

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Заварене и ливене конструкције

Број индекса: 378/2017

Сара Г. Костић

**Прорачун заварених спојева према ЕСЗ на
примеру решеткасте конструкције
железничког моста**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Доцент др Иван Милетић - ментор

2. Проф. др _____

3. Проф. др _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада студент треба да направи увод о решеткастим конструкцијама и да објасни аналитички прорачун сила у штаповима решетке. Објаснити диспозицију и делове железничких мостова. Одрадити статичку анализу, анализу напона и деформација и према томе димензионисати све штапове. Објаснити заварене спојеве решеткастих носача и дати пример прорачуна.

Препоручена литература:

- [1] Челични мостови, Д. Буђевац, Б. Стипанић, Грађевинска књига Београд 1989.
- [2] Теорија конструкција, И.П. Прокофјев; Грађевинска књига Београд, 1959.
- [3] Металне конструкције, Д. Буђевац, З. Марковић, Д. Богавац, Д. Тошић; Грађевински факултет Универзитета у Београду, 1997.
- [4] EN 1991-1-3: 2003; Eurocode 1: Actions on structure – Part 1 – 3: General actions – Snow load
- [5] EN 1991-1-4: 2005; Eurocode 1: Actions on structure – Part 1 – 4: General actions – Wind actions
- [6] EN 1993-1-1: 2005; Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1: Design of steel structures, General rules and rules for buildings
- [7] EN 1993-1-8: 2005; Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1 – 8: Design of joints

Крагујевац, 2019.

Ментор:
Др Иван Милетић, доцент

Резиме

У оквиру овог рада дат је предлог диспозиционог решења решеткасте конструкције железничког моста. Бирају се конструктивни елементи и материјал на основу статичке анализе система. Одређују се вредности напона и деформације. Према европским стандардима за челичне конструкције, одређују се утицаји снега, ветра, сопствене тежине као и саобраћајног оптерећења, па се према тим вредностима и напонима које они изазивају, димензионишу штапови решетки. Објашњен је поступак остваривања веза шупљих профила заваривањем, па је у складу са EC3 урађен пример прорачуна.

Кључне речи: Autodesk Robot, еврокодovi EN 1991-1-1, EN 1991-1-2, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4, EN 1993-1-1, EN 1993-1-8, заваривање, мост, металне конструкције, напон, решетка, статичка анализа, угиб, челик, шине, штап, шупљи профили

Abstract

This paper describes a proposal of dispositional solution for truss structure of a railway bridge. Constructive elements and material are selected based on static analysis of the system. The values of stress and deformation are determined. According to European standards for steel structures, the effects of snow, wind, dead load and traffic load are determined, and according to these values and the stresses they are causing, bar members are dimensioned. The procedure for obtaining connections of rectangular hollow sections by welding is explained, and in accordance with the EC3 is given an example of the calculation.

Key words: Autodesk Robot, eurocodes EN 1991-1-1, EN 1991-1-2, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4, EN 1993-1-1, EN 1993-1-8, welding, bridge, metal construction, stress, truss, static analysis, deflection, steel, rails, bar, rectangular hollow section

САДРЖАЈ

1. Увод	1
2. Решеткасте конструкције	4
2.1. Решеткасти носачи.....	5
2.2. Подела решеткастих носача	6
2.3. Примена решеткастих носача.....	8
2.4. Обликовање решетки	8
3. Методе одређивања сила у решеткама по условима статике	12
3.1. Метода чворова.....	13
3.2. Ритерова метода – Метода пресека.....	15
4. Основе за диспозициона решења железничких мостова.....	17
4.1. Главни елементи носеће конструкције	17
4.2. Ширина моста	18
4.3. Слободни профил моста.....	18
4.4. Коловоз и коловозни носачи	19
4.5. Коловозни носачи отвореног типа	20
4.6. Главни носачи	25
4.7. Лежишта	26
5. Материјал за железничке мостове.....	27
6. Услови монтаже.....	30
7. Заварени спојеви.....	34
7.1. Основе прорачуна	35
7.2. Врсте шавова	35
7.3. Прорачунска носивост угаоних шавова	36
8. Заварени спојеви шупљих профила	39

8.1. Типови веза.....	39
8.2. Облици лома код веза шупљих профила	40
8.3. Прорачунска носивост веза шупљих профила.....	42
9. Пројектни задатак	43
9.1. Диспозиција железничког моста.....	43
9.2. Материјал	43
9.3. Опис конструктивних елемената.....	45
9.4. Шине и шински прибор	46
9.5. Лежишта.....	46
9.6. Услови монтаже	46
9.7. Антикорозивна заштита	47
9.8. Статичка анализа система	47
10. Анализа оптерећења	48
10.1. Непроменљиво оптерећење - Сопствено оптерећење.....	48
10.2. Променљиво оптерећење.....	49
10.2.1. Оптерећење снегом	49
10.2.2. Оптерећење ветром у правцу осе Z	51
10.2.3. Оптерећење ветром у правцу осе Y	53
10.2.4. Саобраћајно оптерећење	55
10.3. Комбинација оптерећења.....	57
10.4. Провера угиба.....	57
11. Димензионисање штапова решетке	59
11.1. Димензионисање штапова појаса.....	59
11.2. Димензионисање штапова испуне – Вертикале.....	60
11.3. Димензионисање штапова испуне – Дијагонале.....	61
11.4. Димензионисање штапова доњег спрега за ветар.....	62
11.5. Димензионисање штапова горњег спрега за ветар.....	64
12. Пример прорачуна завареног споја решеткастог носача	66

13. Закључак	70
ЛИТЕРАТУРА	72

1. Увод

Потреба за поузданим транспортним системом дошла је са развојем индустријске револуције да би се индустријски производи, материјали као и људи, транспортовали у што краћем временском року. Ова потреба, заједно са развојем парне машине, означила је почетак железница. Парна локомотива представљала је главно средство овог транспортног система. Даље, железничка индустрија је постала примарна у развоју материјала и инжењерске механике у другој половини 19. века.

Мостови су грађевински објекти који имају за циљ превођење саобраћајница, па се према својој намени могу поделити на друмске, пешачке, вијадукте, индустријске и железничке какви ће се разматрати у наредним поглављима овог рада.

Развој железничких мостова био је постепен. Први употреба челика и гвожђа за мостове била је у Великој Британији. Британци су изградили значајне челичне мостове великих распона. У другој половини 20. века са тла Југославије изграђено је више мостова рекордних светских распона од челика и бетона.

Бетон и дрво били су принципијални материјали за ране мостовске конструкције. Ту се јавља потреба за бољим и јачим материјалима како би се остварили велики распони. Ливено гвожђе се користило крајем 18. века за конструкције првих лучних металних мостова и коришћење овог типа материјала се повећао се развојем железница. Железничке решетки конструисане након 1840. године су углавном имале ливено гвожђе, ковано гвожђе и дрвене греде као конструктивне елементе. Углавном, решетки са дрвеним притиснутим деловима или ливеним гвожђем су широко коришћене у ранијим америчким железничким конструкцијама [1].

Крајем 19. века, ливено и ковано гвожђе све више замењује челик, који је имао поприлично високу цену. Међутим Басемер и Сименс су довели до развоја производње челика па је овај напредак у производњи довео је до стварања повољног челика а самим тим и већу његову употребу.

Прва употреба челика за железничке мостове била је 70-их година 19. века за конструкција моста *The Eads* преко реке Мисисипи, добио је назив по грађевинском инжењеру Џејмсу Идсу (*James B. Eads*). Овај мост није био фаворизован због своје неизвесности у погледу железничких оптерећења али његов значај огледа се у крутости моста за сва оптерећења која је постигнута увођењем грађењем решетки између кровних делова моста и између лучних делова главних носећих елемената. Карактеристике *Eads*-овог моста нису само значајне због прве употребе челика већ и због других иновација које су допринеле развоју железница. Овај мост имао је најранију примену шупљих профила за штапове појаса. На слици 1.1. приказан је мост „*The Eads*“.



Слика 1.1. Железнички мост „The Eads“ преко реке Мисисипи, 1874. година [1]

Процењено је да је до 1910. године изграђено и до 80 000 мостова од гвожђа и челика. Железнице су биле катализатор за иновације у индустрији материјала као и у грађевинској индустрији и период друге половине 20. века је период преласка са дрвета и бетона на мостове од гвожђа и челика. Уметност и наука у мостogradњи произашле су из теоријских и експерименталних механичких истраживања која су, у великој мери, довела до потребе за рационалним и научним пројектовањем мостова као и убрзаним развојем и проширењем железничке инфраструктуре. После неколико неуспеха и колапса, јавила се потреба за јачим и дужим челичним мостовима, што је приморало инжењере да у научни развој укључе и пројектовање челичних железничких мостова. Пракса до тада је била базирана на дотадашњим искуствима и већ употребљаваних решетки са побољшаним материјалима на притисак и затезање. Ова емпиријска пракса служила је док се терет возова и локомотива није знатно повећао. Због употребе челичних решетки на пругама у Америци као и осталим деловима света, развило се интересовање за анализу оваквих конструкција. Шкајер Випл (*Squire Whipple*) објавио је први рационални приступ статички одређене анализе, такозвану методу чворова [1]. Брзи раст инжењерске механике подстакао је немачке и француске инжењере да пројектују и анализирају железничке мостове и еластичну анализу стабилности. Карл Кулман (*Karl Culmann*) инжењер Баварске Краљевске железнице представио је математичку анализу решетки, међу њима и решење *Howe* решетки.

До данас се облици челичних железничких мостова нису променили. Челични лукови, носачи и решетки су уобичајене. Значајна побољшања су постигнута током двадесетог века у материјалима, изградњи технологије, структурне анализе и пројектовању и технологији израде. Такође се знатно побољшала жилавост и дуктилност материјала, отпорност на корозију и заварљивост конструкције. Ова побољшања омогућила су економичне, поуздане и сигурне железничке мостове.

На сликама 1.2 и 1.3., приказан је модеран железнички мост, „*The Forth bridge*“ који је отворен 1890. године у Шкотској и остаје један од најмоћнијих конзолних мостова и представља прекретницу у пројектовању и изградњи мостова.



Слика 1.2. „The Forth bridge“ Шкотска, Уједињено Краљевство 1890. година [1]



Слика 1.3. „The Forth bridge“ - приказ конструктивних елеменат и начин
остваривања везе [1]

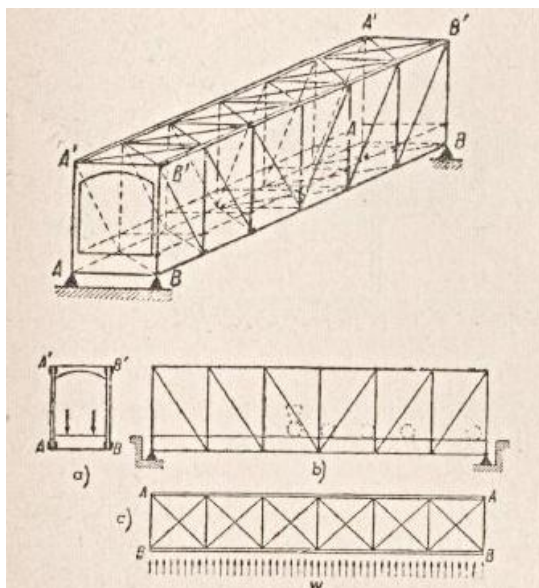
Све је чешћа примена решеткастих носача од шупљих профила. Избором овог конструктивног елемента постижу се веома атрактивни изгледи. Конструисање и димензионисање веза ових профила остварује се све више заваривањем, али захтевају специфичан приступ и поштовање многих европских прописа. Последњих педесет година спроведена су бројна експериментална истраживања у циљу одређивања теоријских основа и прорачунских модела.

2. Решеткасте конструкције

Конструкција је све оно што је направљено људском руком али у техници се под тим називом сматра конструкција чији се облици и димензије одређују техничким и економским прописима. Свака конструкција треба да одоли дејству разних спољних сила и утицаја, па мора бити чврста и стабилна. Али без познавања сила које делују на конструкцију, не може се одредити чврстоћа, тј. ако се не познаје распоред унутрашњих сила и момената које су настале као последица спољашњих сила. Значи, задатак теорије конструкције састоји се у проучавању распореда унутрашњих сила у деловима конструкције и да одреди однос силе и напона, тј. одреди критичну тачку конструкције, те да је према тој критичној вредности димензионише. Конструкција мора бити јака у свим својим деловима, али не треба претеривати са димензионисањем и бирати јаке и тешке елементе за некритичне делове конструкције, па се према томе врши и оптимизација [2].

Све учесталији облик конструкција састоје се из штапова малих попречних пресека у односу на своју дужину. Елементи таквих конструкција изложени су на притисак и затезање па се зато израђују од материјала који добро подносе таква оптерећења а то су армирани бетон, дрво и челик. Ово су тродимензионалне конструкције и у ту групу спадају греде, стубови, решетке и слично. Предност ових тродимензионалних конструкције је што их можемо рашчланити на системе у равни где је једна димензија незнатна у односу на друге две. Тако на пример, било који мост који је просторни систем, који носи вертикално оптерећење од сопствене тежине и ветра и хоризонтално оптерећење од утицаја ветра, може се рашланити на [2]:

- Попречни систем (*a*) кога чине поперечни носачи AB који примају терет од једног или више пари точкова.
- Попречни системи (*b*) кога чине две вертикалне решетке AA' и BB' од којих свака прима по половину тежине самог моста и половину оптерећења воза које се преноси у раван главних решеткастих носача преко ослонаца греда AB .
- Хоризонталне решетке (*c*) у равнима AB и $A'B'$ које примају хоризонталне силе ветра које делују на бочне површине моста.



Слика 2.1. Мост као решеткаст просторни систем [2]

Постоје и такве конструкције које се не могу рашчланити на више равни, на пример, конструкција крана. Узрок томе је што вертикалне силе не припадају само вертикалној равни па се не могу ни једноставно разложити. Овакве конструкције називамо просторним.

Најпростије конструкције су греде и стубови. Склапањем најпростијих елемената у једну целину настају сложене конструкције. Стварање сложених конструкција може бити изведено тако да сваки елемент ради сам за себе, независно од других делова, али неке су направљене тако да су елементи конструкције међусобно зависни. Такви системи настају помоћу зглобних и крутих веза и називају се склопљени системи.

Најпростији облик склопљених система су решетке, састављене од одређеног броја штапова који су састављени на својим крајевима. Могу бити самосталне а могу бити и део неке конструкције.

2.1. Решеткасти носачи

Решеткати носачи настали су са жељом конструктора да се смањи утрошак материјала а постигне довољна носивост конструкције. Решеткасти носачи састоје се из међусобно повезаних појасних штапова и штапова испуне (дијагонале и вертикале) који формирају троугану структуру. Ови штапови су аксијално напрегнути, тј. делују само силе притиска и затезања, па је дијаграм нормалних напона константан и може се остварити боље искоришћење напона него код пуних носача у области еластичног понашања. Момент савијања остварује се помоћу појасних штапова. Праве које спајају један зглоб са другим дефинишу правце аксијалних силе које делују штаповима решетке. Углавном се примењују за пријем тешких оптерећења и премоштавање већих распона јеру у том случају пуни носачи су тешки и нерационални. Израда зглобова без трења није могућа, и врло ретко се раде у виду зглобова, углавном су то чворни лимови, закивци заварени спојеви, а то ће детаљније бити размотрено у даљим поглављима. При великој дужини штапа а релативно малој ширини попречног пресека, допунски напони проузроковани од круте везе у штаповима, релативно су мали у односу на напоне проузроковане аксијалним силама. Допунски напони прорачунавају се углавном у области решеткастих мостова [1,2].

Оптерећење решетке наноси се искључиво на чворове, јер у супротном се оптерећење преноси и на друге штапов и долази до појаве других сила и савијања што додатно компликује напонске стање. Према томе, теорија решеткастих носача изучава само дејства аксијалних сила, начињене од правих штапова, без утицаја трења и да се оптерећење преноси преко зглобова-чворова.

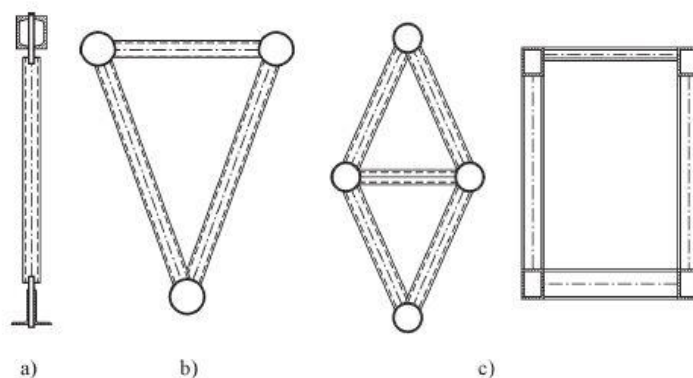
Решеткасти носачи треба да испуњавају услов крутости, односно да нема слободног померања међу штаповима. Решетке које немају крутост, тј. које су променљивог облика, нису корисне као конструкције, па се на даље неће разматрати.

2.2. Подела решеткастих носача

Подела решеткастих носача може се извршити на више начина [3]:

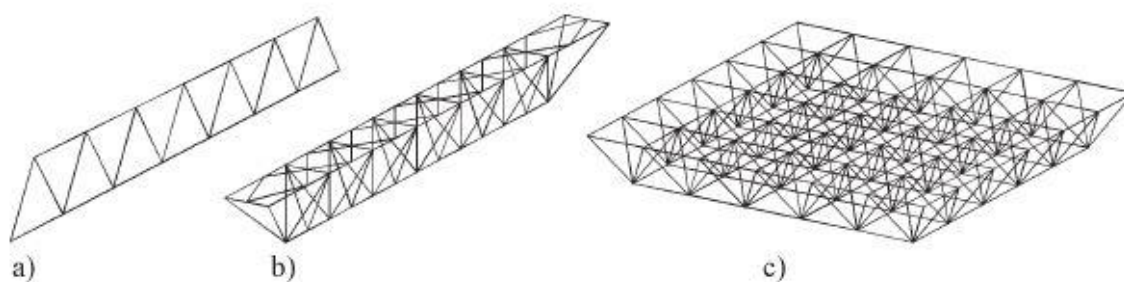
- Према броју појасева
- Према просторном положају
- Према интензитету напрезања
- Према начину обликовања

Према броју појасева решеткасти носачи се могу поделити на двопојасне и вишепојасне. Двопојасни носачи састоје се из два појаса (горњег и доњег) који су међусобно повезани штаповима испуне. Вишепојасни носачи имају више од два појаса. Највише се примењују са 3 појаса (тропојасни решеткаст носач у зградарству) и четири појаса (четворопојасни решеткаст носач за мостоградњу). Тропојасни имају троугаони попречни пресек, као што је приказано на слици 2.2.1 б). Четворопојасни решеткасти носачи су углавном квадратног, ромбичног или трапезастог попречног пресека, као што је приказано на слици 2.2.1 с).



Слика 2.2.1. Подела решеткастих носача према броју појасева [3]

Према просторном положају могу се поделити на раванске и просторне. Равански решеткасти носачи су носачи код којих линије свих штапова леже у истој равни, приказано на слици 3.2.2 а). Према томе, равански решеткасти носачи имају два појаса па се тако могу сврстати у двопојасне носаче. Просторни решеткасти носачи су носачи код којих линије штапова не леже у истој равни, већ формирају просторну структуру:

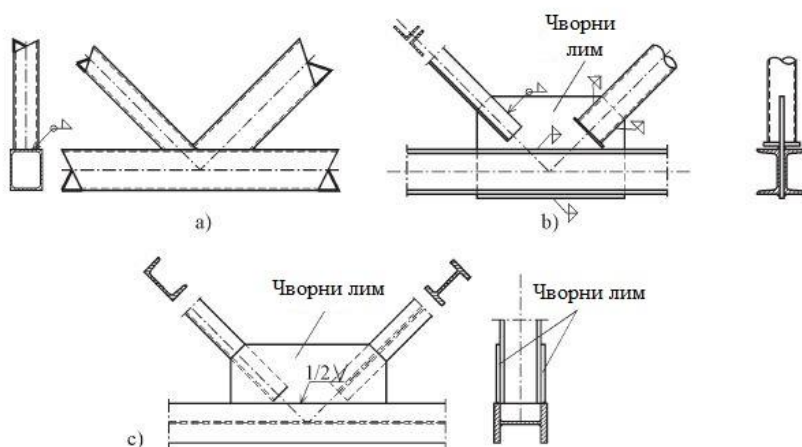


Слика 2.2.2 Подела решеткастих носача према просторном положају [3]

Према интензитету напрезања носачи се деле се на лаке, средње и тешке. Лаки решеткасти носачи се углавном користе у зградарству, где су умерена оптерећења. Израђују се углавном од ваљаних U и Т профила и некад од I профила или хладно обликованих отвореног и затвореног попречног пресека. Средње тешки се примењују за веће распоне и већа и значајнија оптерећења, углавном као кровни и подни носачи. За штапове оваквих решеткастих носача користе се претежно тешки ваљани профили (U, I, IPE, HEA, HEB). Тешки решеткасти носачи примењују се код оптерећења великог интензитета и великих распона оптерећења. То је случај са мостовским носачима који се изводе као решеткасти носачи за велике распоне од 30 до 100м. Штапови ових носача се повезују заваривањем, и то са сандучастим, шеширастим или I попречним пресецима[3].

Према начину обликовања чворног лима односно према остваривању везе између појасних штапова и штапова испуне, решеткасти носачи се деле на носаче без чворног лима и носаче са чворним лимом. Код прве групе, веза штапова се остварује завртњима или заваривањем. Значи без чворног лима најчешће се израђују лаки решеткасти носачи, а могуће је и извођење код средњих и тешких решеткастих носача кружног или квадратног попречног пресека, приказано на слици 2.2.3 а).

Решеткасти носачи са чворним лимом код којих су штапови испуне за појасне штапове везани помоћу посебних додатних лимова, називају су чворни лимови. Према броју чворних лимова, разликујемо једнозидне чворне носаче који се користе за лаке и средње носаче, и двозидне решеткасте носаче који имају два лима, приказано на слици 2.2.3 б) и в).

