

# **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: 511/2014**

**Невена Љ. Вукадиновић**

## **КОНСТРУИСАЊЕ ЈЕДНЕ ЧЕЛИЧНЕ ХАЛЕ ПО ПРЕПОРУКАМА ЕВРОКОД СТАНДАРДА И КОРИШЋЕЊЕМ САВРЕМЕНИХ СОФТВЕРА**

**завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

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

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- дефинише карактеристике металних конструкција,
- опише примену и улогу решеткастих носача,
- опише основне појмове о халама и конструкцији хала,
- уради моделирање једне конкретне хале, као и да изврши анализу оптерећења услед дејства различитих фактора

Препоручена литература:

1. Буђевац Д., Марковић З., Богавац Д. и Тошић Д., Металне конструкције - Основе прорачуна и конструисања, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1997.
2. Бешевић М. и Тешановић А., Металне конструкције 2 - Хале и складишта, Грађевински факултет Суботица, Суботица, 2011.
3. Марковић З., Гранична стања челичних конструкција према Еврокоду, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2014.

Крагујевац,

Септембар 2017. год.

Ментор:

Др Весна Марјановић, ван. проф.

## **Резиме:**

Челичне конструкције поседују специфична својства и значајне техничке и функционалне предности у односу на друге грађевинске материјале, те зато имају широку примену за све врсте грађевинских конструкција.

Решеткасти носачи представљају систем сачињен од лаких крутих штапова, међусобно зглобно везаних својим крајевима.

Објекте производних погона и складишта са стубовима у фасадним зидовима називамо халама.

Овим радом предвиђена је израда једне решеткасте конструкције у оквиру програма Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Циљ је био да се прикаже 3D модел конструкције као и анализа оптерећења услед дејства снега, ветра и кровне облоге.

**Кључне речи:** челична конструкција, решеткасти носач, хала, 3D модел.

## **Summary:**

Steel structures have specific properties and significant technical and functional advantages over other building materials, and therefore have a wide application for all types of construction structures.

Lattice carriers represent a system made of light, rigid rods, articulated jointly with its ends.

Areas of production facilities and warehouses with pillars in facade walls are called halls.

This work envisages the creation of a lattice structure within the Autodesk Robot Structural Analysis Professional program. The aim was to show the 3D model of construction as well as the analysis of loads due to the effects of snow, wind and roof coverings.

**Keywords:** steel structure, lattice carrier, hall, 3D model.

## САДРЖАЈ

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. УВОД.....                                                                                                         | 1  |
| 1.2 КАРАКТЕРИСТИКЕ МЕТАЛНИХ КОНСТРУКЦИЈА.....                                                                        | 4  |
| 2. РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ.....                                                                                            | 8  |
| 2.1 ОСНОВНА ПРАВИЛА ЗА КОНСТРУИСАЊЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА.....                                                          | 16 |
| 2.2 ОБЛИЦИ И ДИМЕНЗИЈЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА.....                                                                       | 17 |
| 2.3 ОБЛИЦИ ПОПРЕЧНИХ ПРЕСЕКА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА.....                                                                 | 22 |
| 2.4 ПРОРАЧУН ШТАПОВА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА.....                                                                         | 25 |
| 2.5 ПРОРАЧУН И КОНСТРУКЦИЈСКО ОБЛИКОВАЊЕ ЧВОРОВА<br>РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА.....                                          | 29 |
| 2.5.1 Решеткасти носачи са чворним лимом.....                                                                        | 29 |
| 2.5.2 Решеткасти носачи без чворног лима.....                                                                        | 30 |
| 2.6 РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ ОД ШУПЉИХ ПРОФИЛА.....                                                                         | 32 |
| 3. ХАЛЕ И СКЛАДИШТА.....                                                                                             | 33 |
| 3.1 ОПШТИ ПОЈМОВИ О ХАЛАМА И КОНСТРУКЦИЈАМА ХАЛА.....                                                                | 33 |
| 3.2 ПРИНЦИПИ ПРОЈЕКТОВАЊА ХАЛА И СКЛАДИШТА.....                                                                      | 36 |
| 3.3 ДИСПОЗИЦИЈА ХАЛА И СКЛАДИШТА.....                                                                                | 37 |
| 3.4 УСЛОВИ СТАБИЛНОСТИ НОСЕЋЕ ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ОБЈЕКТА<br>ХАЛА И СКЛАДИШТА.....                                  | 40 |
| 3.5 ПРИНЦИП МОДУЛАРНОГ ПРОЈЕКТОВАЊА ИНДУСТРИЈСКИХ ХАЛА.....                                                          | 41 |
| 3.6 ПРИМЕНА ЧЕЛИЧНИХ КОНСТРУКЦИЈА У ЗГРАДАРСТВУ.....                                                                 | 42 |
| 3.7 ЕЛЕМЕНТИ НОСЕЋЕ ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ЈЕДНОБРОДНЕ ХАЛЕ.....                                                       | 43 |
| 3.8 ТРАНСПОРТ У ХАЛИ.....                                                                                            | 48 |
| 4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ХАЛЕ КОРИШЋЕЊЕМ AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS<br>PROFESSIONAL СОФТВЕРА И ЕВРОКОД СТАНДАРДА..... | 50 |
| 4.1 МОДЕЛИРАЊЕ У СОФТВЕРУ.....                                                                                       | 50 |
| 4.1.1 Израда 2D модела.....                                                                                          | 50 |
| 4.1.2 Израда 3D модела.....                                                                                          | 52 |
| 4.2 ДЕФИНИСАЊЕ ОПТЕРЕЋЕЊА.....                                                                                       | 54 |
| 4.2.1 Оптерећење снегом.....                                                                                         | 54 |
| 4.2.2 Оптерећење ветром.....                                                                                         | 55 |
| 4.2.3 Оптерећење кровном подлогом.....                                                                               | 57 |
| 4.3 СПОЈЕВИ.....                                                                                                     | 58 |
| 4.3.1 Спајање завртњевима.....                                                                                       | 58 |
| 5. ЗАКЉУЧАК.....                                                                                                     | 60 |
| 6. ЛИТЕРАТУРА.....                                                                                                   | 61 |

## 1. УВОД

### 1.1 ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ МЕТАЛНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Вештина ливења гвожђа и гвоздених предмета старим народима није била позната, јер се ливено гвожђе јавља тек почетком XV века и то махом за израду топова. Све до средњег века гвожђе се добијало редукцијом помоћу дрвеног угља у рововима или ниским шахтним пећима изграђеним од блата и ломљеног камена, а касније и у већим пећима. У XV веку из шахтних пећи је развијена висока пећ, која је због довода ваздуха помоћу водом покретаних мехова могла бити загрејана на вишу температуру. Тек проналаском поступка добијања сировог гвожђа помоћу кокса у високим пећима 1735. године омогућена је већа производња сировог гвожђа, а тиме и његова шира примена [1].

Прва носећа конструкција од гвожђа у свету подигнута је у периоду 1777-1779. године у месту Колбрукдејл у Енглеској преко реке Северн (слика 1.1) од стране Абрахама Дарбија (*Abraham Darby*). Мост је лучни, распона 30,6 m, са стрелом од 13,7 m. Мост се састоји од пет сегментних лукова на три зглоба на размаку од 1,5 m. Лукови су изливени из две половине. У мост је уграђено 378 t гвожђа. Мост је и данас у употреби и служи за пешачки саобраћај. Претходни покушај француских инжењера да изграде мост у Лиону 1755. године је пропао, јер се није могло произвести ливено гвожђе у траженим количинама по конкурентној цени.



Слика 1.1- Мост преко реке Северн у Енглеској [1]

Прогрес у грађењу мостова и кровова од вареног гвожђа брзо се проширио на све развијене земље, што је захтевало производњу нових облика носећих елемената, тако да је дошло до појаве првих профила. Француски инжењер Фердинанд Зорес је успео 1839. године да изваља први I-профил, потом U-профил и на крају је 1852. године по њему названо Зорес гвожђе, које је касније широко примењивано за образовање коловозних табли мостова.

Посебан значај за развој металних конструкција имао је проналазак топљеног челика, 1855. године, од стране Хенрија Бесемера (*Henry Bessemer*). Челик се производио у великим крушкастим окретним посудама, званим конвертори, у растопљеном стању, те отуда и његов назив. Међутим, до друге половине XIX века челик се није производио у довољним количинама и са довољно ниском ценом да би био конкурент вареном гвожђу. Главна разлика у хемијском саставу горња два метала је у садржају угљеника.

Мост *Sent Luis* преко реке Мисисипи завршен 1874. године је први значајан мост направљен од челика (слика 1.2). Мост је лучни, распона  $153,0+159,0+153,0$  m.



**Слика 1.2-** Мост *Sent Luis* преко реке Мисисипи [1]

Увођењем Сименс-Мартиновог, а нарочито Томасовог поступка омогућена је после 1880. године масовна производња челика, доброг квалитета, такозваног топљеног челика који је и данас у употреби. Преко реке Ист (*East River*) у Њујорку завршен је 1883. године висући *Brookline Bridge*, са највећим распоном у то доба од 486,0 m (слика 1.3).



**Слика 1.3-** Бруклински мост преко реке Ист у Њујорку [1]

Прва значајна конструкција од челика у Енглеској је монументални *Forth Bridge*, распона  $210,0+521,0+210,0$  m, који је завршен 1889. године (слика 1.4). Мост је решеткаст, система Герберовог носача. Тежина конструкције је 53.305 t, са уграђених 6.500.000 закивака. Мост је изузетно импресиван, па и данас изазива пажњу инжењера широм света. Све до 1917. године, када је пуштен у промет мост у Квибеку у Канади, био је то гредни мост са највећим распоном на свету.



Слика 1.4- *Forth Bridge* [1]

Најстарија примена гвоздених конструкција у зградарству датира из 1785. године на једној кући у Боулоњу, француског архитекта Ангоа, код које су примењени гвоздени носачи међуспратне конструкције распона 6,5 m. Прве кровне конструкције од ливеног гвожђа јављају се почетком XIX века и то по угледу на већ постојеће системе од дрвета. Најзначајније кровне конструкције од ливеног гвожђа су: кров за куполу париске зграде *Halle aux Bles* пречника 13,86 m изведен 1811. године аутора Беланжа и Брунеа (*Belange* и *Brunet*), торањ катедрале у Руану и кров базена у купатилу Диана у Бечу, обе из 1820. године.

За прву светску изложбу која је отворена 1. маја 1851. године изграђена је *Crystal Palace* у Лондону (слика 1.5), за до тада нечувено кратко време од само 17 недеља. Конструкција је изведена као оквирна, са витким гвозденим стубовима и решеткастим носачима. Детаљи спојева ливеног гвожђа одају префињени ниво, како у пројектовању, тако и у занатском извођењу.



Слика 1.5- *Crystal Palace* у Лондону [1]

## 1.2 КАРАКТЕРИСТИКЕ МЕТАЛНИХ КОНСТРУКЦИЈА

За извођење грађевинских објеката са носећом конструкцијом од метала челик представља још и данас по употребљеној количини главни материјал, мада се последњих деценија уочава и повећана употреба алуминијума. Челичне конструкције поседују специфична својства и значајне техничке и функционалне предности у односу на друге грађевинске материјале, те зато имају широку примену за све врсте грађевинских конструкција. Такође, карактерише их изузетно брз тренд развоја који је проузрокован појавом и развојем нових савремених метода прорачуна и анализе, нових високо софистицираних конструкцијских система, затим развој потпуно аутоматизованих система за израду радионичке документације на рачунару, као и система за израду конструкција у радионици и нових поступака монтаже на градилишту [1, 2].

Челик, као основни материјал за носеће металне конструкције, се користи скоро за све типове грађевинских објеката као што су: индустријске хале, спратне зграде, изложбене и спортске дворане, хангари, кровови стадиона, гараже, мостови, резервоари, силоси, бункери, водоторњеви, антенски стубови, стубови далеководна, димњаци, оставе, офшор-платформе и многе друге конструкције за специјалне намене.

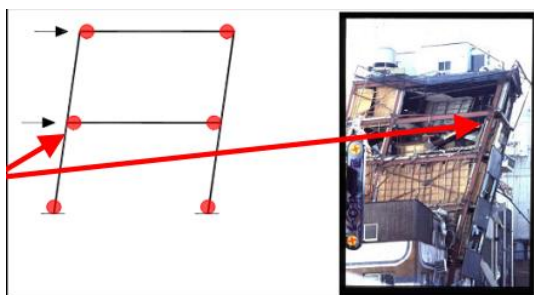
Као материјал за носеће конструкције челик поседује изузетне карактеристике у које спадају:

- висока механичка својства,
- мале димензије и тежине елемената челичних конструкција,
- индустријализована производња,
- лака манипулација, транспорт и монтажа,
- релативно лако фундаирање,
- велика сеизмичка отпорност,
- флексибилност и адаптивност,
- могућност демонтаже и трајна вредност.

Високе механичке карактеристике и дуктилност конструкционих челика, много веће него код других грађевинских материјала, обезбеђују највећи степен искоришћења носећих својстава, а при том и знатну пластичну резерву носивости. То има посебног значаја при изузетним екстремним оптерећењима као што је слегање темеља, дејство земљотреса или удар возила о конструкцију. Захваљујући изузетним механичким својствима елементи челичних конструкција, у поређењу са конструкцијама од других материјала, имају знатно мање димензије, а самим тим и мању тежину што омогућава лакшу манипулацију и транспорт. Због мале тежине погодне су за примену у сеизмички активним регионима. Челичне конструкције омогућавају савлађивање великих распона и висина, како код хала и спратних зграда, тако и код мостова, при чему су тежине и димензије носеће челичне конструкције битно мање него код других грађевинских материјала.

Предности металних конструкција:

1. Високе вредности механичких карактеристика ,
2. Дуктилност: способност материјала да пре лома претрпи значајне пластичне деформације (слика 1.6)



Слика 1.6- Дуктилност [2]

3. Могући велики распони (нпр. стадиони-слика 1.7) и висине (нпр. торњеви) - челик је често једино изводљиво решење,



Слика 1.7- Велики распони при изради стадиона [2]

4. Индустијализована производња и стандардизован квалитет,
5. Мале димензије и тежине елемената челичних конструкција - повољан однос сопствена тежина / користан терет,
6. Обновљивост ,
7. Могућност комбиновања са другим материјалима (посебно бетоном),
8. Префабрикација (у радионици-слика 1.8), монтажа (на градилишту-слика 1.9) и демонтажа (по потреби),



**Слика 1.8- Префабрикација (у радионици) [2]**



**Слика 1.9- Монтажа (на градилишту) [2]**

9. Једноставна санација и реконструкција – нпр. ојачавање профила наваривањем ламела,
10. Лака манипулација и транспорт,
11. Релативно лако фундирање (слика 1.10)



**Слика 1.10- Лако фундирање [2]**

Због претходно реченог челичне конструкције држе све рекорде у грађевинарству.

Недостаци металних конструкција:

1. Осетљивост на корозију (слика 1.11),



**Слика 1.11- Појава корозије [2]**

2. Осетљивост на високе температуре -пожар,

3. Осетљивост на извијање и избочавање (виткост елемената),

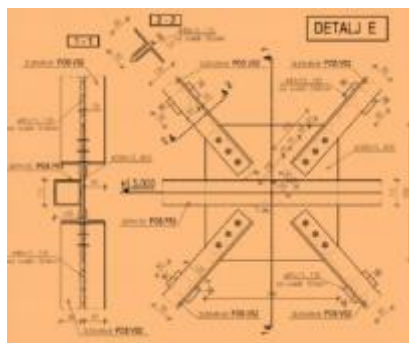
4. Осетљивост на пузање (нарочито алуминијум)-слика 1.12,



**Слика 1.12- Пузање [2]**

5. Висока цена конструкције,

6. Сложеност израде техничке документације-слика 1.13,



**Слика 1.13- Сложена техничка документација [2]**

7. Потребна квалификована радна снага за производњу и монтажу,

8. Традиционално мања заступљеност металних конструкција (у Србији) - у односу на бетонске, зидане и дрвене конструкције.

## 2. РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ

Развој железнице у Европи од 1850 год. дао је значајан подстрек развоја металних конструкција. На самом почетку железнички мостови су се израђивали од обичних решеткастих носача са паралелним решеткама, али су се занемарили битни фактори (бочна деформација чворова у горњем појасу) што је доводило до честих проблема. 1892. год појављује се прва књига под називом „Решетка у простору“ чији је извођач August Ftippl и која садржи основе прорачуна тродимензионалних конструкција [1].

Жељом да се добију носачи који би одговарали свим напорима и оптерећењима уз минималан утрошак енергије и материјала у односу на саћасте и пуне носаче, настали су решеткасти носачи. Решеткасти носачи представљају систем сачињен од лаких крутих штапова, међусобно зглобно везаних својим крајевима. Зглобне везе крајева штапова називају се чворови. Штапови решеткастих носача су аксијално напрегнути па из тога следи да је дијаграм нормалних напона константан па се може остварити боље искоришћење напона у односу на друге носаче (пуне носачи). Због своје конструкције пропуштају више светлости и омогућавају несметано спровођење инсталација.

Кровни носачи у решеткастој изради примењују се у готово свим типовима објеката, од индустријских хала, преко објеката високоградње до спортских и конгресних дворана и изложбених павиљона. Избором облика решеткасте структуре и попречних пресека штапова могу се добити решеткасти носачи веома атрактивног изгледа, тако да челична конструкција постаје саставни део ентеријера, а да ни на који начин не нарушава архитектонску целину.

Примењују се у случајевима када конструкција треба да пренесе оптерећење преко великог распона или дохвата и када је примена пуних лимених носача нерационална због следећих карактеристика:

- Велики распон захтева и релативно велику висину носача, што погоршава степен искоришћења материјала,
- Усложњавају се услови постизања стабилности лимова на избочавање,
- Ако су оптерећења релативно мала, обезбеђење потребне крутости носача, погоршава рационалност искоришћења материјала.

Предности решеткастих конструкција у односу на класичан вид градње су:

- Велика крутост при покривању великих површина, без потребе међуослонаца,
- Релативно мала висина конструкције у односу на распон:  $h/L=1/15 - 1/25$ .
- Већа искоришћеност пресека, што је резултат мање тежине уграђеног челика а тиме и мањи укупни трошкови.
- Равномерна расподела сила у три димензије, већа сигурност и повољнија расподела сила у случају оштећења елемената или њиховог конструктивног искључивања.
- Могућност за серијску и индустријску производњу унифицираних компатибилних елемената применљивих у различитим типовима градње.
- Лака и бржа монтажа целих изведених секција конструкције, независно од годишњег доба.
- Могућност постављања свих врста инсталација у свим правцима кроз саму конструкцију (електричне, телефонске, клима и др.).
- Видљива носећа конструкција код позоришта, биоскопских сала, пливачких базена поред естетског изгледа побољшава и акустику.
- Сигурнији су у случајевима пожара, што је и доказано експериментом 1975 год. на моделима у природној величини. Измерен је угиб од 9mm, односно  $L/1000$  за време од 3 сата и 20 минута од појављивања пожара у  $1/4$  конструкције.

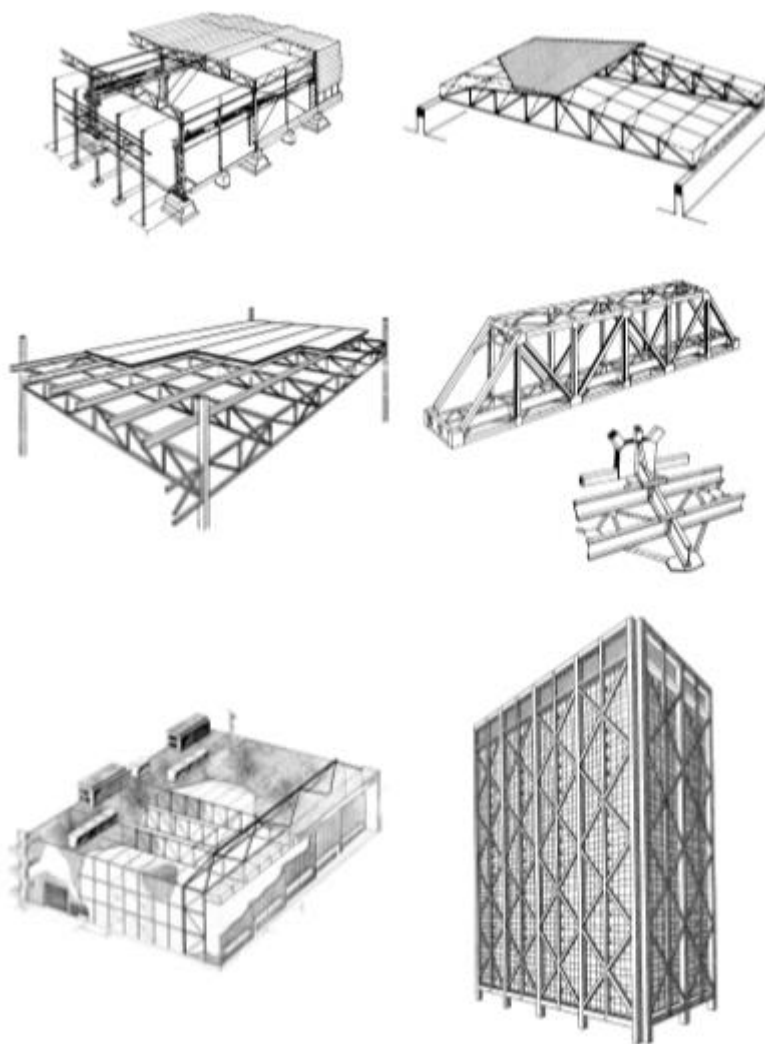
Поред широког спектра предности решеткасте конструкције поседују и низ недостатака са којима се морамо суочити приликом конструисања:

- Временски дуготрајни прорачун класичном методом (без примене рачунара), као и време потребно за радионичку израду елемената (штапова и спојнице).
- Недостатак одговарајућих материјала.
- Сувише новца потребно за одржавање конструкција због њених склоности корозије.
- Као и највећи проблем, просторно спајање великог броја штапова у чворовима.

