



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Металне конструкције

Број индекса: 54/2011

Стефан В. Петровић

**Прорачун и конструисање раванских решеткастих
носача**

завршни рад

Комисија за одбрану:

1. **Др Весна Марјановић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- Опише улогу и примену раванских решеткастих носача
- Објасни правила за прорачун и конструисање решеткастих носача
- Да препоруке за конструисање носача
- Кроз конкретан пример прикаже ток прорачуна и конструкцију једног раванског решеткастог носача

Препоручена литература:

- [1] Буђевац Д., Марковић З. и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд, 2007.
- [2] Бабин Н., Бркљач Н., Шостаков Р., Металне конструкције, ФТН издаваштво, Нови Сад, 2006.
- [3] 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 у Крагујевцу, 1998.

Крагујевац, март 2015.

ментор:

Др Весна Марјановић, ванр. проф.

Резиме:

У оквиру рада је извршено прикупљање, систематизација и анализа података везаних за раванске решеткасте носаче. Описана њихова улога, карактеристике и поделе, односно сви битни елементи једног решеткастог носача. Објашњен је и поступак прорачуна и конструисања решеткастих носача. Такође је, на конкретном примеру приказан ток прорачуна и конструисање једног чвора раванског решеткастог носача. Димензионисани су сви штапови који улазе у чвор и њихове заварене везе са чворним лимом.

Кључне речи: решеткасти носач, чворни лим, појасни штап

Abstract

As part of the work was done the collection, systematization and analysis of data related to planar trusses. The roles, characteristics and divisions, ie. all the essential elements of a planar truss, are described. It is also explained the process of budget and construction of planar trusses. On a particular example, the calculation procedure and the construction of a node of planar truss is shown, too. All the sticks that are entering the node and their welded connections with the node lim are dimensioned.

Key words: planar truss, the node lim, girdle stick

Садржај

1.	Увод.....	2
2.	Примена решеткастих носача	3
2.1	Решеткасти носачи у мостоградњи.....	3
2.2	Решеткасти носачи у зградарству	5
2.3	Решеткасти носачи у машинској индустрији	7
3.	Подела решеткастих носача	8
4.	Основна правила за конструисање решеткастих носача.....	10
4.1	Облици решеткастих носача	11
4.2	Облици попречних пресека решеткастих носача	16
5.	Прорачун решеткастих носача.....	20
5.1	Прорачун штапова решеткастих носача	20
5.2	Прорачун и конструисање чворова решеткастих носача	27
5.2.1	Решеткасти носачи са чворним лимом	27
5.2.2	Решеткасти носачи без чворног лима	35
5.2.3	Решеткасти носачи од шупљих профила.....	37
6.	Пример прорачуна једног чвора раванског решеткастог носача	38
7.	Закључак	43
8.	Литература.....	44

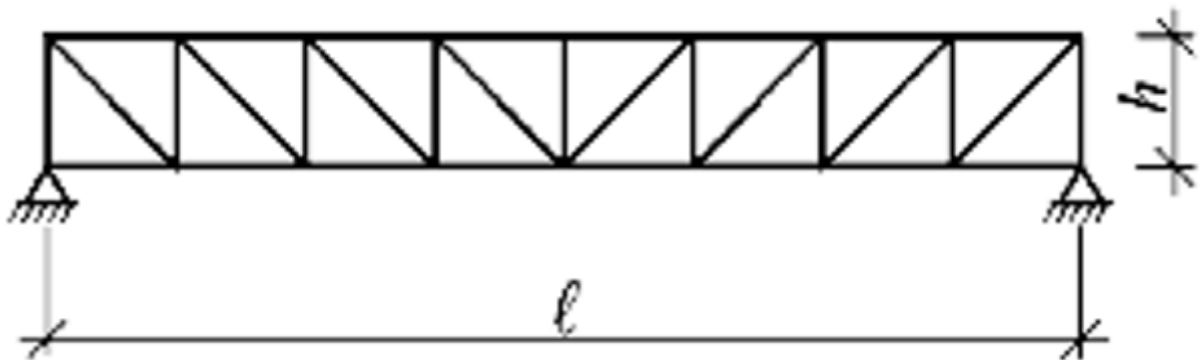
1. Увод

Под носачем се подразумева конструктивни елемент који под дејством оптерећења подлеже претежно деформацији савијања.

Жељом да се добију одговарајући носачи уз минималан утрошак материјала, настали су такозвани решеткасти носачи (слика 1.1). Састоје се од међусобно повезаних и већином аксијално оптерећених штапова испуне (дијагонале и вертикале) и појасних штапова који формирају троугаону структуру.

Како су штапови решеткастих носача углавном аксијално напрегнути дијаграм нормалних напона је константан, па се може остварити боље искоришћење напона него код пуних носача, код којих се, у области еластичног понашања, нормални напони линеарно мењају по висини попречног пресека. Код ових носача момент савијања преноси се напрезанем појасних штапова, а утицај трансверзалних сила преузимају штапови испуне. Ове особине резултују мањи утрошак материјала код решеткастих у односу на еквивалентне пуне носаче. Осим тога, решеткасти носачи пропуштају више светлости и омогућавају несметано провођење инсталација. Међутим, израда решеткастих носача захтева већи број радних операција, па је јединична цена решеткастих носача обично виша од цене пуних носача.

Као што је речено преношење момента савијања код решеткастих носача остварује се помоћу појасних штапова, а штапови испуне прихватају само смичуће силе. Из овога проистиче да се ови носачи углавном примењују за пријем тешких оптерећења и премошћавање већих распона, јер су у тим случајевима пуни носачи тешки и нерационални.



Слика 1.1 - Решеткасти носач

2. Примена решеткастих носача

У металним конструкцијама су бројни примери примене решеткастих носача. Осим што се примењују у изградњи мостова великих и малих распона, индустријских и неиндустријских хала, пољопривредних објеката, спратних зграда и спортских објеката у виду кровних и главних носача, тако се могу искористити и за изградњу специјалних објеката као што су цевоводи, силоси итд.

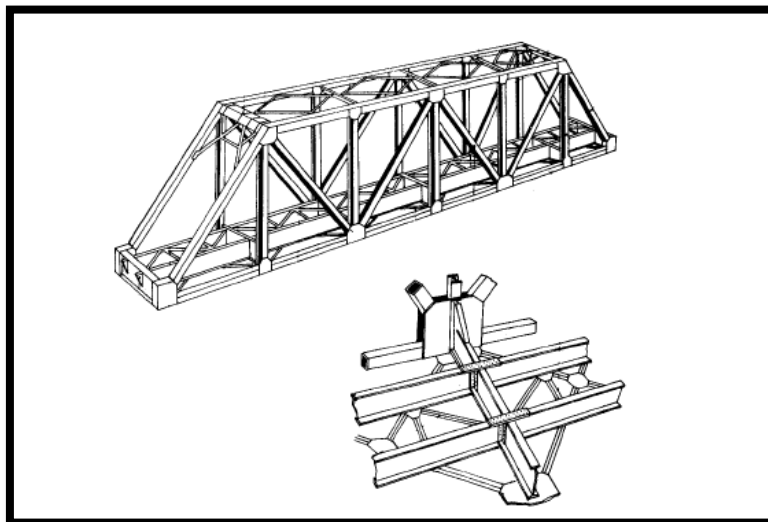
Ако се погледа историја градитељства, веома лако се може закључити да решеткасти носачи највећу примену имају у областима:

1. мостоградња
2. зградарство
3. индустрија

2.1 Решеткасти носачи у мостоградњи

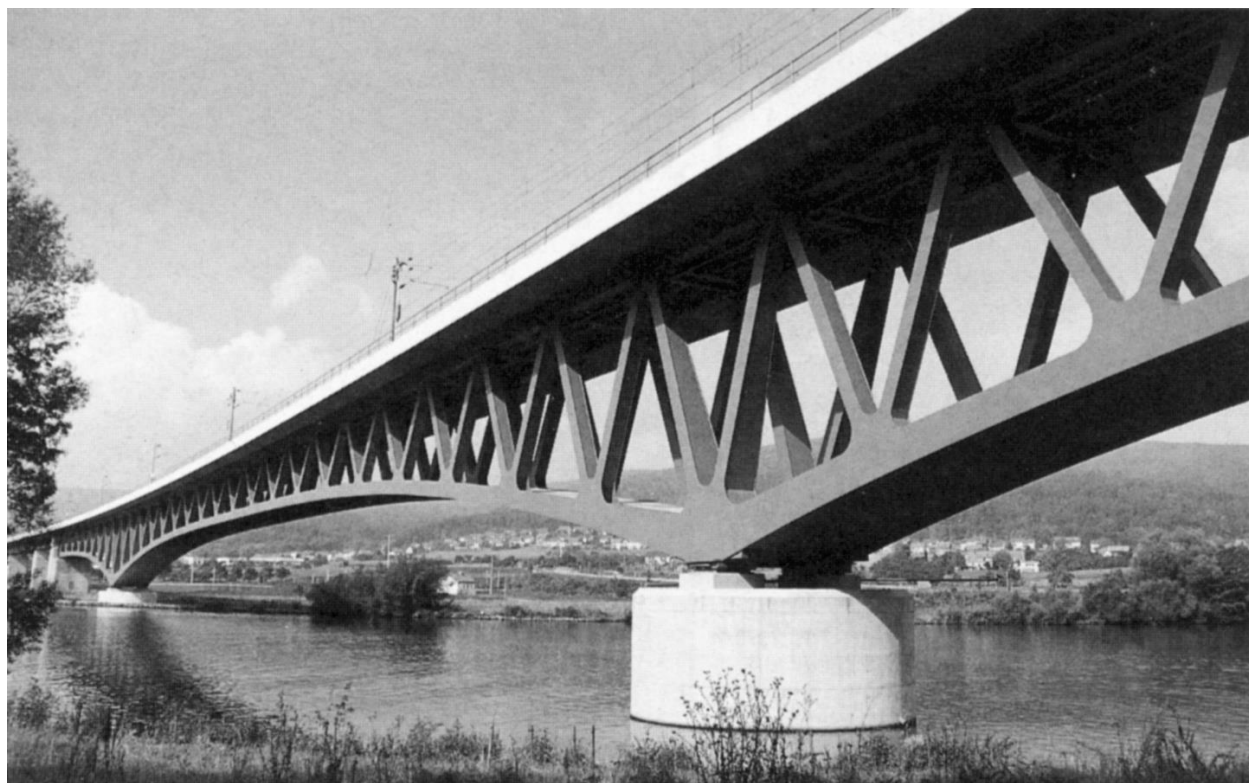
Слободно се може рећи да су мостови највећа достигнућа модерног градитељства. Велики удео у томе припада металним мостовима који држе бројне рекорде у виду распона, висине стубова, ширине коловозне табле. Велика носивост челика најбоље је искоришћена при изградњи мостова великих распона, различитих статичких и конструкцијских система.

У мостоградњи се решеткасти носачи користе као главни носачи код друмских, железничких и транспортних мостова у индустријским објектима. Осим тога, у мостоградњи је веома честа примена спрегова за стабилизацију, којима се обезбеђује пријем хоризонталних сила (ветар, сеизмика,...) и просторна стабилност конструкције. На слици 2.1 приказана је конструкција железничког моста са решеткастим главним носачима. Осим главних носача, решеткасте конструкције су и спрегови за пријем ветра и спрег за бочне ударе.



Слика 2.1 -Решеткасти носачи код железничког моста

Као посебно интересантни пример примене решеткастих носача при изradi мостова издваја се мост преко Рајне у Нантенбаху. Мост преко Рајне у Нантенбаху (слика 2.2) је тренутно рекордер у погледу распона у категорији мостова за брзе пруге. Статички систем овог моста је континуалан носач на три поља, распона $83,2+208+83,2$ метра. Главни носачи су два паралелно постављена челична решеткаста носача променљиве висине (од 8,5 до 16,5 метра), који су читавом дужином моста спрегнути са бетонском плочом на горњем појасу, а у зонама негативног момента, на средњим ослонцима и са бетонском плочом на доњем појасу. На овај начин, двоструким спрезањем, постигнута је знатно већа крутост конструкције, што представља доминантан захтев код оваквих мостова, а велика сила притиска у ослоначкој зони је "умирана" бетоном, што је знатно јефтиније решење.



Слика 2.2 - Мост преко Рајне у Нантенбаху

2.2 Решеткасти носачи у зградарству

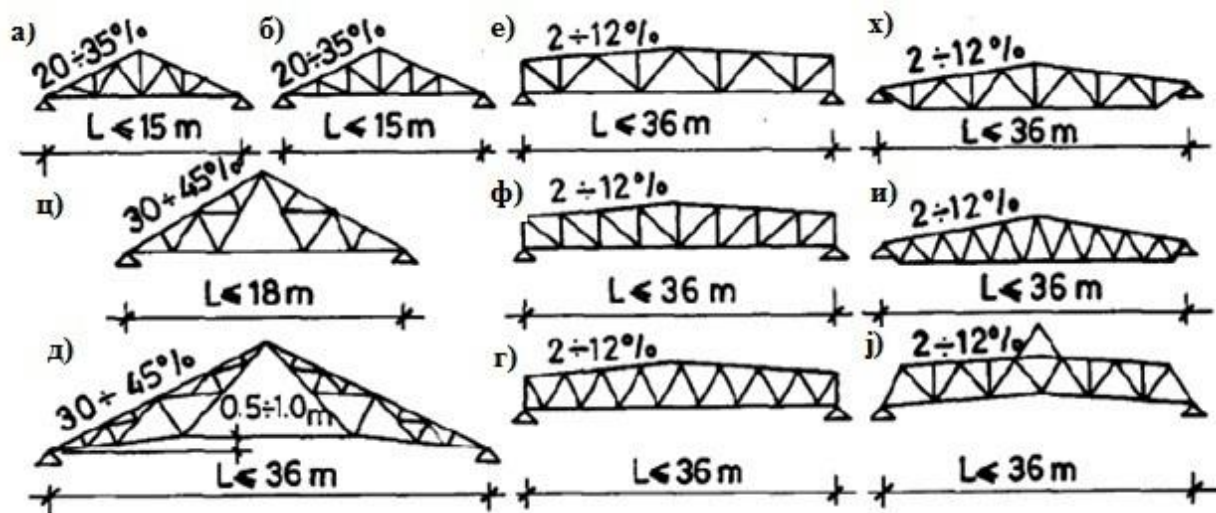
Најзаступљенија област грађевинарства у којој се користе челичне конструкције је зградарство. Примена решеткастих челичних конструкција у индустријској изградњи је изузетно велика, јер ове конструкције на најбољи начин прате све технолошке захтеве, омогућавају изградњу објеката великих распона, а реконструкција оваквих објеката услед промене технолошког процеса не представља већи проблем. Своју примену најчешће проналазе код индустријских хала (слика 2.3), складишта, спратних зграда, хангара, великих гаража, као и разних спортских, изложбених и конгресних сала.



Слика 2.3 - Индустријска хала у фази монтаже

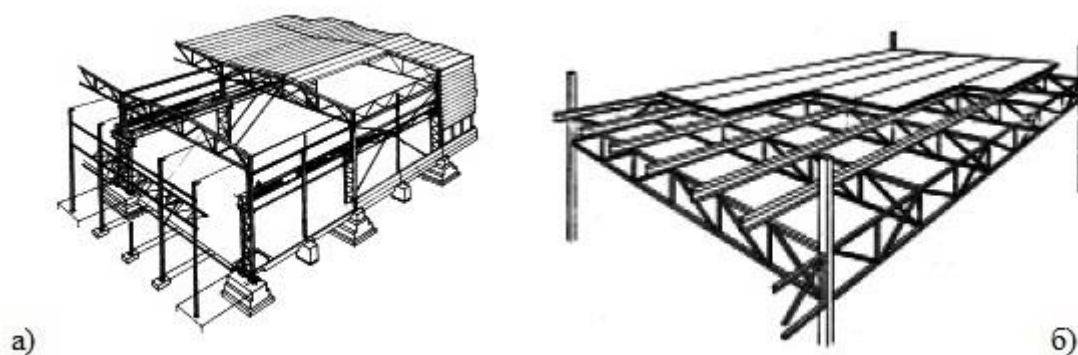
Једна од најчешћих примена решеткастих носача у овој области је за кровне носаче. Горњи појас решеткастих носача обично прати нагиб кровне површине, док је доњи појас хоризонталан или код већих распона изломљен на горе. При конципирању испуне решеткастих носача треба се руководити правилом да притиснути штапови буду што краћи, а затегнути што дужи.

Висина решеткастих кровних носача код трапезних и полигоналних облика у средини износи $L/8$ до $L/10$, а уз ослонац $L/10$ до $L/15$. На слици 2.4 су приказани неки облици кровних носача.



Слика 2.4 – Облици кровних носача

На слици 2.5 приказано је неколико карактеристичних решеткастих носача који се примењују у зградарству. Једна индустријска хала са решеткастим кровним носачима и стубовима приказана је на слици 2.5а. Пример међуспратне конструкције коју сачињавају решеткасти подни носачи и подвлаке приказан је на слици 2.5б.



Слика 2.5 – Примена решеткастих носача у зградарству

2.3 Решеткасти носачи у машинској индустрији

У индустрији најзначајније је пројектовање кранских носача великог распона, као и конструкција носача код рото багера код којих је основна конструкција решеткастог облика.



Слика 2.6 – Крански носач великог распона



Слика 2.7 – Рото багер

3. Подела решеткастих носача

На основу приказаних примера може се уочити разноликост облика и положаја раванских решеткастих носача и може се закључити да ова врста носача спада у двопојасне решеткасте носаче (слика 3.1) јер системне линије свих штапова носача леже у једној равни.. Имајући у виду ове, али и друге разлике које се, пре свега, односе на конструкцијско обликовање и димензије, извршена је подела решеткастих носача како би се омогућила извесна систематизација. Подела ових решеткастих носача може да се изврши на основу више критеријума:

1. према броју појасева
2. према просторном облику
3. према интензитету оптерећења
4. према начину обликовања чворова

Према броју појасева решеткасте носаче делимо на:

- двопојасне
- вишепојасне

Према просторном облику решеткасти носачи се деле на:

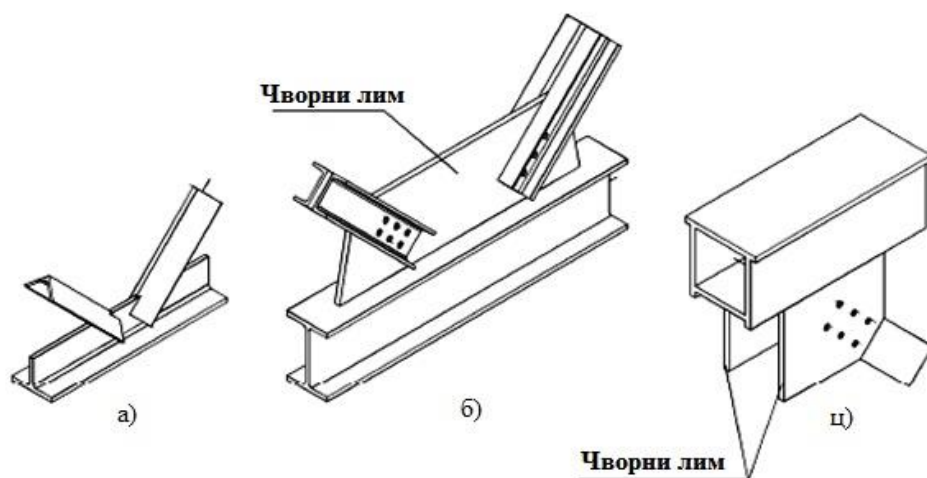
- раванске решеткасте носаче
- просторне решеткасте носаче

Према интензитету оптерећења решеткасти носачи се деле на:

- лаке,
- средње тешке и
- тешке.