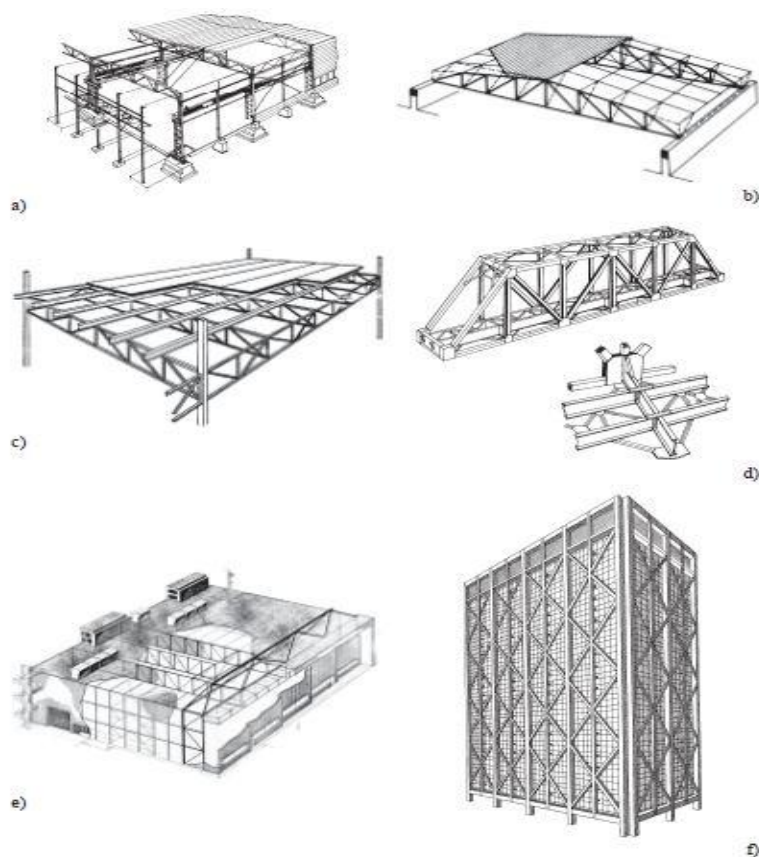


Слика 2.2.3 Подела решеткастих носача према начину обликовања чворног лима [3]

2.3. Примена решеткастих носача

Решеткасти носачи имају широку примену како у зградарству тако и у мостоградњи. У зградарству они се користе као кровни носачи, подвлаке, подни носачи, крански носачи у индустријским халама итд. Кровни носачи имају најширу примену, користе се готово у свим објектима, преко високоградње до спортских дворана и иложбених павиљона. Захваљујући великом и разноврсном избору профила, комбиновањем и обликовањем могу се добити решеткасти носачи атрактивног изгледа а могу и бити део ентеријера.

У мостоградњи се ови носачи користе као главни носачи друмских и железничких и транспортних мостова у индустријским објектима. Такође је честа примена спрегова за стабилизацију којима се обезбеђује пријем хоризонталних сила које потичу на пример ветра, као и просторна стабилност. На слици 2.3. приказани су различити облици решеткастих носача у зависности од њихове примене.



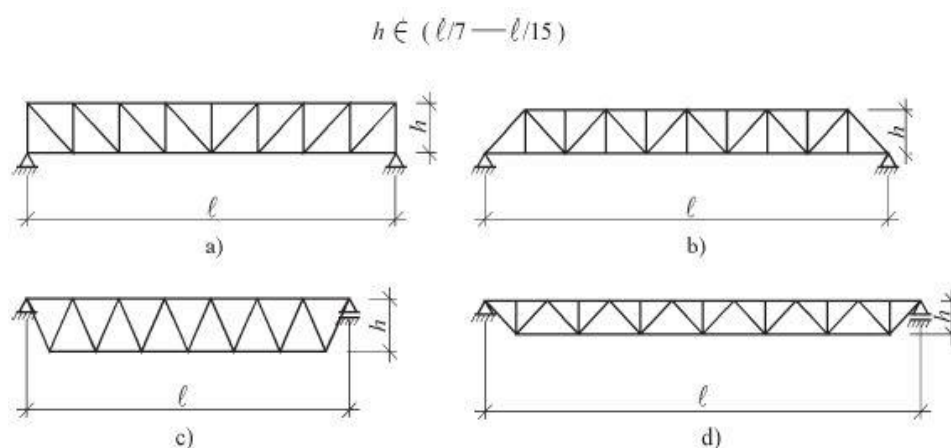
Слика 2.3. Примери примене решеткастих носача [3]

2.4. Обликовање решетки

За обликовање и изградњу решетки најчешће се користе греде, континуални носачи и лучни носачи док су Герберови слабо коришћени. Обликовање пре свега зависи од намене и функције решеткастог носача, а то се односи на облик, димензије и носивост елемената. Елементи решетке подељени су у две групе, на појасне штапове, т. оквирне елементи који поред аксијалних сила трпе и моменте савијања, и штапове испуне, вертикалне или дијагонално постављене елементе који су оптерећени искључиво аксијалним силама.

2.4.1. Решеткасти носачи са паралелним појасевима

Овакви решеткасти носачи се најчешће користе у високоградњи, као рожњаче, подни носачи и крански носачи, и у мостogradњи као главни носачи или као спрегови. Ови носачи су правоугаоног или трапезног облика, као што је приказано на слици 2.4.1. Висина ових носача зависи од тога да ли је реч о тешким или лаким носачима, па се према тома висина за лаке носаче креће у опсегу $l/10$ до $l/15$ од а за тешке носаче од $l/7$ до $l/9$ [2]. Ове вредности односе се просте греде, а за континуалне носаче као на пример мостовски носачи који трпе тешка оптерећења па се усваја нешто мања висина и креће се од $l/9$ до $l/12$, где је l распон решетки. Распон ових носача креће се од неколико десетина до неколико стотина метара.

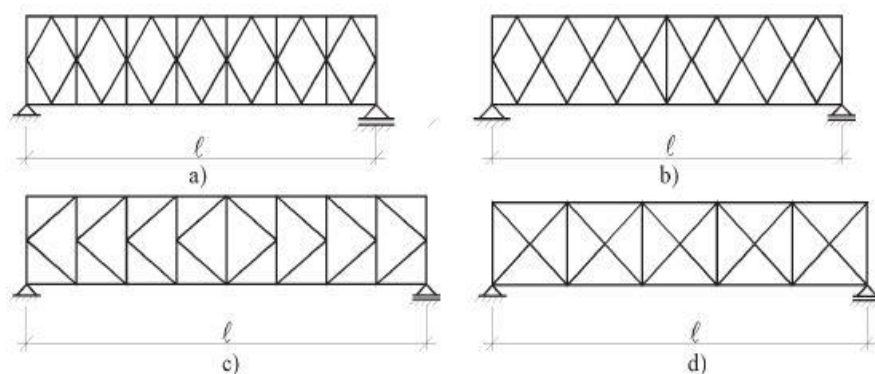


Слика 2.4.1 Решеткасти носачи са паралелним појасевима [3]

Позиција штапова испуне зависи од распона, висине носача, функције и оптерећења. Када је носач оптерећен чистим гравитационим силама, тј, када нема других видова оптерећења, решеткасти носачи дизајнирају се тако да елементи испуне буду вертикално и симетрично постављени. Честа је примена елемената испуне постављених дијагонално, а изостављене су вертикале и на тај начин је смањена тежина и утршак материјала.

2.4.2. Решеткаста укрућења или спрегови

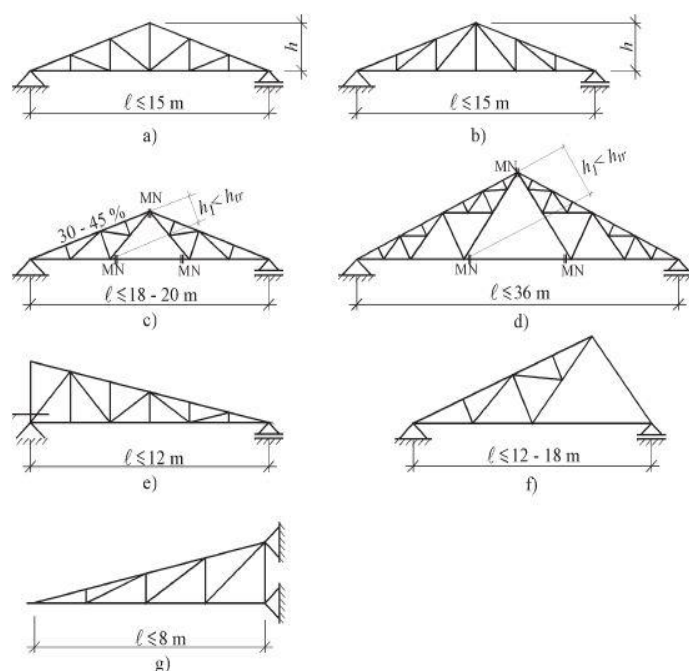
Ови носачи се израђују углавном са паралелним појасевима. Као спрегови најчешће се користе носачи са ромбичном испуном, на пример код пријема ветра код мостовских носача. Оваква облик је повољан јер обезбеђује придржавање притиснутих штапова у средини распона. Спрегови са К-испуном имају кратке штапове што омогућава отпорност на извијање и коришћење малих попречних пресека, на пример један или два L профила (слика 2.4.2). Примена укрштених дијагонала је погоногна где постоје и алтернативна оптерећења. Ови штапови су идеално затегнути па се сматра да не могу учествовати у преношењу оптерећења.



Слика 2.4.2 Решеткаста укрућења или спрегови [3]

2.4.3. Троугаони решеткасти носачи

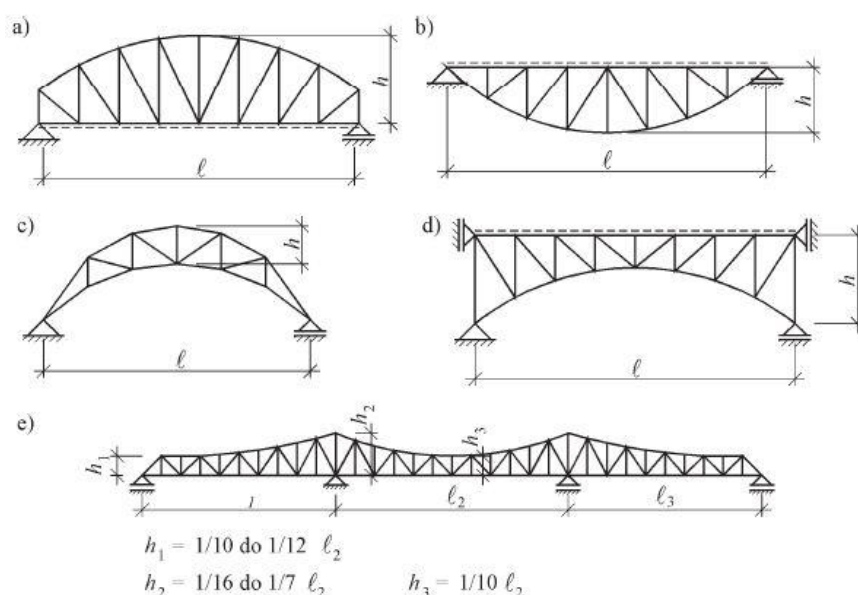
Ови носачи су најзуступљенији, користе се кровни носачи и зградасртву. Срећу се код стрмих кровова са нагибом до 45%. Висина ових носача је већа у односу на носаче са паралелним појасевима, и износи од $l/6$ до $l/4$. Велика висина у средини решетке неопходна је како би се избегли оштри углови између штапова ($< 30^\circ$). Распон ових носача креће се до 15 m, слика 2.4.3. а), али се може и повећати на 30-36 m, слика 3.4.3. д) уколико се штапови испуне обликују тако да се могу поделити на монтаже секције. Несиметрични решеткасти носачи користе се ка кровни носачи код индустријских објеката или као надстрешнице конзолног статичког система слика 2.4.3 в) и г). Исто као и код решетастих носача са паралелним појасевима дијагонале су затегнуте ако нагнуте ка средини, Постоји могућност избегавања додатних вертикалних елемената испуне јер се тако постиже мања тежина и утршак материјала али је у том случају потребно обезбедити елементе исуне са робоснијим попречним пресеком. Овакви носачи се не препоручује тамо где постоји континуално оптерећење дуж решетке.



Слика 2.4.3. Троугаони решеткасти носачи [3]

2.4.4. Параболични решеткасти носачи

Ови решеткасти носачи пројектују се тако да њихови чворови, то јест чворови бар једног појаса образује параболу. Појасеви су углавном полигонални, јер примена штапова проузрокује секундарне утицаје савијања. Најчешће се граде тако да је само један појас параболичан, као на слици 2.4.4. а) б), али постоје решења са два параболична појаса, као на слици 2.4.4. с). Овакви решеткасти носачи су повољни за примену у мостоградњи јер се њихов облик прилагоди дијаграму момента савијања. Примењују се у мостоградњи као равни мостовски носачи са транспортом на горњем или доњем појасу. Најчешће се изводе као просте греде, констринуални носачи и укљештене греде.



Слика 2.4.4. Параболични решеткасти носачи [3]

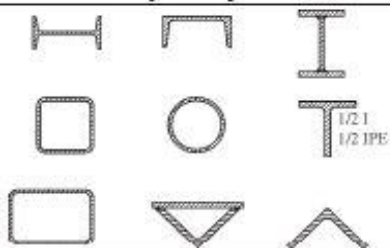
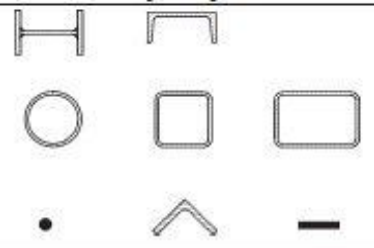
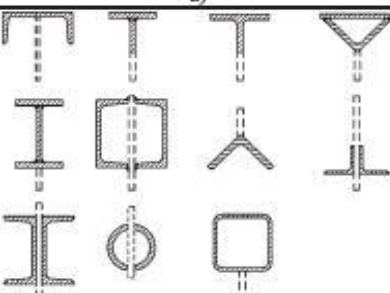
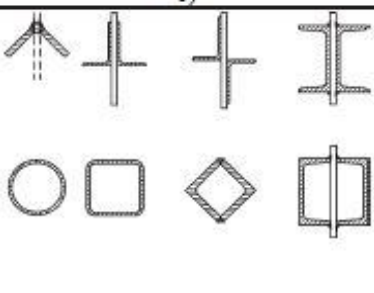
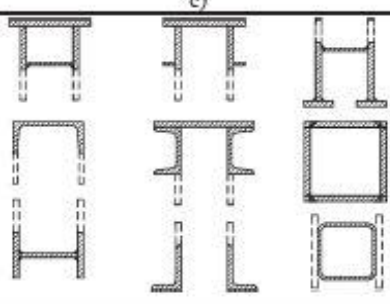
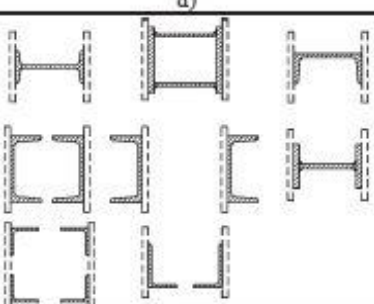
2.4.5. Елементи и попречни пресеци решеткастих носача

За формирање решеткастих носача користе се стандардни ваљани профили. У зависности од интензитета напрузења, начина конструкционих обликовања веза у чворовима, функције носача, експлоатационих услова и положаја штапа у конструкцији. Ваљани профили се примењују као самостални, једноделни штапови или као вишеделни штапови настали заверивањем два елемента, односно профила. Облици попречних пресека који се најчешће примењују налазе се у табели 2.4.5.

Као појасни штапови код решеткастих носача користе се ваљани профили, затим шупљи профили квадратног и кружног попречног пресека. То су стандардни ваљани I и U профили, а у мостоградњи је честа примена сандучастих профила или шеширастих образовањем два U профила.

Штапови испуне се спајају за појасне штапове директно заваривањем, без додатног чворног лима. Осим стандардних ваљаних профила, за штапове испуне могу се користити и пљоснати и округли челик, такозване „рожњаче“. За ове врсте штапова, све се чешће користе шупљи носачи квадратног или кружног попречног пресека.

Табела 2.4.5. Облици попречног пресека решеткастог носача [3]

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

Средином прошлог века започета је масовнија израда шупљих профила квадратног и крушног попречног пресека. У периоду између два светска рата, највећи број челичних решеткастих конструкција био је изведен са монтажним везама елемента, закивцима и и чворним лимовима. Данас је све чешћа примена директно заварених веза, без чворних лимова или других додатних елемената. Овакве везе са собом доносе и сложенија поља напона, па анализа понашања овакве везе при граничном стању носивости и граничном стању употребљивости не може бити одређена само на основу аналитичких поставки. Зато се последњих година одвија све већи број експерименталних и нумеричких истраживања, помоћу којих се одређује носивост оваквих веза.

3. Методе одређивања сила у решеткама по условима статике

Носачи састављени од штапова међусобно повезаних у зглобове називају се решеткасти носачи. Могу бити статички одређени и статички неодређени. Статички одређени носачи су они који имају довољан број исправно распоређених штапова и правилно распоређене спољашње везе. Статички неодређене решетки имају неправилно распоређене штапове или спољашње везе.

Основни стабилни елемент раванске конструкције је троугао са три штапа и три чвора. Статичку одређеност проверавамо помоћу формуле за број потребних штапова [6]:

$$n_s = 2n_c - 3 \quad (3.1)$$

Где су:

n_s - Потребан број штапова

n_c - Број чворова решетки

Постоје два главна начина решавања сила у штаповима решетки, аналитички приступ и графички приступ. Графички приступ се у овом раду неће разматрати, јер је ретка и застарела метода.

Током решавања потребно је знати нека општа правила, а то су [6]:

- Ако на чвору у коме се састају два штапа не делује спољашња сила, тада су силе у тим штаповима једнаке нули.
- Ако на чвору у коме се састају два штапа делује сила у правцу једног од штапова, тада је сила у другом штапу једнака нули.
- Ако се у чвору у коме не делује спољашња сила, састају три штапа, од којих су два штапа у равни, тада је сила у трећем штапу једнака нули.
- Ако постоји неоптерећен чвор у коме се састају четири штапа, тада су силе код штапова у истом правцу међусобно једнаке.

Такође, неопходан је услов да се спољашње силе уносе у чворове решетки, јер би у супротном, свако оптерећење које би се преносило на било који штап ван чворова, распоређивало на суседне чворове. На тај начин би изазвао у штапу савијање, чиме би био оптерећен додатно и на напоне савијања поред напона који се јављају услед аксијалних сила. Када се оптерећења решетки уносе само у чворове, тада се јављају само напони од основних аксијалних сила.

Теорија решеткастих конструкција изучава само основне аксијалне силе у решеткама са претпоставкама да су сачињене од правих штапова састављених у целини преко зглобова без трења, с тим да се оптерећење наноси само преко зглобова-чворова. Још један услов који решетка треба да испуни је услов крутости. Решетке које не успуњавају овај услов су неупотребљиве као конструкције те се неће разматрати. Код аналитичког приступа разликују се метода чворова и метода пресека или Ритерова метода.

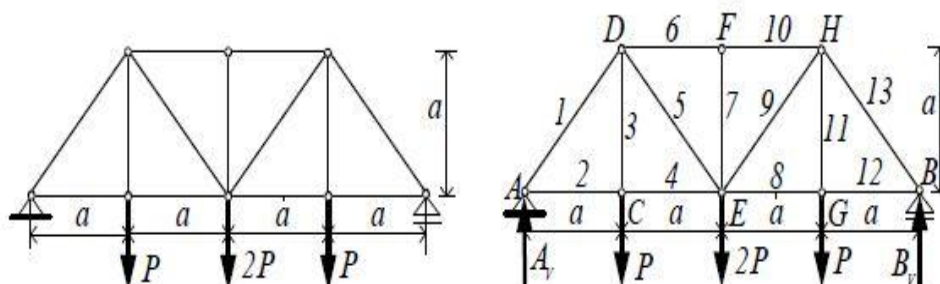
3.1. Метода чворова

Ова метода подразумева исецање чворова решетки и постављање услова равнотеже спољашњих и унутрашњих сила штапова који се сустичу у истом чвору. Полази се увек од чвора где постоје две непознате силе, па се постављају услови равнотеже [2]:

$$\sum F_x = 0 \quad ; \quad \sum F_y = 0 \quad (3.1.1)$$

На слици 3.1.1 налази се једноставан решеткаст носач са неколико оптерећења. Силе су унешене у чворове решетки. Словима *A* и *B* означени су ослонци решетки, а са

C,D,E,F,G и H чворови решетке. Бројевима 1-13 су означени штапови решетке. Мало слово а је висина решетке.

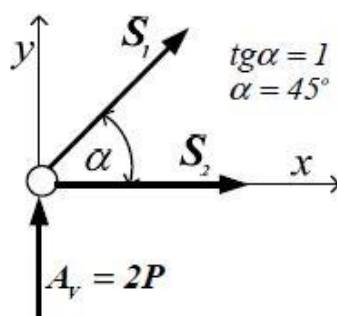


Слика 3.1.1. Решеткаст носач оптерећен силама у доњим чворовима [6]

Због симетрије носача и оптерећења, и из равнотеже вертикалних сила следи:

$$A_v = B_v = 2P$$

➤ Посматра се чвор А:

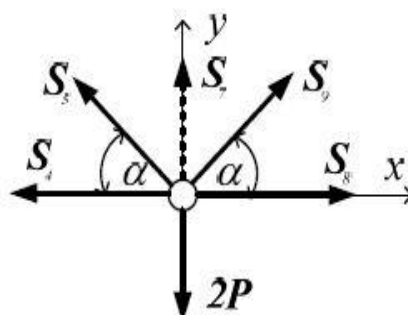


Слика 3.1.1. Силе у чвору А [6]

$$\sum F_y = 0 ; A_v + S_1 \sin \alpha = 0 ; \Rightarrow S_1 = - A_v / \sin \alpha = - 2P / \sin \alpha$$

$$\sum F_x = 0 ; S_2 + S_1 \cos \alpha = 0 ; \Rightarrow S_2 = - S_1 / \cos \alpha = 2P / \cos \alpha$$

➤ Посматра се чвор Е



Слика 3.1.2. Силе у чвору Е [6]

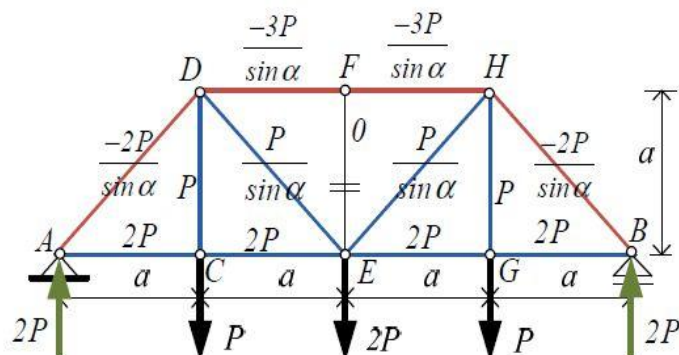
$$\sum F_y = 0 ; S_5 \sin \alpha + S_9 \sin \alpha - 2P = 0$$

$$S_9 = 2P \sin \alpha - S_5 = 2P/\sin \alpha - P/\sin \alpha = P/\sin \alpha$$

$$\sum F_x = 0; -S_4 - S_5 \cos \alpha + S_9 \cos \alpha + S_8 = 0$$

$$S_8 = S_4 + S_5 \cos \alpha - S_9 \cos \alpha = 2P/\sin \alpha + P/\sin \alpha - P/\sin \alpha = 2P$$

На исти начин одређују се силе у осталим чворовима. Када се одреде све силе, носач изгледа као на слици 3.1.3, где су црвеном бојом означене силе притиска, плавом бојом силе затезања а зеленом бојом силе у ослонцима, односно реакције.

