

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Машинске конструкције и механизација
Предмет: Лаке конструкције
Број индекса: 389/2012

Ивана Зоран Којић

**Прорачун и конструисање раванских
решеткастих носача**
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Весна Марјановић- ментор
2. _____
3. _____.

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру завршног рада кандидат треба да прикаже различите примере:

- Примена решеткастих конструкција
- Основи конструисања решеткастих носача
- Одређивање сила у штаповима раванских решеткастих носача
- Прорачун и конструкцијско обликовање чворова решеткастих носача
- Решеткасти носачи са чворним лимом
- Решеткасти носачи без чворног лима
- Пример прорачуна и конструкција стреле дизалице
- Закључак

Препоручена литература:

[1] Буђевац Д., Марковић З. и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд 2007, Грађевинска књига, Београд, 1986.

[2] Бабин Н., Бркљач Н., Шостаков Р., Металне конструкције, ФТН издаваштво, Нови Сад 2006

[3] Милосављевић М., Радојковић М. И Кузмановић Б., Основи челичних конструкција

[4] Петковић З., Острић Д., Металне конструкције у машиноградњи, Институт за механизацију Машинског факултета у Београду, Београд, 1996

[5] Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – Приручник за прорачуне, Машински факултет, Крагујевац, 1998.

Крагујевац, 2014.

Ментор:
Др Весна Марјановић

Резиме

У раду је приказан прорачун и конструисање раванских решеткастих носача. Посебна пажња посвећена је одређивању сила у штаповима раванских решеткастих носача као и прорачун и конструкционо обликовање чворова решеткастих носача. На крају је дат комплетан прорачун стреле дизалице при покретном оптерећењу, као и 3D приказ исте у софтверу Catia.

Кључне речи:

раванске решетке, чворови, силе у штаповима...

Summary:

This paper presents design and construction of plane trusses. Special attention was paid to the determination of member forces of plane trusses as well as budget and constructional design nodes trusses. For a concrete example, this paper gives a complete budget arrows cranes, as well as 3D in Catia software.

Key words:

planar grid nodes, the forces in the sticks ...

Садржај

1. Увод	5
2 Примена решеткастих конструкција.....	8
2.1. Подела решеткастих носача:	9
2.2. Подела према броју појасева:.....	9
2.3. Подела према просторном положају:.....	10
2.4. Подела према интензитету оптерећења:.....	10
2.5. Подела према начину обликовања чворова:	11
3 Основи конструисања решеткастих носача	12
3.1. Облици попречних пресека штапова решеткастих носача:.....	14
4 Одређивање сила у штаповима раванских решеткастих носача	16
4.1. Методе одређивања сила у штаповима раванских решетки услед непокретног оптерећења.....	17
4.2. Метода чворова.....	18
4.3. Метода пресека (Метода Ритера).....	19
4.4. Графичка метода	20
5 Прорачун и конструктивно обликовање чворова решеткастих носача	21
6 Решеткасти носачи са чворним лимом.....	22
7 Решеткасти носачи без чворног лима.....	35
8 Пример прорачуна и конструкција стреле дизалице	36
8.1. Горњи појас (штапови O_i).....	37
8.2. Вертикале (штапови V_i)	39
8.3. Дијагонале (штапови D_i)	41
8.4. Доњи појас (штапови U_i).....	41
8.5. Димензионисање штапова главне вертикалне решетке.....	49
9 Закључак.....	54
Литература:.....	55

1. Увод

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

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, кровови стадиона, гараже, мостови, резервоари, силоси, бункери, водоторњеви, антенски стубови, стубови далековода, и многе друге конструкције за специјалне намене.

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

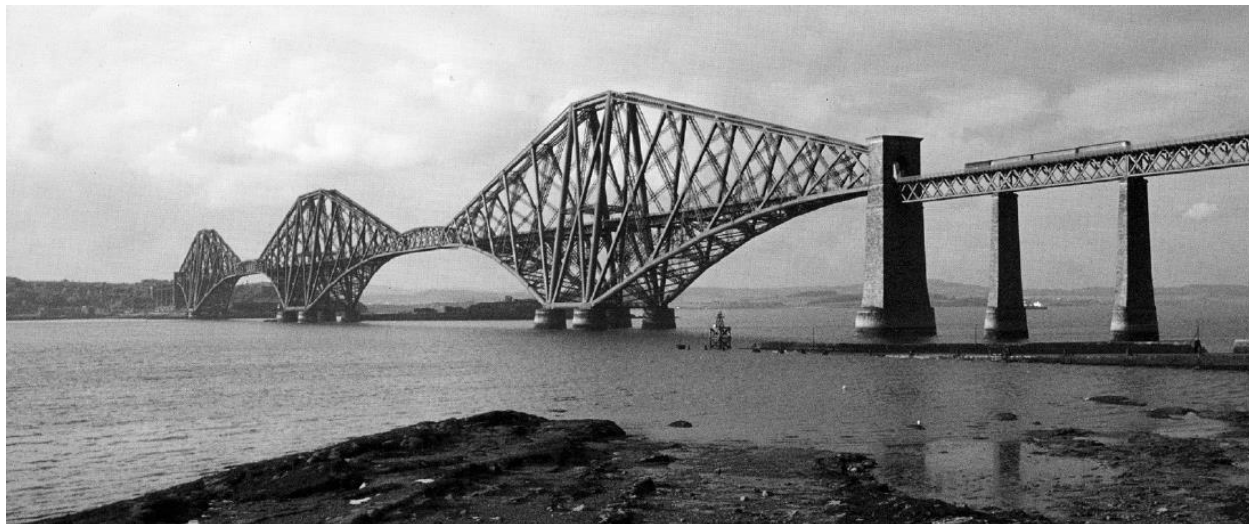
- висока механичка својства,
- мале димензије и тежине елемената челичних конструкција,
- индустријализована производња,
- лака манипулација, транспорт и монтажа,
- релативно лако фундаирање,
- велика сеизмичка отпорност,
- флексибилност и адаптивност,
- могућност демонтаже и трајна вредност.

Лаке 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 изузетно великих распона, хала великих површина без стубова, зграда високе спратности или високих торњева и јарбола носећа конструкција од челика представља једину прихватљиву солуцију.

Посебан значај за развој лаких конструкција имао је проналазак топљеног челика, 1855. године, од стране Хенрија Бесемера (*Henry Bessemer*). Челик се производио у великим крушастим окретним посудама, званим конвертори, у растопљеном стању. Међутим, до друге половине XIX века челик се није производио у довољним количинама и са довољно ниском ценом да би био конкурент вареном гвожђу.

Прва значајна конструкција од челика у Енглеској је монументални Форт Бриџ (*Forth Bridge*), распона $210 \times 521 + 210$ m, који је завршен 1889. године (слика 1,1). 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. [1]



Слика 1.1 - Мост Форт Бриџ [1]

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 (пуни носачи). Због своје конструкције пропуштају више светлости и омогућавају несметано спровођење инсталација. Израда решеткастих носача захтева више времена и радних операција па је због тога и цена коштања виша од цене пуних носача.

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

- Велики распон захтева и релативно велику висину носача, а 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,
- Већа искоришћеност пресека, што је резултат мање тежине уграђеног челика а тиме и мањи укупни трошкови,
- Равномерна расподела силе у три димензије, већа сигурност и повољнија расподела сила у случају оштећења елемената или њиховог конструктивног искључивања.
- Сигурнији су у случајевима пожара,

- Видљива носећа конструкција код позоришта, биоскопских сала, пливачких базена поред естетског изгледа побољшава и акустику
- Лака и бржа монтажа целих изведених секција конструкције, независно од годишњег доба,
- Могућност постављања свих врста инсталација у свим правцима кроз саму конструкцију,

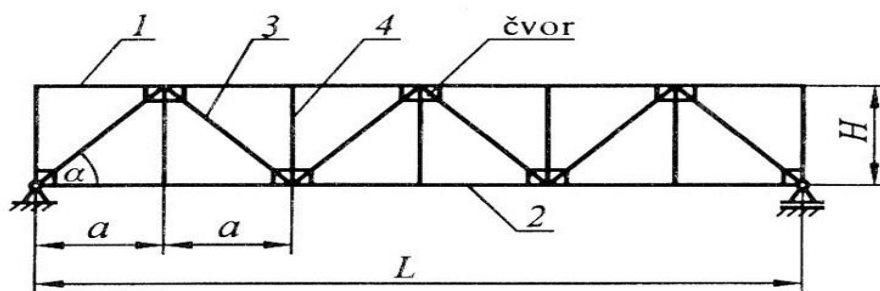
Решеткасте конструкције поседују и низ недостатата са којима се мора суочити приликом конструисања:

- Временски дуготрајни прорачуни 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 корозији.
- Просторно спајање великог броја штапова у чворовима.

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.

На слици 1.2 приказана је решетка са основним елементима:

- 1- Горњи појас,
- 2- Доњи појас,
- 3- Дијагонала,
- L – Распон решетке,
- H – Висина решетке.



Слика 1.2 – Раванска решетка

Место спајања штапова назива се чвор, а размак између два суседна чвора дуж појаса назива се пољем. Оваква конструкција омогућава да тежишта свих штапова и спољно оптерећење F леже у заједничкој равни, при чему се такве осе секу у чвору како би поједини штапови решетке били оптерећени само на притисак или истезање.

Познатом методом из статике могу се одредити силе притиска или истезања у појединим штаповима, затим димензионисањем добијамо пројектну документацију овакве решетке. Чворови решеткастих носача представљају веома осетљиве детаље. Везе између штапова испуне и појасних штапова остварују се преко чворних лимова или директно, па из тога и разликујемо два типа носача:

- решеткасти носачи са чворним лимом,
- решеткасте носаче без чворног лима.

2. Примена решеткастих конструкција

Решеткасте конструкције су своју улогу нашле у грађевинарству, мостоградњи, авионској, аутомобилској и машинској индустрији.

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

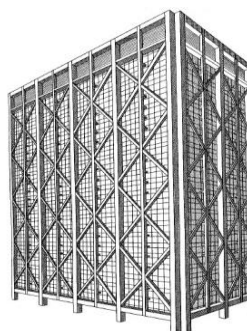
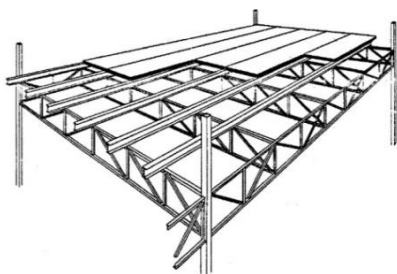
- Велики распон условљава да конструкција буде велике висине, што директно утиче на степен искоришћења материјала,
- Сложенији су услови за постизање стабилности у лимовима на избочавање,
- Ако су оптерећења мала, обезбеђење потребне крутости носача, погоршава рационалност искоришћења материјала.

Решеткасти носачи представљају право решење искључиво код великих распона оптерећених претежно статичким оптерећењем. Код грађевинских машина примена решеткастих носача готово је неизбежна, код грађевинских стубних дизалица, великих роторних багера, претоварних мостова великих распона, стреле багера са повлачком кашиком.

Честа им је примена у зградарству: подни носачи, рожњаче, кровни носачи, крански носачи у индустријским халама, подвлаке, спрегови.

Примењују се у свим типовима објекта, од индустријских хала, објеката високоградње до спортских дворана. Због разноликости решеткасте структуре носачи могу бити веома атрактивног изгледа па их често можемо видети као саставни део ентеријера.

Решеткасти подни носачи су врло практични у случајевима када је потребан слободан простор без стубова, замењују ослонце и погодни су за провођење инсталационих цеви између штапова испуне.



Слика 2.5. Решеткасти подни носачи и подвлаке

Слика 2.6. Вертикални спрег за укрућење високе зграде

У мостоградњи се најчешће користе као главни носачи код друмских, железничких и транспортних мостова у индустријским објектима. Као и у зградарству честа је примена спрегова за стабилизацију, којим се обезбеђује пријем хоризонталних сила и просторна стабилност конструкције.

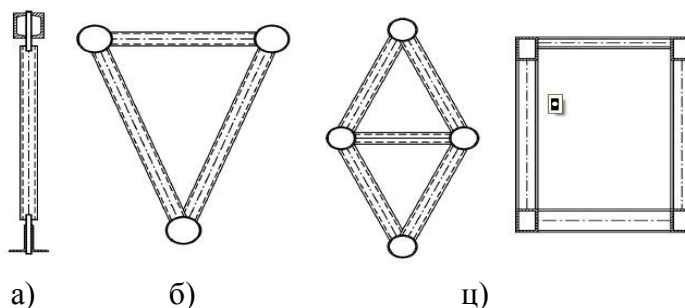
На основу ових примера можемо уочити разлике у димензијама, облицима и просторним положајима решеткастих носача. Познавајући разлике које се односе на конструкцијско обликовање, како би извршили систематизацију, направљена је подела решеткастих носача. [1]

2.1. Подела решеткастих носача:

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

2.2. Подела према броју појасева:

- Двопојасни
- Вишепојасни (тропојасни, четворопојасни. . .)



Слика 2.8 - Подела решеткастих носача према броју појасева: а) двопојасни, б) тропојасни, ц) четворопојасни

Двопојасни решеткасти (Слика. 2.8.а) носачи се састоје, од два појаса (горњег и доњег) који су међусобно повезани штаповима испуне.

Вишепојасни (Слика. 2.8.б) имају више од два појаса. Најчешће се примењују решеткасти носачи са три појаса (тропојасни) и са четири појаса (четворопојасни).

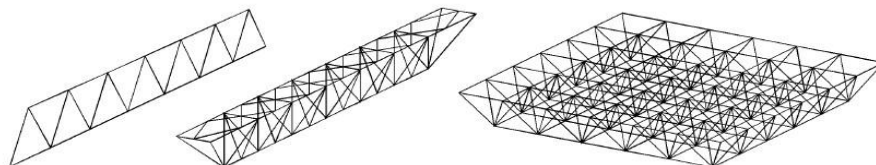
Тропојасни решеткасти носачи имају троугаони попречни пресек, што значи да је горњи и доњи појас у заједници. Штапови испуне се налазе у две хоризонталне равни док се у равни удвојених појасних штапова налази подужни спрег који обезбеђује просторну стабилност.

Четворопојасни решеткасти носачи (Слика. 2.8.ц) су најчешће квадратног, ромбоидног или трапезастог попречног пресека.

У зависности од облика попречног пресека штапови испуне леже у две равни (код квадратних и трапезастих) и у четири равни (код ромбоидних пресека).

2.3. Подела према просторном положају:

- Равански решеткасти носачи
- Просторни решеткасти носачи



Слика 2.9.- Подела решеткастих носача према просторном положају

Равански решеткасти носачи (Слика 2.9.а) се састоје из горњег и доњег појаса који су међусобно повезани у појединим тачкама-чворовима, код њих осне линије свих штапова леже у једној равни, па их ове карактеристике сврставају у двопојасне носаче.

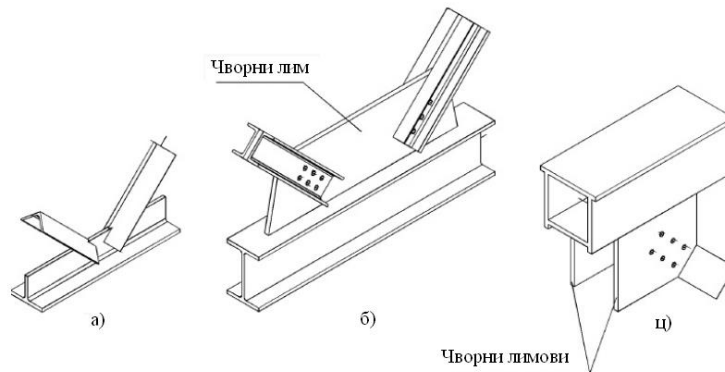
Просторни решеткасти носачи су носачи код којих осне линије штапова не леже у једној равни већ формирају просторну структуру. Са гледишта статике просторно решеткасти носачи се деле на линијске и површинске.

Линијски просторни носачи (Слика 2.9.б) поседују једну димензију (дужину) која је доминантна у односу на друге две (ширину и висину попречног пресека).

Површински просторни решеткасти носачи (Слика 2.9.ц) представљају дискретизацију плоча и понашају се слично површинским носачима. Као и у предходном случају, две димензије су доминантне у односу на трећу (висину). Моменти савијања се код плоча јављају у два правца и прихватају се мрежом аксијално напрегнутих појасних штапова, док се смичуће силе прихватају штаповима испуне. Најчешће мрежу просторних решеткастих носача чине тетраедар и октаедар, чијим се вишеструким понављањем образује просторна структура.

2.4. Подела према интензитету оптерећења:

- Лаке
- Средње тешке
- Тешке



Слика 2.10 - Подела решеткастих носача према интензитету напрезања

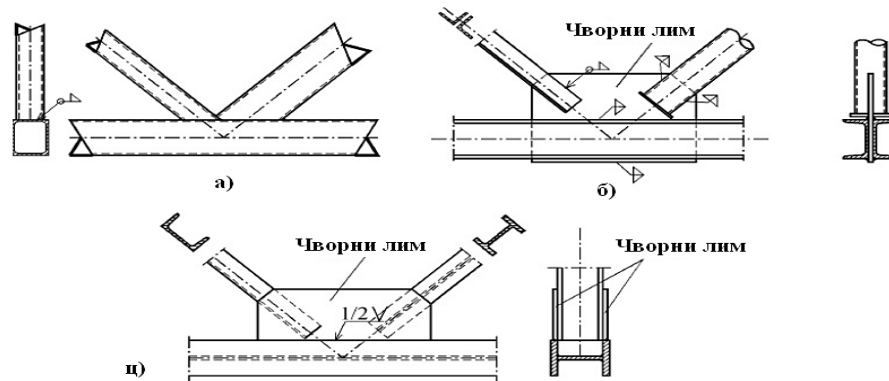
Лаки решеткасти носачи (слика 2.10а) се користе углавном у грађевинству, оптерећења су мирна и умереног интензитета. Изграђени су најчешће од ваљаних L, T, U, I профила или хладно обликованих профила отвореног и затвореног попречног пресека.