При избору материјала за израду решеткасте конструкције важи да сваки материјал треба да се примени на одговарајућем месту при изради. Она захтева и транспорт и монтажу најмање масе, чија је градња могућа у најкраћем временском року, без обзира на годишње доба и друге услове који ограничавају класичну градњу.

Како би остварили индустријски напредак у овом сегменту потребно је поштовати одређене захтеве:

- Мању потрошњу материјала
- Развој нових материјала
- Нова конструктивна решења
- Нове технологије
- Аутоматизованост . . .



**Слика 2.1-** *Примери примене решеткастих носача [1]*

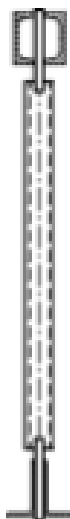
На слици 2.1 приказано је неколико карактеристичних решеткастих носача који се примењују у зградарству и мостоградњи. Једна индустријска хала са решеткастим кровним носачима и стубовима је приказана на првој слици. Кровни носач карактеристичан за објекте високоградње је приказан на другој слици. Пример међуспратне конструкције коју сачињавају решеткасти подни носачи и подвлаке приказан је на трећој слици. На четвртој слици приказана је конструкција железничког моста са решеткастим главним носачима. Осим главних носача, решеткасте конструкције су и спрегови за пријем ветра и спрег за бочне ударе. На петој слици приказан је хангар са решеткастим кровним носачима који се ослањају на подвлаку система решеткастог носача. Пример вертикалног спрега за укрућење једне високе зграде приказан је на шестој слици.

На основу приказаних примера може да се уочи разноликост димензија, облика и просторног положаја решеткастих носача. Имајући у виду ове, али и друге разлике које се, пре свега, односе на конструкцијско обликовање, извршена је подела решеткастих носача како би се омогућила извесна систематизација. Подела решеткастих носача може да се изврши на основу више критеријума:

- према броју појасева,
- према просторном положају,
- према интензитету напрезања,
- према начину обликовања чворова.

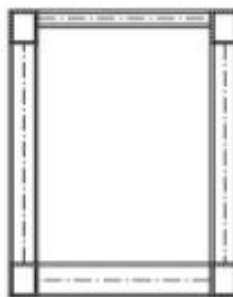
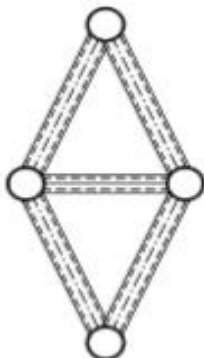
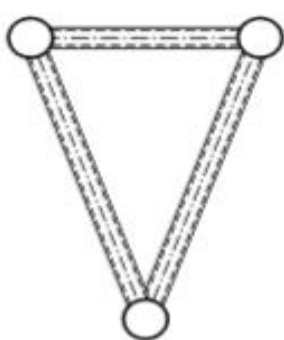
Према броју појасева решеткасти носачи се могу поделити на: **двопојасне** и **вишепојасне**.

Двопојасни решеткасти носачи (слика 2.2) се састоје, као што сам назив каже, од два појаса (горњег и доњег) који су међусобно повезани штаповима испуне.



**Слика 2.2-** *Двопојасни решеткасти носач [1]*

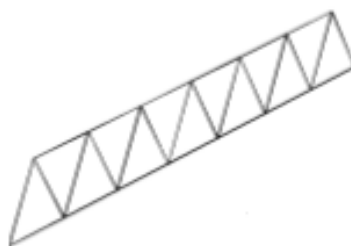
Вишепојасни решеткасти носачи имају више од два појаса. Најчешће се примењују решеткасти носачи са три (тропојасни решеткасти носачи) или четири појаса (четворопојасни решеткасти носачи), мада има примера и са више од четири појаса (нпр. шест). Тропојасни решеткасти носачи имају троугаони попречни пресек, што заправо значи да је горњи или доњи појас удвојен (слика 2.3). Штапови испуне се налазе у две косе равни, а у равни удвојених појасних штапова обавезно се налази подужни спрег који обезбеђује просторну стабилност. Четворопојасни решеткасти носачи су углавном квадратног, ромбичног или трапезастог попречног пресека (слика 2.4). У зависности од облика попречног пресека штапови испуне леже у две равни (код квадратних и трапезастих пресека), односно четири равни (код ромбичних пресека).



Слика 2.3- Тропојасни решеткасти носач [1]    Слика 2.4- Четворопојасни решеткасти носач [1]

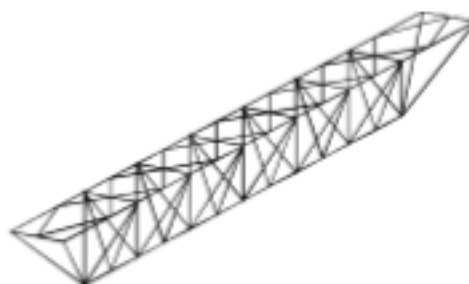
С обзиром на просторни положај решеткасти носачи се могу поделити на: **раванске** и **просторне**.

Равански решеткасти носачи (слика 2.5) су носачи код којих системне линије свих штапова леже у једној равни. Према томе, равански решеткасти носачи имају два појаса, па се такође могу сврстати у двопојасне носаче.



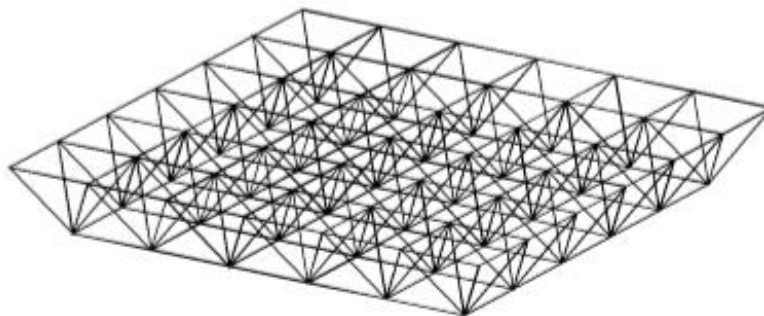
Слика 2.5- Равански решеткасти носач [1]

Просторни решеткасти носачи су носачи код којих системне линије штапова не леже у једној равни већ формирају просторну структуру. Са статичког становишта просторни решеткасти носачи се могу поделити на линијске и површинске носаче. Линијски просторни решеткасти носачи (слика 2.6) имају јасно изражен правац пружања, односно једну димензију (дужину) која је доминантна у односу на друге две (ширину и висину попречног пресека).



Слика 2.6- Просторни решеткасти носач [1]

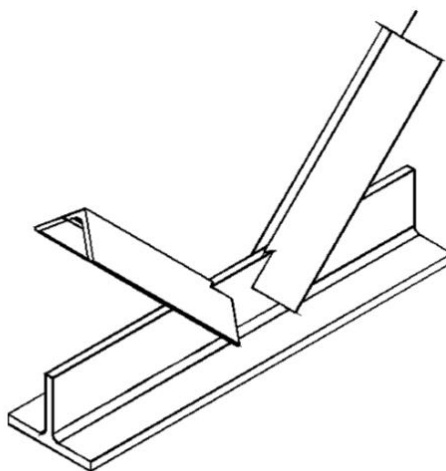
Површински просторни решеткасти носачи (слика 2.6) представљају дискретизацију плоча, односно љуски и у глобалном смислу понашају се слично површинским носачима. Као и код "пуних" површинских носача и код решеткастих површинских носача две димензије су доминантне у односу на трећу - висину решеткастог носача. Моменти савијања, који се код плоча јављају у два правца, прихватају се мрежом аксијално напрегнутих појасних штапова, док се смичуће силе и код оваквих носача прихватају штаповима испуне. Основне "ћелије" мреже просторних решеткастих носача углавном су тетраедар и октаедар, чијим се вишеструким понављањем образује просторна структура.



**Слика 2.6-** Површинско просторни носач [1]

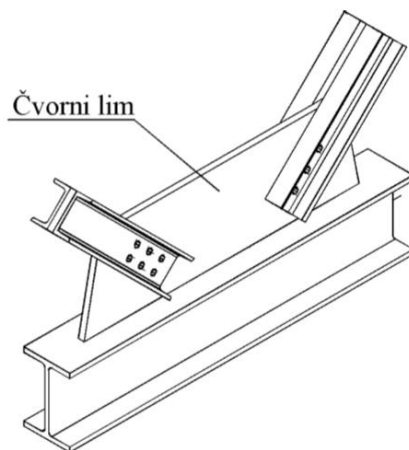
Према интензитету оптерећења решеткасти носачи се деле на: **лаке, средње тешке и тешке.**

Лаки решеткасти носачи (слика 2.7) се користе углавном у зградарству, када су оптерећења мирна и умереног интензитета. Израђују се најчешће од ваљаних L, T, U и евентуално I профила или хладно обликованих профила отвореног и затвореног попречног пресека.



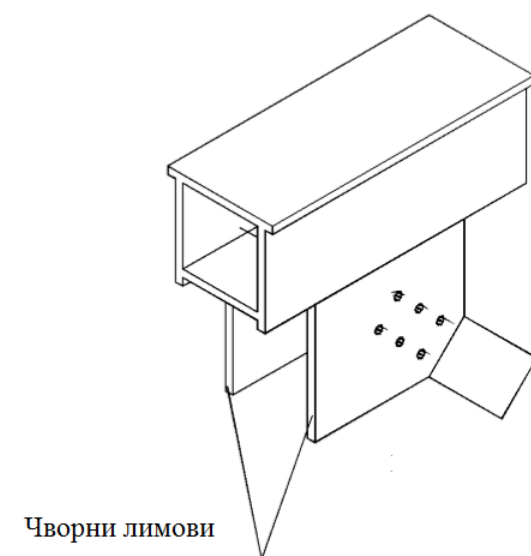
**Слика 2.7-** Лаки решеткасти носач [1]

Средње тешки решеткасти носачи (слика 2.8) се примењују за веће распоне и оптерећења значајног интензитета, и то углавном као кровни и подни носачи, или као крански носачи у индустријским објектима. Као штапови оваквих решеткастих носача користе се претежно тешки ваљани профили (U, I, IPE, HEA, HEB...) једноделног или вишеделног пресека.



**Слика 2.8-** Средње тешки решеткасти носачи [1]

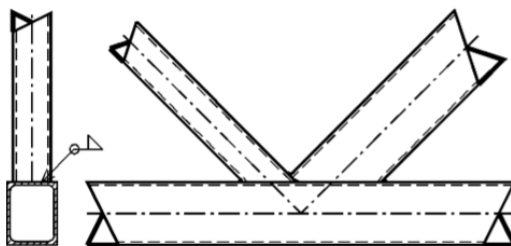
Тешки решеткасти носачи (слика 2.9) се по правилу примењују код изузетно великих распона и оптерећења. Најчешће је то случај са главним мостовским носачима, који се изводе као решеткасти носачи за распоне од 30 до 100 m. Такође се примењују и као кровни носачи изузетно великих распона, какви се често срећу код спортских и конгресних дворана, изложбених хала, стадиона, итд. Штапови тешких решеткастих носача се углавном изводе у завареној изради и то сандучастих, шеширастих или I попречних пресека.



**Слика 2.9-** Тешки решеткасти носачи [1]

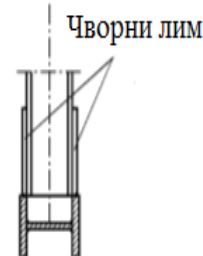
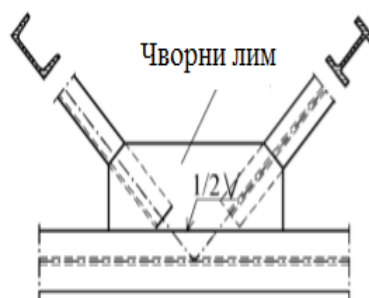
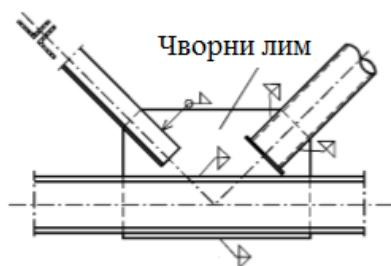
Према начину обликовања чворова, односно према остваривању везе између појасних штапова и штапова испуне, решеткасти носачи се деле на: **решеткасте носаче без чворног лима** и **решеткасте носаче са чворним лимом**.

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 такође могу конструисати и средње тешки носачи од хладно обликованих профила затвореног (кружног или квадратног) попречног пресека (слика 2.10).



Слика 2.10- Решеткасти носачи без чворног лима [1]

Решеткасти носачи са чворним лимом су носачи код којих се штапови испуне за појасне штапове прикључују помоћу посебних, додатних лимова, који се називају чворни лимови. Решеткасти носачи код којих се за прикључак користи један чворни лим називају се једнозидни решеткасти носачи и примењују се за лаке и средње тешке носаче у зградарству (слика 2.11). Када се веза остварује преко два чворна лима који леже у две паралелне равни, такви решеткасти носачи се називају двозидни решеткасти носачи (слика 2.12).



Слика 2.11- Решеткасти носач са чворним лимом [1]

Слика 2.12- Двозидни решеткасти носач [1]

## 2.1 ОСНОВНА ПРАВИЛА ЗА КОНСТРУИСАЊЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

При пројектовању решеткастих носача, односно приликом дефинисања мреже штапова решеткасте структуре, треба поштовати следећа правила:

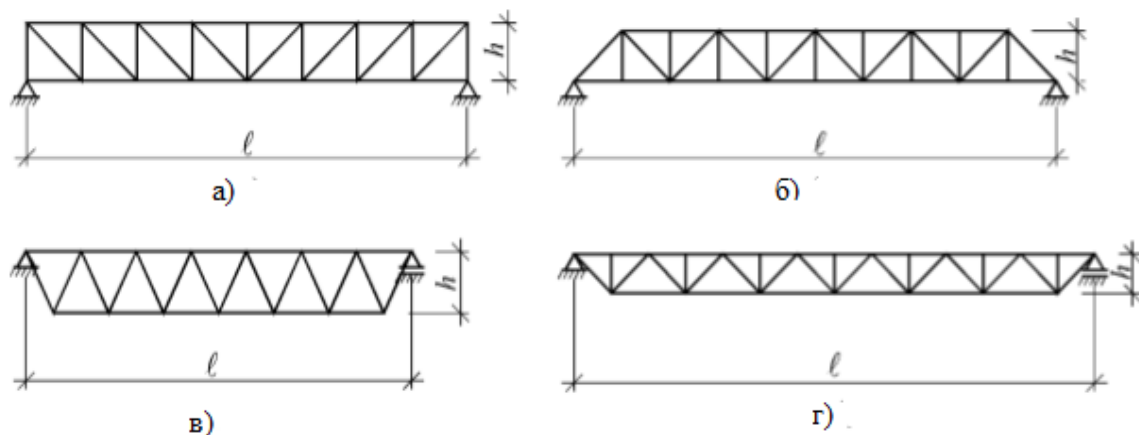
1. Спољашње оптерећење треба да се уноси у решеткасти носач по правилу у чворовима. На тај начин се избегава локално савијање појасних штапова, па су сви штапови изложени само дејству аксијалних сила. Међутим, код неких типова решеткастих носача, као што су на пример рожњаче, подни и крански носачи, ово правило не може да се испоштује. Оптерећење се код ових носача не уноси посредно, преко чворова, већ директно савијањем појасних штапова [1].
2. Дужина притиснутих штапова треба да буде што мања. На овај начин се повећава отпорност притиснутих штапова на извијање, јер је, као што је познато, критична сила еластичног извијања обрнуто пропорционална квадрату дужине. Смањење дужине притиснутог појаса може да се оствари прогушћавањем мреже решеткастог носача, односно уметањем вертикала и образовањем нових чворова.
3. Углови под којима се сустичу штапови решеткастих носача треба да буду већи од  $30^\circ$ . У супротном, да би се оствариле везе, било у завареној изради или помоћу завртњева, неопходни су дугачки и неправилни чворни лимови, а саме везе су тешко приступачне и дугачке. Код решеткастих носача са простом дијагоналном испуном најповољније је да дијагонале са појасним штаповима заклапају угао од  $60^\circ$ . У случају решеткастих носача са вертикалама и дијагоналама, угао од  $45^\circ$  представља оптимално решење.
4. Штапови решеткастих носача треба да буду прави између чворова. Криве или коленасте штапове треба избегавати јер се код њих, због одступања од замишљене праве линије која спаја суседне чворове, јављају локални моменти савијања.
5. Монтажне наставке појасних штапова треба предвидети непосредно уз чворове, са стране мање напрегнутог штапа. На овај начин монтажни наставци су ослобођени евентуалних секундарних утицаја од извијања штапова и оптерећени су мањим силама, па се постиже уштеда на спојним средствима.
6. Појасни штапови треба да буду прави у оквиру једног монтажног комада. На овај начин се избегавају релативно скупи радионички наставци. Уколико је пак неопходна промена правца у оквиру једног монтажног сегмента, она треба да се оствари у чвору како би штапови испуне прихватили скретне силе.

## 2.2 ОБЛИЦИ И ДИМЕНЗИЈЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

За решеткасте носаче се, углавном, користе исти статички системи као и код пуних носача. Дакле, најчешће се примењују просте греде, континуални носачи, конзоле и лучни носачи, а ређе Герберови носачи, чија је значајнија употреба везана за почетну фазу развоја челичних конструкција. У зависности од статичког система, функције носача, типа конструкције и интензитета оптерећења, решеткасти носачи имају различите облике и димензије. Њихов облик дефинисан је геометријом појасних штапова, односно спољашњом контуром носача [1].

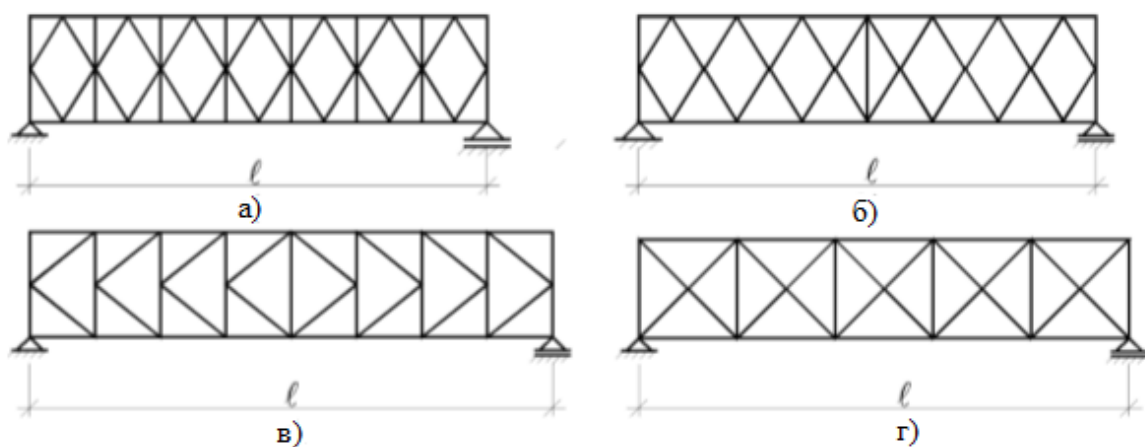
*Решеткасти носачи са паралелним појасевима* могу да буду правоугаоног (слика 2.13а) или трапезастог облика (слика 2.13б), уколико су изостављене ослоначке вертикале. У високоградњи се најчешће примењују као рожњаче, подни носачи, подвлаке, спрегови и крански носачи, а у мостоградњи као главни носачи и спрегови.

Диспозиција штапова испуне зависи од низа фактора као што су: распон носача, висина носача, положај и карактер оптерећења итд. Када спољашње оптерећење не мења смер деловања, као што је случај са вертикалним гравитационим оптерећењем, односно ако нема алтернативног напрезања, дијагонале решеткастих носача са паралелним појасевима треба да падају према средини, симетрично са обе стране (слика 2.13а). На тај начин су све дијагонале затегнуте што је веома рационално са становишта утрешка материјала, јер притиснути штапови због извијања захтевају знатно робусније попречне пресеке. Међутим, најрационалнија је примена просте решеткасте испуне, која је састављена искључиво од дијагонала (слика 2.13в). Решеткастим носачима са простом троугаоном испуном често се додају вертикале (слика 2.13г), како би се смањила дужина извијања притиснутог појаса у равни решеткастог носача и омогућило увођење оптерећења преко гушће мреже чворова.



