

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: 536/2014

Јована З. Митровић

**ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЈЕДНЕ МЕТАЛНЕ ХАЛЕ
КОРИШЋЕЊЕМ САВРЕМЕНИХ СОФТВЕРА И
ЕВРОКОД СТАНДАРДА**

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:

- опише карактеристике металних конструкција,
- дефинише опште појмове о халама и конструкцији хала,
- опише примену решеткастих носача,
- изврши моделирање једне конкретне хале, као и да изврши прорачун и анализу оптерећења.

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:

Објекте производних погона и складишта са стубовима у фасадним зидовима називамо халама. Индустијске хале су приземни објекти производне или складишне намене.

При грађењу мостова, хала и других конструкција употребљавају се конструкције које се зову решетке. Решетком се назива конструкција, која се састоји од међусобно повезаних појасних штапова и штапова испуне који формирају троугаону структуру.

У овом раду је дат је 3D модел хале и анализа оптерећења хале. Модел је рађен у софтверу Autodesk Robot Structural Analysis Professional.

Кључне речи: хала, решеткасти носач, 3D модел

Summary:

Areas of production facilities and warehouses with pillars in facade walls are called halls. Industrial halls are ground floor facilities for production or storage purposes.

When constructing bridges, halls and other structures, constructions are called grids. A grid is called a construction, which consists of interconnected belt rods and filler rods that form a triangular structure.

In this paper, the 3D model of the hall and analysis of the hall load is given. The model was developed in the Autodesk Robot Structural Analysis Professional software.

Key words: hall, grid truss, 3D model

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ МЕТАЛНИХ КОНСТРУКЦИЈА	1
2. ХАЛЕ И СКЛАДИШТА	4
2.1 ОПШТИ ПОЈМОВИ О ХАЛАМА И КОНСТРУКЦИЈИ ХАЛА	4
2.2 ПРИНЦИПИ ПРОЈЕКТОВАЊА ХАЛА И СКЛАДИШТА	7
2.3 ДИСПОЗИЦИЈА ХАЛА И СКЛАДИШТА	8
2.4 ПРИНЦИП МОДУЛАРНОГ ПРОЈЕКТОВАЊА ИНДУСТРИЈСКИХ ХАЛА	12
2.5 ЕЛЕМЕНТИ НОСЕЋЕ ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ЈЕДНОБРОДНЕ ХАЛЕ	14
2.6 ТРАНСПОРТ У ХАЛИ	17
3. РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ	19
3.1 ОСНОВНА ПРАВИЛА ЗА КОНСТРУИСАЊЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА	24
3.2 ОБЛИЦИ И ДИМЕНЗИЈЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА	24
3.3 ОБЛИЦИ ПОПРЕЧНИХ ПРЕСЕКА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА	30
3.4 ПРОРАЧУН ШТАПОВА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА	34
3.5 ПРОРАЧУН И КОНСТРУКЦИЈСКО ОБЛИКОВАЊЕ ЧВОРОВА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА	36
3.5.1 Решеткасти носачи са чворним лимом	37
3.5.2 Решеткасти носачи без чворног лима	38
3.6 РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ ОД ШУПЉИХ ПРОФИЛА	40
4. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ХАЛЕ КОРИШЋЕЊЕМ AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL СОФТВЕРА И ЕВРОКОД СТАНДАРДА	41
4.1 ИЗРАДА КОНСТРУКЦИЈЕ У СОФТВЕРУ	41
4.1.1 Израда 2D модела	41
4.1.2 Израда 3D модела	42
4.2 АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА	43
4.2.1 Оптерећење сопственом тежином	43
4.2.2 Оптерећење ветром	44
4.2.3 Оптерећење снегом	45
4.2.4 Укупно оптерећење	47

4.3 СПОЈЕВИ.....	47
4.3.1 Спајање завртњевима	47
5. ЗАКЉУЧАК	51
6. ЛИТЕРАТУРА.....	52

1. УВОД

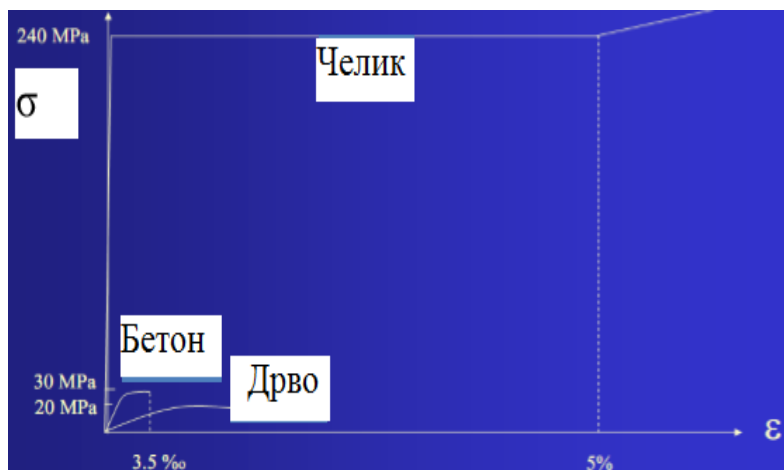
1.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ МЕТАЛНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Употреба гвожђа, а потом челика, као материјала за носеће конструкције у грађевинарству, је релативно скоријег датума. Прва конструкција од гвожђа стара је нешто више од 200 година. За извођење грађевинских објеката са носећом конструкцијом од метала, челик представља главни материјал, мада је последњих деценија повећана и употреба алуминијума. Челичне конструкције поседују значајне техничке и функционалне предности у односу на друге грађевинске материјале, па зато имају широку примену за све врсте грађевинских конструкција [1, 2].

Челик, као основни материјал за носеће металне конструкције, користи се скоро за све типове грађевинских објеката као што су: индустријске хале, спратне зграде, изложбене и спортске дворане, кровови стадиона, мостови, силоси, бункери, димњаци,... Такође, има велику примену у машиноградњи за дизалице, кранове, роторне багере, покретне траке,...

Предности металних конструкција:

1. Високе вредности механичких карактеристика (слика 1.1);
2. Дуктилност: способност материјала да пре лома претрпи значајне пластичне деформације;
3. Могући велики распони (нпр. стадиони) и висине (нпр. торњеви) - челик је често једино изводљиво решење;
4. Лака манипулација и транспорт (слика 1.2);
5. Индустријализована производња и стандардизован квалитет;
6. Мале димензије и тежине елемената челичних конструкција - повољан однос сопствена тежина / користан терет;
7. Обновљивост;
8. Могућност комбиновања са другим материјалима (посебно бетоном као што је приказано на слици 1.3);
9. Префабрикација (у радионици), монтажа (на градилишту) и демонтажа (по потреби);
10. Једноставна санација и реконструкција – нпр. ојачавање профила наваривањем ламела (слика 1.4);
11. Релативно лако фундаирање.



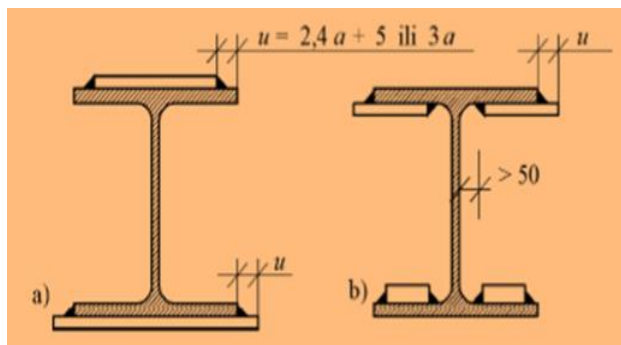
Слика 1.1: σ - ϵ (радни) дијаграм [2]



Слика 1.2: Кран [2]



Слика 1.3: Комбиновање челика са бетоном [2]



Слика 1.4: Ојачавање профила наваривањем ламела [2]

Високе механичке карактеристике конструкционих челика, обезбеђују највећи степен искоришћења носећих својстава, а при том и велику 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. 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. У многим случајевима, као на пример код мостова веома великих распона, хала великих површина без стубова или зграда високе спратности, носећа конструкција од челика представља једину прихватљиву солуцију.

Недостаци металних конструкција:

1. Осетљивост на корозију (слика 1.5);



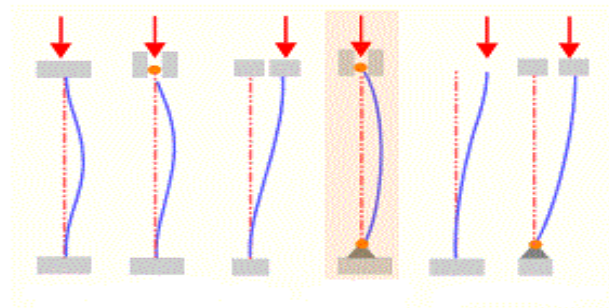
Слика 1.5: Корозија [2]

2. Осетљивост на високе температуре –
– пожар (слика 1.6);



Слика 1.6: *Crystal Palace*, Лондон,
уништен у пожару 1936 [2]

3. Осетљивост на извијање и избочавање
(виткост елемената – еластична
стабилност) – слика 1.7;



Слика 1.7: Извијање елемената [3]

4. Осетљивост на пузање (нарочито алуминијум);

5. Висока цена конструкције;

6. Сложеност израде техничке документације;

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. ХАЛЕ И СКЛАДИШТА

2.1 ОПШТИ ПОЈМОВИ О ХАЛАМА И КОНСТРУКЦИЈИ 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, 5].

Објекте производних погона и складишта са стубовима у фасадним зидовима називамо халама (слика 2.1). 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.



Слика 2.1: *Индустријска хала [6]*

Особине челика пружају вишеструке техничке предности при изградњи грађевинских објеката као што су:

- висока механичка својства конструкционих челика који обезбеђују степен искоришћења носећих својстава, далеко већи од других грађевинских материјала,
- мале димензије елемената носеће конструкције,
- способност савладавања великих распона и висина,
- рационална интеграција примарне и терцијерне структуре зграда,
- мала тежина конструкције, лак транспорт и једноставна монтажа.

Најповољнији однос σ/g_m - напон/сопствена тежина, обезбеђује челичним конструкцијама малу сопствену тежину, а затим и смањење обима посла и коштања транспорта и монтаже.

- брзина изградње.

Просечни утрошак челика за неки објекат може се обрачунати по m^2 покривене површине само за једносратне зграде. У случају индустријских вишесратних 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, стубова, елементи зидова и кровну конструкцију. У табели број 1 приказан је оријентациони утрошак челика за носеће конструкције објеката различитих намена.

Таб. 1: Оријентациони утрошак челика основног материјала са границом развлачења $\sigma_v=235MPa$ [4]

Редни број	Врста објекта		Утрошак kg/m^2		Утрошак 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 брода 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 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 зависе од технолошких поступака који се одвијају у њима. Карактеришу их велики распони без унутрашњих стубова и могу се називати 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 производни погони,
- 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 вишебродне са паралелним редовима стубова. Носећа конструкција хале је формирана од стубова постављених на константном размаку и кровне конструкције која се ослања на њих. Код мањих распона хала (до 10 m), ободни зидови могу бити зидани или у комбинацији са вертикалним и хоризонталним бетонским серклажима, где је само кровна конструкција изведена од челика. Процес пројектовања приземне једнобродне челичне хале зависи од много фактора и у реализацији таквог пројекта морају бити укључени инвеститори, технолози и пројектанти инсталација, како би се одабрало најповољније решење. Пројектовање хала се може поделити у три категорије:

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

Пре пројектовања хале мора се проценити њена будућа намена, како би се избегла потреба за рушењем дела хале због нове технологије.

Према типу конструкције хале могу бити:

- потпуно челичне,
- са челичном кровном конструкцијом и
- АБ конструкцијом зидова.

У складу са захтевом инвеститора могу бити са унутрашњим транспортом или без.

2.2 ПРИНЦИПИ ПРОЈЕКТОВАЊА ХАЛА И СКЛАДИШТА

При поступку пројектовања хала и складишта потребно је дефинисати све неопходне параметре који утичу на избор носеће челичне конструкције. У првој фази пројектовања разрађује се концептуално решење објекта, затим идејни пројекат, главни пројекат - ради добијања грађевинске дозволе и на крају се израђује извођачки пројекат [4, 5].

Неопходно је дефинисати параметре, као што су:

- израда технолошког пројекта (дефиниција намене објекта),
- избор средстава унутрашњег транспорта (мосне дизалице, порталне и конзолне дизалице, транспортери, виљушкар и слично),
- геомеханички подаци о носивости тла и утицај сеизмичких сила за ту локацију,
- евентуална потреба за продуживањем хале,
- неопходне инсталације у хали (електро, машинске, водоводне и канализационе),
- пројекат монтаже хале,
- рокови и динамичка извођења конструкције,
- поштовање важећих стандарда и прописа.

На основу наведених параметара приступа се изради диспозиционог решења хале и врши се оријентациони прорачун ради утврђивања величина појединих позиција хале или складишта. Диспозиција мора да садржи све конструктивне елементе једне хале. Нарочито је битно при прорачуну обухватити сва оптерећења која делују на носећу конструкцију хале.

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, као и посебне услове уколико их има.

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.

Основни принципи пројектовања су:

- Решавање диспозиције у складу са технолошким условима;
- Модуларна координација;
- Подела конструкције на конструктивне целине;
- Поштовање основних принципа понашања конструктивних елемената;
- Усвајање конструктивног система који одговара атмосферским и условима тла;
- Обезбеђивање просторне стабилности конструкције;
- Правилно решавање детаља веза.

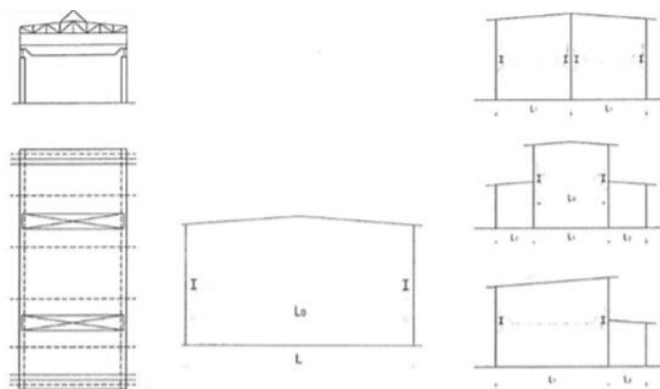
2.3 ДИСПОЗИЦИЈА ХАЛА И СКЛАДИШТА

Пројектом једног индустријског објекта доказује се носивост, стабилност и употребљивост сваког саставног дела елемента конструкције, као и целокупног објекта. Објекат пре свега мора бити стабилан и функционалан. Организација рада у објекту хале заснива се на захтевима производње у њој. Хала мора да буде у функцији заштите технологије и радне средине од спољашњих утицаја. Конструкција хале осигурава пријем и пренос оптерећења од транспортних средстава и технолошких уређаја [4, 5, 7].

Диспозиционо решење хале:

- Хала - зграда формирана од једног или више бродова;
- Брод - парцијални део хале формиран низом парова паралелних стубова;
- Поље - део брода ограничен са наспрамним паровима стубова.

На слици 2.2 приказана је шема - диспозиција уређења једнобродне, двобродне, односно вишебродне хале. Најједноставнији облик хале је објекат правоугаоног облика: распона L , дужина $\sum l = nxl$ и висине H хале. Распон дизалице је означен са L_D , а распон хале L .