Лаки решеткасти носачи (слика 3.1а) 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 (слика 3.1б) се примењују за веће распоне и оптерећења значајног интензитета, и то углавном као кровни и подни носачи, или као крански носачи у индустријским објектима. Као штапови оваквих решеткастих носача користе се претежно тешки ваљани профили (U, I, IPE, HEA, HEВ...) једноделног или вишеделног пресека.



Слика 3.1 - Подела решеткастих носача према интензитету напрезања
а) лаки носачи, б) средње тешки, ц) тешки решеткасти носачи

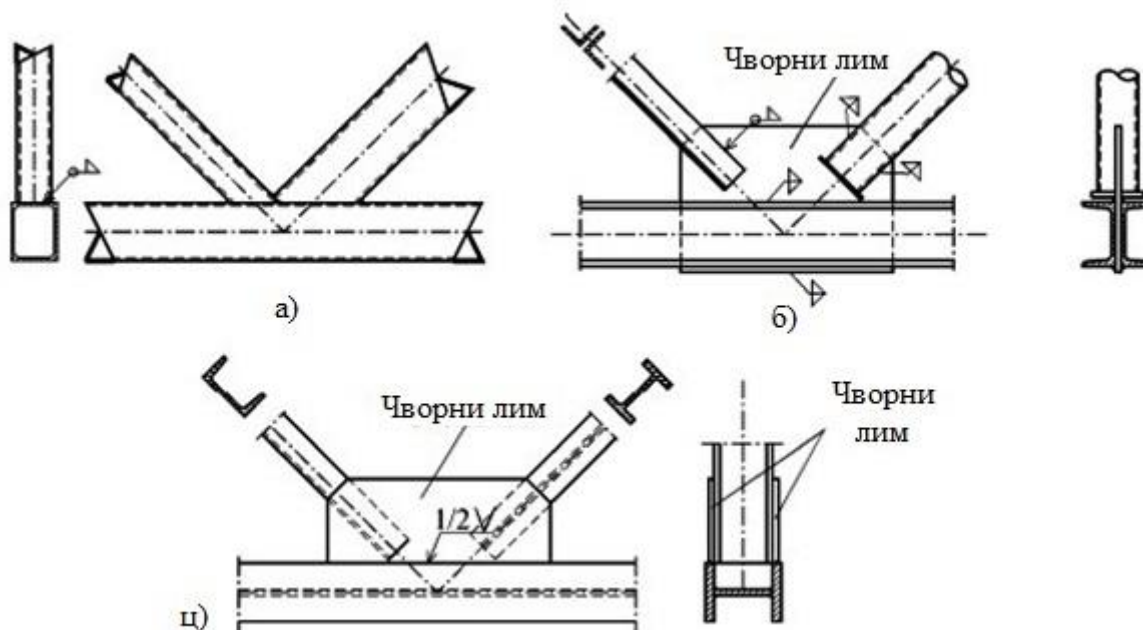
Тешки решеткасти носачи (слика 3.1ц) се по правилу примењују код изузетно великих распона и оптерећења. Најчешће је то случај са главним мостовским носачима, који се изводе као решеткасти носачи за распоне од 30 до 100 метара. Такође се примењују и као кровни носачи изузетно великих распона, какви се често срећу код спортских и конгресних дворана, изложбених хала, стадиона итд. Штапови тешких решеткастих носача се углавном изводе у завареној изради и то сандучастих, шеширастих или I попречних пресека.

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

1. решеткасте носаче без чворног лима и
2. решеткасте носаче са чворним лимом
 - а) у једној равни (једнозидни решеткасти носачи)
 - б) у две паралелне равни (двозидни решеткасти носачи)

Решеткасти носачи без чворног лима су носачи код којих се веза у чвору остварује директним везивањем штапова испуне за појасне штапове, било завртњевима или заваривањем. Без чворног лима се најчешће израђују лаки решеткасти носачи, али се такође могу конструисати и средње тешки носачи од хладно обликованих профила затвореног (кружног или квадратног) попречног пресека (слика 3.2а).

Решеткасти носачи са чворним лимом су носачи код којих се штапови испуне за појасне штапове прикључују помоћу посебних, додатних лимова, који се називају чворни лимови. Решеткасти носачи код којих се за прикључак користи један чворни лим називају се једнозидни решеткасти носачи и примењују се за лаке и средње тешке носаче у зградарству (слика 3.2б). Када се веза остварује преко два чворна лима који леже у две паралелне равни, такви решеткасти носачи се називају *двозидни решеткасти носачи* (слика 3.2ц).



Слика 3.2 - Подела решеткастих носача према начину обликовања чворног лима

- а) решеткасти носач без чворног лима
- б) решеткасти носач са чворним лимом
- ц) двозидни решеткасти носач

4. Основна правила за конструисање решеткастих носача

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

1. Спољашње оптерећење треба да се уноси у решеткасти носач по правилу у чворовима.

На тај начин се избегава локално савијање појасних штапова, па су сви штапови изложени само дејству аксијалних сила. Међутим, код неких типова решеткастих носача, као што су на пример рожњаче, подни и крански носачи, ово правило не може да се испоштује. Оптерећење се код ових носача не уноси посредно, преко чворова, већ директно савијањем појасних штапова, па су услед овог локалног савијања појасни штапови узложени истовременом дејству аксијалне силе и момента савијања. Стога, у оваквим случајевима, појасне штапове преко којих се директно уноси оптерећење треба димензионисати према правилима за ексцентрично притиснуте, односно затегнуте елементе, зависно од знака аксијалне силе.

2. Дужина притиснутих штапова треба да буде што мања

Поштовањем овог правила повећава се отпорност притиснутих штапова на извијање, јер је, као што је познато, критична сила еластичног извијања обрнуто пропорционална квадрату дужине. Смањење дужине притиснутог појаса може да се оствари прогушћавањем мреже решеткастог носача, односно уметањем вертикала и образовањем нових чворова.

3. Углови под којима се сустичу штапови решеткастих носача треба да буду већи од 30° .

У супротном, да би се оствариле везе, било у завареној изради или помоћу завртњева, неопходни су дугачки и неправилни чворни лимови, а саме везе су тешко приступачне и дугачке. Код решеткастих носача са простом дијагоналном испуном најповољније је да дијагонале са појасним штаповима заклапају угао од 60° . У случају решеткастих носача са вертикалама и дијагоналама, угао од 45° представља оптимално решење.

4. Штапови решеткастих носача треба да буду прави између чворова.

Криве или коленасте штапове треба избегавати јер се код њих, због одступања од замишљене праве линије која спаја суседне чворове, јављају локални momenti савијања.

5. Монтажне наставке појасних штапова треба предвидети непосредно уз чворове, са стране мање напрегнутог штапа.

На овај начин монтажни наставци су ослобођени евентуалних секундарних утицаја од извијања штапова и оптерећени су мањим силама, па се постиже уштеда на спојним средствима. Постављање монтажних наставки тачно на месту пресека системних линија штапова знатно компликује и поскупљује његову израду.

6. Појасни штапови треба да буду прави у оквиру једног монтажних комада.

На овај начин се избегавају релативно скупи радионички наставци. Уколико је пак неопходна промена правца у оквиру једног монтажних сегмента, она треба да се оствари у чвору како би штапови испуне прихватили скретне силе.

4.1 Облици решеткастих носача

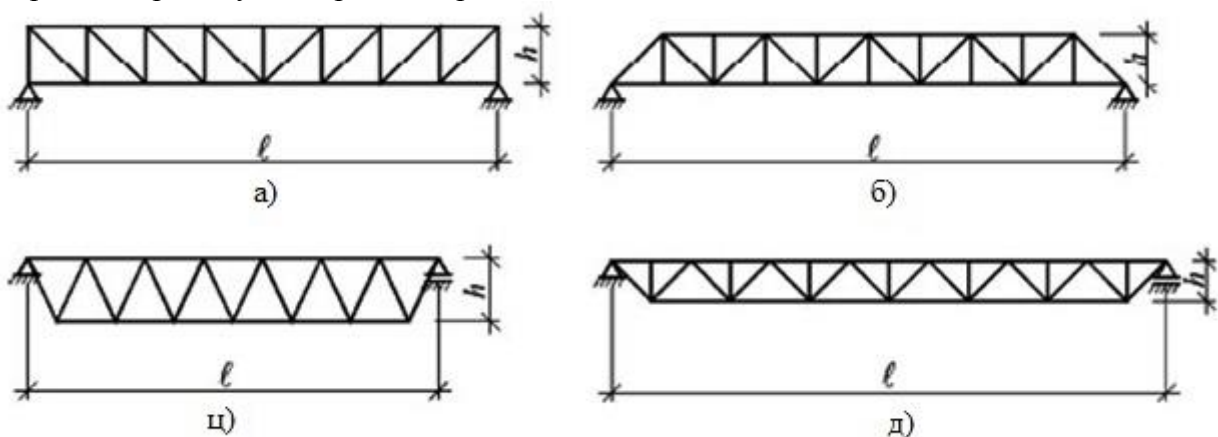
За решеткасте носаче се, углавном, користе статички системи који су у примени и код пуних носача. Најчешће се примењују просте греде, континуални носачи, конзоле и лучни носачи. У зависности од статичког система, функције носача, типа конструкције и интензитета оптерећења, решеткасти носачи имају различите облике и димензије. Њихов облик дефинисан је геометријом појасних штапова, односно спољашњом контуром носача.

По свом облику решеткасти носачи могу да буду :

1. решеткасти носачи са паралелним појасом,
2. решеткасти носачи са горњим појасом у нагибу,
3. решеткасти носачи са параболичним појасом.

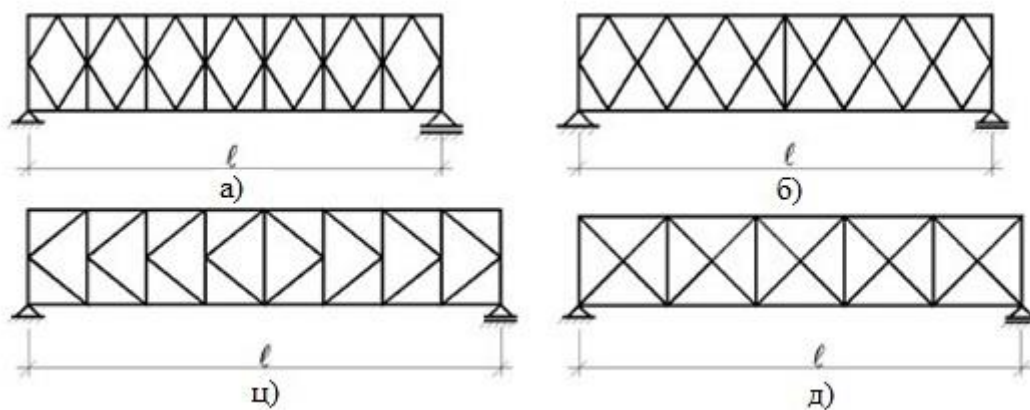
Решеткасти носачи са паралелним појасевима могу да буду правоугаоног (слика 4.11а) или трапезасетог облика (слика 4.11б), уколико су изостављене ослоначке вертикале. У високоградњи се најчешће примењују као рожњаче, подни носачи, подвлаке, спрегови и крански носачи, а у мостоградњи као главни носачи и спрегови. Рационална висина решеткастих носача са паралелним појасевима креће се у опсегу од $\ell/10$ до $\ell/15$ за лаке носаче као што су рожњаче, односно од $\ell/7$ до $\ell/9$ за тешке носаче (нпр. главни мостовски носачи), где је ℓ распон носача. Наведене вредности односе се на решеткасте носаче статичког система просте греде, док се за континуалне носаче могу усвојити нешто мање висине, па се тако на пример код мостовских носача висина креће од $\ell/9$ до $\ell/12$. Распони решеткастих носача са паралелним појасевима варирају од минималних, који се крећу од 10 до 18 метара за рожњаче и подне носаче, до максималних, који у појединим случајевима премашују 100 метара (мостовски носачи).

Позиција штапова испуне зависи од низа фактора као што су: распон носача, висина носача, положај и карактер оптерећења итд. Када спољашње оптерећење не мења смер деловања, као што је случај са вертикалним гравитационим оптерећењем, односно ако нема алтернативног напрезања, дијагонале решеткастих носача са паралелним појасевима треба да падају према средини, симетрично са обе стране (слика 4.11а). На тај начин су све дијагонале затегнуте што је веома рационално са становишта утрошка материјала, јер притиснути штапови због извијања захтевају знатно робусније попречне пресеке. Међутим, најрационалнија је примена просте решеткасте испуне, која је састављена искључиво од дијагонала (слика 4.11ц). 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 4.11д), како би се смањила дужина извијања притиснутог појаса у равни решеткастог носача и омогућило увођење оптерећења преко гушће мреже чворова.



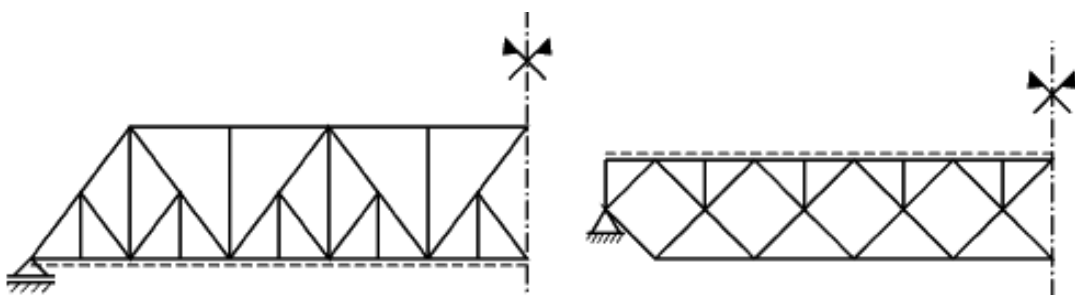
Слика 4.11 - Решеткасти носачи са паралелним појасевима

Решеткаста укрућења - спрегови се готово искључиво изводе као носачи са паралелним појасевима. Најчешће се као спрегови користе решеткасти носачи са ромбичном испуном, К-испуном или са укрштеним дијагоналама. Ромбична испуна (слика 4.12а) се најчешће примењује за спрегове за пријем ветра код мостовских носача. Овакав облик испуне је посебно повољан, јер обезбеђује придржавање притиснутих штапова у срединама распона, па је на тај начин дужина извијања притиснутог појаса једнака половини дужине штапа. Код спрегова са ромбичном испуном могу да се изоставе вертикале, изузев једне, обично средње, која обезбеђује стабилну троугаону структуру (слика 4.12б). Спрегови са К-испуном (слика 4.12ц) 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 подједнако ефикасно и у зградарству и у мостоградњи. Спрегови са укрштеним дијагоналама (слика 4.12д) се примењују код претежно мирног оптерећења. Дијагонале се код оваквих спрегова димензионишу као затегнути штапови, јер се сматра да се изузетно витке притиснуте дијагонале извијају при врло малим силама и не могу учествовати у даљем преношењу оптерећења. Примена укрштених дијагонала је погодна када је спрег изложен алтернативном оптерећењу, па се овакви спрегови називају и алтернативни спрегови.



Слика 4.12 - Облици испуне код решеткастих укрућења – спрегова

Код мостовских носача изузетно великих распона примењују се решеткасти носачи са секундарном испуном (слика 4.13).



Слика 4.13 - Решеткасти носачи са паралелним појасевима и секундарном испуном

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

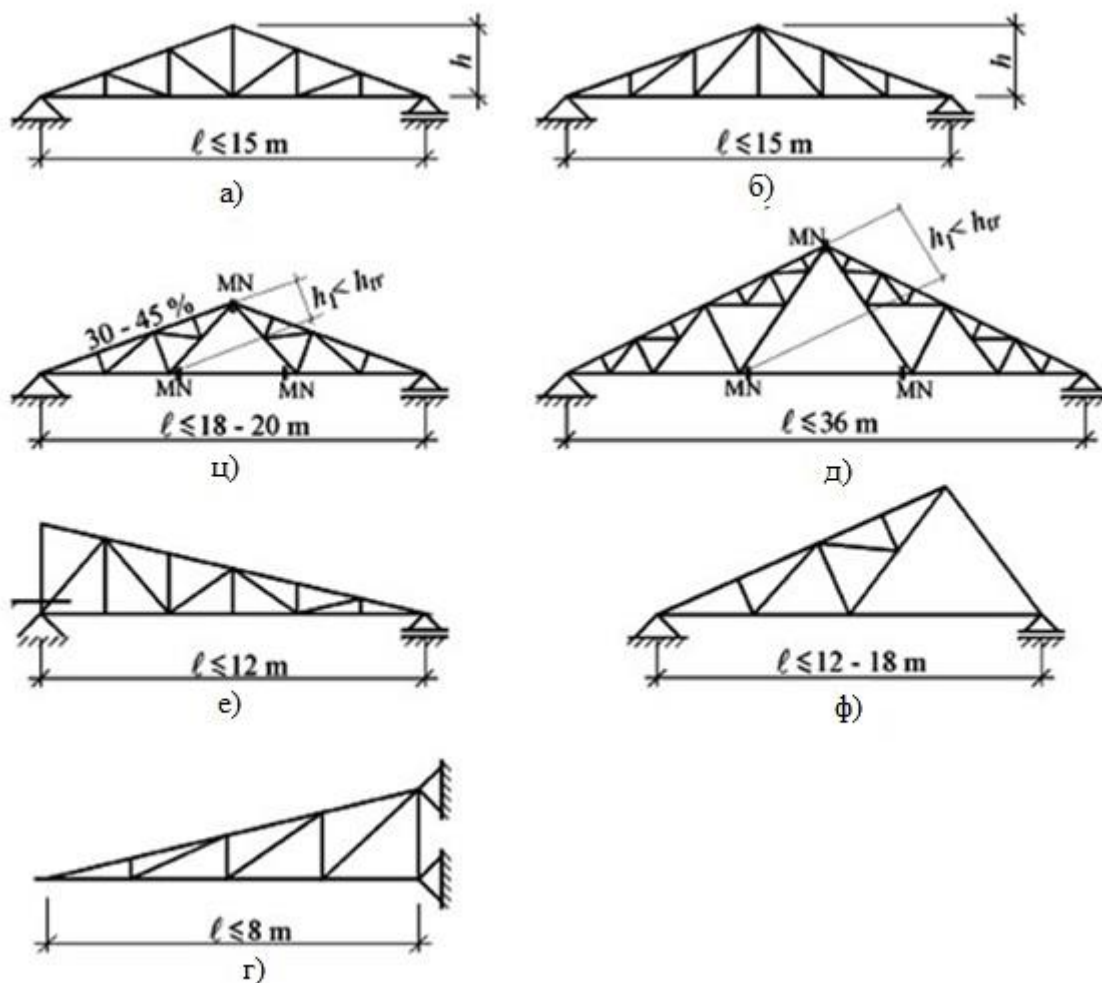
- троугаоне и
- полигоналне.

Троугаони решеткасти носачи (слика 4.14) 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 ($\ell / 6 \leq h \leq \ell / 4$). 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 4.14б). Максималан распон троугаоних решеткастих носача (слика 4.14а,б) условљен је транспортом. Имајући у виду да је максимална висина габарита за нормалан железнички транспорт 2,9 m, лако се може уочити да је примена троугаоних решеткастих носача ограничена на распоне до 15m.

