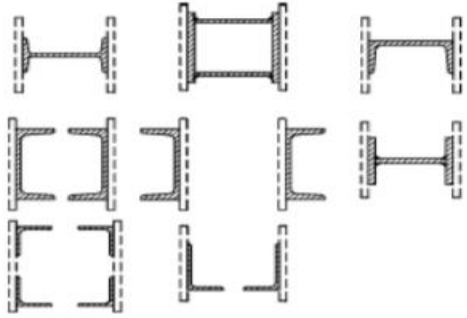
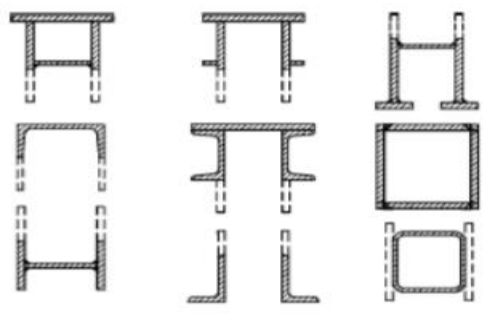
На основу свега овога може се закључити да основна правила (претпоставке) која превасходно треба поштовати, ако то случај дозвољава, су[3] :

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

Када конструишемо решеткисте носаче можемо наићи на статички одређен или статички неодређен задатак, што зависи од тога колики је број штапова чине конструкцију. Статички одређен решеткисти носач је најчешће сачињен од штапова који чине непроменљив геометријски облик, обично троугао или тетраедар код раванских односно просторних решеткистих носача. Код статички неодређених решетки број штапова у чвору је већи од три.

4.Облици попречног пресека штапова решеткастог носача

Разни фактори утичу на избор попречног пресека штапа , као што су интензитет напрезања, положај штапа у конструкцији, до тога како се штап везује у чвор. Попречни пресек чине сви стандардни ваљани профили који могу бити отвореног и затвореног попречног пресека. На слици су приказани неки од најчешће коришћених попречних пресека за израду штапова испуне и појасних штапова.(Слика 4.1)

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

Слика 4.1. Облици попречних пресека штапова при изради решеткастих носача[3]

Са ове слике можемо да закључимо да се попречни пресек штапа бира на основу врсте штапа тј. да ли је штап испуне или појасни штап. Такође се бира и на основу типа везе која је извршена у чвору, односно да ли има чворног лима или нема.

Избор попречног пресека штапа испуне не можемо вршити независно од појасног штапа, поготово не можемо вршити комбинацију штапова код носача без чворног лима.

5. Дизалице

Дизалице су средства за транспорт и манипулацију са цикличним дејством и то је група најшире примењених средстава у руковању материјалима и присутне су практично од древних цивилизација до данас. Примењују се у лукама, транспортним центрима, на градилиштима, индустријским халама, радионицама итд. Најзначајнија операција која се изводи дизалицом јесте подизање и спуштање терета.

Могу се класификовати на више начина, али најбитније класификације су према врсти погона и конструкцији.

Према врсти погона можемо да их разврстамо у две групе:

- Погођене електричним моторима;
- Погођене СУС моторима;

Дизалице погођене електро-моторима се углавном крећу по шинама, док дизалице погођене СУС моторима имају носећи рам и погон сличан аутомобилима.

Дизалице према конструкцији могу се класификовати у више група:

- Конзолне;
- Грађевинске (Торањске);
- Мосне;
- Рамне;
- Порталне;
- Ауто дизалице;
- Чекрци;
- Ручне дизалице;

Неки од примера дизалица су дати на следећим сликама:



Слика 5.1 Двогредна мосна дизалица. [4]



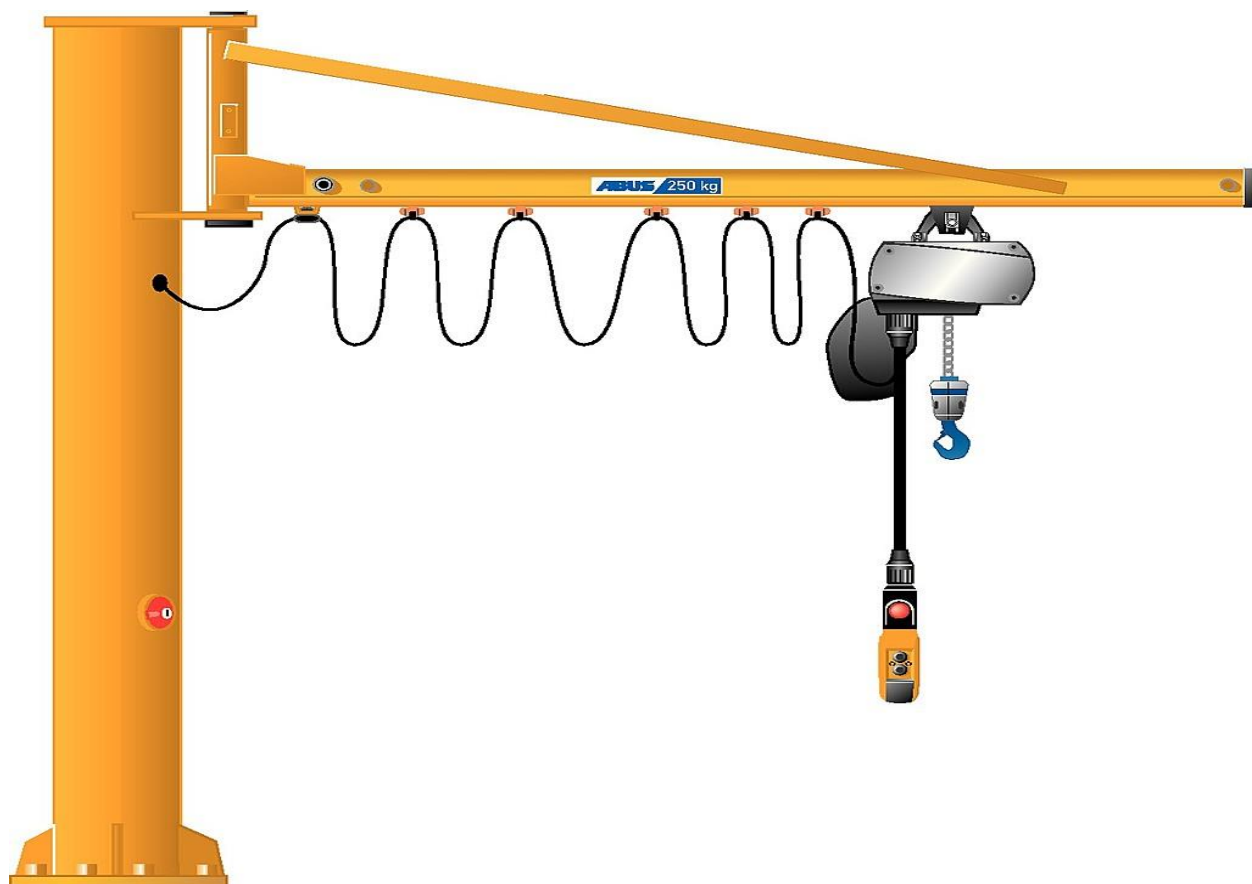
Слика 5.2 Портална дизалица.[5]



Слика 5.3 Ауто дизалица.[7]



Слика 5.4 Торањска дизалица.[6]



Слика 5.5 Конзолна дизалица [8]

6. Торањске (грађевинске) дизалице

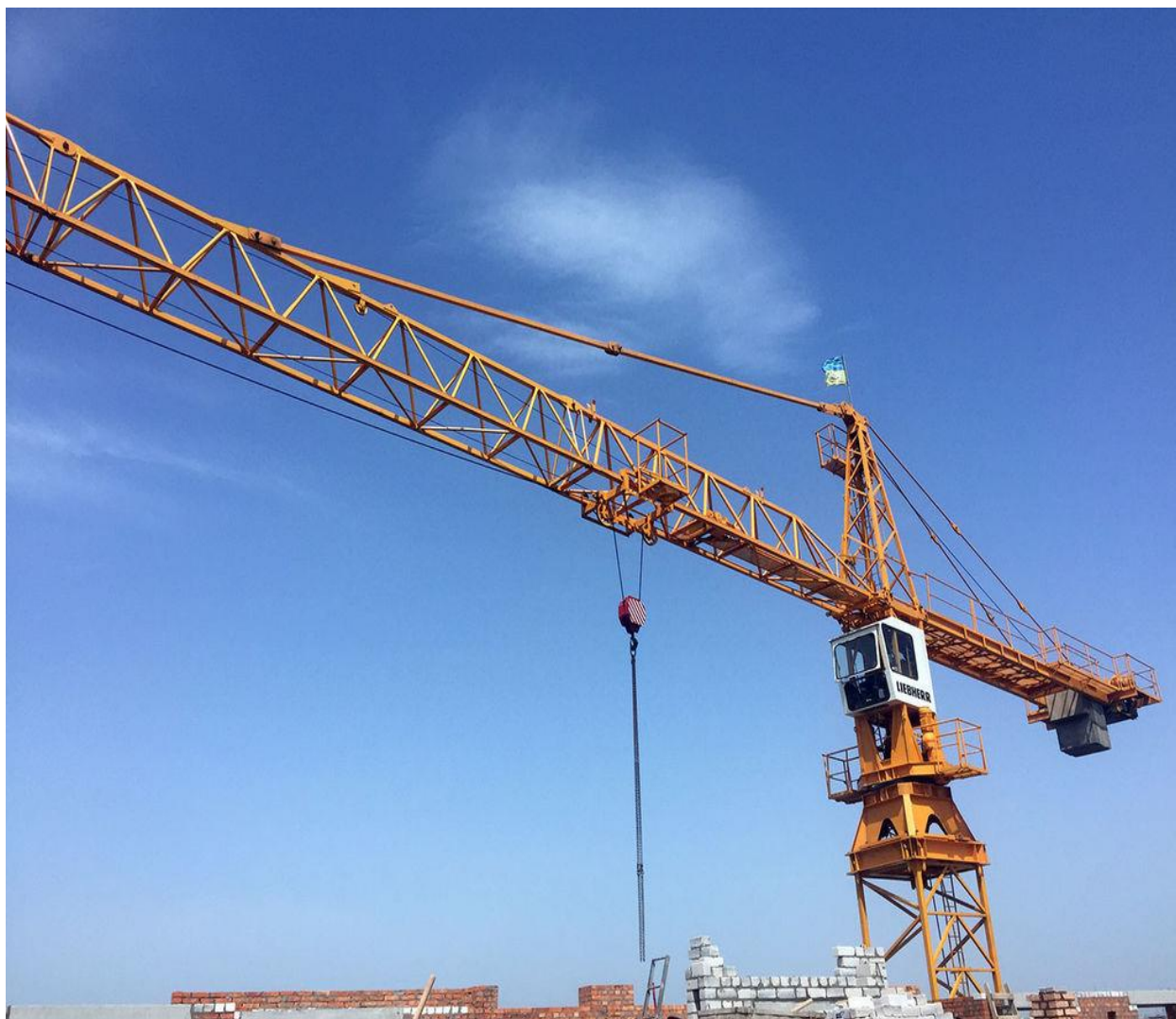
Торањске – обртне дизалице због своје најмасовније примене у грађевинарству се зову још и грађевинске дизалице(кранови).