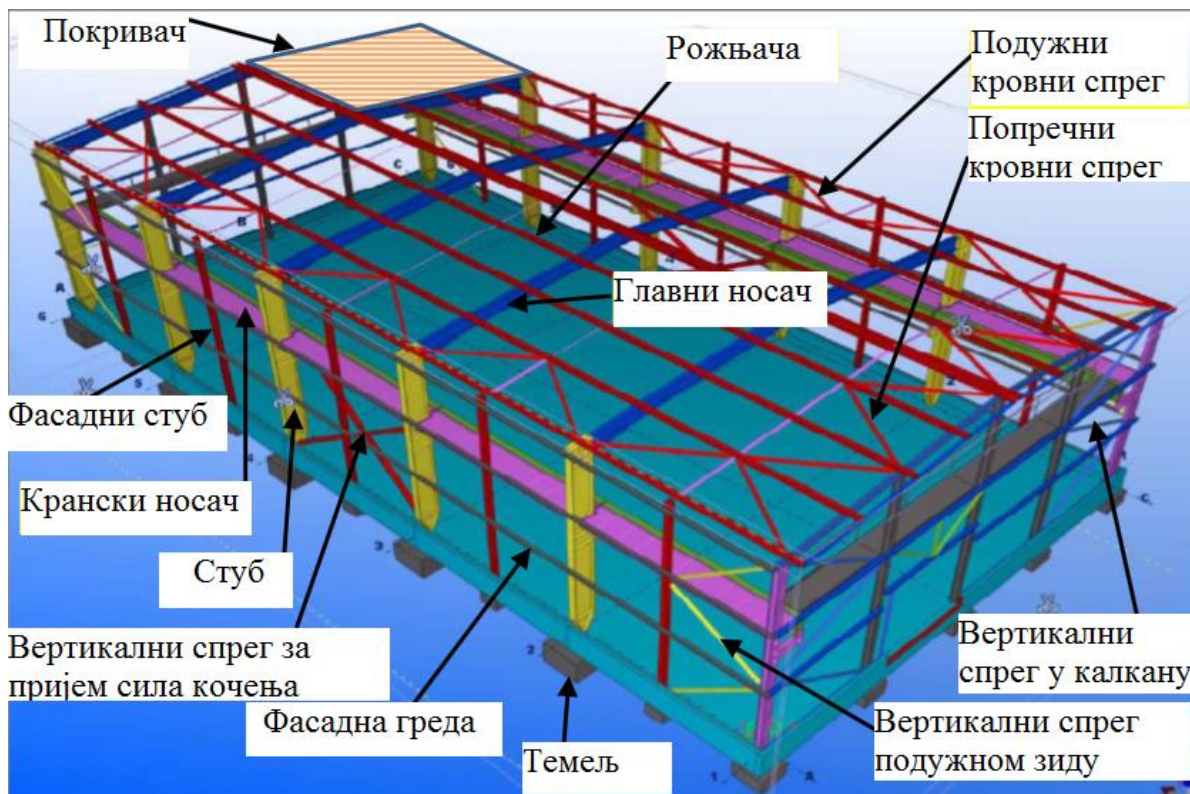
а) једнобродна хала

б) вишебродна хала

Слика 2.2: Шематски приказ уређења једнобродне, односно вишебродне хале распона L [4]

Конструкција хале је сложен просторни систем формиран од низа носећих елемената и склопова (слика 2.3).

Овај сложен просторни систем се по правилу може расчланити у конструктивне целине или равне системе.



Слика 2.3: Пример типичне хале са основним елементима конструкције [6]

Подела на главне конструктивне целине:

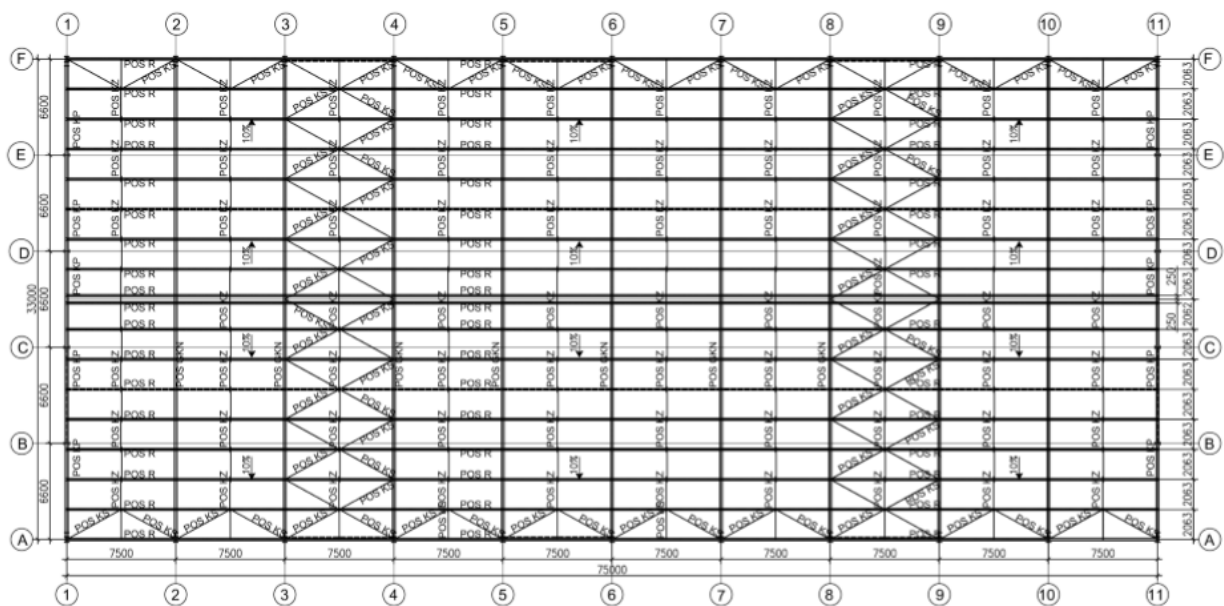
- Кровна конструкција (главни носачи и рожњаче);
- Главни стубови са системом за анкеровање;
- Конструкција обимних и евентуално преградних зидова (фасадне ригле и стубови);
- Спрегови:
 - кровни,
 - вертикални:
 - у подужним зидовима,
 - у калканима,
 - за кочење,
 - хоризонтални:
 - спрег до калкана,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

Подела на равне системе:

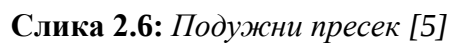
- Кровна конструкција;
- Главни рамови;
- Подужни зидови;
- Попречни зидови.

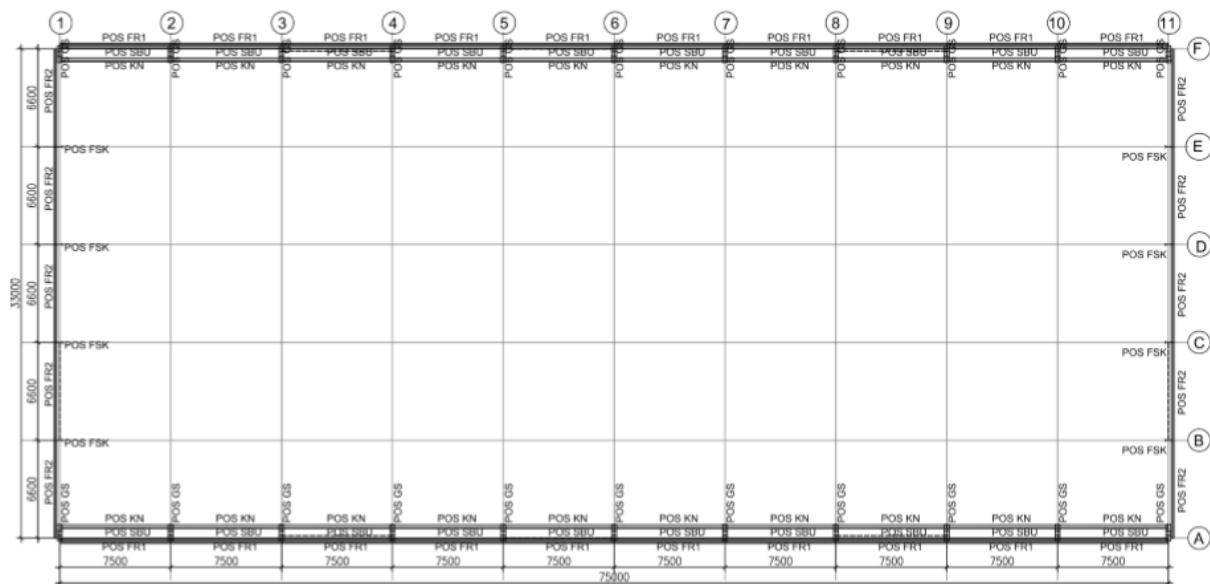
Диспозиција конструкције треба да садржи све основе и пресеке којима се дефинишу елементи хале:

- Основа крова (слика 2.4);
- Попречни пресеци (слика 2.5):
 - на месту типског главног рама,
 - на местима специфичних главних рамова (ако постоје),
 - на местима калканских зидова,
- Подужни пресеци који приказују (слика 2.6):
 - 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) (слика 2.7).



Слика 2.4: Основа крова [5]





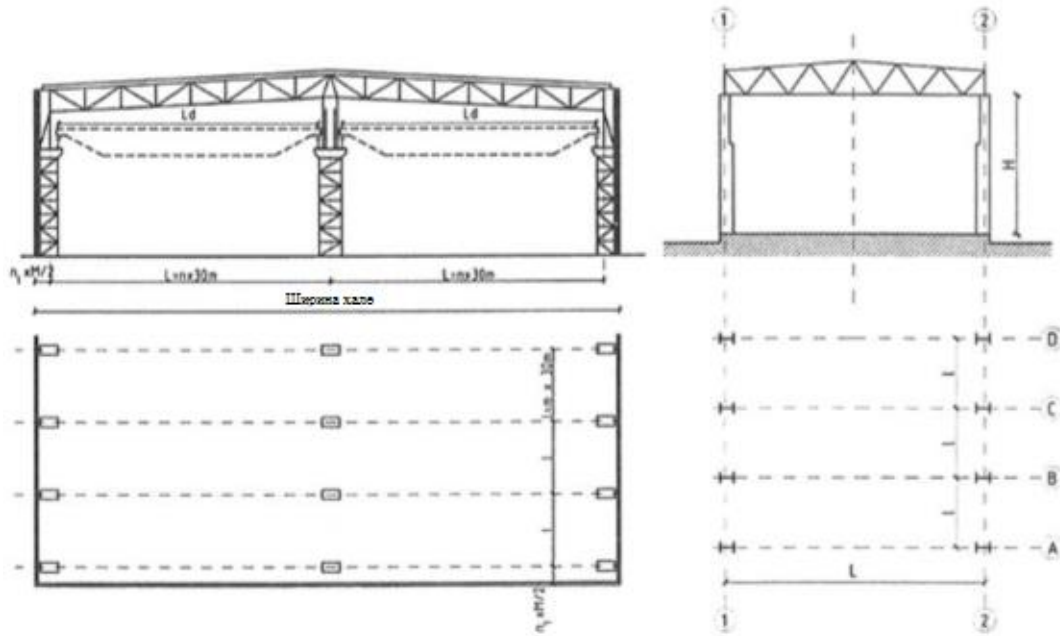
Слика 2.7: Основа на коти ГИШ-а [5]

2.4 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 (слике 2.8 и 2.9). За пројектовање објеката у модулима може се применити растер са модулима за носећу челичну конструкцију R1, а за секундарне елементе растер модула R2. Модули се деле на основни модул и увећани, односно умањени модул. Основни модул је величине $M=100 \text{ mm}$ [4, 5].

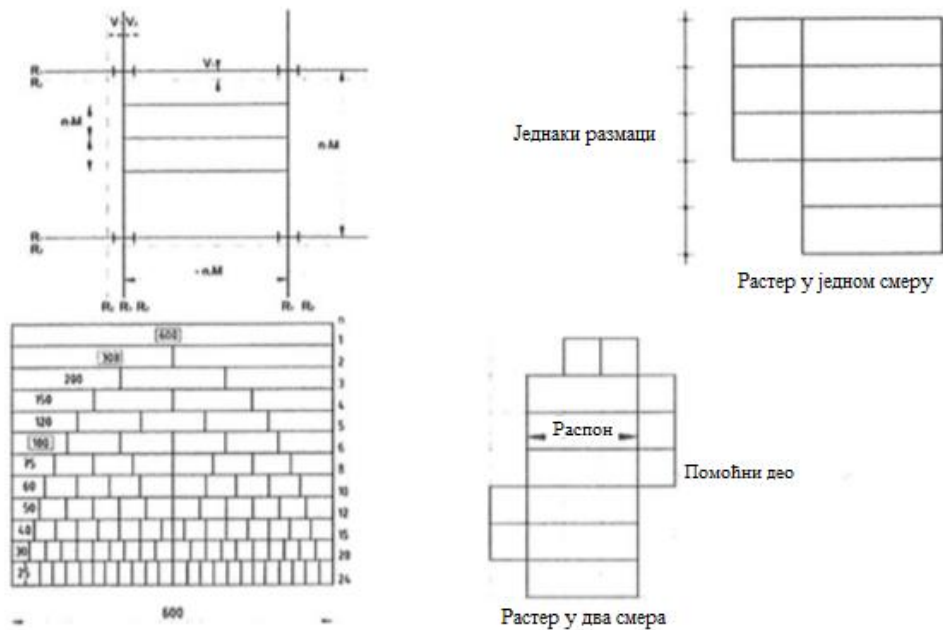
Основне димензије:

- распон главне носеће конструкције: L ,
- размак (растер) главне носеће конструкције: l ,
- висина хале: H .



Слика 2.8: Модуларни начин пројектовања хала [4]

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



Слика 2.9: 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.

2.5 ЕЛЕМЕНТИ НОСЕЋЕ ЧЕЛИЧНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ЈЕДНОБРОДНЕ ХАЛЕ

Носећу конструкцију хале представља просторни систем свих примарних и секундарних конструктивних елемената [4].

Кровну носећу конструкцију обично формирају главни попречни носачи, рожњаче, евентуално међувезачи и подвлаке у калканском зиду и некад рогови. Кровни покривачи могу бити самоносећи. Вертикални елементи су у виду главних стубова константног или степенасто променљивог пресека, са системима за анкеровање.

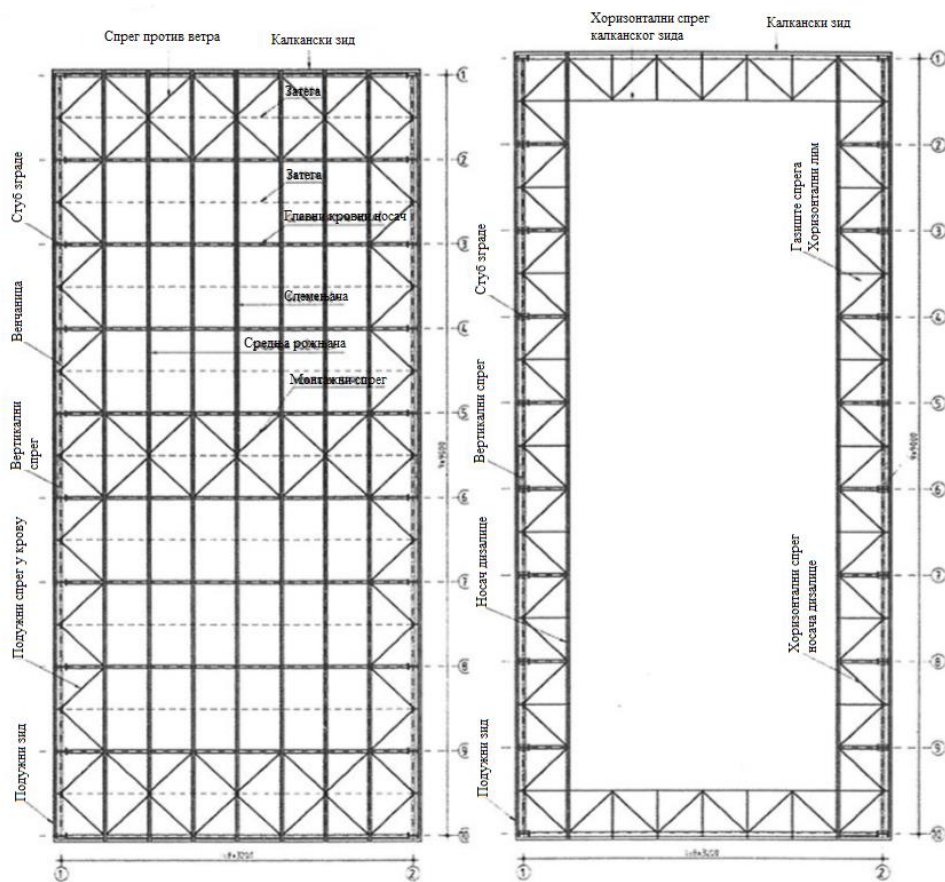
Калканска конструкција и конструкција подужних зидова су у облику стубова, међустубова и попречних насача - ригли. Крутост подсклопова постиже се спреговима или укрућењима, која се постављају тако да обезбеде стабилност конструкције. Пријем сила бочних удара и сила кочења од точкова мостне дизалице остварује се спреговима за пријем бочних удара - хоризонталним спрегом и вертикалним спрегом за кочење у подужном зиду.

Конструкција хале је састављена од одређеног броја конструктивних елемената приказаних табелом 2.

Табела 2: Основни елементи - позиције индустријске хале [4]

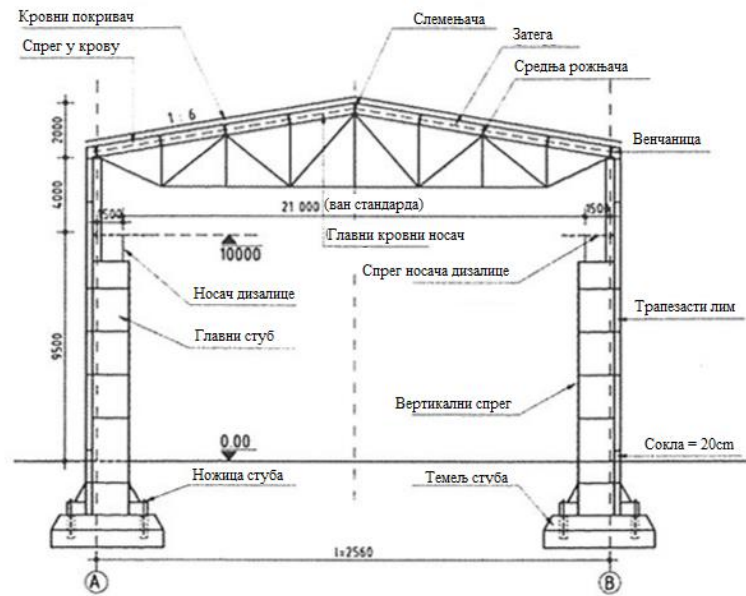
ПОЗ.	Опис позиције - носећег елемента	ПОЗ.	Опис позиције - носећег елемента
1.	Кровни покривач	12.	Вертикални спрег у уподужном зиду
2.	Међурождњаче	13.	Главни стубови хале
3.	Слемењача	14.	Међустубови и ригле у подужном зиду
4.	Венчаница	15.	Калкански стубови и ригле
5.	Затеге	16.	Хоризонтални спрег 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 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 и 2.14 приказане су наведене позиције једнобродне хале.