Међутим, троугаони решеткасти носачи могу да се користе и за веће распоне (до 36 m), ако се штапови испуне обликују тако да се носач може поделити на монтажне секције које се уклапају у поменуте транспортне габарите (слика 4.14ц,д).

Несиметрични троугаони решеткасти носачи користе се као кровни носачи код кровова на једну воду, (слика 4.14е), затим код "шед"-кровова у индустријским објектима (слика 4.14г), али и као надстрешнице конзолног статичког система (слика 4.14ф).



Слика 4.14 - Троугаони решеткасти носачи

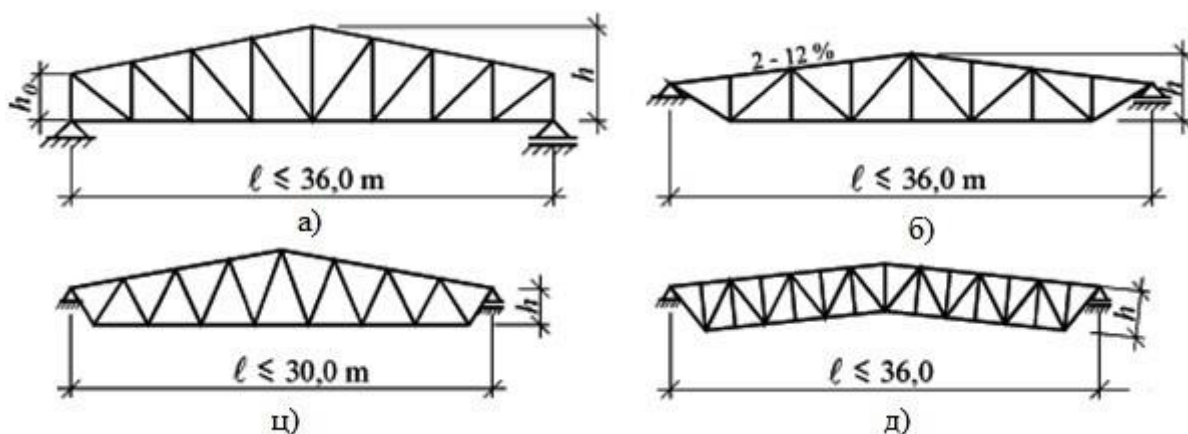
Полигонални решеткасти носачи се, за разлику од троугаоних, углавном примењују код кровних носача са благим нагибом (2-12%). Најчешће се користе као кровни носачи већих распона (од 18 до 36m), и то како у индустријским објектима тако и у објектима високоградње. Висина оваквих носача креће се у границама од $\ell / 10$ до $\ell / 14$, зависно од интензитета оптерећења.

Изостављањем ослоначких вертикала и подизањем осланаца до нивоа горњег појаса (слика 4.15б), обезбеђује се стабилност носача на претурање. Наиме, тежиште решеткастог носача се у том случају налази испод замишљене линије која спаја ослонце, па се она налази у стању стабилне равнотеже. Због тога се овакви решеткасти носачи називају аутостабилни носачи. 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 4.15а), јер обезбеђују стабилност носача на претурање.

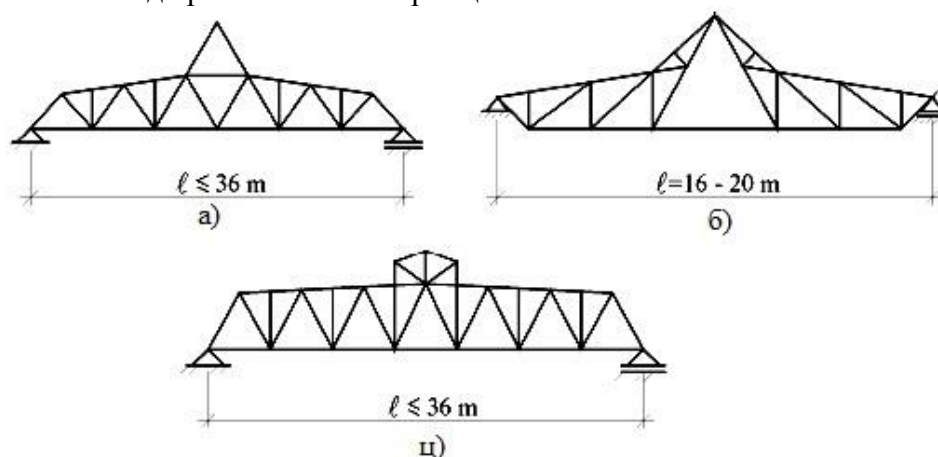
Као и код решеткастих носача са паралелним појасевима дијагонале су затегнуте ако су нагнуте ка средини (слика 4.15а). Због изостављања вертикала код решеткастих носача са простом дијагоналном испуном (слика 4.15ц) смањује се укупна тежина штапова, али се повећава дужина појасних штапова што резултује робуснијим попречним пресецима притиснутих штапова. Осим тога, због великог растојања између чворова, овакви носачи се не препоручују када се оптерећење уноси директно дуж читавог појаса.

Код лаких кровних покривача, услед "сишућег" дејства ветра, може да дође до алтернативног напрезања, које проузрокује притисак у штаповима доњег појаса. У том случају неопходно је местимично бочно придржавање доњег појаса. Бочно придржавање доњег појаса кровних носача често се обезбеђује применом рожњача са косницима. У том случају, да би се омогућило везивање косника, вертикале решеткастих кровних носача треба да леже у истој равни као и рожњаче, односно да са штаповима горњег појаса заклапају угао од 90° , јер су рожњаче углавном управне на кровну раван. Осим тога при обликовању кровних носача преко којих се постављају рожњаче са косницима, пожељно је да и доњи појас буде у нагибу (слика 4.15д), како би сви косници имали исту дужину.



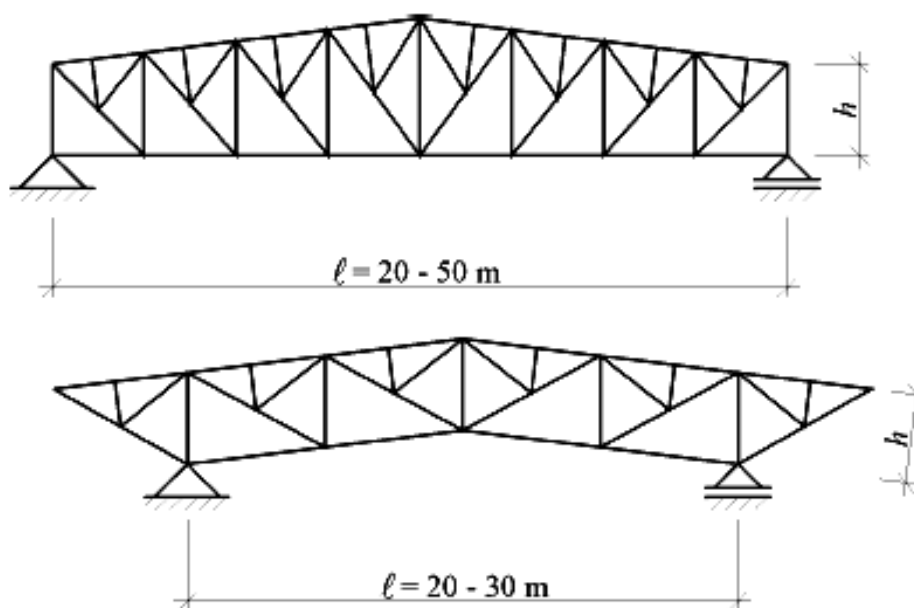
Слика 4.15 - Poligonalni rešetkasti nosači

Један од начина за обезбеђење природног осветљења у халама је примена светларника. Светларник може да буде изведен као засебна конструкција, која лежи на главном кровном носачу и омогућава постављање светлих површина. Међутим, посебним обликовањем решеткастих кровних носача може се постићи да они истовремено представљају и носећу конструкцију светларника. На слици 4.16 је приказано неколико карактеристичних примера кровних носача код кровова са светларницима.



Слика 4.16 - Решеткасти носачи код кровова са светларником

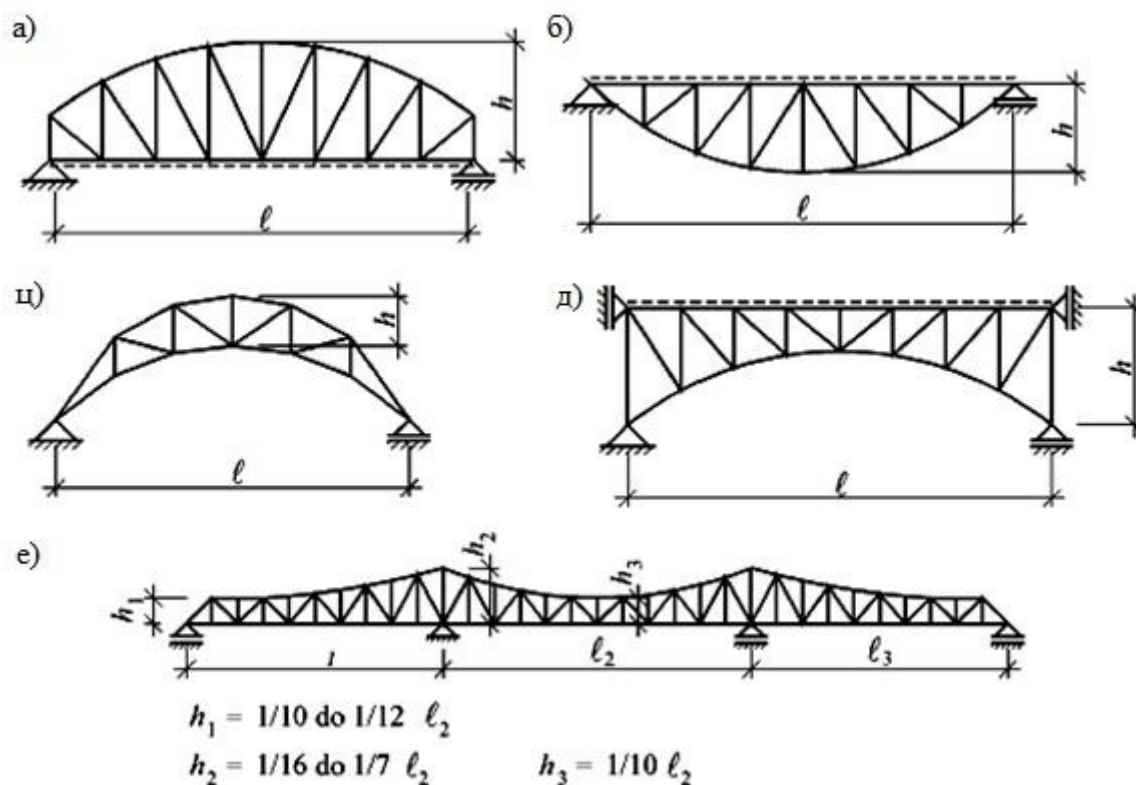
За кровне носаче већих распона користе се полигонални решеткасти носачи са секундарном испуном. Секундарна испуна поставља се како би се обезбедила гушћа мрежа чворова на горњем притиснутом појасу. Неки примери решеткастих носача са секундарном испуном приказани су на слици 4.17.



Слика 4.17 - Кровни носачи са секундарном испуном

Параболични решеткасти носачи 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 4.18а,б,д,е), али има решења и са оба параболична појаса (слика 4.18ц). Овакви решеткасти носачи су погодни, јер њихов облик може да се прилагоди дијаграму момената савијања. Примењују се у мостоградњи као главни мостовски носачи са саобраћајем на горњем (слика 4.18б,д) и доњем појасу (слика 4.18а,е) и као кровни носачи код параболичних (лучних) кровова. Што се тиче статичких система, најчешће се изводе као просте греде (слика 4.18а-ц), континуални носачи (слика 4.18е), укљештене греде (слика 4.18д) и лучни носачи.

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



Слика 4.18 - Параболични решеткасти носачи

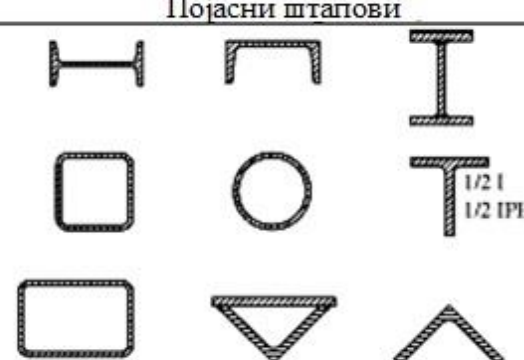
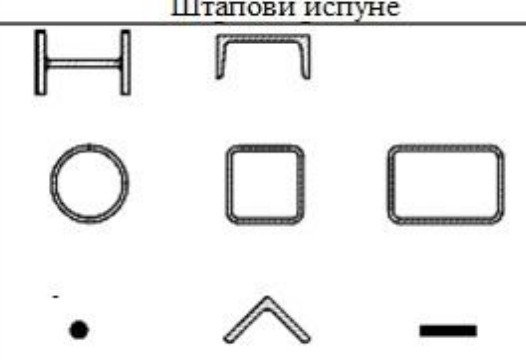
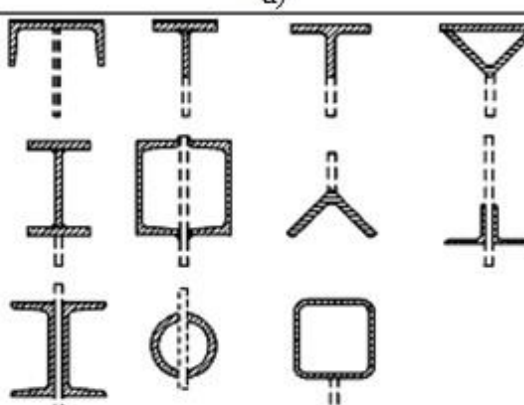
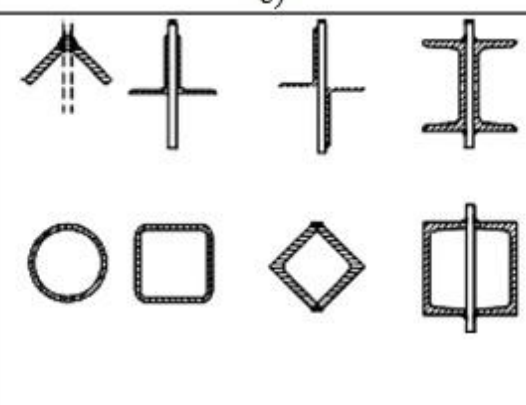
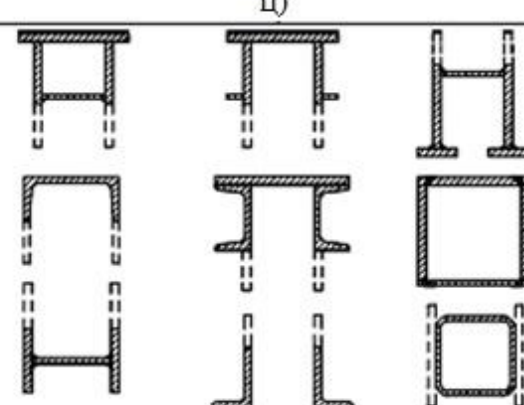
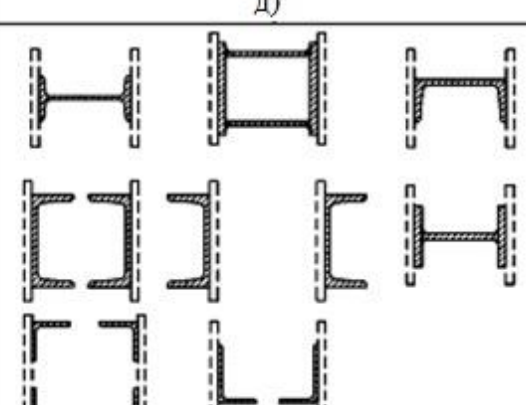
4.2 Облици попречних пресека решеткастих носача

Као штапови решеткастих носача користе се сви стандардни ваљани профили, како отвореног тако и затвореног попречног пресека као и попречни пресеци образовани заваривањем. Различити облици попречних пресека примењују се за:

- појасне штапове
- штапове испуне
- затегнуте штапове
- притиснуте штапове

Избор облика попречног пресека је јако велики и зависи од интензитета напрезања, начина конструкцијског обликовања веза у чворовима, положаја штапа у конструкцији (појасни или штап испуне) и предвиђене функције решеткастог носача. При томе треба водити рачуна да избор облика појасних штапова и штапова испуне буде у складу са предвиђеним обликовањем чворног лима. Ваљани профили се примењују као самостални, једноделни штапови или као саставни елементи вишеделних попречних пресека. Облици попречних пресека који се најчешће примењују приказани су у оквиру табеле 4.2.

Табела 4.2 - Облици попречних пресека штапова решеткастих носача

	Појасни штапови	Штапови испуне
Решеткасти носачи без чворног лима	 а)	 б)
Једнозидни решеткасти носачи	 ц)	 д)
Двостидни решеткасти носачи	 е)	 ф)

Као појасни штапови код решеткастих носача без чворног лима (табела 4.2а) се примењују ваљани L, U и I (I, IPE, HEA, NEB и NEM) профили, шупљи профили кружног, квадратног и правоугаоног попречног пресека и I-профили образовани заваривањем. Такође се користе и 1/2I-профили добијени сечењем стандардних И-профила. Код оваквих попречних пресека штапови испуне се везују преко ребра које има улогу чворног лима.

Штапови испуне код решеткастих носача без чворног лима (табела 4.2б) се директно, заваривањем, везују за појасне штапове.

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.

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

Код једнозидних решеткастих носача веза штапова испуне за појасне штапове се остварује индиректно, преко чворног лима. Као појасни штапови (табела 4.2ц) користе се стандардни ваљани производи, једноделног или вишеделног попречног пресека и профили образовани заваривањем. Чворни лим се за појасне штапове везује заваривањем или, ређе, завртњевима. Штапови испуне (табела 4.2д) су, углавном, ваљани L и U-профили и шупљи пресеци кружног и квадратног попречног пресека. Дводелни штапови се најчешће израђују од L и U-профила. За затегнуте штапове се примењују "леђима" окренути L или U-профили, док су за притиснуте штапове, због веће отпорности на извијање, повољнији унакрсно постављени L-профили. Због изједначене отпорности на извијање око обе главне осе инерције, сандучасти пресеци добијени заваривањем два L или U-профила, су посебно повољни за притиснуте штапове. Везе штапова испуне за чворни лим се остварују заваривањем или помоћу завртњева.