Средње тешки решеткасти носачи (слика 2.10б) примењују се за веће распоне и оптерећења значајног интензитета, 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.

Тешки решеткасти носачи (слика 2.10ц) се по правилу примењују код изузетно великих распона и оптерећења. Најчешће се примењују као главни носачи код мостова, који се изводе у дужинама од 30 до 100m. Такође се примењују и као кровни носачи изузетно великих распона као што су спортске хале, дворане, изложбене хале, стадиони, и слично. Штапови тешких решеткастих носача углавном се изводе у завареној изради, сандучастих, шеширастих или I попречних пресека.

2.5. Подела према начину обликовања чворова:

- решеткасти носачи без чворних лимова (слика 2.11. а)
- решеткасти носачи са чворним лимовима (слика 2.11. б)
- у једној равни (једнозидни решеткасти носачи)
- у две паралелне равни (двозидни решеткасти носачи) (слика 2.11. ц)



Слика 2.11.-Подела решеткастих носача према начину обликовања чворног лима: а) решеткасти носачи без чворног лима, б) решеткасти носачи са чворним лимом, ц) двозидни решеткасти носачи

Решеткасти носачи без чворног лима су носачи код којих се веза у чвору остварује директним везивањем штапова испуне за појасне штапове, завртњевима или заваривањем. Лаки решеткасти носачи најчешће се изводе без чворног лима, такође се могу конструисати и средње тешки носачи од хладно обликованих профила затвореног (кружног или квадратног) попречног пресека (слика 2.11а).

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, који се примењују за лаке и средње тешке носаче у грађевини (слика 2.11б). Када се веза остварује преко два чворна лима који леже у две паралелне равни, такви носачи се називају двозидни решеткасти носачи (слика 2.11ц).

3. Основи конструисања решеткастих носача

При пројектовању решеткастих носача треба поштовати основна правила за конструисање.

Сам чвор треба да има што једноставнији облик и што мањи број чворних лимова. Треба избегавати нагомилавање шавова и водити рачуна о њиховом размаку и распореду, пошто се у таквим случајевима повећава опасност од кртог лома при ниским температурама, не само код динамички, већ и код статички оптерећених решетки.

Спољашње оптерећење се уноси у решеткасти носач по правилу у чворовима. Тиме смо појасне штапове заштитили од савијања и оптеретили их само дејством аксијалних сила. Међутим ово правило не може да се реализује код свих типова решеткастих носача, као што су на пример рожњаче, подни и крански носачи. У њиховом случају оптерећења се уносе директно савијањем појасних штапова, и тиме их истовремено оптеретили дејству аксијалне силе и момента савијања.

У оваквим случајевима, када се оптерећења уносе директно, појасне штапове треба димензионисати према правилима за ексцентрично притиснуте, односно затегнуте елементе, зависно од знака аксијалне силе.

Дужина притиснутих штапова треба да буде што мања. Овим смо постигли већу отпорност притиснутих штапова на извијање, јер је, као што је познато, критична сила еластичног извијања обрнуто пропорционална квадрату дужине. Смањењем дужине притиснутог појаса може да се оствари прогушћавањем мреже решеткастог носача, односно уметањем вертикала и образовањем нових чворова.

Углови под којима се сустичу штапови решеткастих носача треба да буду већи од 30° . У супротном, да би се остварила веза неопходни су дугачки и неправилни чворни лимови, а саме везе су тешко приступачне и дугачке. Најповољније је код решеткастих носача са простом дијагоналном испуном да дијагонале са појасним штаповима заклапају угао од 60° , а у случајевима решеткастих носача са вертикалама и дијагоналама, угао од 45° представља оптимално решење.

Штапови решеткастих носача треба да буду прави између чворова. Треба избегавати криве и коленасте штапове јер се код њих, због одступања од замишљене праве линије која спаја суседне чворове, јављају моменти савијања.

Монтажне наставке појасних штапова треба предвидети непосредно уз чворове са стране мање напрегнутог штапа. На овај начин су заштитићени монтажни наставци од секундарних утицаја код извијања штапова и оптерећени су мањим силама. Постављање монтажног наставка на месту пресека осних линија штапова поскупљујемо и компликујемо његову израду.

Појасни штапови треба да буду прави у оквиру једног монтажног комада. На овај начин се избегавају скуп радионички наставци. Уколико је промена правца неопходна у оквиру једног монтажног сегмента, она треба да се оствари у чвору како би штапови испуне прихватили скретне силе.

За носеће конструкције треба користити топло обликоване цеви за израду решеткастих носача. Решеткасти носачи од квадратних и правоугаоних цеви (због једноставније припреме краја штапа који улази у чвор), имају предност у односу на округле цеви. При томе, за одговорне носеће конструкције треба користити топло обликоване цеви, јер код хладно обликованих цеви у ивици дуж угла цеви (услед високог степена хладне деформације), постоји опасност од кртог лома. [3]

3.1 Облици попречних пресека штапова решеткастих носача:

Избор попречног пресека зависи од различитих фактора:

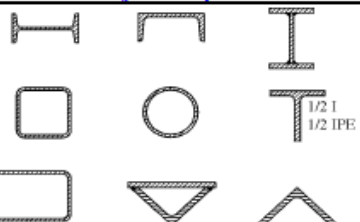
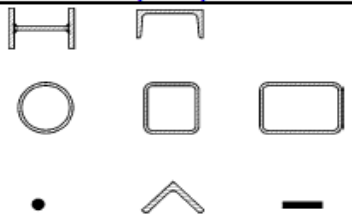
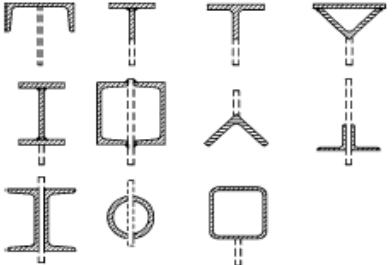
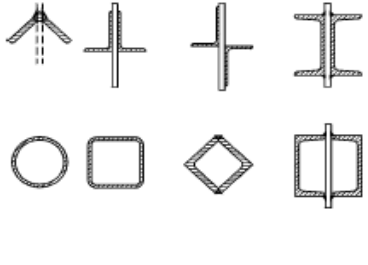
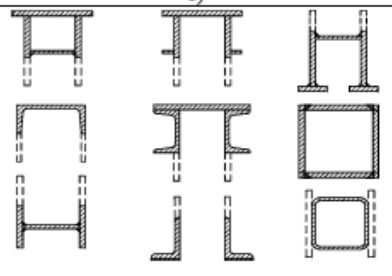
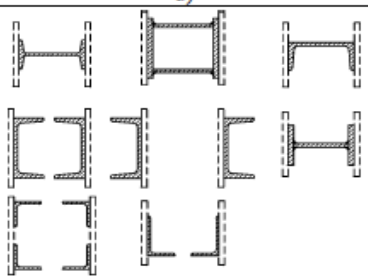
- интензитета напрезања
- начина конструкцијског обликовања веза у чворовима
- положаја штапа у конструкцији (појасни или штап испуне)
- предвиђене функције решеткастог носача

Облици попречног пресека који се најчешће примењују приказани су у оквиру табеле 3.2.1.

У табели 3.2.1.а приказани су облици појасних штапова код решеткастих носача без чворног лима где се најчешће примењују: L,U,I (IPE, HEA, HEB, HEM) и шупљи профили кружног, квадратног и правоугаоног поп. пресека. Код оваквих поп. пресека штапови испуне се везују преко ребра које има улогу чворног лима.

Штапови испуне код решеткастих носача без чворног лима (таб. 3.2.1.б) везују се за појасне штапове заваривањем. Да би овакав тип везе био омогућен потребно је да појасни штапови имају облик Т-пресека чије ребро има довољну висину за правилно постављање завртњева.

Табела 3.2.1 – Облици попречног пресека штапова решеткастих носача

	Pojasni štapovi	Štapovi ispune
Rešetkasti nosači bez čvornog lima	 a)	 b)
Jednozidni rešetkasti nosači	 c)	 d)
Dvozidni rešetkasti nosači	 e)	 f)

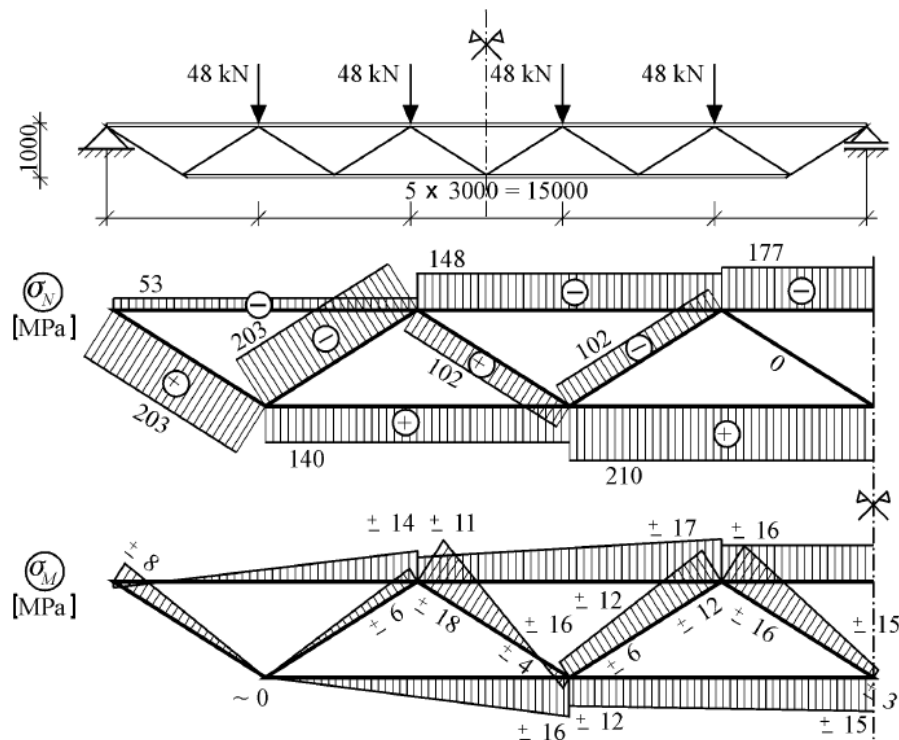
Код једнозидних решеткастих носача везе штапова испуне за појасне штапове се остварује преко чворног лима, индиректно. Као појасни штапови (табела 3.2.1.ц) користе се стандардни ваљани производи, једноделног или вишеделног попречног пресека и профили образовани заваривањем. Чворни лим се везује за појасне штапове заваривањем и завртњевима.

Штапови испуне (табела 3.2.1.д) су најчешће ваљани L I U профили и шупљи пресеци кружног и квадратног поп. пресека. Дводелни штапови су најчешће L и U профила. Двозидни појасни штапови решеткастих носача (табела 3.2.1.е) се најчешће израђују од ваљаних U, I и L профила једноделног и дводелног попречног пресека и сандучастих и шеширастих I профила образованих заваривањем.

Двозидни решеткасти носачи (табела 3.2.1.ф), њихови попречни пресеци штапова испуне се обликују тако да имају две паралелне равни преко којих се остварује веза са чворним лимовима. Њихова укупна висина треба да одговара унутрашњем растојању између чворних лимова.

4. Одређивање сила у штаповима раванских решеткастих носача

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. Међутим, може се показати да утицаји услед момената савијања у крутим угловима могу да се занемаре. Као потврда ове чињенице може да послужи пример приказан на слици 4.1, на којем 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. Код већине веза изведених помоћу завртњева долази до извесне релативне ротације, услед поништавања зазора између врата завртња и рупе и због деформације прикључних елемената (на пример чворних лимова), па су услед полукрутог понашања оваквих веза моменти савијања, а самим тим и секундарни напони, још мањи и могу да се занемаре. [1]



Слика 4.10 – Секундарни утицаји услед крутих веза у чворовима

Зглобне везе крајева штапова се називају чворови. Решетке су оптерећене концентричним силама које леже у равни решетке и делују у чворовима. С обзиром да су то круте везе, штапови решетке су поред аксијалне силе дуж осе штапа, оптерећени са допунским моментима савијања услед крутости чворова.

Утицај момента се обично занемарује тако да чворове решетке посматрамо као зглобове без трења.

Предпоставља се да су штапови идеално праволинијски. Такође, предпоставља се да је оптерећење код решетки делује у чворовима решетке.

Решетка може бити везана за подлогу покретним зглобом, непокретним зглобом, ужетом или лаким штапом. Лаки штап који повезује решетку са ослонцима није саставни део раванске решетке, већ њена спољашња веза.

Прорачун решетке се своди на одређивање реакција спољашњих веза и сила у штаповима решетке. Због уведених предпоставки силе у лаким штаповима се поклапају са правцима лаких штапова, тако да они могу бити оптерећени на затезање или притисак.

4.1 Методе одређивања сила у штаповима раванских решетки услед непокретног оптерећења

Постоје два начина за одређивање сила у штаповима решетке: аналитичким или графичким методама.

Аналитичке методе одређивања сила у штаповима решетке су:

- Метода чворова (метода исецања чворова)
- Метода пресека (Ритерова метода)

Код ових метода посматра се равнотеже између спољних сила и сила у штаповима, које се јављају услед исецања чворова или попречног пресецања решетке на два дела.

У колико се примењује метода исецања чворова, полази се од чворова у коме се сучељавају само два штапа. Силе у лаким штаповима, као унутрашње силе, представљају се као затезне. Осим тога, силе реакције везе истог лаког штапа које дејствује на различите чворове се постављају по принципу акције и реакције. Писањем једначина равнотеже за сучеон систем сила у равни и њиховим решавањем одређују се силе у штаповима. [4]

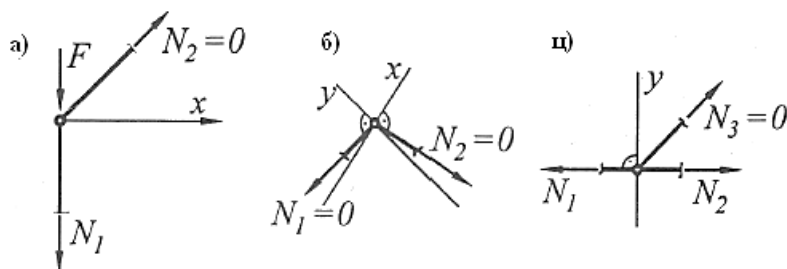
$$1) \sum_{i=1}^n F_{xi} = 0 \quad (4.1)$$

$$2) \sum_{i=1}^n F_{yi} = 0 \quad (4.2)$$

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

Пре него што се приступи одређивању сила у штаповима било којом методом, треба испитати да ли у решетки постоје нулти штапови, односно штапови у којима је сила једнака нули и које треба искључити из прорачуна.

На слици 4.2 приказани су случајеви када су силе у штаповима једнаке нули.



Слика 4.2 - Силе у штаповима једнаке нули [4]

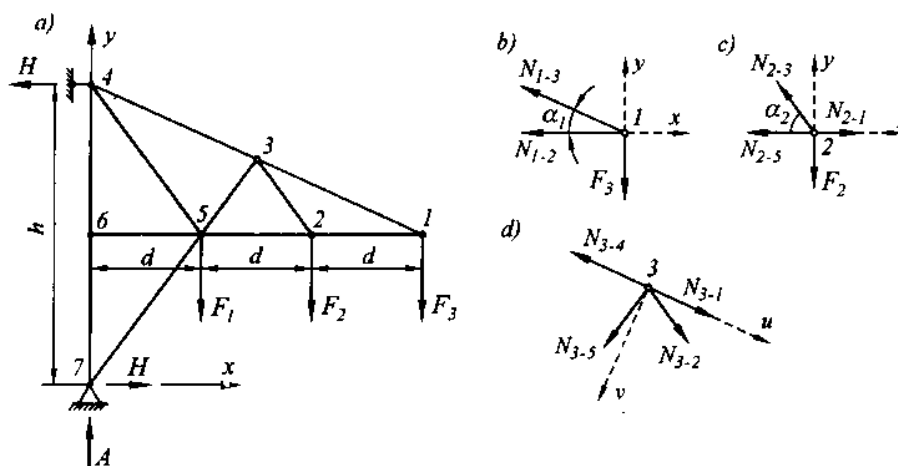
а) Ако се у чвору стичу два штапа, а спољна сила делује у правцу осе једног штапа, сила у другом штапу је једнака нули ($N_2 = 0$). Ово се добија из једначине равнотеже пројекције свих сила на осу “x” управну на правац оптерећења F (слика 4.2a)

б) Ако се у неоптерећеном чвору стичу два штапа, силе у штаповима су једнаке нули: $N_1 = 0$, $N_2 = 0$ (слика 4.2б). Ово се лако доказује, пројектујући силе N_1 и N_2 на осе управне на правце штапова.