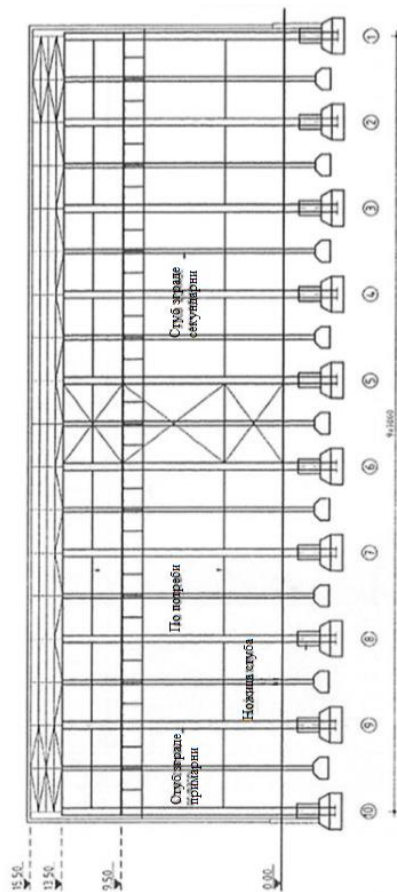


Слика 2.10: Основа кровне конструкције хале [4]

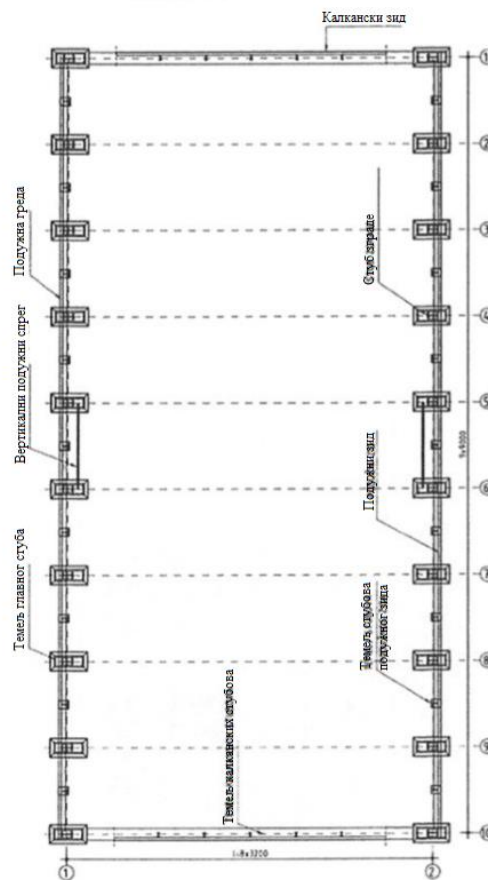
Слика 2.11: Основа носача мостне дизалице [4]



Слика 2.12: Попречни пресек хале [4]



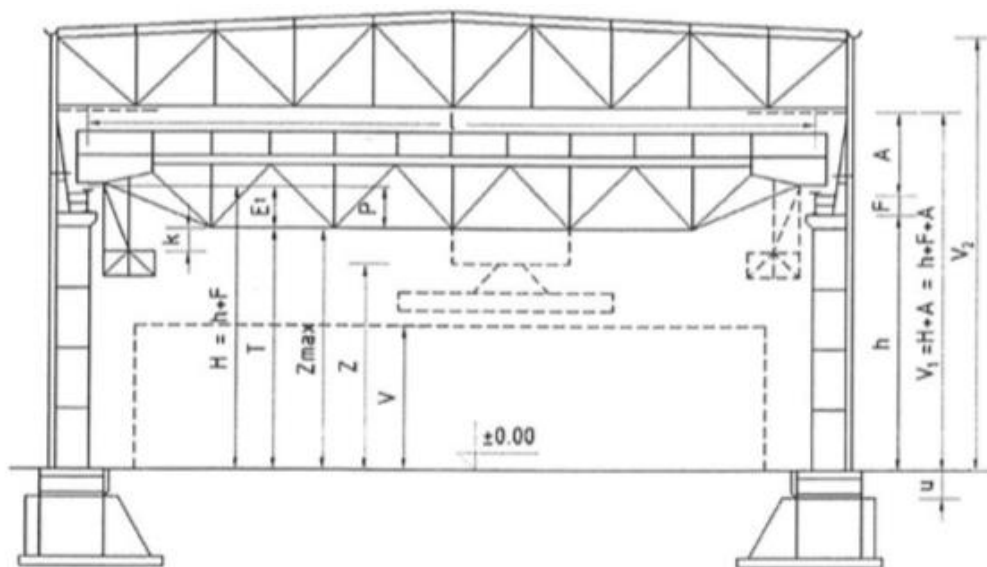
Слика 2.13: Подужни пресек хале [4]



Слика 2.14: Основа темља 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.).

На слици 2.15 дају се основне габаритне мере једнобродне хале са мосном дизалицом распона L_D . Коте одређују висину хале: H - висина ГИШ-а носача дизалице, T - потребна слободна висина до доње ивице мосне 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 2.15: Одређивање основних габарита једнобродне хале [4]

2.6 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, као једноставно средство транспорта или манипулације материјала и опреме, у вертикалној и хоризонталној равни [4].

Дизалице се могу разврстати у следеће три групе:

- конзолне дизалице (слика 2.16),
- мосне дизалице (слика 2.17) и
- једношинске дизалице.

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



Слика 2.16: Конзолна дизалица [5]



Слика 2.17: Мосна дизалица [5]

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

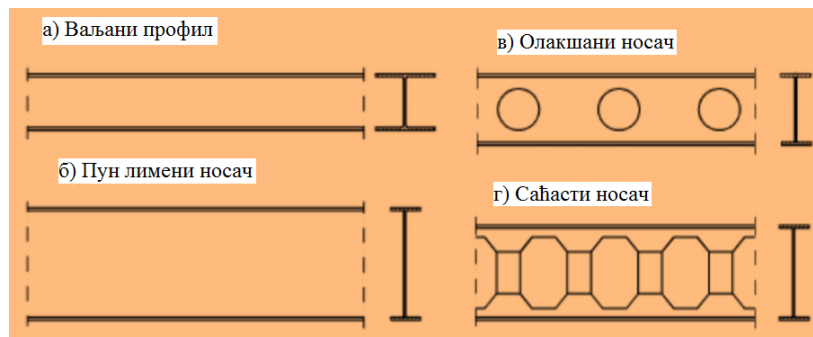
- слободан простор изнад дизалице која нема платформу на мосту и на возном витлу, мора имати висину од најмање 100 mm, што се код viseћих дизалица може смањити на 70 mm,
- изнад дизалица које имају платформу на мосту и на возном витлу слободан простор изнад највишег дела возног витла мора имати висину 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.

3. РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ

Функција главних носача је пријем спољних оптерећења од крова, кровног покривача и рожњача (ако постоје) и њихово преношење на носеће стубове / зидове [1, 8, 9].

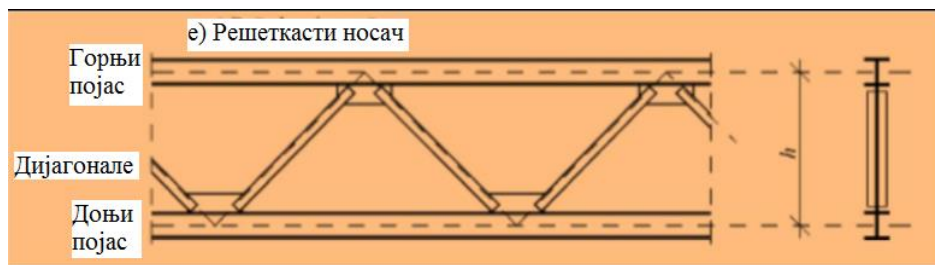
Типови носача за израду главне носеће кровне конструкције:

1. Пуни носачи (слика 3.1);



Слика 3.1: Пуни носачи [8]

2. Решеткасти носачи (слика 3.2);



Слика 3.2: Решеткасти носачи [8]

3. Комбинација пуних и решеткастих носача.

При грађењу мостова, хала и других конструкција употребљавају се конструкције које се зову решетке. Решетком се назива конструкција, која се састоји од међусобно повезаних појасних штапова и штапова испуне (дијагонале и вертикале) који формирају троугаону структуру. Зглобне везе штапова решетки називају се чворовима. Ако осе свих штапова решетки леже у једној равни онда се таква решетка зове равна. У противном случају је просторна.

Предности и мане решеткастих носача:

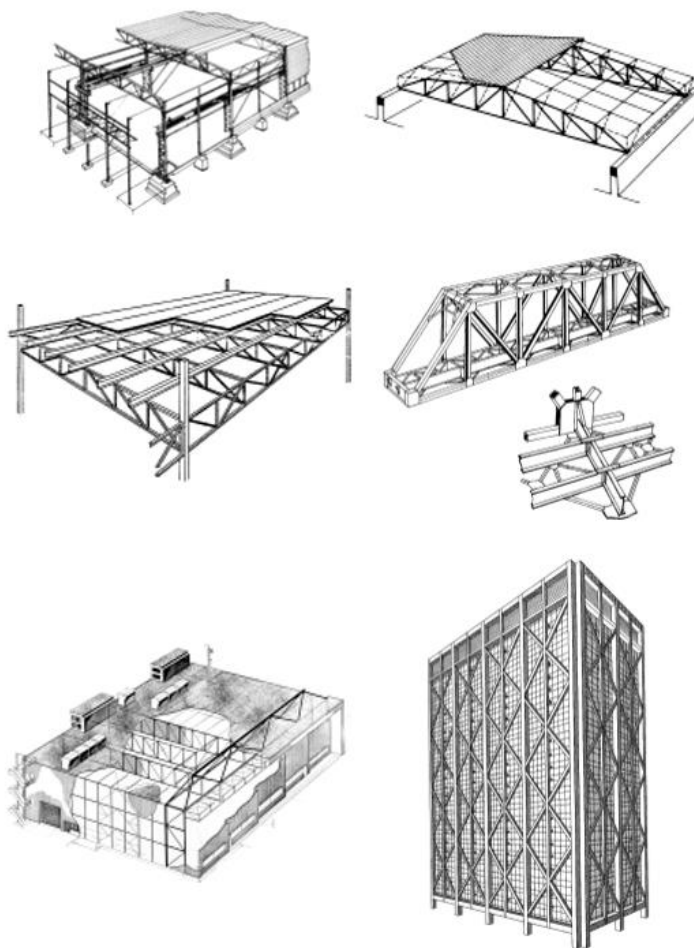
- Боље искоришћење материјала у поређењу са пуним носачима (константна расподела напона);
- Мања тежина у односу на пуне и саћасте носаче;
- Могућност премोшћавања великих распона;

- Транспарентност (пропуштају више светлости) и могућност провођења инсталација;
- Компликованија израда у односу на пуне носаче – већи број радних операција што резултује већом јединичном ценом.

У металним конструкцијама решеткасти носачи се веома често користе и то како у зградарству тако и у мостоградњи. Бројни су примери примене решеткастих носача. У зградарству се користе као: рожњаче, кровни носачи, подвлаке, подни носачи, крански носачи у индустријским халама, спрегови итд.

Кровни носачи у решеткастој изради примењују се у готово свим типовима објеката, од индустријских хала, преко објеката високоградње до спортских и конгресних дворана.

Решеткасти подни носачи се примењују када потребан слободан простор без стубова захтева носаче већих распона.



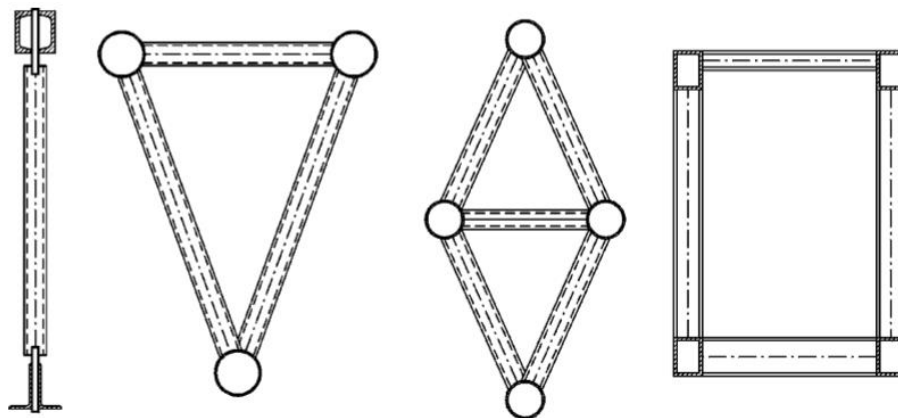
Слика 3.3: Примери примене решеткастих носача [1]

На основу приказаних примера на слици 3.3 може да се уочи разноликост димензија, облика и просторног положаја решеткастих носача. Имајући у виду ове, али и друге разлике које се односе на конструкцијско обликовање, извршена је подела решеткастих носача на основу више критеријума (слике 3.4, 3.5, 3.6 и 3.7):

- према броју појасева:
 - двопојасни,
 - вишепојасни (тропојасни, четворопојасни,...),
- према просторном облику:
 - равански,
 - просторни (линијски, површински),
- према интензитету оптерећења:
 - лаки,
 - средње тешки,
 - тешки,
- према обликовању чворова:
 - без чворних лимова,
 - са чворним лимовима (једнозидни, двозидни).

Двопојасни решеткасти носачи се састоје од два појаса (горњег и доњег) који су међусобно повезани штаповима испуне.

Вишепојасни решеткасти носачи имају више од два појаса. Најчешће се примењују решеткасти носачи са три (тропојасни решеткасти носачи) или четири појаса (четворопојасни решеткасти носачи). Тропојасни решеткасти носачи имају троугаони попречни пресек. Четворопојасни решеткасти носачи су углавном квадратног, ромбичног или трапезастог попречног пресека.



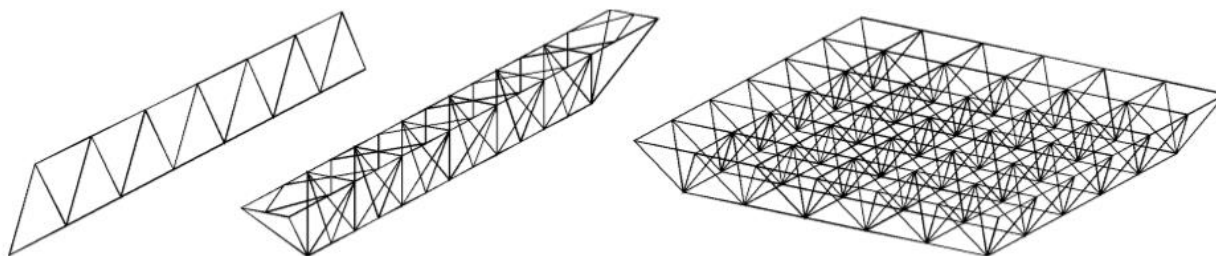
Слика 3.4: Подела решеткастих носача према броју појасева [9]

Равански решеткасти носачи 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.

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 имају једну димензију (дужину) која је доминантна у односу на друге две (ширину и висину попречног пресека).

Код површинских просторних решеткастих носача доминантне су две димензије у односу на трећу - висину решеткастог носача.

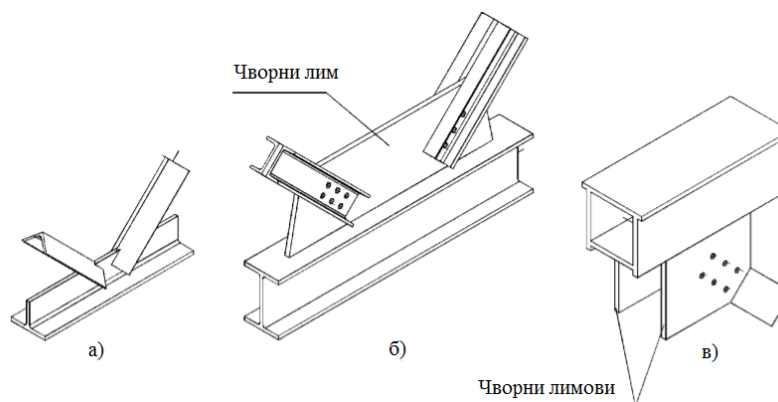


Слика 3.5: Подела решеткастих носача према просторном положају [9]

Лаки решеткасти носачи 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.