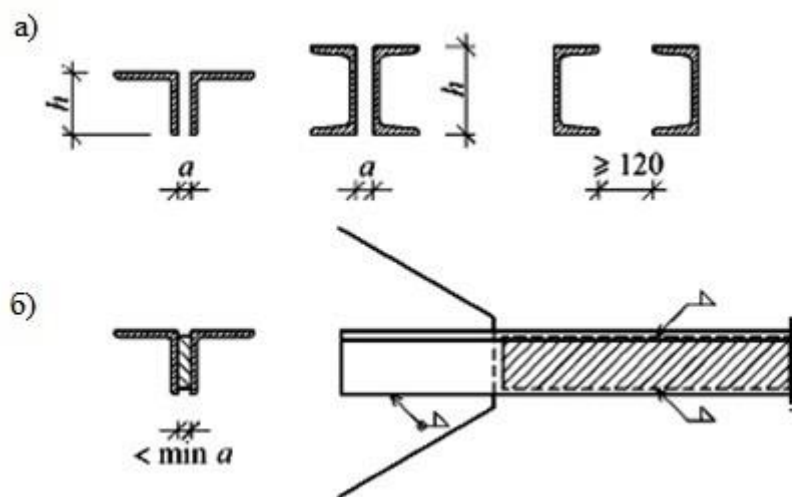
Чворни лимови се, код двозидних решеткастих носача, постављају у две паралелне равни, што омогућава постављање већег броја шавова, односно завртњева за везу штапова испуне. На овај начин могу да се пренесу значајне аксијалне силе, које се јављају код штапова испуне тешких решеткастих носача. Код оваквих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

Појасни штапови двозидних решеткастих носача (табела 4.2е) се израђују од ваљаних U, I и L-профила једноделног и дводелног попречног пресека и сандучастих, шеширастих и I-профила образованих заваривањем. Код мостовских решеткастих носача се, по правилу, примењују заварени сандучасти и шеширасти попречни пресеци и дводелни попречни пресеци образовани од два U-профила са или без ојачања. У зградарству, због мањих напрезања, појасни штапови се израђују од шупљих квадратних и правоугаоних попречних пресека, као и ваљаних U и U-профила. Затегнути појасни штапови могу да се формирају и од два разнокрака L-профила.

Попречни пресеци штапова испуне двозидних решеткастих носача (табела 4.2ф) 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. Док је код затегнутих штапова повезивање самосталних елемената конструктивне природе, пре свега ради очувања геометрије и спречавања оштећења при транспорту, код притиснутих елемената растојање тачака местимичног придржавања утиче на понашање штапа, а самим тим и на поступак прорачуна.

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



Слика 4.21 - Конструктивне мере код вишеделних попречних пресека у корозионо агресивном окружењу

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 nanoшење антикорозионих премаза при одржавању конструкције. У супротном овај међупростор треба испунити подметачем (слика 4.21б). Овај проблем је посебно актуелан код вишеделних пресека код којих се самостални елементи налазе на блиском растојању. Стога се прописује минимално растојање између самосталних елемената (слика 4.21):

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

5. Прорачун решеткастих носача

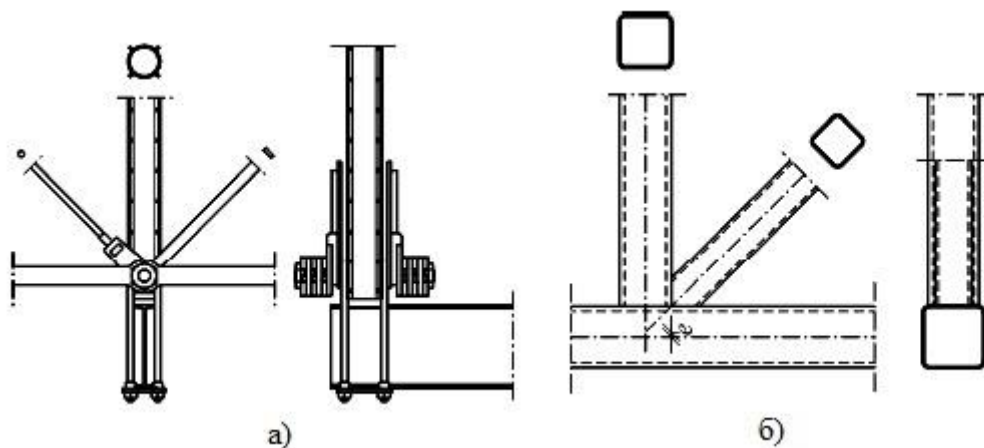
5.1 Прорачун штапова решеткастих носача

Приликом прорачуна, односно одређивања сила у штаповима решеткастих носача користи се прорачун који се заснива и на одређеним претпоставкама:

1. штапови идеално зглобно ослоњени,
2. осе штапова морају лежати у равни решетке и сећи се у једној тачки која представља геометријски чвор решетке (центрисање штапова)
3. оптерећење делује у чворовима (сопствена тежина штапова се може занемарити)

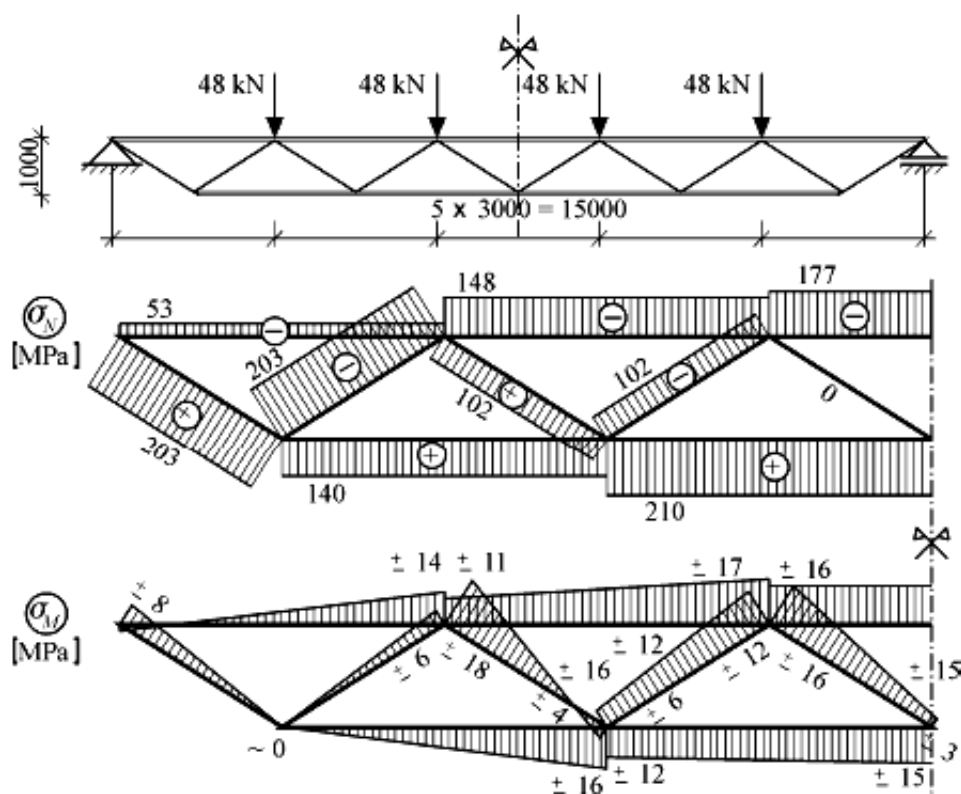
Применом ових претпоставки у великој мери се поједностављује поступак прорачуна јер су штапови изложени само дејству аксијалних сила.

У почетним фазама развоја челичних конструкција везе, у чворовима су образоване помоћу чепова и образних лимова (слика 5.1а), како би се омогућила несметана ротација штапова у чвору. Међутим, овакве везе су јако компликоване, тешке и естетски неповољне, а треће између образних лимова ипак ограничава слободно обртање. Због евидентних недостатака, последњих деценија се одустало од примене идеално зглобних веза са чеповима, већ 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). У индустрији се у задње време поново користе чепови зато што су напредком технологије њихове мане смањене.



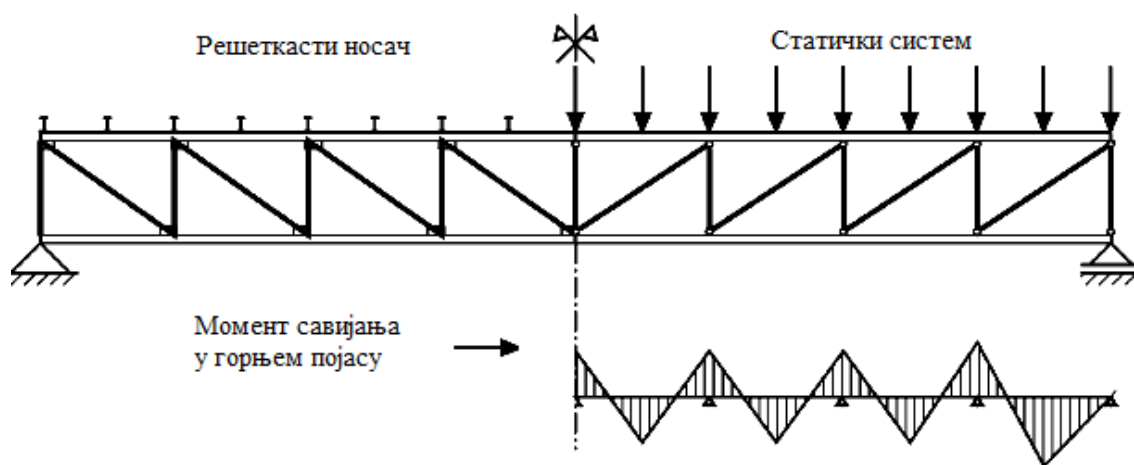
Слика 5.1 - Обликовања чворова решеткастих носача:
а) стари концепт; б) савремени једноставнији концепт

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 доказ може послужити пример на слици 5.2, на коме се може уочити да су нормални напони који се јављају услед аксијалних сила (σ_N) и преко десет пута већи у односу на напоне који су изазвани савијањем (σ_M). Моменти савијања у чворовима одређени су уз претпоставку о идеално крутим везама. Са друге стране, код већине веза изведених помоћу завртњева долази до извесне релативне ротације, услед поништавања зазора између врата завртња и рупе и због деформације прикључних елемената (нпр. чворних лимова), па су услед полукрутог понашања оваквих веза моменти савијања, а самим тим и секундарни напони, још мањи и могу да се занемаре.



Слика 5.2 – Примарна и секундарна оптерећења код решеткастих носача

Уколико се оптерећење уноси изван чворова решеткастог носача, као на пример код решеткастих рожњача и кранских носача, оно изазива локално савијање појаса дуж којег делује. Моменти савијања који су последица оваквог савијања између чворова не могу се занемарити, већ треба да се третирају као примарни утицаји. Према томе, појасне штапове треба димензионисати на комбиновано дејство аксијалне силе (притиска или затезања) и момента савијања. Због тога су, по правилу, појасни штапови знатно крући од штапова испуне, па се при прорачуну статичких утицаја, локални моменти савијања могу одредити применом поједностављеног модела (слика 5.3). Због своје релативно мале крутости, штапови испуне су ослобођени утицаја момената савијања, већ само обезбеђују ослањање континуалног појаса.



Слика 5.3 – Локално савијање појасних штапова

Силе у штаповима се одређују применом познатих метода Статике конструкција. Димензионисањем сваког појединачног штапа према силама које на њега делују добијају се решеткасти носачи минималне тежине.

Међутим, код појасних штапова трошкови израде радионичких наставака углавном превазилазе уштеде на тежини, па је само код носача већих распона оправдана промена попречног пресека дуж носача. Ова промена се најчешће не врши за сваки штап појединачно, већ се исти пресеци усвајају за групе суседних штапова оптерећених сличним силама, чиме се умањује број радионичких наставака. Код носача мањих распона економичнија је примена константног појаса дуж читавог распона.

Да би се избегли секундарни утицаји који потичу услед момената ексцентричности потребно је да се изврши центрисање штапова. Пре свега треба водити рачуна да попречни пресеци штапова имају барем једну осу симетрије, која треба да лежи у равни решеткастог носача, како би се обезбедило да тежишне линије свих штапова буду у истој равни. Осим тога, треба тежити да се тежишне линије појасних штапова и штапова испуне секу у чворовима носача. На овај начин се избегавају секундарни утицаји. Међутим, из конструктивних разлога некад није могуће испоштовати ово основно правило за конструисање решеткастих носача. Услед промене попречног пресека појасних штапова дуж носача чији појасни штапови имају облик Т-пресека (ваљани Т и 1/2I -профили и вишеделни пресеци од два "леђима" окренута угаоника), или услед несиметричног ојачања пресека, долази до померања тежишта. У оваквим случајевима се не врши центрисање свих појасних штапова према тежишним линијама, јер то доводи до скоковите спољашње ивице решеткастог носача што је конструкционо и естетски недопустиво. Код решеткастих носача са вишеструко променљивим попречним пресецима појасних штапова положај системне линије одређује се као аритметичка средина ивичних растојања (слика 5.4а):

$$a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n a_i$$

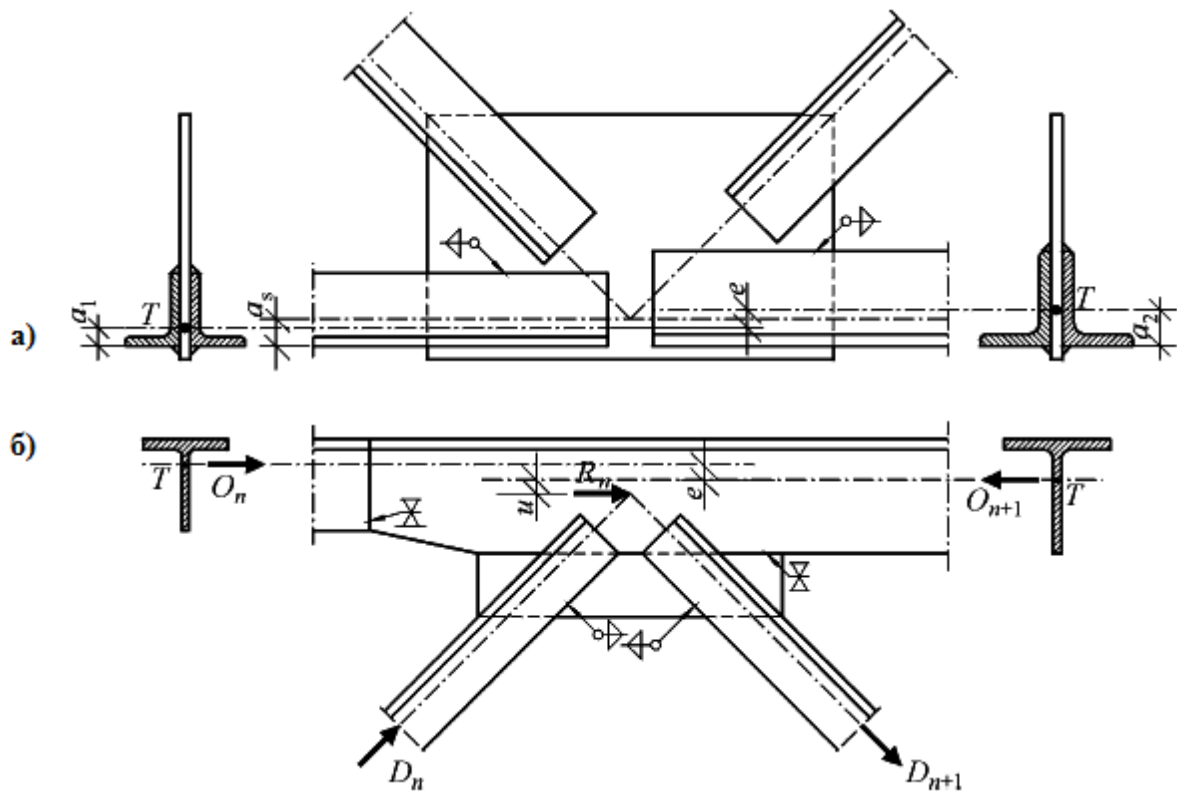
где је n број појасних штапова различитог попречног пресека.

На овај начин се секундарни утицаји своде на минималну меру, па се могу занемарити. Проблем центрисања појасних штапова променљивог пресека може да се превазиђе ексцентричним везивањем штапова испуне (слика 5.4б). Растојање за које је потребно ексцентрисати штапове испуне треба да се одреди из услова равнотеже чвора:

$$u = \frac{O_n \cdot e}{R_n} = \frac{O_n \cdot e}{O_{n+1} - O_n}$$

Приликом везивања штапова испуне увек треба тежити да се тежиште штапа поклапа са тежиштем спојних средстава, као би се избегли секундарни утицаји. Међутим, код L-профила који се веома често користе као штапови испуне не поклапају се тежишна оса и линија завртњева, па је ексцентрицитет неизбежан. У овом случају постоје две могућности за центрисање:

- према линији завртњева (слика 5.41а) или
- према тежишној линији (слика 5.41б).



Слика 5.4 – Центрисање појасева променљивог пресека

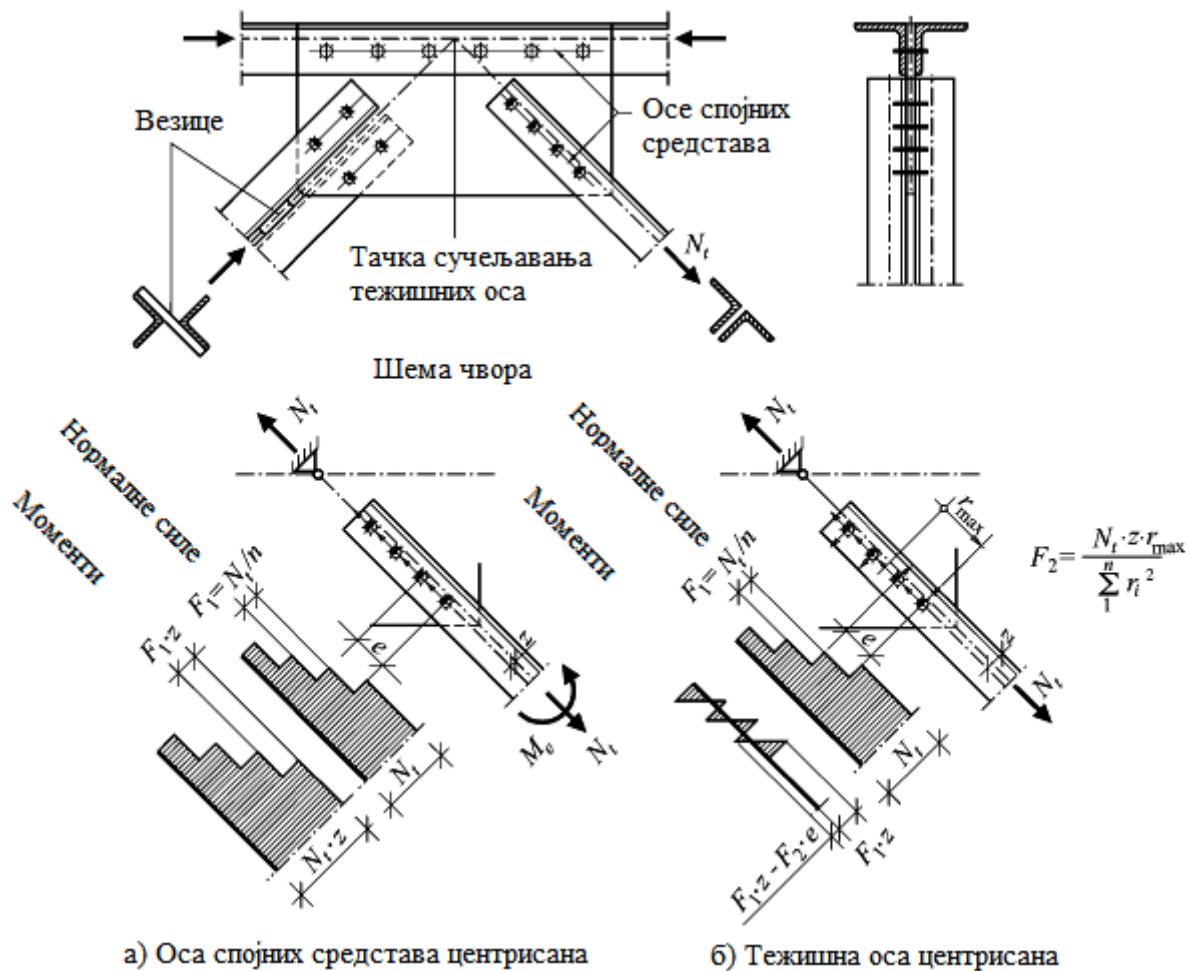
У првом случају у завртњевима се јавља напрезање само услед аксијалне силе, док се у штапу поред аксијалне силе, услед ексцентрицитета, јавља и момент савијања. У супротном, ако се штапови испуне центришу према тежишту пресека, у завртњевима се, осим компоненте силе која је паралелна са правцем силе затезања ($F_1 = N_t / n$), јављају и додатне силе (F_2) од момента ексцентрицитета ($M_e = N_t \cdot z$), које су управне на правац затезања. У штапу се, само у зони везе, јавља момент ексцентрицитета и то знатно мањег интензитета, па се може занемарити. Максимална додатна сила ($\max F_2$) јавља се у крајњим, најудаљенијим, завртњевима (слика 5.4б) и може да се одреди на следећи начин:

$$\max F_2 = \frac{N_t \cdot z \cdot r_{\max}}{\sum r_i^2}$$

Према томе, максимална резултујућа сила се, такође, јавља у најудаљенијим завртњевима и може да се одреди на следећи начин:

$$\max F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

Како ова сила без проблема може да се пренесе са три или евентуално четири завртња, због мањег напрезања штапа, који је у овом случају аксијално напрегнут, повољније је примењивати центрисање везе према тежишту штапа него према линији завртнева.