ц) Ако се у чвору стичу три штапа, од којих два леже на једној правој, а чвор није оптерећен са спољним силама, сила у трећем прикљученом штапу је једнака нули (слика 4.2ц). Ово се добија из једначине равнотеже пројекције сила на осу “y” управну на правац сила N_1 и N_2 .

4.2 Метода чворова

Метода чворова може се приказати на примеру решетке конзолне дизалице (слика 4.3). [4]



Слика 4.3 - Пример решетке конзолне дизалице

Прво се одређују реакције А и Н.

Из $\sum M_7 = 0$ и $\sum Y = 0$ следи:

$$H = \frac{F_1 d + F_2 2d + F_3 3d}{h} \quad (4.3)$$

$$A = F_1 + F_2 + F_3 \quad (4.4)$$

Поступак исецања чворова се започиње од чвора где се сустичу највише два штапа. За одређивање те две непознате силе стоје нам на располагању две једначине пројекција свих сила на правце две произвољне осе. У конкретном случају, то могу да буду чворови 1 или 7.

Ако исечемо чвор 1, пројекције силе на осе (x) и (y) биће:

$$\sum y = N_{1-3} \sin \alpha_1 - F_3 = 0 \rightarrow N_{1-3} = \frac{F_3}{\sin \alpha_1} \quad (4.5)$$

$$\sum x = N_{1-2} + N_{1-3} \cos \alpha_1 - F_3 = 0 \rightarrow N_{1-2} = -F_3 \operatorname{ctg} \alpha_1 \quad (4.6)$$

Знак “-“ представља да је сила усмерена ка чвору, тако да је штап притиснут.

Када се исеца чвор 2, где се сустичу три штапа, пошто је сила N_{1-2} већ одређена, постоје само две непознате које се одређују аналогним путем. На овај начин исецајући све чворове, као и ослонце, добијају се силе у свим штаповима решетке.

Метода чворова има недостатак јер погрешно одређена сила код следећег чвора директно утиче на резултат осталих сила изазива грешку код преосталог низа штапова у решетки.

4.3 Метода пресека (Метода Ритера)

Метод пресека су методе у којима пресеком делимо носач на два дела или издвајамо део носача, тако да се пресеку до три штапа чији се правци не секу у истој тачки. Могуће је пресећи и више штапова, али међу њима само три са непознатим силама. Код ове методе одређивања сила у решеткастим носачима, један део носача се посматра, а други одбацује. Посматрани део мора бити у равнотежи под деловањем спољних сила и сила којима одбачени део делује на њега. Разлика приликом одређивања унутрашњих сила код решеткастих носача јесте та што се код решеткастих носача уместо момента савијања, попречне и уздужне силе у пресеку појављују само уздужне силе као унутрашње силе, које се једноставно називају силама у штаповима. [4]

Методе пресека могу бити аналитичке, графичке, те графоаналитичке. Прикладно их је примењивати када треба одредити силе само у неким штаповима решеткистог носача.

Из услова равнотеже у равни произлази да се преко једног пресека могу одредити до три силе, ако се догоди да неки пресек има четири штапа, задатак је решив ако је у једном од тих штапова могла бити предходно одређена сила из неког другог пресека или на неки други начин. Могућ је и случај када се из пресека којим су пресечена више од три штапа могу одредити силе у неким штаповима, а да претходно ни једна сила у пресеченим штаповима није одређена, али само онда када се сви штапови пресека, осим једнога, секу у једној тачки.

Метода пресека се примењује када је неопходно одредити силе у једном штапу, без одређивања осталих сила у пресеку. Ова метода се такође користи и за формирање утицајних линија, код покретног оптерећења решетки.

Просте решетки су решетки које су формиране од основног троугла које се даље повезују са сваким новим чвором са два штапа. Пресецајући ту решетку на два дела кроз три штапа који се не секу у једној тачки, добиће се три непознате силе у штаповима решетки, које су у равнотежи са спољашњим активним и реактивним силама на посматраном делу решетки. Ако се у пресеку нападних линија два штапа изабере моментна тачка, добијена тачка има само једну непознату, односно силу у штапу која не пролази кроз моментну тачку, Ритерова тачка. У почетку се предпоставља да се штапови затегнути, односно да су силе усмерене према пресеку. Знак плус потврђује предпоставку да је штап затегнут, док негативна вредност, знак минус указује да је штап притиснут.

Неке основне, често коришћене, ознаке сила у штаповима код решетки гласе:

- О - силе горњег појаса,
- U - силе доњег појаса,
- D - силе у дијагоналама,
- V - силе у вертикалама.

4.4 Графичка метода

Графичка метода прорачуна решетки се заснива на формирању дијаграма Максвел-Кремоне дијаграма (плана) сила на коме су одређене све силе у штаповима решетки. Цртање Кромониног плана сила је графичка метода одређивања сила у свим штаповима која је такође базирана на задовољавању услова равнотеже сваког члана посебно. Један од услова равнотеже решетки као целине је затворени полигон спољашњих сила.

Да би се у потпуности нацртао Кромонин план сила морају се поштовати следеће правила:

- Прво се одреде отпори ослонаца
- Све спољашње силе које дејствују на решетку као целину цртају се ван контуре решетки,

- Нацрта се у размери затворени полигон сила, али тако што се оне надовезују редоследом којим се на њих наилази при обиласку око решетке у смеру казаљке на сату.
Тако добијен затворен полигон спољашњих сила представља основу Кремониног плана сила.

- Графички се решава један по један чвор, црта се затворени полигон сила за сваки чвор. Могу се решавати само они чворови који у датом тренутку немају више од две непознате.

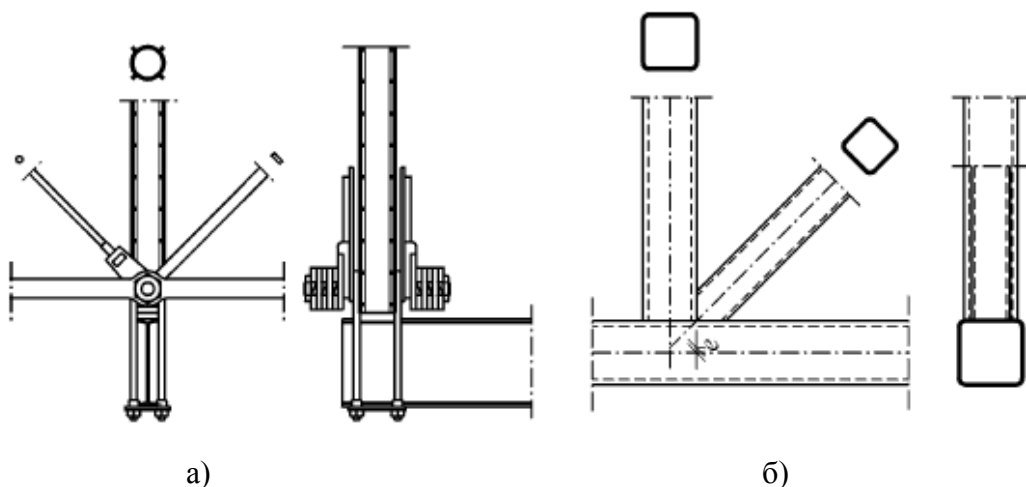
При решавању неког чвора (цртању затвореног полигона за тај чвор) морају се силе које на њега делују надовезивати таквим редоследом каквим се на њих наилази при обиласку око тог чвора у смеру казаљке на сату.

5. Прорачун и конструктивно обликовање чворова решеткастих носача

Приликом прорачуна решеткастих носача предпоставља се:

- да су везе у чворовима идеално зглобне,
- да силе делују искључиво у чворовима носача,
- да су штапови између чворова прави и да су центрирани у чвору.

У погледу конструкцијског обликовања чворови представљају веома осетљиве детаље. На почетку развоја челичних конструкција везе, чворови су образовани помоћу чепова и образивних лимова (слика 5.1а). Међутим овакав вид везе је јако компликован и естетски неповољан, ограничавао је слободно обртање због трења које се јављало између образивних лимова и због тих пропуста није представљало идеално решење. Данас се примењују везе које су знатно једноставније за израду и естетски повољније без обзира на крутост коју поседују. Осим тога, у појединим случајевима се допушта и ексцентрично везивање штапова (слика 5.1б). [1]



Слика 5.1. Примери обликовања чворова решеткастих носача: а) традиционални, б) савремени концепт.

Овакав вид одступања од идеализованог прорачунског модела доводи до појаве секундарних утицаја. У штаповима решеткастих носача се као примарна напрезања јављају нормални напони изазвани дејством аксијаних сила σ_N , а утицаји настали услед момента савијања σ_M сматрају секундарним. Моменти савијања у чворовима решеткастих носача одређени су под претпоставком о идеално крутим везама. Код чворова са завртњевима долази до релативне ротације. Поништавају се зазори између врата завртњева и рупе и због деформације прикључних елемената, из тих разлога су моменти савијања а тиме и секундарни напони мањи и занемарљиви.

У колико се оптерећење уноси изван чворова решеткастог носача, као на примеру код решеткастих рожњача и кранских носача, оно изазива локално савијање појаса дуж којег делује. У овом случају се моменти савијања сматрају примарним утицајима. Треба узети у обзир комбиновано дејство аксијалне силе (притиска и затезања) и момента савијања па према томе димензионисати појасне штапове. Због тога су и штапови релативно мале крутости и обезбеђују ослањање континуалног појаса.

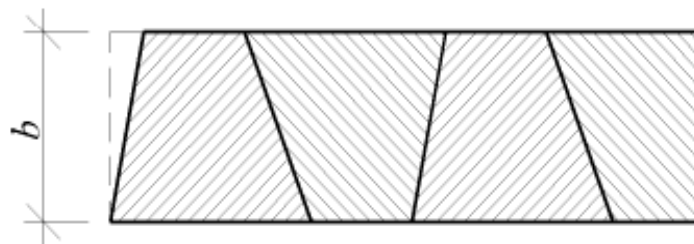
6. Решеткасти носачи са чворним лимом

При конструисању чворних лимова треба задовољити услов да они имају:

- Минималне димензије,
- Једноставан облик.

Веће димензије имају већу крутост чвора па се због тога и повећавају секундарни утицаји услед момента савијања у крутим угловима. Оштри углови (мањи од 30°) изазивају веће димензије чворних лимова па их треба избегавати. Приликом обликовања чворних лимова требамо узети у обзир да две ивице буду паралелне како би све чворне лимове изрезали на једној челичној траци.

Овај начин је знатно једноставнији и јефтинији, зато што се смањује отпад и штеди материјал.



Слика 6.1 - Добијање челичних лимова једноставних димензија резањем једне челичне траке

Димензије чворног лима зависе од положаја и дужине штапова испуне, као и начина прикључка за чворни лим.

Функција чворног лима је да:

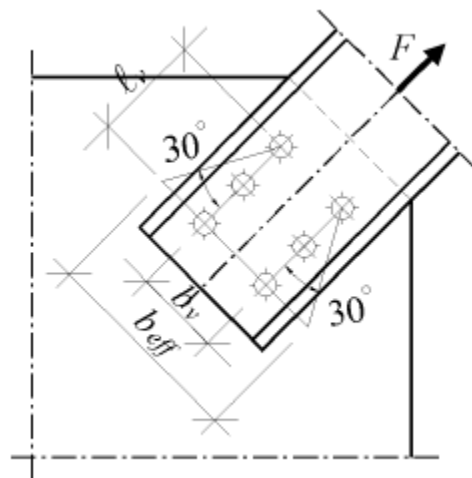
- Омогући увођење сила из штапова испуне у чвор решеткастог носача
- Обезбеђује равнотежу чвора

У њему се јавља двоосно напонско стање које се не може аналитички дефинисати. Дијаграми напона се одређују на више различитих метода: експерименталним поступцима, нумеричким методама и директним мерењем при испитивању конструкције.

Дебљина чворног лима зависи од нивоа напрезања и одређују се на основу два критеријума: увођењем сила у чвор и равнотеже чвора. Што би значило да до лома чворног лима долази услед парцијалног лома у зони прикључка штапова испуне или потпуног лома на месту чвора.

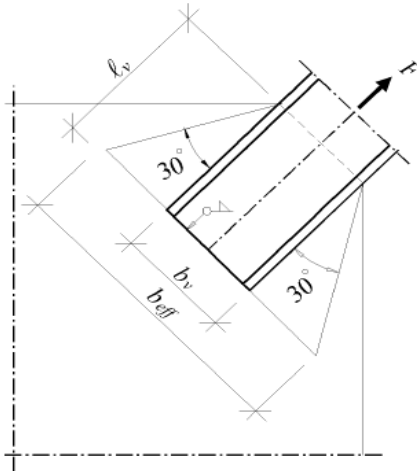
Распоред нормалних напона у зони увођења сила у чворни лим одређен на основу неких прецизних анализа, дозвољава примену упрошћеног прорачунског модела који подразумева линеарно простирање напона под углом од 30° . На овом моделу дијаграм нормалних напона је константан на ефективној ширини b_{eff} . Контрола напона се спроводи у пресеку у којем се јавља максимална сила.

Код везе са механичким спојним средствима то је у пресеку кроз последњи ред завртњева.



Слика 6.2 – Везе са механичким спојним средствима

Код заварених веза пресек у којем се јавља максимална сила се поклапа са завршетком шавова.



Слика 6.3 - Везе са завареним спојним средствима

Контрола напона у чворном лиму за везе са завртњевима треба да се спроведе на следећи начин:

$$\sigma = \frac{F}{A_{neto}} = \frac{F}{t \cdot (b_{eff} - n \cdot d_o)} \leq \sigma_{dop} \quad (6.1)$$

n – број завртњева у меродавном попречном пресеку.

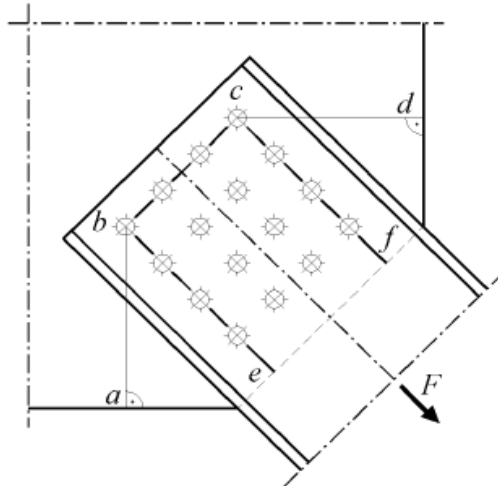
За везе које су заварене биће:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{t \cdot b_{eff}} \leq \sigma_{dop} \quad (6.2)$$

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

$$b_{eff} = b_v + 2 \cdot tg30 \cdot l_v \quad (6.3)$$

Код широких штапова испуне који су везани са неколико линија завртњевима лом може да наступи по изломљеним пресецима а-б-с-д или код кратких веза е-б-с-ф. Контрола напона се спроводи са највећом силом затезања у назначеним пресецима.



Слика 6.4 - Везе остварене завртњевима у неколико редова

Прорачун лома чворног лима разликујемо у два случаја:

- Када је чворни лим саставни део појасних штапова (слика 6.5.)
- Када чворни лим није саставни део појасних штапова (слика 6.6.)

У првом случају најоптерећенији пресек је између појасног штапа и чворног лима, пошто је та површина изложена дејству аксијалне силе N , смичуће силе V и момента ексцентрицитета M .

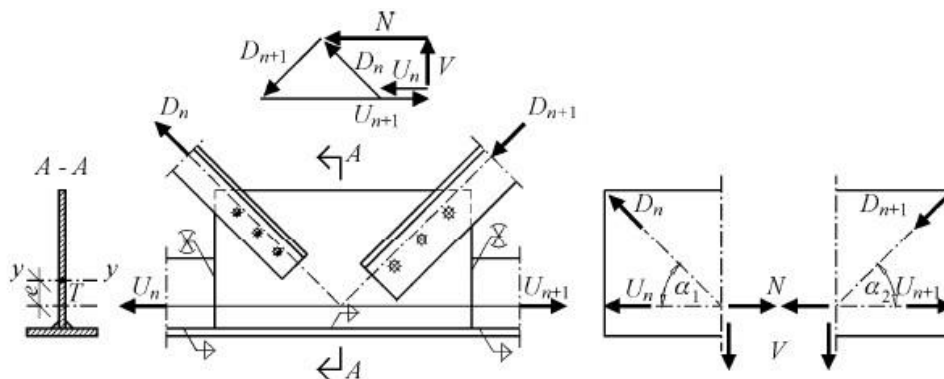
За чвор решеткастих носача који је приказан на слици 6.5 ове пресечне силе могу да се одреде на следећи начин:

$$N = U_n + D_n \cdot \cos \alpha_1 \quad (6.4)$$

$$V = D_n \cdot \sin \alpha_1 \quad (6.5)$$

$$M = N \cdot e \quad (6.6)$$

e - растојање између тежишта појасних штапова и тежишта пресека А-А.



Слика 6.5 – Пресечне силе у чворном лиму, када је чворни лим саставни део појасних штапова

У неким случајевима дебљина чворног лима може да се одреди на основу емпиријских података. На пример, код тешких двозидних носача код којих чворни лимови представљају и ребра појасних штапова, због сложеног напрезања, дебљина чворног лима треба да буде 2 до 4 mm већа.