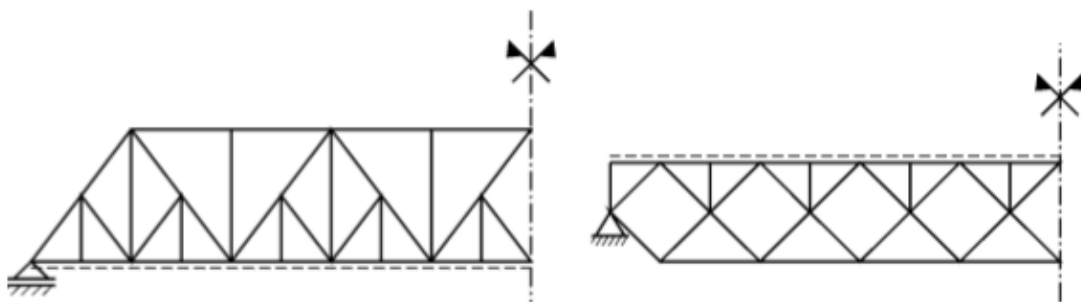
Слика 2.13- Решеткасти носачи са паралелним појасевима [1]

Решеткаста укрућења - спрегови се готово искључиво изводе као носачи са паралелним појасевима. Најчешће се као спрегови користе решеткасти носачи са ромбичном испуном, К-испуном или са укрштеним дијагоналама. Ромбична испуна (слика 2.14а) се најчешће примењује за спрегове за пријем ветра код мостовских носача. Код спрегова са ромбичном испуном могу да се изоставе вертикале, изузев једне, обично средње (слика 2.14б). Спрегови са К-испуном (слика 2.14в) имају кратке штапове испуне, што је веома битно са становишта отпорности на извијање, јер омогућава примену релативно малих попречних пресека састављених од једног или два L-профила. Спрегови са укрштеним дијагоналама (слика 2.14г) се примењују код претежно мирног оптерећења. Примена укрштених дијагонала је погодна када је спрег изложен алтернативном оптерећењу, па се овакви спрегови називају и алтернативни спрегови.



**Слика 2.14-** Облици испуне код решеткастих укрућења- спрегова [1]

Код мостовских носача изузетно великих распона примењују се решеткасти носачи са секундарном испуном (слика 2.15).

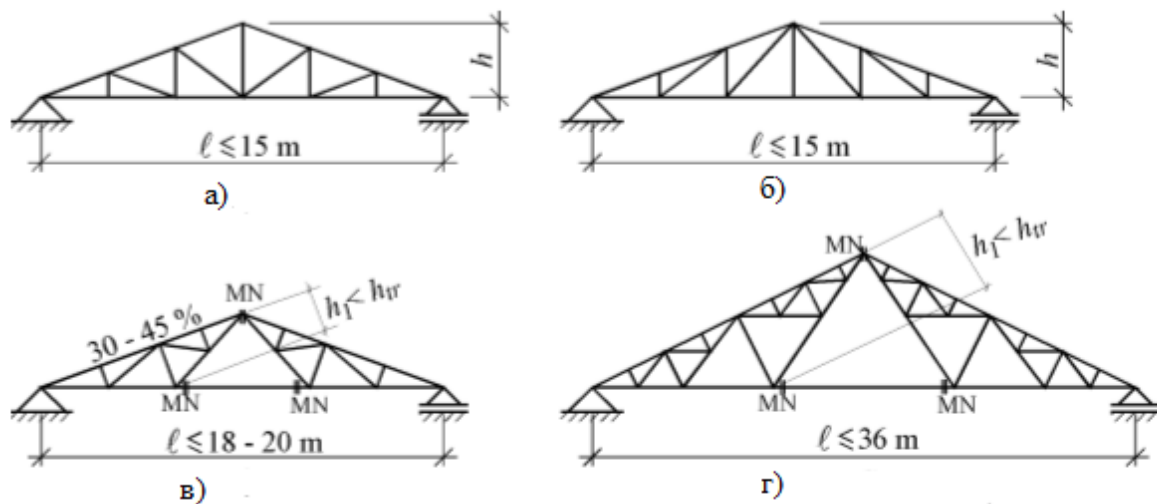


**Слика 2.15-** Решеткасти носачи са паралелним појасевима и секундарном испуном [1]

*Решеткасти носачи са горњим појасом у нагибу примењују се искључиво у зградарству као кровни носачи. По облику се могу поделити на троугаоне и полигоналне.*

Троугаони решеткасти носачи (слика 2.16) се примењују код стрмих кровова са нагибом од 20-45%. За разлику од носача са паралелним појасевима, код троугаоних решеткастих носача дијагонале су затегнуте када падају од средина носача ка крајевима (слика 2.16б). Максималан распон троугаоних решеткастих носача (слика 2.16а,б) условљен је транспортом. Имајући у виду да је максимална висина габарита за нормалан железнички транспорт 2,9 m, лако се може уочити да је примена троугаоних решеткастих носача ограничена на распоне до 15 m.

Међутим, троугаони решеткасти носачи могу да се користе и за веће распоне (до 36 m), ако се штапови испуне обликују тако да се носач може поделити на монтажне секције које се уклапају у поменуте транспортне габарите (слика 2.16в,г).

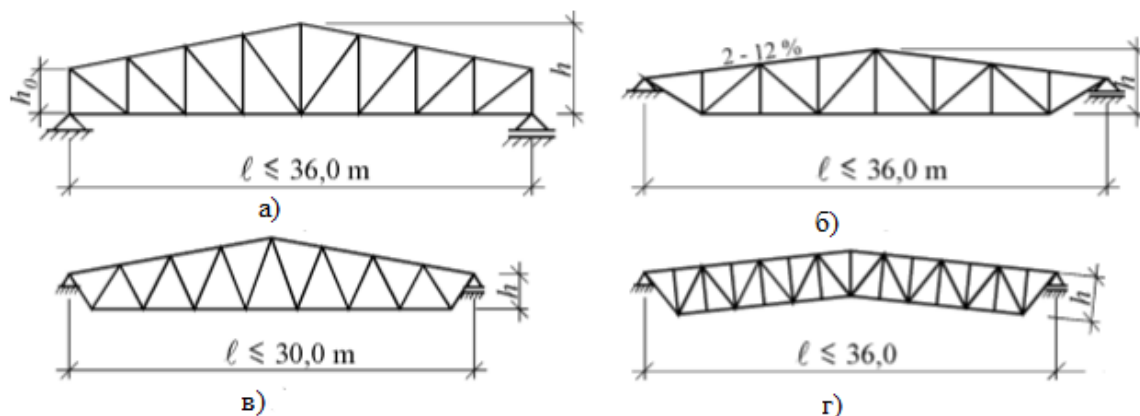


Слика 2.16- Троугаони решеткасти носачи [1]

Полигонални решеткасти носачи (слика 2.17) се, за разлику од троугаоних, углавном примењују код кровних носача са благим нагибом (2-12%). Најчешће се користе као кровни носачи већих распона (од 18 до 36 m), и то како у индустријским објектима тако и у објектима високоградње.

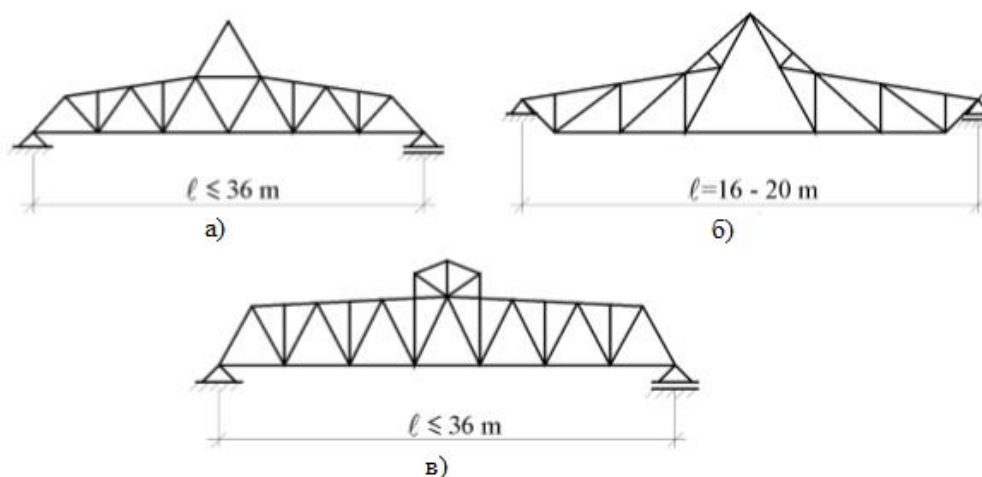
Изостављањем ослоначких вертикала и подизањем осланаца до нивоа горњег појаса (слика 2.17б), обезбеђује се стабилност носача на претурање. Наиме, тежиште решеткастог носача се у том случају налази испод замишљене линије која спаја ослонце, па се она налази у стању стабилне равнотеже. Због тога се овакви решеткасти носачи називају аутостабилни носачи. Ови спрегови су неопходни код решеткастих носача који нису аутостабилни (слика 2.17а), јер обезбеђују стабилност носача на претурање.

Као и код решеткастих носача са паралелним појасевима дијагонале су затегнуте ако су нагнуте ка средини (слика 2.17а). Због изостављања вертикала код решеткастих носача са простом дијагоналном испуном (слика 2.17в) смањује се укупна тежина штапова. При обликовању кровних носача преко којих се постављају рожњаче са косницима, пожељно је да и доњи појас буде у нагибу (слика 2.17г), како би сви косници имали исту дужину.



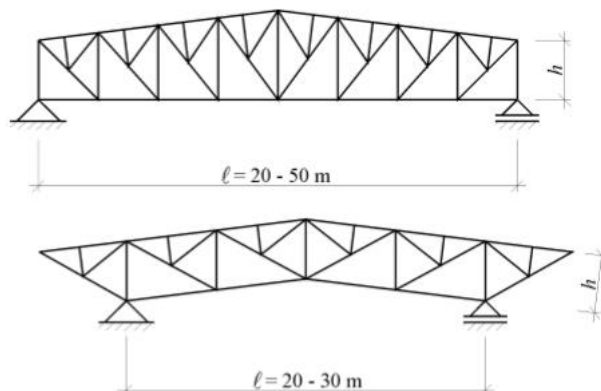
Слика 2.17- Полигонални решеткасти носачи [1]

Један од начина за обезбеђење природног осветљења у халама је примена светларника. Светларник може да буде изведен као засебна конструкција, која лежи на главном кровном носачу и омогућава постављање светлих површина. Међутим, посебним обликовањем решеткастих кровних носача може се постићи да они истовремено представљају и носећу конструкцију светларника. На слици 2.18 је приказано неколико карактеристичних примера кровних носача код кровова са светларницима.



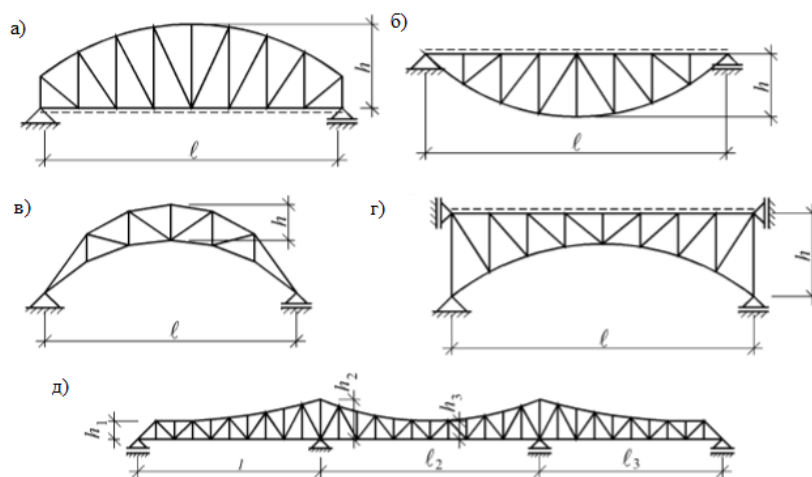
Слика 2.18- Решеткасти носачи код кровова са светларником [1]

За кровне носаче већих распона користе се полигонални решеткасти носачи са секундарном испуном. Секундарна испуна поставља се како би се обезбедила гушћа мрежа чворова на горњем притиснутом појасу. Неки примери решеткастих носача са секундарном испуном приказани су на слици 2.19.



**Слика 2.19-** Решеткасти носачи са секундарном испуном [1]

*Параболични решеткасти носачи* (слика 2.20) су носачи код којих чворови бар једног појаса образују параболу. Појасеви параболичних носача су углавном полигонални, јер примена кривих штапова проузрокује секундарне утицаје савијања. Најчешће је само један појас параболичан (слика 2.20а,б,г,д), али има решења и са оба параболична појаса (слика 2.20в). Примењују се у мостоградњи као главни мостовски носачи са саобраћајем на горњем (слика 2.20б,г) и доњем појасу (слика 2.20а,д) и као кровни носачи код параболичних (лучних) кровова. Што се тиче статичких система, најчешће се изводе као просте греде (слика 2.20а,в), континуални носачи (слика 2.20д), укљештене греде (слика 2.20г) и лучни носачи.



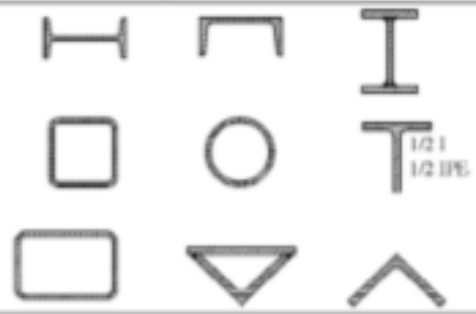
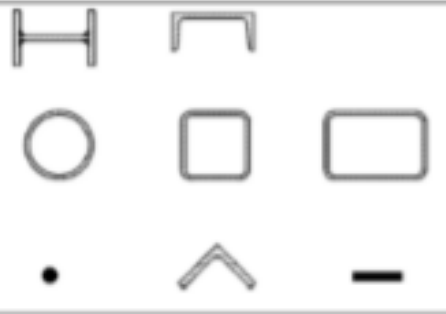
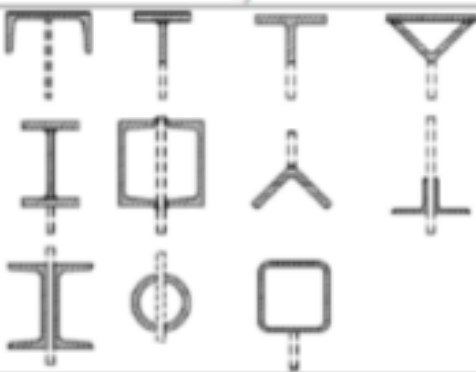
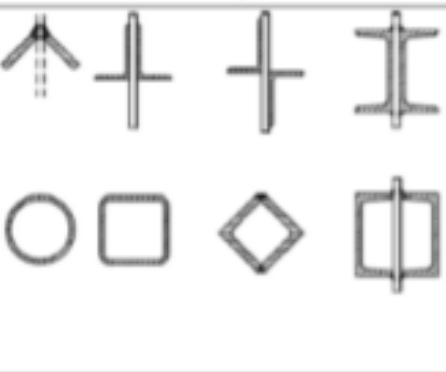
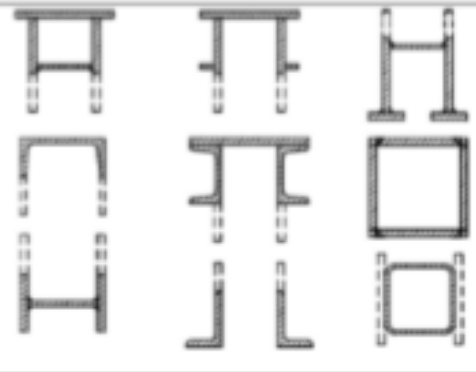
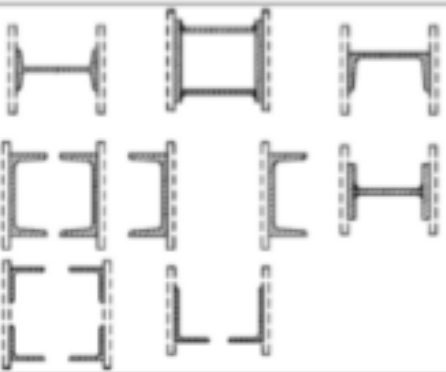
**Слика 2.20-** Параболични решеткасти носачи [1]

Лучни носачи су по правилу параболичног облика, док ређе њихови чворови леже на делу кружног лука.

## 2.3 ОБЛИЦИ ПОПРЕЧНИХ ПРЕСЕКА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

Као штапови решеткастих носача користе се сви стандардни ваљани профили, како отвореног тако и затвореног попречног пресека као и попречни пресеци образовани заваривањем. Избор попречног пресека зависи од интензитета напрезања, начина конструкцијског обликовања веза у чворовима, положаја штапа у конструкцији (појасни или штап испуне) и предвиђене функције решеткастог носача. Ваљани профили се примењују као самостални, једноделни штапови или као саставни елементи вишеделних попречних пресека. Облици попречних пресека који се најчешће примењују приказани су у оквиру табеле 1 [1].

**Табела 1-** Облици попречних пресека штапова решеткастих носача [1]

|                                    | Појасни штапови                                                                           | Штапови испуне                                                                             |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Решеткасти носачи без чворног лима | <br>а)  | <br>б)  |
| Једноделни решеткасти носачи       | <br>в) | <br>г) |
| Двodelни решеткасти носачи         | <br>д) | <br>е) |

Као појасни штапови код решеткастих носача без чворног лима (таб. 2а) се примењују ваљани L, U и I (I, IPE, HEA, HEB и HEM) профили, шупљи профили кружног, квадратног и правоугаоног попречног пресека и I-профили образовани заваривањем. Такође се користе и 1/2I-профили добијени сечењем стандардних I-профила.

Код оваквих попречних пресека штапови испуне се везују преко ребра које има улогу чворног лима. Штапови испуне код решеткастих носача без чворног лима (табела. 1б) се директно, заваривањем, везују за појасне штапове. Осим стандардних ваљаних производа и I-попречног пресека образованих заваривањем, код лаких решеткастих носача се за штапове испуне могу користити и плочи и округли челик.

Приликом избора пресека штапова, код решеткастих носача без чворног лима, треба избегавати комбинације појасних штапова и штапова испуне чије је директно везивање конструкцијски неповољно или немогуће.

Као појасни штапови (табела. 1в) 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 (табела. 1г) су, углавном, ваљани L и U-профили и шупљи пресеци кружног и квадратног попречног пресека. Везе штапова испуне за чворни лим се остварују заваривањем или помоћу завртњева.

Појасни штапови двозидних решеткастих носача (табела. 1д) се израђују од ваљаних U, I и L-профила једноделног и дводелног попречног пресека и сандучастих, шеширастих и I-профила образованих заваривањем.

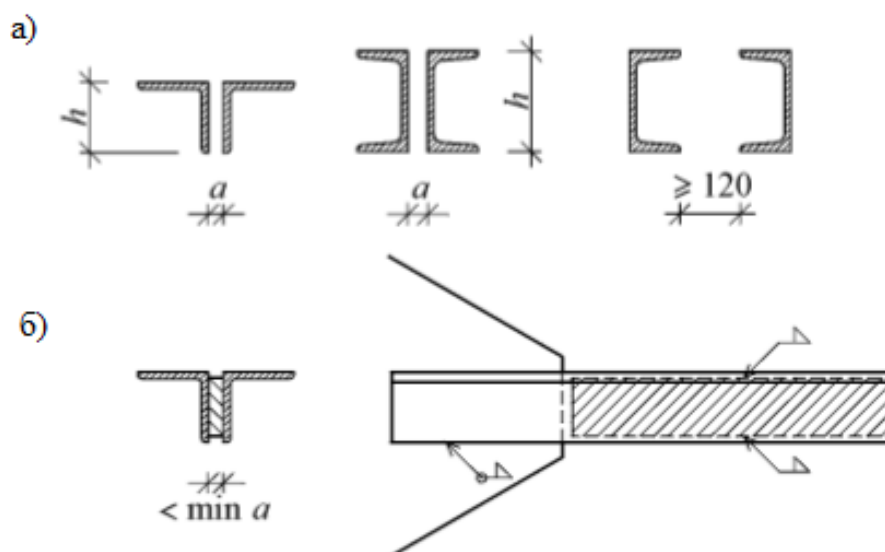
Код мостовских решеткастих носача се, по правилу, примењују заварени сандучасти и шеширасти попречни пресеци и дводелни попречни пресеци образовани од два U-профила са или без ојачања. У зградарству, због мањих напрезања, појасни штапови се израђују од шупљих квадратних и правоугаоних попречних пресека, као и ваљаних U и I-профила.

Попречни пресеци штапова испуне двозидних решеткастих носача (табела. 1ђ) се обликују тако да имају две паралелне равни преко којих се остварује веза са чворним лимовима.

Као затегнути штапови испуне најчешће се примењују U-профили, ваљани или заварени I профили и пресеци формиран 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.

Иако су вишеделни попречни пресеци углавном лакши од еквивалентних једноделних, израда једноделних попречних пресека је јефтинија, јер опадају операције неопходне за повезивање између чворова. Осим тога, повољнији су и са становишта одржавања, јер су приступачни са свих страна, а имају и мању површину за бојење.