Као што смо рекли најмасовнија примена је у грађевинарству и један кран може да се користи за изградњу једне зграде, али на кран треба гледати и са економског аспекта, па се његова употреба треба максимално искористити тако да се у већини случајева користе за изградњу више објеката који су у опсегу дохвата стреле. Користе се још и у градњи индустријски објеката као што су изградња термоелектрана, хидроелектрана, мостова, индустријских хала, као и опелуживању речних пристаништа(марина,лука) и складишта. [9]

За масовну градњу користе се дизалице дохвата 10-30 метара и носивости 0.3-1.5 тоне. Максимална носивост торањских кранова које се користе у грађевинарству достиже до 75 тона, а максимални дохват код истих достиже до 100 метара. Данас се као основна карактеристика крана користи „носивост x дохват“ . [9]

Основни елементи конструкције торањске дизалице су:

- **Постоље** које омогућава пренос тежине дизалице и терета на тло;
- **Баласт** својом тежином прави равнотежу са теретом који се преноси што значи да делује као контратег;
- **Торањ** омогућава вертикални транспорт материјала;
- **Стрела** крана (рука) омогућава хоризонтални транспорт материјала;



Слика 6.1 LIEBHERR 120HC/185HC кран [10]

Широка примена ових дизалица довела је до различитих конструкционих решења и типова дизалаца. Постоје разне поделе.

По начину уграђивања се деле на:

- Дизалице постављене на тло;
- Дизалице које се постављају на објект који се гради;

По начину дохвата;

- Дизалице са покретном стрелом;
- Дизалице са хоризталном непокретном стрелом;

По конструкцији торња:

- Са непромењливом висином торња;
- Са монтажним телескопским торњем;
- Са торњем променљиве висине;

По конструкцији стреле:

- Са стрелом напрегнутом на притисак;
- Са стрелом напрегнутом на савијање;

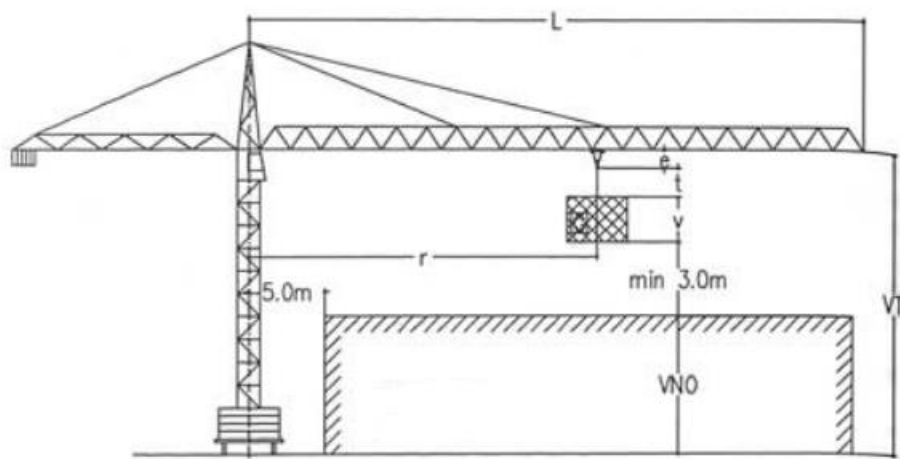
По начину опслуживања дизалице могу бити:

- Стационарне;
- Покретне;

Неке од добрих особина грађевинских кранова јесу;

- Хоризонтално кретање терета није везано уз окретање стреле;
- Добра прецизност у вођењу терета;
- Применљива за врло високе грађевине;
- Мала снага мотора витла за ужад;

Док сложена конструкција и отежан рад у уским просторима око високих зграда представља лошу особину оваквог типа дизалица.



Слика 6.2 Карактеристике дизалице при монтажи елемента [10]

7. Софтвер Autodesk Robot Structural Analysis

Autodesk је компанија која је настала 1982. Године и она данас поседује велики број софтвера које користе машински и грађевински инжењери, архитекте и други . Поседују много софтвера, од који су најпознатији:

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

На сајту Autodeskа извршена је подела софтвера према областима.

The screenshot displays the Autodesk software catalog interface. On the left, there are several filter categories with checkboxes:

- Architecture, Engineering & Construction**
 - ☐ Architecture
 - ☐ Structural design (1)
 - ☐ MEP design
 - ☐ Construction
 - ☐ Infrastructure
- Product Design & Manufacturing**
 - ☐ Product design & engineering (5)
 - ☒ Simulation & analysis (13)
 - ☐ Manufacturing & production (3)
- Media & Entertainment**
 - ☐ Film & VFX
 - ☐ Gaming & VR
- Workflows**
 - ☐ Collaboration & control (1)
 - ☐ Concept design (1)
- Operating system**
 - ☐ Windows (13)
 - ☐ Mac (2)

The main area shows a grid of software products:

- PRODUCT DESIGN & MANUFACTURING COLLECTION**: \$2,720 /year. Includes Inventor + AutoCAD + Fusion 360. "ADD TO CART" button.
- INVENTOR**: \$2,085 /year, 1 year license. "ADD TO CART" button.
- INVENTOR TOLERANCE ANALYSIS**: Available only as part of Product Design & Manufacturing Collection.
- FUSION 360**: \$297 /year (Save \$198). Cloud-based 3D CAD/CAM/CAE software.
- INVENTOR NASTRAN**: Available only as part of Product Design & Manufacturing Collection. CAD-embedded finite element analysis software.
- ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL**: Available only as part of Architecture, Engineering & Construction Collection. Advanced BIM-integrated structural analysis tool.
- AUTODESK CFD**: Contact Autodesk for pricing. Computational fluid dynamics simulation software.
- HELIUS COMPOSITE**: \$300 /year. Composite analysis tools for materials, laminates, and simple structures.
- NETFABB**: \$240 /year (Price for Netfabb Standard). Additive manufacturing and design software.

Слика 7.1 Група софтвера за грађевинску анализу [13]

Многи софтвери имају широк спектар примене, па се могу наћи у више група.

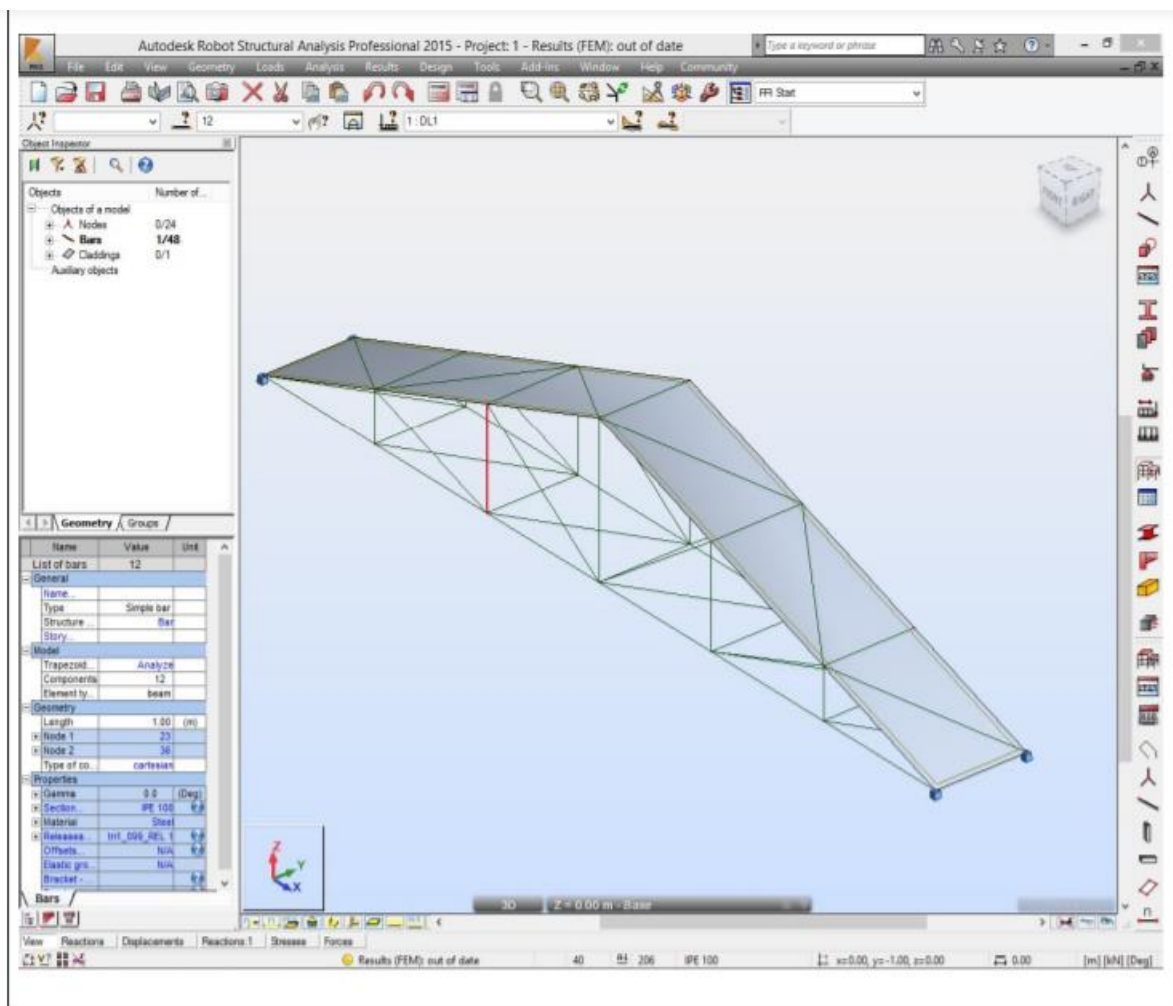
За напредну структурну анализу првенствено металних конструкција креиран је софтвер Robot Structural Analysis. Помоћу њега је могуће анализирати и дрвене и армирано бетонске конструкције. Осмишљен је тако да инжењерима пружа алате помоћу којих могу да разумеју понашање конструкције било ког типа и да изврше њено испитивање у складу са одређеним стандардима. 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.[3]

Пре сваке анализе треба изабрати конструкцију коју желимо да анализирамо. На слици 7.2 приказан је прозор са свим конструкцијама које можемо користити.