Средње тешки решеткасти носачи се примењују за веће распоне и оптерећења и то углавном као кровни и подни носачи. Као штапови оваквих решеткастих носача користе се претежно тешки ваљани профили (U, I, IPE,...) једноделног или вишеделног пресека.

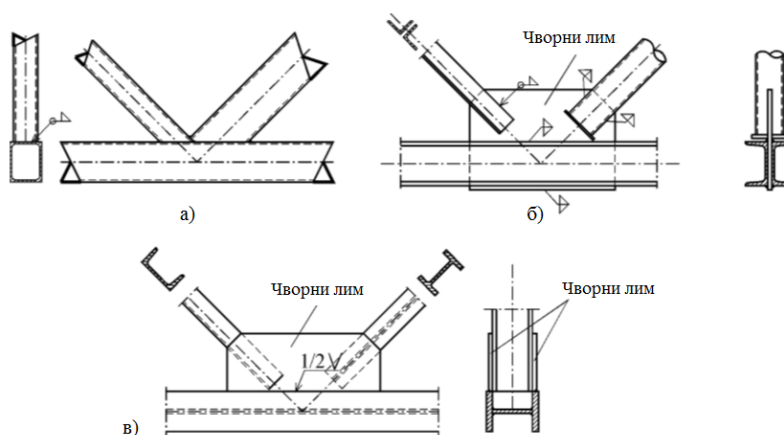
Тешки решеткасти носачи се по правилу примењују код изузетно великих распона и оптерећења. Штапови тешких решеткастих носача се углавном изводе у завареној изради и то сандучастих, шеширастих или I попречних пресека.



Слика 3.6: Подела решеткастих носача према интензитету напрезања [9]

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.

Решеткасти носачи са чворним лимом су носачи код којих се штапови испуне за појасне штапове везују 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. Када се веза остварује преко два чворна лима који леже у две паралелне равни, такви решеткасти носачи се називају двозидни решеткасти носачи.



Слика 3.7: Подела решеткастих носача према начину обликовања чворног лима [1]

3.1 ОСНОВНА ПРАВИЛА ЗА КОНСТРУИСАЊЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

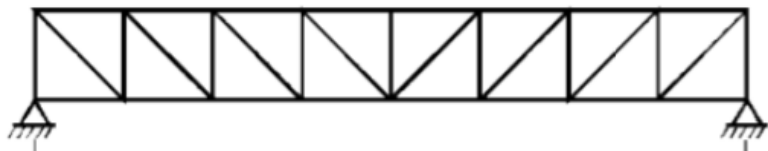
1. Спољашње оптерећење треба да се уноси у решеткасти носач по правилу у чворовима. На тај начин се избегава локално савијање појасних штапова, па су сви штапови изложени само дејству аксијалних сила. Међутим, код неких типова решеткастих носача, као што су на пример рожњаче, подни и крански носачи, ово правило не може да се испоштује [1, 9].
2. Дужина притиснутих штапова треба да буде што мања, чиме се повећава отпорност притиснутих штапова на извијање. Смањење дужине притиснутог појаса може да се оствари додавањем нових штапова (чворова).
3. Углови под којима се сустичу штапови решеткастих носача треба да буду већи од 30° . У супротном, да би се оствариле везе 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° . У случају решеткастих носача са вертикалама и дијагоналама, угао од 45° представља оптимално решење.
4. Штапови решеткастих носача треба да буду прави између чворова. У супротном јављају се моменти савијања у штаповима.
5. Монтажне наставке појасних штапова треба постављати непосредно уз чворове, са стране мање напрегнутог штапа. На овај начин монтажни наставци оптерећени су мањим силама.
6. Појасни штапови треба да буду прави у оквиру једног монтажног комада. На овај начин се избегавају релативно скупи радионички наставци.
7. Системне линије штапова треба да се секу у чворовима (центрисани штапови).

3.2 ОБЛИЦИ И ДИМЕНЗИЈЕ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

За решеткасте носаче најчешће се примењују просте греде, континуални носачи, конзоле и лучни носачи, а ређе Герберови носачи. 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, 9].

Решеткасти носачи могу бити са:

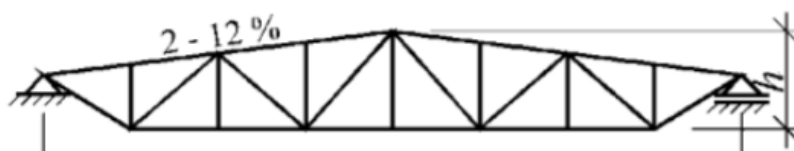
1. паралелним појасевима (слика 3.8),



Слика 3.8: Решеткасти носач са паралелним појасевима [9]

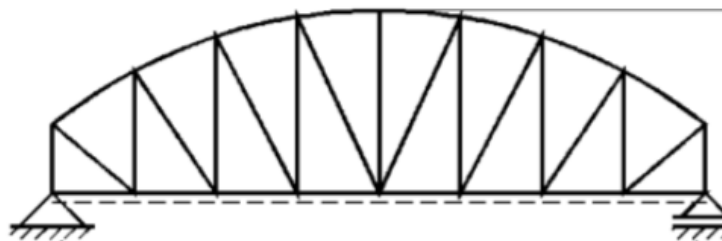
2. горњим појасом у нагибу (нагиб кровне равни - слика 3.9):

- троугласти,
- трапезасти и полигонални,



Слика 3.9: Решеткасти носач са горњим појасом у нагибу [9]

3. параболичним појасом или појасевима (слика 3.10).

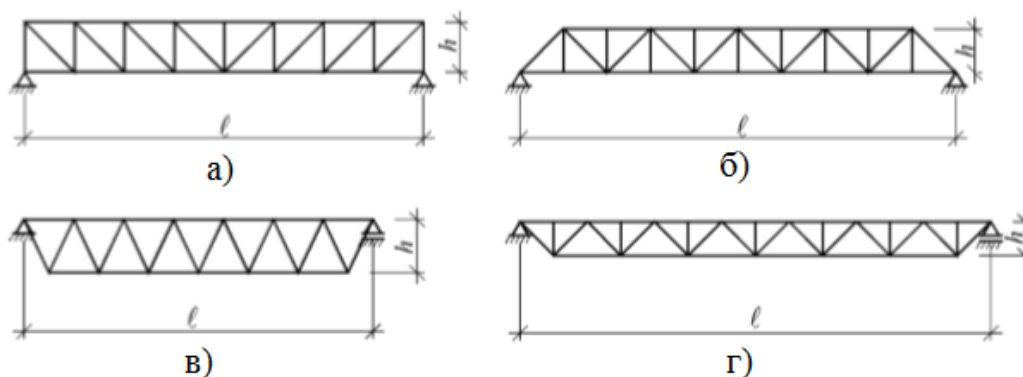


Слика 3.10: Решеткасти носач са параболичним појасом [9]

Решеткасти носачи са паралелним појасевима могу да буду правоугаоног (слика 3.11а) или трапезасетог облика (слика 3.11б). У високоградњи се најчешће примењују као рожњаче, подни носачи, подвлаке, спрегови и крански носачи, а у мостоградњи као главни носачи и спрегови.

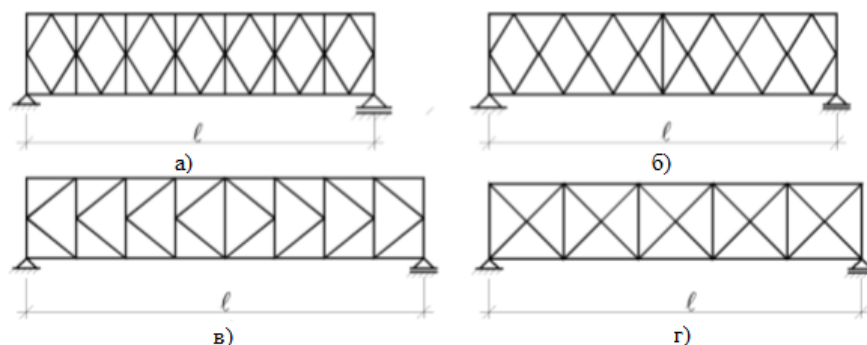
Диспозиција штапова испуне зависи од низа фактора као што су: распон носача, висина носача, положај и карактер оптерећења итд. Када спољашње оптерећење не мења смер деловања, као што је случај са вертикалним гравитационим оптерећењем, дијагонале решеткастих носача са паралелним појасевима треба да падају према средини, симетрично са обе стране (слика 3.11а). На тај начин су све дијагонале затегнуте. Међутим, најрационалнија је примена просте решеткасте испуне, која је састављена искључиво од дијагонала (слика 3.11в). Иако је у овом случају свака друга дијагонала притиснута,

укупна тежина решеткастог носача је мања јер су изостављане вертикале. Решеткастим носачима са простом троугаоном испуном често се додају вертикале (слика 3.11г), како би се смањила дужина извијања притиснутог појаса у равни решеткастог носача и омогућило увођење оптерећења преко гушће мреже чворова.



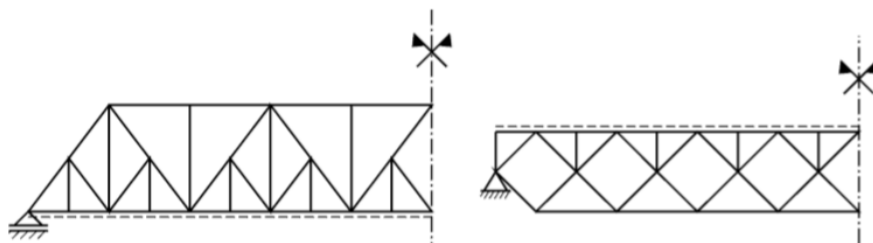
Слика 3.11: Решеткасти носачи са паралелним појасевима [9]

Решеткаста укрућења - спрегови се 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 3.12а) 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, која обезбеђује стабилну троугаону структуру (слика 3.12б). Спрегови са К-испуном (слика 3.12в) 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. Примењују се и у зградарству и у мостоградњи. Спрегови са укрштеним дијагоналама (слика 3.12г) се примењују код претежно мирног оптерећења. Дијагонале се код оваквих спрегова димензионишу као затегнути штапови. Примена укрштених дијагонала је погодна када је спрег изложен алтернативном оптерећењу, па се овакви спрегови називају и алтернативни спрегови.



Слика 3.12: Облици испуне код решеткастих укрућења – спрегова [9]

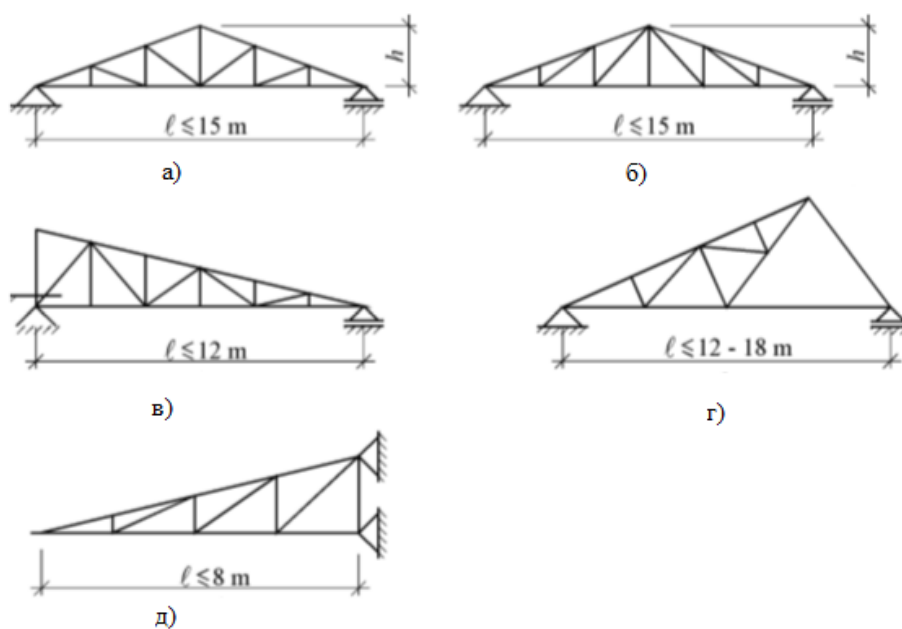
Код мостовских носача изузетно великих распона примењују се решеткасти носачи са секундарном испуном (слика 3.13).



Слика 3.13: Решеткасти носачи са паралелним појасевима и секундарном испуном [9]

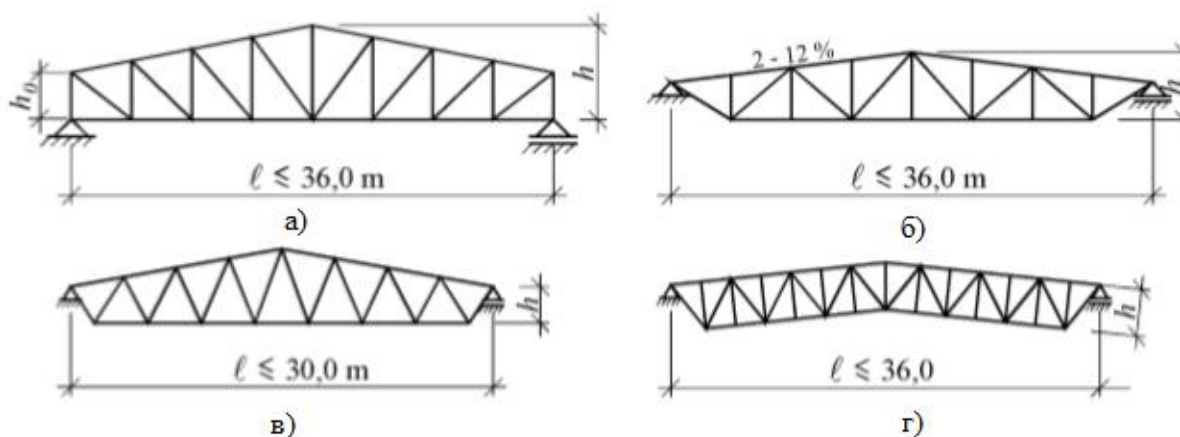
Решеткасти носачи са горњим појасом у нагибу примењују се искључиво у зградарству као кровни носачи. По облику се могу поделити на троугаоне и полигоналне.

Троугаони решеткасти носачи (слика 3.14) се примењују код стрмих кровова са нагибом од 20-45%. Висине троугаоних решеткастих носача су нешто веће и крећу се од четвртине до шестине распона. Овако велика висина у средини носача је неопходна како би се избегли оштри углови (мањи од 30°) између штапова. За разлику од носача са паралелним појасевима, код троугаоних решеткастих носача дијагонале су затегнуте када падају од средина носача ка крајевима (слика 3.14б). Максималан распон троугаоних решеткастих носача (слика 3.14а,б) условљен је транспортом. Несиметрични троугаони решеткасти носачи користе се као кровни носачи код кровова на једну воду (слика 3.14в), затим код "шед"-кровова у индустријским објектима (слика 3.14д), али и као надстрешнице конзолног статичког система (слика 3.14г).



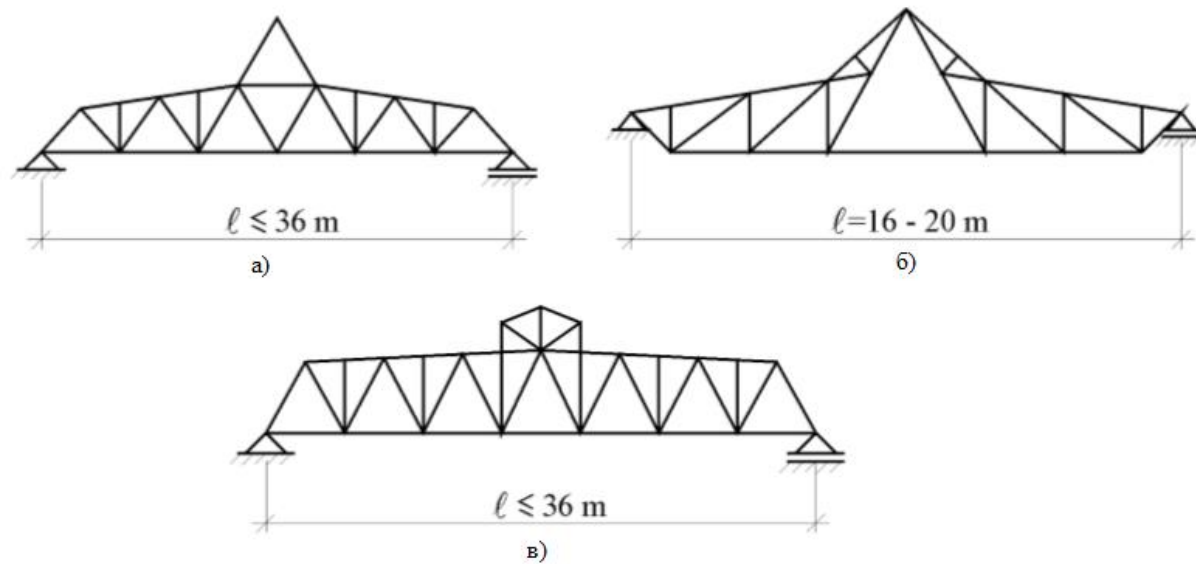
Слика 3.14: Троугаони решеткасти носачи [9]

Полигонални решеткасти носачи (слика 3.15) се 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 3.15б), обезбеђује се стабилност носача на претурање. Овакви решеткасти носачи се називају аутостабилни носачи. Применом аутостабилних решеткастих носача се знатно поједностављује поступак монтаже и избегава постављање вертикалних кровних спрегова. Ови спрегови су неопходни код решеткастих носача који нису аутостабилни (слика 3.15а), јер обезбеђују стабилност носача на претурање. Дијагонале су затегнуте ако су нагнуте ка средини (слика 3.15а). Због изостављања вертикала код решеткастих носача са простом дијагоналном испуном (слика 3.15в) смањује се укупна тежина штапова, али се повећава дужина појасних штапова. При обликовању кровних носача преко којих се постављају рожњаче са косницима, пожељно је да и доњи појас буде у нагибу (слика 3.15г), како би сви косници имали исту дужину.