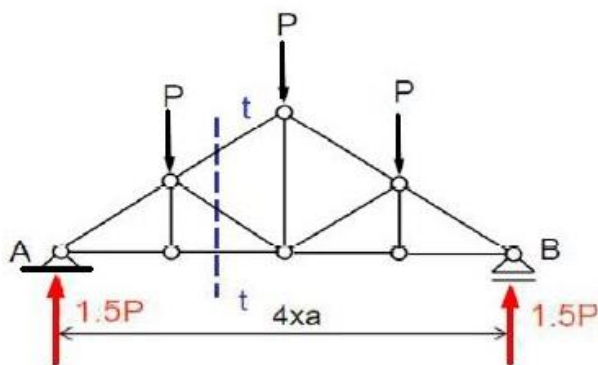


Слика 3.1.3. Приказ свих сила носача [6]

3.2. Ритерова метода – Метода пресека

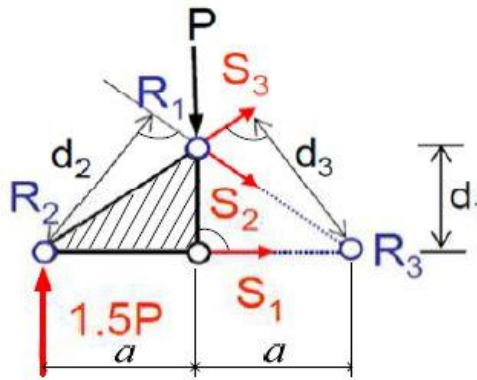
Ритерова метода често се назива и метода моментних тачака. Ова метода подразумева поделу решеткастог носача на два дела и постављање услова равнотеже једног од делова. Посматрани део носача са активним и реактивним силама мора бити у равнотежи са унутрашњим силама у пресечним штаповима [2]. Приступ је идентичан као и код одређивања унутрашњих сила пуних носача.

Ова метода погодна је за одређивање сила када нас занимају силе само у одређеном делу носача. На следећем примеру решеткастог носача биће приказана Ритерова метода пресека.



Слика 3.2.1. Решеткаст носач [6]

Овај решеткаст носач се дели на два дела правом t . На тим местима пресека обележиће се пресечне Ритерове тачке и поставиће се моментне једначине. Из услова да је сума момената свих сила једнака нули, одређује се трећа сила која не пролази кроз ту тачку. На слици 3.2.2. приказан је део носача са Ритеровим тачкама (R_1, R_2, R_3) и силама у штаповима (S_1, S_2, S_3).



Слика 3.2.2. Ритерове тачке и силе на носачу [6]

$$\sum M_{R1} = 0 ; S_1 \cdot d_1 - 1,5 P \cdot a = 0 \Rightarrow S_1 = 1,5 P \cdot a / d_1$$

$$\sum M_{R2} = 0 ; S_2 \cdot d_2 + P \cdot a = 0 \Rightarrow S_2 = - P \cdot a / d_2$$

$$\sum M_{R3} = 0 ; S_3 \cdot d_3 - P \cdot a + 1,5 P \cdot 2a = 0 \Rightarrow S_3 = - 2P \cdot a / d_3$$

Или уопштено, силе у пресеку су $S_t = M_{Rt} / d_t$.

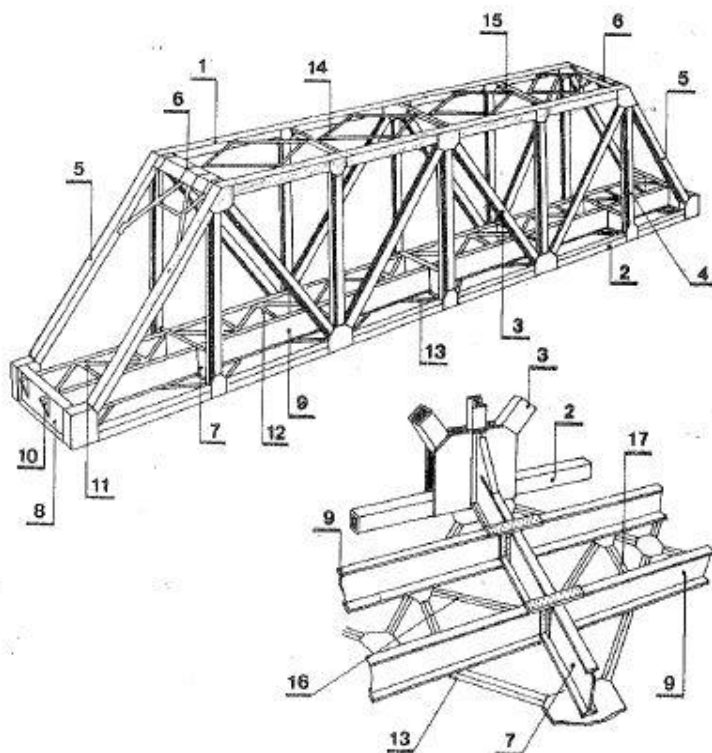
4. Основе за диспозициона решења челичних мостова

4.1. Главни елементи носеће конструкције

Главни елементи носеће конструкције типичног челичног моста су [4]:

- Коловоз
- Коловозни носачи
- Главни носачи
- Спрегови за ветар
- Спрегови за бочне ударе
- Спрег за кочење
- Попречна укрућења
- Лежишта

Основни елементи железничког моста приказани аксонометријским цртежом на слици 4.1, на примеру моста са решеткастим главним носачима и отвореним коловозом:



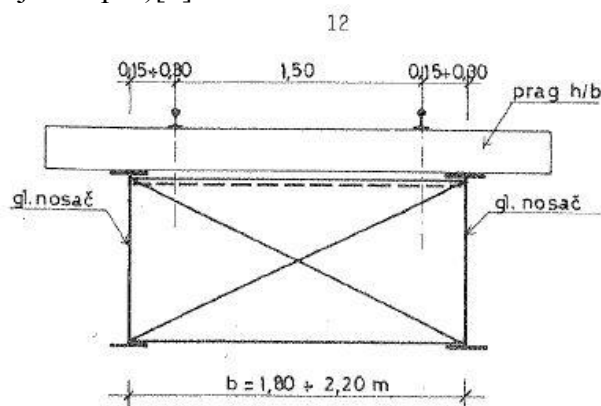
Слика 4.1. Елементи носеће челичне конструкције железничког моста [4]

1	Горњи појас главног носача
2	Доњи појас главног носача
3	Дијагонала главног носача
4	Вертикала главног носача
5	Вертикала косог портала
6	Ригла портала
7	Попречни пресек

8	Крајњи попречни носач
9	Подужни носач
10	Конзола
11	Дијагонала спрега против бочних удара
12	Вертикала спрега против бочних удара
13	Дијагонала доњег спрега против ветра
14	Дијагонала горњег спрега против ветра
15	Вертикала горњег спрега против кочења
16,17	Спрег против кочења

4.2. Ширина моста

Статичка ширина моста дефинише се као растојање између оса два главна носача и зависи од положаја коловоза у односу на главне носаче, слободног профила, броја колосека (саобраћајних трака и ако има пешачких стаза), као и од услова обезбеђивања стабилности моста против претурања. Најмања ширина моста добија се за диспозиционо решење као је коловоз на горњем појасу, видети слику 4.3, а прагови леже непосредно на главним носачима. Тада је ширина моста $b = 1,80 \text{ m}$ а ако сигурност против претурања захтева већу ширину може ићи и до $b = 2,00 \text{ m}$ изузетно и до $\max b = 2,20 \text{ m}$ (мало јачи праг)[4].



Слика 4.2. Прагови постављени непосредно на главне носаче [4]

4.3. Слободни профил моста

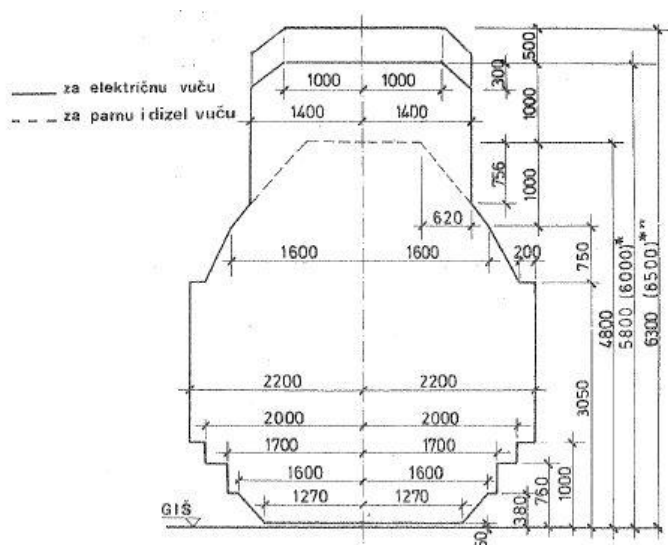
Слободни профил моста су минално расположиви просори који су неопходни за несметано одвијање саобраћаја на мосту или испод њега. Представљају површинске димензије. То је простор у коме се не сме налазити никакви делови моста, други саобраћајни простор нити било шта друго што би довело до ометања саобраћаја. Ови делови се конципирају тако да буду потпуно слободни и независни од временских услова.

Слободни профил зависи од:

- габарита возила - прописани европским нормама помоћу којих се одређују и ширина и висина возила
- потребних капацитета, пропусности и протока саобраћаја
- прописане брзине саобраћаја
- чиниоцима сигурности и удобности

Сви јавни путеви треба да обезбеде за саобраћај возила највећих габарита: ширине 2,50 m, висине 4,00 m и дужине 18,00 m [5].

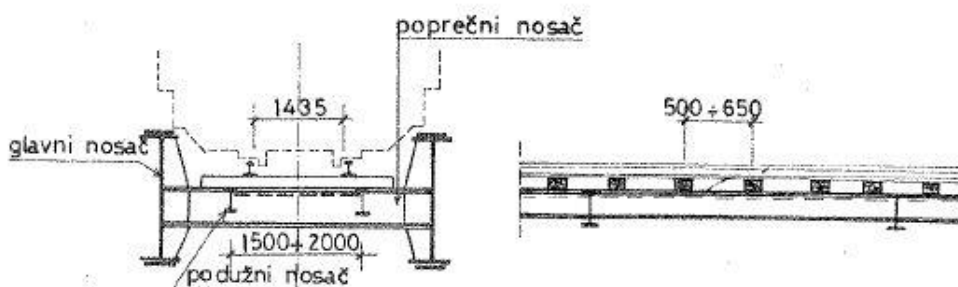
Железничка возила имају другачије конципиране слободно профиле у односу на друмске па их је зато потребно детаљније дефинисати. За железничку пругу нормалног колосека (1435 mm унутрашње растојање шина, слика 4.3.) усваја се слободни профил ширине 4,40 m са ширином вагона од 3,20 m а додаје се и минимално растојање за кретање пешака у случају надзора грађевине. Те се на крају усваја ширина између ограда 5,00 m. Могуће је на мостовима извршити проширења у случају одлагања алата или материјала. Максимална висина слободних профила за железницу нормалног колосека износи 4,80 m а код електричне вуче се повећава на 5,80 m.



Слика 4.3 Слободни профил моста за железнички саобраћај (нормални колосек ширине 1435 mm) [4]

4.4. Коловоз и коловозни носачи

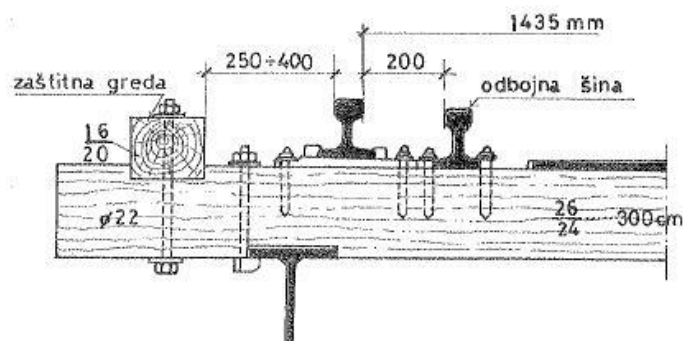
Отворени коловоз састоји се од шина и прагова, пратећих елемената за везу шина и прагова, перфорираног ребрастог лима, одбојних шина, заштитне греде и др. Код отвореног коловоза шине су причвршћене за прагове који налажу на подужне носаче, а они су ослоњени на попречне носаче који су везани за главне носаче као што је приказано на слици 4.4.1. Шине се на мостовима постављају као континуалне са завареним наставцима.



Слика 4.4.1 Отворени коловоз носеће челичне конструкције [4]

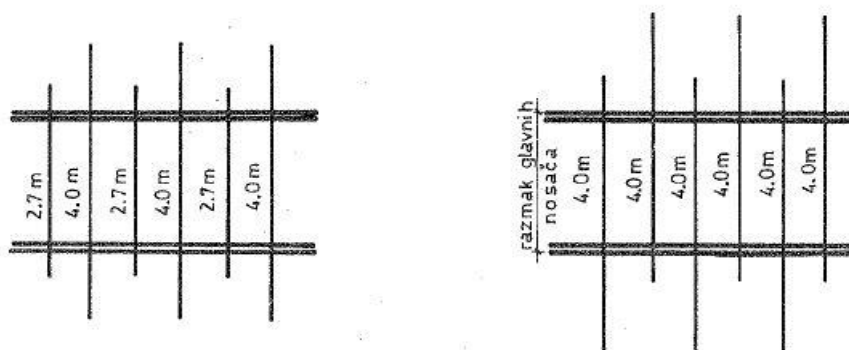
Постоји и затворен тип коловоза који се неће изучавати у овом раду, јер ће се пројектовање односити на мост са отвореним коловозом. Предност отвореног коловоза је у малој сопственој тежини у односу на затворени. Недостаци су бучност саобраћајница, слабија корозивна отпорност и неприменљивост у прелазу преко других саобраћајница.

Прагови су најчешће од храстовог или буковог дрвета, или претходно напрегнутог бетона. Димензије поречног пресека прага зависе од њиховог основног размака подужних носача. Размак између прагова ограничен је на 400 mm. Због могућности исклизнућа, унутар колосека постављају се додатне шине, тј. пар шина које се налазе још по 10 изван моста где су на крајевима повијене ка средини колосека. Постављање заштитних шина обавезно је за мостове распона већег од 20 m и за мостове у кривини са радијусом $R \leq 500$ m. Решење отвореног коловоза са пратећим елементима приказан је на слици 4.4.2.



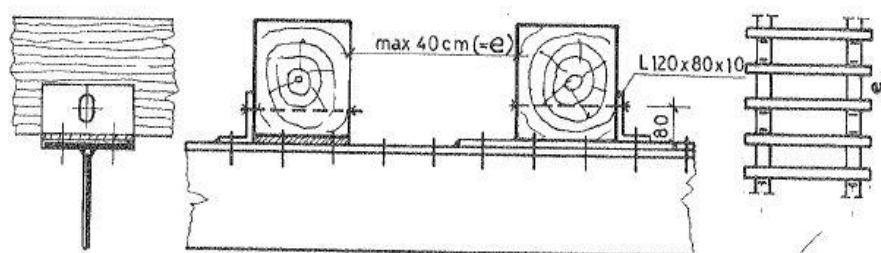
Слика 4.4.2. Отворен коловоз са пратећим елементима (нормалан колосек) [4]

За нормалан колосек користе се прагови дужине од 2,70 - 4,00 m. Уколико на коловозу не постоје посебне пешачке стазе (за службено особље), тада се користе прагови већих дужина од 4,00 m да би се на њих поставио патос са обе стране ван колосека. Две могуће диспозиције распореда су приказане су на слици 4.4.3.



Сликс 4.4.3 Две варијанте распореда за постављање патоса [4]

Прагови за подужне носаче могу бити везани фиксно или покретно у односу на подужни правац моста. Фиксна веза остварује се помоћу угаоника (углавном 120x80x20) који је завртњима или заваривањем везан за горњи појас подужног носача. Изглед везе приказан је на слици 4.4.4.



Слика 4.4.4 Фиксно ослањање прагова на подужне носаче [4]

4.5. Коловозни носачи отвореног коловоза

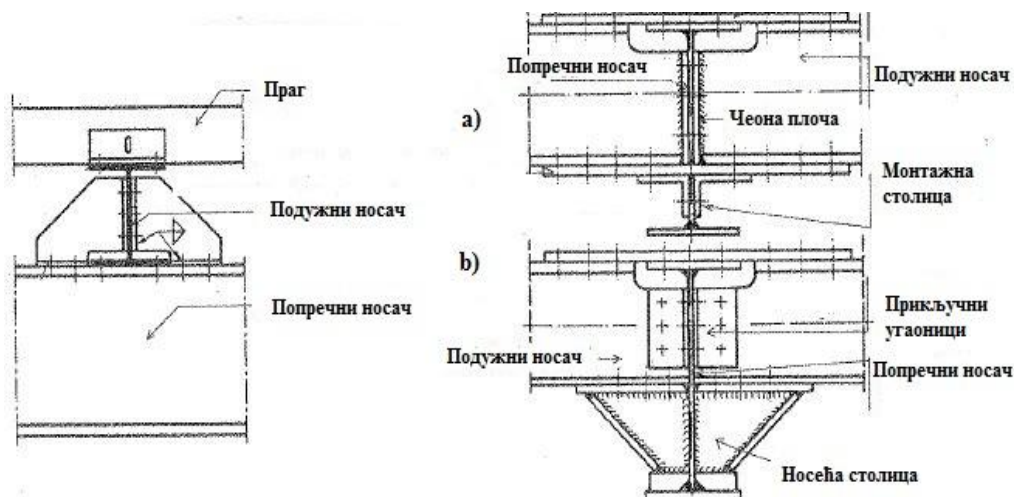
Коловозни носачи отвореног коловоза састоје се од подужних и попречних носача. Покретно оптерећење се преко шина и прагова преноси на подужне носаче који га предају попречним носачима а даље од њих се преносе на главне носаче. Коловозни носачи имају даље улогу да прихвате вертикално оптерећење, како стално (сопствена тежина коловоза) тако и покретно од шинских возила. Они су такође оптерећени и хоризонталним силама (бочни удари воза) и оптерећења од ветра на воз и на коловоз. Да би се секундарно напрезање умањило, по правило се на мостовима са отвореним коловозом у нивоу коловоза постављају хоризонтални спрегови, тј. спрегови за бочне ударе, за пријем силе кочења и за пријем дејства ветра, као што је приказано на слици 4.5.



Слика 4.5. Шематски приказ коловозних и главних носача (са спрегом за пријем бочних удара) за једноколосечни отворени коловоз [5]

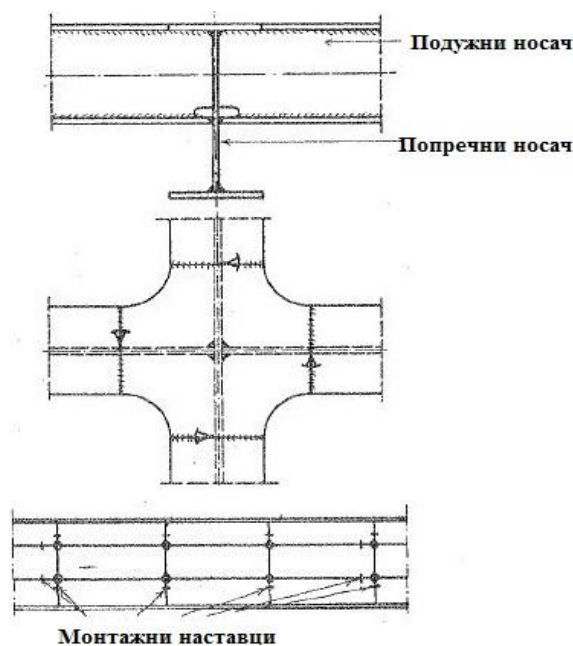
4.5.1. Подужни и попречни носачи

Подужни носачи су континуални носачи на еластичним ослонцима и њихово континуирање се врши преко попречних носача. Подужни носачи могу бити ваљани (I, IPE, IPB) или лимени. Размак између њих λ одговара распону подужних носача и обично износи 4,0 - 7,0 m. Висина подужних носача углавном износи $\lambda/10$ - $\lambda/7$. Горње ивице подужних и попречних носача могу бити у истом нивоу, слика 4.6. а) или подужни носачи могу бити изнад попречних, као на слици 4.6. б)



Слика 4.5.1 Два решења везе попречних и уздужних носача а) Подужни носач лежи преко попречног носача б) Горње ивице подужног и попречног носача су у истом нивоу [4]

На слици 4.5.1 в) налази се још једно специфично решење у потпуно завареној основи, са циљем да се смањи грађевинска висина конструкције.



Слика 4.5.1 в) Међусобна веза коловозних носача у потпуно завареној изradi [4]

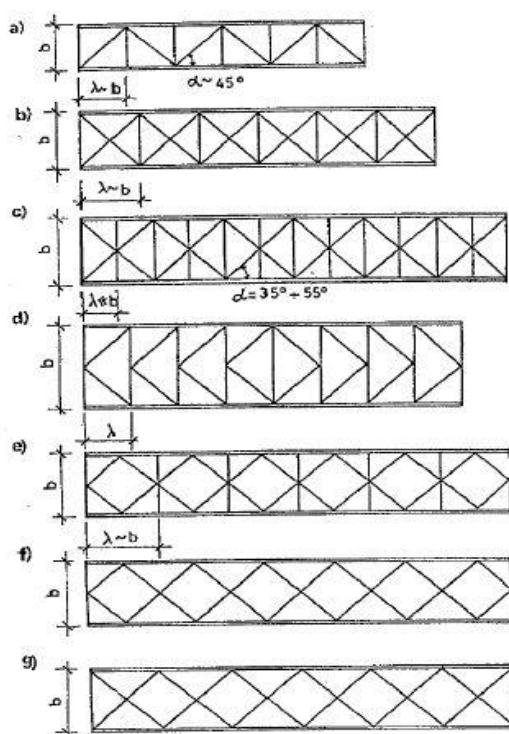
4.5.2. Спрегови и укрупњења

Уколико су главни носачи конципирани као равански, они преузимају и носе само оптерећења у вертикалној равни. Зато се за прихватање хоризонталних оптерећења, управног на раван главних носача, поверава спреговима за пријем дејства ветра и попречним укрупњењима (спреговима). Поред ове основне функције ови спрегови имају улогу смањивања дужине извијања притиснутих појасева главних носача. Број, тип и распоред спрегова дефинисан је диспозиционим решењем моста зависно од његове намене (једноколосечни, двоколосечни, друмски итд.) и типа главних носача (лимени

профили или сандучасти попречни пресеци, решеткасти носачи на горњем или доњем коловозу). Хоризонтално оптерећење управно на осу коловоза услед бчних удара железничких возила поверава се спрегу за пријем бочних удара.