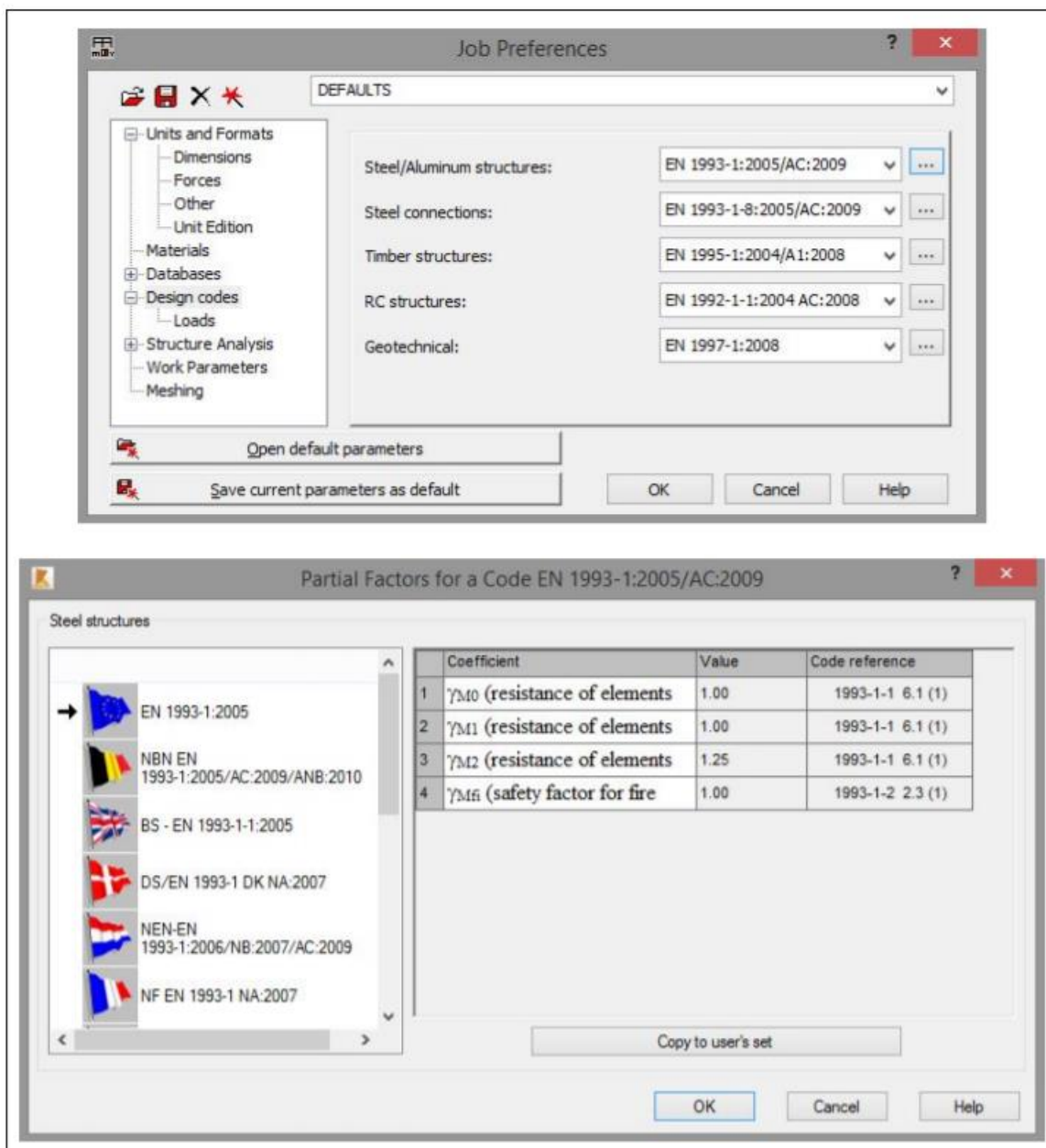
Слика 7.2 Прозор за одабир конструкције

Одабиром конструкције отвара се прозор који је мањевише исти за све типове конструкција. На десној страни се налази стабло модела које подразумева штапове испуне, појасне штапове и чворове, такође служи и за евентуално лаку измену величине попречних пресека, дужина штапова и сл.



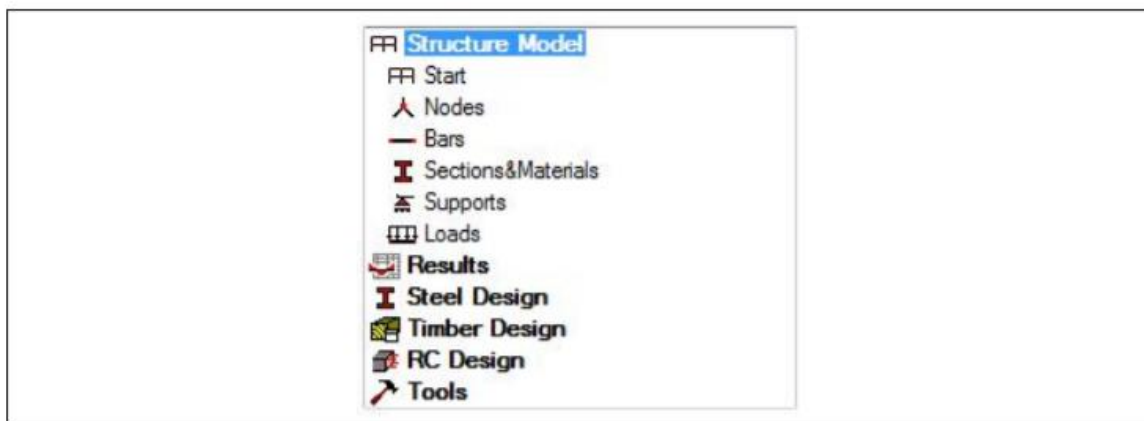
Слика 7.3 Радно окружење софвера Autodesk Robot Structural Analysis

Да би софтвер Autodesk Robot Structural Analysis би примењљив у доста земаља и дуго времена, његова база стандарда треба да буде широка. Одабир стандарда је веома значајан у анализи конструкције, као и да ли се користи метрички или империјални систем мера.



Слика 7.4 Одабир стандарда за прорачун и анализу конструкције

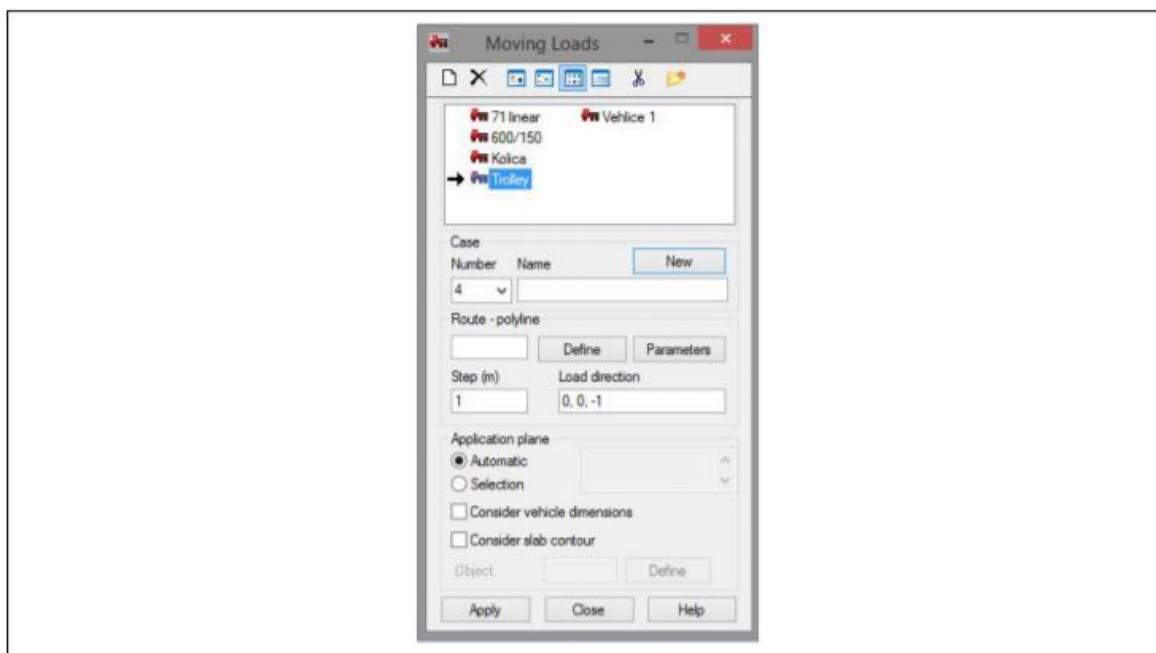
Подмодули су једна од најважнијих особина овог софтвера. Па тако подмодули се разликују од одабира конструкције. Подмодули постоје да би се у неколико простих корака могла задати разна оптерећења односно попречни пресеци, као и преглед резултата. Најважнији подмодули су Structure Model и Results.



Слика 7.5 Подмодули

Structure Model подмодул служи за корисничко креирање конструкције. У њему се задају попречни пресеци претходно моделираних штапова. Затим се врши увођење ограничења појединих чворова где се формирају ослонаци конструкције, након тога следи задавање оптерећења. Обавезно је задавање сопственог оптерећења конструкције пре самог задавања спољних оптерећења.

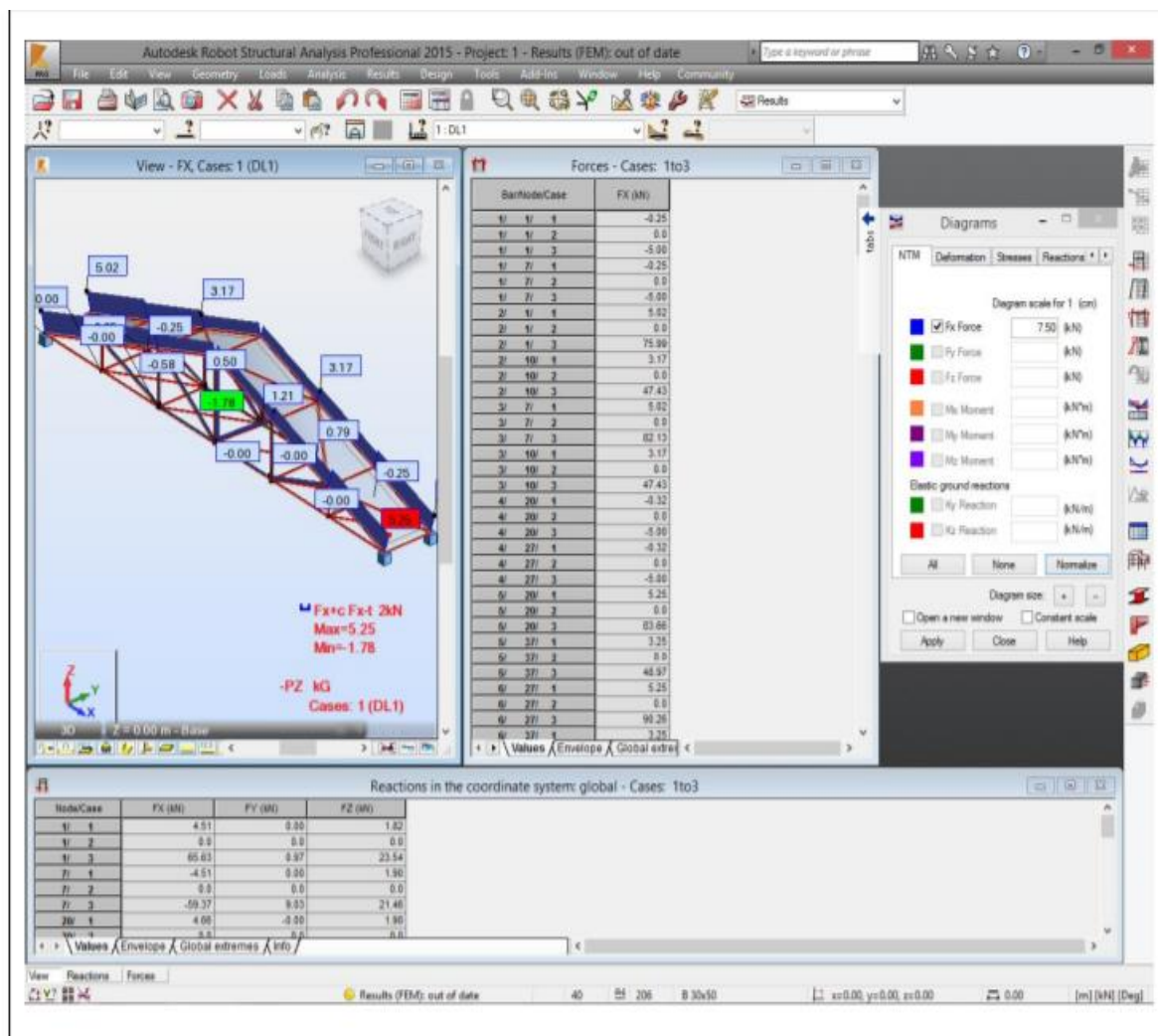
У подмодулу оптерећења (Loads) посебна пажња је посвећена специјалним оптерећењима која су Moving и Wind and Snow loads.