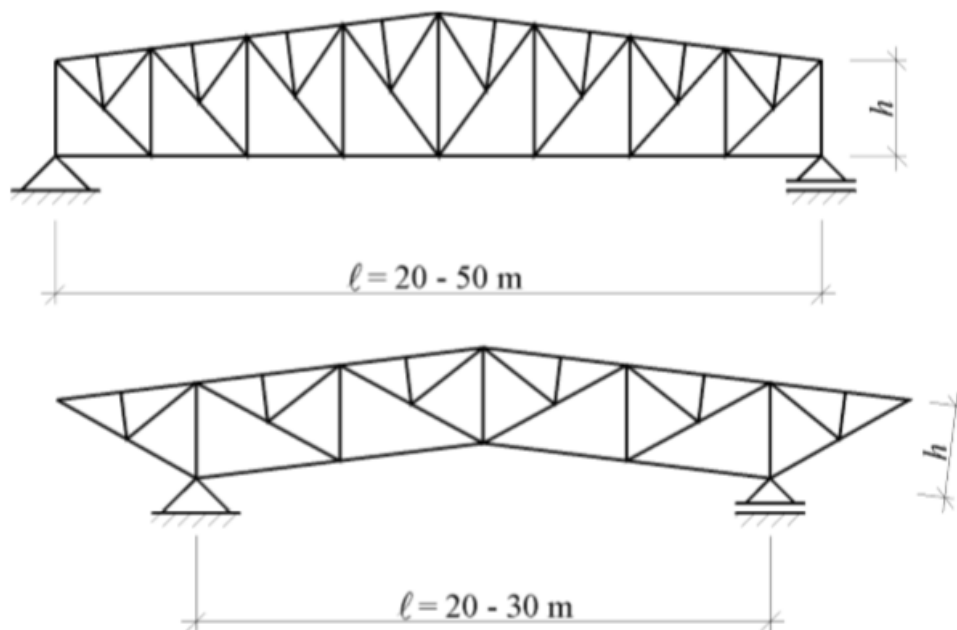
Слика 3.15: Полигонални решеткасти носачи [9]

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. Међутим, посебним обликовањем решеткастих кровних носача може се постићи да они истовремено представљају и носећу конструкцију светларника. На слици 3.16 је приказано неколико карактеристичних примера кровних носача код кровова са светларницима.



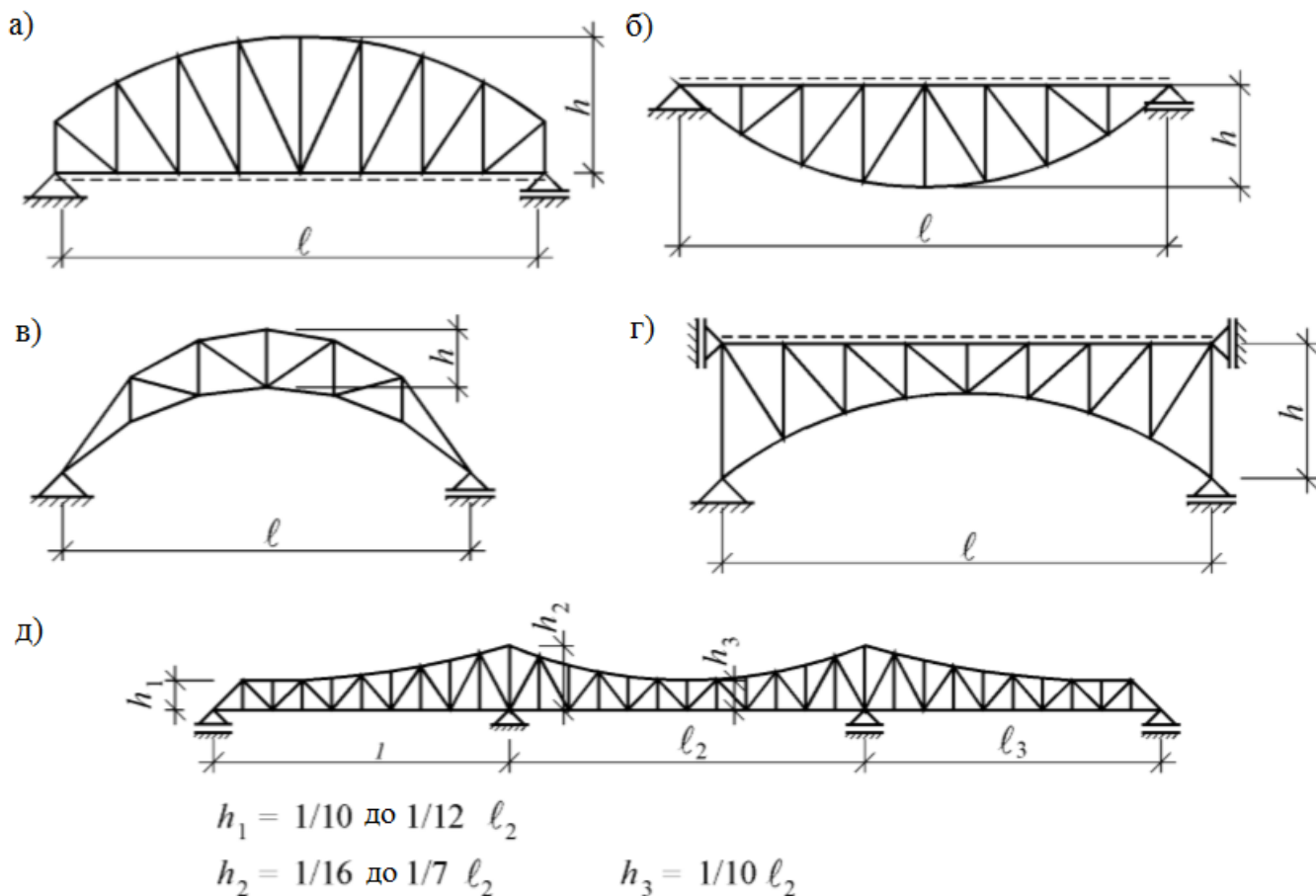
Слика 3.16: Решеткасти носачи код кровова са светларником [9]

За кровне носаче већих распона користе се полигонални решеткасти носачи са секундарном испуном. Секундарна испуна се поставља како би се обезбедила гушћа мрежа чворова на горњем притиснутом појасу. Неки примери решеткастих носача са секундарном испуном приказани су на слици 3.17.



Слика 3.17: Кровни носачи са секундарном испуном [9]

Параболични решеткасти носачи (слика 3.18) 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 3.18а,б,г,д), али има решења и са оба параболична појаса (слика 3.18в).



Слика 3.18: Параболични решеткасти носачи [9]

3.3 ОБЛИЦИ ПОПРЕЧНИХ ПРЕСЕКА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

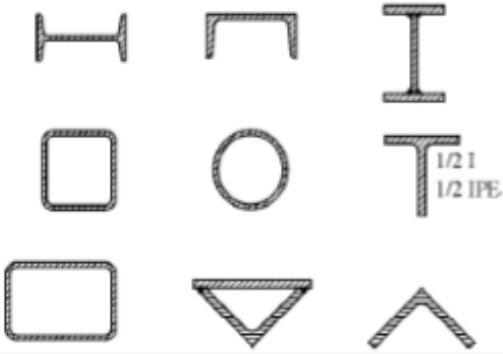
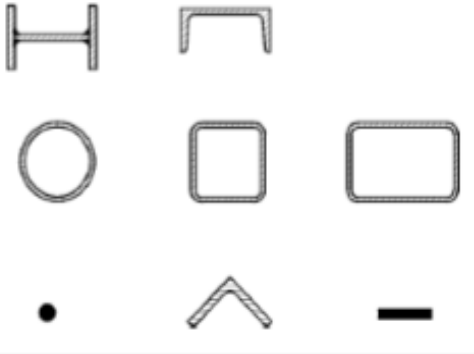
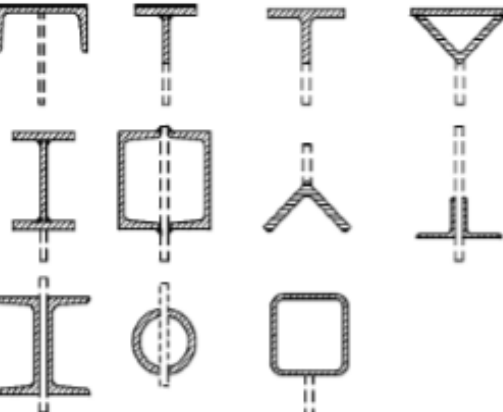
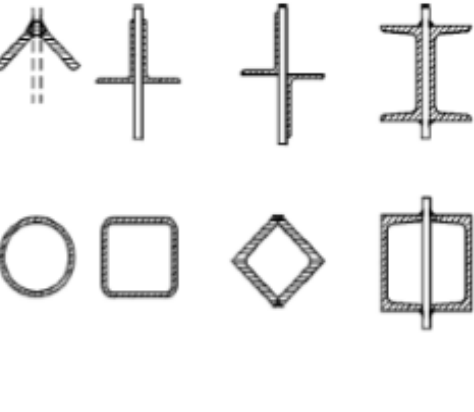
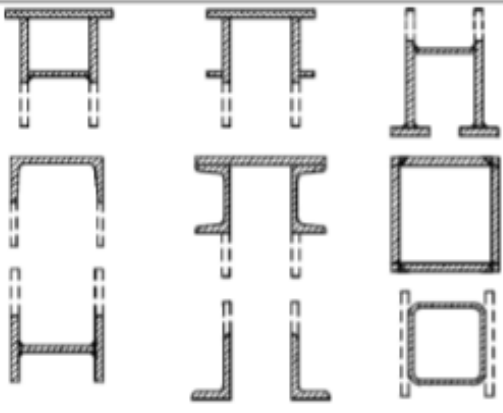
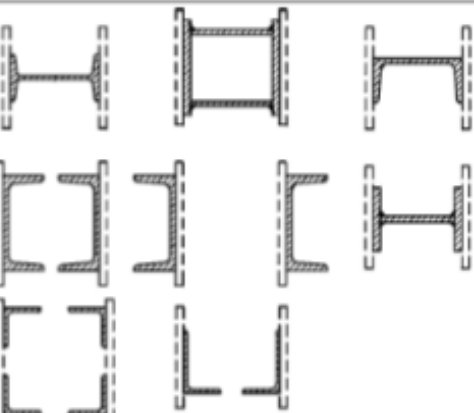
Различити облици попречних пресека примењују се за појасне штапове, штапове испуне, затегнуте штапове и притиснуте штапове [1, 9].

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.

Облици попречних пресека који се најчешће примењују приказани су у табели 2.

Табела 2: Облици попречних пресека штапова решеткастих носача [1]

	Појасни штапови	Штапови испуне
Решеткасти носачи без чворног лима		
	a)	б)
Једнозидни решеткасти носачи		
	в)	г)
Двозидни решеткасти носачи		
	а)	б)

Као појасни штапови код решеткастих носача без чворног лима (таб. 2а) се примењују ваљани L, U и I (I, IPE, HEA, HEB и НЕМ) 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 (таб. 2б) се директно, заваривањем, везују за појасне штапове. Код лаких решеткастих носача се за штапове испуне могу користити плочи и округли челик.

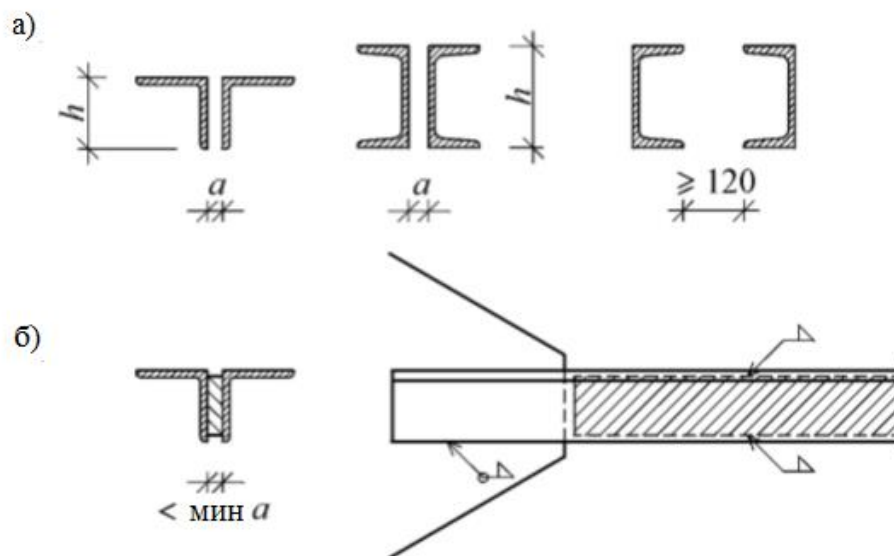
Избор облика попречних пресека појасних штапова и штапова испуне не може да се врши независно. Приликом избора пресека штапова, код решеткастих носача без чворног лима, треба избегавати комбинације појасних штапова и штапова испуне чије је директно везивање конструкцијски неповољно или немогуће.

Код једнозидних решеткастих носача веза штапова испуне за појасне штапове се остварује индиректно, преко чворног лима. Као појасни штапови (таб. 2в) 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 (таб. 2г) 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.

Чворни лимови се, код двозидних решеткастих носача, постављају у две паралелне равни, што омогућава постављање већег броја шавова, односно завртњева за везу штапова испуне. Код оваквих носача се веза чворног лима са појасним штаповима, по правилу, остварује заваривањем. Појасни штапови двозидних решеткастих носача (таб. 2д) 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 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 (таб. 2ђ) се обликују тако да имају две паралелне равни преко којих се остварује веза са чворним лимовима. Осим тога, њихова укупна висина треба да одговара унутрашњем растојању између чворних лимова. Као затегнути штапови испуне најчешће се примењују U-профили, ваљани или заварени I профили и пресеци формирани од два једнакокрака или разнокрака L-профила. За притиснуте штапове користе се сандучасти пресеци у завареној изради и вишеделни попречни пресеци образовани од U или L-профила.

Код вишеделних попречних пресека, без обзира да ли се ради о притиснутим или затегнутим штаповима, потребно је местимично повезивање самосталних елемената.