У случају када чворни лим није саставни део појасних штапова, већ је са штаповима повезан заваривањем или завртњевума на њега делује резултујућа сила $\vec{R}$, која може да се израчуна из услова равнотеже.

$$\vec{R} = \vec{D}_n + \frac{\Delta \vec{U}}{2} \quad (6.7)$$

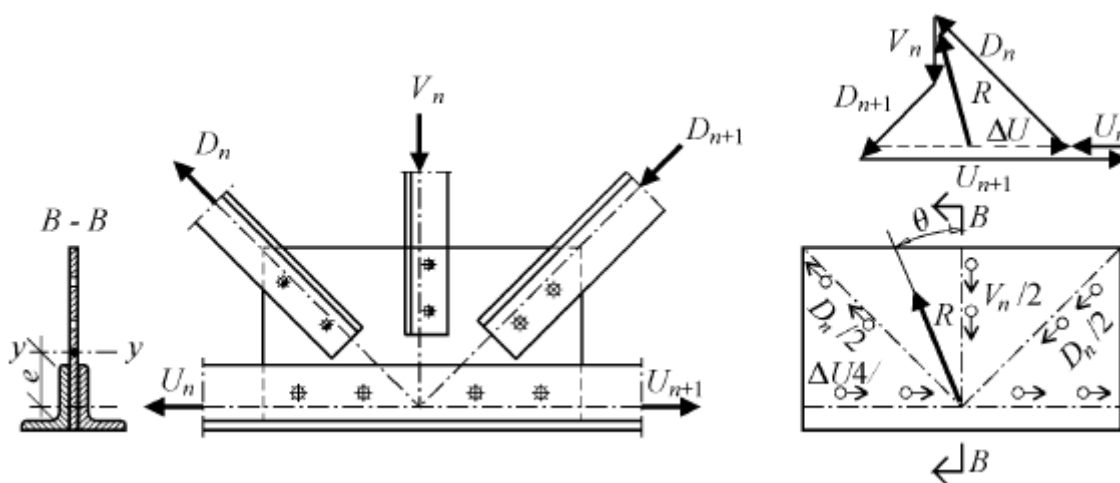
$\Delta \vec{U}$ – разлика сила у појасним штаповима

$$\Delta \vec{U} = U_{n+1} - U_n$$

$$N = R \cdot \sin \theta \quad (6.8)$$

$$V = R \cdot \cos \theta \quad (6.9)$$

$$M = N \cdot e \quad (6.10)$$

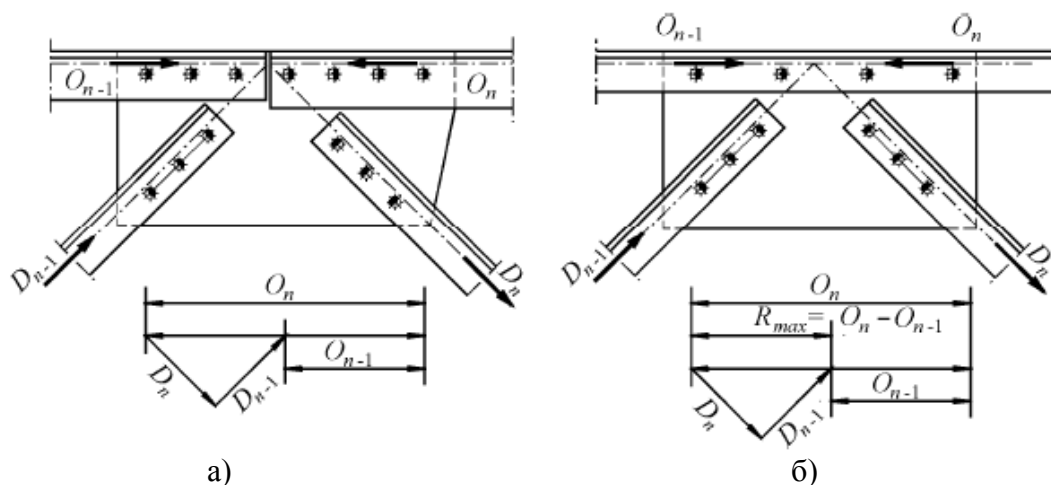


Слика 6.6 - Пресечне силе у чворном лиму када чворни лим није саставни део појасних штапова

У случају када је веза остварена завртњевима, провера напона се рачуна за нето пресек. Ако је веза остварена са малим бројем завртњева (2-3) утицај рупа може да се занемери. Напони који се јављају у чворном лиму приликом деловања пресечних сила углавном нису значајни. За димензионисање чворног лима најбитнији су нормални напони услед увођења сила у чвор.

За прорачунавање веза остварених заваривањем или завртњевима постоје два различита случаја:

- Када се појасни штапови прекидају у чвору (слика 6.7.а)
- Када се појасни штапови не прекидају у чвору (слика 6.7 б)



Слика 6.7 - Везе чворног лима са појасним штаповима

Када се појасни штапови прекидају у чвору, везу сваког штапа треба димензионисати према сили која се у њему јавља.

Треба избегавати прекид појасних штапова у чвору, јер је у том случају веза знатно мања, напрегнута и јефтинија. Код непрекинутих појасних штапова, веза чворног лима са појасним штаповима треба да пренесе само максималну резултанту која се јавља у штаповима испуне R_{max} . За сваки чвор приказан на слици 6.7б, ова резултанта је једнака разлици сила у појасним штаповима $R_{max} = (O_n - O_{n-1})$.

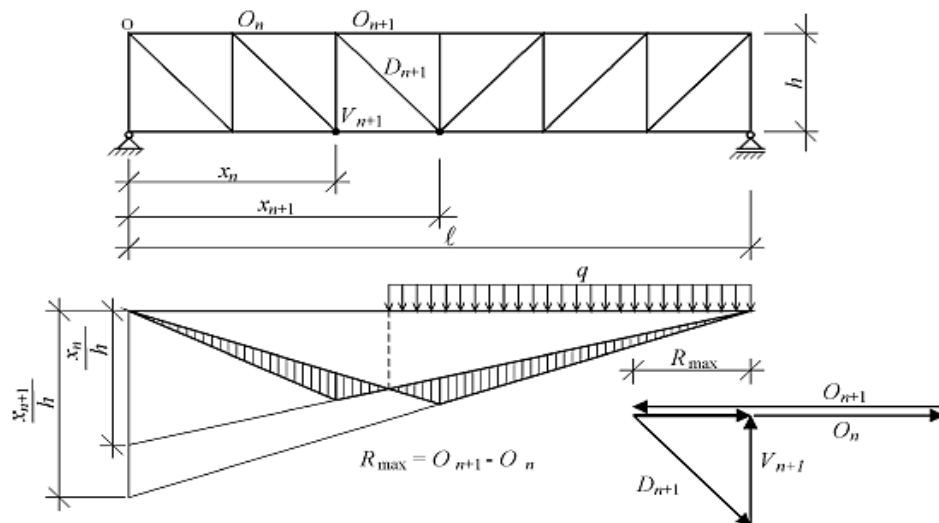
Код решеткастих носача који су изложени дејству покретног оптерећења, као што је случај код кранских носача или мостовских, резултанту треба одредити преко утицајне линије за разлику сила (слика 6.8).

Вредност максималне резултанте:

$$R_{max} = 1,2 \div 1,5 \cdot (\max O_{n+1} - \max O_n) \quad (6.11)$$

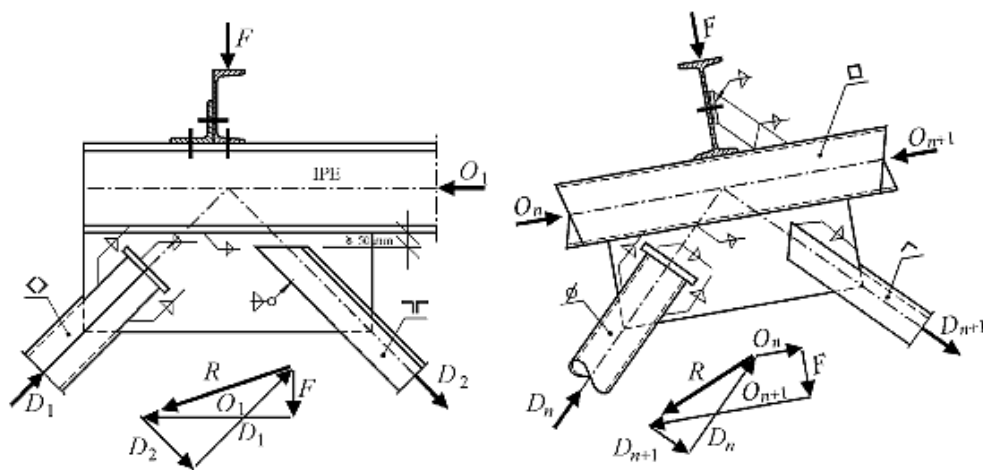
где су:

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



Слика 6.8 – Утицајна линија за разлику сила у појасним штаповима

На везу чворног лима са појасним штаповима могу да делују и спољашња оптерећења која се јављају у виду концентрисаних сила, везу чворног лима са појасним штаповима треба тада димензионисати узимајући у обзир и дејство ове силе. На слици 6.9 приказана су два чвора где делује спољашња концентрисана сила F . Сила R која је потребна за димензионисање везе одређује се на основу полигона сила као векторски збир резултанте штапова испуне и спољашње силе F .

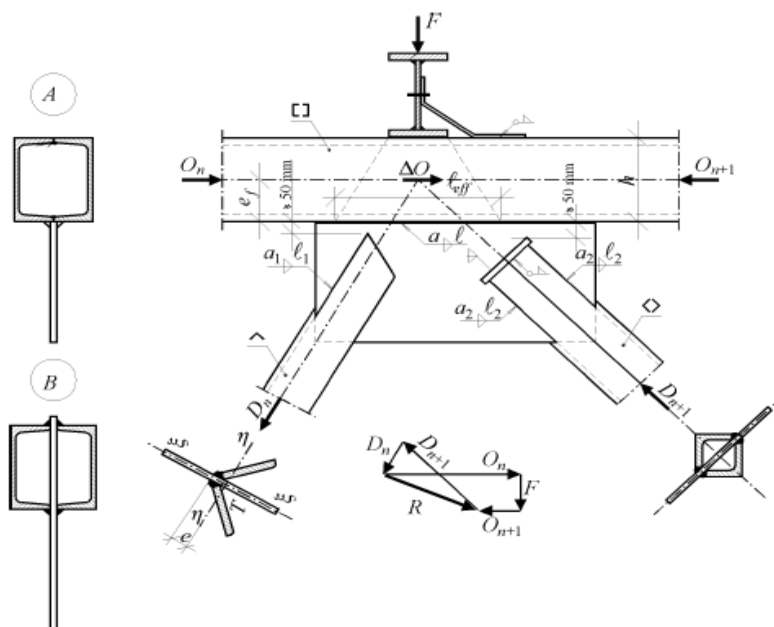


Слика 6.9 – Напрезање везе чворног лима са појасним штаповима

Тежиште појасних штапова треба да се поклопи са тежиштем везе, у супротном долази до ексцентрицитета, који треба узети у обзир при прорачуну спољних средстава. Овај ексцентрицитет проузрукује момент савијања у вези.

За остваривање везе најчешће се користи заваривање, због низа предности у односу на механичка спојна средства, а најбитнија су бржа, једноставнија и јефтинија израда. Осим тога избегава се слабљење попречног пресека појасних штапова и чворног лима рупама за спојна средства.

Прорачун везе чворног лима у завареној изради приказан је на примеру чвора решеткастог носача на слици 6.10.



Слика 6.10 – Чвор решеткастог носача у завареној изради

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

Веза притиснуте дијагонале (D_{n+1}), која је израђена од два L-профила која образују сандучаст пресек (слика 4.182), остварује се са четири подужна угаона шави ($a_2 \times l_2$). Тежиште штапа се поклапа са тежиштем шавова, па се у њима јавља само компонента напона која је паралелна са осом шавова. Контрола напона израчунава се на следећи начин:

$$V_{II} = \frac{D_{n+1}}{A_{w,2}} = \frac{D_{n+1}}{4 \cdot a_2 \cdot l_2} \leq \sigma_{w,dop} \quad (6.12)$$

V_{II} - напон смицања у правцу шави у равни споја је меродавна раван шави оборена
 $\sigma_{w,dop}$ - допуштени напон у шаву
 $A_{w,2}$ - површина шави 2

Треба предвидети и затварање шупљих профила на његовим крајевима како би се унутрашњост заштитила од корозије. Затварање се остварује помоћу челичних лимова који се заварују за чворни лим и штап испуне.

Веза затегнутих штапова израђених од једног угаоника D_n изводи се заваривањем. Поставља се тако да му тежиште и главна оса инерције леже у средњој равни чворног лима. Како би се добили угаони шавови потребно је претходно расецање крајева угаоника и тиме се обезбеђује налегање на чворни лим. Због непоклапања тежишта штапа и везе долази до јављања нормалне компоненте напона n , тако да се контрола напона врши на следећи начин:

$$V_{II} = \frac{D_n}{A_{w,1}} = \frac{D_n}{2 \cdot a_1 \cdot l_1} \leq \sigma_{w,dop} \quad (6.13)$$

$$n = \frac{D_n \cdot e}{W_{w,1}} = \frac{D_n \cdot e}{2 \cdot a_1 \cdot l_1^2 / 6} \leq \sigma_{w,dop} \quad (6.14)$$

$$\sigma_{w,u} = \sqrt{n^2 + V_{II}^2} = V_{II} \cdot \sqrt{1 + 36 \cdot \left(\frac{e}{l_1}\right)^2} \leq \sigma_{w,dop} \quad (6.15)$$

где је:

$A_{w,1}$ - површина шави 1

n - нормални напон који делује делује управно на раван споја у који је меродавна раван шави оборена

$\sigma_{w,u}$ - упоредни напон шави

Осим појединачне контроле обе компоненте потребно је проверити и упоредни напон $\sigma_{w,u}$. Примена штапова испуне од једног угаоника, упркос једноставној вези, није препоручљив, јер тежиште штапа не лежи у равни решеткастог носача, па се јавља ексцентрично напрезање и штапа и везе.

Веза чворног лима са појасним штаповима може да се оствари на два начина (варијанте А и В, слика 6.10):

- Када се чворни лим везује само са доње стране појаса (варијанта А).
- Када се тежиште шавова поклапа са тежиштем појаса (варијанта В).

Код варијанте А тежиште шавова се не поклапа са тежиштем штапа, па се у шавовима јавља момент ексцентрицитета:

$$M = (O_{n+1} - O_n) \cdot e_f = \Delta O \frac{h}{2} \quad (6.16)$$

e_f – растојање између тежишта појаса и шавова, које код двоосно симетричних пресека једнако половини висини појасног штапа $\frac{h}{2}$. Услед деловања силе ΔO у шавовима се јављају следеће компоненте напона:

$$V_{II} = \frac{\Delta O}{A_w} = \frac{\Delta O}{2 \cdot a \cdot l} \quad (6.17)$$

$$n_m = \frac{M}{W_w} = \frac{\Delta O \cdot \frac{h}{2}}{2 \cdot a \cdot l^2 / 6} \quad (6.18)$$

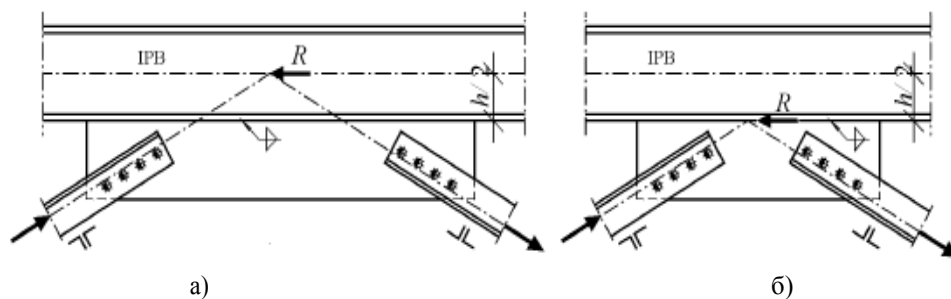
Због додатне силе F која делује у чвору јављају се додатни нормални напони у шавовима:

$$n_F = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l_{eff}} \quad (6.19)$$

l_{eff} – ефективна ширина шавова која се добија уз претпоставку да се напони услед силе линерано шире под углом од 45° .

$$\sigma_{w,u} = \sqrt{(n_m + n_F)^2 + V_{II}^2} \leq \sigma_{w,dop} \quad (6.20)$$

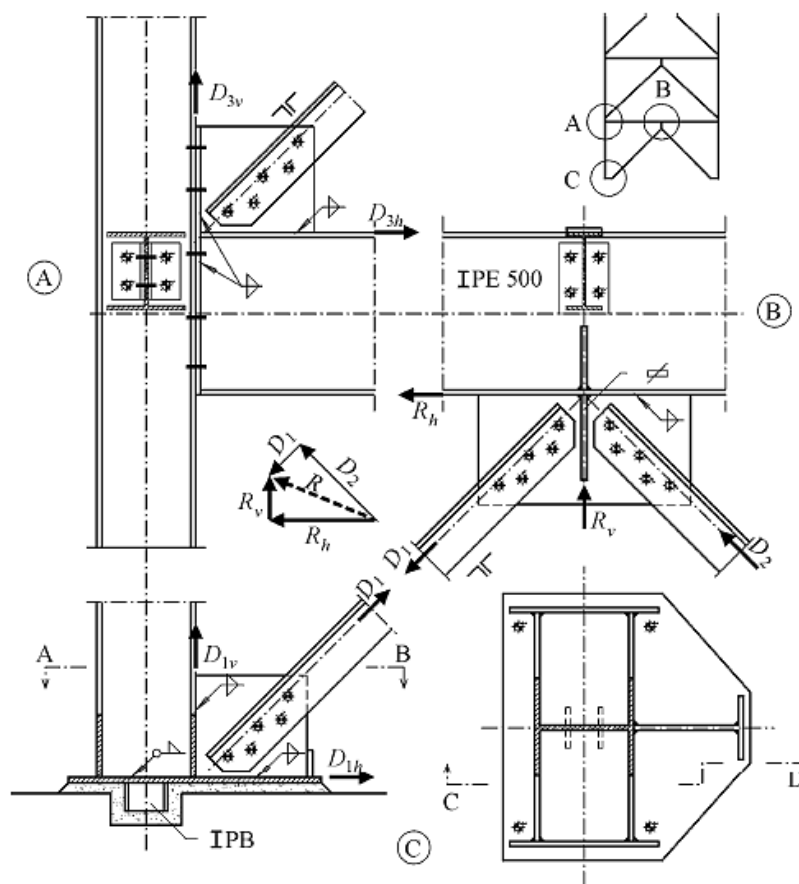
Појасеви решеткастих носача који су изложени локалном савијању најчешће су масивни (пример код кранских носача), па због тога траба да се поставе дугачки чворни лимови, који су нерационални и естетски неприхватљиви (слика 6.11), па се у оваквим случајевима приступало ексцентричним прикључком штапова испуне (слика 6.11б). На тај начин смањује се димензија чворног лима, крути појасни штап се додатно оптерећује моментом ексцентрицитета ($M = R \cdot h/2$), који се јавља као последица оваквог прикључка, шавови су ослобођени дејства момента ексцентрицитета.