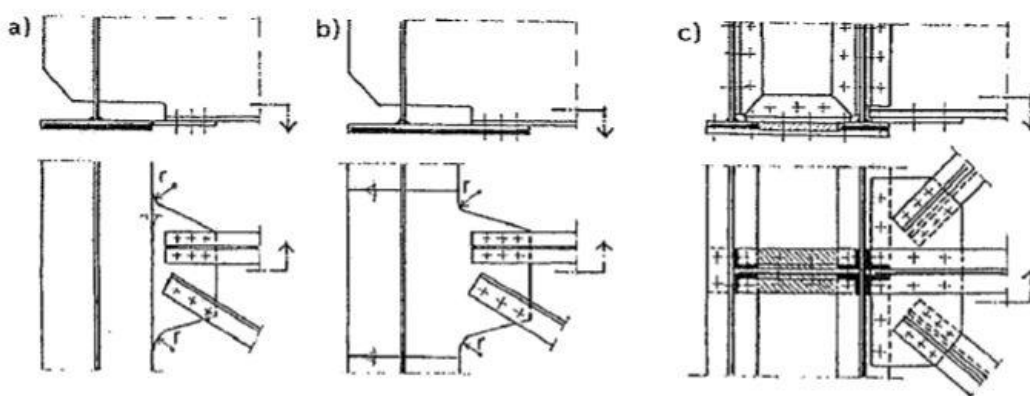
4.5.2.1. Спрегови за ветар

Спрег за пријем дејства ветра изводи се као решеткаст носач са паралелним појасевима. Појасеви су дефинисани положајем главних носача а вертикале положајем попречних носача. Спрег за пријем дејства ветра своје реакције предаје мостовским лежиштима непосредно (доњи спрег) или посредно (горњи спрег) преко ослоначких укрућења. Статички систем спрега за пријем дејства ветра у већини случајева је проста греда. На слици 4.5.2.1 приказани су системи спрегова за пријем дејства ветра.



Слика 4.5.2.1 Различити облици испуне спрегова за пријем дејства ветра [5]

Систем са простом троугаоном испуном, слика 4.5.2.1. а), примењује се за уске и мале мостове, док се спрег са укрштеним дијагоналама употребљава за средње и веће мостове. За горњи спрег, из естетских разлога, обично се употребљава систем са ромбичном испуном, слика 4.5.2.1. е). При димензионисању спрегова за ветар, треба анализирати два случаја, притисак ветра на оптерећен мост и притисак ветра на неоптерећен мост. За штапове испуне користе се ваљани профили L, U или у комбинацији 2L, 4L, 2U [5]. Веза се остварује помоћу чворних лимова. Могућа решења везе чворног лима за доњи појас приказана су на слици 4.5.2.1.



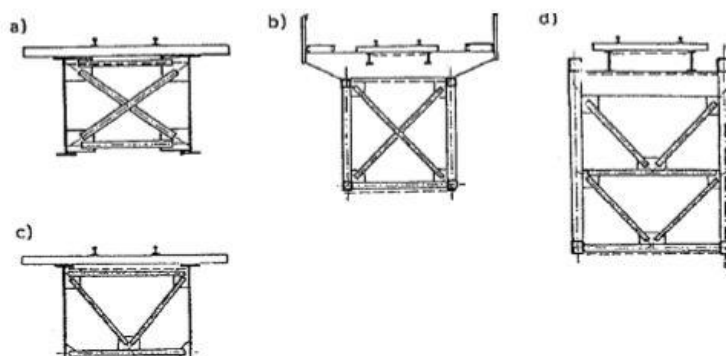
Слика 4.5.2.1. Различита решења веза чворних лимова спрега за ветар за доњи појас главног носача [5]

4.5.2.2. Попречна укрућења

Попречна укрућења се постављају управно на осу моста у вертикалној равни. Могу се реализовати као:

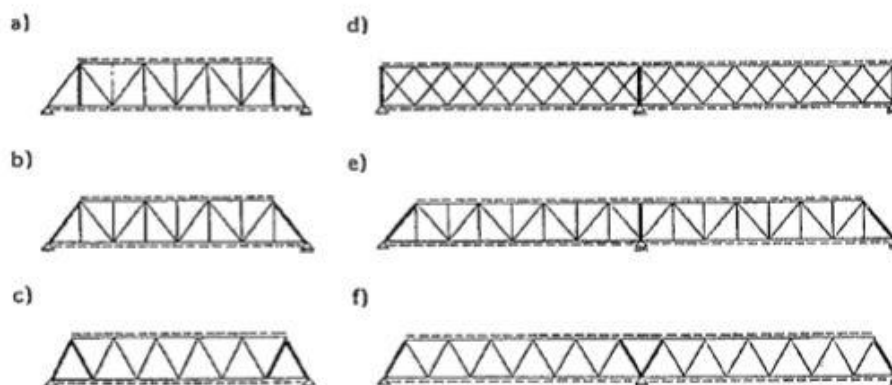
- Решеткаста поперечна укрућења
- Полуоквири
- Портали.

Решеткаста поперечна укрућења примењују се када је коловоз на горњем појасу [5]. Решења су приказана на слици 4.5.2.2.



Слика 4.5.2.2 Решења за решеткаста поперечна укрућења [5]

Портали се примењују код затворених мостова са коловозом на доњем појасу. Портали преносе реакције горњег спрега за пријем дејства ветра на лежиште моста. Према свом положају могу бити вертикални и коси. Портал формирају: поперечни носач, вертикала или дијагонала главног носача. Положај портала код решеткастих главних носача система просте греде и континуалне греде приказани су на слици 4.5.2.2.



Слика 4.5.2.2 Положај портала код решеткастих носача [5]

4.6. Главни носачи

Постоје два типа главних носача железничких мостова, пуни и решеткасти. Избор типа главног носача зависи од конструктивног система моста. У наредним поглављима овог рада проучаваће се решеткасти главни носачи, те због обимности теоријске основе, пуни главни носачи се даље неће спомињати.

Решеткасти главни носачи примењују се за средње и веће распоне и адекватни су за једноколосечне, двоколосечне као и за друмско-железничке мостове. Решеткасти главни носачи се користе за распоне од 30 m за просте греде или за распоне преко 40 m за континуалне греде. Данас се из естетских разлога највише примењују геометријски облици решеткастих носача са паралелним појасевима (правоугаоне или трапезне)[4]. Испуна решеткастих носача остварује се дијагоналама и вертикалама. Уколико се ради о великим распонима користе се и секундарне испуне са циљем да се смањи извијање појасних штапова.

Висина решеткастих главних носача су:

- За просте греде $h = \frac{l}{9} - \frac{l}{7}$
- За континуалне греде $h = \frac{l}{12} - \frac{l}{9}$

Угао нагиба дијагонала је око 45° а код испуна само од дијагонала 60° - 65° . Размак чвовора главног носача обично означи од 4,0 - 6,0 m. Штапови решетке могу бити једнозидни и двозидни. Све је чешће примена двозидних штапова, а облик и попречни пресек зависи од тога да ли је изложен затезању или притиску. За притиснуте штапове, најповољнији су профили са сандучастим попречним пресеком

Димензије попречних пресека зависе од распона моста и одређују се на основу емпиријских образаца [5]:

- $h = l(m) - \frac{l^2(m)}{400}$
- $b(cm) = h(cm) - 0.1 \cdot l(m)$ - За средње распоне
- $b(cm) = h(cm) - 0.2 \cdot l(m)$ - За велике распона

Минималне унутрашње димензије пјасног штапа сандучастог попречног пресека, треба да износи 650 mm ширина и 900 mm висина. Висина штапова испуне треба да одговара ширини појасних штапова да би се омогућило спајање. Ширина штапова

испуне треба бити мања од ширине појасних штапова. За штапове испуне најчешће се користе I и H профили, затим сандучасти профили, односно затворени профили.

4.7. Лежишта

Лежишта и зглобови носећих челичних конструкција одређују се према СРПС-у U.E7. 131/1980. Као и правила за њихово конструисање, прорачун и монтажу.

Лежишта треба да буду тако конструисана да преносе силе са једног конструктивног елемента на други са најмањим могућим преношењем деформација или померања конструкције. У зависности од тога која им је намена, лежишта могу бити челична, од гумених материјала или синтетичких материјала. Према начину померања ослоњених пресека, постоје различите врсте лежишта:

- Покретно - са једним ослонцем
- Непокретно - са два ослонца
- Укљештено - онемогућено померање у сва три правца

4.7.1. Општа правила за прорачун и конструисање лежишта

Према [4] наведена су нека од правила за прорачун лежишта:

- Поред вертикалних и хоризонталних сила које утичу на избор лежишта, узети у обзир и подужна и попречна померања као и деформације носеће челичне конструкције.
- Узети у обзир да се носећа конструкција привремено ослони поред лежишта и на тај начин омогући евентуално поправка или замена лежишта.
- Елементи лежишта буду тако конструисани да на местима међусобног додира елемената лежишта са ослонцем, преношење оптерећења буде што равномерније.
- При конструисању мора се спречити продирање воде и сакупљање нечистоће
- За прорачун лежишта меродавне су вертикалне и хоризонталне силе, померање конструкције и заокретање лежишта.
- За одређивање хоризонталних сила услед отпора трења у лежиштима при температурним променама, узима се у обзир деловање сталног оптерећења.
- При прорачуну утицаја покретног оптерећења узима се у обзир динамички коефицијент.
- Све делове треба обезбедити тако да приликом коначне монтаже не дође до промене положаја елемената у склопу лежишта.
- Приликом постављања лежишта у коначан положај, водити рачуна да је пројектни положај дат за +10°C или средњу годишњу температуру за место где се налази објект.

4.7.2. Челична лежишта

У ову групу спадају лежишта чији су сви делови израђени од челика. Као материјал користе се различити челици, дати табелом 4.7.2.

Табела 4.7.2. Челици за лежишта [4]

Врста челика	Техничка ознака	ЈУС
Č 0371 ; Č 0363	ČN 24	С.В0.500
Č 0741 ; Č 0473	ČN 36	С.В0.500
Č 1430	/	С.В9.021

Челична лежишта се могу изградити ливењем или заваривањем. Додирне површине између лежишта морају бити обрађене. Степени обраде и толеранције могу бити дате стандардом или пројектом.

При прорачуну лежишта треба испитати [4]:

- Притисак на бетон у лежишној спојници
- Притисак у додиру између делова лежишта
- Димензије горње лежишне плоче
- Преношење хоризонталних сила

Табела 4.7.3. Дозвољени напони за прорачун челичних делова лежишта [4]

Врста челика	Дозвољени напони [N/mm ²]	
	Савијање	Чист притисак
Č 0371; Č 0363	160-180	160-180
Č 0471; Č 0473	240-280	240-280
Č1430	200-220	200-220

5. Материјал за железничке мостове

Челик је основни материјал за израду носећих конструкција у грађевинарству и мостogradњи због својих физичких, хемијских, механичких и технолошких својстава. Савремени челик састоји се од гвожђа са малим примесама угљеника, мангана, силицијума, хрома и трагова других легираних елемената који су додати за побољшање физичких својстава, док се чврстоћа челика повећава са већим садржајем угљеника али то утиче на технолошка својства, односно на дуктилност и заварљивост [1]. У челику се такође налази и штетни елементи као што су фосфор и сумпор, који су присутни у руди гвожђа. Али уколико је њихов садржај до 0,05%, могу повољно утицати на живавост челика. Други начин на који се може утицати на штетност сулфида је да се дода манган који ће формирати манган сулфид и знатно је мање штетнији од самог сулфида и то је главни циљ мангана као легирајућег елемента [3]. Најзначајнији састојак челика и највећи утицај на физичко-хемијска својства челика има угљеник, чији садржај углавном износи мање од 1%. Конструкцијски челик који игра главну улогу код оваквих конструкција, има садржај угљеника мање од 0,25% док ливено

гвожђе може имати и до 5% што га знатно разликује од челика. Велики значај за конструкцијски челик има манган који знатно повећава закаљивост, али се и његова концентрација ограничава на 1,5% како се његова својства не би одразила негативно на структуру челика. За прорачун конструкције најзначајнија су механичка својства и то:

- Граница развлачења f_y
- Затезна чврстоћа f_u
- Процентуално издужење δ
- Модул еластичности E
- Модул клизања G

Вредности основних карактеристика за све челике су [3]:

- Запреминска маса $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- Модул еластичности $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$
- Модул клизања $G = E/2(1+\nu) = 8100 \text{ МПа}$
- Поасонов коефицијент $\nu = 0,3$
- Коефицијент линеарног термичког ширења $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$

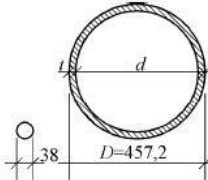
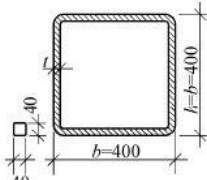
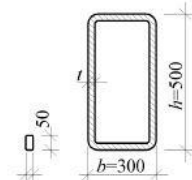
Конструкциони челици за општу употребу су нелегирани угљенични челици нормалне чврстоће а њихов хемијски састав, механичке и технолошке особине су прописане националним *СРПС Ц.Б.500* стандардом. Овим стандардом утврђују се технички услови за израду жица, шипкастог материјала, плоснатог челика, лимова, профила, округлих, квадратних шупљих профила и осталих производа који се испоручују у вруће обликованом или нормализованом стању. Такође се односи и на израду заварених конструкција, спајање завртњима и закивцима у мостоградњи, високоградњи, нискоградњи и хидроградњи. Општи конструкцијски челик је онај чије су основне карактеристике граница развлачења и затезна чврстоћа испитане на собној температури [3].

Табела 5.1. Механичке карактеристике конструкцијских челика према СРПС-у [3]

Vrsta čelika	$f_u^{(1)}$		$f_y^{(1)}$							Položaj uzorka ³⁾	δ										
	za debljinu proizvoda u [mm]			za debljinu proizvoda u [mm]							$\ell_o=80 \text{ mm}, \ell_o=5d_o$ za debljinu proizvoda u [mm]										
	< od 3	3 do 100	> od 100	< od 16	16 do 40	40 do 63	63 do 80	80 do 100	> od 100		0,5 do 1,0	1,0 do 1,5	1,5 do 2,0	2,0 do 2,5	2,5 do 3,0	3,0 do 40	40 do 63	63 do 100	> od 100		
	[N/mm ²]			[N/mm ²] najmanje							[%] najmanje										
Č0130	310 do 545	290 do 510	–	185	175 ²⁾	–	–	–	–	U P	10 8	11 9	12 10	13 11	14 12	16 16	– –	– –	– –		
Č0370	360 do 510	340 do 470		135	225	215	205	195		U P	17 15	18 16	19 17	20 18	21 19	26 24	25 23	24 22			
Č0371																					
Č0361																					
Č0362																					
Č0363				235	225	215	215	215													
Č0451	430	410		275	265	255	235	225		U P	14 12	15 13	16 14	17 15	18 16	22 20	21 19	20 18			
Č0452	do	do																			
Č0453	580	540		275	265	255	245	235													
Č0561	510	490		355	345	335	315	305		U P	14 12	15 13	16 14	17 15	18 16	22 20	21 19	20 18			
Č0562	do	do																			
Č0563	680	630		355	345	335	325	315													
Č0545	490 do 660	470 do 610		295	285	275	265	255		U P	12 10	13 11	14 12	15 13	16 14	20 18	19 17	18 16			
Č0645	590 do 770	570 do 710		335	325	315	305	295		U P	8 6	9 7	10 8	11 9	12 10	16 14	15 13	14 12			
Č0745	690 do 900	670 do 830		365	355	345	335	325		U P	4 3	5 4	6 5	7 6	8 7	11 10	10 9	9 8			

За производњу шупљих профила користе се посебне врсте челика према СРПС-у. С обзиром да ће шупљи профили бити један од главних делова конструкције моста, биће посебно приказане механичке карактеристике конструкцијских челика за ову врсту профила. Шупљи профили представљају шупље конструкционе елементе чији попречни пресек има облик кружног, квадратног или правоугаоног прстена. Димензије и попречни пресеци ових профила дати су у табели 5.2. Хемијски састав ових челика дат је у табели 5.3. а механичке карактеристике су дате у табели 5.4.

Табела 5.2. Шупљи вруће ваљани профили [3]

Кружни	Квадратни	Правоугаони
 $\varnothing 38,2,6 \div \varnothing 609,6 \cdot 16$ $D: 38 \div 609,6$ $d: 32,8 \div 377,6$ $t: 2,6 \div 16$ $m: 2,29 \div 234$	 $\square 40,2,0 \div \square 400 \cdot 16,0$ $h: b: 40 \div 400$ $t: 2,0 \div 16,0$ $m: 2,30 \div 190,3$	 $\square 50,30,2,0 \div \square 500 \cdot 300 \cdot 15$ $h: 50 \div 500$ $b: 30 \div 300$ $t: 2,0 \div 10$ $m: 2,30 \div 190,3$

Табела 5.3. Хемијски састав челика за израду шупљих профила [3]

Врста челика	Хемијски састав [%]						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	P (max)	S (max)
Č1212	≤0,17	0,10-0,35	≥0,40	—	—	0,05	0,05
Č1213	≤0,22	0,10-0,35	≥0,40	—	—	0,05	0,05
Č1214	≤0,17	0,10-0,35	≥0,40	—	—	0,05	0,05
Č1215	≤0,22	0,10-0,35	≥0,45	—	—	0,05	0,05
Č1402	≤0,36	0,10-0,35	≥0,40	—	—	0,05	0,05
Č1502	≈0,45	0,10-0,35	≥0,40	—	—	0,05	0,05
Č3100	≤0,22	0,10-0,55	≤1,50	—	—	0,05	0,05
Č7100	0,12-0,20	0,15-0,35	0,50-0,80	—	0,25-0,35	0,04	0,04
Č7400	0,10-0,18	0,15-0,35	0,40-0,70	0,70-1,00	0,40-0,50	0,04	0,04
Č7401	≤0,15	0,15-0,50	0,40-0,60	2,00-2,50	0,90-1,10	0,04	0,04

Табела 5.4. Механичке карактеристике челика за израду шупљих профила [3]

Врста челика	f_u	$f_{y(min)}$	δ_5
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
Č1212	340-440	235	25
Č1213	440-540	255	21
Č1402	540-640	295	17
Č1502	640-740	390	12
Č3100	510-610	355	22

6. Услови монтаже

При усвајању диспозиционог решења као и при пројектовању битно је водити рачуна о каснијој монтажи моста. Челични мостови са монтажним наставцима рашчлањују се на монтажне елементе и као такви преносе до градилишта. Монтажни елементи се спајају на монтажним наставцима углавном са висококвалитетним завртњима.

Код већих мостова, ако су на располагању моћна средства за монтажу (велике носивости), тада се врши окрупњавање појединих монтажних елемената допремљених из радионице мањих габарита у веће монтажне целине тј. склопове на платоима на градилишту и припрема предмонтаже. У овом случају, прави монтажни наставци су само они који се директно спајају на монтажи овако окрупљених делова моста.

Технологија монтаже, зависи од више фактора [4]:

- Типа конструктивног система и величине
- Врсте припреме која се премешћује (терен, вода, саобраћај)
- Могућности транспорта и допреме монтажних елемената
- Обучености извођача монтаже

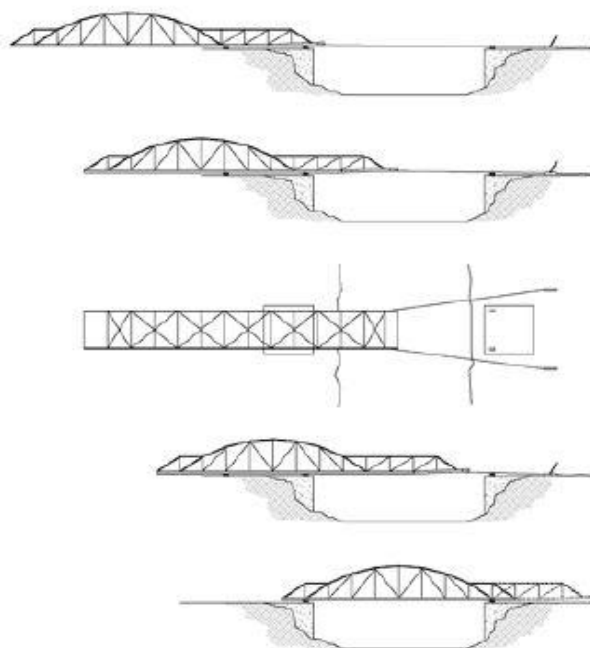
Три облика монтаже су:

- Монтажа на скели
- Слободна монтажа (монтажа конзолним поступком)
- Монтажа подужним или попречним превлачењем (померањем моста)

Сва правила за монтажу дата су у *Правилнику за техничке мере и услове за монтажу челичних конструкција* [7] у складу са којима треба да се врши монтажа мостова. Одредбе овог правилника односе се на конструкције чији су спојеви изведени завртњима, закивцима или завареним шавовима.

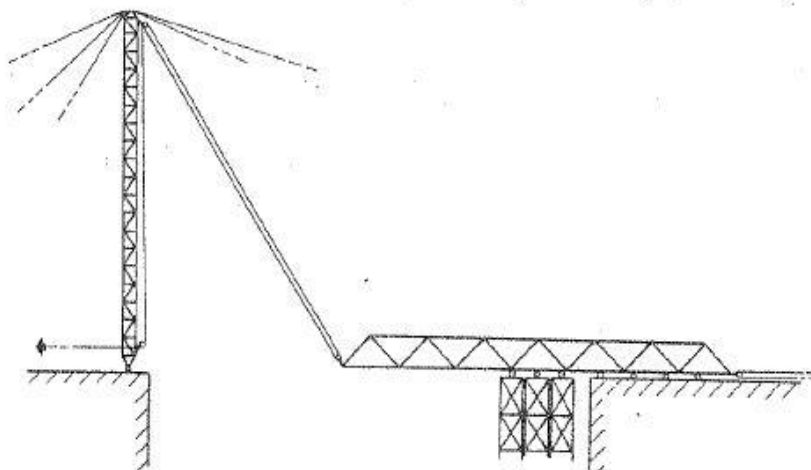
У погледу употребе уређаја и опреме за монтажу, разликују се [5]:

- Монтажа ауто-дизалицама
- Монтажа дерик-краном или порталним краном
- Монтажа помоћу пловила или пловних дизалица
- Монтажа кабл-краном
- Монтажа помоћу других посебних уређаја и опреме (витла, анкер ужад, катури, јарболи, челични конзол-кљунови, хидрауличне пресе и слично)



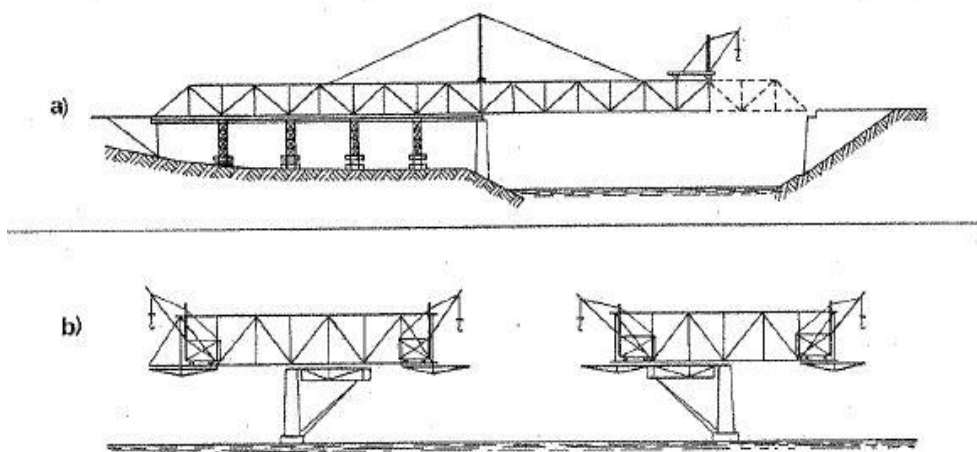
Слика 6.1. Монтажа подужним превлачењем (померањем моста) [5]

На слици 6.2. приказан је специјалан пример монтаже челичног моста подужним превлачењем.