Слика 3.19: 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 подметаčem (слика 3.19б). Између самосталних елемената прописује се минимално растојање (слика 3.19):

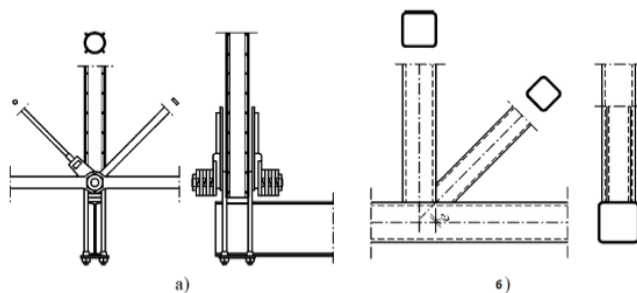
$$a \geq \begin{cases} h/6 \text{ или } 10 \text{ mm} & \text{у зградарству} \\ h/6 \text{ или } 15 \text{ mm} & \text{у мостоградњи} \end{cases}$$

3.4 ПРОРАЧУН ШТАПОВА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

Приликом прорачуна утицаја у решеткастим носачима усвајају се следеће претпоставке:

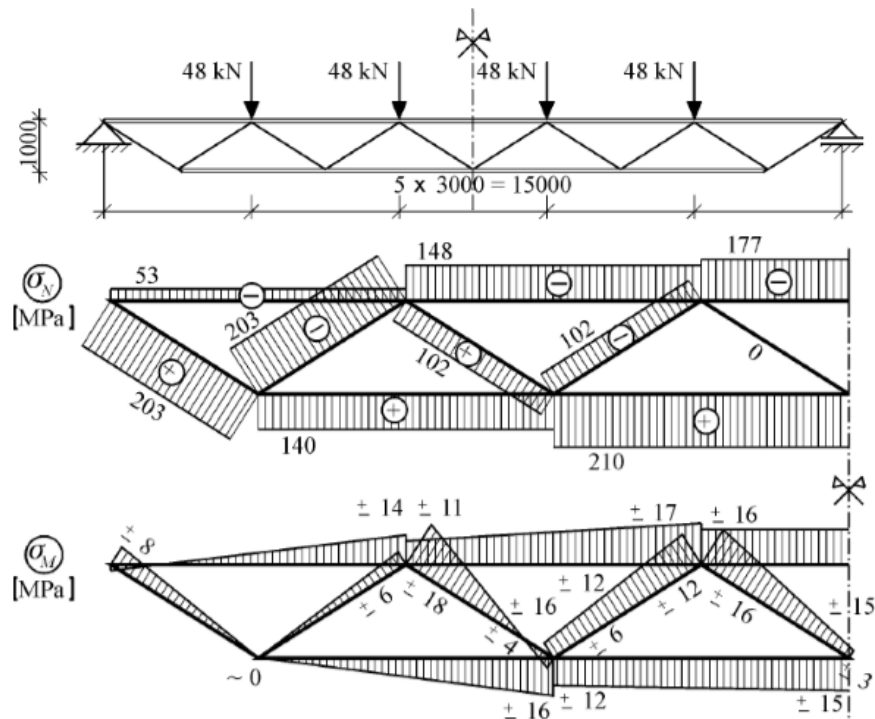
- везе у чворовима су идеално зглобне,
- силе делују искључиво у чворовима носача,
- штапови између чворова су прави,
- штапови су центрисани у чворовима.

У штаповима решеткастих носача делују само аксијалне силе (притисак и затезање). Имајући у виду наведене претпоставке, у почетним фазама развоја челичних конструкција везе у чворовима су образоване помоћу чепова и образних лимова (слика 3.20а), како би се омогућила несметана ротација штапова у чвору. Овакве везе су јако компликоване, тешке и естетски неповољне, а трење између образних лимова ограничава слободно обртање. Због евидентних недостатака, последњих деценија се одустало од примене идеално зглобне везе са чеповима, већ се примењују везе које су знатно једноставније за израду и естетски повољније, без обзира на крутост коју несумњиво поседују. Осим тога, у појединим случајевима се допушта и ексцентрично везивање штапова (слика 3.20б) [1, 9].



Слика 3.20: Различити концепти обликовања чворова решеткастих носача а) традиционални (стари) концепт, б) савремени концепт [1]

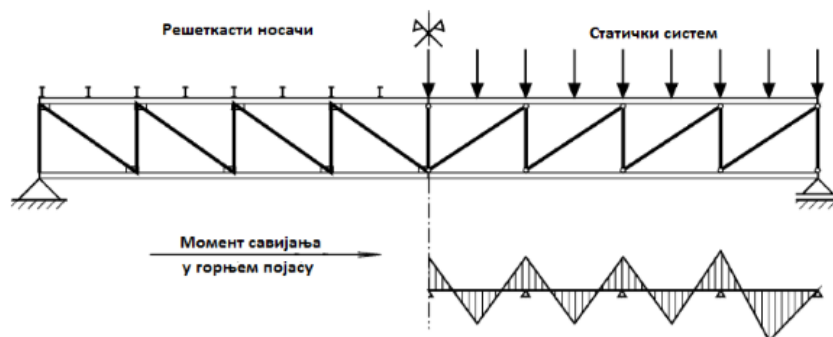
Оваква одступања од идеализованог прорачунског модела, било да је реч о крутим везама у чворовима или ексцентричном везивању, доводе до појаве секундарних утицаја. Наиме, у штаповима решеткастих носача се као доминантна, односно примарна напрезања јављају нормални напони изазвани дејством аксијалних сила (σ_N), док се утицаји настали услед момената савијања (σ_M) сматрају секундарним. На слици 3.21 приказан је пример на ком се уочава да су нормални напони услед аксијалних сила (σ_N) и преко 10 пута већи од секундарних напона изазваних савијањем (σ_M). Моменти савијања у чворовима решеткастог носача одређени су уз претпоставку о идеално крутим везама.



Слика 3.21: Секундарни утицај услед крутих веза у чворовима [1]

Појасне штапове треба димензионисати на комбинованом дејству 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 3.22). Због своје релативно мале крутости, штапови испуне су ослобођени утицаја момената савијања и 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.



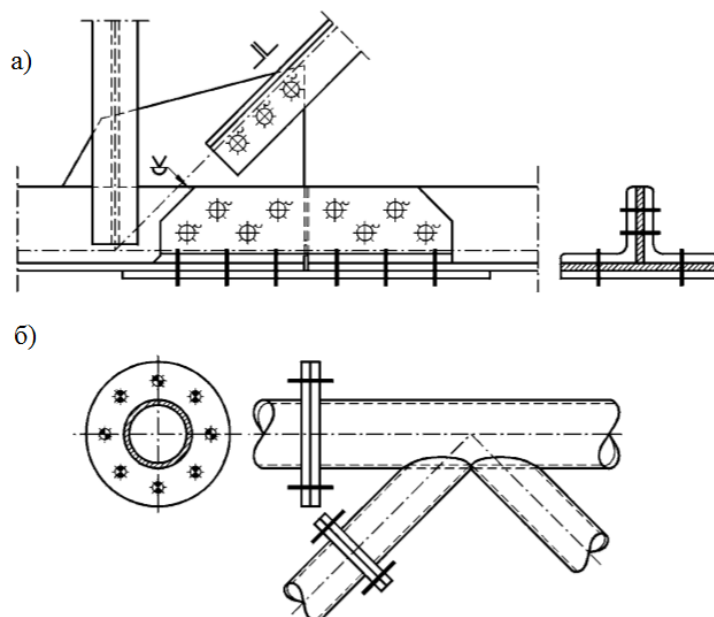
Слика 3.22: Локално савијање појасних штапова – прорачунски модел [1]

Уколико је распон носача већи од транспортне дужине, потребно је извршити поделу решеткастих носача на монтажне комаде који се спајају на градилишту - монтажни наставци (слика 3.23).

Због лакоће монтаже, најчешће се примењују везе са завртњевима.

Монтажни наставци могу да буду са:

- подвезицама (слика 3.23а),
- чеоном плочом (слика 3.23б).



Слика 3.23: *Врсте монтажних наставака: а) са подвезицама; б) са чеоном плочом [9]*

3.5 ПРОРАЧУН И КОНСТРУКЦИЈСКО ОБЛИКОВАЊЕ ЧВОРОВА РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

Чворови решеткастих носача су најчешће заварени, док се везе са завртњевима користе на местима монтажних наставака [1, 9].

Прорачун и обликовање детаља чворова решеткастих носача зависи од:

- Типа решеткастих носача (са чворним лимом или без њега);
- Облика попречних пресека појасних и штапова испуне;
- Броја чворних лимова (код чворова са чворним лимом);
- Врсте спојених средстава (завртњевима или заваривање).

Конструкцијско обликовање чворова решеткастог носача представља веома осетљив детаљ. Веза штапова испуне са појасним штаповима може да се оствари директно или преко чворног лима. Директни прикључци се по правилу изводе у завареној изради, док у већини случајева је неопходно предвидети чворне лимове, који омогућавају индиректно увођење сила у чворове решеткастих носача.

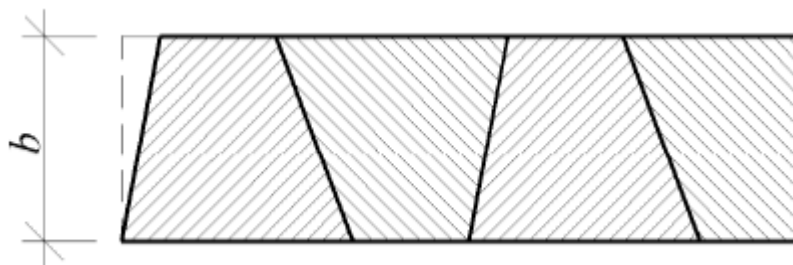
3.5.1 Решеткасти носачи са чворним лимом

Чворни лимови се обликују тако да:

- имају минималне димензије,
- да им је облик једноставан за израду (по могућству да имају две паралелне ивице).

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 угла између штапова. Оштри углови (мањи од 30°) 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 3.24). Израда оваквих чворних лимова је знатно једноставнија и јефтинија.



Слика 3.24: Добијање чворних лимова једноставних димензија резањем једне челичне траке [1]

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

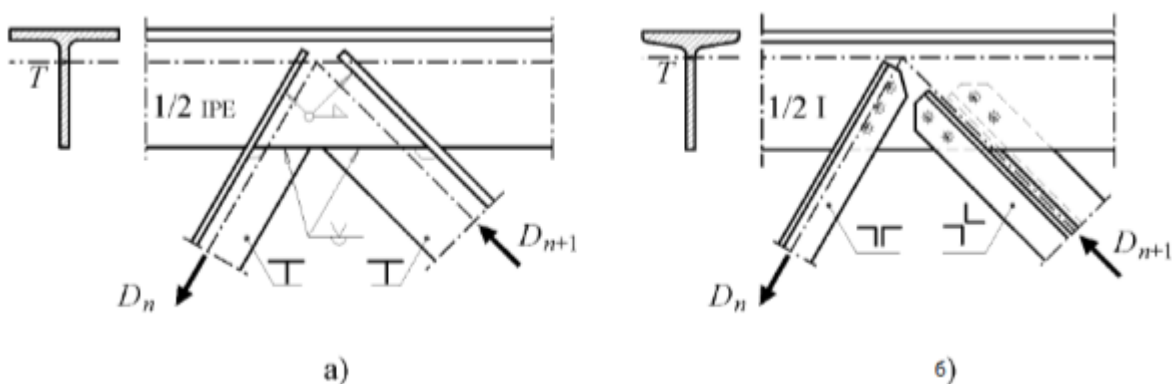
Чворни лим има двојаку функцију:

- 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. Упркос сложеном напрезању чворног лима, при његовом димензионисању могу да се примене приближне методе засноване на стварној расподели напона. С обзиром на двојну функцију чворног лима, његова дебљина треба да се одреди на основу два критеријума: увођења сила у чвор и равнотеже чвора. Другим речима, гранично стање лома чворног лима може да наступи услед парцијалног лома у зони прикључка штапова испуне.

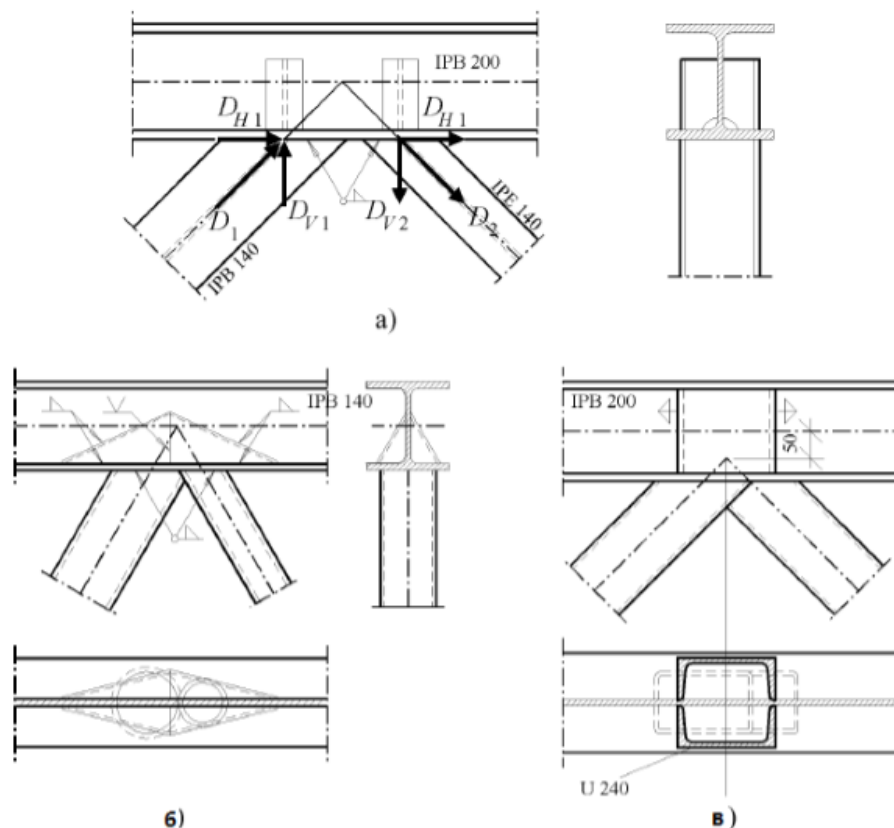
3.5.2 Решеткасти носачи без чворног лима

Појава заваривања 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 3.25б). Као штапови испуне могу да се користе и Т-профили (слика 3.25а), који имају већу крутост од угаоника, али захтевају посебну обраду крајева, што поскупљује везу.



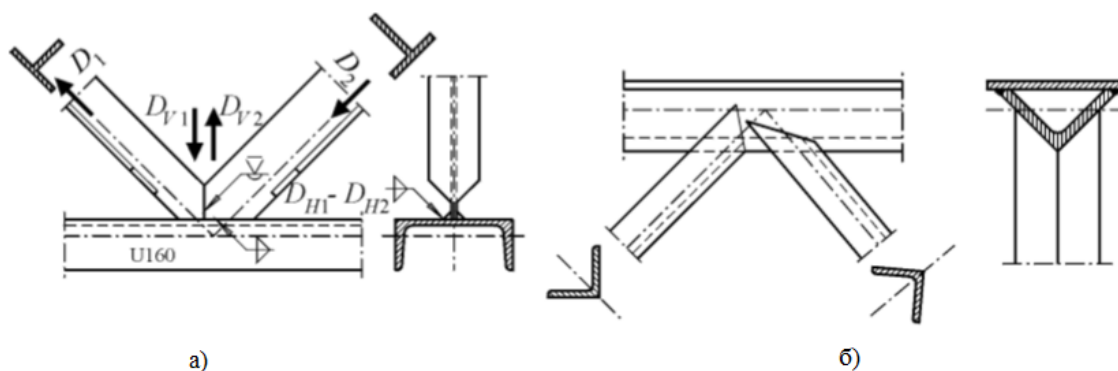
Слика 3.25: Чворови без чворног лима код појаса Т-пресека [1]

Када се појасни штапови образују од ваљаних или заварених I-профила (слика 3.26) веза штапова испуне се остварује директним заваривањем за унутрашњу ножицу. Као штапови испуне могу да се користе ваљани I-профили (слика 3.26а) и шупљи профили кружног (слика 3.26б) и правоугаоног (слика 3.26в) попречног пресека.



Слика 3.26: Директно заваривање штапова испуне за ножице I-профила [1]

Као појасни штапови могу да се користе и U – профили (слика 3.27a). Веза се остварује директним заваривањем за ребро U – профила. Такође, могућа је и примена појасних штапова од једног угаоника, који у случају притиснутог појаса може бити ојачан ламелом (слика 3.27б).



Слика 3.27: Директно заваривање појасних штапова код појасних штапова у виду: а) U-профила; б) ојачаног угаоника [1]

3.6 РЕШЕТКАСТИ НОСАЧИ ОД ШУПЉИХ ПРОФИЛА

Решеткасти носачи израђени од шупљих профила имају изузетно велику примену, поготово у зградарству (слика 3.28). Користе се шупљи профили кружног, квадратног и правоугаоног попречног пресека. Као кружни профили користе се бешавне цеви, добијене истискивањем и шавне цеви, које су произведене хладним или топлим обликовањем и зваривањем. Правоугаони и квадратни шупљи профили добијају се поступком хладног или топлог обликовања од кружних цеви [1].

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



Слика 3.28: *Примена решеткастих носача од шупљих профила [10]*

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

- мања тежина – због расподеле масе челика на периферији пресека, остварује се уштеда у материјалу од 25%, зависно од типа конструкције,
- јефтинија антикорозиона заштита – обим попречног пресека је мањи него код класичних профила, самим тим је и површина изложена коризији мања (30-40%), што смањује трошкове антикорозионе заштите,
- мали аеродинамички коефицијент – смањен утицај ветра на конструкцију у односу на класичне ваљане конструкције,
- велике могућности конструктивног и архитектонског обликовања – шупљи профили омогућавају обликовање носача естетски разноврсније геометрије.