Слика 7.5 Одабир покретног оптерећења и његове путање

За приказ резултата користи се подмодул Results који садржи опције Result, Detailed Analysis, Stress Analysis – bars Stress и Analysis – structure. У подмодулу Results радно окружење добија други изглед, односно на изгледу модела се приказују резултати. Поред самог модела налази се прозор за одабир резултата као што су: NTM(силе и моменти) , Deformation, Stressess, Reaction и други.

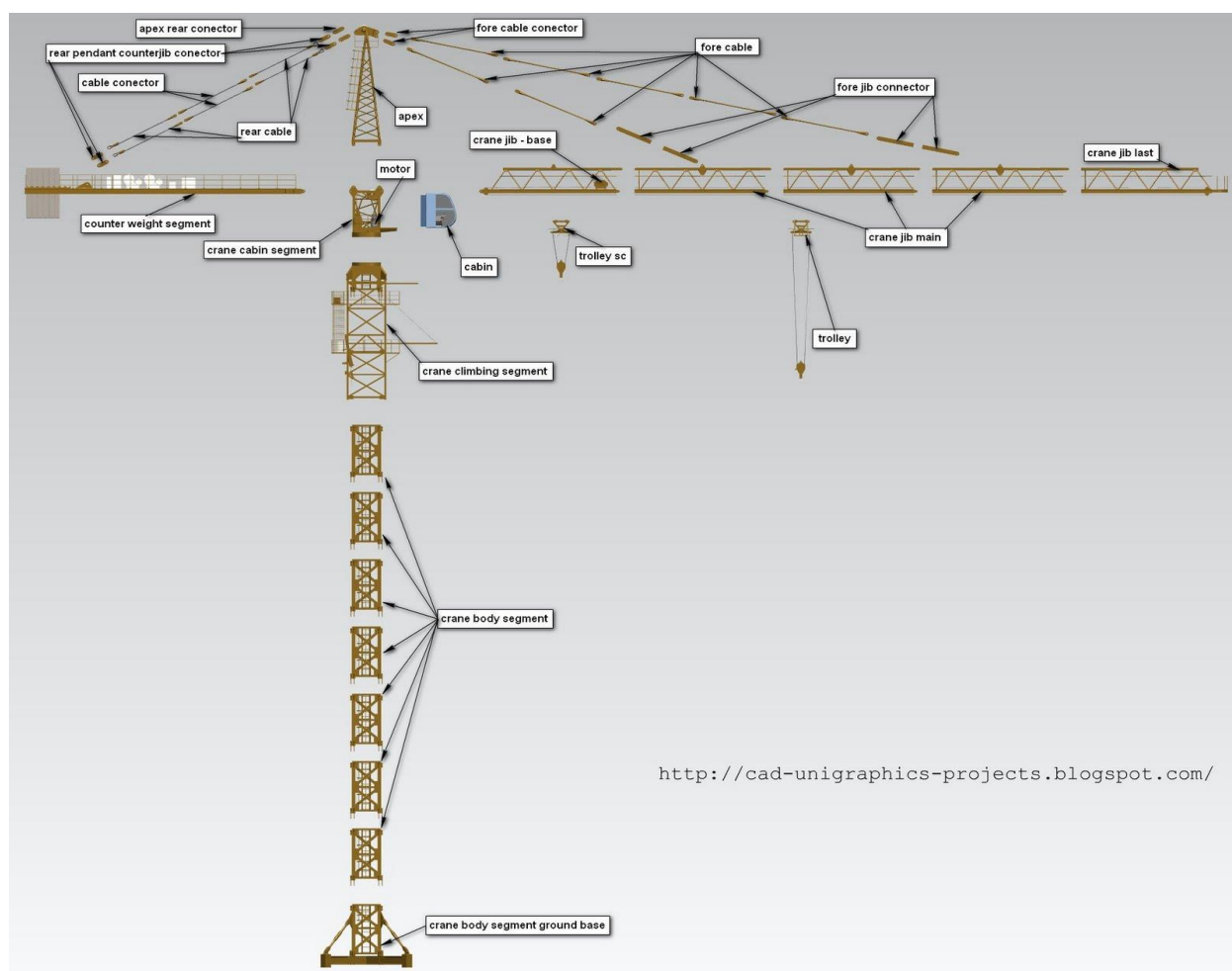
На слици 7.6 је приказана кровна решеткаста конструкција као показни пример радног окружења подмодула Results.



Слика 7.6 Приказ резултата

8.Анализа конкретног примера решеткасте конструкције среле крана помоћу софтвера Autodesk Robot Structural Analysis

Конструисање грађевинских (кранова) дизалица је готово немогуће без употребе решеткастих носача. Кран се састоји од стуба и стреле (руке) који су реализовани као решеткасте конструкције. Стуб је фиксиран на тло док стрела служи да се колица која преносе терет крећу по дужини стреле крана. Из овог можемо да закључимо да је оптерећење које прима стрела готово увек променљиво и сам прорачун неког од носача конструкције стреле је јако комплексан, јер зависи од доста фактора као на пример: положаја колица на стрели, тежине терета, утицаја ветра или снега, температуре средине и др.



Слика 8.1 Делови грађевинске дизалице [12]

Стрелу најчешће чине три појасна штапа, а попречни пресек стреле је троугаона структура. Појасни штапови су најчешће кутијастии профили или стандардни ваљани I профил, док штапови испуне су пофилу кружног попречног пресека. Посебна пажња посвећена је обликовању крајева штапова испуна и вези штапова испуна са појасним штаповима



Слика 8.2 Изглед дела стреле који се спаја са стубом

Са слике се 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.

8.1 Моделирање, задавање оптерећења и анализа првог дела стреле крана

Из базе се најпре учитава конструкција, а затим се задаје угао који заклапа са хоризонталном равни. За лакшу проверу и селектовање попречних пресека штапова, пожељно је груписати те штапове. [3]

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. [3]

Прилог 1

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

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
----	---	----	-----------	-------	------	-----	------------

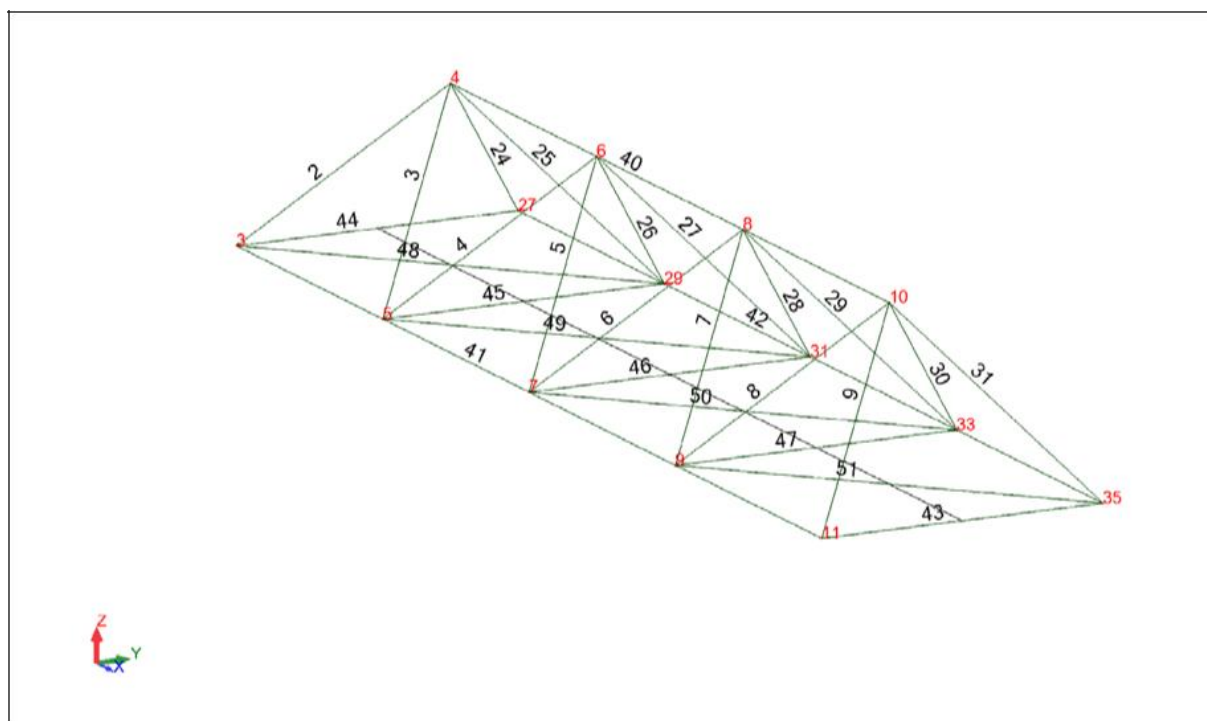
Прилог 3 Овај прилог приказује карактеристике попречних пресека штапова (AX, AZ, AY – површине попречних пресека; IX, IY, IZ – аксијални моменти инерције).

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 која приказује карактеристике материјала од које су израђени штапови решеткасте конструкције. (E - модул еластичности, G - модул клизања, NI - Поасонов коефицијент, LX - температурни коефицијент, RO - специфична густина, Re - напон на граници течења.)