Слика 6.11. - Прикључак штапова испуне

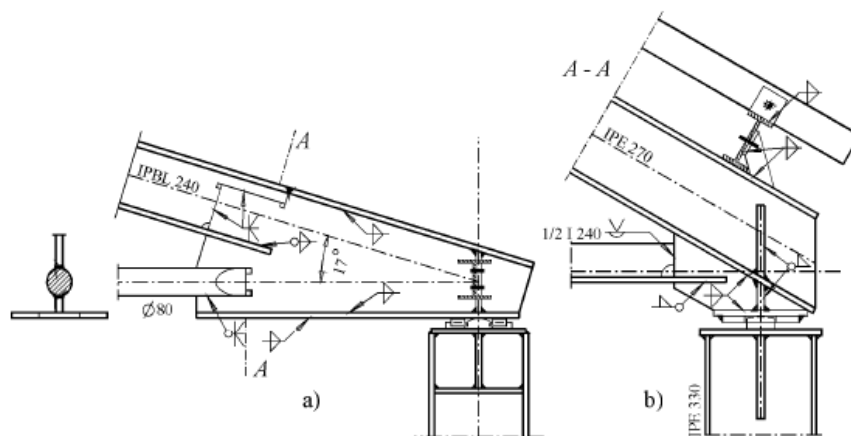
Уобичајено је да се штапови испуне у оваквим случајевима центришу на доњу ивицу појасног штапа (слика 6.116).

Ексцентрично везивање се може применити и код вертикалних спрегова у зградама скелетног типа. То се најједноставније постиже увођењем кратких штапова бесконачне крутости (слика 6.12).



Слика 6.12 - Ексцентрично везивање штапова испуне вертикалног спрега

Приликом обликовања треба тежити да оса ослоња пролази кроз чвор решеткастог носача, јер код штапова који се у ослоначком чвору сустичу под оштрим углом, добијају се веома дугачки чворни лимови (слика 6.13а). Увођењем ослоначке реакције R остварује се савијање чворног лима, па попречни пресек А-А треба проверити на месту момента савијања $M = R \cdot e$. Због тога је неопходно ојачавање чворног лима заваривањем једне појасне ламеле са доње стране чворног лима. Ослањање решеткастог носача може бити ексцентрично (слика 4.13б) ако се на тај начин смањује савијање чворног лима.

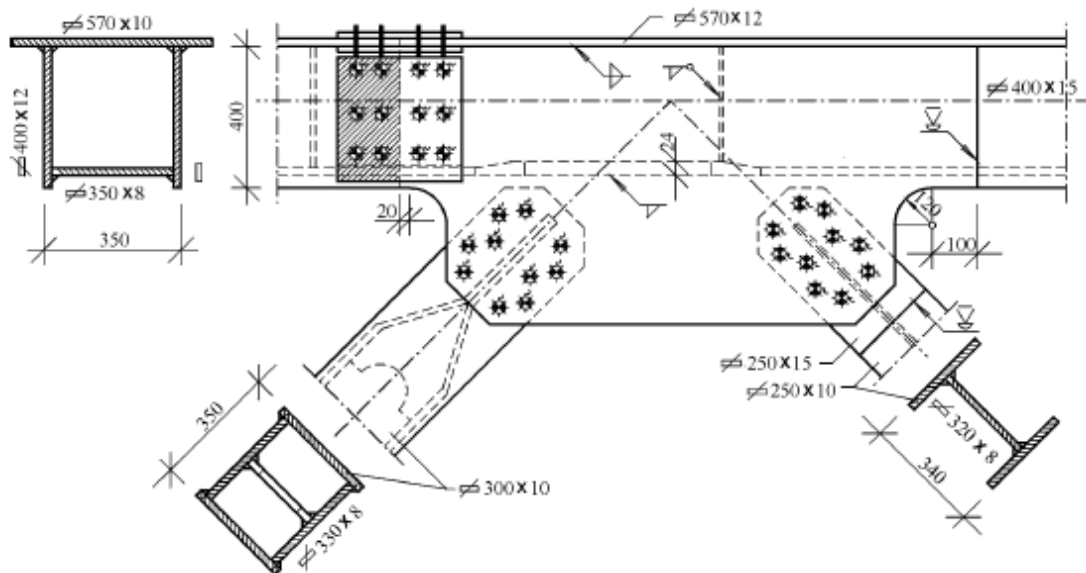


Слика 6.13 - Ослоначки чворови решеткастих носача: а)центрично ослањање, б) ексцентрично ослањање

Двостани решеткасти носачи се углавном примењују као главни носачи код железничких и друмских мостова. Обликовање чворова оваких, тешких решеткастих носача је веома специфично. На слици 6.14 приказан је чвор мостовског носача. Због изразито динамичког оптерећења, при обликовању чворног лима треба избегавати оштре прелазе, а полупречник заобљења треба да буде већи од 100mm. Чворни лимови су уједно и ребра сандучастог пресека појасних штапова. Њихова веза са ребрима појасних штапова остварује се сучеоним шавовима "S" квалитета.

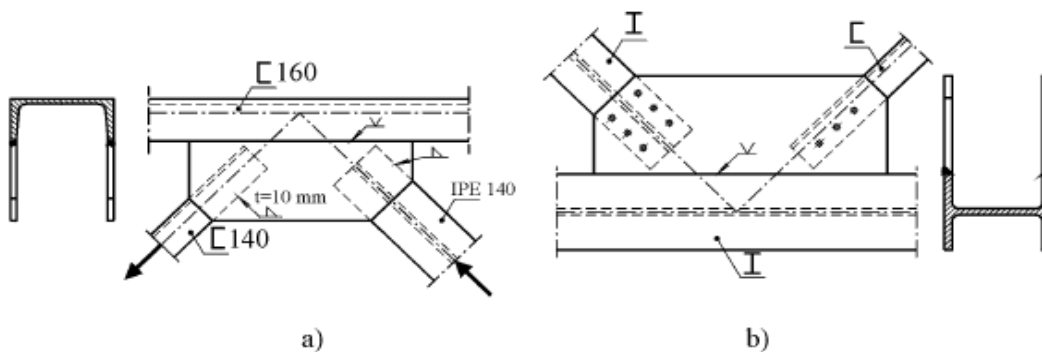
Оваква веза се помера за више од 100 mm од краја заобљења, да би се избегла концентрација напона у шавовима. Дебљина чворног лима је већа од дебљине сучеоног ребра, због тога се ивица чворног лима на месту сучеоног шавова треба обрадити да би дебљина била једнака дебљини ребра појасног штапа. Благ прелаз са једне на другу дебљину обезбеђује се нагибом, не мањим од 1:5. Завртњеве који се користе су високог квалитета и пуном силом притезања. Код сандучастих пресека потребно је предвидети отвор на доњој ножици којим се омогућава постављање спојних средства. Слабење ножице надокнађује се повећањем њене дебљине. [1]

Због великих висина носача веза штапова испуне за чворни лим остварује се механичким спојним средствима. Висина штапова мора бити једнака унутрашњем растојању чворних лимова.



Слика 6.14 – Чвор мостовског носача

Осим у мостоградњи двозидни решеткасти носачи се примењују и у зградарству, код јаче напрегнутих носача. Неки карактеристични примери чворова двозидних решеткастих носача у зградарству дати су на слици 6.15.

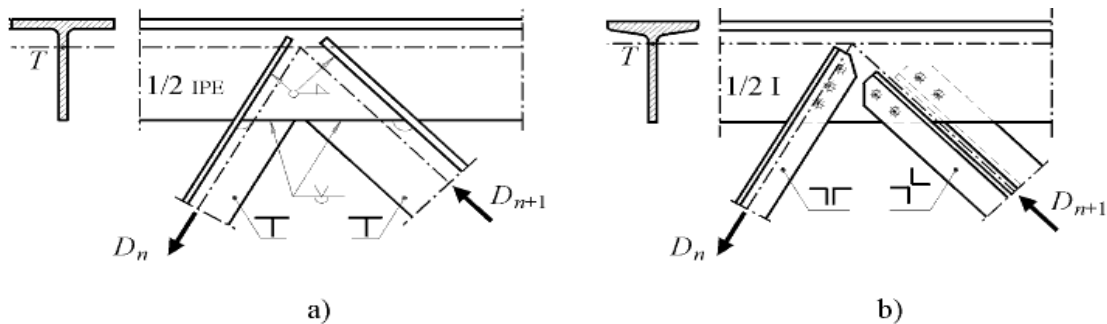


Слика 6.15 - Чворови двозидних решеткастих носача у зградарству

Код ових примера се најчешће као појасни штапови користе ваљани U или I профили, који су положени тако да њихове ножице леже у две паралелне вертикалне равни. Штапови испуне са чворним лимовима се спајају заваривањем (слика 6.15a) или завртњевима (слика 6.15b).

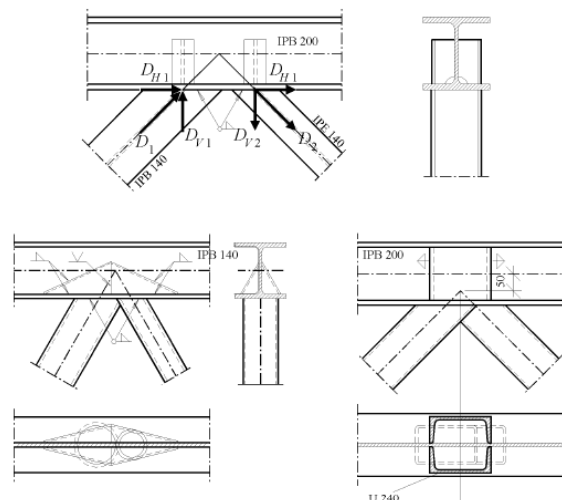
7. Решеткасти носачи без чворног лима

Већу примену решеткастих носача без чворних лимова омогућила је појава заваривања као технолошки процес спајања метала и његова употреба у челичним носећим конструкцијама. Код оваквог типа носача веза штапова се остварује директним заваривањем штапова испуне за појасеве решеткастог носача. Појасни штап у облику Т-пресека везује се преко ребра, који служи и као чворни лим, што нам даје могућност да везу остваримо и механичким спојним средствима (слика 7.1). Т-профили могу да се користе и као штапови испуне. Поседују већу крутост од угаоника, захтевају обраду крајева што поскупљује конструкцију.



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

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, веза штапова испуне се остварује директним заваривањем за унутрашњу ножицу. Штапови испуне могу бити од ваљаних I профила, шупљег кружног профила или правоугаоног попречног пресека.



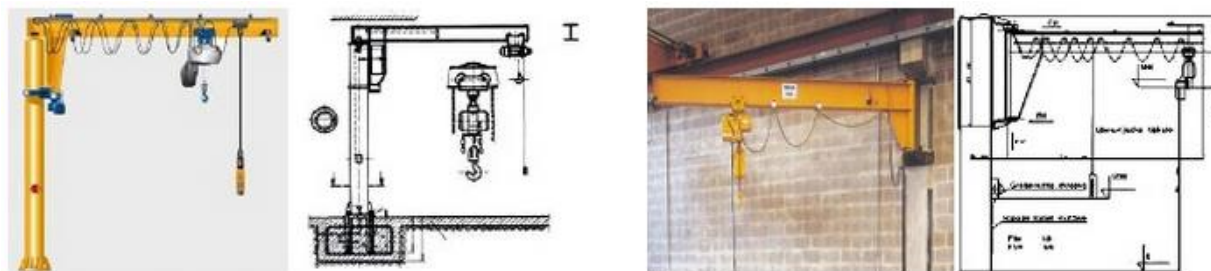
Слика 7.2 – Директно заваривање штапова испуне за ножице I-профила

На местима где се везују дијагонални штапови јављају се компоненте хоризонталних и вертикалних сила. Вертикалне силе D_V (сл. 7.2) делују управно на појас, и само у случају када су мање силе могу да се прихвате помоћу ножице I-профила. Када су силе у дијагоналама већег интензитета потребно је предвидети укрућење, да бих се избегла деформација. Укрућења се заварују за ножице и ребро I-профила. Укрућења могу да се изведу у виду T-профила заварен са обе стране ребра на местима уношења силе, U-профила које штити од смицања услед спрега сила D_V или челичних лимова који су се показали као најефикаснији јер спречавају деформацију ножице.

Као појасни штапови могу се користити и U-профили. Веза се остварује директним заваривањем за ребро U-профила. У овом случају ребро има малу крутост и не може да прими вертикалне компоненте и у хоризонталним шавовима за везу штапова испуне са појасом јавља се подужни напон услед суме хоризонталних компонената сила у дијагоналама D_H . Избегава се савијање ребра међусобним заваривањем штапова испуне јер се пре свега уравнотежују вертикалне компоненте супротног смера.

8. Пример прорачуна и конструкција стреле дизалице

Конзолна дизалица припада групи специфичних мосних дизалица. По конструкцији могу бити стубне или зидне са посебним челичним носачем (слика 8.) [6]



Слика 8. – а) стубна конзолна дизалица, б) зидна конзолна дизалица

Конзолне дизалице се користе за дизање и преношење разних терета у производним халама, складиштима, претоварним станицама, за утовар и истовар терета из камиона или вагона. Због своје стабилне конструкције веома су погодне за монтажу машина и уређаја или опслуживање тешких алатних машина, стругова, преса, глодалица и осталих машина и уређаја у машиноградњи, грађевинској, текстилној, дуванској и осталим индустријама. Руковање дизалицом је једноставно, велике су манипулационе могућности уз максимално коришћење радног простора, а рад је могућ и у најтежим условима. Стуб је израђен из заварене конструкције квадратног пресека, а конзола из ваљаних или сандучастог профила. Окретање се остварује ручно или електромотором преко планетарног редуктора и озубљеног венца, а улежиштење је преко котрљајних лежајева. Дизање се остварује преко двобрзинског електричног витла. Вожња колица по конзоли остварује се електричним или ручним погоном.

Пример прорачуна и конструкције стреле дизалице:

Димензионисати главну вертикалну решетку конзолне дизалице, чије су основне геометријске мере усвојене.

Вредности сила притиска точкова колица (са ψ и γ према JUS M.D1.050) износе:

$$F_1 = 25,76 \text{ kN},$$

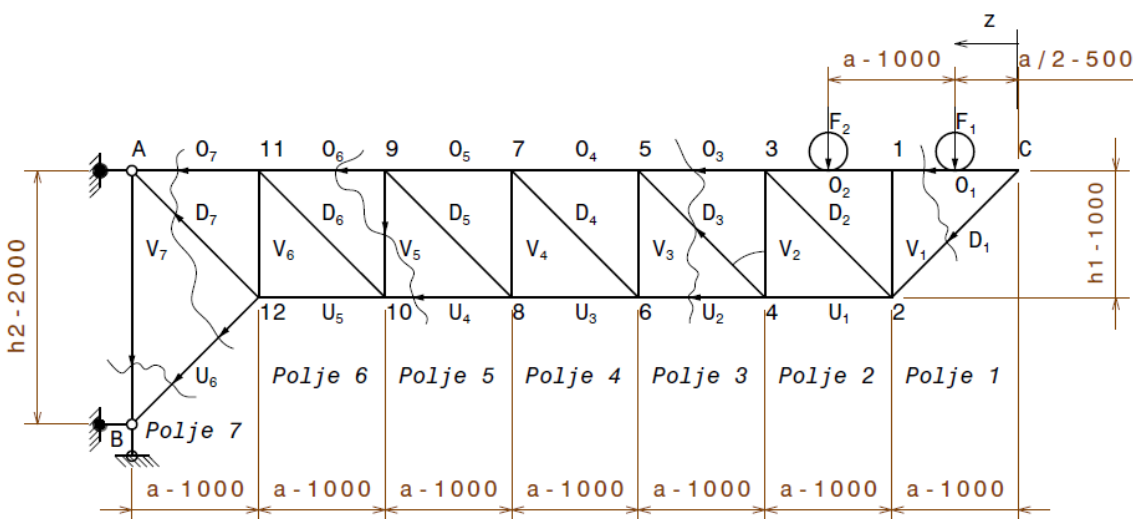
$$F_{1H} = 2,32 \text{ kN},$$

$$F_2 = 14,17 \text{ kN} \text{ — вертикално оптерећење}$$

$$F_{2H} = 1,28 \text{ kN} \text{ — хоризонтално оптерећење}$$

$$q = 0,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ — специфична тежина носача.}$$

1. Утицајне линије за главну решетку



Слика 8.1

У крајњем положају колица, тачак 1 се налази на растојању ($a_o = 500 \text{ mm}$) од систематског чвора (C).