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

4.1 ИЗРАДА КОНСТРУКЦИЈЕ У СОФТВЕРУ

Autodesk Robot Structural Analysis Professional је програм за анализу конструкција. Намењен је грађевинским инжењерима да ефикасно врше симулације, анализе и димензиосање према датим стандардима како би дошли до оптималних решења [11].

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.

4.1.1 Израда 2D модела

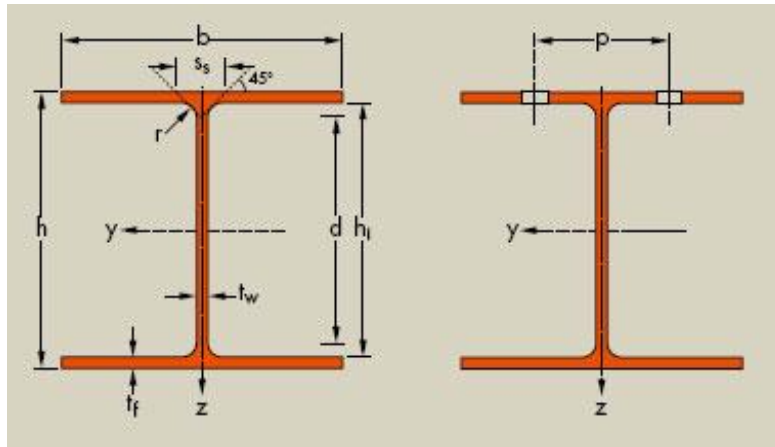
Одабиром опције Frame 2D Design у програму Autodesk Robot Structural Analysis Professional, можемо почети са моделирањем решеткастог носача.

Кликом на опцију Axis Definition можемо дефинисати XZ координатни систем у зависности од димензија хале, а затим помоћу опције Bars изабрати стандардне профиле и унети их у претходно дефинисани систем.

НР профиле су стандардни профиле чији је изглед приказан на слици 4.1.

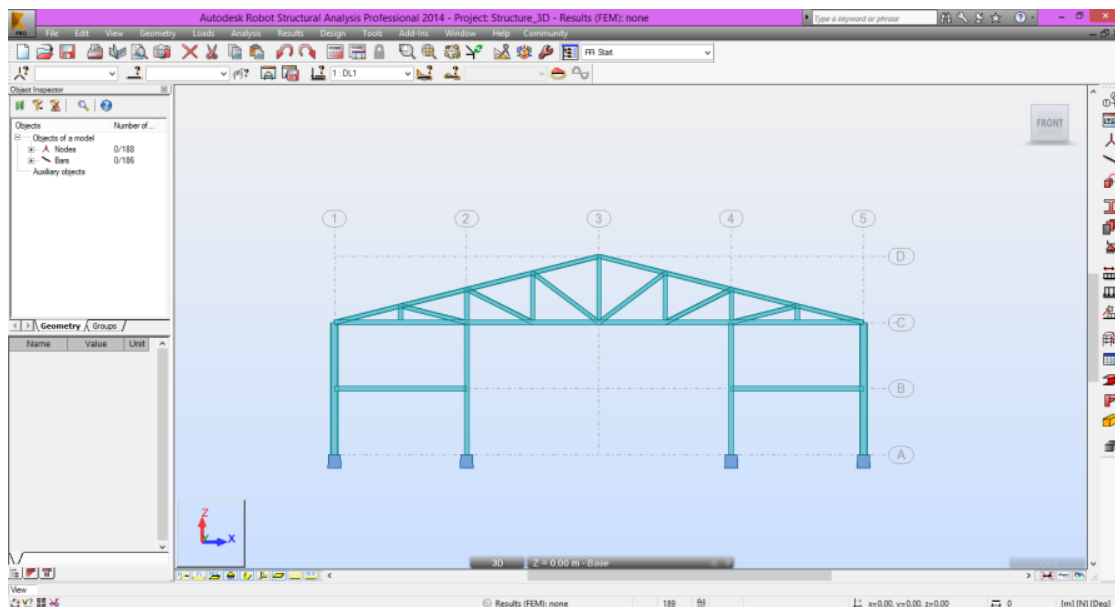
Опис конструктивних елемената:

- Главни носећи стубови - НР 360x152
- Вертикалне греде решеткастог оквира - НР 200x53
- Хоризонталне греде решеткастог оквира - НР 200x53
- Горњи појас решеткастог оквира - НР 200x53
- Цик-цак греде решеткастог оквира - НР 200x43



Слика 4.1: HP профил [12]

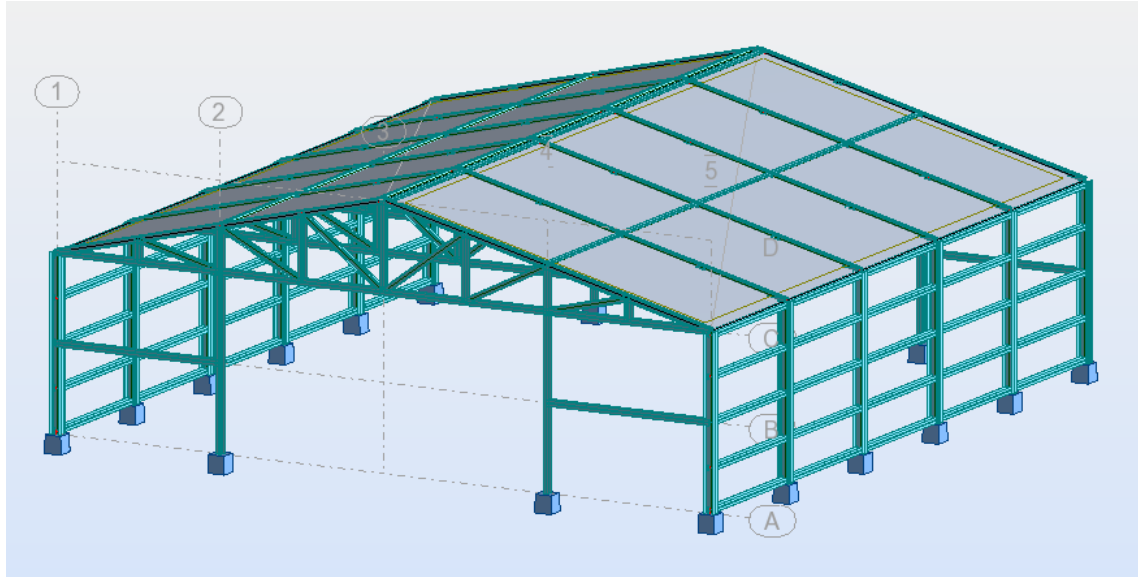
Након тога, користећи опцију Supports фиксирамо халу за подлогу (слика 4.2).



Слика 4.2: 2D модел конструкције

4.1.2 Израда 3D модела

На тако измоделиран решеткасти носач помоћу опције Snow/Wind Loads 2D/3D уносимо дубину хале и растојање између носача. Кликом на Parameters отвара се нова картица у којој уносимо одговарајуће податке, а затим кликом на 3D Generation бирамо локације на којима ће се поставити ојачања. На крају, кликом на Generate 3D добијамо 3D модел конструкције (слика 4.3).



Слика 4.3: 3D модел конструкције

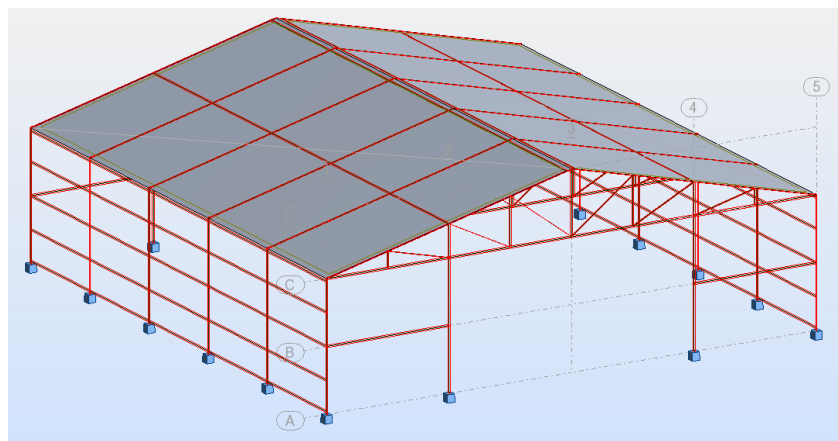
4.2 АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА

4.2.1 Оптерећење сопственом тежином

Сопствена тежина грађевинских елемената се представља преко појединачне карактеристичне вредности и рачуна се на основу номиналних димензија и карактеристичних вредности запреминских тежина [13, 14].

Сопствена тежина грађевинских елемената обухвата конструкцијске и неконструкцијске елементе.

Изабрати опцију Load Definition – Self-weight and mass – Self-weight-PZ for the whole structure – Apply (слика 4.4).



Слика 4.4: Оптерећење сопственом тежином

4.2.2 Оптерећење ветром

Основни притисак ветра одређује се по формули:

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

Где су:

v_b - основна брзина ветра,

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

Основна брзина ветра:

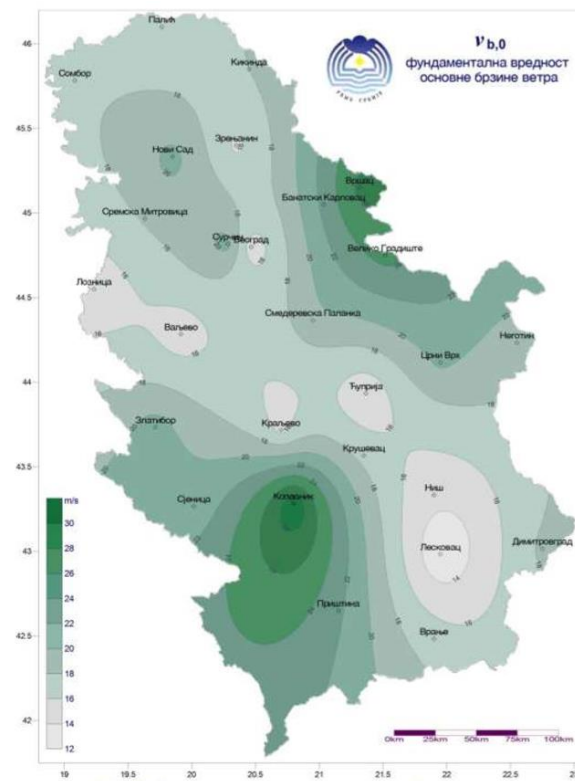
$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

Где су:

$v_{b,0}$ - фундаментална основа брзина ветра (за Крагујевац $v_{b,0} = 16-18 \text{ m/s}$ - слика 4.5),

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

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



Слика 4.5: Фундаментална вредност основне брзине ветра [15]

Следи:

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

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

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

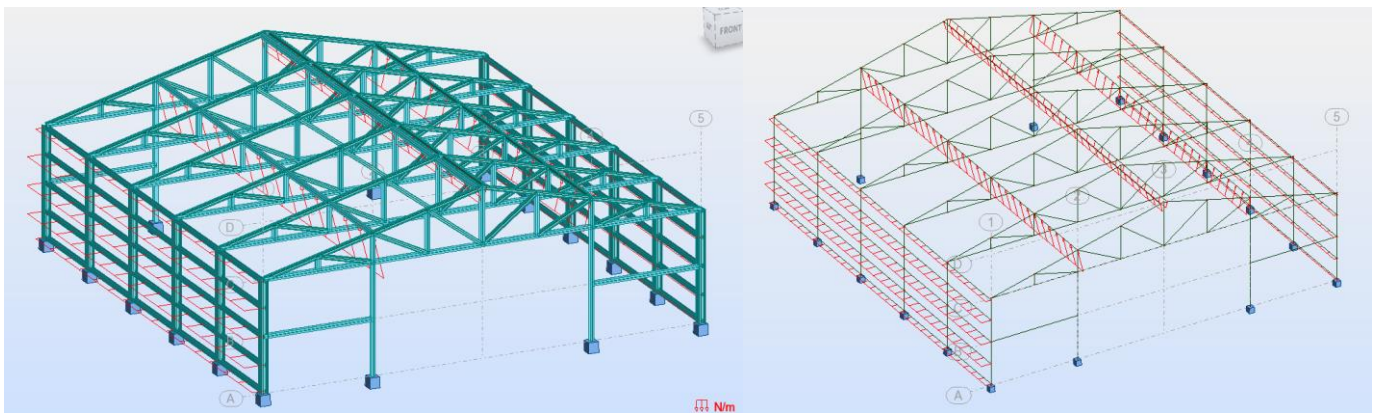
Вредност која је добијена означава притисак на једном метру квадратном, због тога се та вредност множи са површином бочне стране хале:

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

Следи:

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

Оптерећење хале услед притиска ветра приказано је на слици 4.6:



Слика 4.6: Оптерећење ветром

4.2.3 Оптерећење снегом

Оптерећење снега на кров конструкције је дато изразом:

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

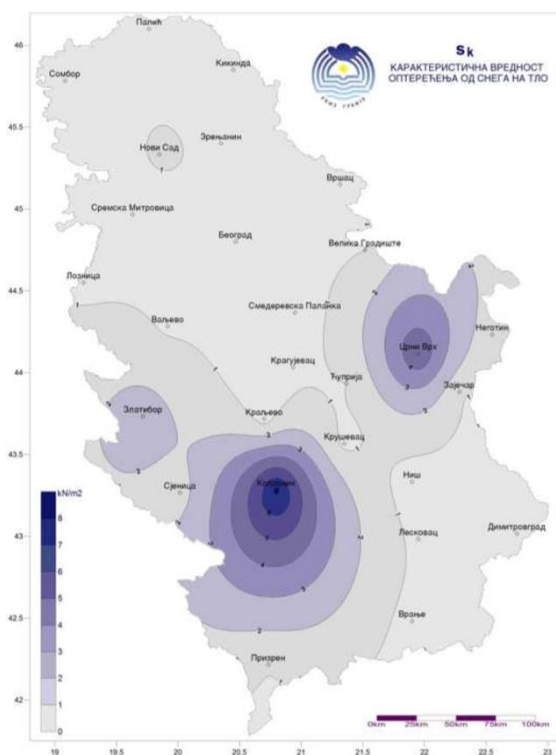
Где су:

μ_1 - коефицијент облика крова (за $\alpha=12^\circ$ - $\mu_1=0.8$),

s_k - карактеристична вредност оптерећења од снега на тло (за Крагујевац $s_k=0.5 \text{ kNm}^2$ - слика 4.7),

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

C_t - термички коефицијент ($C_t=1$).

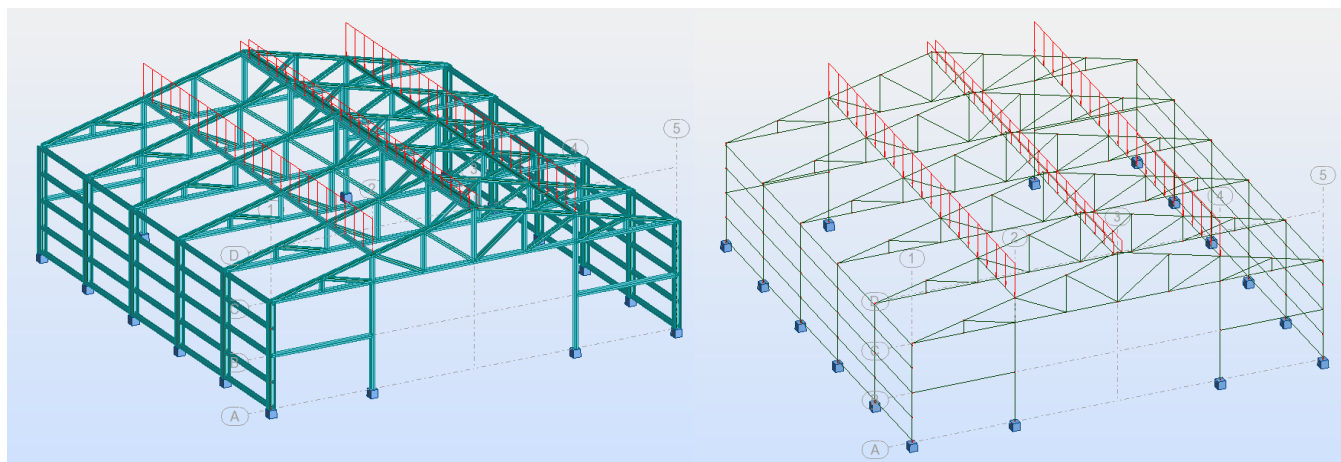


Слика 4.7: Карактеристична вредност оптерећења од снега на тло [15]

Следи да је:

$$s = 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.5 = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

Оптерећење хале услед деловања снегом приказано је на слици 4.8:

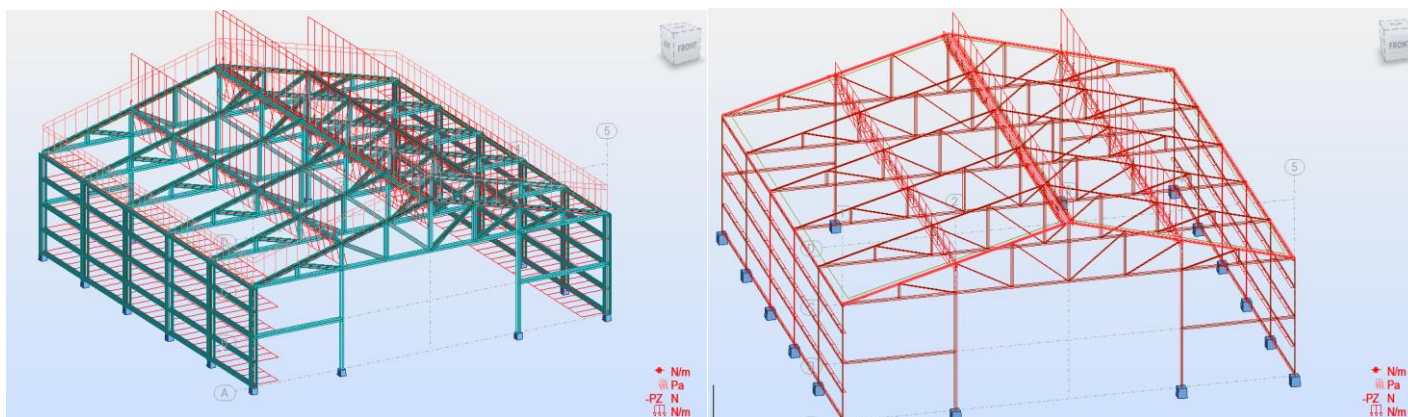


Слика 4.8: Оптерећење снегом

Такође, поред ових оптерећења, постоје и стална оптерећења, корисна оптерећења, сеизмичка оптерећења, дејства услед температурних промена, која софтвер може да анализира.