Слика 5.41 – Центрисање штапова испуне

Решеткасти носачи су великим делом оптерећени аксијалним силама, па се код статички одређених решеткастих носача носивост читавог система условљава носивошћу најслабијег штапа. Код статички неодређених носача, било да је реч о спољашњој или унутрашњој неодређености, постоји извесна резерва носивости због пластичне прерасподеле сила.

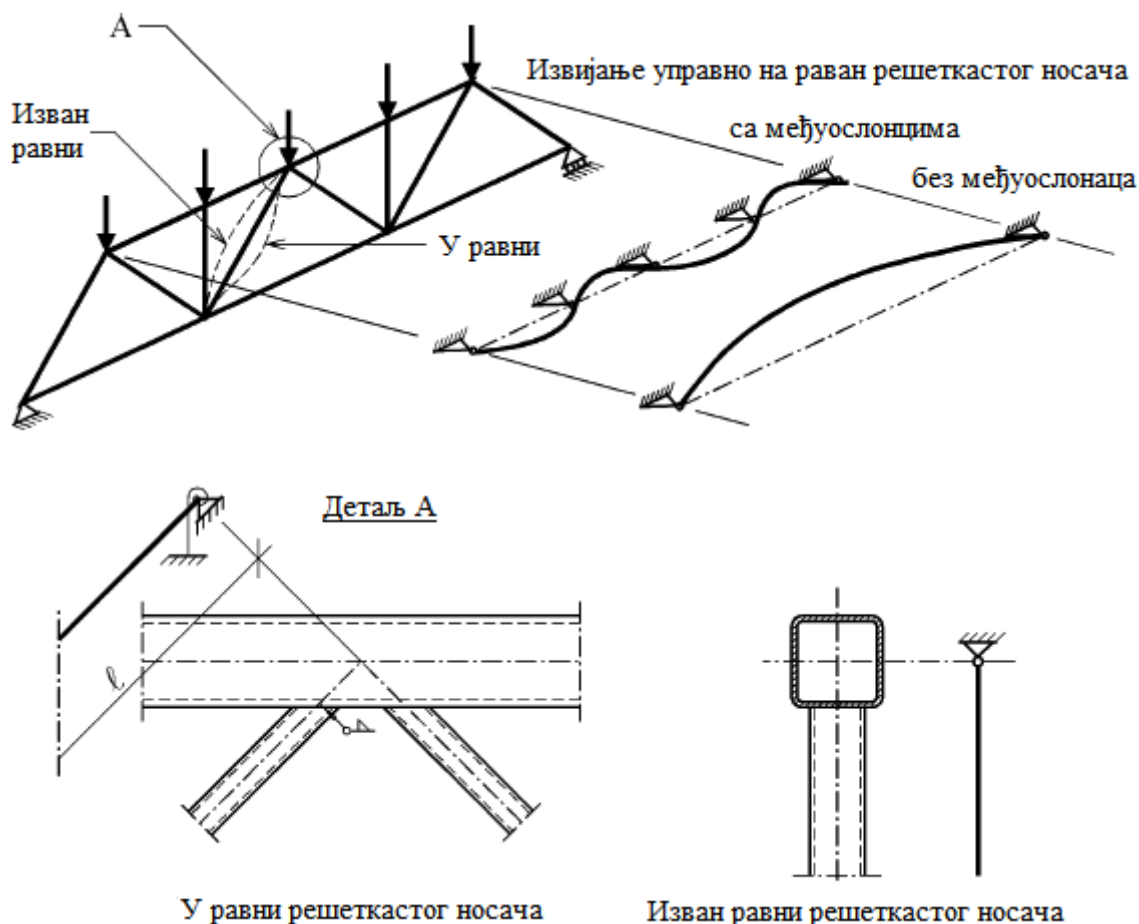
Димензионисање штапова решеткастих носача треба да се спроводи према правилима за прорачун аксијално затегнутих, односно притиснутих елемената, у зависности од знака аксијалне силе.

Код затегнутих штапова за димензионисање је меродавна само нето површина попречног пресека, али на димензије и облик попречних пресека штапова затегнутог појаса могу да утичу и неки конструктивни аспекти, као на пример начин остваривања веза.

Притиснути штапови се димензионишу према стандарду за центично притиснуте штапове једноделног (ЈУС У.Е7.081) а све чешће по европским стандардима (EUROCODE 3), односно вишеделног пресека (ЈУС У.Е7.091). Дужине извијања штапова решеткастих носача (слика 5.42) за извијање у равни и изван равни носача, треба да се одреде према стандарду ЈУС У. Е7 086. Дужина извијања у равни носача мања од системне дужине ($0.8 \cdot l$). Дужина извијања дијагонале изван равни једнака је системној дужини. Извијање притиснутог појаса изван равни решеткастог носача зависи од растојања тачака бочног придржавања, па је, ако је обезбеђено придржавање у сваком чвору, дужина извијања за извијање изван равни, као и за извијање у равни, једнака системној дужини. Међутим, ако притиснути појас није бочно придржан, дужина извијања је једнака дужини целог притиснутог појаса.

Због овако велике дужине извијања, штапови притиснутог појаса треба да имају знатно већу крутост на савијање изван равни, услед тога увек треба тежити да се дужина извијања притиснутог појаса изван равни носача, применом различитих конструкционих мера (нпр. спрегова), смањи на разумну меру.

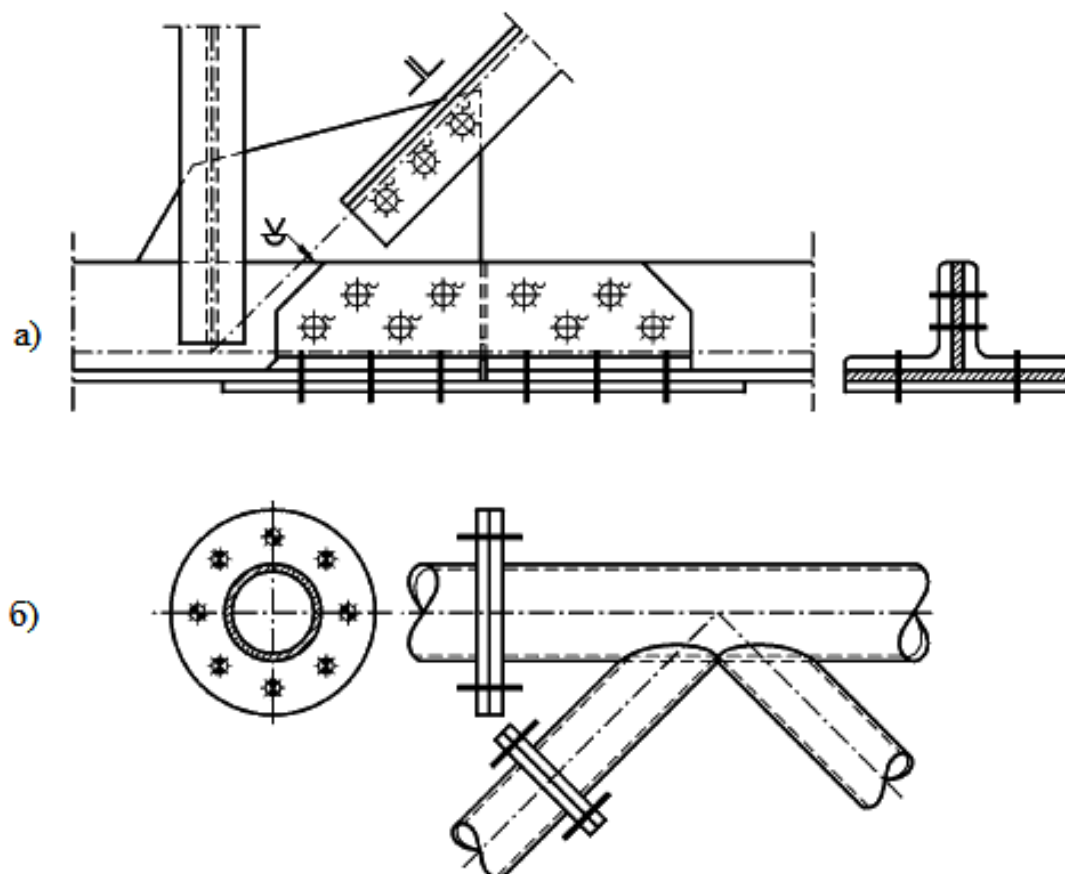
На слици 5.42 су шематски приказане дужине извијања притиснутог појаса и дијагонале, код једног двопојасног решеткастог носача



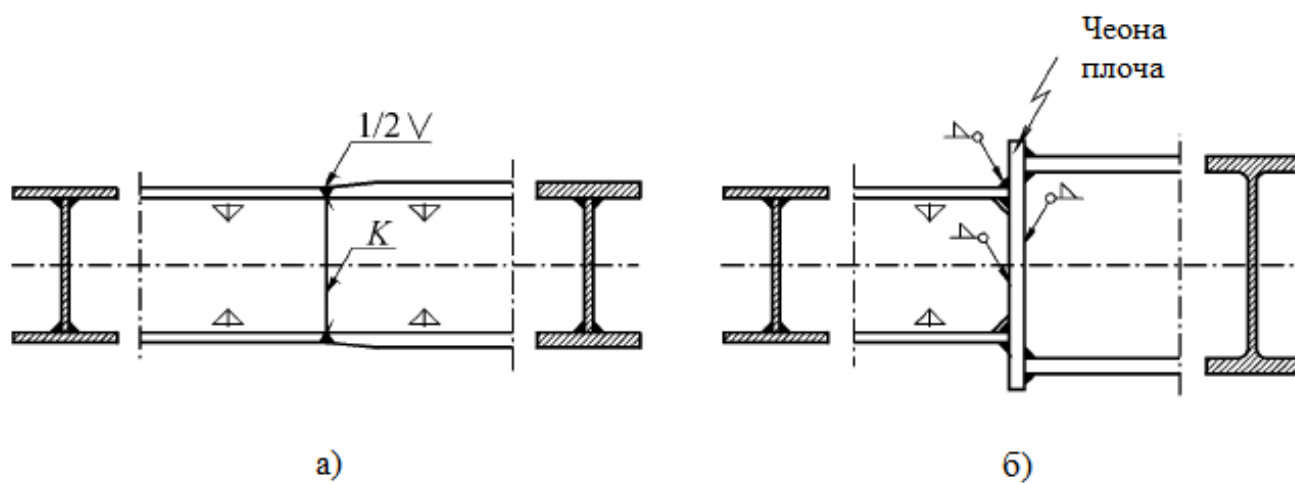
Слика 5.42 – Дужине извијања притиснутих штапова решеткастог носача

Уколико се деси да је распон носача већи од транспортне дужине, потребно је предвидети монтажне наставке. Они се по правилу изводе помоћу завртњева, а лоцирају се близу чвора на страни слабије напрегнутог штапа (слика 5.43). Најчешће се примењује класични монтажни наставци са подвезицама (слика 5.43а), мада је код неких решеткастих носача веома честа употреба наставака са чеоном плочом (слика 5.43б).

Осим монтажних наставака, код решеткастих носача са променљивим попречним пресеком појаса јављају се и радионички наставци. Они се изводе у завареној изради. Шупљи профили кружног и правоугаоног попречног пресека пружају много више могућности за обликовање радионичких наставака у односу на профиле отвореног попречног пресека, код којих се радионички наставци израђују или директним заваривањем суседних штапова сучеоним шавовима (слика 5.44а), или индиректно преко чеоне плоче (слика 5.44б).



Слика 5.43 – Монтажни наставци појасних штапова:
а) са подвезицама; б) са чеоном плочом



Слика 5.44 – Радионички наставци појасних штапова

5.2 Прорачун и конструисање чворова решеткастих носача

Веза штапова испуне са појасним штаповима може да се оствари директно или преко чворног лима. Међутим, у већини случајева је неопходно предвидети чворне лимове, који омогућавају индиректно увођење сила у чворове решеткастих носача.

Прорачун и обликовање детаља чворова зависи од:

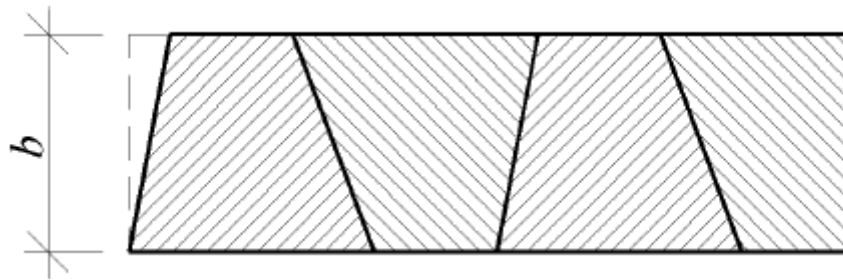
- типа решеткастог носача (са чворним лимом или без њега),
- облика попречних пресека појасних штапова и штапова испуне,
- броја чворних лимова (код чворова са чворним лимом),
- врсте спојних средстава (завртњеви или заваривање).

5.2.1 Решеткасти носачи са чворним лимом

При конструисању чворних лимова, треба тежити да они имају:

- минималне димензије и
- једноставан облик.

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 5.45). Израда оваквих чворних лимова је знатно једноставнија и јефтинија.



Слика 5.45 – Добијање чворних лимова једноставних димензија резањем једне челичне траке

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. Међутим, упркос овако сложеном напрезању чворног лима, при његовом димензионисању могу да се примене приближне методе засноване на стварној расподели напона. С обзиром на двојаку функцију чворног лима, његова дебљина треба да се одреди на основу два критеријума: увођења сила у чвор и равнотеже чвора. Другим речима, до лома чворног лима може да дође локално у зони уношења сила из штапова испуне, или глобално по читавој висини чворног лима, на месту теоријског чвора.

Реалан распоред нормалних напона у зони увођења силе у чворни лим (слика 5.46а), одређен на основу неке прецизније анализе (нумеричке или експерименталне), дозвољава примену упрошћеног прорачунског модела, који подразумева линеарно простирање напона под углом од 30° . Према овом моделу дијаграм нормалних напона је константан на ефективној ширини b_{eff} (слика 5.46,б,ц). Контролу напона треба спровести у меродавном пресеку у којем се јавља максимална сила. Код веза са механичким спојним средствима то је пресек кроз последњи ред завртњева (слика 5.46б), односно закивака, док се код веза у завареној изрази овај пресек поклапа са завршетком шавова (слика 5.46ц).

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

- за везе са завртњевима:

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

где је n број завртњева у меродавном попречном пресеку.

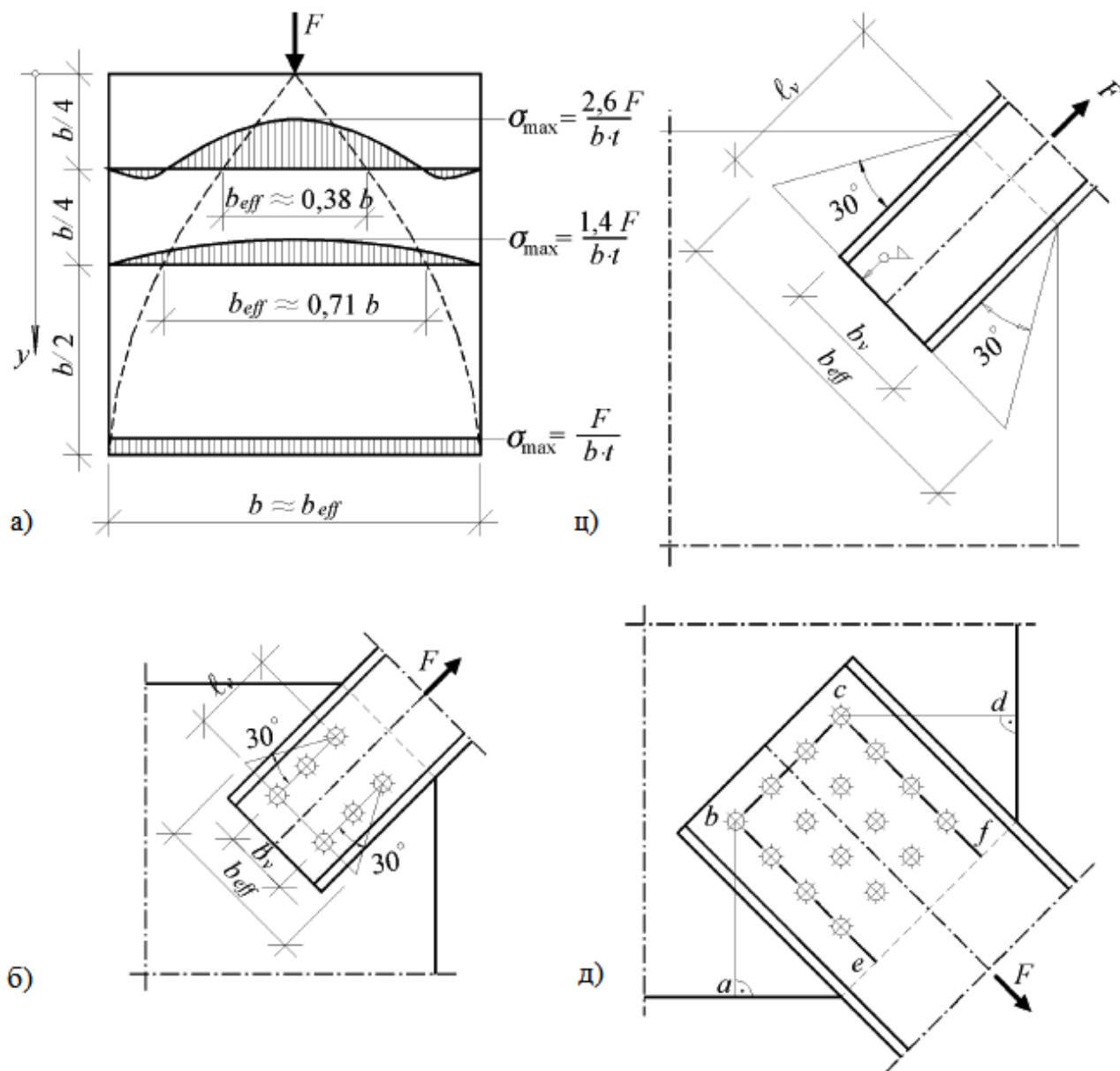
- за везе у завареној изради:

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

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

$$b_{eff} = b_v + 2 \cdot t g 30^\circ \cdot l_v$$

где су b_v и l_v ширина и дужина везе (слика 5.46бц).