Прилог 4

	Material	E (MPa)	G (MPa)	NI	LX (1/°C)	RO (kN/m ³)	Re (MPa)
1	S 235	210000.00	81000.00	0.30	0.00	77.01	235.00



Слика 8.1.1 Приказ конструкције са бројем штапова и чворова

Црном бојом су означени бројеви штапова, док су црвеном бојом означени бројеви чворова.

Након моделирања конструкције приступа се задавању оптерећења. Оптерећења су задата у следећем прилогу, најпре оптерећење као последица сопствене тежине(DL1) .

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

У Прилогу 6 постављена је табела са ослонцима.

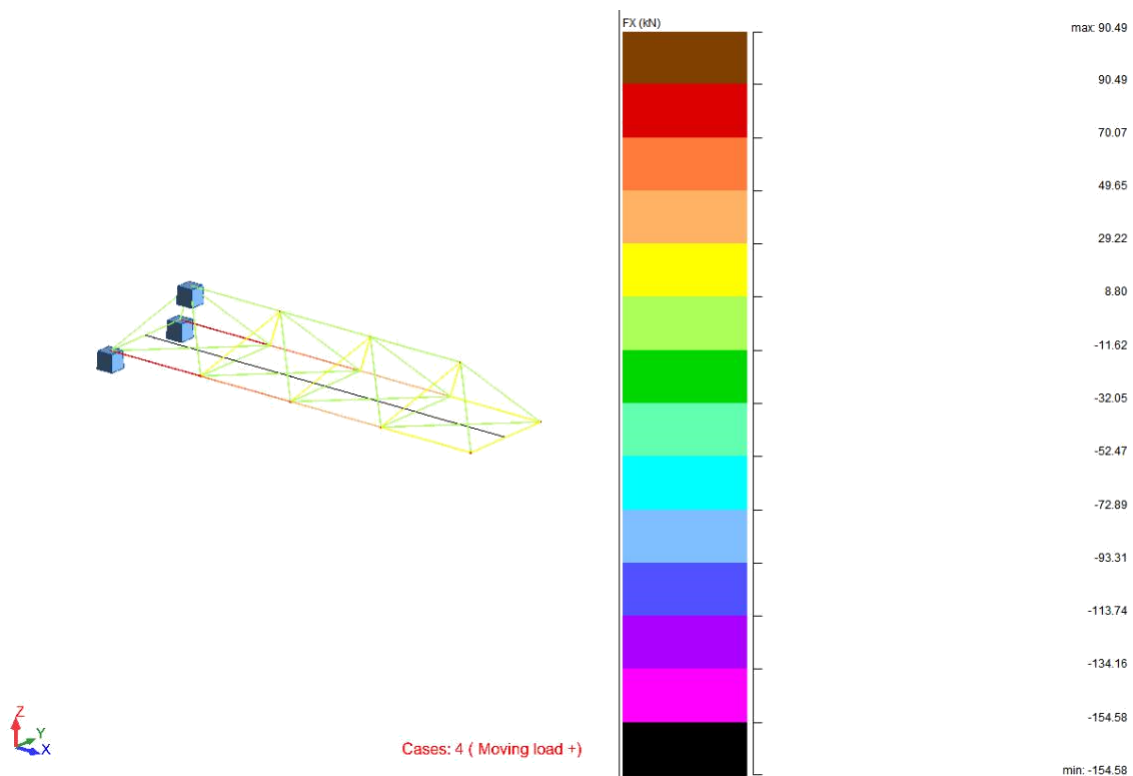
Reactions in the coordinate system: global - Cases: 1, 2, 4 & 6 : Global extremes:			
in the coordinate system: global - Cases: 1 4to6			
	FX (κN)	FY (κN)	FZ (κN)
MAX	90.49	0.08	30.34
Node	3	3	4
Case	Moving load/9	1	Moving load/9
MIN	-180.98	-0.08	-0.17
Node	4	4	27
Case	Moving load/9	1	Moving load/9

Софтвер даје резултате реакције ослонаца за сваки случај оптерећења појединачно. Одабиром табеле „Global extremes“ добијени су резултати приказани у прилогу 7.

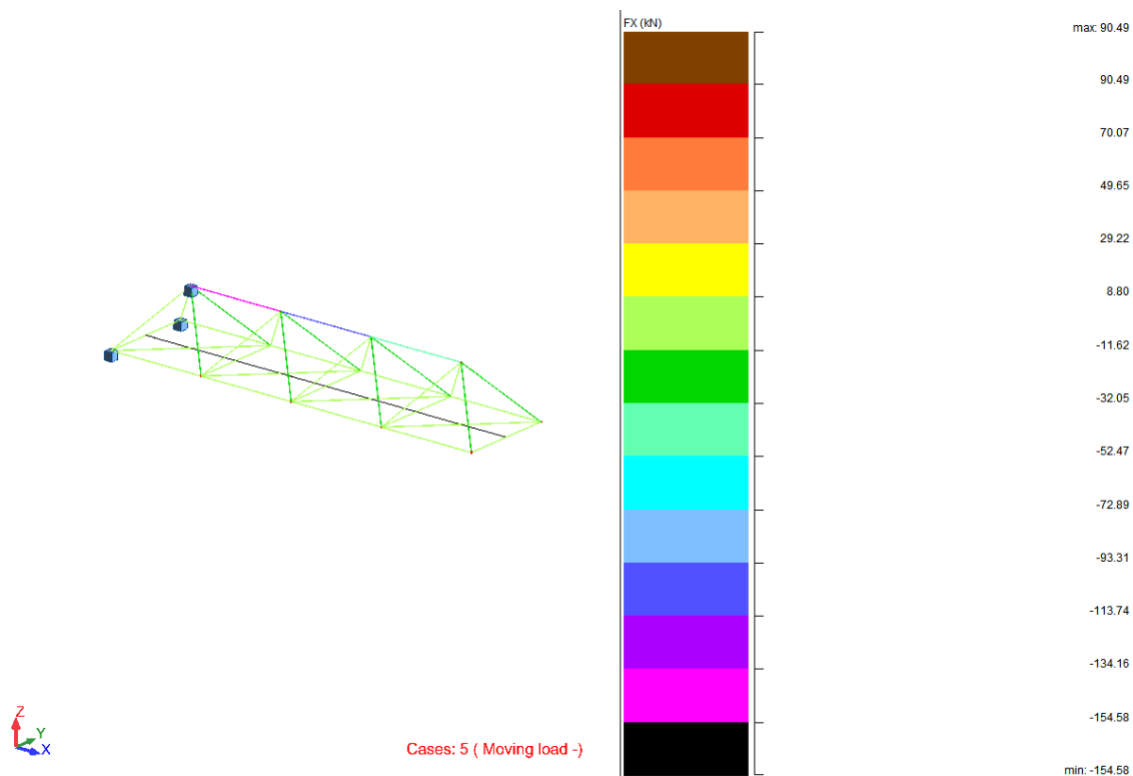
Прилог 7

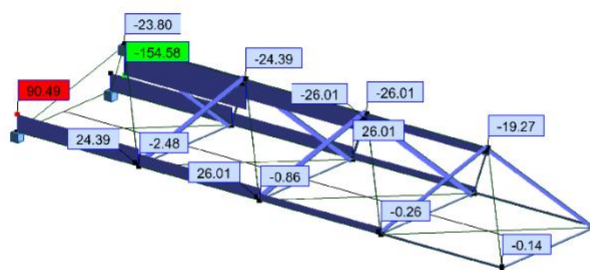
Displacements: Cases: Movig load : Global extremes: 1			
- Cases: 2 (Moving load)			
	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
MAX	1.2	0.7	0.3
Node	10	11	35
Case	Moving load/9	Moving load/9	Moving load/1
MIN	-0.6	-0.0	-10.7
Node	11	29	11
Case	Moving load/9	Moving load/1	Moving load/9

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



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



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

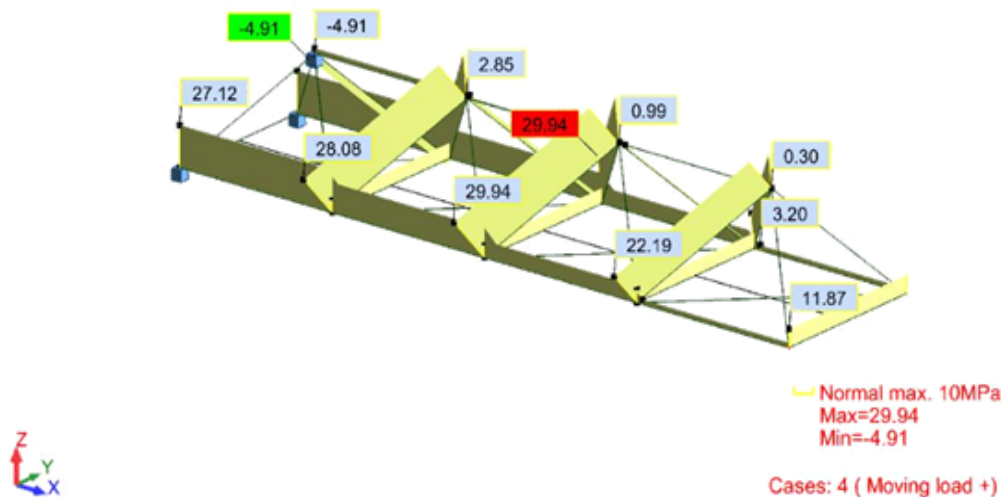
$F_x + c \quad F_x - l \quad 50 \text{ kN}$
 Max=90.49
 Min=-154.58
 Cases: 5 (Moving load -)