Слика 6.2. Монтажа подужним превлачењем [4]

На слици 6.3. приказана су два решења слободне монтаже решеткастог континуалног носача. На примеру а) прво је монтиран бочни распон моста на чеичној скели па се затим врши слободна монтажа целог главног распона над водотоком са једне обале помоћу дерик-крана уз „међуослањање“ конструкције косим ужадима преко монтажног пилона над средњим ослоном. На примеру б) приказана је слободна монтажа са обе стране почев од средњих стубова у водотоку помоћу дерик-крана и помоћног кљуна. Почетак монтаже је обављен помоћу челичне скеле са краном.



Слика 6.3. Два решења слободне монтаже решеткастог континуалног моста [4]

Пројект за монтажу челичних конструкција мора садржати [7]:

- Технички опис монтаже и план извођења
- Временски план извођења
- Статички прорачун целе конструкције при извођењу
- Пројекат скеле

- Списак опреме за извођење радова са техничко-експлоатационим карактеристикама те опреме
- Елаборат о заштитним мерама према прописима о заштити на раду

Мање и технички једноставније конструкције уместо пројекта за монтажу морају најмање садржати технички опис монтаже челичних конструкција.

При изради челичне конструкције у радионици, обавља се стална контрола, док се при пробном монтажи контролишу димензије и облик, надвишења и припрема монтажних спојева. Одступања мера и облика челичних конструкција не смеју прелазити допуштене вредности из одговарајућих техничких прописа за толеранцију мера и облика конструкција, и дате су у табелама 6.1. и 6.2.

Табела 6.1. *Допуштена одступања мера челичних конструкција железничких мостова
при пробној монтажи [7]*

Редни број	Врста одступања	Допуштена одступања
1.	Одступање дужине конструкције од пројектоване За распоне до 50 m За распоне преко 50 m	+ 10 mm 1/5000 распона
2.	Одступање размака између суседних чворова главних решетке и спрегова	1/3000 размака али не преко ± 3 mm
3.	Одступање из равни чворова решетке и попречних спрегова	± 3 mm

Табела 6.2. *Допуштена одступања мера челичних конструкција железничких мостова
израђених у радионици [7]*

Редни број	Врста одступања	Допуштена одступања
1	Одступање о крајње монтајне рупе до краја елемента код елемената појасева конструкција израђених у завареној и вијчаној изради	+0 mm -4mm
2	Подужни носачи конструкција изведени у закованој, завареној изради	+0 mm -4mm
3	Елементи појасева заковано-заварене конструкције у зони чворова и спојева	+0 mm -2 mm
4	Елементи појасева заковано-заварене конструкције у осталим деловима	± 4 mm
5	Елементи решетке закованих-заварених конструкција у зони чворова и спојева	+0 mm -2 mm
6	Елементи решетке закованих-заварених конструкција у осталим деловима	± 4 mm

7	Коловозни носачи потпуни заварених конструкција	$\pm 2 \text{ mm}$
---	---	--------------------

7. Заварени спојеви

7.1. Основе прорачуна

Овај део еврокода (EN 1993-1-8) даје методе прорачуна за везе изведене од челика квалитета S235, S275, S355 и S460 које су изложене дејству претежно статичког оптерећења. Такође, дати су референтни стандарди, од којих ће се издвојити стандарди за шупље конструкционе профиле, а то су:

- EN 10210-1:1994 Вруће ваљани шупљи конструкциони профили од нелегираних и ситнозрних челика: Део 1: Технички услови испоруке
- EN 10210-2:1994 Вруће ваљани шупљи конструкциони профили од нелегираних и ситнозрних челика, Део 2: Толеранције, димензије и карактеристике попречних пресека

Затим, референти стандарди из групе 5 за: Заваривање и додатни материјал за заваривање:

- EN 12345:1998 Завривање – Речник термина за заварене везе са илустрацијама
- EN ISO 14555:1998 Заваривање – Електролучно заваривање металних можданика
- EN 288-3:1992 Спецификације и одобрења за поступке заваривања челика електролучним поступком, 1992.

Све везе треба да имају такву прорачунску носивост која омогућава конструкцији да задовољи све прорачунске захтеве дате у овом стандарду као и у EN 1993-1-1. Парцијални коефицијенти сигурности за везе дати су у табели 10.1.

Табела 7.1 - Парцијални коефицијенти сигурности за везе [9]

Носивост елемената и попречних пресека	γ_M
Носивост завртња Носивост уакивака Носивост шавова Носивост чепова Носивост лимова на притисак по омотачу рупе	γ_{M2}
Носивост на проклизавање: При граничном стању употребљивости При граничном стању носивости	γ_{M3}
Носивост завртњева на гњечење	γ_{M4}
Носивост веза код решеткастих носача од шупљих профила	γ_{M5}

Нумеричке вредности парцијалних коефицијената γ_M могу да се дефинишу у националном анексу, а препоручене су:

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M3} = 1,25$$

$$\gamma_{M4} = 1,0$$

$$\gamma_{M5} = 1,0$$

Носивост веза треба да се одреди на основу носивости њених основних компонената. При прорачуну веза може да се користи линеарно-еластична и линеарно-пластична анализа.

Прорачунске претпоставке су:

- Силе и моменти који у пресецима који се претпостављају при анализи везе су у равнотежи са силама и моментима који делују на везу.
- Сваки елемент у вези је способан да пренесе силе и моменте који на њега делују
- Деформације које се подразумевају расподелом оваквом не прекорачују капацитет деформација спојних средстава или шавова и спојених делова
- Деформације које се претпостављају у било којем прорачунском моделу који је базиран на еласто-пластичној анализи заснивају се на ротацијама крутог тела и/или деформацијама у равни које су физички могуће
- Сваки модел који се користи је у сагласности са вредновањем резултата испитивања

7.2. Врсте шавова

Према EN 1993-1-8: 2005 [9], следеће одредбе односе се на заварљиве конструкционе челике и материјале дебљине преко 4 mm. Такође, одредбе се примењују код веза код којих су механичке карактеристике метала шавова (*weld metal*) компатибилне са својствима основног материјала (*parent metal*).

Сав додатни материјал (*welding consumables*) треба да буде са релевантним стандардима наведених у уводном делу овог поглавља. Потребно је обезбедити електроде које су бољег квалитета од челика који се спајају.

Овај стандард обухвата прорачун угаонх шавова (*fillet welds*), угаоних шавова по обиму рупе (*fillet welds all around*), сучеоних шавова (*butt welds*), чеп шавова (*plug welds*) и ужљебљених шавова (*flare groove welds*).

Угаони шавови могу да се користе за спајање делова код којих је угао између површина које се спајају 60° и 120°. Могу се користити и за мање углове, али у том случају је потребно сматрати да је шав са сучеоним проваром. Постоје и испрекидани угаони шавови, али се не користе у корозионим условима окружења.

Размаци између угаоних шавова треба да се усвоје као мања вредност од растојања између крајева шавова на супротним странама и растојања између крајева шавова на истој страни.

Угаони шавови по обиму рупе који садрже угаоне шавове у кружним или издуженим рупама могу да се користе само за преношење смицања или спречавање избочавања или раздвајања преклопљених лимова. Крајеви издужених рупа за угаоне шавове треба да буду полукружни, изузев у случајевима када је рупа продужена до ивице спојеног елемента.

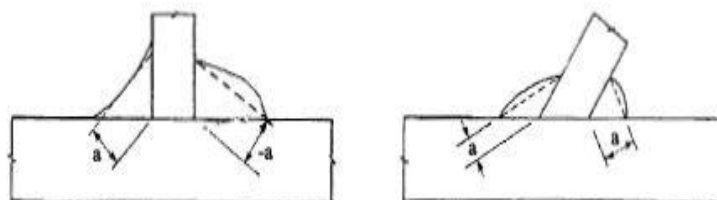
7.3. Прорачунска носивост угаоних шавова

7.3.1. Дужина шавова

Ефективна дужина угаоних шавова l треба да буде једнака дужини на којој је шав пуне дебљине. Она може да се узме као укупна дужина шавова умањена за двоструку ефективну дебљину шавова a . Уколико је шав пуне дебљине читавом дужином укључујући почетак и завршетак, није потребна редукција ефективне дужине, ни на почетку ни на крају шавова.

7.3.2. Ефективна дебљина угаоних шавова (*Effective throat thickness*)

За ефективну дебљину шавова a треба да се узме висина највећег троугла који може да се упише у тело шавова, која је мерена управно на спољну страну троугла, као на слици 7.3.2. Ефективна дебљина угаоног шавова не треба да буде мања од 3 mm.



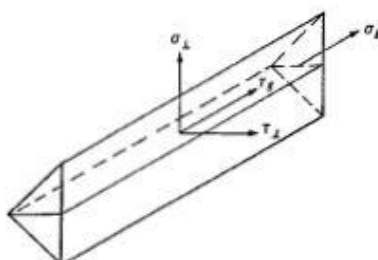
Слика 7.3.2. Дебљина угаоног шавова a [9]

7.3.3. Прорачунска носивост угаоних шавова – Директна метода

Према овој методи, силе које се преносе по јединици дужине шавова се разлажу на компоненте које су паралелне и управне на подужну осу шавова и компоненте које су управне на меродавну равину шавова (*plane of throat*), односно које леже у њој. Прорачунска површина шавова A_w се узима као:

$$A_w = \sum a l_{eff} \quad (7.3.3.1)$$

У меродавном пресеку шавова, претпоставља се да равномерна расподела напона, која доводи до нормалних и смичућих напона, као што је приказано на слици 10.3.3.



Слика 7.3.3. Напони у меродавном пресеку угаоног шавова [9]

Ознаке на слици су следеће [9]:

$\sigma_{\perp}$ Нормалан напон управан на меродавну равину шавова

$\sigma_{\parallel}$ Нормалан напон паралелан са осом шава

$\tau_{\perp}$ Смичући напон управан на осу шава

$\tau_{\parallel}$ Смичући напон паралелан са осом шава

Нормалан напон паралелан са осом шава $\sigma_{\parallel}$ се не разматра при провери прорачунске носивости шава [9].

Прорачунска носивост угаоног шава је задовољавајућа ако су испуњени следећи услови:

$$\sigma_{\perp} + 3 (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}} \quad (7.3.3.2)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (7.3.3.3)$$

Где су:

f_u - Чврстоћа на затезање слабијег спојеног дела

β_W - Одговарајући корелациони фактор, према табели 7.3.3.

Табела 7.3.3. *Корелациони фактор β_W за угаоне шавове [9]*

Стандард и квалитет челика			Корелациони фактор β_W
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S235	S 235 H	S 235 H	0,80
S 275 S 275 N/NL	S 275 H S 275 NH/NHL	S 275 H S 275 NH/NHL	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,90

7.3.4. Прорачунска носивост угаоних шавова – Поједностављена метода

Ова метода је алтернатива претходној методи, а главна претпоставка је да је прорачунска носивост угаоног шава задовољавајућа ако у свакој тачки дуж шава резултанта свих сила по јединици дужине шава задовољава следећи критеријум [9]:

$$F_{wEd} \leq F_{wRd} \quad (7.3.4.1)$$

Где су:

F_{wEd} - Прорачунска вредност силе у шаву по јединици дужине

F_{wRd} - Прорачунска носивост шава по јединици дужине

Независно од оријентације меродавне равни шава у односу на силе које делују, прорачунска носивост шава по јединици дужине F_{wRd} треба да се одреди као [9]:

$$F_{wRd} = f_{vw,d} \cdot a \quad (7.3.4.2)$$

Где је $f_{vw,d}$ прорачунска носивост шава на смицање, а одређује се на следећи начин [9]:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_{wM2}} \quad (7.3.4.3)$$

7.3.5. Глобална анализа решеткастих носача

Расподела аксијалних сила у решеткастим носачима може да се одреди на основу претпоставке о зглобим везама између елемената. Моменти који настају услед попречног оптерећења (у равни решеткастог носача или изван ње) које делују између чворова, треба да се узму у обзир у прорачуну елемената на које оптерећење делује.

Елементи испуне (*brace members*) могу да се сматрају зглобно везаним, па моменти који настају услед попречног оптерећења које делује на појасне елементе (*chord members*) не треба да се расподељују на штапове испуне и обрнуто.

Појасеви се могу разматрати као континуални носачи са ослонцима у чворовима.

Моменти који настају услед ексцентричности могу да се занемаре при прорачуну затегнутог појаса и елемента испуне. Они такође могу да се занемаре и при прорачуну спојева ако су ексцентрисани у оквиру следећих граница:

$$-0,55 d_o \leq e \leq 0,25 d_o$$

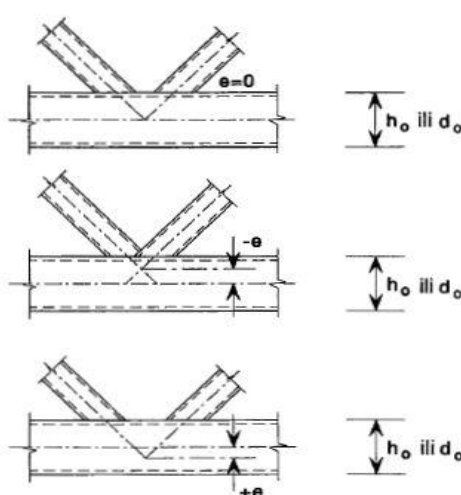
$$-0,55 h_o \leq e \leq 0,25 h_o$$

Где је:

e - ексцентрицитет

d_o - пречник појаса

h_o - висина појаса у равни решеткастог носача



Слика 7.3.5. Ексцентрицитети веза [9]

8. Заварени спојеви шупљих профила

Статичка прорачунска носивост се изражава у виду максималне прорачунске носивости на дејство аксијалне силе и/или момента савијања за елементе испуне. Наредна правила важе за вруће ваљане профиле према EN 10210 и хладно обликоване шупље профиле према EN 10219.

Код вруће обрађених шупљих профила и хладно обликованих шупљих профила номинална граница развлачења финалног производа не треба да прелази 460 N/mm^2 . Код производа са номиналном границом развлачења већом од 355 N/mm^2 , статичка прорачунска носивост која је дата у овом поглављу треба да се редукује множењем коефицијентом 0,9.

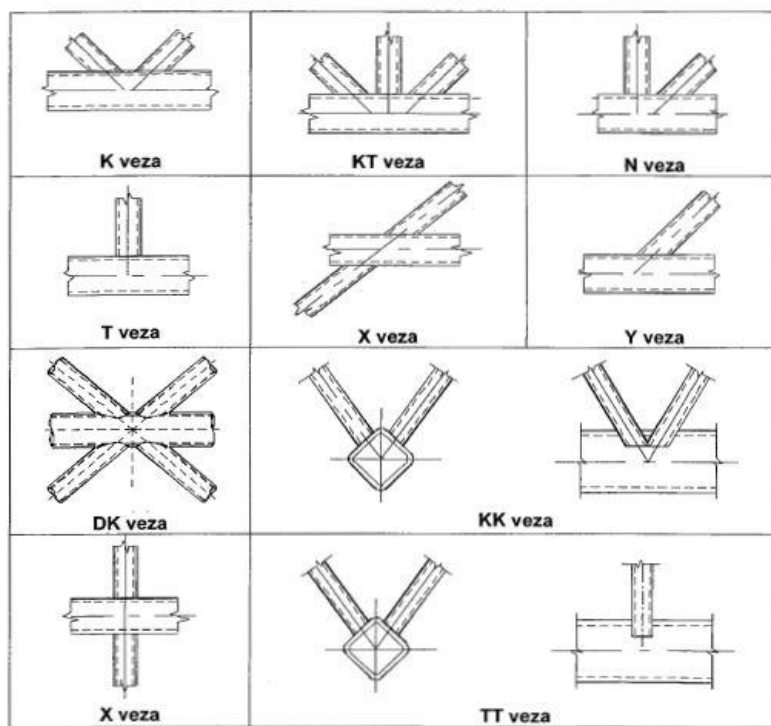
Номинална дебљина зида шупљег профила не треба да буде мања 2,5 mm. Номинална дебљина зида шупљег профила појасног елемента не треба да буде већа од 25 mm осим ако нису предузете посебне мере.

8.1. Типови веза

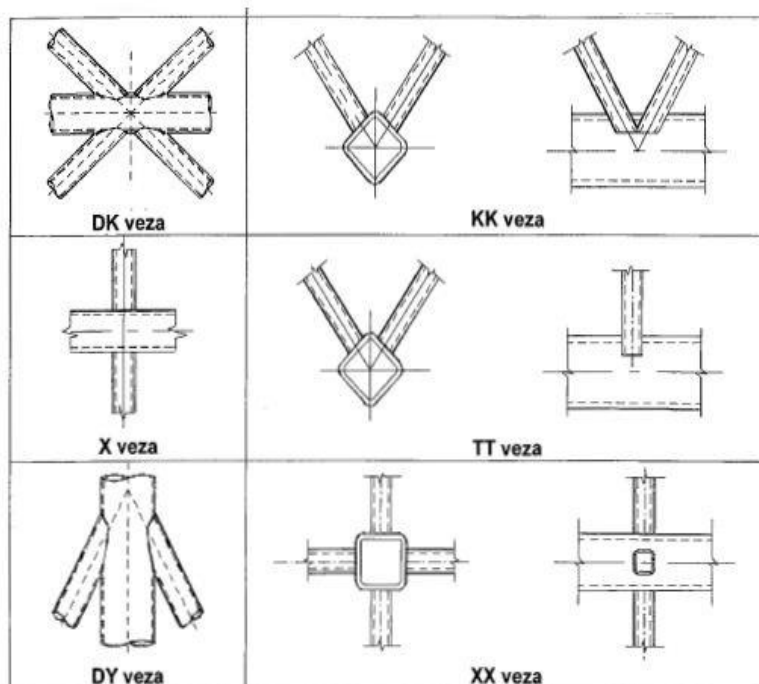
Углови између појасева и елемената испуне θ , као и између суседних штапова испуне треба да задовоље услов [9]:

$$\theta_i \geq 30^\circ \quad (8.1)$$

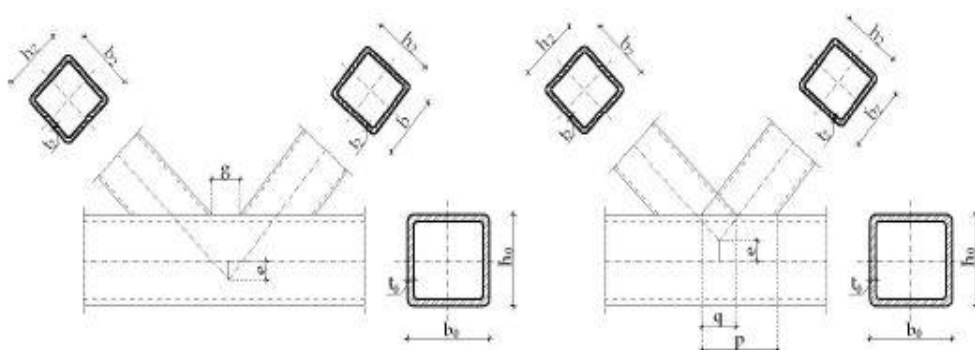
Код веза са размаком, размак између елемената испуне не треба да буде мањи од како би се обезбедио одговарајући простор за формирање шавова.



Слика 8.1. а) Типови веза решеткастих носача од шупљих профила [9]



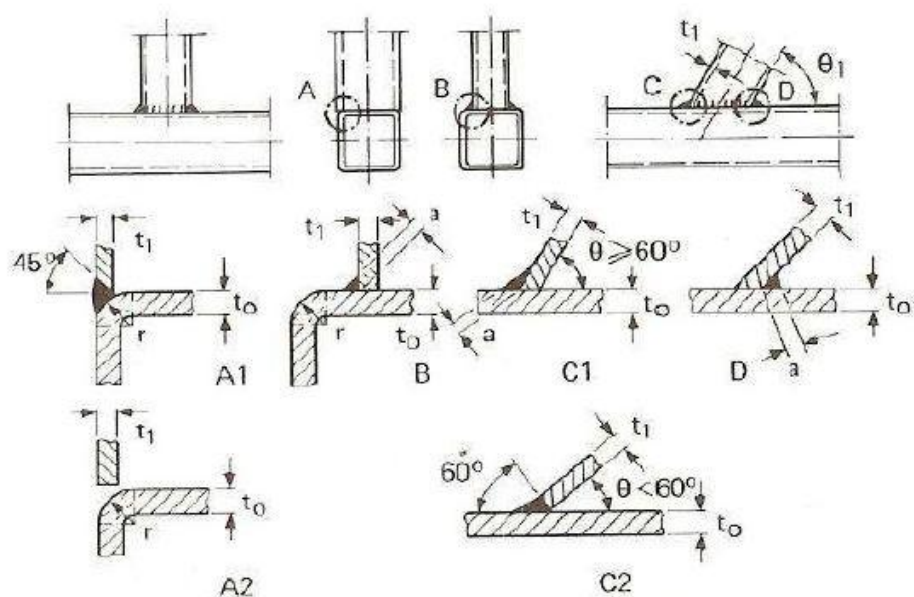
Слика 8.1. б) Типови веза решеткастих носача од шупљих профила [9]



Слика 8.2. Пример К везе са размаком и са преклопом [9]

8.2. Шавови

Шавови који спајају елементе испуне са појасним елементима треба да буду пројектовани тако да имају довољну носивост, да узму у обзир неправилну расподелу напона и довољан капацитет деформација. Веза елемената решеткастог носача од шупљих профила може се остварити директним заваривањем угаоним или сучеоним шавовима. Избор врсте шави зависи од угла нагиба као и од дебљине зида елемента испуне. Најчешће се примењују угаони шавови. Димензија која одређује носивост шави је дебљина a и једнака је висини највећег једнакокраког троугла који се може уписати у попречни пресек шави. Минимална ефективна дебљина шави према ЕС3 износи 3 mm. На слици 8.2.1 приказани су облици угаоних шавова код веза решеткастог носача од RHS профила [15].