Слика 5.46 - Увођење силе у чворни лим

Код широких затегнутих штапова испуне, који су за чворни лим везани са неколико линија завртњева (слика 5.46д), лом чворног лима може да наступи по изломљеним нето пресецима а-б-ц-д, или, код кратких веза, е-б-ц-ф. Контрола напона у назначеним пресецима треба да се спроведе са пуном силом затезања и нето површином пресека, добијеном на основу геометрије изломљеног пресека и броја рупа за завртњеве кроз које пролази посматрани пресек.

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

- када је чворни лим саставни део појасних штапова (слика 5.47а) и
- када чворни лим није саставни део појасних штапова (слика 5.47б).

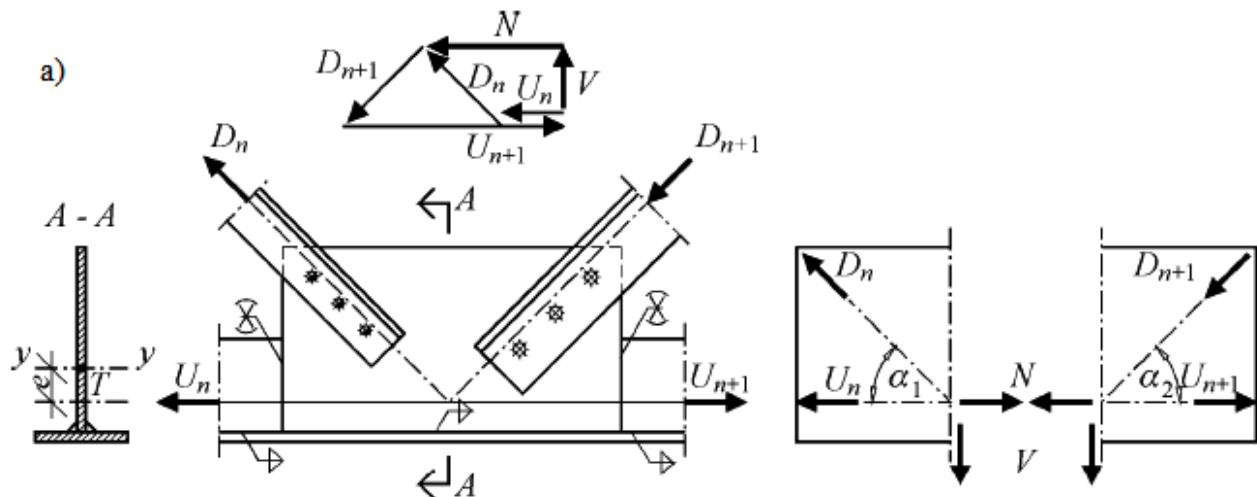
У првом случају, најоптерећенији пресек А-А, који сачињавају појасни штап и чворни лим, је изложен дејству аксијалне силе N , смичуће силе V и момента ексцентрицитета M . За чвор решеткастог носача који је приказан на слици 5.47а, ове пресечне силе могу да се одреде на следећи начин:

$$N = U_n + D_n \cdot \cos \alpha_1$$

$$V = D_n \cdot \sin \alpha_1$$

$$M = N \cdot e$$

где је e растојање између тежишта појасних штапова и тежишта пресека А-А (слика 5.47а).

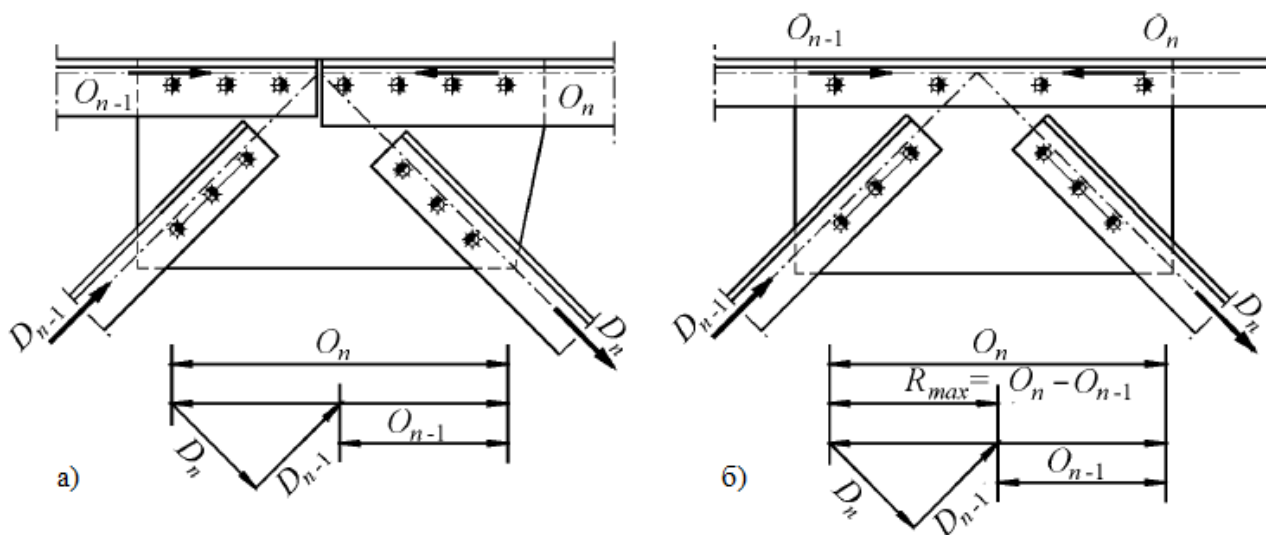


Слика 5.47 - Пресечне силе у чворном лиму

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

- када се појасни штапови прекидају у чвору (слика 5.48а)
- када се појасни штапови не прекидају у чвору (слика 5.48б).

У савременим челичним конструкцијама прекидање појасних штапова у чвору није уобичајено јер везу сваког штапа треба димензионисати према сили која се у њему јавља. Зато се веза чворног лима са појасним штаповима, по правилу, остварује заваривањем па је у том случају веза знатно мање напрегнута, самим тим и јефтинија.



Слика 5.48 - Веза чворног лима са појасним штаповима

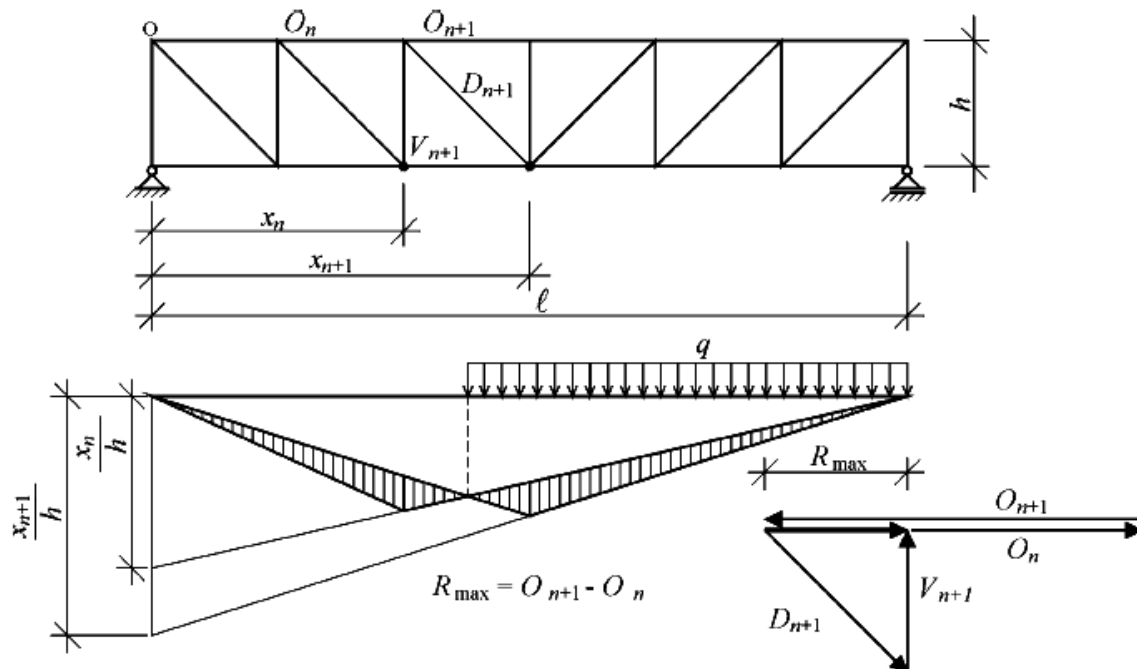
а) када се појасеви прекидају у чвору, б) када се појасни штап не прекида у чвору

Код непрекинутих појасних штапова, због материјалног континуитета, веза чворног лима са појасним штаповима треба да пренесе само максималну резултанту која се јавља у штаповима испуне $R_{\max}$. За чвор приказан на слици 5.48б, ова резултанта је једнака разлици сила у појасним штаповима ($R_{\max} = O_n - O_{n-1}$).

Код решеткастих носача који су изложени дејству покретног оптерећења, као што су мостовски или крански носачи, резултанту треба одредити на основу утицајне линије за разлику сила (слика 5.49). Вредност максималне резултанте може да се одреди и приближно према следећем изразу:

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

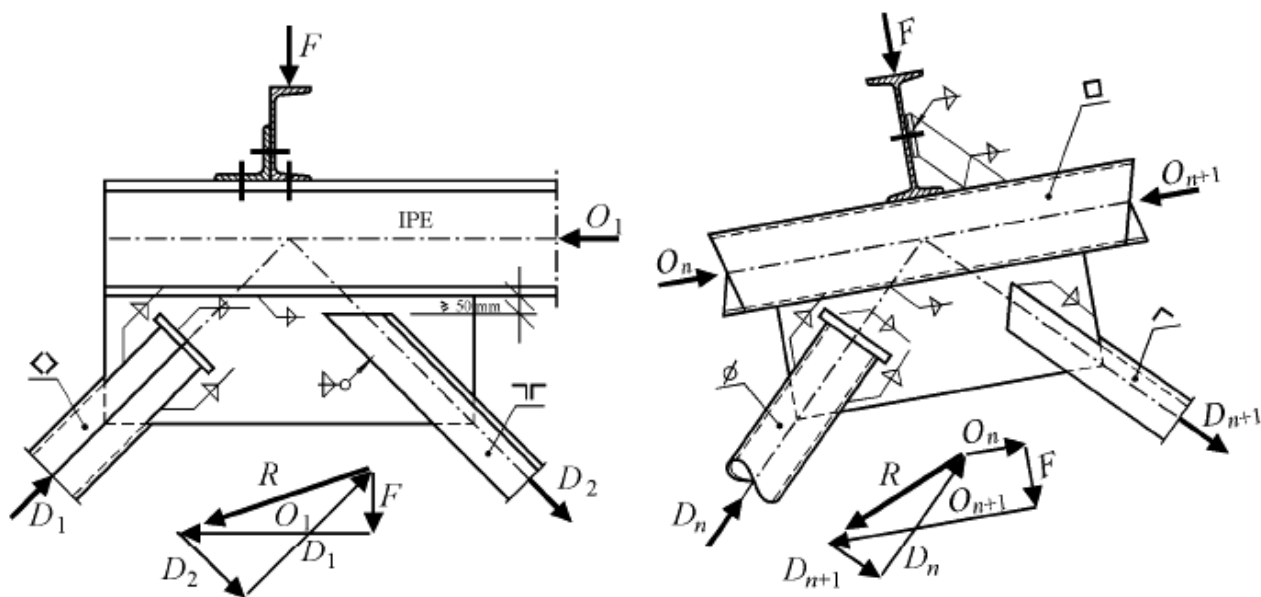
где су $\max O_{n+1}$ и $\max O_n$ максималне вредности сила у суседним појасним штаповима.



Слика 5.48 - Утицајна линија за разлику сила у појасним штаповима

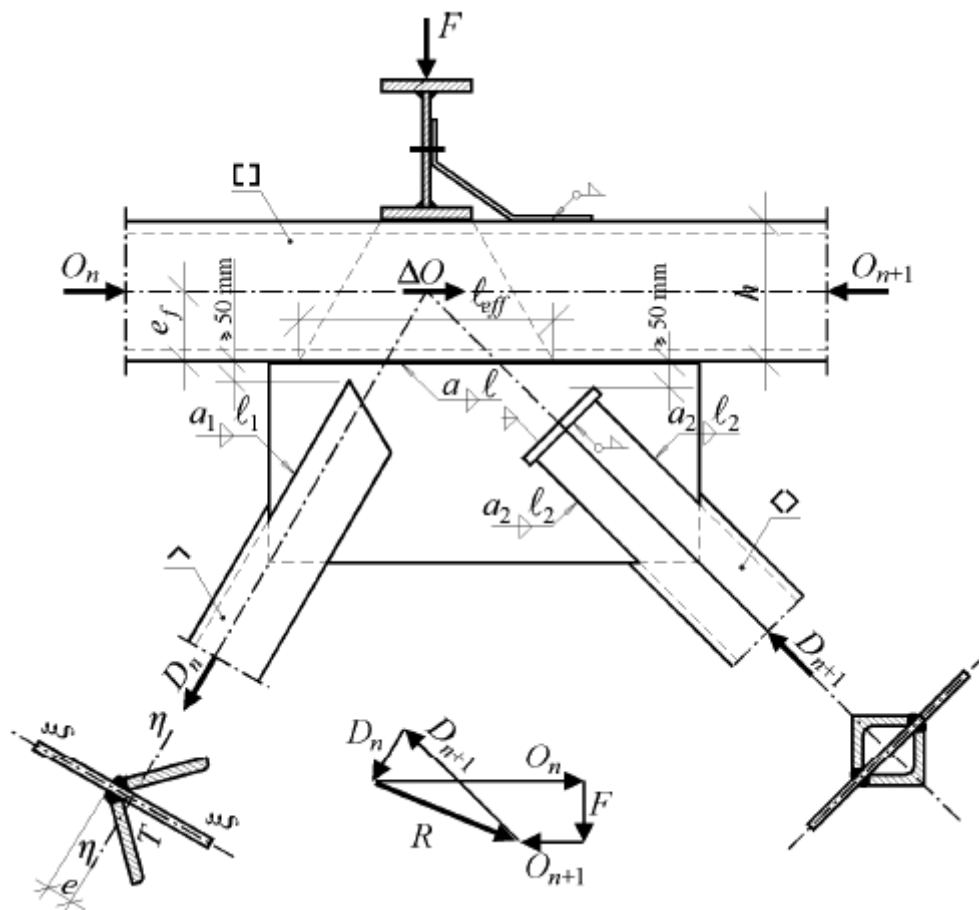
Сила R према којој се димензионише веза чворног лима може да се одреди на основу плана сила, као векторски збир резултанте штапова испуне и спољашње силе F (слика 5.49).

Када се тежиште везе чворног лима са појасним штаповима не поклапа са тежиштем појаса, треба узети у обзир и момент ексцентрицитета.



Слика 5.49 - Напрезање везе чворног лима са појасним штаповима

Прорачун везе чворног лима у завареној изради приказана је на примеру чвора решеткастог носача приказаног на слици 5.5.



Слика 5.5 - Чвор решеткастог носача у завареној изради

Да би се одредила стварна дужина шава (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. Веза притиснуте дијагонале (D_{n+1}), која је израђена од два L-профила која образују сандучаст пресек (слика 5.5), остварује се са четири подужна угаона шава. Тежиште штапа се поклапа са тежиштем шавова, па се у њима јавља само компонента напона која је паралелна са осом шавова. Контрола напона своди се на:

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

Везе затегнутих штапова израђених од једног угаоника (D_n) обавезно се изводе заваривањем. Да би се избегло ексцентрично напрезање угаоника, он се поставља тако да му тежиште и главна оса инеције $\xi - \xi$ леже у средњој равни чворног лима. Да би се остварили угаони шавови, неопходна је претходна обрада (расецање) крајева угаоника, како би се обезбедило његово налегање на чворни лим. Због непоклапања тежишта штапа и везе долази до ексцентричног напрезања шавова, па се осим смичуће компоненте (V_{II}), у њима јавља и нормална компонента напона (n). У овом случају, контрола напона је:

$$V_{II} = \frac{D_{n+1}}{A_{w,1}} = \frac{D_{n+1}}{4 \cdot a_1 \cdot l_1} \leq \sigma_{w,dop}$$

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

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

Како се тежиште шавова не поклапа са тежиштем штапа, у шавовима јавља момент ексцентрицитета:

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

где је e_f растојање тежишта појаса и шавова.

Услед деловања силе ΔO у шавовима се јављају следеће компоненте напона:

$$V_{II} = \frac{\Delta O}{A_w} = \frac{\Delta O}{2 \cdot a \cdot l}$$

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

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

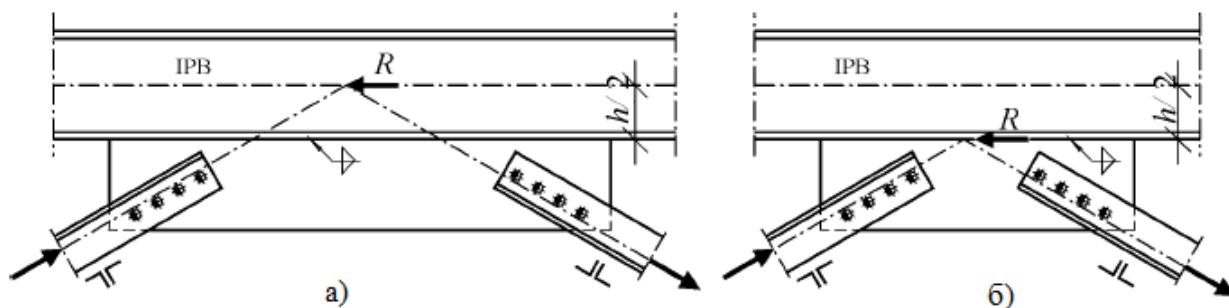
$$n_F = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l_{eff}}$$

где је l_{eff} ефективна ширина шавова уз претпоставку да се напони линеарно шире под углом од 45° .