Формирање утицајних линија врши се само са силом F_1 , док се утицај друге везане силе F_2 само додаје пошто можемо искористити принцип суперпозиције оптерећења.

8.1 Горњи појас (штапови O_i)

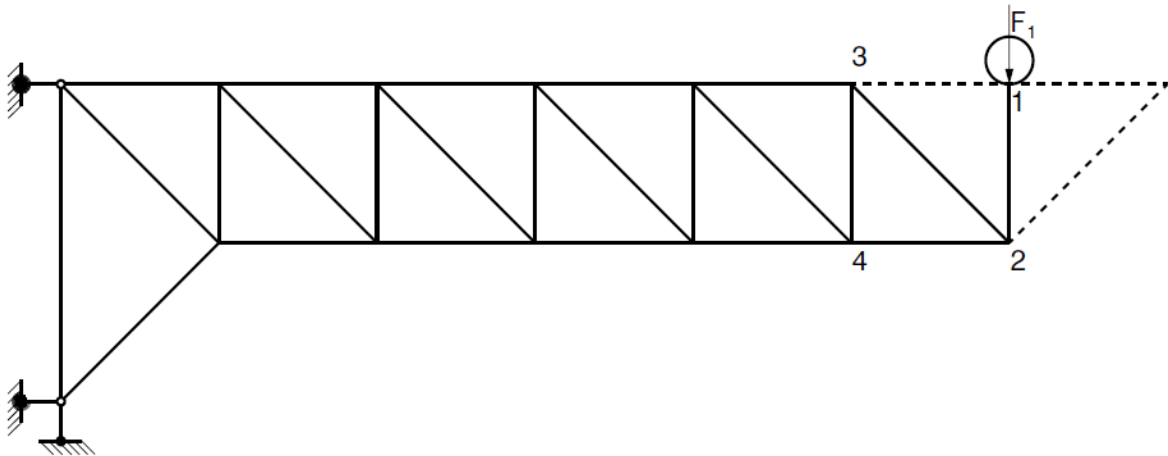
Без обзира на ограничење крајњег положаја колица на месту (a_o), претпоставља да се сила F_1 налази изнад чвора решетке (C). Пресеку се штапове (O_1) и (D_1), претпостављајући да силе у штаповима усмерене ка пресеку. Моментна тачка је чвор 2, тако да ће за све положаје оптерећења (које се креће од чвора C према чвору 1) дефинисане координатом (z) бити:

$$\sum M_2 = 0 \quad O_1 h_1 - F_1(a - z) = 0 \quad \rightarrow \quad O_1 = F_1 \frac{a-z}{h_1} \quad (8.1)$$

Координата (z) се мења у границама

$$0 \leq z \leq a \quad \text{па је за } z = 0 \quad O_1 = 1,0 \frac{a}{h_1}, \text{ а за } z = a \quad O_1 = 0 \quad (8.2)$$

Кроз ове две тачке провлачимо праву која представља утицајну линију за силу у штапу O_1 . Дакле, када се сила F_1 нађе изнад чвора 1, онда се помоћу вертикале V_1 пренесе у чвор 2, тако да је оптерећена конфигурација решетке приказана на слици 8.2.

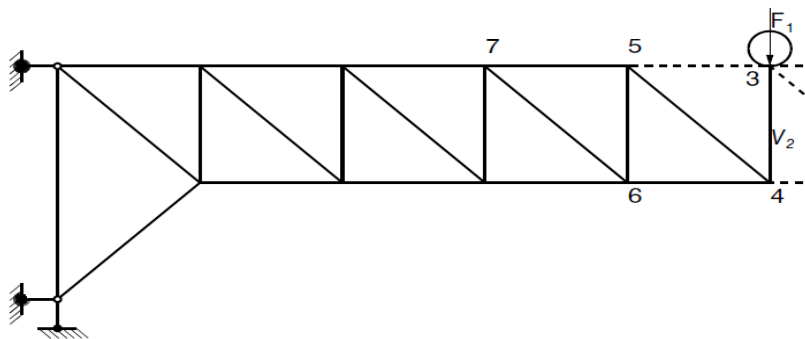


Слика 8.2. Сила у правцу чвора

При томе су:

$$O_1 = O_2 = D_1 = 0 \\ V_1 = 1,0$$

Из равнотеже сила у штаповима (исецајући чвор 1) следи: $\sum Z_i = 0 \quad O_1 = O_2$, тако да је утицајна линија за силу у штапу O_2 иста као за O_1 . Штап O_3 оптерећен је за све положаје покретног оптерећења од чвора С до чвора 3. Када се оптерећење нађе изнад чвора 3, онда се оптерећење преко вертикале V_2 пренесе у чвор 4, тако да је оптерећени део решетке у овом случају приказан на слици 8.3.



Слика 8.3 – Сила изнад чвора 3

Пресецајући штапове поља 3, моментна тачка за одређивање силе O_3 у штапу је чвор 4, јер се у њему секу нападне линије непознатих сила D_3 и U_2 које су на тај начин елиминисане.

$$\sum M_4 = 0 \quad O_3 h_1 - 1,0(2a - z) = 0 \quad \rightarrow \quad O_3 = 1,0 \frac{2a - z}{h_1} \quad (8.3)$$

$$\text{за } z = 0 \quad O_3 = 1,0 \frac{2a}{h_1}, \text{ а за } z = 2a \quad O_3 = 0 \quad (8.4)$$

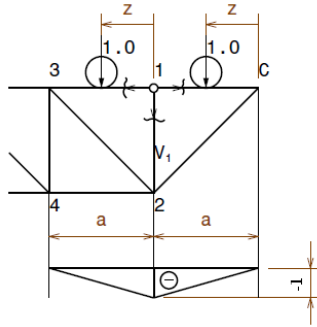
Тако се формирају и остале утицајне линије за силе у штаповима горњег појаса. Силе у штаповима ће према томе имати нулту вредност када се покретно оптерећење буде нашло изнад чворова:

$$O_4 = 0 \rightarrow \text{чвор 5}, O_5 = 0 \rightarrow \text{чвор 7}, O_6 = 0 \rightarrow \text{чвор 9}, O_7 = 0 \rightarrow \text{чвор 11} \quad (8.5)$$

Формирајући утицајне линије за силе у штаповима горњег појаса O_i види се да ће они бити највише оптерећени када се сила F_1 налази у положају ($z = a_0$). Сила F_2 додаје се на растојању a_1 .

8.2 Вертикале (штапови V_i)

Код овакве геометријске конфигурације решетке, вертикале V_2, V_3, V_4, V_5, V_6 , и V_7 , су системски штапови. Вертикала V_1 није системски штап, јер већ постоји неопходан троугао штапова (С-2-3), али је локално оптерећење када се оптерећење налази у том троуглу. Када се оптерећење налази ван основног троугла, сила у вертикали (која није системски штап) је једанак нули. Када се оптерећење креће од С према чвору 1, сила у вертикали расте по закону реакције просте греде.



Слика 7.4- Одређивање вертикале

$$\sum M_C = 0 \quad V_1 a + 1,0z = 0 \quad \rightarrow \quad V_1 = -1,0 \frac{z}{a} \quad (8.6)$$

$$\text{за } z = 0 \quad V_1 = 0, \quad \text{за } z = a \quad V_1 = -1,0 \quad (8.7)$$

Када се терет креће од чвора 1 ка чвору 3 сила у вертикали се опет мења по закону промене реакције просте греде, тако да је:

$$\sum M_3 = 0 \quad V_1 a + 1,0(a - z) = 0 \quad \rightarrow \quad V_1 = -1,0 \frac{a - z}{a} \quad (8.8)$$

$$\text{за } z = 0 \quad V_1 = -1,0, \quad \text{за } z = a \quad V_1 = 0$$

Силе у системским вертикалама $V_2 \div V_6$ се одређују из услова ($\sum Y_i = 0$), пошто су силе горњег и доњег појаса паралелне. За вертикалу V_5 биће:

$\sum Y_i = 0 \quad V_5 + 1,0 = 0 \quad V_5 = -1,0$ за све положаје покретног оптерећења од чвора С до чвора 9. Када се оптерећење нађе изнад чвора 11, сила у штапу $V_5 = 0$, пошто се оптерећење преко штапа V_6 пренело у чвор 12. У том положају оптерећења оптерећени су само штапови D_7, U_6, V_6 и V_7 (слика 8.1).

Вертикала V_7 је за све положаје покретног оптерећења десно од чвора 9, затегнута. У чвору 9 се секу нападне линије сила U_6 и F_A . Када се покретна сила (1,0) нађе изнад чвора 9, биће:

$$\sum M_9 = 0 \quad V_7 2a = 0 \quad \rightarrow \quad V_7 = 0 \quad (8.9)$$

Када се оптерећење налази изнад чвора 11, оно се преко вертикале V_6 преноси у чвор 12. Сада је дијагонала D_7 затегнута, а услед ње ће вертикала V_7 бити притиснута. Када је оптерећење изнад чвора А сила у вертикали је ($V_7 = -1,0$). Утицајна линија ће према претходном бити:

$$\sum M_9 = 0 \quad V_7 2a - 1,0(5a - z) = 0 \quad \rightarrow \quad V_7 = -1,0 \frac{5a - z}{2a} \quad (8.10)$$

$$\text{за } z = 0 \quad V_7 = -1,0 \frac{5}{2}, \quad \text{за } z = 5a \quad V_7 = 0 \quad (8.11)$$

$$\text{за } z = 6a \quad V_7 = -0,5, \quad \text{за } z = 7a \quad V_7 = -1 \quad (8.12)$$

8.3 Дијагонале (штапови D_i)

За одређивање силе у штапу D_1 користи се моментна тачка 1, кроз коју пролази нападна линија силе O_1 .

$$\sum M_1 = 0 \quad D_1 \frac{a\sqrt{2}}{2} + 1,0(a - z) = 0 \quad D_1 = -1,0 \frac{(a-z)^2}{a\sqrt{2}} = -1,0\sqrt{2} \frac{(a-z)}{a} \quad (8.13)$$

$$\text{за } z = 0 \quad D_1 = -\sqrt{2}, \quad \text{за } z = a \quad D_1 = 0 \quad (8.14)$$

Код дијагонала $D_2 \div D_6$ за одређивање сила у штаповима користи се $\sum Y_i = 0$. На пример, за штап D_3 при положају оптерећења десно од чвора 3 (важи и за њега), биће:

$$D_3 \cos \alpha - 1,0 = 0 \rightarrow D_3 = 1,0 \frac{1}{\cos \alpha} \quad (8.15)$$

Када оптерећење крене од чвора 3 ка чвору 5, сила D_3 ће опадати и биће једнака нули када се оптерећење нађе изнад чвора 5.

Овакав положај дијагонала $D_2 \div D_6$, омогућава да оне буду увек затегнуте. Ово је значајно када је у питању еластична стабилност (извијање) штапа, због дужине извијања ако би био притиснут.

Сила у дијагонали D_7 одређује се у односу на моментну тачку 9, где се секу нападне линије силе O_7 и U_6 .

$$\sum M_9 = 0 \quad -D_7 a\sqrt{2} + 1,0(5a - z) = 0 \quad D_7 = -1,0 \frac{(5a - z)\sqrt{2}}{2a} \quad (8.16)$$

$$\text{за } z = 0 \quad D_7 = -1,0 \frac{5\sqrt{2}}{2} = -3,525 \quad (8.17)$$

$$\text{за } z = 5a \quad D_7 = 0 \text{ (сила изнад чвора 9)} \quad (8.18)$$

$$\text{за } z = 6a \quad D_7 = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ (сила изнад чвора 11)} \quad (8.19)$$

Када се оптерећење нађе у чвору А биће $D_7 = 0$, па преносна линија спаја вредности из чвора 11 и А

8.4 Доњи појас (штапови U_i)

При одређивању сила у штаповима доњег појаса користе се моментне тачке на горњем појасу (3, 5, 7, 9, 11, А), пошто се у њима секу силе O_i и D_i тако да че за штап U_2 бити:

$$\sum M_5 = 0 \quad -U_2 h_1 - 1,0(3a - z) = 0 \rightarrow U_2 = -1,0 \frac{3a - z}{h_1} \quad (8.20)$$

$$\text{за } z = 0 \quad U_2 = -1,0 \frac{3a}{h_1} \quad (8.21)$$

$$\text{за } z = 3a \quad U_2 = 0 \quad (8.22)$$

За штап U_6 моментна тачка је чвор А, тако да је:

$$\sum M_A = 0 \quad -U_6 a \sqrt{2} - 1,0(7a - z) = 0 \quad U_6 = -1,0 \frac{(7a - z)\sqrt{2}}{2a} \quad (8.23)$$

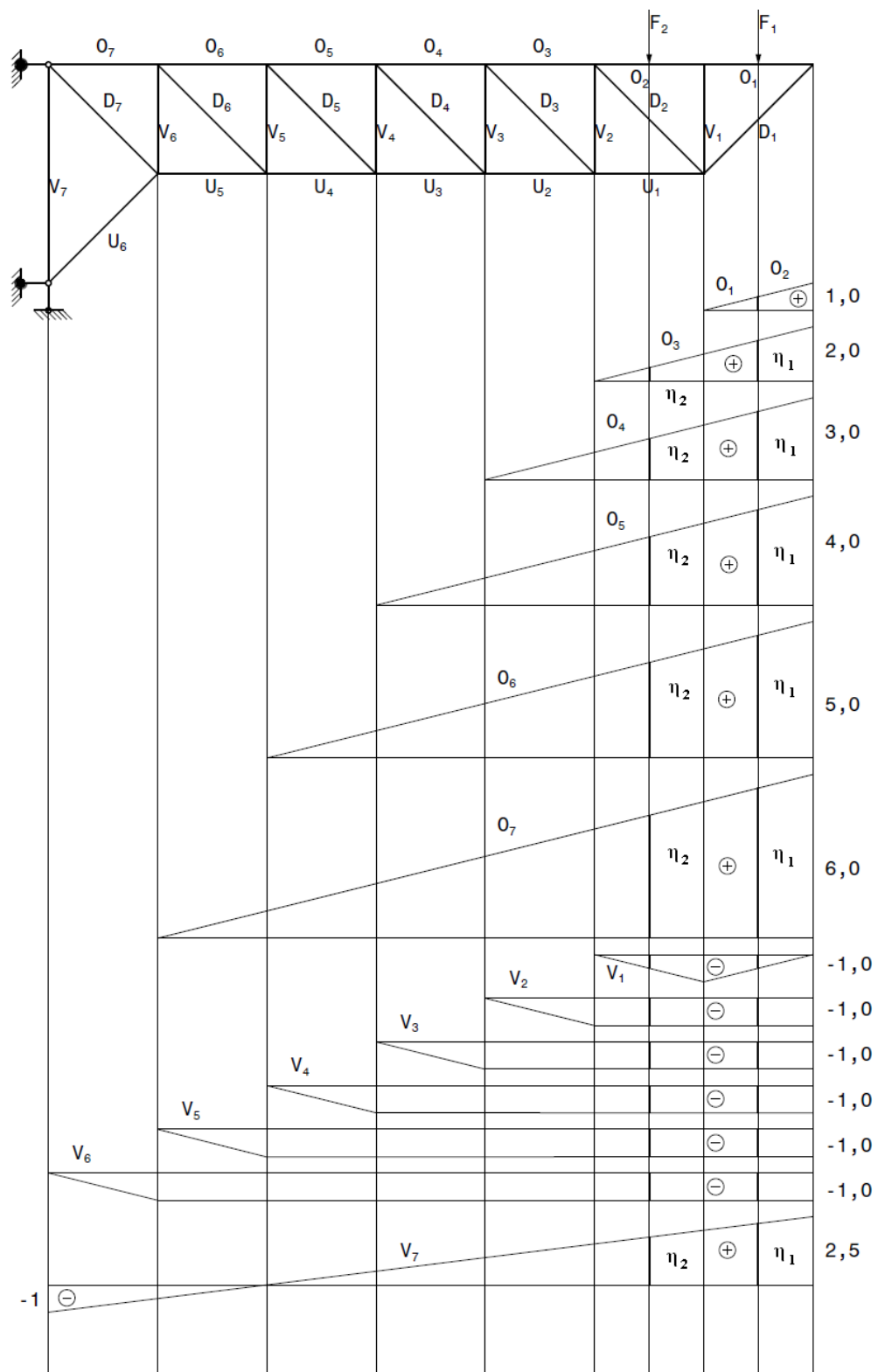
$$\text{за } z = 0 \quad U_6 = -\frac{7\sqrt{2}}{2} = -4,935 \quad (8.24)$$