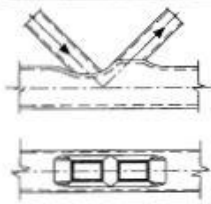
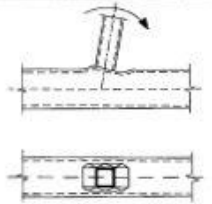
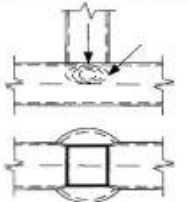
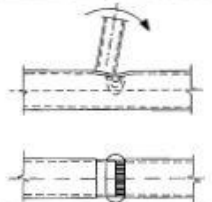
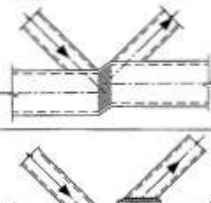
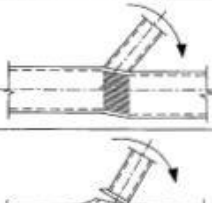
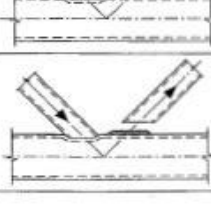
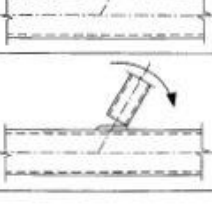
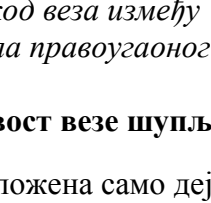
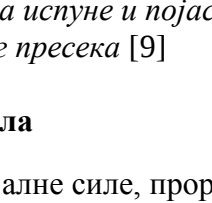
Слика 8.2.1 – Детаљи шавова код веза RHS профила [15]

8.3. Облици лома код веза шупљих профила

Прорачунске носивости веза од шупљих профила треба да се заснивају на следећим облицима лома [9]:

- Лом пластификацијом површине појаса или његовог читавог попречног пресека (*chord face failure or chord plastification*) плстични лом површине појаса или пластични лом попречног пресека појаса
- Лом бочних зидова појаса или лом ребра појаса (*chord side wall failure or chord web failure*) услед пластификације, гнечења или нестабилности испод притиснутог елемента испуне
- Лом смицањем појаса (*chord shear failure*)
- Лом услед кидања смицањем (*punching shear failure*)
- Лом елемената испуне (*brace failure*) услед појаве прслина у шавовима
- Лом избочавањем (*local buckling failure*) елемената испуне или појасног елемента на месту везе

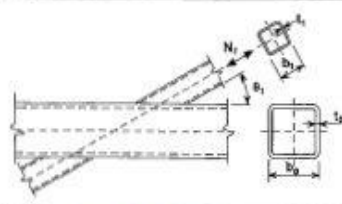
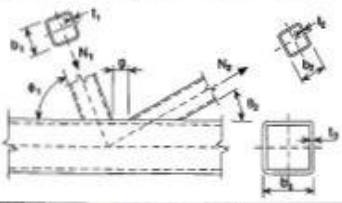
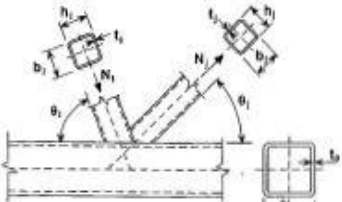
У општем случају, носивост везе са правилно обликованим шавовима је већа на затезање него на притисак, прорачунска носивост је заснована на носивост притиснутог елемента испуне да би се избегле могуће прекомерне локалне деформације или редукција капацитета ротације или деформације које се иначе могу појавити.

Облик лома	Аксијално оптерећење	Момент савијања
a		
b		
c		
d		
e		

Слика 8.3. Облици лома код веза између елемената испуне и појасева од шупљих профила правоугаоног попречног пресека [9]

8.4. Прорачунска носивост везе шупљих профила

Уколико је веза елемента изложена само дејству аксијалне силе, прорачунска аксијална сила N_{iEd} не треба да прекорачи прорачунску носивост на аксијалну силу заварене везе N_{iRd} . За заверене везе између елемената испуне од шупљих профила квадратног или правоугаоног попречног пресека (RHS), прорачунска носивост на аксијалну силу може се одредити према изразима датим на слици 8.4.1.

ТИП ВЕЗЕ	ПОРАЧУНСКА НОСИВОСТ
T, Y i X веза	Лом пластификацијом површине $\beta \leq 0,85$
	$N_{t,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1-\beta) \sin \theta_1} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4(1-\beta)^{0,5} \right) / \gamma_{M5}$
K i N везе са размаком	Лом пластификацијом површине $\beta \leq 1,0$
	$N_{t,Rd} = \frac{8,9 \gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left(\frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5}$
K i N везе са преклопом	лом елемената испуне $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$
Један елемент треба да буде затегнут а други притиснут 	$N_{t,Rd} = f_{yt} \left(b_{eff} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov}}{50} (2h_i - 4t_i) \right) / \gamma_{M5}$
	Лом елемената испуне $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{t,Rd} = f_{yt} (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
	Лом елемената испуне $\lambda_{ov} \geq 80\%$
	$N_{t,Rd} = f_{yt} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$

Слика 8.4.1. Прорачунска носивост заварених веза између елемената од шупљих профила RHS на дејство аксијалне силе [9]

9. Пројектни задатак

9.1. Материјал

Основни материјал за челичну конструкцију железничког моста је конструкцијски челик S235 са садржајем угљеника до 0,25%, што је битно са аспекта технологије и остваривања заварених спојева моста. Хемијски састав и механичке карактеристике овог челика детаљно су дате и објашњене у поглављу 5 овог рада. Материјал за шине је R260 према СРПС EN 13674-1.

Табела 9.1. Карактеристике материјала [3]

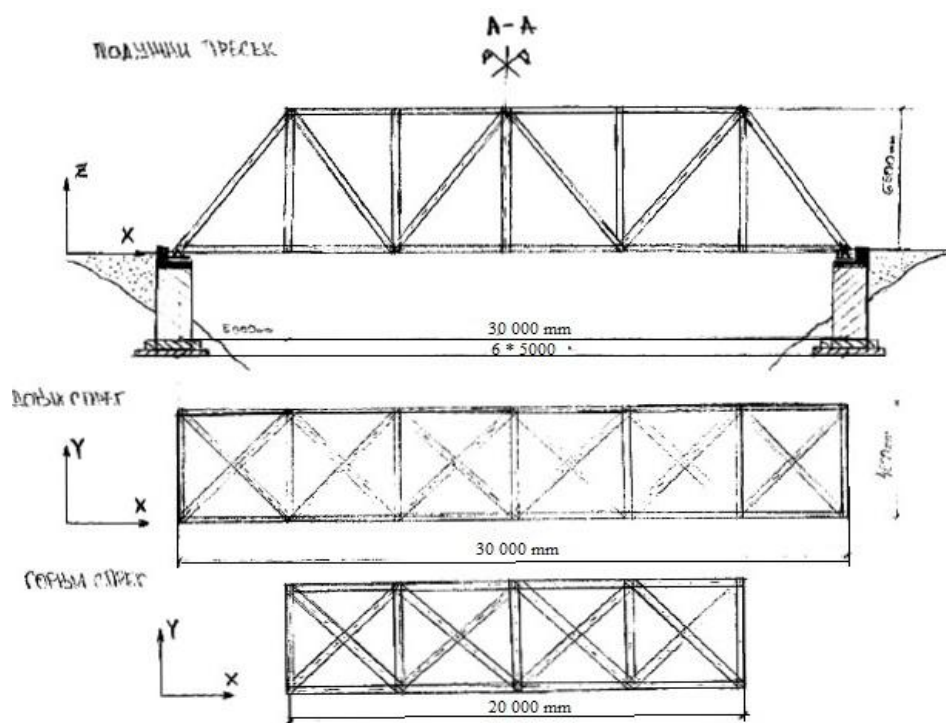
S235	Граница течења f_y	Затезна чврстоћа f_u
Вредност [МПа]	235	360

9.2. Диспозиција железничког моста

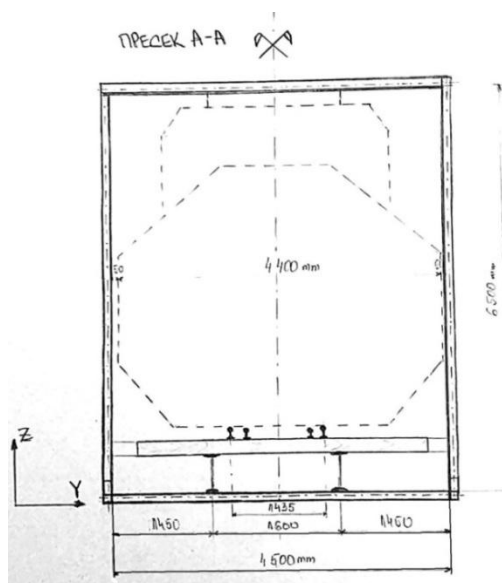
- Главни решеткасти носачи су трапезасте решетке са троуганом испуном од 6 поља, а у статичком погледу су просте греде. Распон моста L износи 30 000 mm.

- Оптимална висина моста H је $L/7$ до $L/8$ што износи $4285,7 \div 3750,0$ mm. Да би се задовољио и услов минималног слободног профила моста, коначна висина моста је $H = 6500$ mm што ће задовољити и претходни услов.
- Ширина моста је усвојена на основу слободног профила и минималног међупростора и износи $B = 4400 + 2 \cdot 50 = 4500$ mm.
- Подужни коловозни носачи су распона 5000 mm и налазе се на међусобном растојању од 1600 mm. Апроксимативна висина подужних носача треба да буде према препорукама $1/5$ или $1/7$ ширине моста и према томе је усвојена висина од $h_{pn} = 600$ mm.
- Између подужних носача налази се спрег за бочне ударе.
- Попречни носачи се налазе на међусобном растојању од 5000 mm. Висина поперечних носача износи $h_{pp} = 600$ mm.
- У равни горњег појаса налази се горњи спрег за пријем сила ветра, а у равни доњег појаса налази се спрег за пријем сила ветра са испуном од укрштених дијагонала.
- Мост не садржи пешачке стазе.
- Прагови су дрвени, од боровине, дужине $4\ 000$ mm који су положени директно преко подужних носача. Осовински размак између дрвених прагова је $e = 600$ mm. Дрвени прагови се усвајају према СРПС EN 13145.

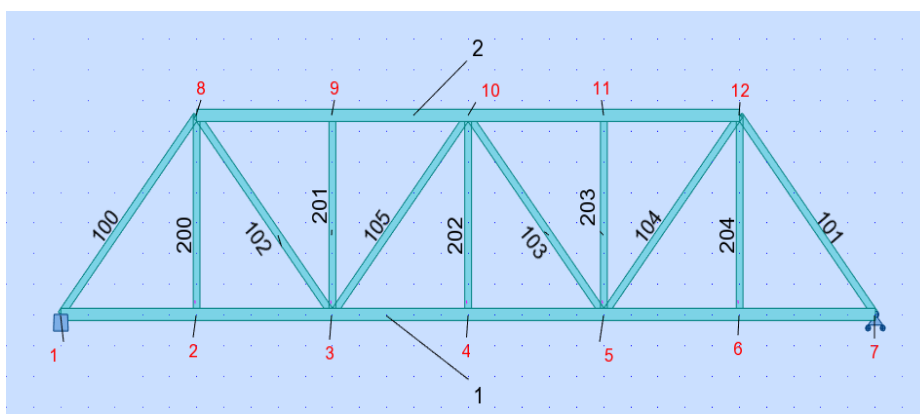
На слици 9.2.1 приказано је диспозиционо решење железничког моста, тј. подужни пресек са елементима горњег и доњег спрега за ветар. На слици 9.2.2 приказан је поперечни пресек моста заједно са слободним профилем моста. Обе слике су ручно нацртане.



Слика 9.2.1. – Диспозиционо решење



Слика 9.2.2. – Попречни пресек моста



Слика 9.2.3. Главни носач према Autodesk Robot-у (Црвени бројеви: 1-12 чворови; Црни бројеви: 100 – 204 штапови решетке; Црни бројеви: 1 и 2 – Горњи и доњи појас)

9.3. Опис конструктивних елемената

Штапови појаса, штапови испуне као и спрегови за ветар и бочне ударе су стандардни ваљани шупљи профили. Примена шупљих профила у мостоградњи је новијег датума, али показују велики број предности при конструисању челичних конструкција. Реч је о топло обликованим елементима, чије ће се димензије разликовати у односу на положај који заузимају у решетки. Сви штапови који чине конструкцију моста подељени су у три групе:

- Штапови појаса
- Штапови испуне - дијагонале
- Штапови испуне - вертикале

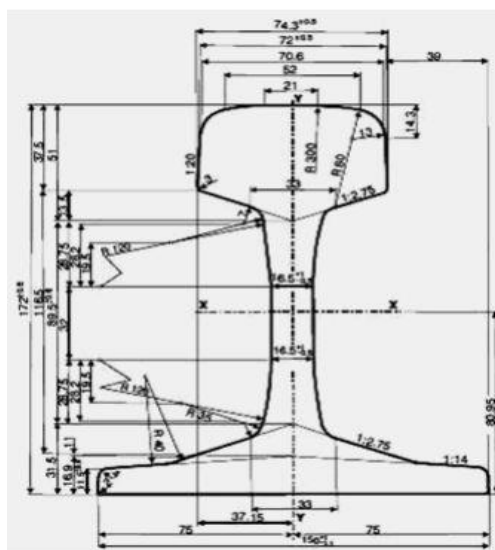
Приликом статичке анализе система, сваки елемент решетке биће приказан са својим карактеристикама профила.

9.4. Шине и шински прибор

У колосеке пруга Републике Србије уграђују се шине 49Е1 и 60Е1 у складу са СРПС ЕН 13674-1. Код изградње нових магистралних пруга уграђују се шине 60Е1, најмањег квалитета челика R260. Шине се за прагове спајају помоћу угаоника L 120x80x10. У табели 9.4. дате су основне карактеристике шина.

Табела 9.4. Карактеристике шина [8]

Тип шине	Челик	Маса [kg/m]	Површина пресека [cm ²]	Статичке величине [cm ⁴]	
60Е1	R260	60,21	76,70	$I_x = 3038,3$	$W_x = 333,6$



Слика 9.4. Попречни пресек стандардне шине 60Е1 [8]

9.5. Лежишта

Мост има два типа лежишта, једно непокретно (са леве стране решетке) и једно покретно (са десне стране) при чему ће му бити омогућено померање дуж осе X (у складу са осам софтвера, видети слике 9.2.1 и 9.2.2). Потребно је омогућити померање дуж ове осе због температурних промена и дилатација. Лежишта су челична и сви њени делови израђени су челика S235.

9.6. Услови монтаже

Делови конструкције се израђују у радионици, решеткаст носач се заварује и детаљно чисти од прашине и других нечистоћа. Готови делови се превозе до места градње и врши монтажа моста. Након монтаже, следи детаљно чишћење конструкције, те наношење средстава за заштиту од корозије. С обзиром да је максимална дужина транспортованог материјала, тј профила до 15 m, мост ће се састојати из два дела, а главни спој на половини распона моста биће остварен високо квалитетним завртњима.

9.7. Антикорозивна заштита

Антикорозивна заштита се примењује како би се спречило продирање кисеоника и влаге у структуру челика. Пропадање и лом конструктивних елемената најчешће настаје услед грешака и неправилног премазивања, што узрокује задржавање воде и убрзан настанак корозије. Премазивање се углавном врши бојањем у два слоја, као основни премаз и заштитни премаз. Основни премаз штити челик а заштитини слој служи као заштита основног премаза. Систем заштите бојењем састоји се из припреме површине и обезбеђивања трајности и приоњивости боје, што зависи од чистоће површине пре премазивања. Чишћење се врши четкама, пламеником или хемијским средствима.

9.8. Статичка анализа система

Статичком анализом обухваћен је прорачун решетке услед оптерећења од снега, ветра, сопствене тежине и саобраћајног оптерећења. Прорачун је спроведен у складу са нормама и правилима из Еврокода.

- Eurocode 1991-1-1 Дејства на конструкцију - Општа правила
- Eurocode 1991-1-2 Деловање сопствене тежине
- Eurocode 1991-1-3 Деловање снега на конструкцију
- Eurocode 1991-1-4 Деловање ветра на конструкцију
- Eurocode 1993-1-8 Прорачун веза

10. Анализа оптерећења железничког моста

При пројектовању мостова, структурна анализа је важан део, јер спољашња дејства могу довести до структурних оптерећења и изазвати напрезање, деформације и померања која даље доводе до губитка чврстоће и носивости конструкције. Прописи намењени за пројектовање мостова захтевају да се конструкције изграђују тако да могу издржати све типове оптерећења током њиховог животног циклуса. Структурна оптерећења обухватају силе, деформације, напрезања и максимална оптерећења која делују на целу структуру или на њене компоненте. Процена њихових ефеката врши се методама структурне анализе. Прекомерно оптерећење тј. преоптерећење може довести до нарушавања стабилности.

Оптерећења су генерално подељена на [10]:

- Непроменљиво оптерећење или сопствено оптерећење (*dead load*), оптерећење статичким силама константног интензитета. У ову врсту оптерећења спада тежина саме конструкције као и сва додатна опрема која се налази на конструкцији.
- Променљиво оптерећење (*live load*) које није константног интензитета и мења се током времена. У ово групу спадају оптерећење ветром, снегом као и покретна оптерећења тј. дејства возила. Ова дејства могу имати значајан динамички утицај, па се у разматрање укључују удари, моменти, вибрације и слично.

10.1. Сопствено оптерећење - *dead load*

Да би се одредила сопствена тежина делова колосека, потребно је знати специфичне густине челика и дрвета, а дате су у табели 10.1.

Табела 10.1. Специфична тежина материјала [4]

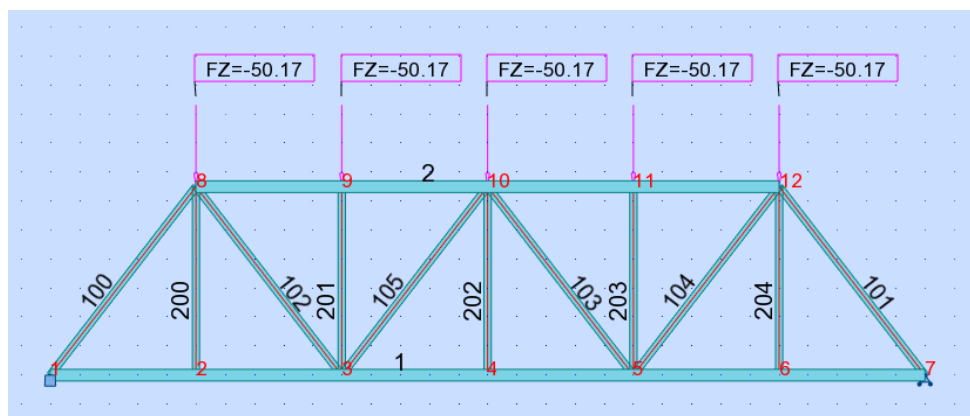
Материјали	Специфична тежина [kg/m ³]
Челик за главне делове моста	7850
Дрво - четинар	750 - 900

Главни носач – Штапови појаса.....	135,88 kN
Главни носач – Штапови испуне.....	75,86 kN
Подужни носачи.....	71,81 kN
Попречни носачи.....	27,1 kN
Спрегови.....	50,0 kN
Шине и шински прибор.....	35,44 kN
Сигурносне шине и прибор.....	35,44 kN

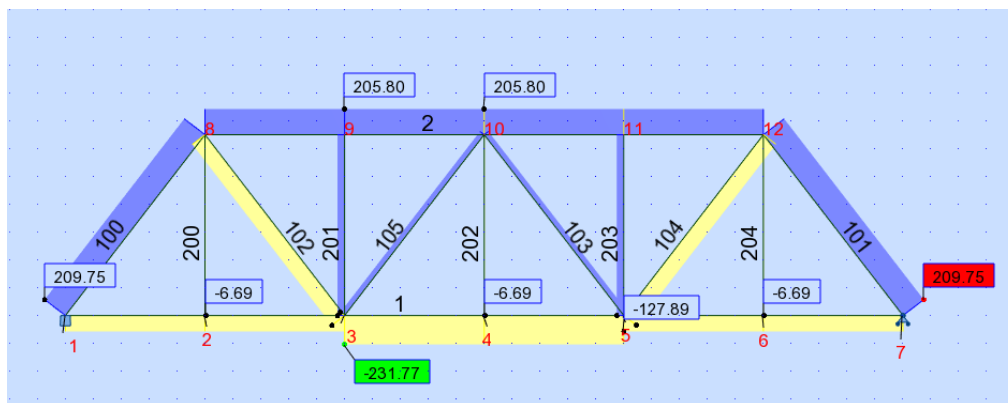
Дрвени прагови.....	62,75 kN
Укупно.....	494,28 kN

Према правилнику и техничким мерама [7] на тежину челичне конструкције срачунате преко спецификација материјала додају се и тежине спојних средстава. Конкретно у овом раду, спојеви моста остварени су заваривањем а за заварене конструкције додатак за заварене шавове, узима се у проценту од 1,50%.

Стога, коначна вредност сопственог оптерећења моста износи 501,69 kN. Један главни решеткаст носач преузима половину оптерећења, односно 250,84 kN.



Слика 10.1.1. Оптерећење решеткастог носача сопственом тежином



Слика 10.1.2. Дијаграми аксијалних сила; плава боја-притисак, жута боја-затезање

10.2. Променљиво оптерећење

10.2.1. Оптерећење снегом

Оптерећење конструкције услед дејства снега одређује се према еврокоду. У односу на остала оптерећења, ово оптерећење је сувише мало, али ће бити приказан поступак. Основна једначина за одређивање количине снега на површини конструкције дата је изразом (10.2.1) [11] :

$$s = sk \cdot \mu_i \cdot ce \cdot ct \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (10.2.1)$$

Где су:

s_k – Карактеристична вредност оптерећења на тлу у $[kN/m^2]$

μ_i – Коефицијент облика за оптерећење снегом, према табели 10.2.1.

c_e – Коефицијент изложености (Узима се вредност 1,00)

c_t – Топлотни коефицијент (Узима се вредност 1,00)

$s_k = 2,0 kN/m^2$ За Централну Србију

Табела 10.2.1. Карактеристичне вредности оптерећења снегом у $[kN/m^2]$ [11]

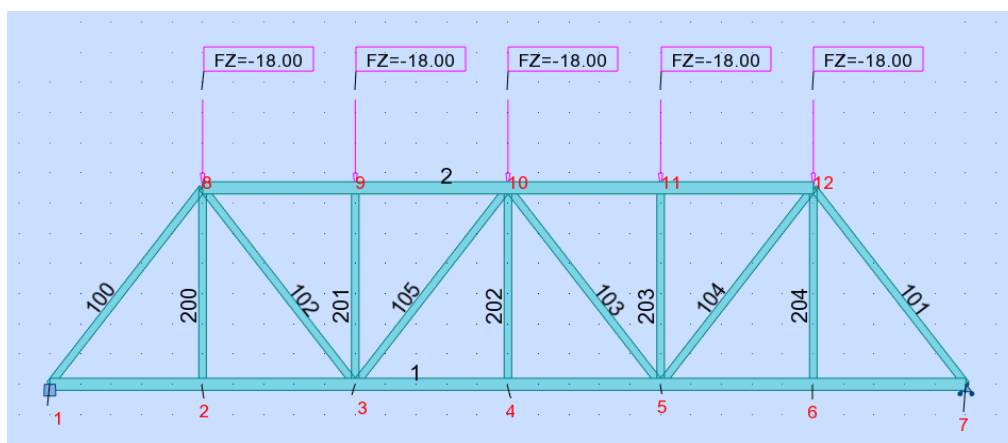
Угао нагиба	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$
μ	0.8	0.8	$0,8(60 - \alpha)/30$
μ	0.8	$0,8 + 0,6(\alpha - 15)/30$	$1,1(60 - \alpha)/30$
μ	$0,8 + 0,8\alpha/30$	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6

Када се препоручене вредности уврсте у једначину (10.2.1), добије се:

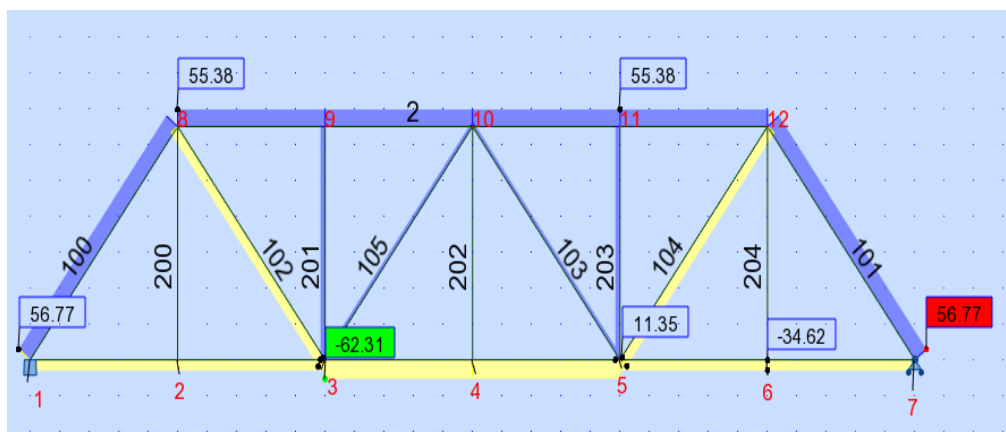
$$s = 2 kN \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 [kN/m^2]$$

$$s = 1,6 kN/m^2$$

Уколико се посматра целокупна површина на коју може пасти и задржати се снег, она износи највише $A_{ref} = 90 m^2$. Разматра се најнеповољнији случај када се целокупна количина снега задржи на мосту. Расподела сила на главни решеткаст носач приказан је на слици 10.2.1.