Провера упоредних напона врши се на следећи начин:

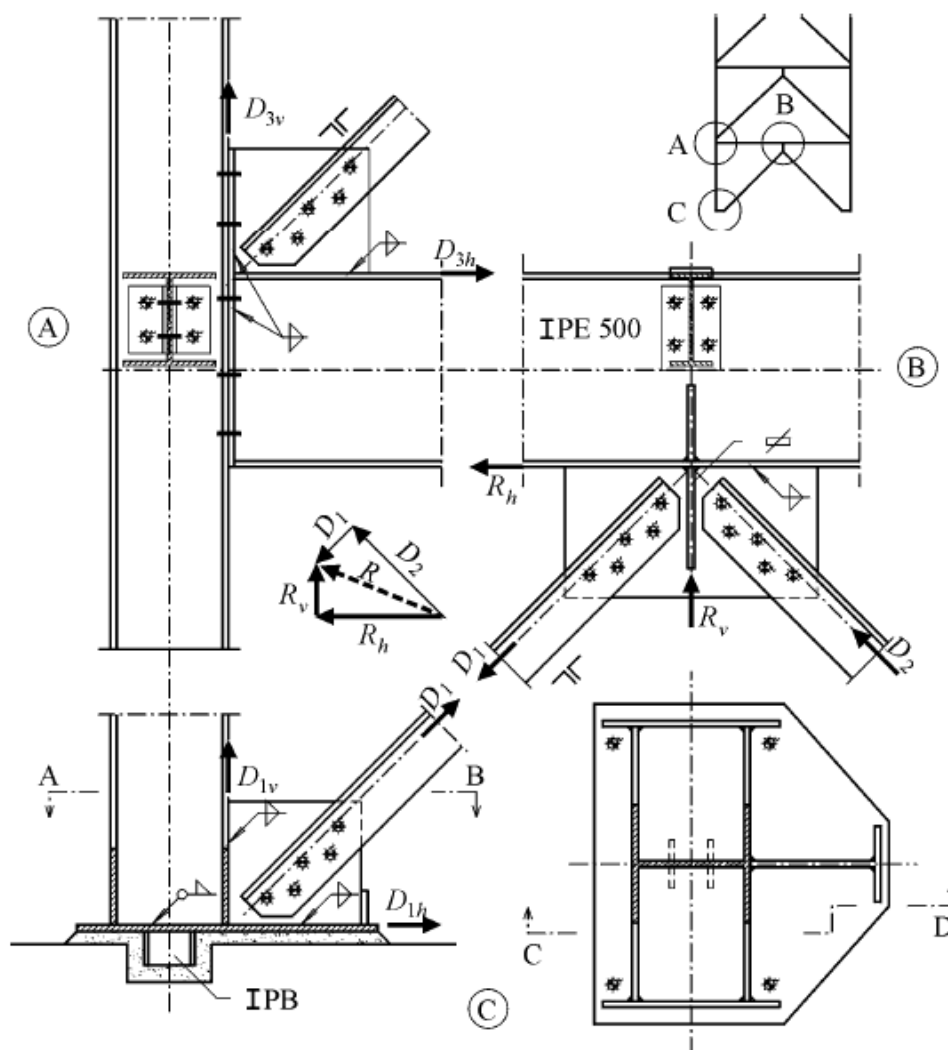
$$\sigma_{w,u} = \sqrt{(n_M + n_F)^2 + V_{II}^2} \leq \sigma_{w,dop}$$

Ако су појасни штапови масивни, што је углавном случај код решеткастих носача чији је појас изложен локалном савијању (нпр. крански носачи), центрична веза штапова испуне проузрокује веома дугачке чворне лимове који су нерационални и естетски неприхватљиви (слика 5.51а), па се у оваквим случајевима прибегава ексцентричном прикључку штапова испуне (слика 5.51б). Код јако оштрих углова између појасних штапова и штапова испуне, ексцентричним повезивањем штапова испуне знатно се смањују димензије чворних лимова.



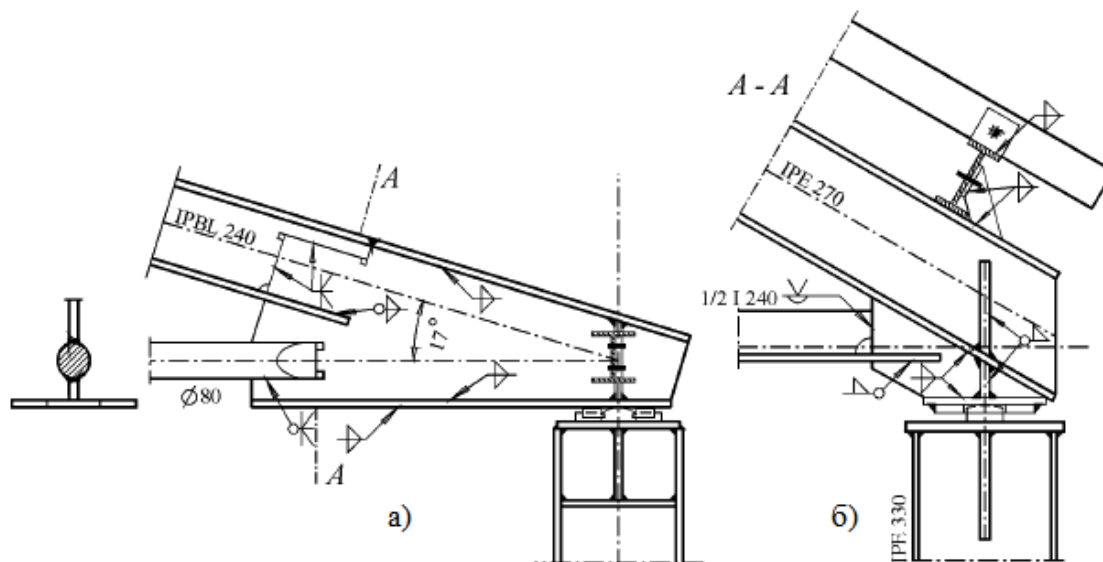
Слика 5.51 - Прикључак штапова испуне

Ексцентрично везивање се може применити и код вертикалних спрегова у зградама скелетног типа (слика 5.52). Ово се најједноставније постиже увођењем кратких штапова бесконачне крутости.



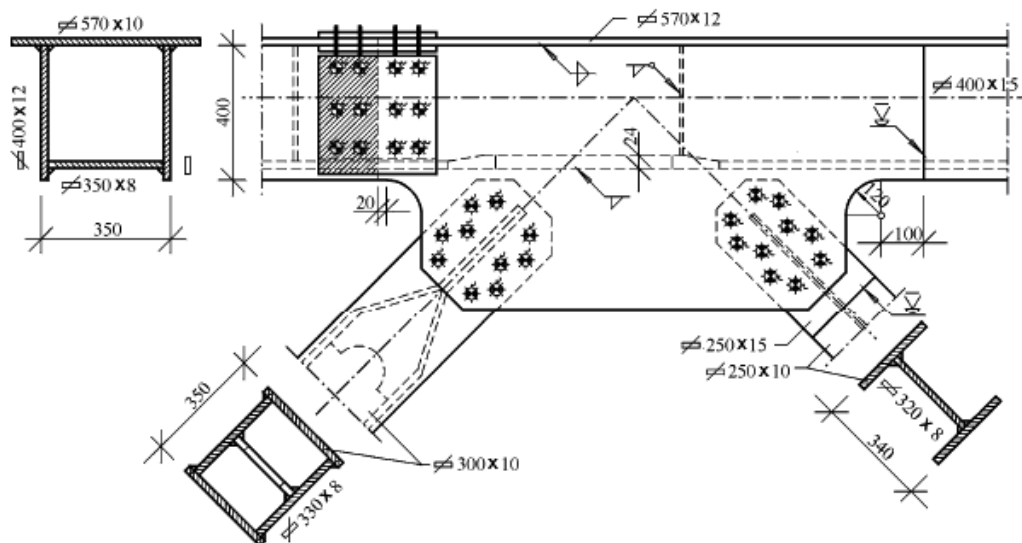
Слика 5.52 - Ексцентрично везивање штапова испуне вертикалног спрега

Приликом обликовања ослоначких чворова, треба тежити да оса ослонца пролази кроз чвор решеткастог носача. Испуњење овог захтева, код штапова решеткастих носача који се у ослоначком чвору сустичу под веома оштрим углом, доводи до веома дугачких чворних лимова (слика 5.53а). Углавном је неопходно да се чворни лим ојача, на пример заваривањем једне појасне ламеле са доње стране чворног лима (слика 5.53а). Ослањање решеткастог носача може бити и ексцентрично (слика 5.53б).



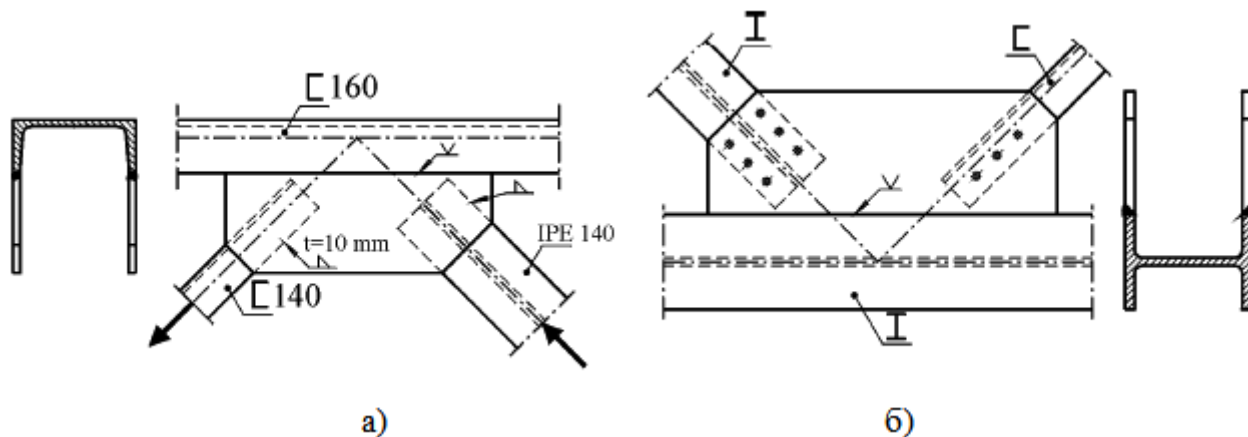
Слика 5.53 – Веза на ослонцу код троугаоних решеткастих носача
а) центрична; б) ексцентрична

Двостидни решеткасти носачи се, углавном, примењују као главни носачи железничких и друмских мостова. Обликовање чворова оваквих, тешких решеткастих носача је веома специфично. На слици 5.54 је приказан чвор једног мостовског носача. Чворни лимови су уједно и ребра сандучастог пресека појасних штапова. Њихова веза са ребрима појасних штапова остварује се сучеоним шавовима. На месту везе са чворним лимом, ребра сандучастог пресека се благо повијају и спајају, тако да дијагонала у зони наставка има I-пресек. Да би се прихватиле скретне силе, које се јављају у повијеним ребрима притиснуте дијагонале, поставља се хоризонтално, подужно укружење.



Слика 5.54 - Чвор код мостовског носача

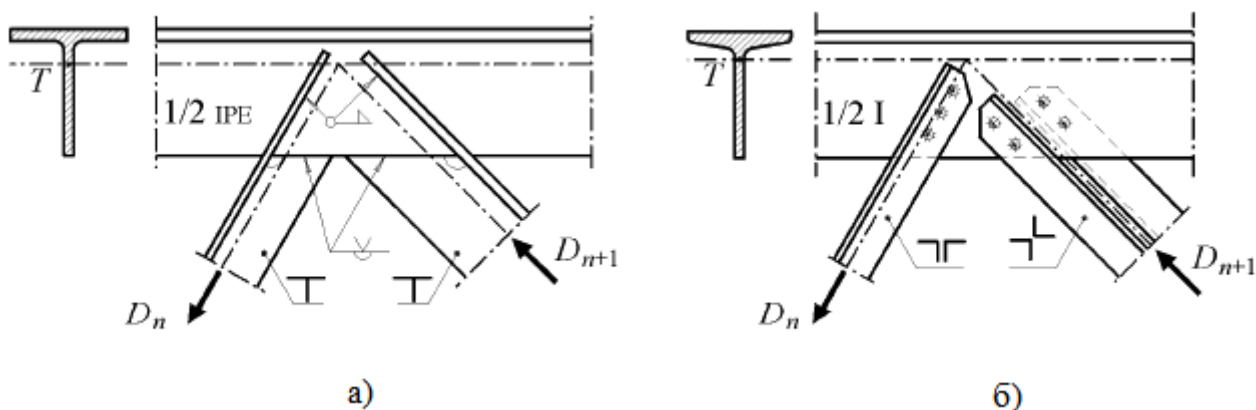
Осим у мостоградњи двозидни решеткасти носачи се примењују и у зградарству, код јаче напрегнутих носача. Неки карактеристични примери чворова двозидних решеткастих носача у зградарству дати су на слици 5.55. Чворни лимови се заварују за појасне штапове у две паралелне равни. Заварују се за ножице појасних штапова сучеоним шавовима, док се штапови испуне са чворним лимовима спајају заваривањем (слика 5.55а) или завртњевима (слика 5.55б).



Слика 5.55 - Обликовање чворова код двозидних решеткастих носача

5.2.2 Решеткасти носачи без чворног лима

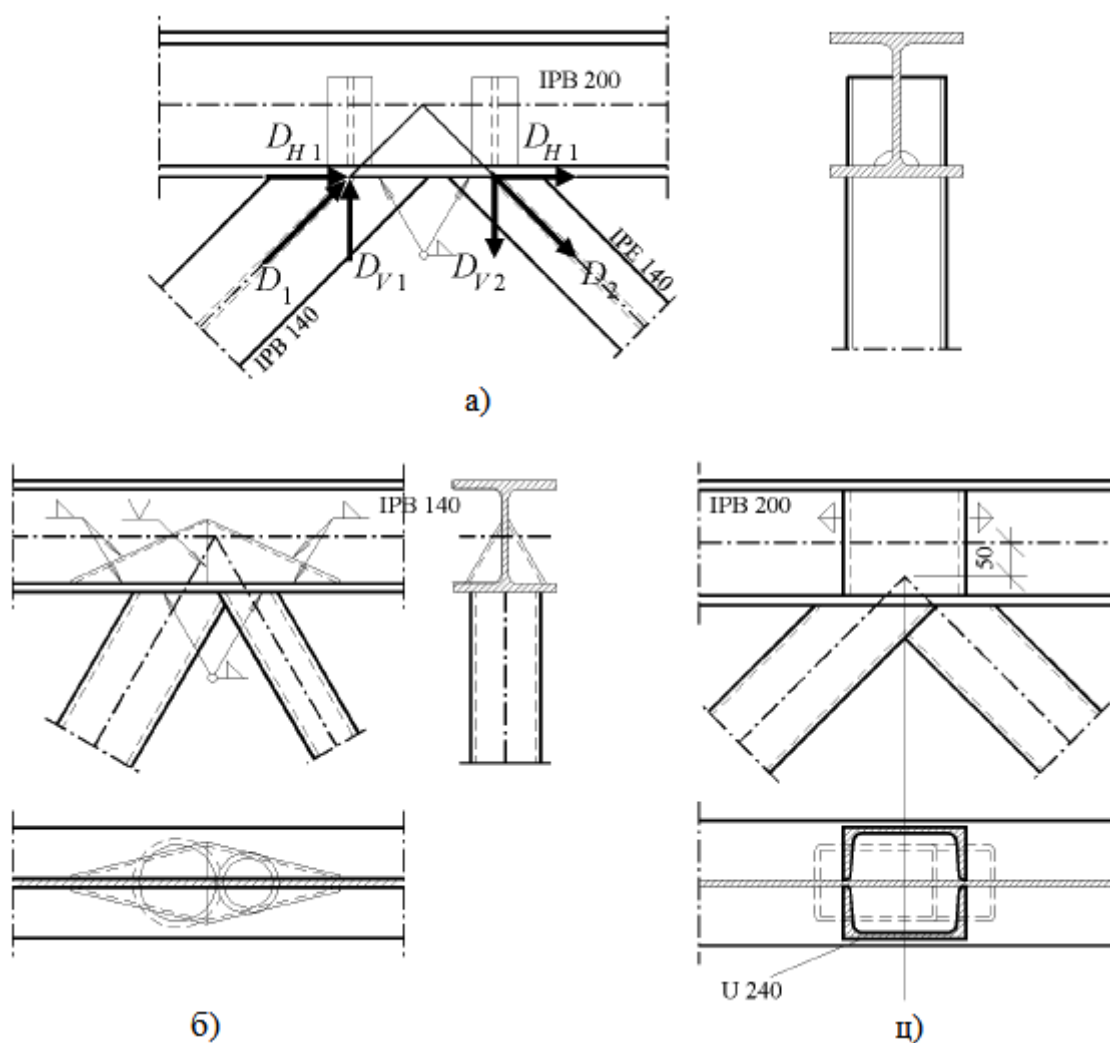
Појава заваривања као технолошког процеса спајања метала и његова употреба у челичним носећим конструкцијама омогућила је већу примену решеткастих носача без чворних лимова. Код оваквих носача веза штапова испуне се остварује директним заваривањем штапова испуне за појасеве решеткастог носача. Код појасних штапова у облику Т-пресека веза штапова испуне се остварује преко ребра, које на неки начин представља чворни лим, па се осим заваривања могу применити и механичка спојна средства (слика 5.56б). Као штапови испуне могу да се користе такође Т-профили (слика 5.56а), који имају већу крутост од угаоника, али захтевају посебну обраду крајева, што поскупљује везу.



Слика 5.56 - Чворови решеткастих носача без чворног лима

Када се појасни штапови образују од ваљаних или заварених I-профила (слика 5.57) веза штапова испуне се остварује директним заваривањем за унутрашњу ножицу. Као штапови испуне могу да се користе ваљани I-профили (слика 5.57а) и шупљи профили кружног (слика 5.57б) и правоугаоног (слика 5.57ц) попречног пресека. Овакве везе се најчешће могу срести код средње тешких решеткастих носача.

Вертикалне компоненте D_{V1} и D_{V2} (слика 5.57а) делују управно на појас, и само у случају мањих сила могу да се прихвате помоћу ножице I-профила. Када су силе у дијагоналама већег интензитета, да би се спречила прекомерна деформација ножице која утиче на смањење носивости везе, потребно је предвидети укрућења. Ова укрућења се заварују на ножице и ребро I-профила, а могу да буду изведена у виду ваљаних Т-профила заварених са обе стране ребра на местима уношења сила (слика 5.57а).



Слика 5.57 - Везе без чворног лима код средње тешких решеткастих носача

5.2.3 Решеткасти носачи од шупљих профила

У последње време решеткасти носачи израђени од шупљих профила имају изузетно велику примену, поготову у зградарству. Користе се шупљи профили кружног, квадратног и правоугаоног попречног пресека. Као кружни профили користе се бешавне цеви, добијене истискивањем, и шавне цеви, које се производе хладним или топлим обликовањем и заваривањем. Правоугаони и квадратни шупљи профили добијају се поступком хладног или топлог обликовања од кружних цеви. Због тога се код оваквих профила јављају значајни сопствени напони, па се не препоручују код динамички оптерећених конструкција. Основне предности шупљих профила, које су омогућиле њихову велику примену, су:

- **мања тежина** - због распореда масе челика на периферији пресека шупљи профили су јакоповољни, посебно за елементе оптерећене на притисак, па се њиховом применом остварује уштеда у материјалу, која се креће око 25% у зависности од типа конструкције;
- **јефтинија антикорозиона заштита** - обим попречног пресека је мањи него код класичних ваљних профила отвореног попречног пресека, па је самим тим мања и површина изложена утицајима корозије (30-40%), што знатно смањује трошкове антикорозионе заштите;
- **мали аеродинамички коефицијент** - код решеткастих конструкција на отвореном простору значајно се смањује утицај ветра на конструкцију у поређењу са решеткастим конструкцијама од ваљаних профила отвореног попречног пресека;
- **велике могућности конструктивног и архитектонског обликовања** - шупљи профили пружају могућности обликовања решеткастих носача разноврсне геометрије који су са естетског становишта прихватљивији од класичних решеткастих носача израђених од ваљаних или заварених профила отвореног попречног пресека.