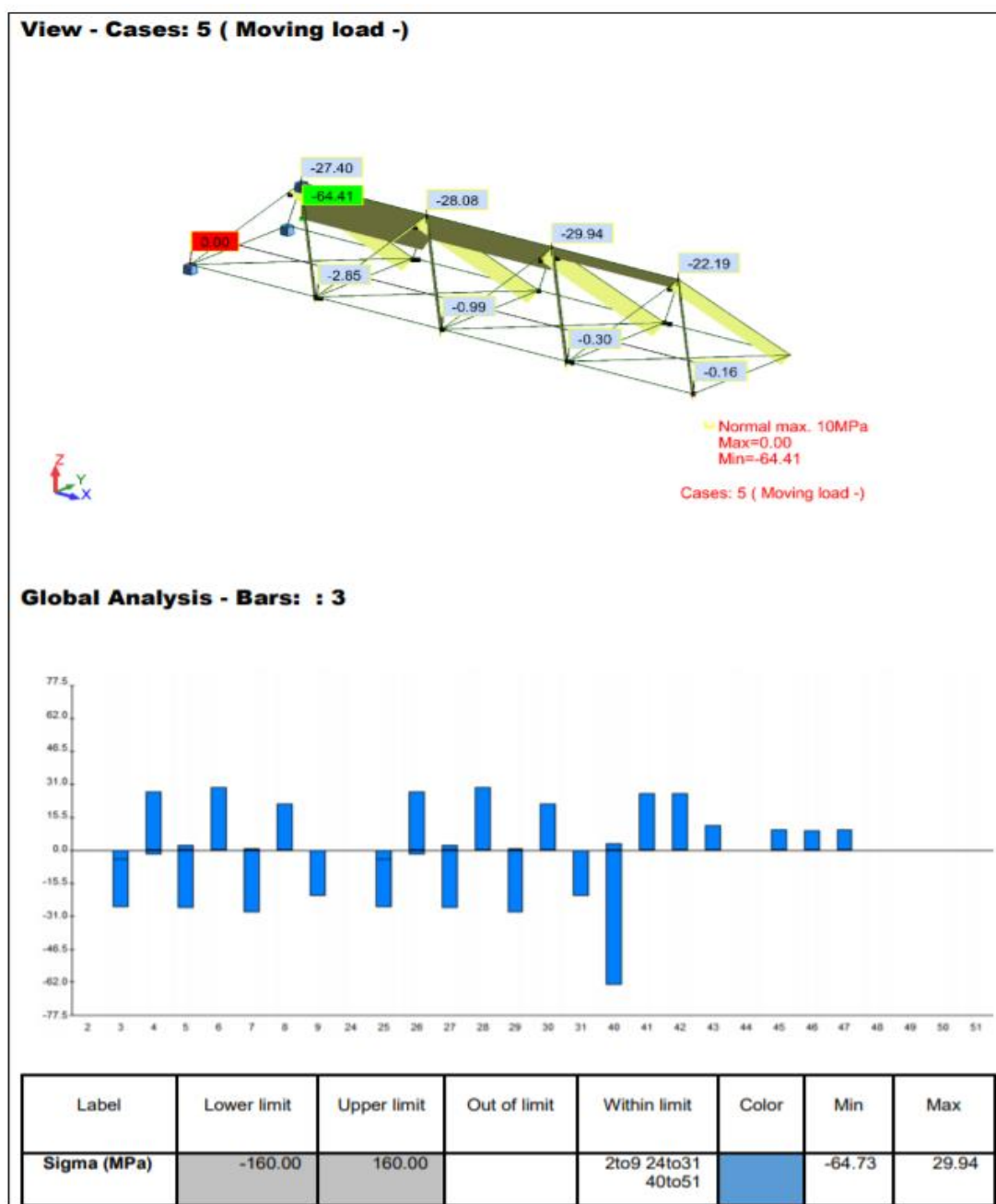
Из прегледа табела прилога 9 може се закључити да су најоптерећенији појасни штапови 40 и 41 у чворовима 4 и 3 респективно услед покретног оптерећења

Stresses - Cases: 4 5 : Global extremes: 1

- Cases: 4 5

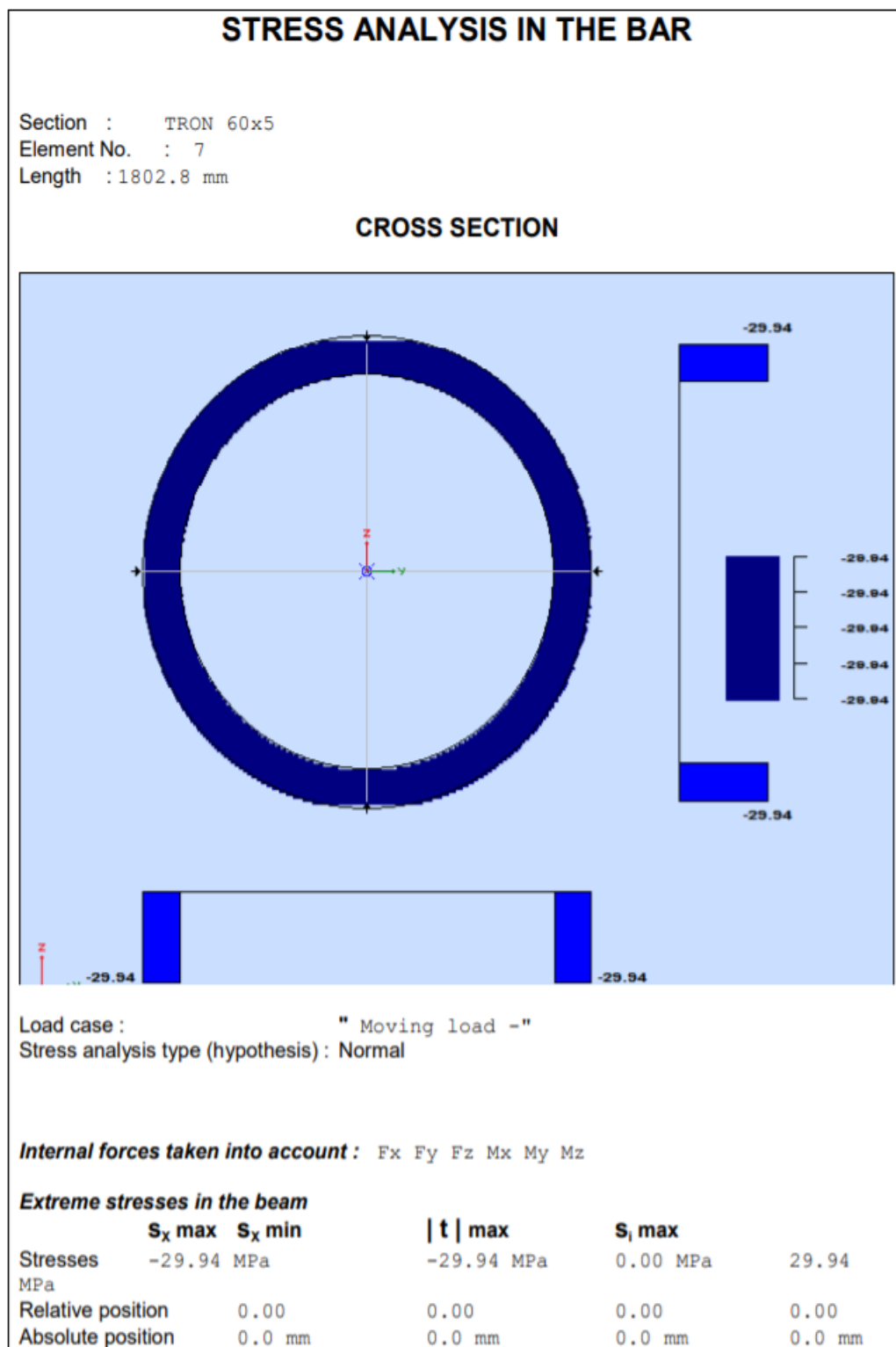
	S max (MPa)
MAX	29.94
Bar	28
Node	31
Case	Moving load/9
MIN	-64.73
Bar	40
Node	4
Case	Moving load/9

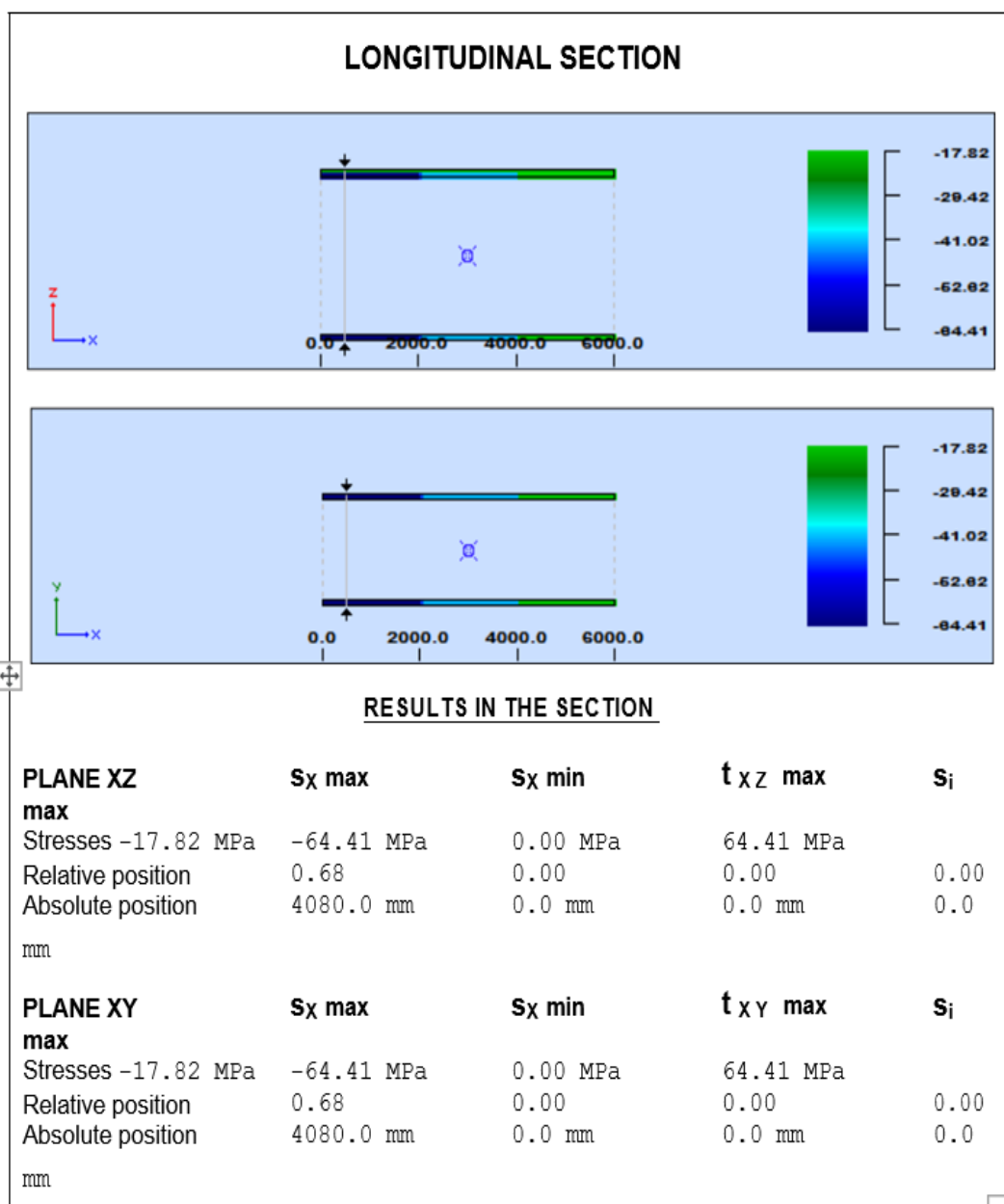
View - Cases: 4 (Moving load +)