$$\text{за } z = 7a \quad U_6 = 0 \quad (8.25)$$

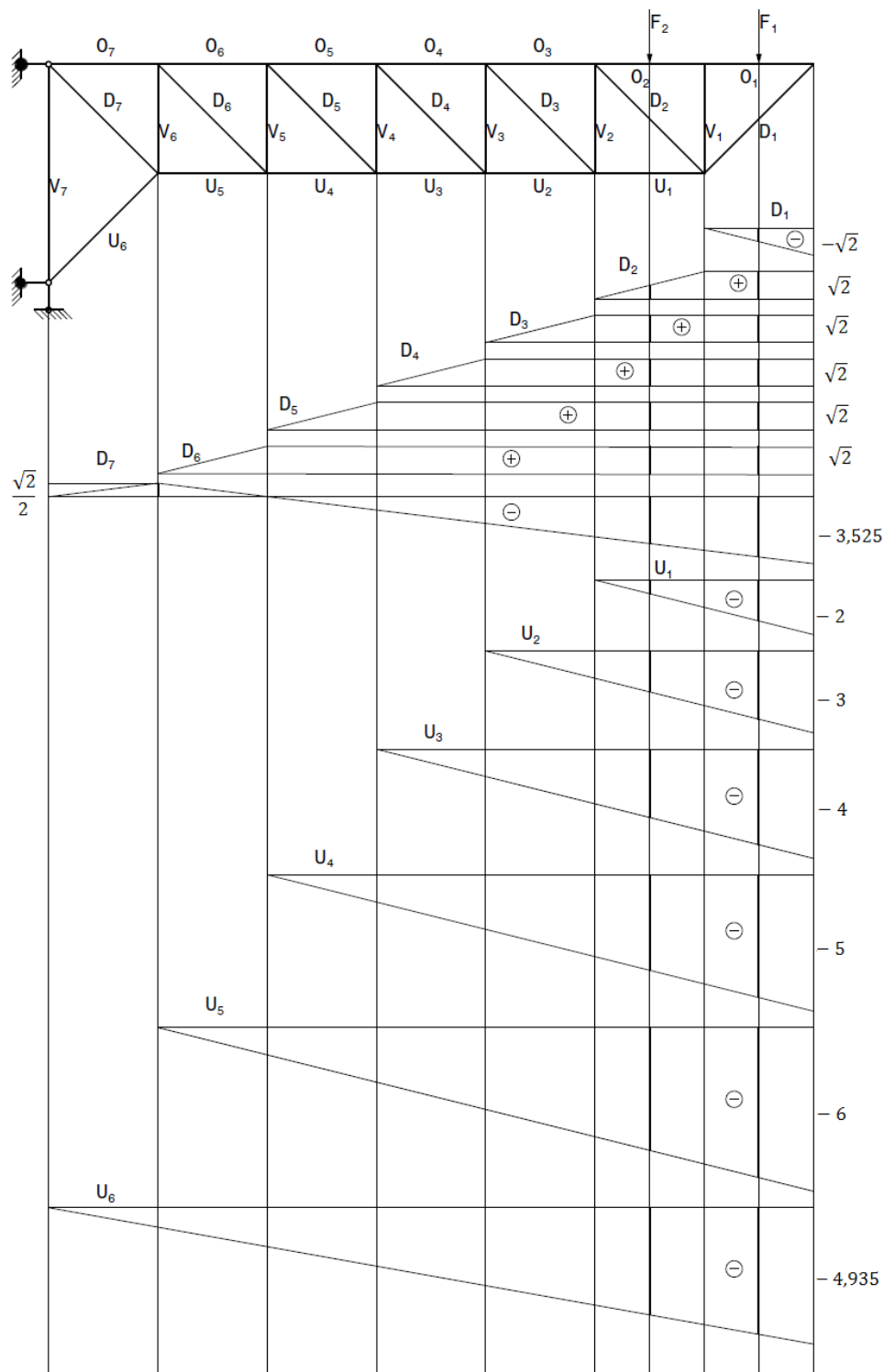
Сада ће бити приказане утицајне линије сила у штаповима главне вертикалне решетке (слика 8.5) и (слика 8.6) и главне хоризонталне решетке (слика 8.7) и (слика 8.8). Интензитети сила су приказани табеларно у табелама (8.1.1) и (8.1.2).

Хоризонтално оптерећење потиче од инерцијалних сила у периоду убрзавања односно кочења дизалице, тако да нема дефинисан смер.

Утицај сопствене тежине обухвата се преко површине утицајне линије за одговарајући штап.



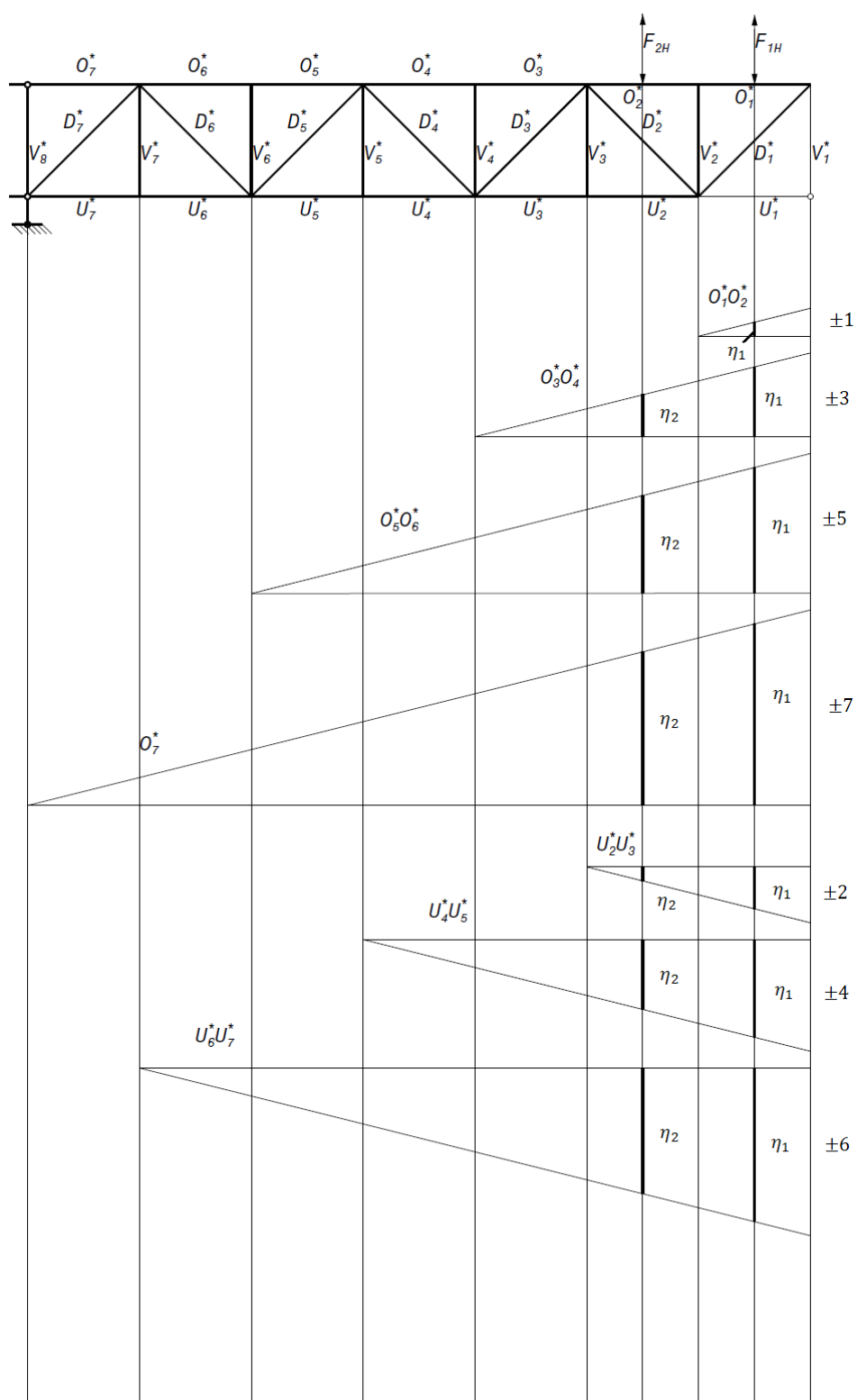
Слика 8.5 – Утицајне линије сила у штаповима горњег појаса O_i и вертикала V_i главне вертикалне решетке



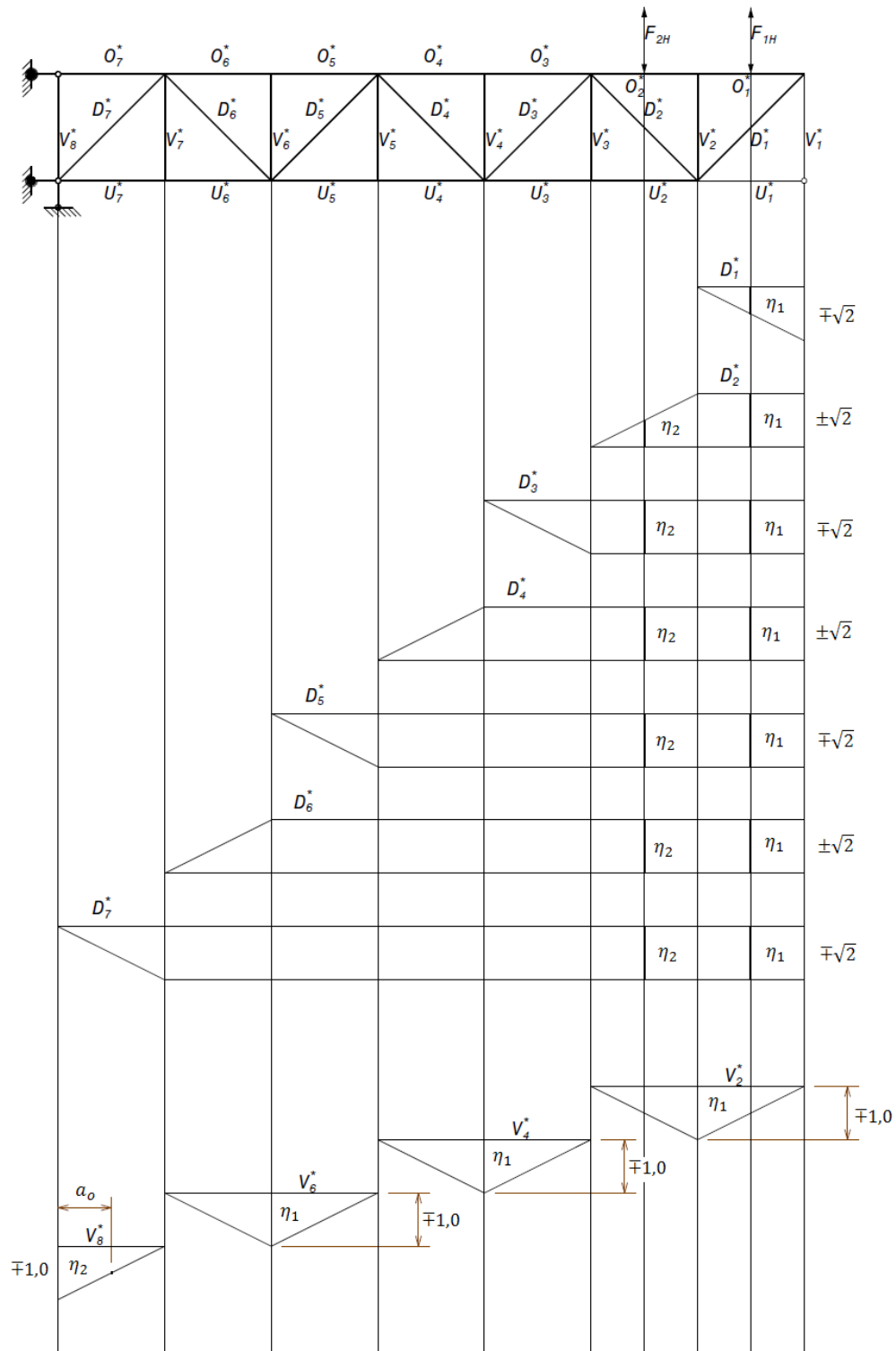
Слика 8.6 – Утицајне линије сила у дијагоналама D_i и у штаповима доњег појаса U_i главне вертикалне решетке

Табела 8.1.1 – Табеларни приказ утицајних линија и сила у штаповима за главну вертикалну решетку

Tabelami pregled sila u štapovima za glavnu vertikalnu rešetku								
Grupa elemenata	Oznaka elementa	Ordinate uticajnih linija		Sile u štapovima	Površine uticajnih linija		$q\gamma\Sigma A$ [KN]	Rezultujuća sila
		η_1	η_2	$F_1\eta_1 + F_2\eta_2$ [KN]	+A [m ²]	-A [m ²]		F_u [KN]
Gornji pojas	O_1	0.5	/	12.88	0.5	/	0.42	13.3
	O_2	0.5	/	12.88	0.5	/	0.42	13.3
	O_3	1.5	0.5	45.725	2	/	1.68	47.705
	O_4	2.5	1.5	85.655	4.5	/	3.78	89.435
	O_5	3.5	2.5	125.585	8	/	6.72	132.305
	O_6	4.5	3.5	165.515	12.5	/	10.5	176.015
	O_7	6.5	4.5	205.445	18	/	15.12	220.565
Donji pojas	U_1	-1.5	-0.5	-45.725	/	2	-1.68	-47.705
	U_2	-2.5	-1.5	-85.655	/	4.5	-3.78	-89.435
	U_3	-3.5	-2.5	-125.585	/	8	-6.72	-132.305
	U_4	-4.5	-3.5	-165.515	/	12.5	-10.5	-176.015
	U_5	-5.5	-4.5	-205.45	/	18	-15.12	-220.565
	U_6	-4.5825	-3.8775	-172.989	/	17.2725	-14.509	-187.498
Dijagonale	D_1	$\sqrt{2}/2$	/	-18.215	/	0.707	-0.594	-18.809
	D_2	$\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}/2$	46.34	2.121	/	1.782	48.809
	D_3	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	56.47	3.536	/	2.97	59.44
	D_4	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	56.47	4.95	/	4.158	60.628
	D_5	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	56.47	6.367	/	5.348	61.618
	D_6	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	56.47	7.778	/	6.53	63
	D_7	-3.1725	-2.4675	-116.688	0.707	8.8125	-6.808	-123.496
Vertikale	V_1	-0.5	-0.5	-19.965	/	0.5	-0.42	-20.385
	V_2	-1	-1	-39.93	/	2.5	-2.1	-42.03
	V_3	-1	-1	-39.93	/	3.5	-2.94	-42.87
	V_4	-1	-1	-39.93	/	4.5	-3.78	-43.71
	V_5	-1	-1	-39.93	/	5.5	-4.62	-44.55
	V_6	-1	-1	-39.93	/	6.5	-5.46	-45.39
	V_7	2.25	1.75	82.757	6.25	1	4.41	87.167



Слика 8.7 – Утицајне линије сила у штаповима појасева главне хоризонталне решетке



Слика 8.8 – Утицајне линије сила у штаповима испуне главне хоризонталне решетке

Табела 8.1.2 – Табеларни приказ утицајних линија и сила у штаповима за главну хоризонталну решетку

Tabelarni pregled sila u štapovima za glavnu vertikalnu rešetku								
Grupa elemenata	Oznaka elementa	Ordinate uticajnih linija		Sile u štapovima	Površine uticajnih linija		$q\gamma\Sigma A$ [KN]	Rezultujuća sila
		η_1	η_2	$F_1\eta_1 + F_2\eta_2$ [KN]	+A [m ²]	-A [m ²]		F_u [KN]
Gornji pojas	O_1^*	0.5	/	1.6	0.5	/	0.42	1.58
	O_2^*	0.5	/	1.16	0.5	/	0.42	1.58
	O_3^*	2.5	1.5	7.72	4.5	/	3.78	11.5
	O_4^*	2.5	1.5	7.72	4.5	/	3.78	11.5
	O_5^*	4.5	3.5	14.92	12.5	/	10.5	25.42
	O_6^*	4.5	3.5	14.92	12.5	/	10.5	25.42
	O_7^*	6.5	5.5	22.12	24.5	/	20.58	42.7
Donji pojas	U_1^*	/	/	/	/	/	/	/
	U_2^*	-1.5	-0.5	-4.12	/	2	-1.68	-5.8
	U_3^*	-1.5	-0.5	-4.12	/	2	-1.68	-5.8
	U_4^*	-3.5	-2.5	-11.32	/	8	-6.72	-18.04
	U_5^*	-3.5	-2.5	-11.32	/	8	-6.72	-18.04
	U_6^*	-5.5	-4.5	-18.52	/	18	-15.12	-33.64
	U_7^*	-5.5	-4.5	-18.52	/	18	-15.12	-33.64
Dijagonale	D_1^*	$-\sqrt{2}/2$	/	-1.64	/	0.707	-0.594	-2.23
	D_2^*	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}/2$	4.186	2.121	/	1.782	5.968
	D_3^*	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	-5.091	/	3.536	-2.97	-10.437
	D_4^*	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	5.091	4.95	/	4.158	11.624
	D_5^*	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	-5.091	/	6.364	-5.346	-12.812
	D_6^*	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	5.091	7.778	/	6.533	/
	D_7^*	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	-5.091	/	9.192	-7.721	-12.812
Vertikale	V_1^*	/	/	/	/	/	/	/
	V_2^*	-1	/	-2.32	/	0.5	-0.42	-2.74
	V_3^*	/	/	/	/	/	/	/
	V_4^*	-1	/	-2.32	/	0.5	-0.42	-2.74
	V_5^*	/	/	/	/	/	/	/
	V_6^*	-1	/	-2.32	/	0.5	-0.42	-2.74
	V_7^*	/	/	/	/	/	/	/
	V_8^*	/	-0.5	-0.64	/	0.25	-0.21	-0.85

8.5 Димензионисање штапова главне вертикалне решетке

Горњи појас: Штапови горњег појаса главне вертикалне решетке су истовремено и штапови појаса главне хоризонталне решетке. Поред овога, на појасу је заварена шина од квадратне шипке $\square 45 \cdot 45$, по којој се крећу точкови колица. Услед дејства точка колица, настаје локално савијање појаса око обе главне осе појасног штапа.