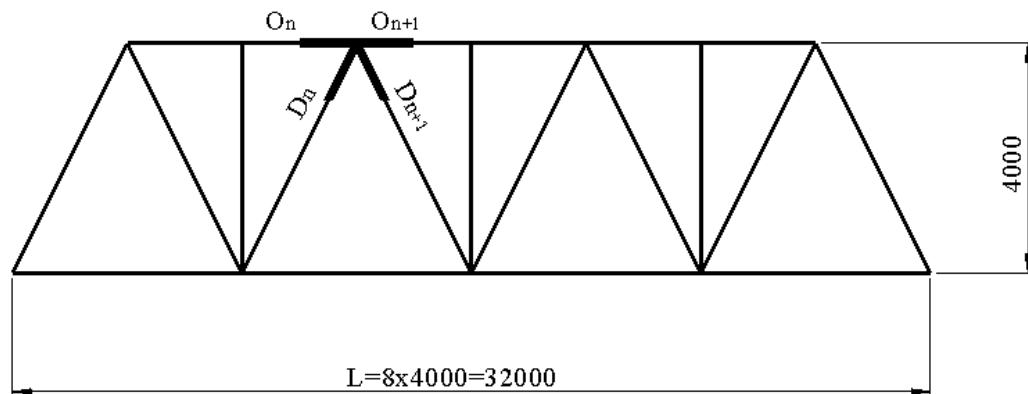
6. Пример прорачуна једног чвора раванског решеткастог носача

Димензионисати штапове решеткастог носача датог на слици 6.1. Срачунати и конструисати везе штапова у чвору горњег појаса решеткастог носача тако да појасни штапови буду непрекидни у чвору. Нормалне силе у штаповима за први случај оптерећења су:

$$O_n = -500 \text{ kN} \quad O_{n+1} = -700 \text{ kN}$$

$$D_n = 200 \text{ kN} \quad D_{n+1} = -200 \text{ kN}$$

Основни материјал за профиле је Č0370, дој је за лимове Č0361.



Слика 6.1

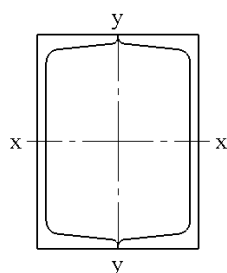
1) Димензионисање штапова

1. Појасни штапови O_n и O_{n+1}

Прорачун се спроводи према ЈУС У.Е7.081 (центрично притиснути штапови константног једноделног пресека)

Како се појасни штапови не прекидају у чвору, оба појасна штапа се могу димензионисати према сили $O_{n+1} = -700 \text{ kN}$

За појасне штапове се претпоставља попречни пресек из 2 U200 спојених заваривањем као на слици 6.2, са следећим карактеристикама:



Слика 6.2

$$A = 64,4 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 3820 \text{ cm}^4 \quad I_y = 2240 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{3820}{64,4}} = 7,7 \text{ cm} \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2240}{64,4}} = 5,9 \text{ cm}$$

Дужина извијања појасног штапа у равни решеткастог носача (према ЈУС У.Е7.086) износи $i_{ix} = \beta \cdot l = 1 \cdot 400 = 400 \text{ cm}$, а изван равни решеткастог носача:

$$i_{iy} = \beta \cdot l = 1 \cdot 400 = 400 \text{ cm}$$

Виткост штапа изван равни решеткастог носача

$$\lambda_y = \frac{i_{iy}}{i_y} = \frac{400}{5,9} = 68$$

$\sigma_v = 240 \text{ MPa} = 24 \text{ kN/cm}^2$ - нормални напон на граници развлачења

$\lambda_v = 92,9$ - виткост при граници развлачења

Релативна виткост штапа

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_y}{\lambda_v} = \frac{68}{92,9} = 0,73$$

На основу табеле 4 ЈУС У.Е7.081 (стр. 648, литература [3]) и усвојеног пресека, важи крива извијања "С".

Бездимензиони коефицијент извијања добија се аналитичким изразом

$$k = \frac{2}{(\beta + \sqrt{\beta^2 + 4\bar{\lambda}^2})} \quad \text{за } \bar{\lambda} > 0,2$$

$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2$ где је α заведен од криве извијања, и дат је у табели 2 ЈУС У.Е7.081 (литература [3], стр. 645)

$$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0,489 \cdot (0,73 - 0,2) + 0,73^2 = 1,792$$

$$k = \frac{2}{(1,792 + \sqrt{1,792 + 4 \cdot 0,73^2})} = 0,6964$$

Допуштени напон извијања

$$\sigma_{i,dop} = k \cdot \sigma_{dop} = 0,6964 \cdot 16 = 11,14 \text{ kN/cm}^2$$

Рачунски нормални напон

$$\sigma_N = \frac{O_{n+1}}{A} \leq \sigma_{i,dop} \quad \sigma_N = \frac{700}{64,4} = 10,87 \text{ kN/cm}^2 < 11,14 \text{ kN/cm}^2$$

Претпостављени пресек **ЗАДОВОЉАВА**

2. Димензионисање дијагонале D_n

$$p_{ot}A \geq \frac{D_n}{\sigma_{dop}} = \frac{200}{16} = 12,5 \text{ cm}^2$$

Усваја се профил L90x90x8 ($A = 13,9 \text{ cm}^2 \geq p_{ot}A = 12,5 \text{ cm}^2$)

Контрола напона

$$\sigma = \frac{D_n}{A} = \frac{200}{13,9} = 14,4 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{dop} = 16 \text{ kN/cm}^2$$

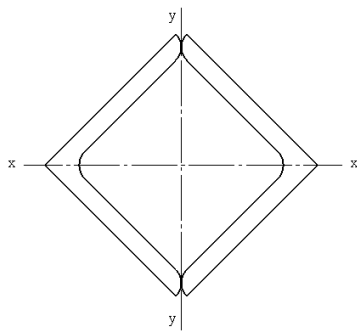
Профил **ЗАДОВОЉАВА**

$$\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{565,7}{1,17} = 483,5 \text{ cm}$$

3. Димензионисање дијагонале D_{n+1}

$$D_{n+1} = -200 \text{ kN} \quad l = 565,7 \text{ cm}$$

Претпостављају се 2L120x120x11 спојени заваривањем као на слици 6.3, са следећим карактеристикама:



$$A = 50,8 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 1080 \text{ cm}^4 \quad I_y = 1190 \text{ cm}^4$$

$$i_x = 4,62 \text{ cm} \quad i_y = 4,84 \text{ cm}$$

Слика 6.3

$$l_{ix} = \beta \cdot l = 0,8 \cdot 565,7 = 452,56 \text{ cm} \quad \beta = 0,8 \text{ према ЈУС Е.Е7.081}$$

$$l_{iy} = \beta \cdot l = 1 \cdot 565,7 = 565,7 \text{ cm} \quad \beta = 1 \text{ према ЈУС Е.Е7.081}$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ix}}{i_x} = \frac{452,56}{4,62} = 98 \quad \lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{565,7}{4,84} = 117$$

$$\sigma_v = 24 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_v = 92,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_y}{\lambda_v} = \frac{117}{92,9} = 1,25$$

Крива извијања "С" (стр. 648, лит. [3])

$$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0,489 \cdot (1,25 - 0,2) \cdot 1,25^2 = 3,1$$

$$k = \frac{2}{(3,1 + \sqrt{3,1 + 4 \cdot 0,78^2})} = 0,4057$$

$$\sigma_{i,dop} = k \cdot \sigma_{dop} = 0,4057 \cdot 16 = 6,491 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_N = \frac{D_{n+1}}{A} = \frac{200}{50,8} = 3,95 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{dop} = 16 \text{ kN/cm}^2$$

Претпостављени пресек **ЗАДОВОЉАВА**

2) Прорачун везе штапова за чворни лим

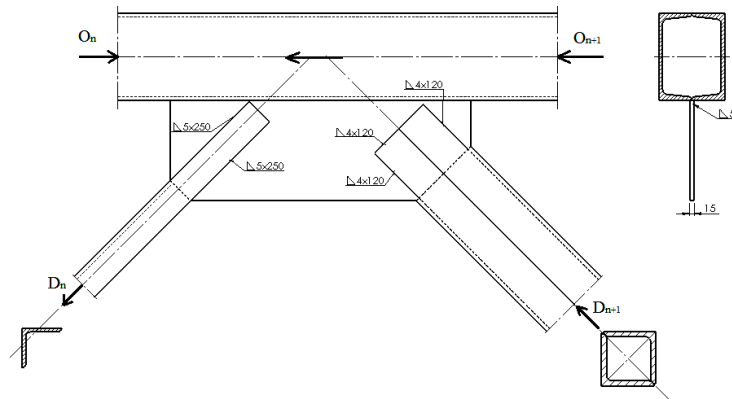
1. Веза чворног лима за појасне штапове

Чворни лим се заварује угаоним шавовима за појасне штапове. Претпоставља се дебљина чворног лима $t = 15 \text{ mm}$

$$\Delta O = O_{n+1} - O_n = 700 - 500 = 200 \text{ kN}$$

$$M_e = \Delta O \cdot e = 200 \cdot 10 = 2000 \text{ kNcm}$$

Из конструктивних разлога усваја се дужина угаоних шавова $l = 400 \text{ mm}$. Претпоставља се ширина шавова $a = 5 \text{ mm}$



Слика 6.4

$$l' = l - 2 \cdot a = 40 - 2 \cdot 0,5 = 39 \text{ cm}$$

$$A_{\xi} = 2a \cdot l' = 2 \cdot 0,5 \cdot 39 = 39 \text{ cm}^2$$

$$W_{\xi} = 2 \cdot \frac{a \cdot l'^2}{6} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 39^2}{6} = 253,3 \text{ cm}^3$$

$$V_{II} = \frac{\Delta O}{A_{\xi}} = \frac{200}{39} = 5,13 \text{ kN/cm}^2$$

$$n = \frac{M_e}{W_{\xi}} = \frac{2000}{253,5} = 7,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_u = \sqrt{n^2 + V_{II}^2} \leq \sigma_w \quad \sigma_u = \sqrt{7,89^2 + 5,13^2} = 9,41 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_w = 12 \text{ kN/cm}^2$$

Усвајају се угаони шавови $\Delta 5 \times 400$ за везу за појасне штапове

2. Веза дијагонале D_n за чворни лим

Претпоставља се шав $2\Delta 5 \times 250$

$$0,71 \cdot t_L = 0,71 \cdot 8 = 5,68 \text{ mm} > a = 5 \text{ mm}$$

$$e = u - a - \frac{t}{2} = 35,3 - 5 - \frac{15}{2} = 22,8 \text{ mm}$$

$$l = 250 \text{ mm} < 100 \cdot a = 500 \text{ mm}$$

$$l' = l - 2a = 250 - 2 \cdot 5 = 240 \text{ mm}$$

$$A_{\xi} = 2a \cdot l' = 2 \cdot 0,5 \cdot 24 = 24 \text{ cm}^2$$

$$W_{\xi} = 2 \cdot \frac{a \cdot l'^2}{6} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot 24^2}{6} = 96 \text{ cm}^3$$

$$D_n = 200 \text{ kN} \quad M_e = D_n \cdot e = 200 \cdot 2,28 = 456 \text{ kNcm}$$

$$V_{II} = \frac{D_n}{A_{\xi}} = \frac{200}{24} = 8,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$n = \frac{M_e}{W_{\xi}} = \frac{456}{96} = 4,75 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_u = \sqrt{n^2 + V_{II}^2} \leq \sigma_w \quad \sigma_u = \sqrt{4,75^2 + 8,33^2} = 9,59 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_w = 12 \text{ kN/cm}^2$$

Усвајају се угаони шавови $2\Delta 5 \times 250$ за дијагонале D_n за чворни лим

3. Веза дијагонале D_{n+1} за чворни лим

Претпостављају се шавови 4Л4х120

$$15 \cdot a = 15 \cdot 4 = 60 \text{ mm} < 120 \text{ mm} < 100 \cdot a = 400 \text{ mm}$$

$$l' = l - 2a = 120 - 2 \cdot 4 = 112 \text{ mm}$$

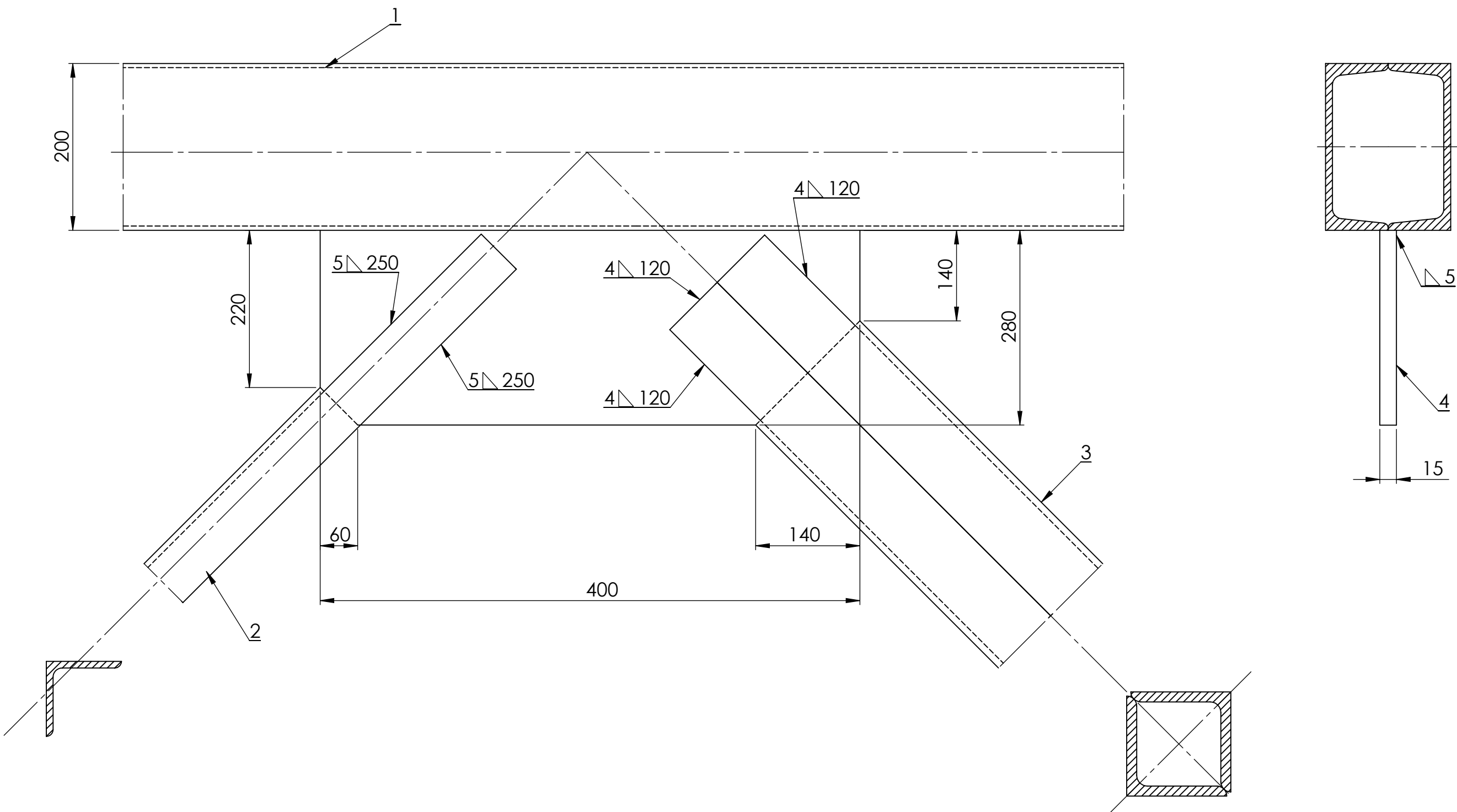
$$A_{\text{с}} = 2a \cdot l' = 2 \cdot 0,4 \cdot 11,2 = 17,92 \text{ cm}^2$$

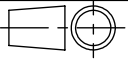
$$V_{II} = \frac{D_{n+1}}{A_{\text{с}}} = \frac{200}{17,92} = 11,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_u = \sqrt{V_{II}^2} \leq \sigma_w \quad \sigma_u = \sqrt{11,2^2} = 11,2 < 12 \text{ kN/cm}^2$$

Усвајају се угаони шавови 4Л4х120 за дијагонале D_{n+1} за чворни лим

Конструкцијско решење чвора решеткастог носача дато је у прилогу



4	1	ком	Чворни лим 280x15x400										
3	2	ком	Ваљани профил L 120x120x10										
2	1	ком	Ваљани профил L 90x90x8										
1	2	ком	Ваљани профил U200										
Поз.	Кол.	Јм.	Назив			Стандард-изабране карактеристике			Примедба				
									Маса		Размера		
					Датум	Назив: Чвор решеткастог носача							
				Обрад.	Стефан							Петровић	
				Цртао									
				Ускл.									
				Оверио			Ознака:					Лист: Л	
				Факултет инжењерских наука Крагујевац									
Ст.и.	Измене		Датум	Име	Изд. под.							Замена за:	

7. Закључак

Овим радом су наведене основне техничке карактеристике и принципи пројектовања решеткастих носача, као најзаступљенијег типа носећих елемената у области савремених машинских конструкција.

У првом поглављу је дат кратак опис и настанак решеткастих носача. Такође је укратко објашњен начин преношења оптерећења код ових носача и образложене су њихове техноекономске предности у односу на пуне носаче

Образложена је примена решеткастих носача. Може се закључити да највећу примену имају како у индустрији, тако у зградарству и мостоградњи. Наведени су неки од најчешће коришћених облика решеткастих носача, као и најинтересантнији примери примене у свакој од ових области.

Дате су основне претпоставке теорије решеткастих носача у погледу материјала конструкционих елемената, начина оптерећивања и конструктивног извођења. Након приказаних примера уочена је разноликост облика и положаја решеткастих носача која се, пре свега, односи на конструкцијско обликовање и димензије. На основу тога извршена је подела решеткастих носача како би се омогућила извесна систематизација. Из тога произилази да се подела може извршити на основу неколико критеријума.

Наведени су неки од основних принципа формирања решеткасте структуре са становишта глобалних димензија решетке, попречних пресека штапова и начина њиховог међусобног повезивања.

Изложен је преглед главних поступака и претпоставки који се користе за прорачун решеткастих носача, како код решеткастих носача са чворним лимом, тако и код решеткастих носача без чворног лима. Наведен је поступак конструисања појасних штапова, дијагонала и чворних лимова. Такође је објашњен поступак везивања штапова испуне са појасним штаповима, у зависности од њиховог оптерећења.

Дат је кратак опис решеткастих носача од шупљих профила, наведени облици који су у потреби и поступак добијања таквих профила.

На конкретном примеру је приказан ток прорачуна чвора једног раванског решеткастог носача и димензионисани су сви штапови који улазе у чвор као и њихове заварене везе за чворни лим. Такође је дат пример конструктивног решења самог чвора.

8. Литература

- [1] Буђевац Д., Марковић З. и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд, 2007.
- [2] Милосављевић М., Радојковић М., и Кузмановић Б., Основи челичних конструкција
- [3] Зарић Б., Буђевац Д., Стипанић Б., Челичне конструкције у грађевинарству (треће издање), Београд, 1995.
- [4] Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – приручник за прорачуне, Машински факултет у Крагујевцу, 1998.
- [5] Буђевац Д.: Челичне конструкције у зградарству, Грађевинска књига, Београд, 1992.
- [6] Николић Р., Вељковић Ј., Марјановић В., Металне конструкције – збирка решених задатака, Машински факултет, Крагујевац, 2013
- [7] EUROCODE 3 (EN 1993-1-1) – General rules and rules for buildings
- [8] <https://www.google.rs/search?q=rotorni+bager&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch>
- [9] <http://moodle.mfkg.rs/mod/resource/view.php?id=11791>
- [10] <http://moodle.mfkg.rs/mod/resource/view.php?id=9636>