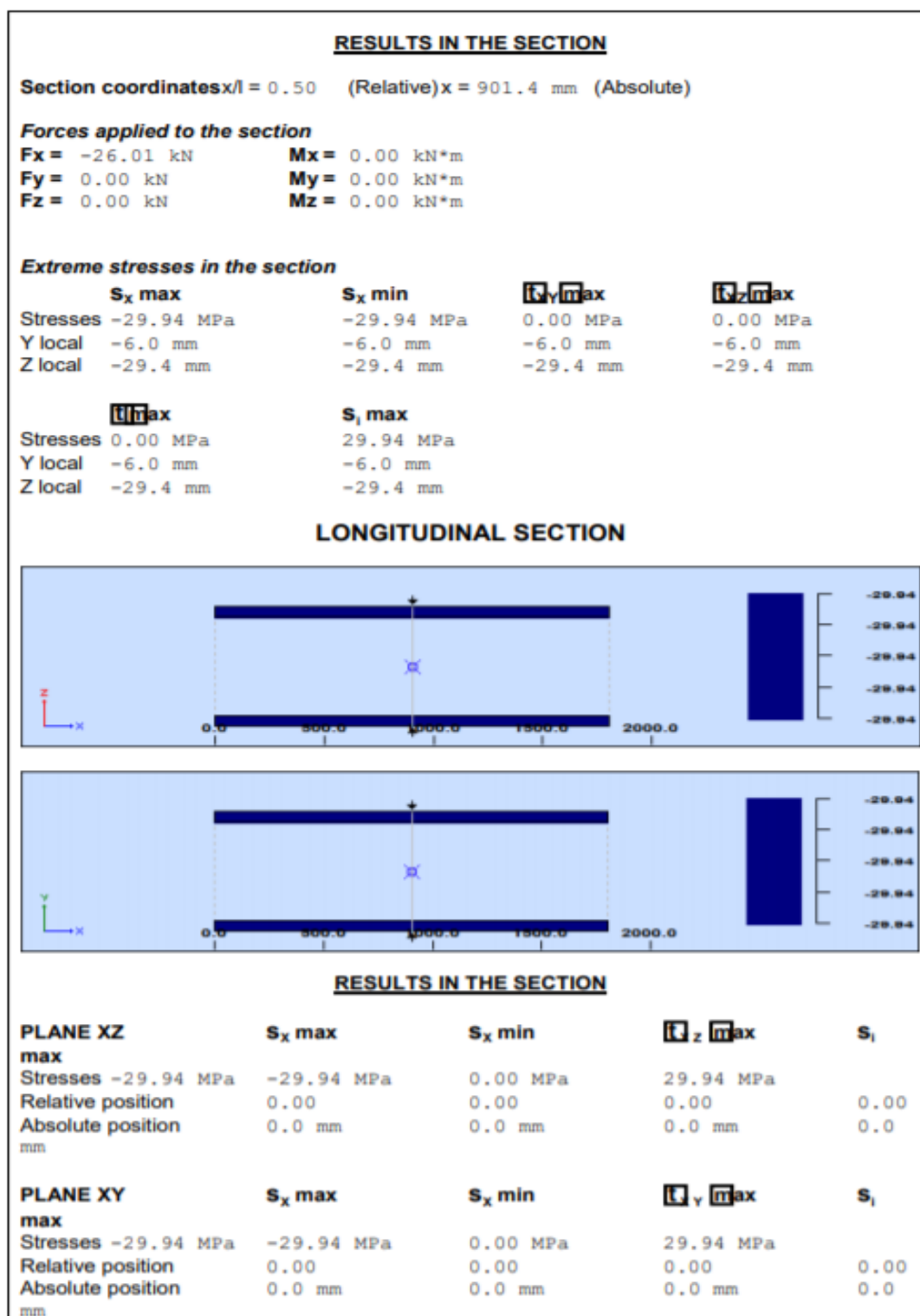


Максимална вредност напона износи 64.73 МПа. Ако се узме у обзир да је допуштен напон за челик 160 МПа, можемо закључити да димензије конструкције, наспрам оптерећења, задовољавају по критеријуму допуштеног напона.

Софтвер има моћност и израчунавања напона у попречном пресеку штапа.

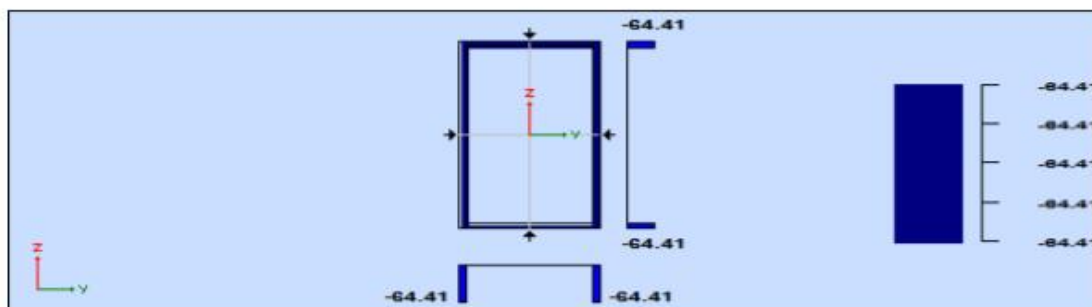






Section : TREC 150x100x5
 Element No. : 40
 Length : 6000.0 mm

CROSS SECTION



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

Internal forces taken into account : F_x F_y F_z M_x M_y M_z

Extreme stresses in the beam

	S_x max	S_x min	$ t $ max	S_t 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

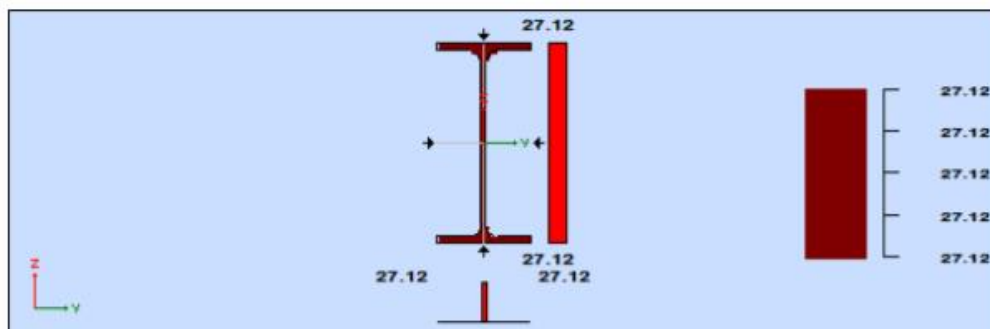
$F_x = -154.58$ kN	$M_x = 0.00$ kN*m
$F_y = 0.00$ kN	$M_y = 0.00$ kN*m
$F_z = 0.00$ kN	$M_z = 0.00$ kN*m

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
	$t_{t \max}$	S_t max		
Stresses	0.00 MPa	64.41 MPa		
Y local	-50.0 mm	-50.0 mm		
Z local	-75.0 mm	-75.0 mm		

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 : F_x F_y F_z M_x M_y M_z

Extreme stresses in the beam

	S_x max	S_x min	$ t $ max	S_t max	
Stresses	27.12 MPa		3.20 MPa	0.00 MPa	27.12
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

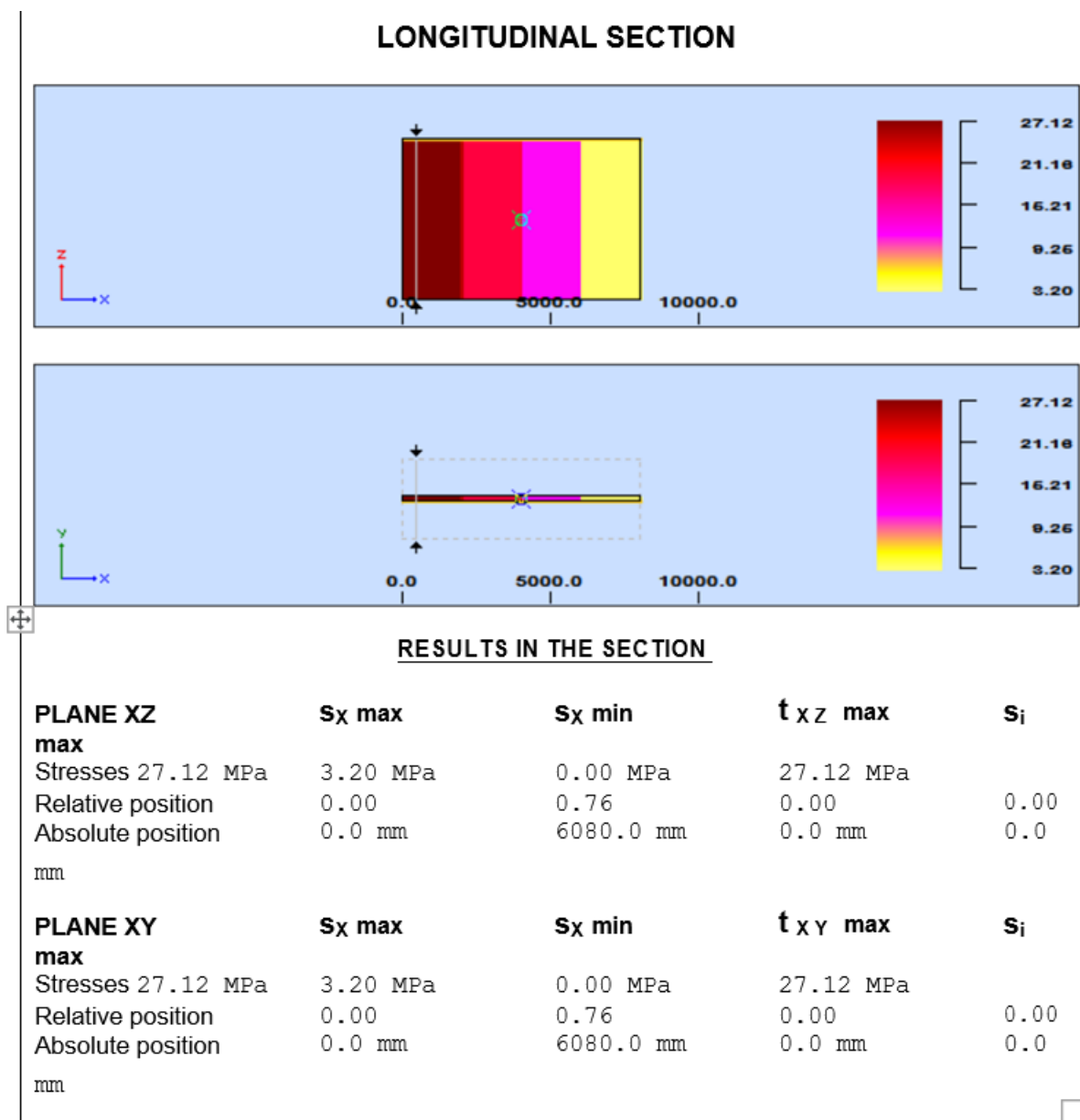
Section coordinates $x/l = 0.06$ (Relative) $x = 500.0$ mm (Absolute)

Forces applied to the section

$F_x = 90.49$ kN $M_x = 0.00$ kN*m
 $F_y = 0.00$ kN $M_y = 0.00$ kN*m
 $F_z = 0.00$ kN $M_z = 0.00$ kN*m