Слика 10.2.1. а) Оптерећење решеткастог носача снегом



Слика 10.2.1. б) Дијаграми аксијалних сила; плава боја-притисак, жута боја-затезање

10.2.2. Оптерећење ветром у правцу Z

Дејство ветра на мостове је детаљно разматрано у EN 1991-1-4, поглавље 8, али се односи искључиво на мостове константне висине са једним или више распона. Према Еврокоду дејство ветра на мостове производи силе у правцима X,Y,Z а према већ дефинисаном координатном систему у софтверу *Autodesk Robot*, у правцу X је дужина или распон моста, у правцу је Z висина моста и у правцу Y је ширина моста.

Главни носачи преузимају вертикална дејства силе ветра, односно силе које делују у правцу осе Z. За коловозне конструкције чији распон није већи од 40 m, није потребно уводити динамички коефицијент и утицај. Сила ветра може се израчунати применом обрасца [12]:

$$F_{wz} = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_{ref,z} \quad (10.2.2.1)$$

Где су:

ρ – Густина ваздуха ($\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$)

v_b – Основна брзина ветра

C – Коефицијент оптерећења од ветра

$A_{ref,z}$ – референтна површина

Основна брзина ветра v_b је препоручена за мостове и износи $v_b' = 25$ m/s и то уколико се разматра утицај ветра на оптерећен железнички мост.

$$C = c_e \cdot c_{f,z} \quad (10.2.2.2)$$

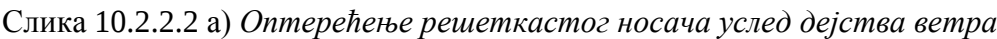
c_e – Коефицијент изложености за категорију III и за висину од $z = 30$ m износи $c_e = 2,5$

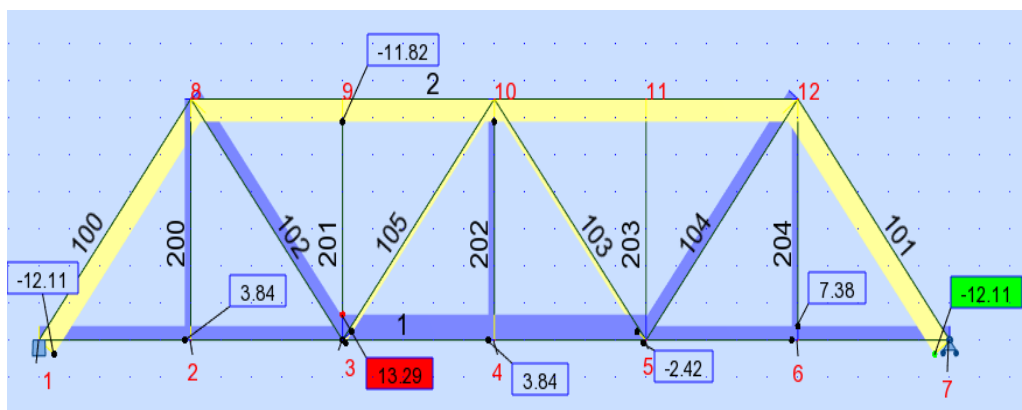
$c_{f,z}$ – Коефицијент дејства ветра уз и низ ветар износи $c_{f,z} = \pm 0,9$


$$C = 2,5 \cdot 0,9 = 2,25$$

Па је коначно, вредност силе према једначини (10.2.2.1):

$$F_{wz} = 38\,408,2\,N = 38,4\,kN$$





Слика 10.2.2.2 б) Дијаграми аксијалних сила; плава боја-притисак, жута боја-затезање

10.2.3. Дејство ветра у правцу Y

Дејство силе ветра у правцу осе Y одређује се помоћу обрасца [12]:

$$F_{wy} = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_{ref,y} \quad (10.2.3.1)$$

ρ – Густина ваздуха ($\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$)

v_b – Основна брзина ветра

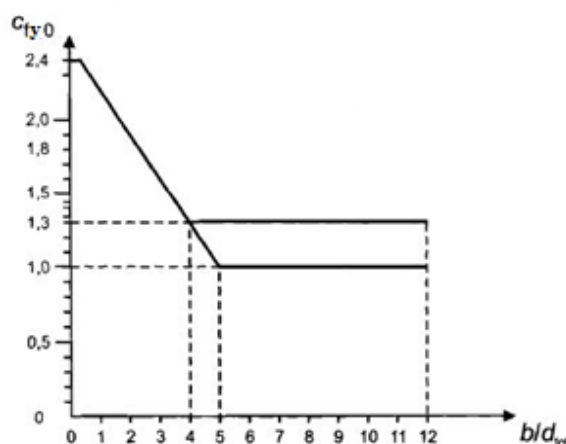
C – Коефицијент оптерећења од ветра

$A_{ref,y}$ – референтна површина

$$C = c_e \cdot c_{f,y} \quad (10.2.3.2)$$

c_e – Коефицијент изложености за категорију III и за висину од $z = 30 m$ износи $c_e = 2,5$

$c_{f,y}$ – Коефицијент дејства ветра, узима се вредност 1,3 или алтернативно помоћу графика на слици 10.2.3.1.



Слика 10.2.3.1. Коефицијент силе $c_{f,y}$ за мостове [12]

Па је вредност (10.2.3.2) једнака:

$$C = 2,5 \cdot 1,3 = 3,25.$$

Референтна површина $A_{ref,y}$ за решеткасте конструкције моста рачуна се као збир следећих површина [12]:

- Површина пешачке стазе као и застора колосека
- Површине пуних делова свих главних решеткастих носача
- Површине пуних препрека или звучних баријера изнад површине главног носача

Када се разматра утицај дејства ветра заједно са саобраћајним оптерећењем, као комбинација деловања, треба се придржавати следећег правила: За железничке мостове, референтна површина се рачуна 4m од горње ивице шине, на укупној дужини моста.

Према томе, референтна површина $A_{ref,y}$ за оптерећен мост износи:

Табела 10.2.3 а) Укупне површине изложене ветру за оптерећен мост

Елемент	Површина решетке
Појас	13,14 m ²
Дијагонале	3,76 m ²
Вертикале	2,5 m ²
Укупно	19,40 m ²

Према томе, коначна вредност силе дата једначином (10.2.3.1) износи:

$$F_{wy} = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_{ref,y}$$

$$F_{wy} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{kg}{m^3} \cdot (25 \frac{m}{s})^2 \cdot 3,25 \cdot 19,40 m^2$$

$$F_{wy} = 24,63 kN$$

Како би се одредила максимална сила ветра која делује на мост, одредиће се и референтна површина $A_{ref,y}$ за неоптерећен мост и она износи:

Табела 10.2.3 б) Укупне површине изложене ветру за неоптерећен мост

Елемент	Површина решетке
Појас	19,8 m ²
Дијагонале	6,56 m ²
Вертикале	6,50 m ²
Укупно	32,86 m ²

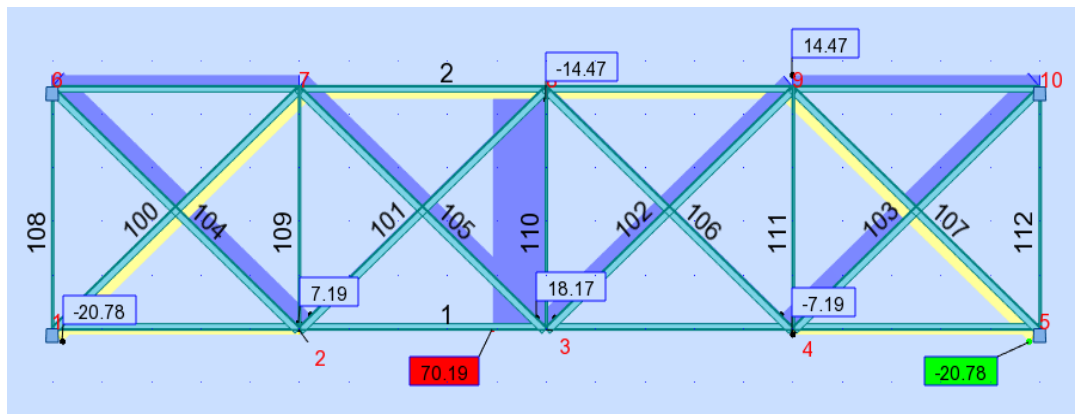
Сада ће вредност једначине (10.2.3.1) бити:

$$F_{wy} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{kg}{m^3} \cdot (25 \frac{m}{s})^2 \cdot 3,25 \cdot 32,86 m^2$$

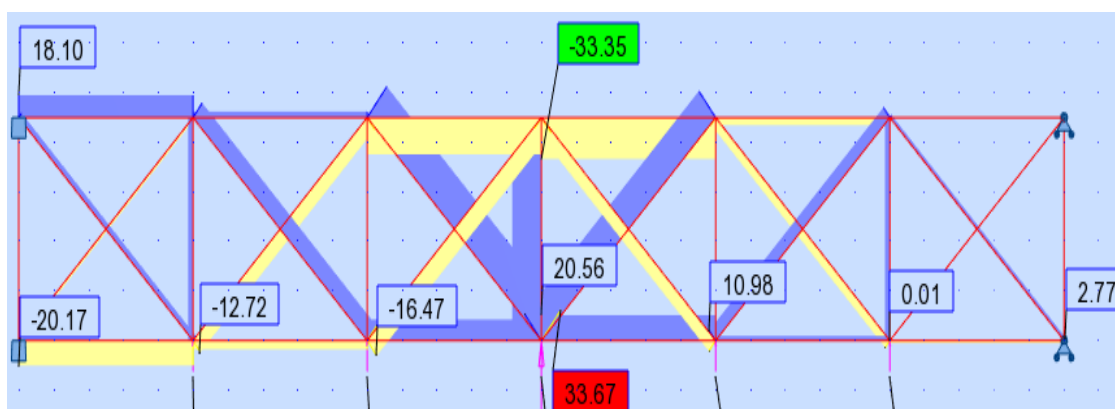
Па је коначна вредност силе ветра F_{wy} у овом правцу једнака:

$$F_{wy} = 41,72 \text{ kN.}$$

Поред ове силе, потребно је оптеретити мост на бочне ударе, а вредност силе према [14] износи $F_{By} = \pm 100 \text{ kN}$ и делују на најнеповољнијем месту.



Слика 10.2.3.2 Дијаграми аксијалних сила горњег спрега за ветар; плава боја-притисак, жута боја-затезање



Слика 10.2.3.3 Дијаграми аксијалних сила доњег спрега за ветар; плава боја-притисак, жута боја-затезање

10.2.4. Саобраћајно оптерећење

Под саобраћајним оптерећем подразумевају се силе које настају услед кретање воза преко моста. Да би се одредиле силе, потребно је знати врсту возила, сопствену тежину и тежину путника, брзину возила и слично. Мост је предвиђен за саобраћај путничког воза ЖС 413 (Швајцарска компанија „Штадлер Флирт“)[16]. Ово возило може да прими укупно 465 путника, а од тога је 235 места за седење. Вредност саобраћајног оптерећења приказано је у табели 10.2.4.

Табела 10.2.4 Саобраћајно статичко оптерећење [16]

	Маса [t]	Оптерећење [kN/m]
Воз	127	41,53
Путници	37,2	12,16
Укупно	164,2	53,69

Оптерећење приказано табелом 10.2.4. представља статичко оптерећење, док при стварном кретању воза долази до повећања статичких утицаја услед динамичког дејства. То повећање утицаја уводи се рачун мултиплицирањем утицаја динамичким коефицијентом ϕ датим у табели 10.2.5. Величина коефицијента ϕ у зависности је од меродавне дужине $L\phi$ за поједине делове конструкције моста.

Табела 10.2.5. Вредност динамичког коефицијента у односу на $L\phi$ [14]

$L\phi$	< 4	5	10	15	20	30	35	40	45	55	> 60
ϕ	1,67	1,53	1,31	1,21	1,16	1,09	1,07	1,06	1,04	1,02	1,0

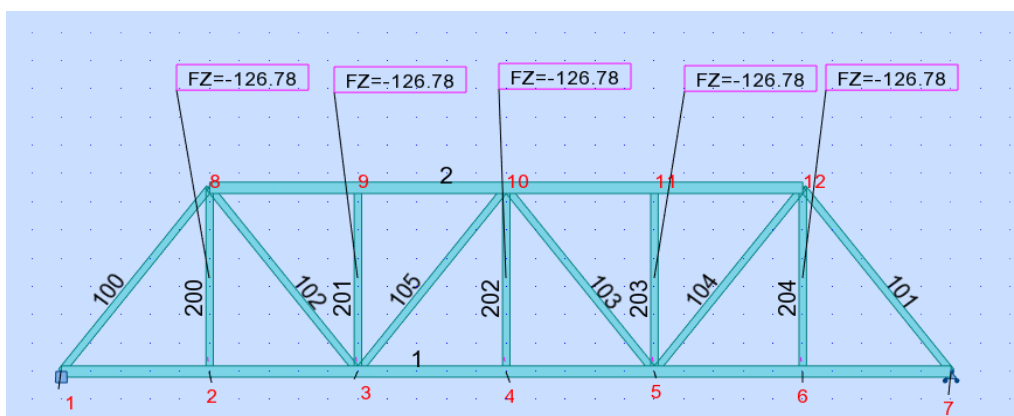
Динамички утицај се не узима за: стална оптерећења, оптерећења од центрифугалне силе, саобраћајно оптерећење на пешачким стазама, масивне опорце, масивне стубове и слично.

Након убацивања динамичког коефицијента ϕ , који износи у овом случају $\phi=1.09$, у статичко оптерећење, коначне вредности сила дате су у табели 10.2.6.

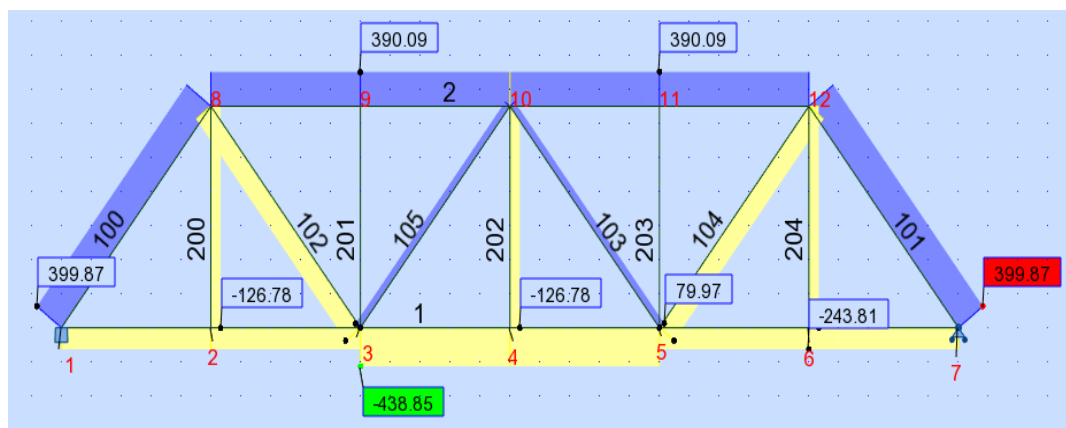
Табела 10.2.6. Саобраћајно динамичко оптерећење

	Статичко оптерећење [kN/m]	Динамичко оптерећење [kN/m]
Укупна вредност силе	53,69	58,52

Воз ЖС 413 има 4 вагона, а у истом тренутку, мост оптерећује $\frac{3}{4}$ укупне тежине воза. Саобраћајно оптерећење се једнако дели на оба главна носача, што значи да један главни решеткаст носач преузима укупно оптерећење од 21,13 kN/m. На слици 10.2.4 приказано је оптерећење главног носача, а на слици 10.2.5. дијаграми аксијалних сила. У црвеном правоугаонику приказана је максимална вредност аксијалне силе притиска, а у зеленом правоугаонику максимална вредност аксијалне силе затезања.



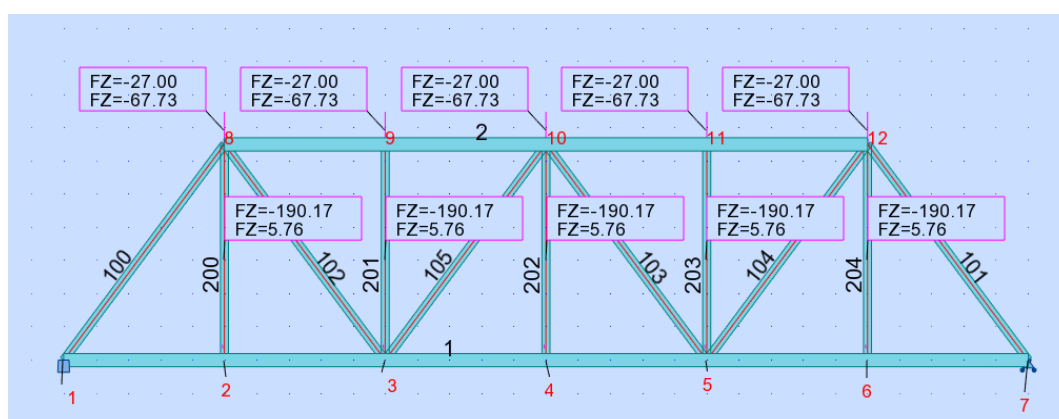
Слика 10.2.4. Оптерећење решеткастог носача услед саобраћајног оптерећења



Слика 10.2.5. Дијаграми аксијалних сила; плава боја-притисак, жута боја-затезање

10.3. Комбинација оптерећења

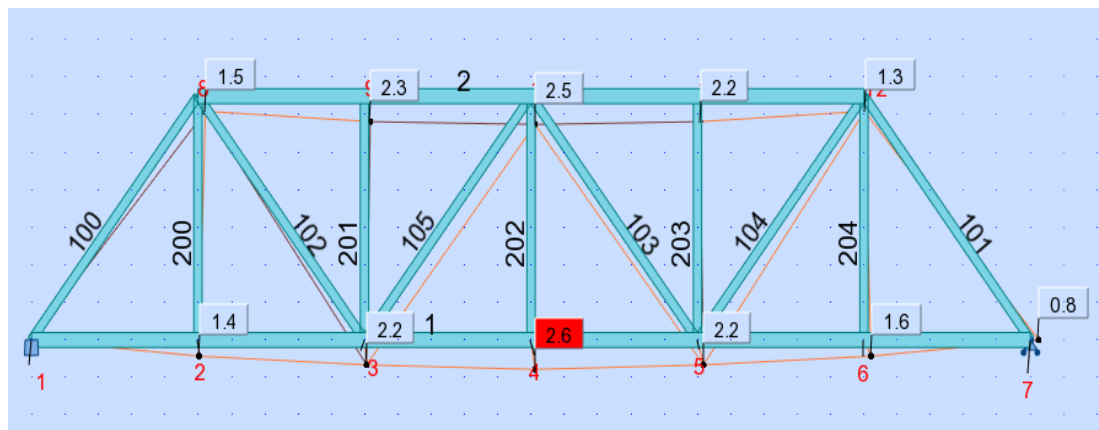
Комбинација оптерећења представља скуп свих оптерећења која делују на конструкцију (*dead load* + *snow load* + *wind load* + *live load*) и према томе им додељују коефицијенте које програм *Autodesk Robot* узима у обзир при прорачуну [10]. На слици 10.3.1. приказан је решеткаст носач са укупним силама.



Слика 10.3.1. Оптерећење решеткастг носача за комбинацију оптерећења

10.4. Провера угиба

Деформисани облик осовине греде назива се еластична линија греде. Ординате еластичне линије (у овом случају оса *Z*) су угиби греде. Промена угла између тангентне на еластичну линију и осе штапа је угиб греде и обележава се са *f*.



Слика 10.4.1. Приказ деформација решеткастог носача

Као што се може видети на слици 10.4.1. црвеним линијама су приказани угиби решеткастог носача, при чему се максимална вредност као што је и очекивано налази на средини носача. Црвеним бројевима означени су чворови решетке а црним су обележени штапови појаса и испуне. У табели 10.4.1 приказане су екстремне вредности угиба и за случај оптерећења, при чему је број 4 – случај оптерећења за ветар, а број 5 случај за комбинацију оптерећења.

Табела 10.4.1. Екстремне вредности угиба f

	f_x (cm)	f_z (cm)
Максимална вредност Чвор 4 Случај оптерећења 5	0,0	-2,6
Минимална вредност Чвор 7 Случај оптерећења 4	0,8	0,0

Према правилнику о техничким нормативима за одређивање величина оптерећења мостова [14], угиб главног носача услед дејства саобраћајног оптерећења, ограничен је на $L/200$. Што ће у овом случају износити:

$$f_{\text{dop}} = 30\,000 \text{ mm} / 200 = 150 \text{ mm}$$

$$f = 26 \text{ mm}$$

$$f_{\text{dop}} \gg f$$

Угиб је задовољен.