4.2.4 Укупно оптерећење

Укупно оптерећење је приказано на слици 4.9.



Слика 4.9: Укупно оптерећење

4.3 СПОЈЕВИ

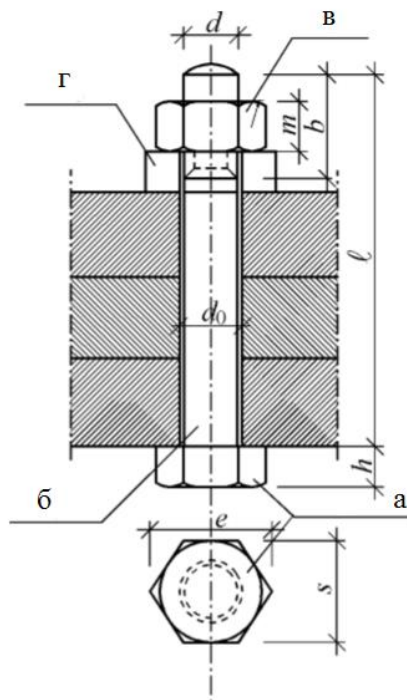
Спајање елемената металних конструкција врши се помоћу закивака, завртњева или заваривањем. Према томе, разликују се растављиви и нерастављиви спојеви [1].

4.3.1 Спајање завртњевима

Завртњевима се остварује 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.

Један комплет завртња састоји се из следећих делова (слика 4.10):

- шестоугаоне главе (а),
- цилиндричног тела које се завршава навојем (б),
- шестоугаоне навртке са отвором у средини и навојем у унутрашњем делу отвора (в) и
- подложне плочице (подлошке) кружног или квадратног облика са отвором у средини (г).

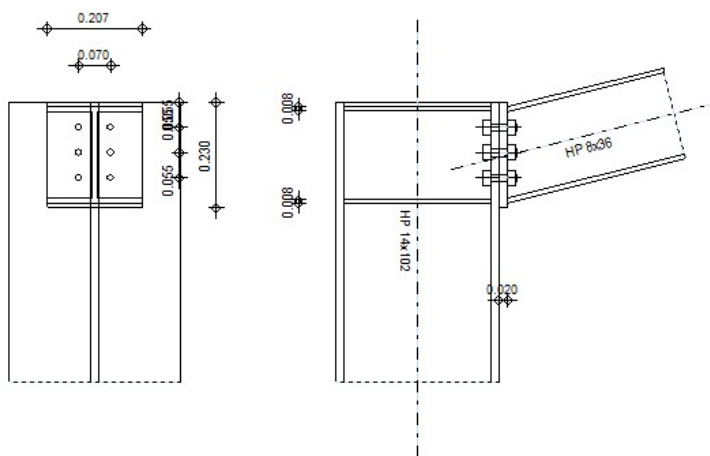
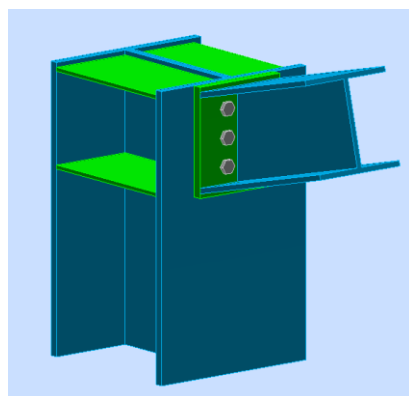


Слика 4.10: Делови и ознаке димензија обичних завртњева [1]

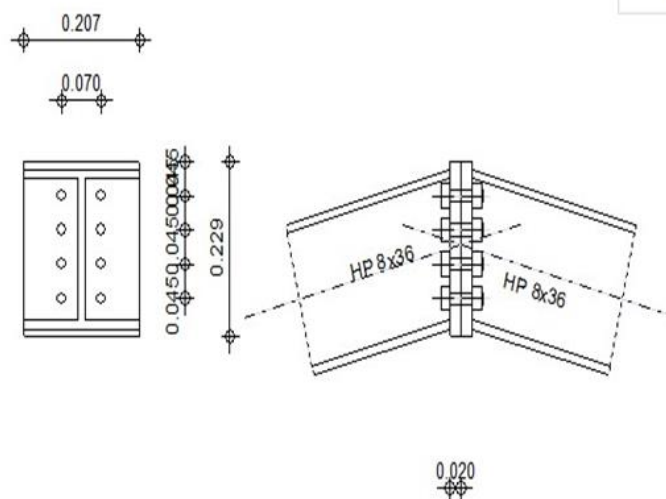
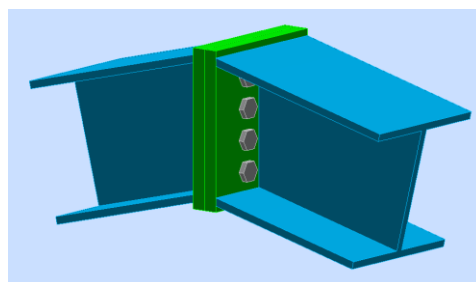
Називну меру завртња дефинише дебљина тела завртња на месту навоја (d) па је ознака за завртањ Md . На пример, $M20$ означава завртањ чији је пречник тела на месту навоја $d=20\text{mm}$.

Код веза са завртњевима остварује се дисконтинуално спајање елемената конструкције преко одређеног броја тачака.

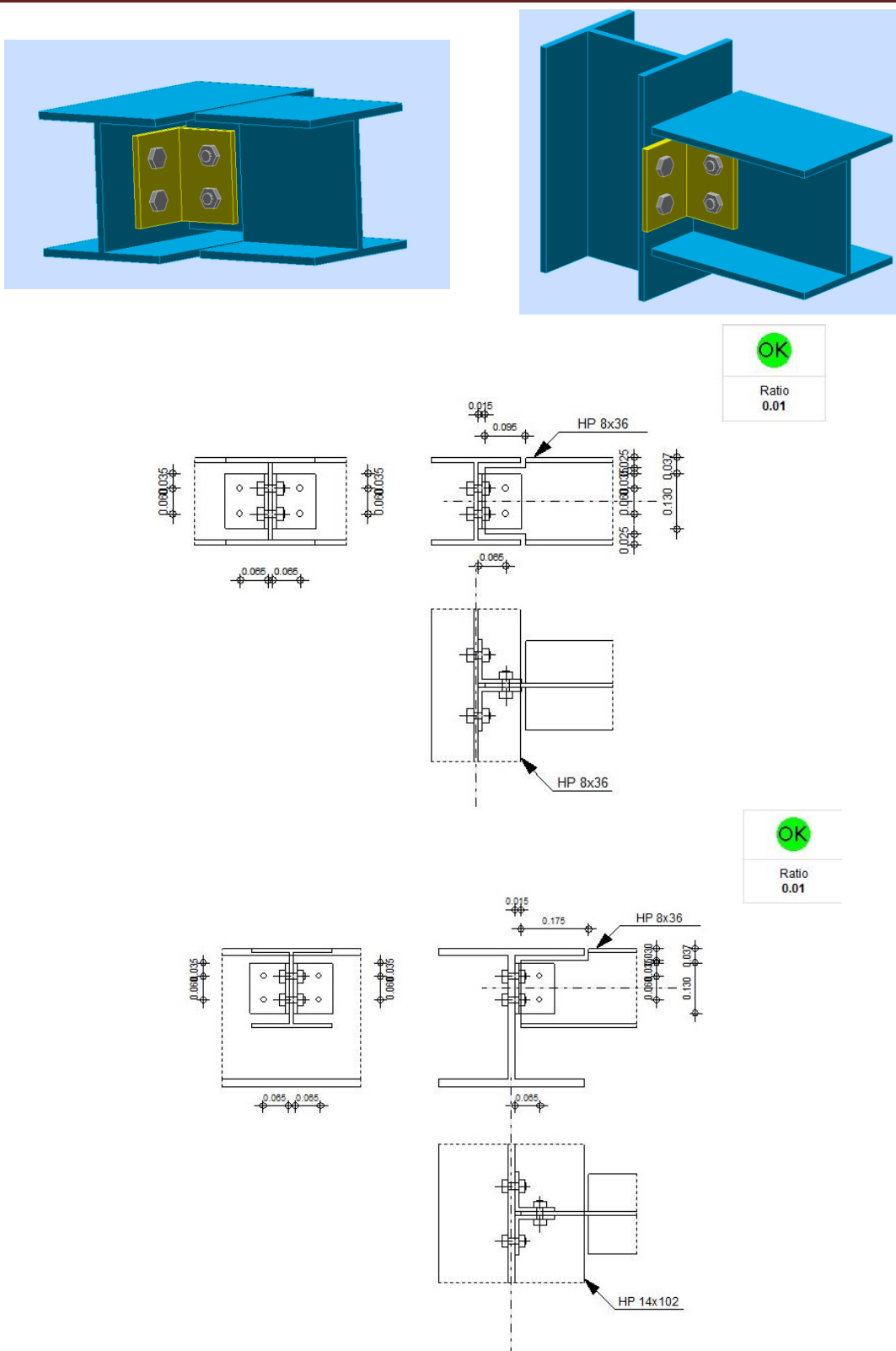
Селектовањем одговарајућих греда и тачке споја и кликом на опцију Steel Connection Inspector – New connections for selected bars програм сам препоручује одговарајући спој. Након тога, кликом на опцију Design of connections from a structure – Calculations програм врши проверу споја. Уколико спој није добар потребно је изменити одговарајуће податке. На сликама 4.11, 4.12 и 4.13 су приказани спојеви пројектоване хале.



Слика 4.11: Спој под углом између главног носећег стуба и горњег појаса решеткастог оквира



Слика 4.12: Спој настављањем између два горња појаса решеткастог оквира



Слика 4.13: Спојеве између греда постављених под правим углом

5. ЗАКЉУЧАК

Челик представља главни материјал за извођење грађевинских објеката са носећом конструкцијом од метала. Челичне конструкције поседују значајне техничке и функционалне предности у односу на друге грађевинске материјале, па зато имају широку примену за све врсте грађевинских конструкција. Користе се за скоро све типове грађевинских објеката као што су: индустријске хале, спратне зграде, изложбене и спортске дворане, кровови стадиона, мостови, силоси, бункери, стубови далековода, димњаци и многе друге конструкције.

Објекте производних погона и складишта са стубовима у фасадним зидовима називамо халама. Индустријске 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. Габарити хала зависе од технолошких поступака који се одвијају у њима. Приземне хале се пројектују и изводе као једнобродне, двобродне са анексима или вишебродне са паралелним редовима стубова.

У металним конструкцијама решеткасти носачи се веома често користе како у зградарству тако и у мостоградњи. У зградарству се користе као: рожњаче, кровни носачи, подвлаке, подни носачи, крански носачи у индустријским халама, спрегови итд. Решеткасти носачи се могу поделити према броју појасева, просторном положају, интензитету напрезања и начину обликовања чворног лима. За решеткасте носаче најчешће се примењују просте греде, континуални носачи, конзоле и лучни носачи, а ређе Герберови носачи. У зависности од статичког система, функције носача, типа конструкције и интензитета оптерећења, решеткасти носачи имају различите облике и димензије.

У овом раду је дат 3D модел хале, као и анализа оптерећења хале услед дејства сопствене тежине, ветра и снега, коришћењем Еврокод стандарда. Модел и анализа хале урађени су у програму за анализу конструкција, Autodesk Robot Structural Analysis Professional, који је намењен грађевинским инжењерима да врше симулације, анализе и димензиосање према датим стандардима.

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_rVAhWEYJoKHcdpADkQFgggMAI&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-P01-Uvod.Primena%2520MK.Svojstva%2520MK.Pregled.pdf&usg=AFQjCNHyOL5rZpb4O1cRTbJYBm8l-GDIKg, приступљено: 21. 08. 2017.

[3]<http://www.mspc.eng.br/matr/resmat0820.shtml>, приступљено: 23. 08. 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=1&ved=0ahUKEwiB2t_V-frVAhUsG5oKHVytCQMqFggkMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.grf.bg.ac.rs%2Fp%2Flearning%2Fp10_mk_2016_2017_1476775773113.pdf&usg=AFQjCNGTMy4AJATAX5nrAbmzq2j1o-kLCQ, приступљено: 21. 08. 2017.

[6][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: 21. 08. 2017.

[7]<https://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwi2wZWu-vrVAhXMHJoKHdCgDK4QFggkMAA&url=https%3A%2F%2Fenescuric.files.wordpress.com%2F2014%2F12%2Findustrijske-hale-2.pdf&usg=AFQjCNHzeb7wi5K1GQuqt7m0eAt0dPh33w>, приступљено: 03. 08. 2017.

[8]<http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjwiseX->

[_rVAhUFYpoKHcYKC2EQFggNMAA&url=http%3A%2F%2Frc5.gaf.ni.ac.rs%2Fdec%2Fmeta%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-P06-Glavni%2520nosaci.pdf&usg=AFQjCNEY5QIj_DBo6VYBwnZspJLD4PC04A](http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjwiseX-_rVAhUFYpoKHcYKC2EQFggNMAA&url=http%3A%2F%2Frc5.gaf.ni.ac.rs%2Fdec%2Fmeta%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-P06-Glavni%2520nosaci.pdf&usg=AFQjCNEY5QIj_DBo6VYBwnZspJLD4PC04A),
приступљено: 21. 08. 2017.

[9]<http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiXpZvz->

[_rVAhXiJZoKHYgRCKgQFggkMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.grf.bg.ac.rs%2Fp%2Flearn%2Fp9_2015_16_re_etkasti_nosa_i_1450210452993.pdf&usg=AFQjCNH1UT8KmfFOu9-rWXrRlawZJPc-qQ](http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiXpZvz-_rVAhXiJZoKHYgRCKgQFggkMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.grf.bg.ac.rs%2Fp%2Flearn%2Fp9_2015_16_re_etkasti_nosa_i_1450210452993.pdf&usg=AFQjCNH1UT8KmfFOu9-rWXrRlawZJPc-qQ), приступљено: 21. 08. 2017.

[10]<http://www.buildingbutler.com/bd/H.C.H.-Reijnders/Amsterdam/Amsterdam-Sloterdijk-railway-station/6640>, приступљено: 13. 08. 2017.

[11]<http://teamcad.rs/index.php/autodesk-programi/visokogradnja/autodesk-robot>,
приступљено: 13. 09. 2017.

[12]http://www.constructalia.com/italiano/prodotti/strutture/profilati_laminati_a_caldo/profilati_a_h/hp_profilati_h_portanti_ad_altezza_extra_larghe#.WbmuKxHauM9, приступљено: 07. 09. 2017.

[13]http://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0ahUKEwiV3vj2ypHWAhXIHxoKHZc2CaQQFghPMAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ingkomora.me%2Fikcg_sajt%2Fcms%2Fpublic%2Fimage%2Fuploads%2FDEJSTVA_NA_KONSTRUKCIJE%2C_Mr_Nikola_Basa.pdf&usg=AFQjCNFYok6iy6gsPrdVTTNAEAbwTW5M2A, приступљено: 10. 09. 2017.

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

[15]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=AFQjCNGzIJB4k8UWFUe_Yx6tBMcjWeJ7Q, приступљено: 31. 08. 2017.