**Слика 2.21-** Конструктивне мере код вишеделних попречних пресека у корозионо агресивном окружењу [1]

Код вишеделних штапова у склопу решеткастих носача који се налазе на отвореном простору (нпр. мостовски носачи) или у другим окружењима са повећаном корозионом активношћу, међупростор између вишеделних штапова мора да буде довољно широк, како би се омогућило наношење антикорозионих премаза при одржавању конструкције. У супротном овај међупростор треба испунити подметачем (слика 2.21б). Овај проблем је посебно актуелан код вишеделних пресека код којих се самостални елементи налазе на блиском растојању. Стога се прописује минимално растојање између самосталних елемената (слика 2.21):

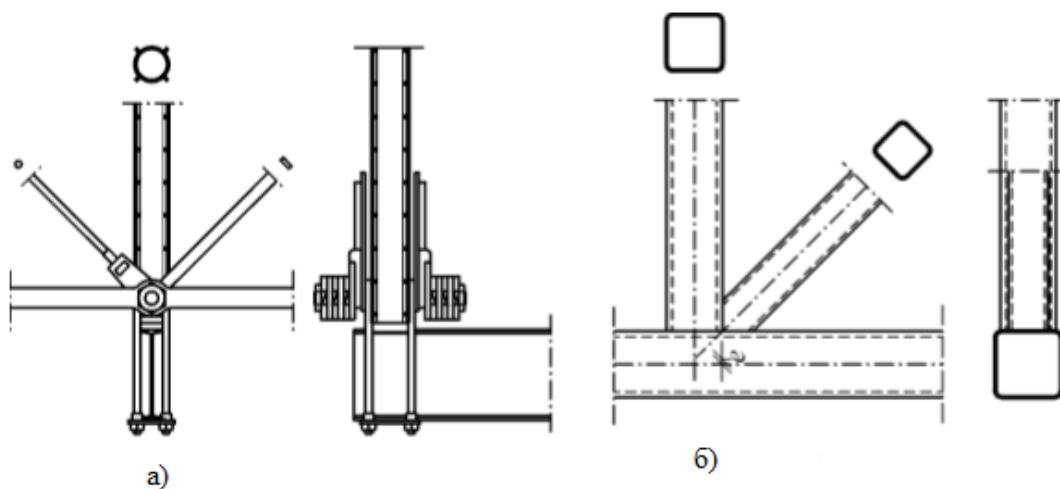
$$a \geq \begin{cases} h/6 \text{ ili } 10 \text{ mm} & \text{у зградарству} \\ h/6 \text{ ili } 15 \text{ mm} & \text{у мостоградњи} \end{cases}$$

## 2.4 ПРОРАЧУН ШТАПОВА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

При одређивању сила у штаповима решеткистих носача користи се прорачунски модел који је заснован на следећим претпоставкама:

1. штапови су идеално зглобно ослоњени,
2. оптерећење делује у чворовима (сопствена тежина штапова се може занемарити или се пак концентрише у чворовима),
3. осе штапова су праве и центрисане.

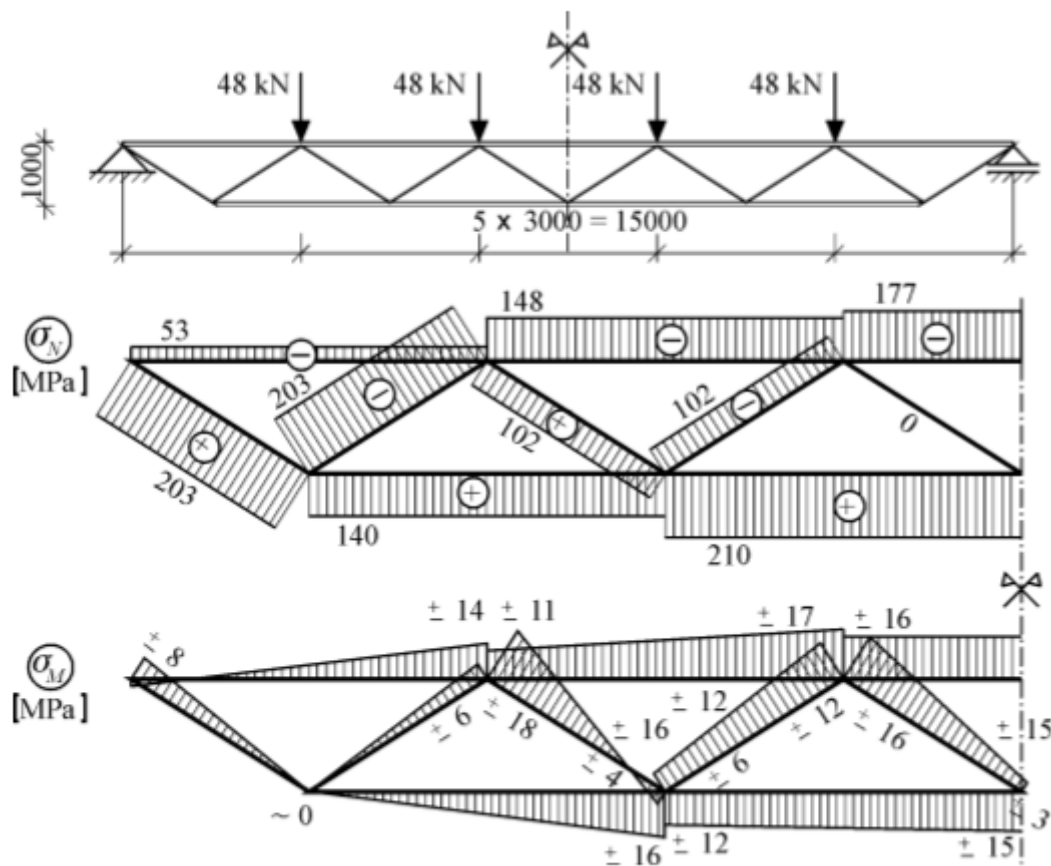
Применом оваквог прорачунског модела знатно се поједностављује поступак прорачуна, јер су штапови изложени само дејству аксијалних сила. Имајућу у виду наведене претпоставке, у почетним фазама развоја челичних конструкција везе у чворовима су образоване помоћу чепова и образних лимова (слика 2.22а), како би се омогућила несметана ротација штапова у чвору. Последњих деценија се одустало од примене идеално зглобних веза са чеповима, већ се примењују везе које су знатно једноставније за израду и естетски повољније. Осим тога, у појединим случајевима се допушта и ексцентрично везивање штапова (слика 2.22б) [1].



**Слика 2.22-** Различити концепти обликовања чворова решеткистих носача: а) традиционални (стари) концепт; б) савремени концепт [1]

Оваква одступања од идеализованог прорачунског модела, било да је реч о крутим везама у чворовима или ексцентричном везивању, доводе до појаве секундарних утицаја. Наиме, у штаповима решеткистих носача се као доминантна, односно примарна напрезања јављају нормални напони изазвани дејством аксијалних сила ( $\sigma_N$ ), док се утицаји настали услед момената савијања ( $\sigma_M$ ) сматрају секундарним. Као потврда ове чињенице може да послужи пример приказан на слици 2.23, на којем се уочава да су нормални напони услед аксијалних сила ( $\sigma_N$ ) и преко 10 пута већи од секундарних напона изазваних савијањем ( $\sigma_M$ ).

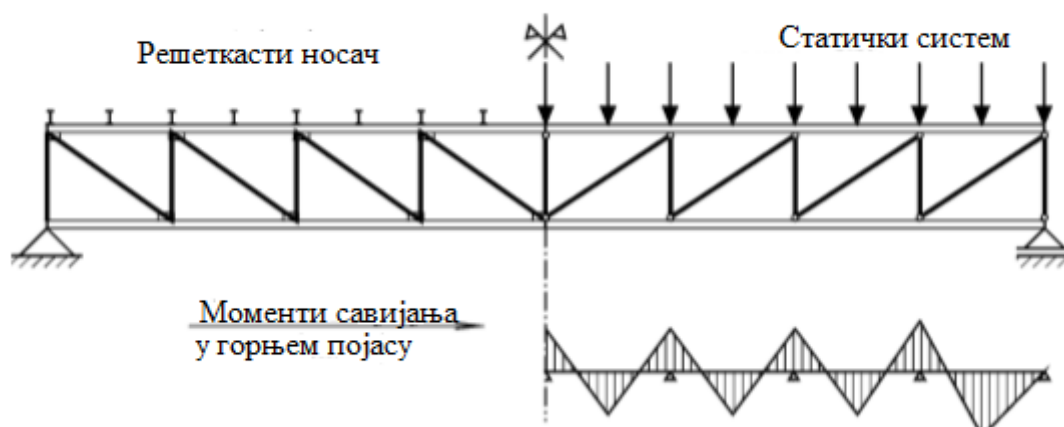
Моменти савијања у чворовима решеткиаог носача одређени су уз претпоставку о идеално крутим везама. Код већине веза изведених помоћу завртњева долази до извесне релативне ротације, услед поништавања зазора између врата завртња и рупе и због деформације прикључних елемената (нпр. чворних лимова), па су услед полукрутог понашања оваквих веза моменти савијања, а самим тим и секундарни напони, још мањи и могу да се занемаре.



Слика 2.23- Секундарни утицаји услед крутих веза у чворовима [1]

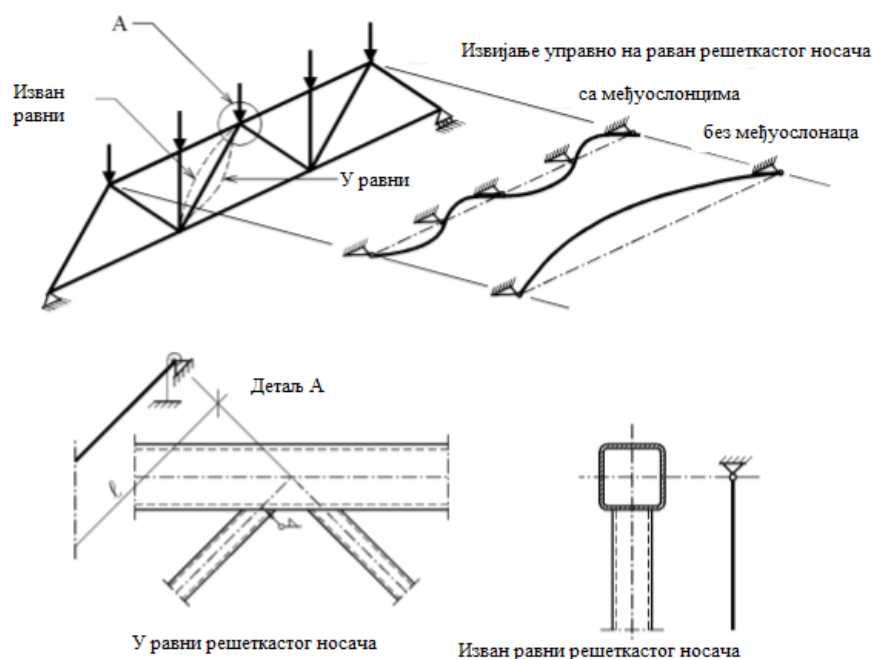
Уколико се оптерећење уноси изван чворова решеткиаог носача, као на пример код решеткиастих рођњача и кранских носача, оно изазива локално савијање појаса дуж којег делује. Моменти савијања који су последица оваквог савијања између чворова не могу се занемарити, већ треба да се третирају као примарни утицаји. Према томе, појасне штапове треба димензионисати на комбиновано дејство аксијалне силе (притиска или затезања) и момента савијања. Због тога су, по правилу, појасни штапови знатно крући од штапова испуне, па се при прорачуну статичких утицаја, локални моменти савијања могу одредити применом поједностављеног модела (слика 2.24). Због своје релативно мале крутости, штапови испуне су ослобођени утицаја момената савијања, већ само обезбеђују ослањање континуалног појаса.

Силе у штаповима се одређују применом познатих метода Статике конструкција. Димензионисањем сваког појединачног штапа према силама које на њега делују добијају се решеткасти носачи минималне тежине. Међутим, код појасних штапова трошкови израде радионичких наставка углавном превазилазе уштеде на тежини, па је само код носача већих распона оправдана промена попречног пресека дуж носача.



Слика 2.24-Локално савијање појасних штапова - прорачунски модел [1]

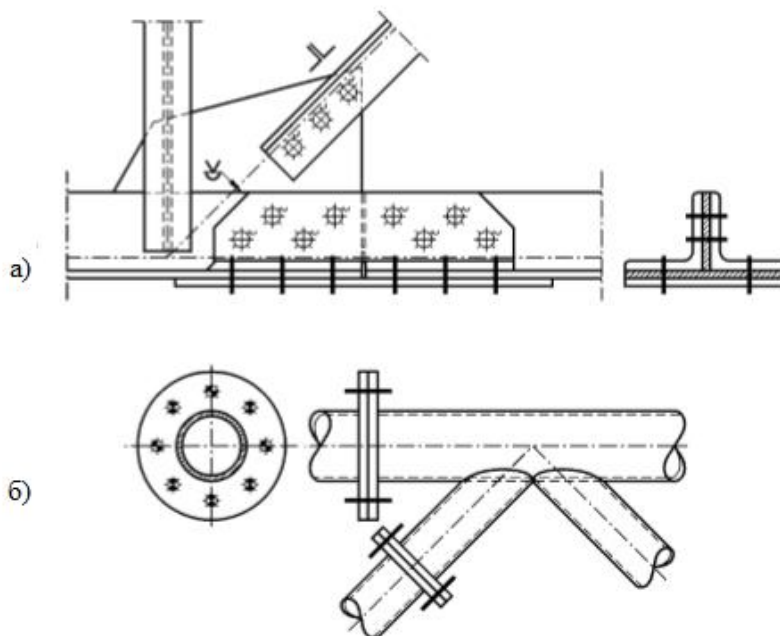
Како су решеткасти носачи доминантно оптерећени аксијалним силама, код статички одређених решеткастих носача носивост читавог система је условљена носивошћу најслабијег штапа. Код затегнутих штапова за димензионисање је меродавна само нето површина попречног пресека, али на димензије и облик попречних пресека штапова затегнутог појаса могу да утичу и неки конструктивни аспекти, као на пример начин остваривања веза.



Слика 2.25- Дужине извијања притиснутих штапова решеткастог носача [1]

Извијање притиснутог појаса изван равни решеткастог носача зависи од растојања тачака бочног придржавања, па је, ако је обезбеђено придржавање у сваком чвору, дужина извијања за извијање изван равни, као и за извијање у равни, једнака системној дужини. Треба тежити да се дужина извијања притиснутог појаса изван равни носача, применом различитих конструкционих мера (нпр. спрегова), смањи на разумну меру.

Уколико је распон носача већи од транспортне дужине, потребно је предвидети монтажне наставке. Они се по правилу изводе помоћу завртњева, а лоцирају се близу чвора на страни слабије напрегнутог штапа (слика 2.26). Најчешће се примењује класични монтажни наставци са подвезицама (слика 2.26а), мада је код решеткастих носача од шупљих профила веома честа употреба наставака са чеоном плочом (слика 2.26б). Ако се штапови испуне прикључују заваривањем, у истом пољу решеткастог носача у којем се изводе монтажни наставци појасних штапова треба предвидети и монтажни натавак дијагонале (слика 2.26б), како би носач могао да се раздвоји у монтажне секције.



**Слика 2.26-** *Монтажни наставци појасних штапова: а) са подвезицама; б) са чеоном плочом [1]*

## 2.5 ПРОРАЧУН И КОНСТРУКЦИЈСКО ОБЛИКОВАЊЕ ЧВОРОВА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

Са становишта конструкцијског обликовања чворови решеткистих носача представљају веома осетљиве детаље. Веза штапова испуне са појасним штаповима може да се оствари директно или преко чворног лима [1].

Прорачун и обликовање детаља чворова зависи од:

- Типа решеткистог носача (са чворним лимом или без њега),
- Облика попречних пресека појасних штапова и штапова испуне,
- Броја чворних лимова (код чворова са чворним лимом),
- Врсте спојних средстава (завртњеве или заваривање).

Чврста веза штапова у чвору може да се изведе на два начина:

- Штапове везујемо директно закивицама за појасне штапове,
- Користимо чворни лим који се предходно веже за појасне штапове па се затим штапови испуне вежу за чворни лим.

Први начин се примењује у случају када појасни штапови имају довољну висину да се може сместити потребан број закивака, односно шавова за директни прикључак штапова испуне, а у случају када појасни штапови имају мању висину, директно везивање је немогуће и користи се чворни лим.

Прорачун ове везе састоји се у томе да се прорачуна веза сваког штапа за чворни лим, да се прорачуна веза чворног лима за појасне штапове, затим да се изабере облик чворног лима и испитају напони у њему.

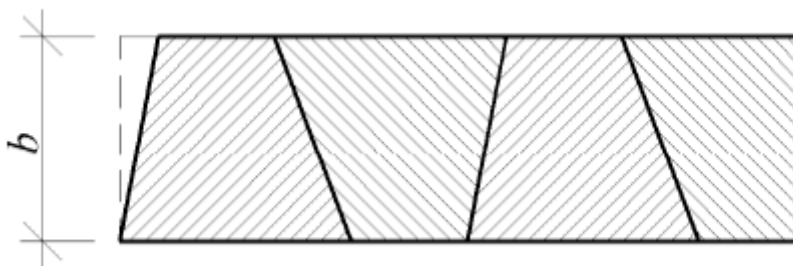
### 2.5.1 Решеткисти носачи са чворним лимом

При конструисању чворних лимова, треба тежити да они имају:

- Минималне димензије и
- Једноставан облик.

Што су веће димензије чворног лима, већа је и крутост чвора па се због тога повећавају секундарни утицаји услед момената савијања у крутим угловима. Димензије чворног лима битно зависе од углова између штапова. Оштри углови (мањи од  $30^\circ$ ) проузрокују знатно веће димензије чворних лимова, па их из тих разлога треба избегавати.

Приликом обликовања чворних лимова треба тежити да бар две ивице буду паралелне како би читава серија чворних лимова могла да се изреже из једне челичне траке уз минималан отпад (слика 2.27). Израда оваквих чворних лимова је знатно једноставнија и јефтинија.



Слика 2.27-Добијање чворних лимова једноставних димензија резањем једне челичне траке [1]

Димензије и облик чворног лима условљени су положајем и димензијама штапова испуне, као и конструктивним решењем њиховог прикључка за чворни лим.

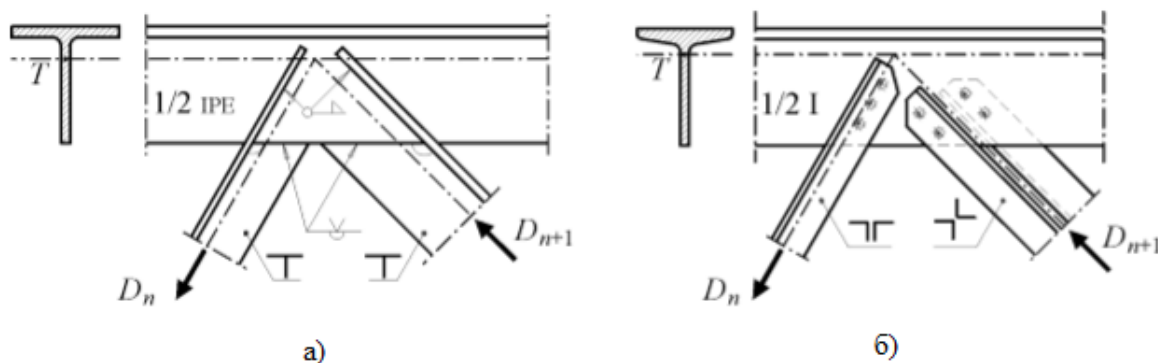
Чворни лим има двојаку функцију:

- да омогући увођење сила из штапова испуне у чвор решеткастог носача,
- 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 (нпр. напонско-оптичком анализом модела), нумеричким методама (нпр. метода коначних елемената), и директним мерењем при испитивању конструкције.

### 2.5.2 Решеткасти носачи без чворног лима

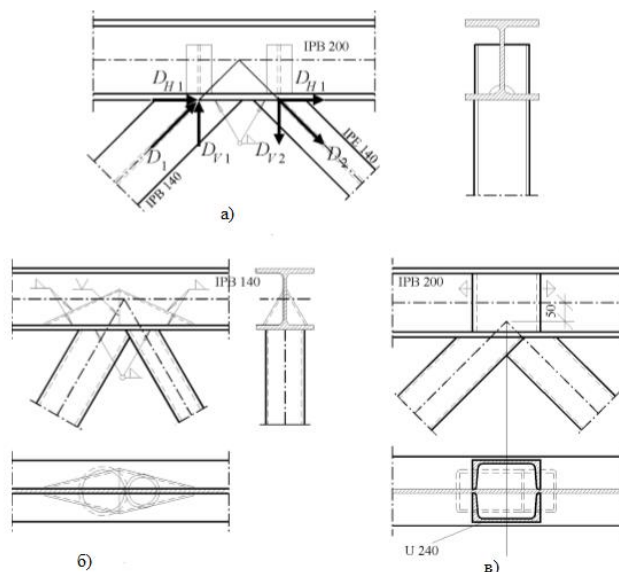
Појава заваривања као технолошког процеса спајања метала и његова употреба у челичним носећим конструкцијама омогућила је већу примену решеткастих носача без чворних лимова. Код оваквих носача веза штапова испуне се остварује директним заваривањем штапова испуне за појасеве решеткастог носача. Код појасних штапова у облику Т-пресека веза штапова испуне се остварује преко ребра, које на неки начин представља чворни лим, па се осим заваривања могу применити и механичка спојна средства (слика 2.28б). Као штапови испуне могу да се користе такође Т-профили (слика 2.28а), који имају већу крутост од угаоника, али захтевају посебну обраду крајева, што поскупљује везу.