За прву пробу се за појасне штапове усвајају квадратне шавне цеви:

$\square 100 \cdot 100$ ($\delta = 5$), $A_0 = 18,356 \text{ cm}^2$, $I_{x0} = I_{y0} = 271 \text{ cm}^4$, материјал $\check{C}.0361$
 $\sigma_{z,dop} = 16 \text{ kN/cm}^2$, $i_{x0} = i_{y0} = 3,78 \text{ cm}$

$$O_7 = 220,565 \text{ kN} \quad O_7^* = 42,7 \text{ kN}$$

$$y_c = \frac{4,5 \cdot 4,5 \cdot 12,25 + 18,356 \cdot 5}{4,5^2 + 18,356} = 8,8 \text{ cm} \quad (8.26)$$

$$A_z = 4,5^2 + 18,356 = 38,6 \text{ cm}^2 \quad (8.27)$$

$$\sigma_z = \frac{O_{7,V} + O_{7,H}}{A_z} = \frac{220,565 + 42,7}{38,6} = 6,82 \text{ kN/cm}^2 \quad (8.28)$$

$$\sigma_z < \sigma_{zdop} = \frac{16 \text{ kN}}{\text{cm}^2} \quad (8.29)$$

Утицај локалног савијања појаса се незвисно посматра, пошто је код конзоле максималан утицај оптерећења код укрућења, а за положај оптерећења на слободном крају конзоле.

Код мосних дизалица је решеткасти носач гредно ослоњен па се максималан утицај оптерећења поклапа са положајем оптерећења у појасу услед општег савијања носача.

$$I_x = \frac{4,5^4}{12} + 4,5^2(12,25 - 8,8)^2 + 271 + 18,356 \cdot 3,8^2 = 811 \text{ cm}^4 \quad (8.30)$$

$$I_y = 271 + \frac{4,5^4}{12} = 305 \text{ cm}^4 \quad (8.31)$$

$$A^* = 9,5^2 = 90,25 \text{ cm}^2 \quad (8.32)$$

Усваја се да постоји ексцентрицитет вертикалне силе притиска точка колица $e = 1,5 \text{ cm}$, док се за силу F_{1H} узиме растојање до тежишта саме цеви $e_0 = 9,5 \text{ cm}$, тако да момент увијања износи:

$$M_z = F_{1e} + F_{1H} 9,5 = 25,76 \cdot 1,5 + 2,32 \cdot 9,5 = 60,68 \text{ kNcm} \quad (8.33)$$

При положају точка у средини поља појаса, меродавни момент износи:

$$M_t = \frac{1}{2} M_z = 30,34 \text{ kNcm} \quad (8.34)$$

Моменти услед локалног савијања појаса износе:

$$M_{VI} = \frac{F_1 a}{6} = \frac{25,6 \cdot 100}{6} = 429,3 \text{ kNcm} \quad (8.35)$$

$$M_{HI} = \frac{F_{1H} a}{6} = \frac{2,32 \cdot 100}{6} = 38,67 \text{ kNcm} \quad (8.36)$$

Доказ напона гласи:

$$\sigma_1 = \frac{M_{VI}}{I_x} y + \frac{M_{HI}}{I_y} x = \frac{429,3}{811} 8,8 + \frac{38,67}{305} 5 = 5,29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (8.37)$$

$$\tau_1 = \frac{M_t}{2A\delta} = \frac{30,34}{2 \cdot 90,25 \cdot 0,5} = 0,34 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (8.39)$$

$$\sigma_\mu = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2} = \sqrt{5,29^2 + 3 \cdot 0,34^2} = 5,35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{z,dop} = 16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (8.40)$$

- Доњи појас: Штапови доњег појаса конзолног носача су изложени напрезању услед притиска, па је потребно проверити њихову стабилност на извијање:

$$U_{max} = U_{5V} = -220,565 \text{ kN} \quad (8.41)$$

Усваја се шавна цев $\square 100 \cdot 100$ ($\delta = 5$), материјал Č0361.

Доказ напона гласи:

$$\sigma_z = \frac{|U_{max}|}{A} = \frac{220,565}{18,356} = 12 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (8.42)$$

Доказ стабилности гласи:

$$\lambda = \frac{\beta l}{i_{min}} = \frac{1 \cdot 100}{3,78} = 26,45 \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_v} = \frac{26,45}{92,9} = 0,28 \quad (8.43)$$

λ -виткост штапа

Крива извијања за квадратне цеве је (А), па је коефицијент $\chi = 0,98$

$$\sigma_N = \frac{|U_{max}|}{A} \leq \chi \sigma_{z,dop} \quad \chi \sigma_{z,dop} = 0,98 \cdot 16 = 15,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (8.44)$$

$$\sigma_N = 12 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 15,7 \quad (8.45)$$

Штап U_6 има већу дужину извијања, али нешто мању силу притиска, тако да се мора извршити провера његове стабилност.

$$U_6 = -187,498 \text{ kN} \quad (8.46)$$

$$\sigma_N = \frac{|-187,498|}{18,356} = 10,2 \frac{kN}{cm^2} < \sigma_{i,dop} = 15,24 \frac{kN}{cm^2} \quad (8.47)$$

$$\lambda = \frac{141}{3,78} = 37,3; \quad \bar{\lambda} = \frac{37,3}{92,9} = 0,4; \quad \chi = 0,9528; \quad (8.48)$$

$$\sigma_{i,dop} = \chi \sigma_{z,dop} = 0,9528 \cdot 16 = 15,24 \frac{kN}{cm^2} \quad (8.49)$$

Дијагонале:

$D_{max} = D_7 = -123,496 \text{ kN}$ – штап је притиснут

За дијагонале се усвајају шавне квадратне цеви:

$\square 70 \cdot 70$ ($\delta = 4$), $A = 10,148 \text{ cm}^2$, $i_x = i_y = 2,61 \text{ cm}$, материјал Č. 0361.

Доказ стабилности гласи:

$$\sigma_N = \frac{|D_{max}|}{A} = \frac{|-123,498|}{10,148} = 12,17 \frac{kN}{cm^2} < \sigma_{i,dop} = 14,39 \frac{kN}{cm^2} \quad (8.50)$$

$$\lambda = \frac{141,4}{2,61} = 54,18; \quad \bar{\lambda} = \frac{54,18}{92,9} = 0,58; \quad \chi = 0,8991; \quad (8.51)$$

$$\sigma_{i,dop} = \chi \sigma_{z,dop} = 0,8991 \cdot 16 = 14,39 \frac{kN}{cm^2} \quad (8.52)$$

Вертикале:

Вертикала V_7 није изведена као штап већ она представља сложенији део носеће конструкције конзолног крана, па је при димензионисању штапова решетке не треба узети у обзир.

Као меродавна сила за димензионисање вертикала узима се:

$$V_{max} = V_6 = -45,39 \text{ kN} \quad (8.53)$$

Вертикале су изведене од квадратних шавних цеви:

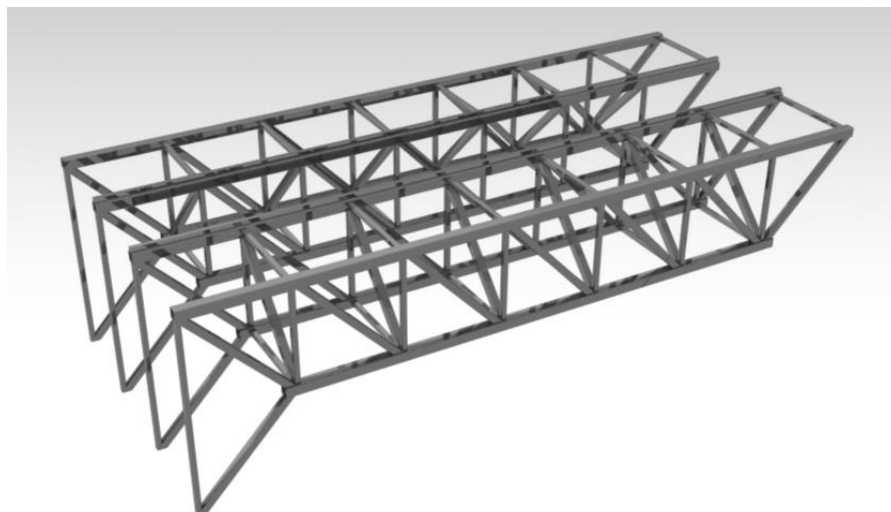
$\square 50 \cdot 50$ ($\delta = 4$), $A = 6,948 \text{ cm}^2$, $i_x = i_y = 1,77 \text{ cm}$, материјал Č. 0361.

Доказ стабилности гласи:

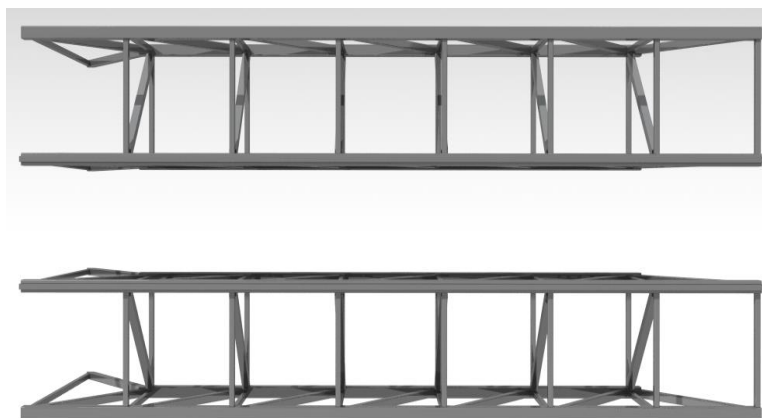
$$\sigma_N = \frac{|-45,39|}{6,948} = 6,53 \frac{kN}{cm^2} < \sigma_{i,dop} = 14,24 \frac{kN}{cm^2} \quad (8.54)$$

$$\lambda = \frac{100}{1,77} = 56,5; \quad \bar{\lambda} = \frac{56,5}{92,9} = 0,6; \quad \chi = 0,89; \quad (8.55)$$

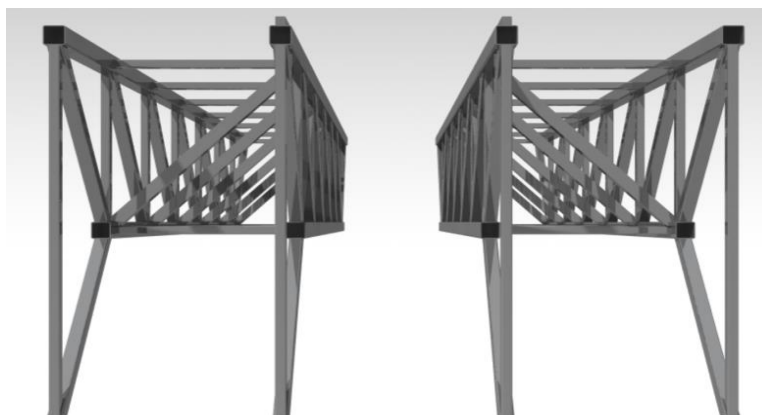
$$\sigma_{i,dop} = \chi \sigma_{z,dop} = 0,89 \cdot 16 = 14,24 \frac{kN}{cm^2} \quad (8.56)$$



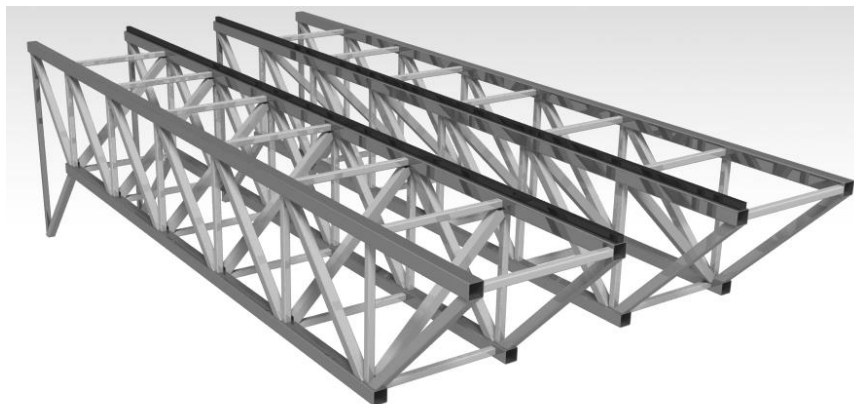
Слика 8.9 – Моделирање стреле дизалице у програму Catia



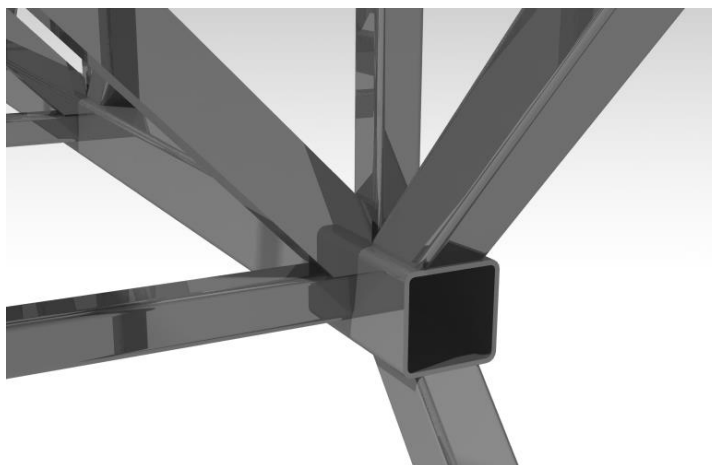
Слика 8.10 - Поглед одозго



Слика 8.11 – Задња страна стреле дизалице



Слика 8.12 - 3D приказ стреле дизалице



Слика 8.13. –Приказ чвора изведеног заваривањем

9. Закључак

Циљ овог рада је да прикаже начин прорачуна и конструисања раванских решеткастих носача као и њихову примену.

Решеткасти носачи се најчешће користе у случајевима када конструкција треба да пренесе оптерећења прековеликог распона или дохвата и када је примена пуних лимених носача нерационална. Састоје се од појасних штапова (горњи и доњи појас) и штапова испуне (дијагонале и вертикале) и представљају конструкције које су рационалне за велике распоне и већа оптерећења. Зглобне везе крајева решетки називају се чворови. Веза између штапова испуне и појасних штапова остварује се преко чворног лима или директно, тако да разликујемо два типа конструкција: решеткасти носачи са чворним лимом и решеткасти носачи без чворног лима.

Примењују се у свим типовима објекта, од индустријских хала, објеката високоградње до спортских дворана. Честа им је примена у зградарству: подни носачи, рожњаче, кровни носачи, крански носачи у индустријским халама, подвлаке, спреглови. Деле се према броју појасева, просторном положају, интензитету напрезања као и начину обликовања чворова.

Одређивање сила у штаповима раванске решетки може се одредити аналитичком и графичком методом. Аналитичке методе су метода чворова и метода пресека.

У раду је дат пример прорачуна и конструкције стреле дизалице са покретним оптерећењем. Силе су одређене коришћењем Максвелових утицајних коефицијената при различитим карактеристичним положајима терета (сила). За тако добијене силе у свим штаповима, које су табеларно приказане ради лакшег праћења, димензионише се цео решеткасти носач. Провера напона ради се за штапове за које је процењено да су највише оптерећени. Наравно појасни штапови су изложени сложенем напонском стању и провера напона се врши према шестој Хубер-Мизес-Хенкијевој хипотези. Такође је важна провера вертикала и дијагонала које су притиснуте због опасности да се извију. Дат је графички и табеларни приказ утицајних линија сила у штаповима главне вертикалне и хоризонталне решетки као и моделирање стреле дизалице у софтверу *Catia*.

Решеткасти носачи се веома често користе у индустрији и зградарству тако да је важно добро познавати начине њиховог савременог прорачуна и конструисања.

Литература:

- [1] Буђевац Д., Марковић З. и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд 2007, Грађевинска књига, Београд, 1986.
- [2] □ Бабин Н., Бркљач Н., Шостаков Р., Металне конструкције, ФТН издаваштво, Нови Сад 2006
- [3] Милосављевић М., Радојковић М. И Кузмановић Б., Основи челичних конструкција
- [4] Петковић З., Острић Д., Металне конструкције у машиноградњи, Институт за механизацију Машинског факултета у Београду, Београд, 1996
- [5] Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – Приручник за прорачуне, Машински факултет, Крагујевац, 1998.
- [6] <https://www.scribd.com/doc/115193277/66/Dizalice>
- [7] <http://budi.inzenjer.org>