11. Димензионисање штапова решетке

11.1. Димензионисање штапова појаса

- Карактеристике профила RHS 400x300x10

Табела 11.1.1. Карактеристике пресека RHS 400x300x10 [17]

Симбол	Опис симбола	Вредност	Јединица
A_x	Попречни пресек	132,90	cm^2
A_y	Област смицања око у осе	56,96	cm^2
A_z	Област смицања око z осе	75,94	cm^2
I_y	Момент инерције око у	30750,00	cm^4
I_z	Момент инерције око осе z	19800,00	cm^4
I_x	Торзиона константа	38350,00	cm^4
W_{ely}	Еластични модул пресека око осе у	1537,50	cm^3
W_{elz}	Еластични модул пресека око осе z	1320,00	cm^3
t_w	Дебљина попречног пресека	10	mm
h	Висина попречног пресека	400	mm
b	Ширина попречног пресека	300	mm

- Силе у штаповима

$$N_{Ed} = 884,04 \text{ kN}$$

$$N_{C,Rd} = 471,95 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 919,81 \text{ kN}$$

- Провера попречног пресека [13]

$$N_{Ed} / N_{C,Rd} = 0,19 < 1,00$$

- Провера стабилности [13]

$$L_{amy} = 131,48 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 163,86 < L_{am,max} = 210,00$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,96 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

- Параметри анализе извијања око осе Z [13]

$$\text{Ефективна дужина извијања: } L_{cr,z} = 20 \text{ m}$$

$$\text{Однос виткости: } \lambda_{amz} = 2,08$$

$$\text{Фактор имперфекције: } \alpha_z = 0,21$$

$$\text{Коефицијент за прорачун: } \eta_z = 2,85$$

Прорачунска отпорност на извијање: $N_{z_{bRD}} = 919,81 \text{ kN}$

- Параметри анализе извијања око осе Y [13]

Ефективна дужина извијања: $L_{cr,y} = 20 \text{ m}$

Однос виткости: $\lambda_{my} = 131,48$

Фактор имперфекције: $\alpha_y = 0,21$

Коефицијент за прорачун: $f_{iz} = 2,04$

Прорачунска отпорност на извијање: $N_{y_{bRD}} = 1972,60 \text{ kN}$

- Напони у карактеристичним тачкама пресека

$\sigma_{xEd} = 70,95 \text{ MPa}$ Максималан нормалан напон

$\sigma_{NxEd} = 70,95 \text{ MPa}$ Нормалан напон услед утицаја аксијалне силе

11.2. Димензионисање штапова испуне - Вертикале

- Карактеристике профила RHS 300x100x10

Табела 11.2.1. Карактеристике пресека RHS 300x100x10 [17]

Симбол	Опис симбола	Вредност	Јединица
A_x	Попречни пресек	72,91	cm^2
A_y	Област смицања око у осе	18,23	cm^2
A_z	Област смицања око z осе	54,68	cm^2
I_y	Момент инерције око у	7184,00	cm^4
I_z	Момент инерције око осе z	1233,00	cm^4
I_x	Торзиона константа	6832,00	cm^4
W_{ely}	Еластични модул пресека око осе у	682,50	cm^3
W_{elz}	Еластични модул пресека око осе z	302,00	cm^3
t_w	Дебљина попречног пресека	10	mm
h	Висина попречног пресека	300	mm
b	Ширина попречног пресека	100	mm

- Силе у штаповима

$N_{Ed} = 94,87 \text{ kN}$

$N_{C,Rd} = 2588,35 \text{ kN}$

$N_{b,Rd} = 541,99 \text{ kN}$

- Провера попречног пресека [13]

$N_{Ed} / N_{C,Rd} = 0,04 < 1,00$

- Провера стабилности [13]

$$L_{amy} = 65,48 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 158,06 < L_{am,max} = 210,00$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,18 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

- Параметри анализе извијања око осе Z [13]

$$\text{Ефективна дужина извијања: } L_{cr,z} = 6,50 \text{ m}$$

$$\text{Однос виткости: } \lambda_{mz} = 158,06$$

$$\text{Фактор имперфекције: } \alpha_z = 0,21$$

$$\text{Коефицијент за прорачун: } \bar{\kappa}_z = 2,84$$

$$\text{Прорачунска отпорност на извијање: } N_{z,b,Rd} = 541,99 \text{ kN}$$

- Параметри анализе извијања око осе Y [12]

$$\text{Ефективна дужина извијања: } L_{cr,y} = 6,50 \text{ m}$$

$$\text{Однос виткости: } \lambda_{my} = 65,48$$

$$\text{Фактор имперфекције: } \alpha_y = 0,21$$

$$\text{Коефицијент за прорачун: } \bar{\kappa}_y = 0,94$$

$$\text{Прорачунска отпорност на извијање: } N_{y,b,Rd} = 1971,16 \text{ kN}$$

11.3. Димензионисање штапова испуне - Дијагонале

- Карактеристике профила RHS 300x100x10

Табела 11.3.1. Карактеристике пресека RHS 300x100x10 [17]

Симбол	Опис симбола	Вредност	Јединица
A_x	Попречни пресек	72,91	cm ²
A_y	Област смицања око у осе	18,23	cm ²
A_z	Област смицања око z осе	54,68	cm ²
I_y	Момент инерције око у	7184,00	cm ⁴
I_z	Момент инерције око осе z	1233,00	cm ⁴
I_x	Торзиона константа	6832,00	cm ⁴
W_{ely}	Еластични модул пресека око осе у	682,50	cm ³
W_{elz}	Еластични модул пресека око осе z	302,00	cm ³
t_w	Дебљина попречног пресека	10	mm
h	Висина попречног пресека	300	mm
b	Ширина попречног пресека	100	mm

- Силе у штаповима

$$N_{Ed} = 181,97 \text{ kN}$$

$$N_{C,Rd} = 2589,30 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 349,94 \text{ kN}$$

- Провера попречног пресека [13]

$$N_{E,Rd} / N_{C,Rd} = 0,07 < 1,00$$

- Провера стабилности [12]

$$L_{amy} = 82,61 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 199,42 < L_{am,max} = 210,00$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,52 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

- Параметри анализе извијања око осе Z [13]

$$\text{Ефективна дужина извијања: } L_{cr,z} = 8,20 \text{ m}$$

$$\text{Однос виткости: } L_{amz} = 199,48$$

$$\text{Фактор имперфекције: } \alpha_z = 0,21$$

$$\text{Коефицијент за прорачун: } f_{t,z} = 4,16$$

$$\text{Прорачунска отпорност на извијање: } N_{z,b,Rd} = 349,94 \text{ kN}$$

- Параметри анализе извијања око осе Y [12]

$$\text{Ефективна дужина извијања: } L_{cr,y} = 8,20 \text{ m}$$

$$\text{Однос виткости: } L_{amy} = 82,61$$

$$\text{Фактор имперфекције: } \alpha_y = 0,21$$

$$\text{Коефицијент за прорачун: } f_{t,y} = 1,18$$

$$\text{Прорачунска отпорност на извијање: } N_{y,b,Rd} = 1576,10 \text{ kN}$$

11.4. Димензионисање штапова горњег спрега за ветар

- Карактеристике профила, тј. попречних пресека за штапове појаса и испуне, дате су табелама 11.4.1 и 11.4.2.

Штапови појаса – RHS 400x300x10

Штапови испуне, вертикале – RHS 300x100x10

Штапови појаса, дијагонале - RHS 200x100x10

- Силе у штаповима појаса

$$N_{Ed} = 11,78 \text{ kN}$$

$$N_{C,Rd} = 3123,15 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 892,73 \text{ kN}$$

- Провера стабилности [13]

$$L_{amy} = 131,48 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 163,86 < L_{am,max} = 210,00$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,01 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

- Силе у штаповима испуне - вертикале

$$N_{Ed} = 70,57 \text{ kN}$$

$$N_{C,Rd} = 17139,39 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 946,38 \text{ kN}$$

- Провера стабилности штапова испуне -вертикале [13]

$$L_{amy} = 45,33 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 109,43 < L_{am,max} = 210,00$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,07 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

- Силе у штаповима испуне - дијагонале

$$N_{Ed} = 20,57 \text{ kN}$$

$$N_{C,Rd} = 1243,32 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 331,90 \text{ N}$$

- Провера стабилности штапова испуне – дијагонале [13]

$$L_{amy} = 98,27 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 170,20 < L_{am,max} = 210,00$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,05 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

11.5. Димензионисање штапова доњег спрега за ветар

- Карактеристике профила су исте као и за горњи спрег за ветар

Штапови појаса – RHS 400x300x10

Штапови испуне, вертикале – RHS 300x100x10

Штапови појаса, дијагонале - RHS 200x100x10

- Силе у штаповима појаса

$$N_{Ed} = 42,30 \text{ kN}$$

$$N_{C,Rd} = 3123,15 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 420,73 \text{ kN}$$

- Провера стабилности [13]

$$L_{amy} = 197,22 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 148,86 < L_{am,max} = 210,00$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,10 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

- Силе у штаповима испуне - вертикале

$$N_{Ed} = 33,49 \text{ kN}$$

$$N_{C,Rd} = 1713,39 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 946,40 \text{ kN}$$

- Провера стабилности штапова испуне -вертикале [13]

$$L_{amy} = 45,33 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 109,43 < L_{am,max} = 210,00$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,04 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

- Силе у штаповима испуне - дијагонале

$$N_{Ed} = 33,67 \text{ kN}$$

$$N_{C,Rd} = 1223,50 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 331,90 \text{ N}$$

- Провера стабилности штапова испуне – дијагонале [13]

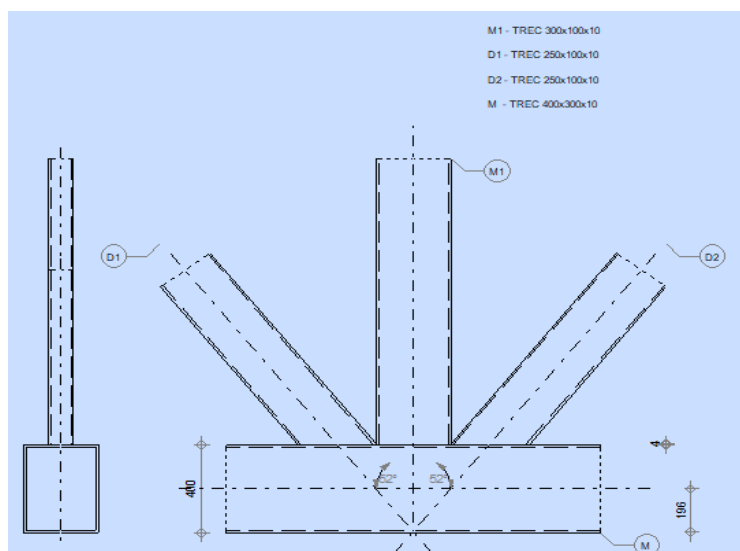
$$L_{amy} = 98,27 < L_{am,max} = 210,00$$

$$L_{amz} = 170,20 < L_{am,max} = 210,00$$

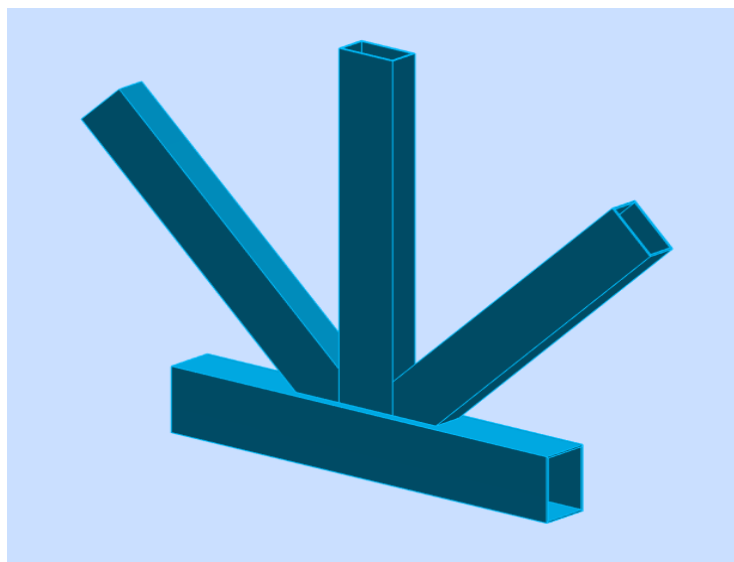
$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0,10 < 1,00 \gg \text{Стабилан}$$

12. Пример прорачуна завареног споја решеткастог носача

Монтажа железничког моста обавиће се из више делова. Распон моста због услова транспорта биће подељен на два дела, што значи да ће на половини места спојеви бити остварени вискоквалитетним завртњима, а остали спојеви оствариће се заваривањем. У оквиру овог поглавља биће приказан прорачун завареног *КТ* споја. На слици 12.1. приказан је *КТ* спој са означеним елементима, тј. штаповима решетке, а на слици 12.2. је 3D приказ споја.



Слика 12.1. Заварени *КТ* спој са означеним елементима нацртан у програму Autodesk Robot



Слика 12.2. 3D приказ завареног споја (Autodesk Robot)

Улазни подаци:

Попречни пресек штапова појаса (М): *RHS* 400x300x10

Попречни пресек штапова испуне – дијагонале (D1, D2): *RHS* 250x100x10

Попречни пресек штапова испуне – вертикале (M1): *RHS* 300x100x10

Материјал: S235

Угао $\alpha = 52,341^\circ$

Размак: $g_1 = -150 \text{ mm}$; $g_2 = -150 \text{ mm}$

Ексцентрицитет: $e = 44 \text{ mm}$

Дебљина завара: $a = 5 \text{ mm}$

Парцијални фактор сигурности: $\gamma_{M5} = 1,00$

Оптерећења:

- Појас: $N_{Ed} = 880 \text{ kN}$
- Лева дијагонала $N_{Ed} = 180,84 \text{ kN}$
- Десна дијагонала $N_{Ed} = 180,00 \text{ kN}$
- Вертикала $N_{v,Ed} = 98,15 \text{ kN}$

Контрола завара:

- Лева дијагонала - уздужни завар

$\lambda_{OV} = 39,40$ mm - Вредност преклапања штапова

$b_{ev} = 100$ mm - Ефективна ширина за преклопљене дијагонале

$b_{eff} = 33$ mm - Ефективна ширина преклапања у споју дијагонала и појаса

$N_{Rd} = 1330,43 \text{ kN}$ - Аксијална сила

$|N_{ld}| \leq N_{Rd} \gg |180,84| \leq 1330,43 \rightarrow$  Задовољава

$M_{1Ed} = 34,96 \text{ kNm}$ - Отпорни момент савијања

$\beta_w = 0,67$

$\gamma_{M2} = 1,00$

$\sigma_{\perp} = 27,02 \text{ MPa}$

$\tau_{\perp} = 27,02 \text{ MPa}$

$$\tau_{\parallel} = 29,39 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad \gg \quad |27,02| < 259,20 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \gg \quad 74,24 < 360,00 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

- Лева дијагонала - унутрашњи попречни завар

$$\sigma_{\perp} = 24,48 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 6,16 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad \gg \quad |24,48| < 259,20 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \gg \quad 26,70 < 360,00 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

- Лева дијагонала - спољашњи попречни завар

$$\sigma_{\perp} = 6,16 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 24,48 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad \gg \quad |6,16| < 259,20 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \gg \quad 42,84 < 360,00 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

- Десна дијагонала – уздужни завар

$$\lambda_{OV} = 39,45 \text{ mm}$$
 Вредност преклапања штапова

$$b_{ev} = 100 \text{ mm}$$
 - Ефективна ширина за преклопљене дијагонале

$$b_{eff} = 33 \text{ mm}$$
 - Ефективна ширина преклапања у споју дијагонала и појаса

$$N_{Rd} = 1017,43 \text{ kN}$$
 - Аксијална сила

$$|N_{dd}| \leq N_{Rd} \quad \gg \quad |180,00| \leq 1017,43 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

$$M_{1Ed} = 34,96 \text{ kNm}$$
 - Отпорни момент савијања

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$b_{ev} = 100 \text{ mm}$$
 Ефективна ширина за преклопљене дијагонале

$$b_{eff} = 33 \text{ mm}$$
 Ефективна ширина преклапања у споју дијагонала и појаса

- Десна дијагонала – спољашњи попречни завар

$$\sigma_{\perp} = 23,29 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 23,29 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 25,73 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad \gg \quad |23,29| < 259,20 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \gg \quad 64,46 < 360,00 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

- Вертикала – Уздужни завар

$b_{eff} = 100 \text{ mm}$ - Ефективна ширина за спој вертикале са појасом

$N_{v,Rd} = 1017,00 \text{ kN}$ - Аксијална сила

$$|N_{vd}| \leq N_{Rd} \quad \gg \quad |98,15| \leq 1017,00 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\sigma_{\perp} = 19,80 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 19,80 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad \gg \quad |19,80| < 259,20 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \gg \quad 39,60 < 360,00 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

- Вертикала – Попречни спољашњи завар

$$\sigma_{\perp} = 25,88 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 25,80 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 0,00 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} \quad \gg \quad |25,88| < 259,20 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad \gg \quad 51,75 < 360,00 \quad \Rightarrow \quad \text{Задовољава}$$

Спој је у складу са кодом, EN 1993-1-8: 2005.

12. Закључак

Железнички саобраћај је један од најстаријих и најважнијих видова превоза, од коришћења пруга за пренос угља у рудницима уз помоћ људске снаге, до данас, када су развијене трансконтиненталне железнице. Данас у свету постоји преко милион километара пруге и наставља да се повећава, а већи део укупне железничке мреже поседује Европа. Развој железница се, како је већ напоменуто, ширила са развојем индустријске револуције. Савремена железница је и данас водећи светски облик робног копненог промета. Заједно са порастом железничких пруга, напредује и мостogradња, и до средине 20. века изграђено је до 80 000 мостова, а данас се тачан број не може одредити.

Колапси, грешке при пројектовању и многобројни неуспеси довели су до развоја теоријских и експерименталних механичких истраживања која су, у великој мери, довела до потребе за рационалним и научним пројектовањем мостова као и убрзаним развојем и проширењем железничке инфраструктуре. Поред тога, инжењери се више нису могли ослањати на емпиријску праксу с обзиром да су се и шинска возила знатно повећала а самим тим и њихова маса и терет који превозе.

Значајна побољшања су постигнута током двадесетог века у материјалима, изградњи технологије, структурне анализе и пројектовању и технологији израде. Такође се знатно побољшала жилавост и дуктилност материјала, отпорност на корозију и заварљивост конструкције. Ова побољшања омогућила су економичне, поуздане и сигурне железничке мостове.

Примена шупљих профила за челичне конструкције је новијег датума и према томе не постоји много публикованих радова из ове области. При пројектовању носача и веза треба узети у обзир не само носивост и стабилност већ и комплексност такве везе. Највећи број челичних решеткастих конструкција од шупљих профила био је изведен монтажним елементима, закивцима и чворним лимовима. У последњих тридесетак година, долази до повећања израде директно заварених елемената, без чворних лимова или других додатних елемената. Али овакви спојеви захтеву специфичан приступ. Поља напона и деформација су нелинеарна и анализа понашања оваквих веза при граничном стању носивост не може бити одређена само на основу прорачунских модела којима се одређује носивост. Добијени резултати показују да на појаву лома утичу геометријске карактеристике, квалитет основног материјала, облик везе и врсте оптерећења у појасним штаповима.

Поред примене шупљих профила у мостogradњи, имају широку примену и у зградарству као рошњаче, кровни носачи, подни носачи и крански носачи. Комбиновањем ове врсте профила могу се добити носачи атрактивног изгледа.

Предност шупљих профила је велика носивост, због уједначених геометријских карактеристика за обе главне осе инерције, имају већу носивост на дејство аксијалне силе притиска у односу на уобичајене профиле отвореног попречног пресека. Поред аксијалне силе, исто важи и за елементе изложене косом савијању, торзији и бочном торзионом извијању. Због равномернијег распореда масе челика по површини попречног пресека остварује се уштеда материјала и до 25%. Главни полупречници

инерције знатно су већи него код профила отвореног попречног пресека. Решетки носачи, око 50% укупне тежине материјала утроши на притиснуте појасне елементе, и око 20% на елементе испуне. Према овоме, елементе треба оптимизовати избором танкозидних шупљих профила али узети у обзир да је носивост међусобне везе елемената решеткастог носача функција дебљине зида попречног пресека. При пројектовању је потребно остварити компромис између носивости и стабилности самог елемента.

Због облика попречног пресека шупљих профила, на отвореном терену, тј. терену где постоје јаки удари ветра, ови профили показују знатно мањи утицај, а исто важи за дејство воде и таласа, па се због тога примењују за конструкције јарбола, трансмисионих мостова, антенских стубова и слично.

Још једна повољност овог облика профила је коришћење унутрашњег простора. Повећање носивости или ватроотпорност може да се оствари испуњавањем унутрашњег простора профила бетоном. Кроз отворе ових профила, могу се поставити инсталације.

Са аспекта антикорозивне заштите, ови профили су повољнији због своје геометрије јер је површина изложена утицајима од корозије мања за 30-40%. Због одсуства оштрих ивица од додатних чворних лимова, заварени спојеви конструктивних елемената омогућавају мање задржавање влаге, воде и снега.

Неповољности примене оваквих профила као и описани начин остваривања веза јесте већа појединачна цена због заварених спојева и додатне обраде крајева елемената.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Design of modern steel railway bridges*; Unsworth F. John, New York, 2010.
- [2] *Теорија конструкција*, И.П. Прокофјев; Грађевинска књига Београд, 1959.
- [3] *Металне конструкције*, Д. Буђевац, З.Марковић, Д. Богавац, Д. Тошић; Грађевински факултет Универзитета у Београду, 1997.
- [4] *Челични мостови*, Д. Буђевац, Б. Стипанић, Грађевинска књига Београд 1989.
- [5] *Основе челичних мостова*, С. Живковић, Грађевинско-архитектонски факултет у Нишу, 2016.
- [6] *Прорачун конструкција*, М. Рак, Д. Гело, Приручник техничког Велеучилишта у Загребу, 2006.
- [7] *Правилник о техничким мерама и условима за монтажу челичних конструкција – опште одредбе* – Службени лист СФРЈ 29/јул/1970
- [8] *Правилник о техничким условима и одржавању горњег строја железничких пруга*, Службени гласник Републике Србије бр. 39/2016;
https://www.paragraf.rs/propisi_download/pravilnik_o_tehnickim_uslovima_i_odrzavanju_gornjeg_stroja_zeleznickih_pruga.pdf, Приступљено: 10.04.2019
- [9] EN 1993-1-8: 2005; Eurocode 3: *Design of steel structures – Part 1 – 8: Design of joints*
- [10] EN 1991-1-1, 2005: Eurocode 1: General actions, Actions on structure – Part 1-1: *General rules and rules for buildings; European Committet for Standardization, Brussels, Belgium.*
- [11] EN 1991-1-3: 2003; Eurocode 1: *Actions on structure – Part 1 – 3: General actions – Snow load*
- [12] EN 1991-1-4: 2005; Eurocode 1: *Actions on structure – Part 1 – 4: General actions – Wind actions*
- [13] EN 1993-1-1: 2005; Eurocode 3: *Design of steel structures – Part 1: Design od steel structures, General rules and rules for buildings*
- [14] *Правилник о техничким нормативима за одређивање величина оптерећења мостова*, Службени лист СФРЈ број 43/49, 1990. Година, Београд
- [15] *Решеткасти носачи без чворних лимова од шупљих челичних профила*, М. Милошевић, С. Живковић, Зборник радова Грађевинског факултета, Ниш

[16] Вов „Штадлер”

https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%A1_%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%98%D0%B0_413 приступљено 15.03.2019

[17] Геометријске карактеристике челичних профила, European Sections, European Committet for Standardization, Brussels