Слика 2.28- Чворови решеткастих носача без чворног лима код појаса Т-пресека [1]

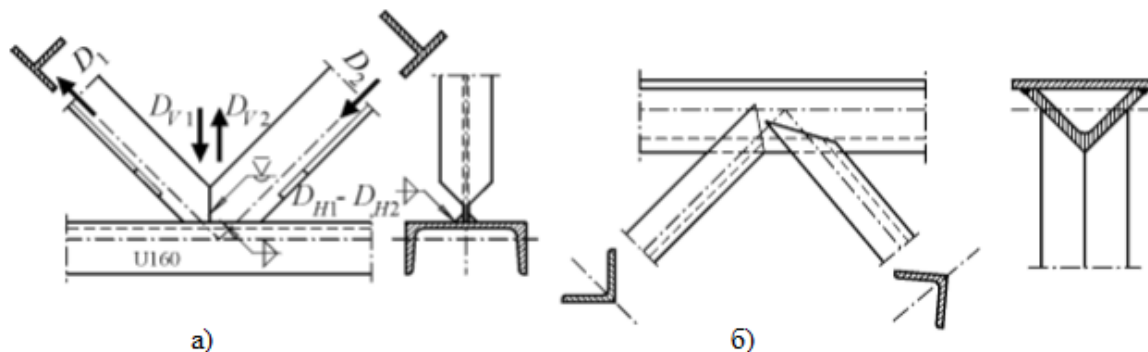
Решеткасти носачи са појасним штаповима Т-пресека представљају својеврсан прелаз између класичних решеткастих носача са чворним лимом и решеткастих носача без чворног лима. Овакви чворови могу да се примењују само када је висина ребра довољна за реализацију везе штапова испуне.

Када се појасни штапови образују од ваљаних или заварених I-профила (слика 2.29) веза штапова испуне се остварује директним заваривањем за унутрашњу ножицу. Као штапови испуне могу да се користе ваљани I-профили (слика 2.29а) и шупљи профили кружног (слика 2.29б) и правоугаоног (слика 2.29в) попречног пресека.



**Слика 2.29-** Директно заваривање штапова испуне за ножице I-профила [1]

Као појасни штапови могу да се користе и положени U-профили (слика 2.30а). Веза штапова испуне остварује се директним заваривањем за ребро U-профила. Примена појасних штапова од једног угаоника, који у случају притиснутог појаса може бити ојачан ламелом (слика 2.30б) је могућа, али у комбинацији са штаповима испуне који су такође у виду једног угаоника.



**Слика 2.30-** Директно заваривање појасних штапова код појасних штапова у виду: а) U-профила; б) ојачаног угаоника [1]

## 2.6 РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ ОД ШУПЉИХ ПРОФИЛА

Решеткасти носачи израђени од шупљих профила имају изузетно велику примену, поготову у зградарству. Користе се шупљи профили кружног, квадратног и правоугаоног попречног пресека. Код правоугаоних и квадратних профила јављају се значајни сопствени напони, па се не препоручују код динамички оптерећених конструкција [1].

Основне предности шупљих профила, које су омогућиле њихову велику примену, су:

- *мања тежина* - због распореда масе челика на периферији пресека шупљи профили су јако повољни, посебно за елементе оптерећене на притисак, па се њиховом применом остварује уштеда у материјалу;
- *јефтинија антикорозиона заштита* - обим попречног пресека је мањи него код класичних ваљних профила отвореног попречног пресека, па је самим тим мања и површина изложена утицајима корозије;
- *мали аеродинамички коефицијент* - код решеткастих конструкција на отвореном простору значајно се смањује утицај ветра на конструкцију у поређењу са решеткастим конструкцијама од ваљаних профила отвореног попречног пресека;
- *велике могућности конструктивног и архитектонског обликовања* - шупљи профили пружају могућности обликовања решеткастих носача разноврсне геометрије који су са естетског становишта прихватљивији од класичних решеткастих носача израђених од ваљаних или заварених профила отвореног попречног пресека.

Шупљи ваљани профили израђују се од заварљивих конструкционих челика различитих механичких карактеристика и хемијског састава.



Слика 2.31- Примена решеткастих носача од шупљих профила [3]

### 3. ХАЛЕ И СКЛАДИШТА

#### 3.1 ОПШТИ ПОЈМОВИ О ХАЛАМА И КОНСТРУКЦИЈАМА ХАЛА

Челичне конструкције омогућавају савладавање великих распона и висина код приземних и спратних зграда, као и код мостова, при чему димензије и тежине носеће конструкције остају знатно мање него при употреби других материјала [4].

Објекте производних погона и складишта са стубовима у фасадним зидовима називамо халама. Индустијске хале су приземни објекти производне или складишне намене. У приземним индустријским објектима систем носеће конструкције зависи од режима коришћења и могућности адаптације и проширења, везаних за брзе промене технолошких процеса производње. Такве услове највише омогућавају челичне конструкције са мањим бројем стубова у унутрашњем простору хале.

Примена носећих челичних конструкција, осим у грађевинарству је распрострањена и у другим гранама привредних делатности као што су машинство, електротехника, бродоградња, вагоноградња, аутомобилска индустрија, итд. Просечан утрошак челика за неки објекат може се обрачунати по  $m^2$  покривене површине само за једноспратне зграде. У случају индустријских вишеспратних објеката, као што су котларнице термоелектрана, рударски објекти, рафинерије, хемијске индустрије и сл., утрошак челика у носећој конструкцији треба узети по  $m^3$  изведеног објекта. Обрачуном треба обухватити све носеће елементе као што су носачи дизалица, стубови, елементи зидова и кровну конструкцију. У табели 2 приказан је оријентациони утрошак челика за носеће конструкције објеката различитих намена.

**Табела. 2:** Оријентациони утрошак челика основног материјала са границом развлачења  $\sigma_v=235\text{MPa}$  [4]

| Редни број | Врста објекта                                                                                                     | Утрошак $\text{kg/m}^2$ |       | Утрошак $\text{kg/m}^3$ |         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|---------|
|            |                                                                                                                   | мин                     | макс  | мин                     | макс    |
| 1.         | Разне индустријске хале, мањег распона до 15 m, висине 4-6 m, без дизалица                                        | 30,0                    | 50,0  | 6,0                     | 8,0     |
| 2.         | Већи индустријски објекти, вишебродни, приземни, са дизалицама, појединачног распона брод до 30 m, висине 10-15 m | 120,0                   | 180,0 | 12,0                    | 20,0    |
| 3.         | Високи објекти са подестима, дизалицама, распона 24-30 m, спратне висине 4-6 m                                    | -                       | -     | 25,0                    | 35,0    |
| 4.         | Топионице, котларнице                                                                                             | -                       | -     | -                       | до 50,0 |
| 5.         | Бункери за руду, конструкција заварена, обрачун тежина по тони ускладиштеног материјала                           | -                       | -     | 150,0                   | 170,0   |
| 6.         | Бункери за руду, конструкција закована, обрачун тежине по тони ускладиштеног материјала                           | -                       | -     | -                       | 200,0   |
| 7.         | Силоси пречника $\phi 3-5$ m, заварени, без стубова, укрућења                                                     | -                       | -     | 50,0                    | 80,0    |
| 8.         | Високе пећи запремине 1000-2000 $\text{m}^3$                                                                      | -                       | -     | 2200,0                  | 3000,0  |
| 9.         | Чисте кровне конструкције без стубова, зидова и осталог, распона 20-30 m                                          | Рожњаче                 | 12,0  | 16,0                    | -       |
|            |                                                                                                                   | Кровни носачи           | 15,0  | 25,0                    | -       |
|            |                                                                                                                   | Зидови                  | 14,0  | 16,0                    | -       |

Габарити хала су у функцији технолошких поступака који се одвијају у њој. Одликују их велики распони без унутрашњих стубова и могу се назвати једнобродне хале (један отвор) или двобродне са унутрашњим стубовима. Врло често се појављују једнобродне хале са анексима. Објекти хала према намени називају се:

- индустријски или пољопривредни,
- складишта различите намене,
- саобраћајни депои и гараже,
- спортски објекти,
- изложбени објекти,
- маркети и мега маркети,
- надстрешнице,
- бензинске пумпе,
- хангари за авионе и хеликоптере,
- аеродромски објекти,
- хале за испитивање конструкција и сл.,
- објекти културе,
- надоградње.

Приземне хале се пројектују и изводе као једнобродне, двобродне, са анексима или укомпоноване у вишебродне објекте са паралелним редовима стубова. Носећа конструкција хале је формирана од стубова постављених на константном размаку и кровне конструкције која се ослања на њу. Процес пројектовања приземне једнобродне челичне хале зависи од много фактора и у реализацији таквог пројекта морају бити укључени инвеститори, технолози, пројектанти инсталација, како би се одабрало најповољније решење. Пројектовање хала се може поделити у три категорије:

- пројектовање хале за одређену намену,
- пројектовање хале унапред и
- пројектовање стандардних хала (типизирани хале).

Пројектовање хала за одређену намену подразумева израду пројекта у складу са специфичним технолошким поступком (хала за производњу аутомобила, ваљанице, челичане, енергане, хемијска индустрија, фармацеутска индустрија, дрвна индустрија, итд). Пре пројектовања хале мора се проценити њена будућа намена, како би се избегла потреба за евентуалним рушењем дела хале због нове технологије.



а) Решеткаста конструкција



б) Пуни лимени носачи

**Слика 3.1-** Носеће челичне конструкције хала [4]

### 3.2 ПРИНЦИПИ ПРОЈЕКТОВАЊА ХАЛА И СКЛАДИШТА

При поступку пројектовања хала и складишта потребно је дефинисати све неопходне параметре који утичу на глобални избор диспозиције носеће челичне конструкције [4].

У првој фази пројектовања разрађује се:

- концептуално решење објекта,
- идејни пројекат,
- главни пројекат- ради добијања грађевинске дозволе и
- израда извођачког пројекта.

Сагласно томе неопходно је дефинисати параметре, као што су:

- израда технолошког пројекта (дефиниција намене објекта),
- избор средстава унутрашњег транспорта,
- геомеханички подаци о носивости тла и утицај сеизмичких сила за ту локацију,
- евентуална потреба за продужавањем хале (фазна изградња),
- неопходне инсталације у хали (електро, машинске, водоводне и канализационе),
- пројекат монтаже хале,
- рокови и динамика извођења конструкције,
- поштовање важећих стандарда и прописа (националних и Еврокодова).

На основу наведених параметара приступа се изради диспозиционог решења хале и врши се оријентациони прорачун ради утврђивања величина појединих позиција хале или складишта. Диспозиционим решењем прво се одређује габарит објекта који је врло често у функцији распона мостне дизалице.

Изузетно је битно при прорачуну обухватити сва оптерећења која делују на носећу челичну конструкцију хале. На овај начин се добија носећа челична конструкција која садржи и друге позиције хале. Статички прорачун мора да да доказ носивости сваке позиције, контролу деформација и стабилности, ако се димензионисање спроводи по допуштеним напонима.

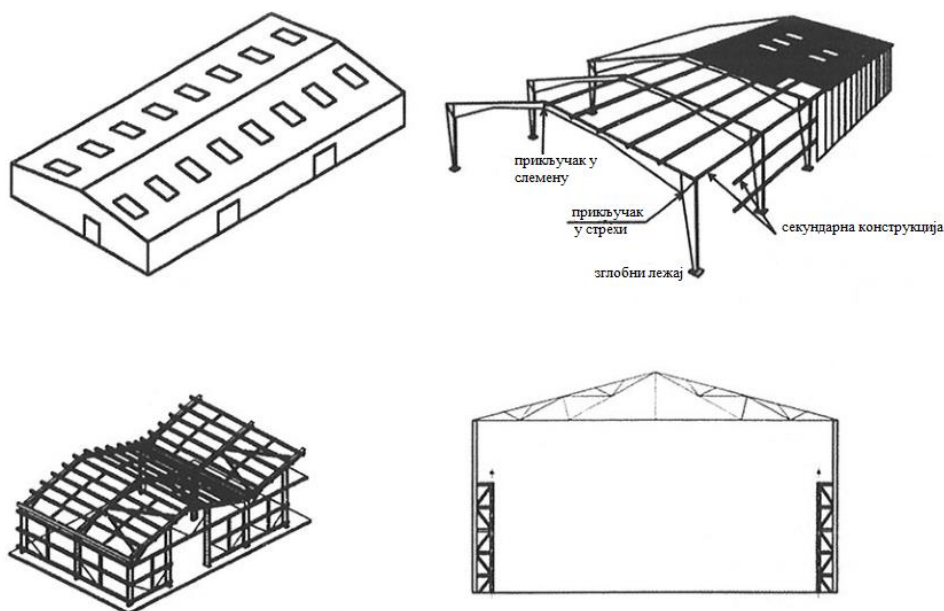
Главни пројекат мора да садржи детаљан технички опис у коме се даје образложење о избору диспозиционог решења, димензионисању конструктивних елемената, одређивању квалитета материјала, позив на коришћене прописе и стандарде.

Пре доношења одлуке о изради пројекта конструкције хале, раде се варијантна решења, па се затим усваја најповољније решење са аспекта стабилности објекта и цене коштања.

### 3.3 ДИСПОЗИЦИЈА ХАЛА И СКЛАДИШТА

Пројектом једног индустријског објекта доказује се носивост, стабилност и употребљивост сваког саставног дела елемента конструкције, као и целокупног објекта. При томе се не сме заборавити да објекат, пре свега мора бити стабилан и функционалан, имајући у виду да се гради као саставни део намењен испуњавању некаквог задатка у оквиру производног процеса. Из тог разлога организација рада у објекту хале базира се на захтевима производње у њој. Хала тада мора да буде у функцији заштите технологије и радне средине од спољашњих атмосферских и климатских утицаја [4, 5].

Конструкција хале осигурава пријем и пренос оптерећења од транспортних средстава и технолошких уређаја, а архитектонским решењима обезбеђују се прописане термоизолационе и акустичне карактеристике и систем заштите, поред тога решавају се потребе за осветљењем, вентилацијом и климатизацијом (слика 3.2).

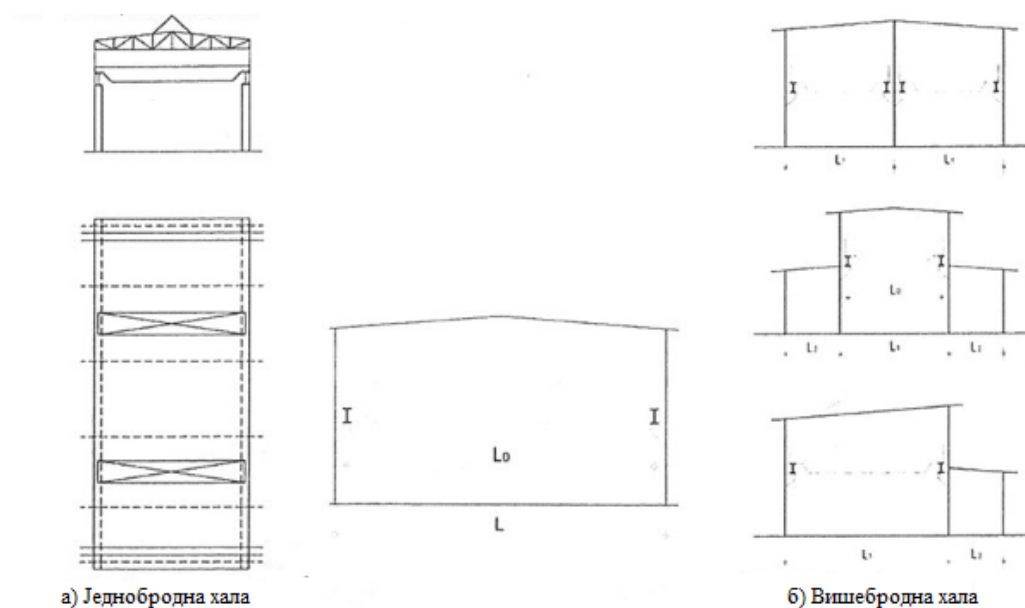


**Слика 3.2-** Изглед, 3D приказ конструкцијских елемената и попречни пресек хале [4]

Главне конструктивне целине носећег система једнобродне хале су:

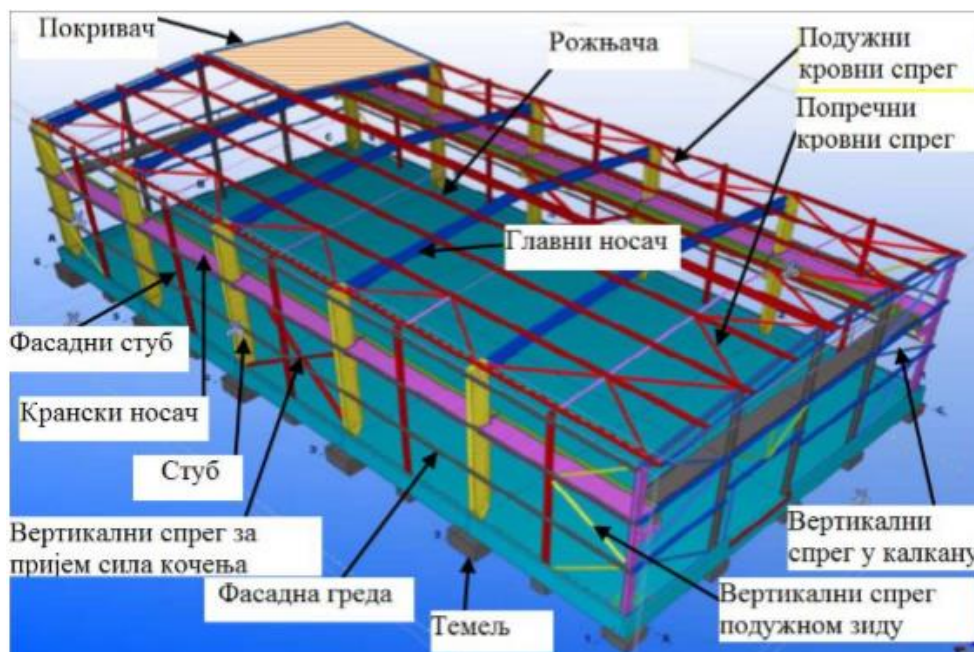
- Кровна конструкција (главни везачи, рожњаче, подвлаке, рогови и затеге);
- Главни стубови хале са системом за анкеровање;
- Конструкција обимних и евентуално преградних зидова (фасадне ригле и стубови);
- Спрегови (кровни, вертикални, за бочне ударе, за кочење);
- Допунски елементи (платформе, степеништа, светларници, вентилације и сл.).

На слици 3.3 приказана је шема-диспозиција уређења једнобродне, двобродне, односно вишебродне хале. Најједоставнији облик хале је објекат правоугаоног облика: распона  $L$ , дужина  $\sum l = nxl$  и висине  $H$  хале.



**Слика 3.3-** Шематски приказ уређења једнобродне, односно вишебродне хале распона  $L$  [4]

Конструкција хале је сложен просторни систем формиран од низа носећих елемената и склопова (слика 3,4). Овај сложен просторни систем се по правилу може расчланити у конструктивне целине или равне системе.



**Слика 3.4-** Пример типичне хале са основним елементима конструкције [5]

Подела на главне конструктивне целине:

- Кровна конструкција (главни носачи и рожњаче);
- Главни стубови са системом за анкеровање;
- Конструкција обимних и евентуално преградних зидова (фасадне ригле и стубови);
- Спрегови:
  - кровни,
  - вертикални:
    - у подужним зидовима,
    - у калканима,
    - за кочење,
  - хоризонтални:
    - спрег до калкана,
    - за бочне ударе.

Подела на равне системе:

- Кровна конструкција;
- Главни рамови;
- Подужни зидови;
- Попречни зидови.

Диспозиција конструкције треба да садржи све основе и пресеке којима се дефинишу елементи хале:

- Основа крова;
- Попречни пресеци:
  - на месту типског главног рама,
  - на местима специфичних главних рамова (ако постоје),
  - на местима калканских зидова,
- Подужни пресеци који приказују:
  - конструкцију обимних подужних зидова,
  - конструкцију у унутрашњим осама, стубове и спрегове (ако постоје),
  - конструкцију кранске стазе и спрега за кочење (ако постоје),
- Основа на коти ГИШ-а (ако постоји).

### 3.4 УСЛОВИ СТАБИЛНОСТИ НОСЕЋЕ ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ОБЈЕКТА ХАЛА И СКЛАДИШТА

Диспозиционим решењем носеће челичне конструкције неког објекта (индустријског, складишног, итд.) морају се испунити основни услови потпуне стабилности конструкције у попречном и подужном правцу, у свакој фази изградње и експлоатације [4].

Избором најповољнијег статичког система хале у попречноом правцу, стабилност се обично лако обезбеђује. Стабилност конструкције у подужном правцу објекта постиже се постављањем тј. уграђивањем одговарајућих спрегова и укрућења, који су најчешће облика оквира или решетке. Предност је увек на страни решеткастих укрућења.

Просторна стабилност носеће конструкције најчешће се остварује применом спрегова у кровној равни, калканској равни и фасадним подужним равнима.

Спрегови који се уграђују у потребном броју у кровној равни и постављају се у ниво горњих појасева главних попречних кровних везача (носача) имају двоструку намену:

- да обезбеде стабилност кровне конструкције и објекта у целини,
- да смањују дужине извијања притиснутих појасева главних кровних носача у равни и управно на раван.