Extreme stresses in the section

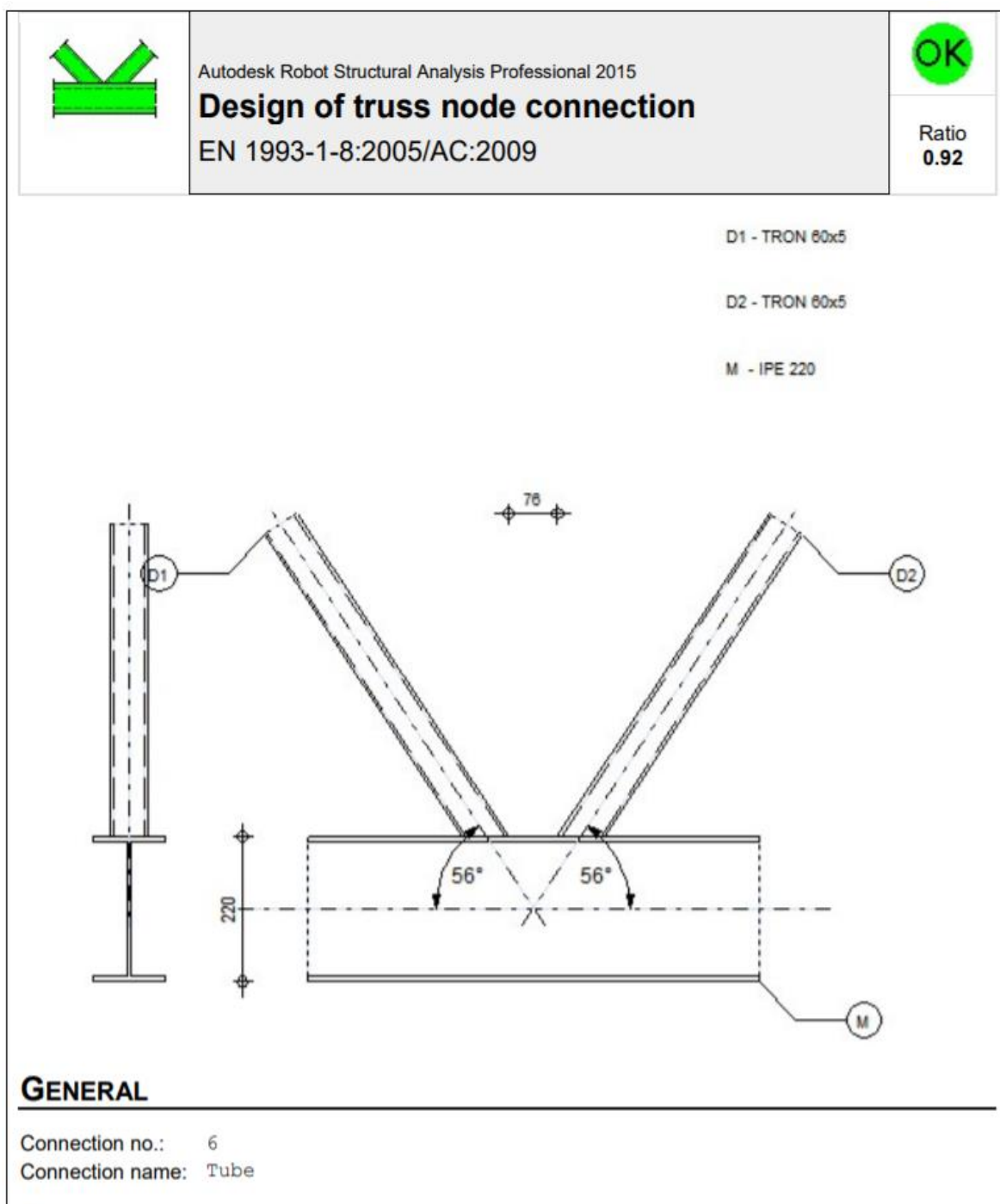
	S_x max	S_x min	$t_{y,max}$	$t_{z,max}$
Stresses	27.12 MPa	27.12 MPa	0.00 MPa	0.00 MPa
Y local	-55.0 mm	-55.0 mm	-55.0 mm	-55.0 mm
Z local	-110.0 mm	-110.0 mm	-110.0 mm	-110.0 mm
	$t_{x,max}$	S_t max		
Stresses	0.00 MPa	27.12 MPa		
Y local	-55.0 mm	-55.0 mm		
Z local	-110.0 mm	-110.0 mm		



У свим случајевима стабилност је задовољена

8.2 Анализа везе штапова

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. У следећем прилогу приказана је провера везе два штапа са појасним штапом. Дебљина завареног споја износи 5 mm, а силе у дијагоналама по 160 kN.



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

e₀ = 0 [mm] Offset

SPACINGS

g₂ = 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

N₁ = 160.00 [kN] Axial force
M₁ = 0.00 [kN*m] Bending moment

DIAGONAL 2

N₂ = 160.00 [kN] Axial force
M₂ = 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 $\beta = (2 \cdot d_2 + 2 \cdot d_1) / (4 \cdot b_0)$ [1.5 (6)]
 $\gamma = 5.98$ Coefficient taking account of geometry of the chord $\gamma = b_0 / 2 \cdot t_{i0}$

TUBE BRACE FAILURE

DIAGONAL 2

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

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

$M_{2,Rd} = 6.68$ [kN*m] Bending resistance $M_{2,Rd} = [f_{y2} \cdot t_2 \cdot p_{eff} \cdot d_2] / \gamma_{M5}$
 $|M_2| \leq M_{2,Rd}$ $|0.00| < 6.68$ **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 $p_{eff} = t_w + 2 \cdot r + 7 \cdot t_f \cdot f_{y0} / f_{y1}$

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

$M_{1,Rd} = 6.68$ [kN*m] Bending resistance $M_{1,Rd} = [f_{y1} \cdot t_1 \cdot p_{eff} \cdot d_1] / \gamma_{M5}$
 $|M_1| \leq M_{1,Rd}$ $|0.00| < 6.68$ **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 $A_v = A_0 - (2 \cdot \alpha) \cdot b_r \cdot t_r + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$

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

DIAGONAL 1

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

$N_{1,Rd} = 259.91$ [kN] Tension capacity $N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot A_w / \sqrt{3} \cdot \sin(\theta_1) / \gamma_{M5}$

$|N_1| \leq N_{1,Rd}$ $|160.00| < 259.91$ **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 $b_w = d_2 / \sin(\theta_2) + 5 \cdot (t + r)$

$M_{2,Rd} = 6.85$ [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 $b_w = d_1 / \sin(\theta_1) + 5 \cdot (t + r)$

$M_{1,Rd} = 6.85$ [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_w / \gamma_{M2}$		$ 70.50 < 259.20$	verified (0.27)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_w / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$182.90 < 360.00$	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_w / \gamma_{M2}$		$ 78.38 < 259.20$	verified (0.30)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_w / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$92.78 < 360.00$	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_w / \gamma_{M2}$		$ 28.66 < 259.20$	verified (0.11)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_w / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$138.76 < 360.00$	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_w / \gamma_{M2}$		$ 70.50 < 259.20$	verified (0.27)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_w / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$182.90 < 360.00$	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_w / \gamma_{M2}$		$ 78.38 < 259.20$	verified (0.30)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_w / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$92.78 < 360.00$	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_w / \gamma_{M2}$		$ 28.66 < 259.20$	verified (0.11)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_w / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$		$138.76 < 360.00$	verified (0.39)

Connection conforms to the code**Ratio** 0.92

Овакав начин провере везе штапова може се применити за било коју везу у решеткастој конструкцији.

9. Закључак

У овом раду су објашњене основне поделе решеткастих конструкција, као и поље примене решеткастих носача. Дате су поделе решеткастих носача, да би могли лакше и економичније да се изаберу попречни пресеци штапова (штапови испуне – дијагонаале и вертикале, као и појасни штапови) за одређени тип конструкције. На избор утиче носивост, висина и место где се конструкција монтира.

Наведене су основне поделе машина са цикличним дејством – дизалица и то према начинима конструктивних извођења и према врсти погона. Посебна пажња је дата грађевинским дизалицама (крановима) који су за овај рад значајни, јер се баш у оваквим типовима највише користе решеткасти носачи. Главне карактеристике крана су носивост и дохват. Те карактеристике су у директној зависности од правилног избора решеткастог носача, јер је он тај који трпи највише оптерећења.

За практичан пример решеткасте конструкције узета је стрела (рука) крана то јест први део конструкције стреле – носач, који се налази у директној вези са стубом крана. Урађена је анализа конструкције у програму **Autodesk Robot Structural Analysis**. Извршена је анализа и одрађен прорачун конструкције када на њу делују покретна оптерећења, оптерећења услед ветра и снега и сопствена оптерећења конструкције. Проверен је интензитет напона у попречном пресеку свих штапова који чине овај део решеткастог носача и анализирана је једна заварена веза штапова у чвору решетке. Поред напона и деформација свих елемената конструкције, софтвером је проверена и еластична стабилност на извијање свих притиснутих штапова. Анализом на овај начин штеди се инжењерско време и постиже велика тачност добијених резултата, уз могућност рада са великим бројем различитих комбинација оптерећења и геометријских карактеристика како појединих штапова, тако и целог решеткастог носача.

Литература

- [1] Петковић З., Острић Д., Металне конструкције у машиноградњи 1, Институт за механизацију Машинског факултета у Београду, Београд 1996.
- [2] Буђевац Д., Маковић З., и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд, 2007.
- [3] Денић М., Прорачун и конструисање решеткастих носача применом савремених софтверских решења, Мастер рад Факултет инжењерски наука у Крагујевцу, 2015.
- [4] <http://www.elektromotori.hr/dizalice.html> Преузето 20.09.2020
- [5] <http://www.kigo.rs/proizvodi/gradjevinske-dizalice-potain/> Преузето 20.09.2020
- [6] <http://ba.shipyardjibcrane.com/rmg-gantry-crane/gantry-crane-5-ton.html> Преузето 20.09.2020
- [7] <https://bemax.me/dizalice/> Преузето 20.09.2020
- [8] <https://hoistec.hr/dizalice-i-oprema/konzolne-dizalice/> Преузето 20.09.2020
- [9] Острић Д., Дизалице, Машински факултет, Београд, 1992.
- [10] <https://www.liebherr.com/en/usa/start/start-page.html> Преузето 20.09.2020
- [11] <http://www.symtowercrane.com/> Преузето 07.10.2020
- [12] <https://cad-unigraphics-projects.blogspot.com/> Преузето 07.10.2020
- [13] <https://www.autodesk.com/> Преузето 07.10.2020
- [14] <https://www.pinterest.com/> Преузето 07.10.2020
- [15] Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – приручник за прорачуне, Машински факултет у Крагујевцу, 1998. год
- [16] <http://istorijskiblog.blogspot.com/2018/12/odreene-srednjovekovne-dizalice.html> Преузето 08.10.2020
- [17] <https://www.nezavisne.com/> Преузето 08.10.2020
- [18] Николић Р., Велјковић Ј., Марјановић В., Металне конструкције – збирка решених задатака, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2013.
- [19] Марјановић В., Металне конструкције, скрипта у електронској форми, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2020