Распоред и положај спрегова у кровној равни у односу на подужну осу објекта може бити:

- паралелан и
- управан.

Попречна крутост кровне равни се остварује постављањем попречних кровних спрегова.

Хаварије скоро по правилу настају услед недовољне локалне или глобалне стабилности челичне конструкције, при чему је основни узрок извијање штапова, посебно оних који су за основна оптерећења затегнути и обично оргомних дужина извијања, локалних избочавања притиснутих делова носача, недостатка довољног броја спрегова за случај оптерећења од сишућег дејства ветра.

Број и положај кровних спрегова може бити статичког карактера, односно конструктивног (монтажни спрегови).

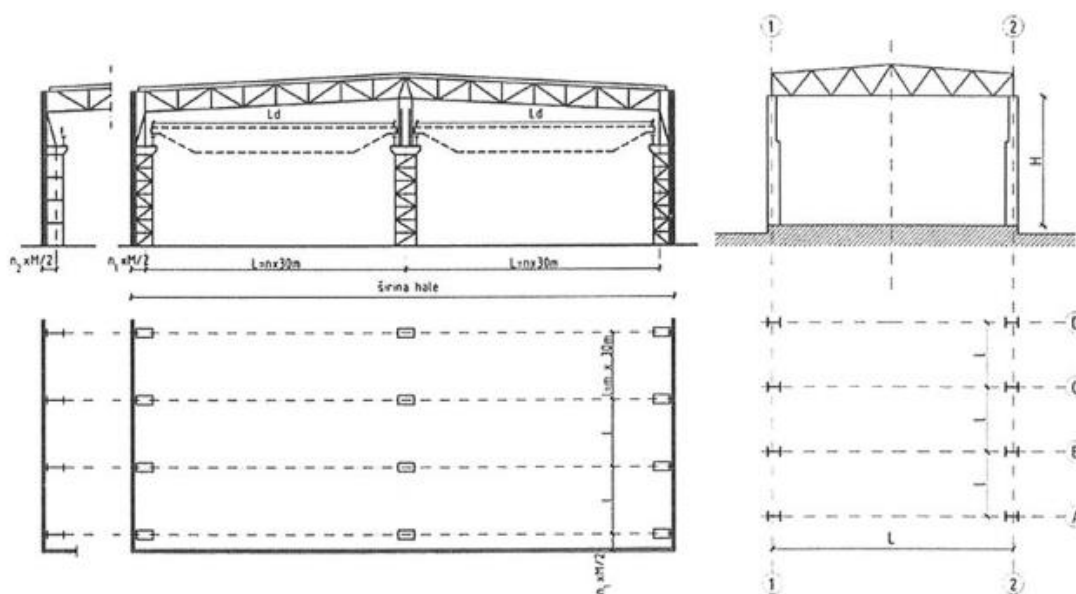
### 3.5 ПРИНЦИП МОДУЛАРНОГ ПРОЈЕКТОВАЊА ИНДУСТРИЈСКИХ ХАЛА

Прорачун носеће конструкције спроводи се на основу рачунског конструкцијског модела. Код пројектовања челичних зграда и хала, пожељно је придржавати се начела пројектовања према модулима (координације мера) [4].

Модули се деле на:

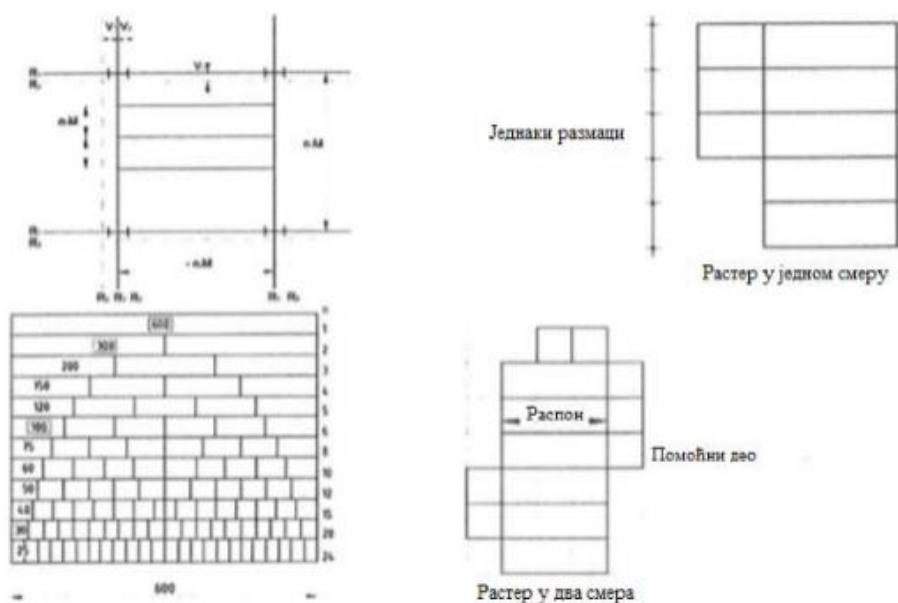
- основни модул,
- увећани модул,
- умањени модул.

Основни модул је величине  $M = 100 \text{ mm}$ .



Слика 3.5- Модуларни начин пројектовања хала [4]

Растр главних стубова је:  $n_1 \times M$  и  $n_2 \times M$ , када се пројектују хала и складишта, а најчешће се примењују растери од 7.20 m или 8.40 m.

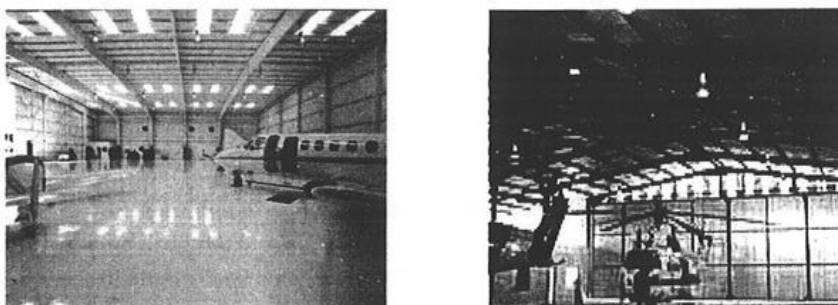


**Слика 3.5:** Модуларни начин пројектовања за главни носећи систем и за секундарне елементе [4]

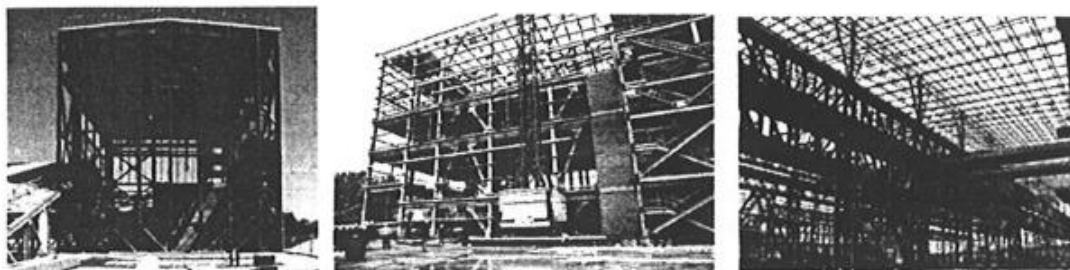
Распон хале је у функцији распона мосне дизалице  $L_D$ , а висина од коте шине.

### 3.6 ПРИМЕНА ЧЕЛИЧНИХ КОНСТРУКЦИЈА У ЗГРАДАРСТВУ

Челичне носеће конструкције се примењују за премошћавање великих распона без унутрашњих стубова (најчешће условљено функцијом-наменом објекта), као и различитим статичким системима, како би се најбоље искористиле особине материјала. Примена челичних конструкција у објектима различите намене и различитих статичких система приказана је сликама 3.6, 3.7 и 3.8 [4].



**Слика 3.6-** Објекти хангара за авионе и хеликоптере [4]



**Слика 3.7-** Носећа челична конструкција индустријских хала [4]



**Слика 3.8-** Складишта различите намене [4]

### 3.7 ЕЛЕМЕНТИ НОСЕЋЕ ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ЈЕДНОБРОДНЕ ХАЛЕ

Носећу конструкцију хале представља просторни систем свих примарних и секундарних конструктивних елемената. Ради једноставнијег статичког прорачуна, систем се дели (рашчлањује) на поједине независне подсклопове раванских система. Сваки од ових подсклопова мора да буде аутостабилан и довољно недеформабилан [4].

Кровну носећу конструкцију обично формирају:

- главни попречни носачи,
- рожњаче,
- међувезачи,
- подвлаке у калканском зиду,
- рогови.

Кровни носачи могу бити самоносећи. Вертикални елементи су у виду главних стубова константног, односно степенасто промњљивог пресека, са системима за анкеровање.

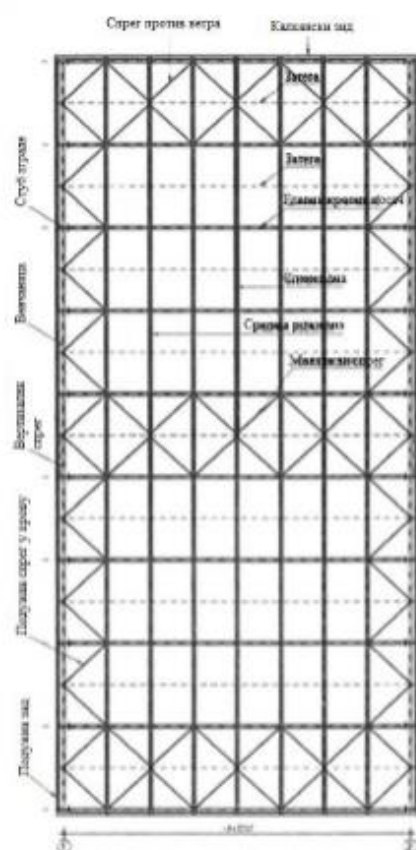
Калканска конструкција и конструкција подужних зидова су у облику стубова, међустубова и попречних носача-ригли. Крутост подсклопа се проверава спреговима или укручењима, која се постављају тако да обезбеде стабилност конструкције (најчешће се налазе у кровној равни, у угловима клаканских, односно подужних зидова).

Општа диспозиција хале представља графичку презентацију свих носећих конструктивних елемената једне индустријске хале. Конструкција је стављена од одређеног броја конструктивних елемената, приказана табелом 3.

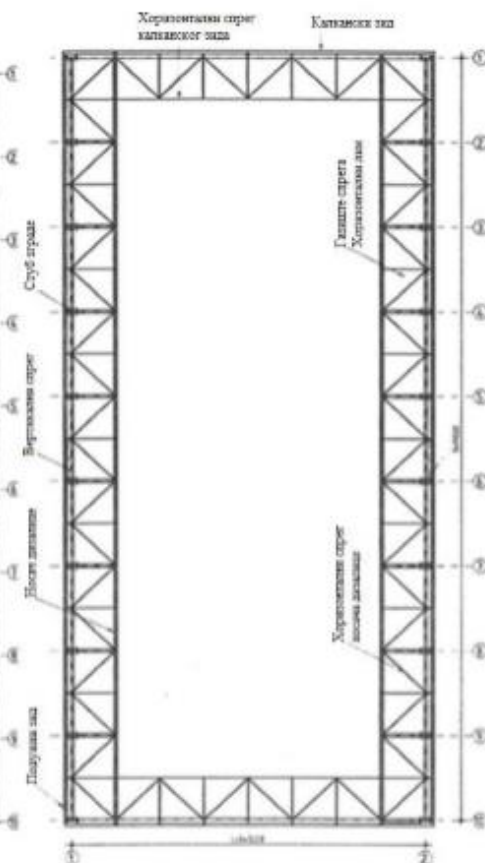
**Табела 3:** Основни елементи - позиције индустријске хале [4]

| ПОЗ. | Опис позиције - носећег елемента                                           | ПОЗ. | Опис позиције - носећег елемента           |
|------|----------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------|
| 1.   | Кровни покривач                                                            | 12.  | Вертикални спрег у уподужном зиду          |
| 2.   | Међурођаче                                                                 | 13.  | Главни стубови хале                        |
| 3.   | Слемењача                                                                  | 14.  | Међу стубови и ригле у подужном зиду       |
| 4.   | Венчаница                                                                  | 15.  | Калкански стубови и ригле                  |
| 5.   | Затеге                                                                     | 16.  | Хоризонтални спрег уз калкан               |
| 6.   | Попречни спрег против ветра уз калкан у равни горњег појаса кровног носача | 17.  | Вертикални спрег у подужном зиду           |
| 7.   | Монтажни или статички спрег у равни горњег појаса кровног носача           | 18.  | Вертикални спрег у калканском зиду         |
| 8.   | Подужни кровни спрег у равни горњег појаса кровног носача                  | 19.  | Темељи главног стуба                       |
| 9.   | Главни кровни носачи                                                       | 20.  | Темељи секундарних стубова у подужном зиду |
| 10.  | Крански носачи - носачи мостне дизалице                                    | 21.  | Сокла - парапет у подужном зиду            |
| 11.  | Спрег за пријем бочних удара у висини горњег појаса кранског носача        | 22.  | Темељи секундарних стубова калканског зида |

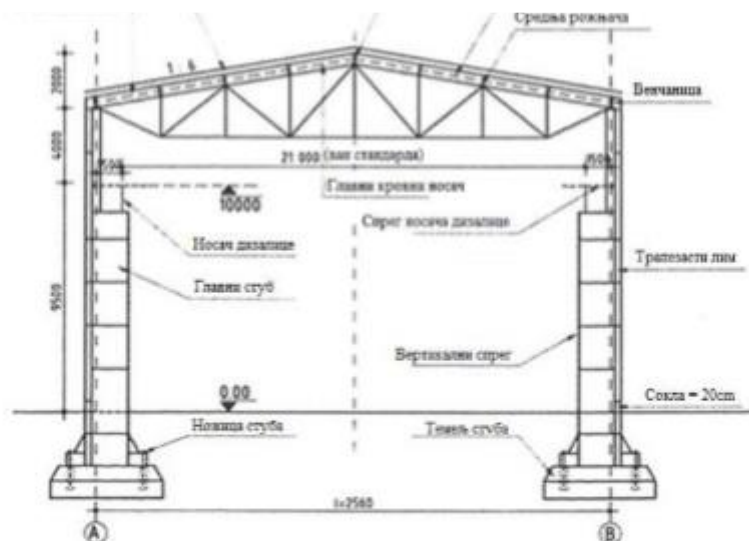
На следећим сликама 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 и 3.13 приказане су наведене позиције једнобродне хале.



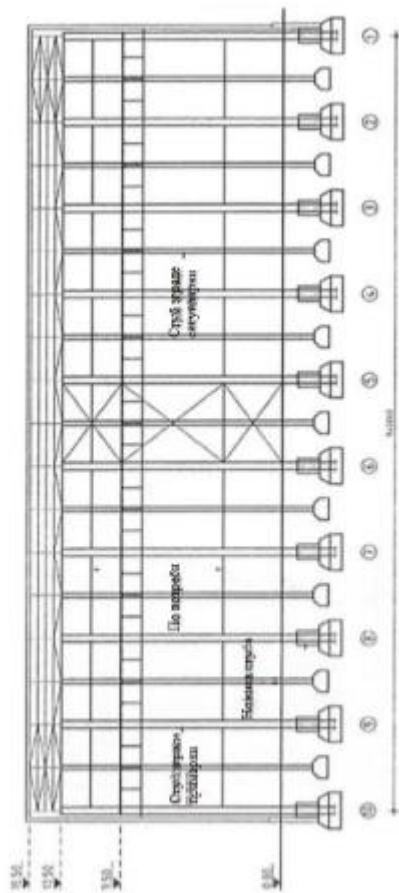
Слика 3.9- Основа кровне конструкције хале [4]



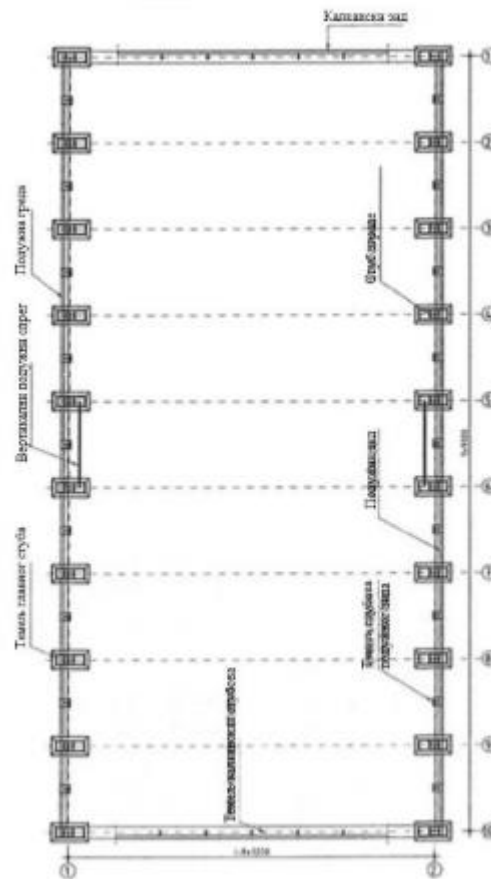
Слика 3.10- Основа носача мостне дизалице [4]



Слика 3.11- Попречни пресек хале [4]



**Слика 3.12- Подужни пресек хале**  
[4]



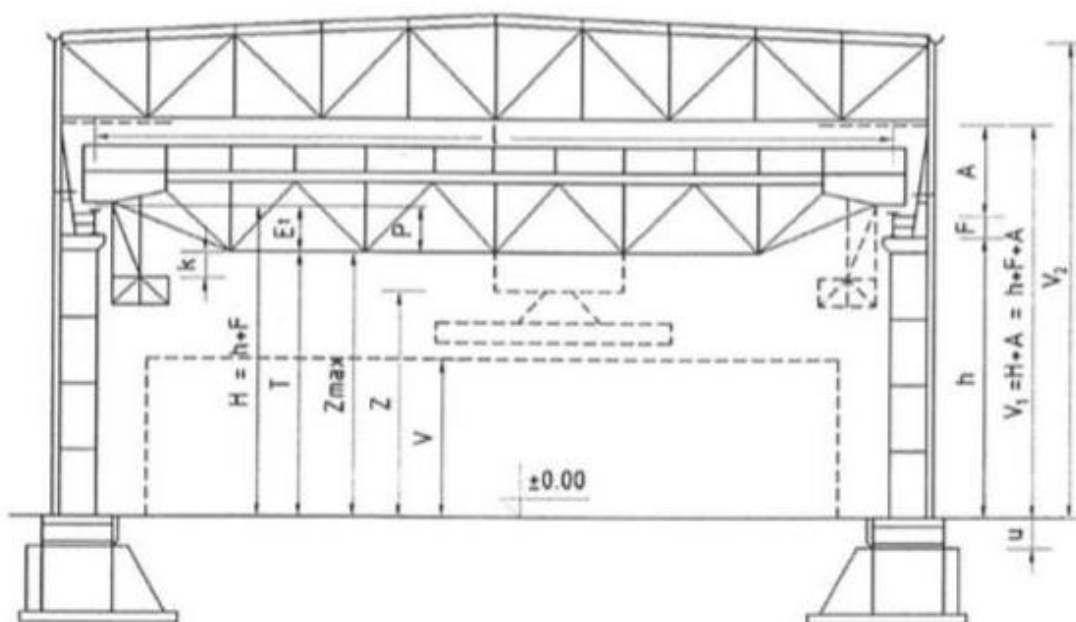
**Слика 3.13- Основа темеља хале**  
[4]

У неким халама постоје и други носећи елементи, као што су разне платформе (постављене по висини објекта у функцији положаја опреме, степеништа, уређаји за вентилацију и грејање, односно хлађење, и сл.).

При процесу пројектовања општу диспозицију усваја пројектант, тако да носећа челична конструкција обезбеди просторну стабилност целог објекта уз вођење рачуна о утицајима од оптерећења као и условима фундаирања. Пројектант мора водити рачуна о транспорту и монтажи конструкције хале. Избор оптималног решења захтева велико искуство, а ако га пројектант нема, потребно је срачунати и вредновати већи број варијанти.

Ради усвајања оптималног решења потребно је усвојити критеријуме који се односе на минималну тежину конструкције, минимално време грађења, минимални утрошак рада, минималну цену коштања, минимални утрошак енергије на производњи и монтажи и минималан број различитих елемената.

На слици 3.14 се такође дају основне габаритне мере једнобродне хале са мостном дизалицом распона  $L_D$ . Коте одређују висину хале:  $H$  - висина ГИШ-а нисача дизалице,  $T$  - потребна слободна висина до доње ивице мостне дизалице,  $Z$  - предпостављена уобичајена висина куке,  $Z_{max}$  - највиша употребљива висина дизања куке,  $P$  - удаљеност највише тачке куке до горње ивице носача дизалице,  $V$  - највећа висина дизања предмета,  $E_1$  - удаљеност доње ивице моста дизалице до ивице шине,  $K$  - удаљеност доње ивице кабине од доње ивице моста дизалице,  $F$  - конструкцијска висина носача дизалице,  $A$  - проходна висина дизалице,  $h$  - слободна висина до доње ивице носача дизалице,  $V_1$  - чиста висина хале,  $V_2$  - висина олука,  $u$  - дубина до доње ивице челичне стопе стуба.



Слика 3.14- Одређивање основних габарита једнобродне хале  
[4]

### 3.8 ТРАНСПОРТ У ХАЛИ

У свакој индустријској хали у којој се одвијају одређени технолошки процеси, као што су постројења у црној и обојеној металургији, металопрерађивачкој индустрији или магацинима, неопходне су дизалице, технолошке или ремонтне, као једноставно средство транспорта или манипулације материјала и опреме, у вертикалној и хоризонталној равни [4].

Правилно обликовање носеће конструкције индустријског објекта у великој мери зависи од доброг познавања особина дизалица које се уграђују у постројење. Дизалице се могу разврстати у три следеће групе:

- конзолне дизалице (слика 3.15),
- мостне дизалице (слика 3.16),
- једношинске дизалице (монореји) (слика 3.17).

Предност код примене надземних транспортних средстава даје се мостним дизалицама које се крећу по стазама на висини. При овоме оне остављају слободну површину пода хале.



**Слика 3.15-** Конзолна дизалица [6]



**Слика 3.16-** Мостна дизалица [7]

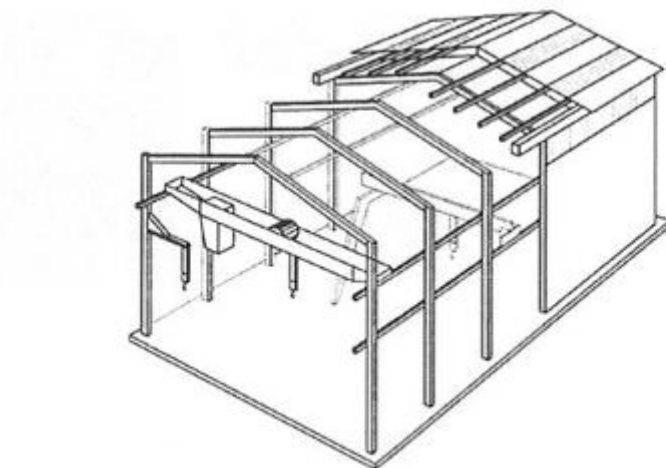


**Слика 3.17-** Једношинска дизалица (монореј) [8]

Слободни простори - габарити неопходни у грађевинском објекту за уграђивање и беспрекорну експлоатацију мостних дизалица, прописани су домаћим стандардом, у коме су најважније ставке:

- слободни простор изнад дизалице која нема платформу на мосту ни возном витлу, мора имати висину од најмање 100 mm, што се код viseћих дизалица може смањити на 70 mm,
- изнад дизалица које имају платформу на мосту и на возном витлу слободан простор изнад највишег дела возног витла мора имати висину најмање 500 mm,
- слободан простор поред дизалице мора имати ширину најмање 100 mm,
- висина слободног простора изнад платформе на мосту мора бити најмање 1800 mm,
- дуж стазе дизалице, по читавој дужини, мора бити уграђена пешачка платформа ширине око 600 mm, а на најужем делу минимално 400 mm.

Произвођачи дизалица које се уграђују, односно монтирају, у индустријске објекте-хале, морају да доставе податке о носивости и осталим карактеристикама везаним за геометрију.



**Слика 3.18-** *Пример уградње мостне дизалице с кранским носачем [4]*

## **4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ХАЛЕ КОРИШЋЕЊЕМ AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL СОФТВЕРА И ЕВРОКОД СТАНДАРДА**

### **4.1 МОДЕЛИРАЊЕ У СОФТВЕРУ**

Autodesk Robot Structural Analysis Professional је програм за анализу конструкција [9].

Неке од могућности програма Autodesk Robot Structural Analysis Professional су:

- Директна анализа;
- Линеарна и нелинеарна анализа;
- Модална анализа;
- Симулатор оптерећења ветром;
- Напредни алати за генерисање мреже коначних елемената и моделовање елемената;
- Материјали и стандарди за димензионисање;
- Интегрисан модул за димензионисање бетонских, и челичних и дрвених конструкција;
- Случајеви и комбинације оптерећења;
- Графички, нумерички и текстуални извештај спроведене анализе.

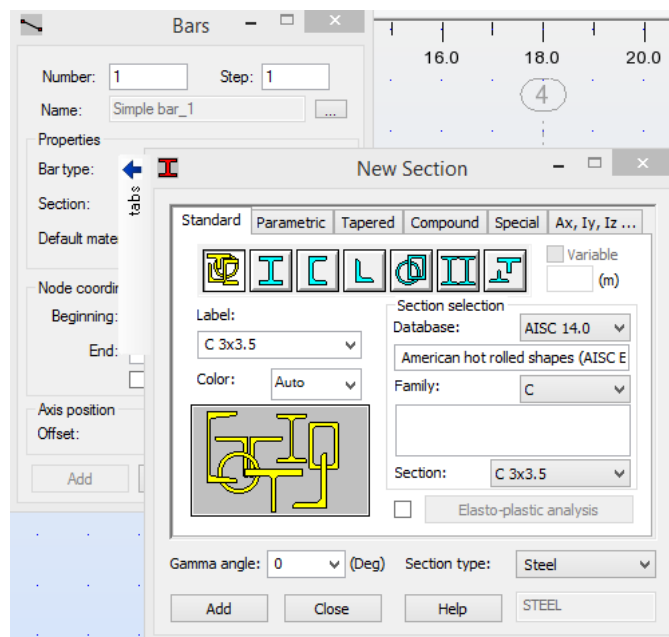
Autodesk Robot Structural Analysis Professional намењен је грађевинским инжењерима да ефикасно врше симулације, анализе и димензиосање према датим стандардима како би дошли до оптималних решења.

#### **4.1.1 Израда 2D модела**

Након покретања програма Autodesk Robot Structural Analysis Professional и одабиром опције Frame 2D Design у програму, врши се израда модела решеткастог носача.

У циљу олакшања моделирања решеткастог носача пожељно је дефинисати координатни систем кликом на опцију Axis Definition. На тај начин се дефинише XZ координатни систем у зависности од димензија хале.

Преко опције Bars врши се одабир одговарајућих стандардних профила које је потребно унети у дефинисан систем.

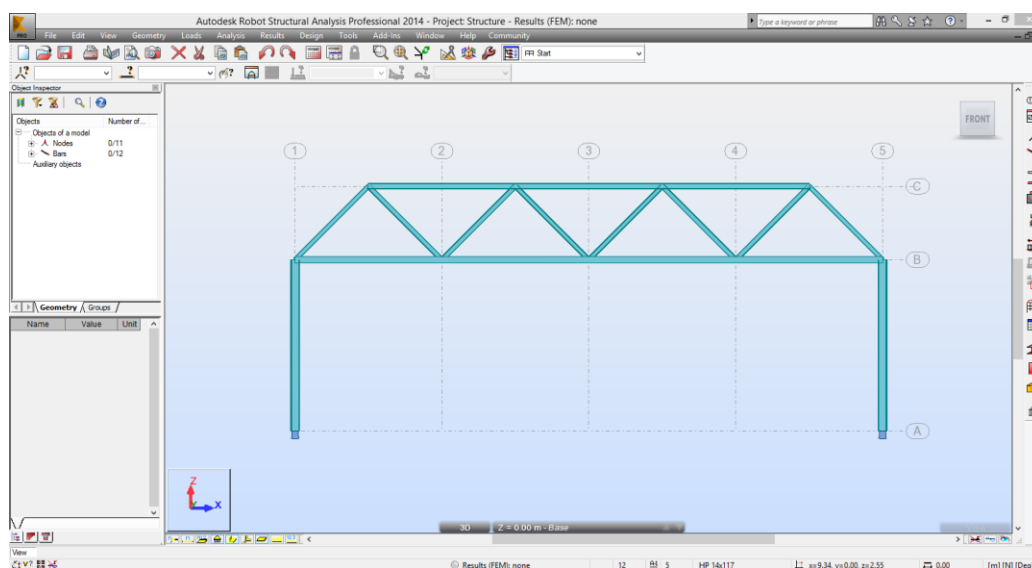


Слика 4.1- Дефинисање профила при моделирању

Дефинисање профила од којих је решеткаста конструкција сачињена:

- Главни носећи стубови - HP 360x174
- Вертикалне греде решеткастог оквира - HP 250x85
- Хоризонталне греде решеткастог оквира - HP 250x85
- Горњи појас решеткастог оквира - HP 250x85
- Цик-цак греде решеткастог оквира - HP 200x53

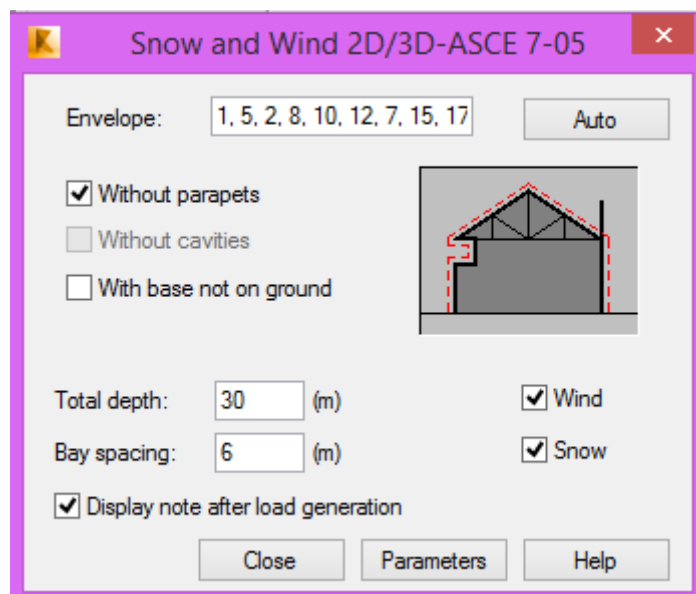
Након дефинисања профила врши се фиксирање главних носећих стубова преко опције Supports. Овим су испуњени сви потребни параметри за израду 2D модела чиме је омогућена његова даља израда, односно, приступа се 3D моделирању.



Слика 4.2- 2D модел решеткасте конструкције

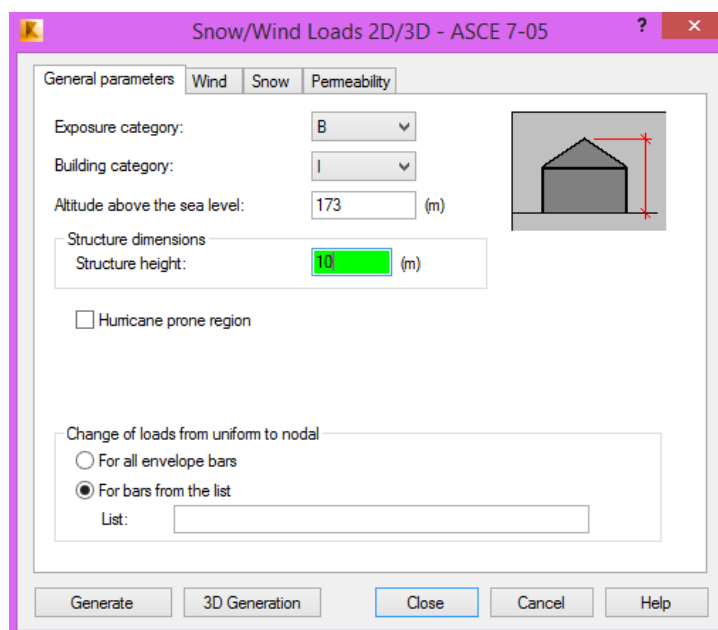
#### 4.1.2 Израда 3D модела

Израда 3D модела решеткасте конструкције започиње се коришћењем опције Snow/Wind Loads 2D/3D (слика 4.3) преко које се дефинише дубина хале као и растојање између носача.



Слика 4.3- *Snow/Wind Loads 2D/3D*

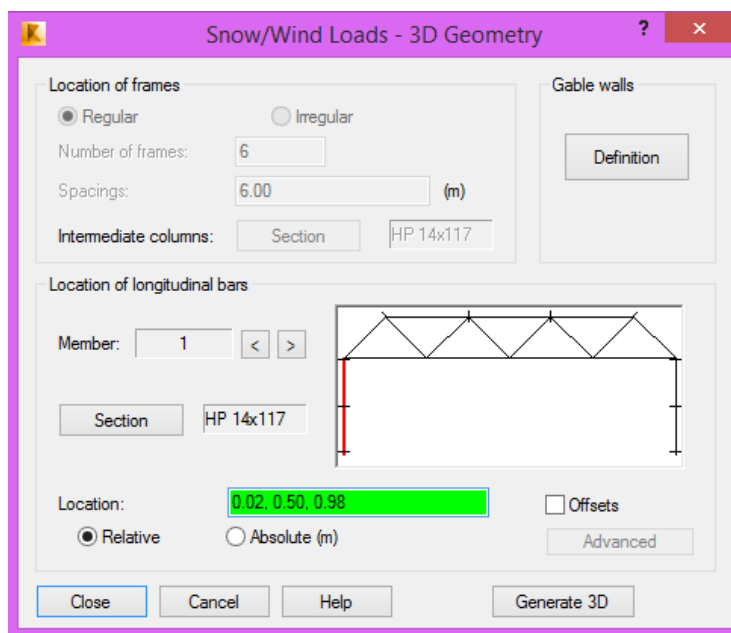
Одабиром опције Parameters отвара се нова картица General parameters (слика 4.4) у којој уносимо одговарајуће податке у виду надморске висине места где ће хала бити постављена, у овом случају реч је о Крагујевцу, као и висине саме конструкције.



Слика 4.4- *General parameters*

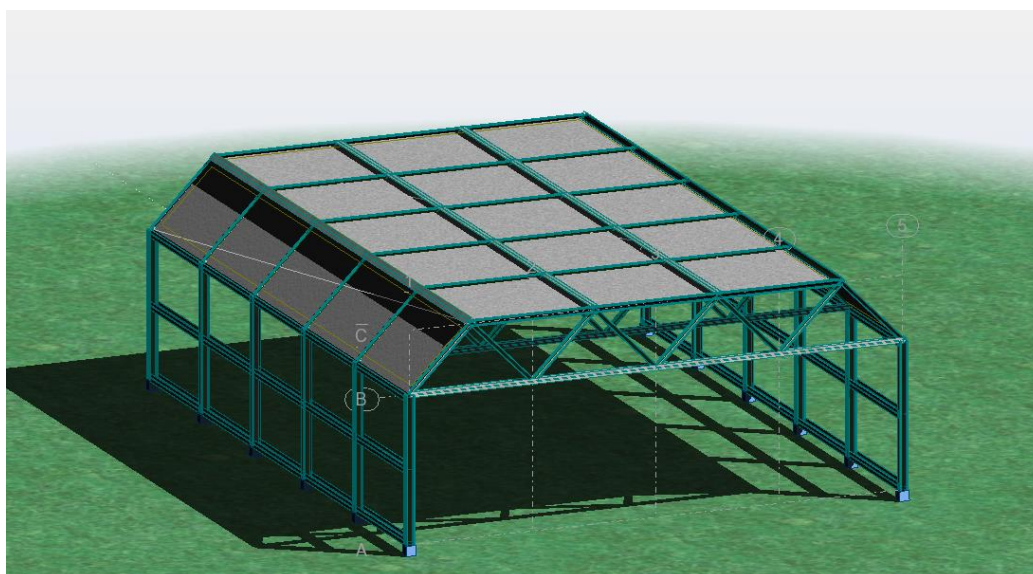
Завршни рад

Кликом на опцију 3D Generation (слика 4.5) бирамо места на којима ће се поставити ојачања.



Слика 4.5- 3D Generation

На крају, кликом на Generate 3D добијамо 3D модел конструкције (слика 4.6).



Слика 4.6- 3D модел решеткасте конструкције

## 4.2 ДЕФИНИСАЊЕ ОПТЕРЕЋЕЊА

### 4.2.1 Оптерећење снегом

Утицај, односно, оптерећење снега на кров решеткасте конструкције је дато изразом:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (4.2.1.1)$$

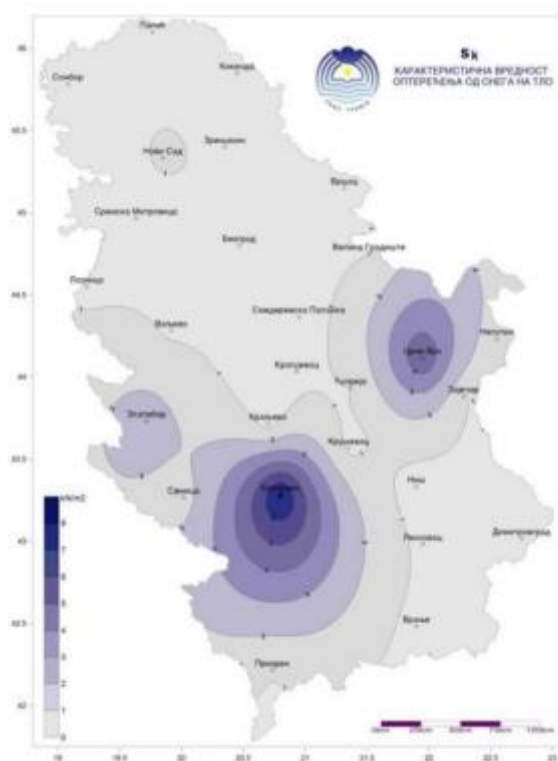
Где су:

$\mu_1$  - коефицијент облика крова (за  $\alpha=15^\circ$  -  $\mu_1=0.8$ ),

$s_k$  - карактеристична вредност оптерећења од снега на тло (за Крагујевац  $s_k=0.8\text{kNm}^2$  - слика 4.7),

$C_e$  - коефицијент изложености ( $C_e=1$ ),

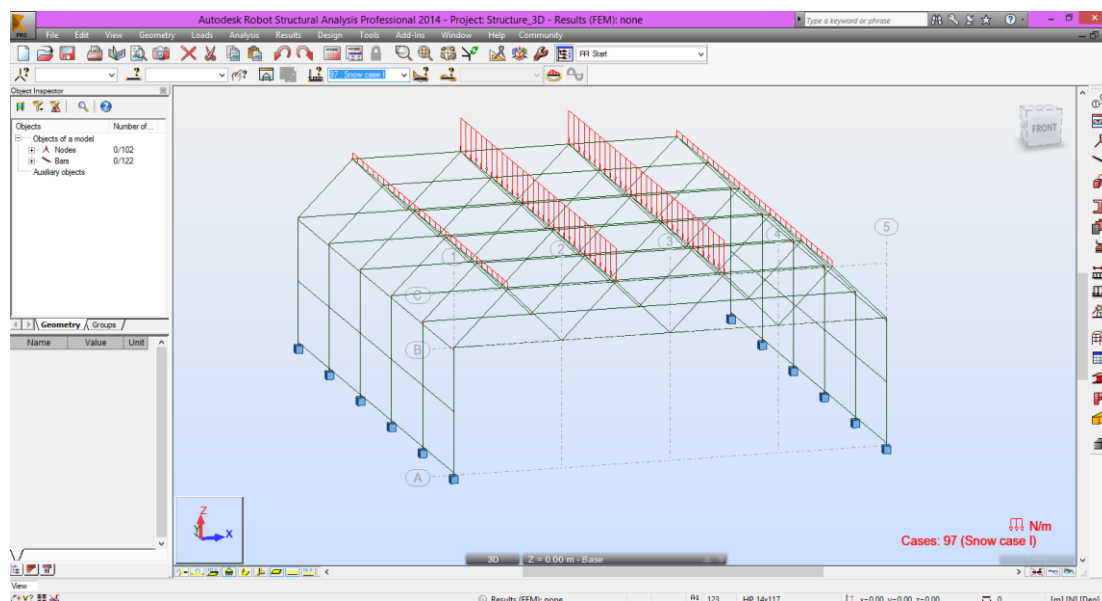
$C_t$  - термички коефицијент ( $C_t=1$ ) [10].



**Слика 4.7-** Карактеристична вредност оптерећења од снега на тло [11]

На основу израза (4.2.1.1) и дефинисаних параметара следи да је:

$$s = 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.8 = 0.64 \text{ kN/m}^2$$



Слика 4.8- Приказ решеткасте конструкције оптерећене снегом

## 4.2.2 Оптерећење ветром

Основни притисак ветра одређује се по формули:

$$q_b = \rho / 2 \cdot v_b^2 \text{ [kN/m}^2 \text{]} \quad (4.2.2.1)$$

Где су:

$v_b$  - основна брзина ветра,

$\rho$  - густина ваздуха ( $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ ).

Основна брзина ветра:

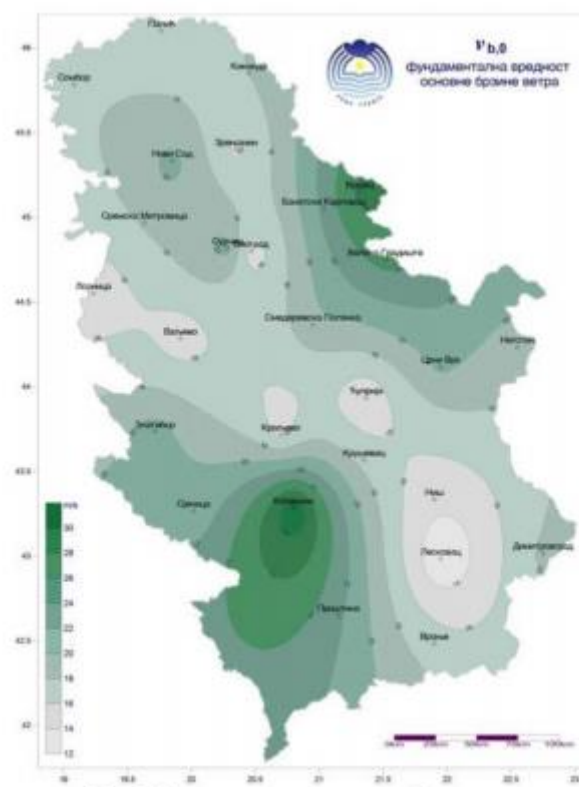
$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.2.2.2)$$

Где су:

$v_{b,0}$  - фундаментална основа брзина ветра (за Крагујевац  $v_{b,0} = 16-18 \text{ m/s}$  - слика 4.9),

$C_{dir}$  - правци деловања ветра ( $C_{dir} \leq 1$ ),

$C_{season}$  - коефицијент сезонског деловања ( $C_{season} \leq 1$ )



Слика 4.9-Карактеристична вредност оптерећења од ветра на тло [11]

На основу израза ( 4.2.2.2) следи:

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 17 = 17 \text{ m/s}$$

Уношењем ових података у образац (4.2.2.1) за основну брзину ветра добија се:

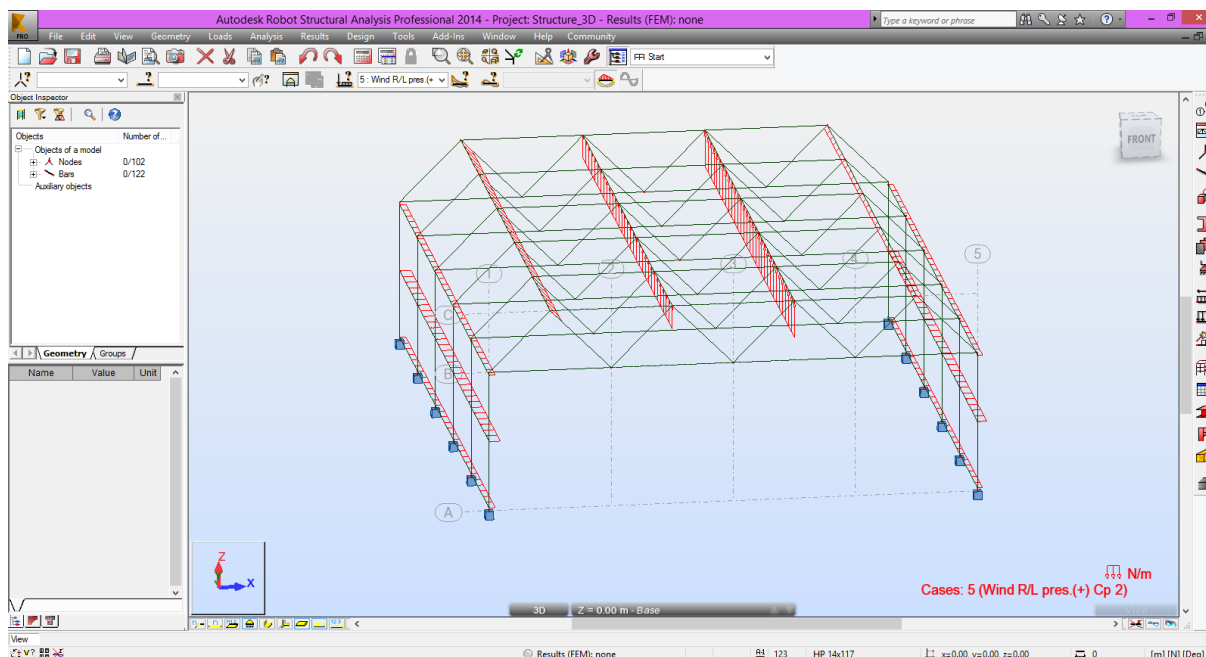
$$q_b = 1.25/2 \cdot 17^2 = 180.625 \text{ N/m}^2 = 0.181 \text{ kN/m}^2$$

Вредност која је добијена означава притисак на једном метру квадратном, због тога се та вредност множи са површином бочне стране хале:

$$P_b = 25 \times 6 = 150 \text{ m}^2$$

Следи:

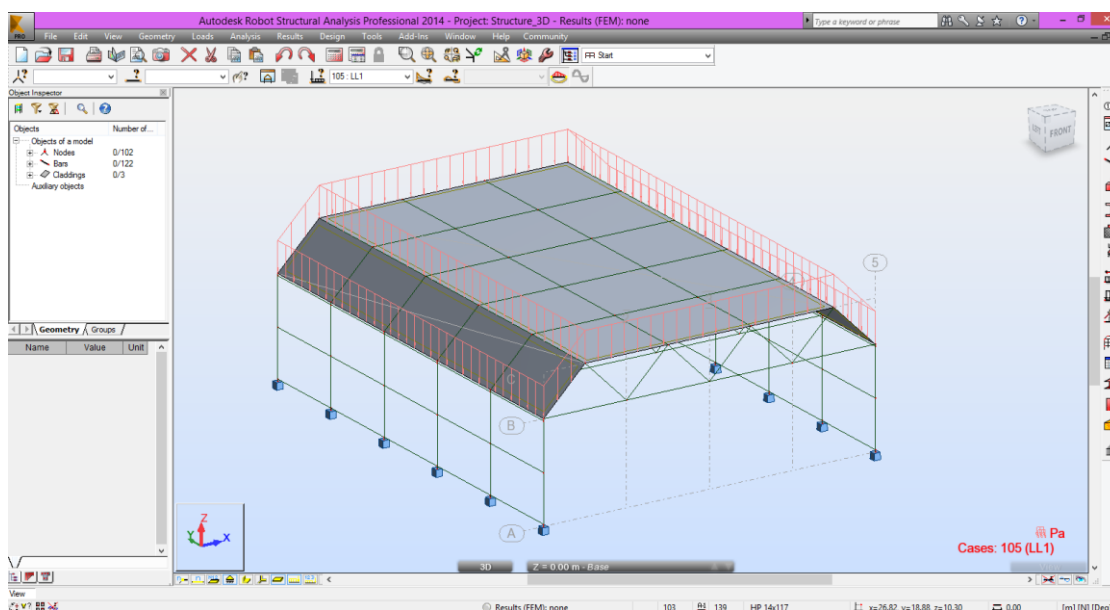
$$q_b = 0.181 \cdot 150 = 27.15 \text{ kN}$$



Слика 4.10- Приказ решеткасте конструкције оптерећене ветром

#### 4.2.3 Оптерећење кровном подлогом

Након извршене анализе оптерећења услед снега и ветра приступа се анализи оптерећења услед дејства кровне облоге. Постављање кровне облоге се врши преко опције Geometry-Claddings. Постављањем кровне облоге јавља се додатно оптерећење на саму решеткасту конструкцију. Оптерећење које делује на конструкцију се дефинише преко опције Load Definition, тачније унутар картице Surface-Uniform planar load (слика 4.11).



Слика 4.11- Оптерећење решеткасте конструкције услед дејства кровне облоге

## 4.3 СПОЈЕВИ

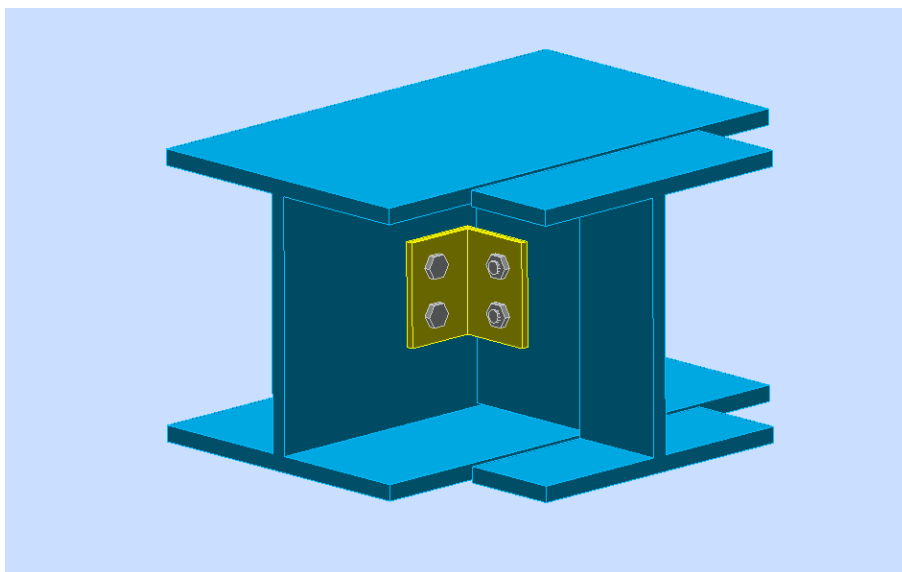
Спајање елемената металних конструкција врши се помоћу закивака, завртњева или заваривањем. Према томе, разликују се растављиви и нерастављиви спојеви.

### 4.3.1 Спајање завртњевима

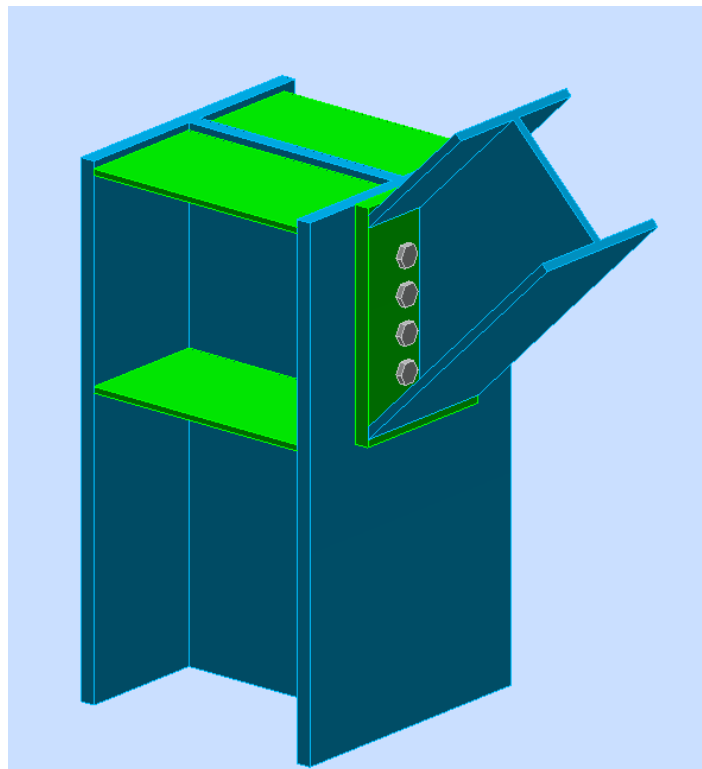
Одабиром одговарајућих греда и тачке споја и кликом на опцију Steel Connection Inspector – New connections for selected bars сам програм дефинише одговарајући спој.

Кликом на опцију Design of connections from a structure – Calculations врши се провера споја. Уколико спој није добар потребно је изменити одговарајуће податке. На сликама 4.12, 4.13 и 4.14 су приказани спојеви решеткасте конструкције.

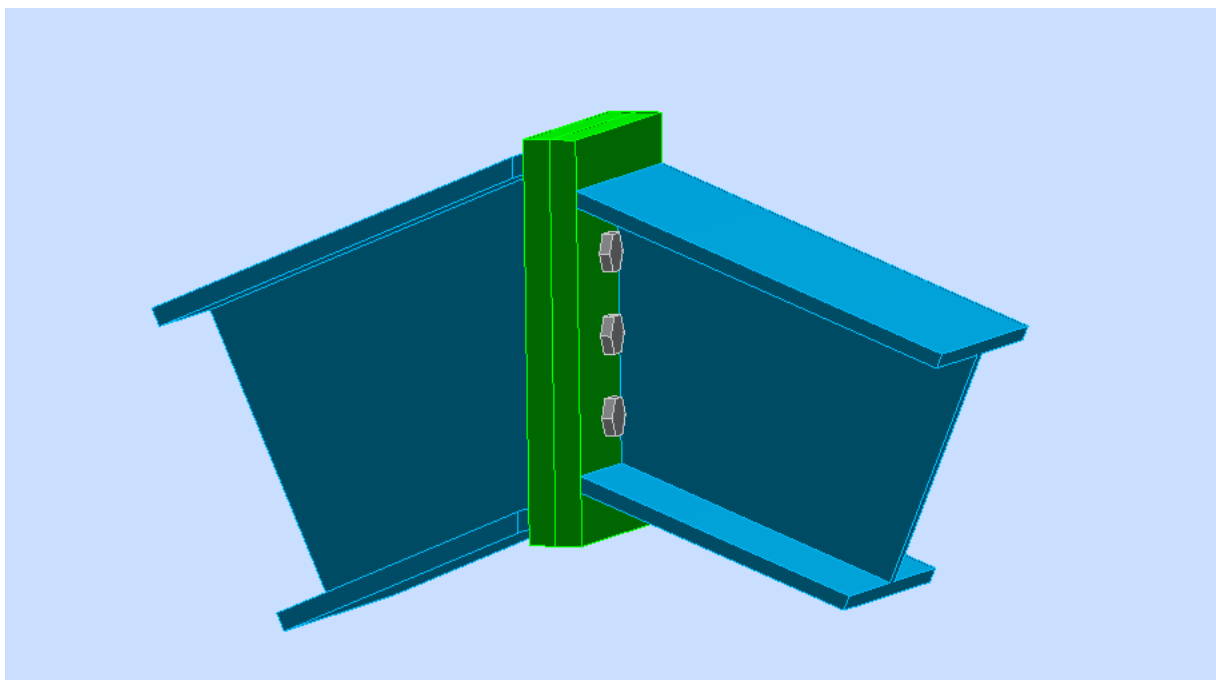
Помоћу завртњева остварује се тачкасто спајање елемената конструкције. Кроз два или више елемената који се спајају, буше се рупе, постављају завртњеви и навија навртка, све док се елементи међусобно не споје. Након тога, веза је одмах способна да прихвати све статичке утицаје, при чему у завртњевима може да се јави смицање, притисак по омотачу рупе или затезање.



**Слика 4.12-** *Спојеви између греда постављених под правим углом*



**Слика 4.13-** *Спој под углом између главног носећег стуба и горњег појаса решеткастог оквира*



**Слика 4.14-** *Спој настављањем између два горња појаса решеткастог оквира*

## 5. ЗАКЉУЧАК

За извођење грађевинских објеката са носећом конструкцијом од метала челик представља још и данас по употребљеној количини главни материјал, мада се последњих деценија уочава и повећана употреба алуминијума.

Челичне конструкције поседују специфична својства и значајне техничке и функционалне предности у односу на друге грађевинске материјале, те зато имају широку примену за све врсте грађевинских конструкција. Омогућавају савлађивање великих распона и висина, како код хала и спратних зграда, тако и код мостова, при чему су тежине и димензије носеће челичне конструкције битно мање него код других грађевинских материјала.

Решеткасти носачи представљају систем сачињен од лаких крутих штапова, међусобно зглобно везаних својим крајевима. Примењују се у случајевима када конструкција треба да пренесе оптерећење преко великог распона или дохвата и када је примена пуних лимених носача нерационална. Подела решеткастих носача може да се изврши на основу више критеријума: према броју појасева, према просторном положају, према интензитету напрезања, према начину обликовања чворова. Најчешће се примењују просте греде, континуални носачи, конзоле и лучни носачи. Као штапови решеткастих носача користе се сви стандардни ваљани профили, како отвореног тако и затвореног попречног пресека као и попречни пресеци образовани заваривањем.

Објекте производних погона и складишта са стубовима у фасадним зидовима називамо халама. Индустијске хале су приземни објекти производне или складишне намене. У приземним индустријским објектима систем носеће конструкције зависи од режима коришћења и могућности адаптације и проширења, везаних за брзе промене технолошких процеса производње. Пројектовање хала се може поделити у три категорије: пројектовање хале за одређену намену, пројектовање хале унапред и пројектовање стандардних хала (типизирани хале). Приземне хале се пројектују и изводе као једнобродне, двобродне, са анексима или укомпоноване у вишебродне објекте са паралелним редовима стубова. Пројектом једног индустријског објекта доказује се носивост, стабилност и употребљивост сваког саставног дела елемента конструкције, као и целокупног објекта.

У оквиру рада циљ је био да се прикаже 3D модел једне решеткасте конструкције услед дејства различитих оптерећења у виду снега, ветра и кровне облоге. Израда модела и анализа оптерећења су одрађени у компјутерском програму Autodesk Robot Structural Analysis Professional.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

[1] Буђевац Д., Марковић З., Богавац Д. и Тошић Д., Металне конструкције - Основе прорачуна и конструисања, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1997.

[2]

[http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiptouf9\\_rVAhWEYJoKHcdpADkQFgggtMAI&url=http%3A%2F%2Frc5.gaf.ni.ac.rs%2Fdec%2Fmetalne%2Fdocs%2Fsystem%2Faction.php%3Fshare%3Dguest%26sAction%3Dopen%26sPath%3Ddr%2520Todor%2520Vacev%2520van.%2520prof.%2520F03%2520SPA%2520F031%2520Metalne%2520konstrukcije%2520zgrada%2520I%2520F0311%2520Predavanja%2520FMKZ%2520I%2520Uvod.Primena%2520MK.Svojstva%2520MK.Pregled.pdf&usg=AFQjCNHyOL5rZpb4O1cRTbJYBm8l-GDIK](http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiptouf9_rVAhWEYJoKHcdpADkQFgggtMAI&url=http%3A%2F%2Frc5.gaf.ni.ac.rs%2Fdec%2Fmetalne%2Fdocs%2Fsystem%2Faction.php%3Fshare%3Dguest%26sAction%3Dopen%26sPath%3Ddr%2520Todor%2520Vacev%2520van.%2520prof.%2520F03%2520SPA%2520F031%2520Metalne%2520konstrukcije%2520zgrada%2520I%2520F0311%2520Predavanja%2520FMKZ%2520I%2520Uvod.Primena%2520MK.Svojstva%2520MK.Pregled.pdf&usg=AFQjCNHyOL5rZpb4O1cRTbJYBm8l-GDIK), приступљено: 22. 08. 2017.

[3] <http://www.slideshare.net/radomir72/resetkasti-nosaci>, приступљено: 15. 09. 2017.

[4] Бешевић М. и Тешановић А., Металне конструкције 2 - Хале и складишта, Грађевински факултет Суботица, Суботица, 2011.

[5]

[http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwiKjtX\\_frVAhUEDZoKHdKGAAQFghHMAM&url=http%3A%2F%2Frc5.gaf.ni.ac.rs%2Fdec%2Fmetalne%2Fdocs%2Fsystem%2Faction.php%3Fshare%3Dguest%26sAction%3Dopen%26sPath%3Ddr%2520Todor%2520Vacev%2520van.%2520prof.%2520F02%2520SPG%2520F021%2520Metalne%2520konstrukcije%2520II%2520F0211%2520Predavanja%2520FMK%2520II-P04\(39\)Elementi%2520hala.Pokrivac.Roznjace.pdf&usg=AFQjCNFMTB3Uydgi3PQNmtyp62Es2gZeXg](http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwiKjtX_frVAhUEDZoKHdKGAAQFghHMAM&url=http%3A%2F%2Frc5.gaf.ni.ac.rs%2Fdec%2Fmetalne%2Fdocs%2Fsystem%2Faction.php%3Fshare%3Dguest%26sAction%3Dopen%26sPath%3Ddr%2520Todor%2520Vacev%2520van.%2520prof.%2520F02%2520SPG%2520F021%2520Metalne%2520konstrukcije%2520II%2520F0211%2520Predavanja%2520FMK%2520II-P04(39)Elementi%2520hala.Pokrivac.Roznjace.pdf&usg=AFQjCNFMTB3Uydgi3PQNmtyp62Es2gZeXg), приступљено: 18. 09. 2017.

[6] <http://demag.rs/linije-proizvoda/konzolne-dizalice/>, приступљено: 21. 09. 2017.

[7] <http://www.tira.com.hr/dvogredne.html>, приступљено: 21. 09. 2017.

[8] [http://www.mihailovicdoo.co.rs/index\\_files/Page776.htm](http://www.mihailovicdoo.co.rs/index_files/Page776.htm), приступљено: 21. 09. 2017.

[9] <http://teamcad.rs/index.php/autodesk-programi/visokogradnja/autodesk-robot>, приступљено: 22. 09. 2017.

[10] Марковић З., Гранична стања челичних конструкција према Еврокоду, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2014.

[11]

[http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiNpd\\_XpKPWAhUhEpoKHRa4CyUQFghgMAk&url=http%3A%2F%2Fwww.ingkomora.org.rs%2Fmaterijalpo%2Fdownload%2F2015%2FEvrokodoviSajamGradjevinarstva.pdf&usg=AFQjCNGzLJBL4k8UWFUe\\_Yx6tBMcjWeJ7Q](http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiNpd_XpKPWAhUhEpoKHRa4CyUQFghgMAk&url=http%3A%2F%2Fwww.ingkomora.org.rs%2Fmaterijalpo%2Fdownload%2F2015%2FEvrokodoviSajamGradjevinarstva.pdf&usg=AFQjCNGzLJBL4k8UWFUe_Yx6tBMcjWeJ7Q), приступљено: 22. 09. 2017.