

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Заварене и ливене конструкције

Број индекса: 364/2018

Николета Н. Трајковић

**Прорачун носивости заварених спојева
код конструкције од стандардних
профила и плоча применом ЕЦЗ
стандарда на примеру моста
Мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Иван Милетић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада студент треба да направи увод о металним конструкцијама и да објасни аналитички прорачун сила у штаповима решетке. Објаснити диспозицију и делове пешачких 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] *Теорија конструкција*, И.П. Прокофјев; Грађевинска књига, Београд, 1966;
- [2] *Теорија конструкција*, С.С. Тимошенко, Д.Х. Јанг, Грађевинска књига, Београд, 1968;
- [3] *Steel structures*, Ј. Бујнак, Р. Николић, Ј. Ђоковић, Универзитет Жилина, 2011;
- [4] EN 1990:2005: Еврокод 0: *Основе прорачуна конструкција*;
- [5] EN 1993-1-1: 2005: Еврокод 3: *Прорачун челичних конструкција – Део 1-1: Општа правила и правила за зграде*;
- [6] EN 1993-1-8: 2005: Еврокод 3: *Прорачун челичних конструкција – Део 1-8: Прорачун веза*

Крагујевац, јануар 2020.

Ментор:
Др Иван Милетић, доцент

Abstract

This paper describes a proposal of a dispositional solution for truss structure of pedestrian bridge. Constructive elements and material are selected based on static analysis of the system. The values of stress and deformation are determined. The effects of snow, wind, dead load and traffic load are determined according to European standards for steel structures and the grid rods are dimensioned according to these values and the stresses they cause. The procedure for making the beam connections by welding is explained, and an example of the calculation was made in accordance with EC3.

Keywords: Autodesk Inventor, Autodesk Robot, Eurocodes EN 1990: 2002, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4, EN 1993-1-8, welding, bridge, metal structures, stress, grid, static analysis, deflection, steel, rod, standard profiles

Резиме

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

Кључне речи: Autodesk Inventor, Autodesk Robot, еврокодovi EN 1990:2002, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4, EN 1993-1-8, заваривање, мост, металне конструкције, напон, решетка, статичка анализа, угиб, челик, штап, стандардни профили

Садржај

1. Увод	1
1.1 Историјски развој металних конструкција	3
1.2 Карактеристике металних конструкција	7
2. Решеткасте конструкције	9
2.1. Решеткасти носачи.....	10
2.2. Подела решеткастих носача	10
2.3 Примена решеткастих носача.....	12
2.4 Обликовање решетки.....	13
2.5 Решеткасти носачи са паралелним појасевима.....	13
2.6 Решеткаста укрућења или спрегови.....	14
2.7 Троугаони решеткасти носачи	15
2.8 Параболични решеткасти носачи.....	16
2.9 Елементи и попречни пресеци решеткастих носача	16
3. Материјал за изградњу моста.....	18
3.1 Фактори од утицаја на избор челика као основног материјала.....	20
3.2 Избор основног материјала	21
4. Методе прорачуна челичних конструкција	22
4.1 Метода допуштених напона	22
4.2 Метода граничних стања	23
5. Основе за диспозиционо решење пешачког моста	25
5.1 Положај моста у основи.....	25
5.2 Величина отвора	26
5.3 Висина слободног профила моста.....	26
5.4 Ширина моста	26
5.5 Грађевинска и конструктивна висина	26
5.6 Слободни профил моста. Отворени и затворени мост	27
5.7 Нормални попречни профил и ширина моста	28
5.8 Челична лежишта.....	28
6. Услови монтаже	29
7. Заварени спојеви.....	30
7.1 Основе прорачуна	30
7.2 Врсте шавова.....	31
7.3 Прорачунска носивост угаоних шавова.....	32
7.3.1. Дужина шавова.....	32

7.3.2.	Ефективна дебљина угаоних шавова (Effective throat thickness)	32
7.3.3	Прорачунска носивост угаоних шавова – Директна метода.....	33
7.3.4	Прорачунска носивост угаоних шавова (поједностављена метода).....	34
8.	ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК	35
8.1	Материјал	36
8.2	Диспозиција пешачког моста	36
8.3	Опис конструктивних елемената.....	37
8.4	Лежишта.....	37
8.5	Услови монтаже	37
8.6	Антикорозивна заштита.....	37
8.7	Статичка анализа система	37
8.8	Анализа оптерећења пешачког моста	38
8.8.1	Сопствено оптерећење - dead load	38
8.8.2	Променљиво оптерећење	39
8.8.2.1	Оптерећење снегом	39
8.8.2.2	Оптерећење ветром у z правцу.....	41
8.8.2.3	Оптерећење ветром у u правцу.....	42
8.8.3	Саобраћајно оптерећење	43
9.	Димензионасање носача пешачког моста	44
10.	Комбинација оптерећења.....	47
11.	Провера угиба	48
12.	Пример прорачуна завареног споја	49
11.1	Улазни подаци	49
11.2	Носивост попречног пресека	50
11.2.1	Затезање (6.2.3)	50
11.2.2	Смицање (6.2.6).....	51
11.2.3	Момент савијања (6.2.5)	51
11.3	Носивост ребра	52
11.3.1	Ребро стуба оптерећено попречним затезањем	52
11.3.2	Ребро стуба оптерећено попречним савијањем	53
11.4	Прорачунска носивост угаоних шавова	54
12	Закључак.....	55
13.	Литература	56

1. Увод

Мостови су грађевински објекти који за функцију имају превођење саобраћајница, инсталационих или индустријских токова преко природних или вештачких препрека. Препреке могу бити водени токови, језера, мореузи, дубоке долине, саобраћајни путеви, зграде или други грађевински објекти [1].

Људи су градили мостове из потребе за кретањем и стварањем. Први мостови су изграђени у Месопотамији 2500 година пре нове ере (слика 1).

У римском и турском царству су изграђени разни дрвени и камени мостови и аквадукти за потребе људи и ратна освајања. Велика Британија је увела гвожђе и челик у изградњу мостова. Изграђени су челични мостови рекордних распона. Француска је у XVIII веку унапредила изградњу камених мостова и постала водећа у примени армираног и преднапрегнутог бетона у мостоградњи.



Слика 1. *Први природни и изграђени мостови [4]*

У другој половини XX века је на територијама бивше СФРЈ пројектовано и изграђено више челичних и бетонских мостова рекордних светских распона. У Београду је, преко реке Саве, изграђен први железнички мост са косим затегама на свету (аутори су проф. Н. Хајдин и проф. Љ. Јефтовић). Југословенска школа је била нашироко позната и призната у свету. У последње време, амбицију за грађење мостова великих распона показују Јапан и Кина [2]. Градња мостова траје вековима, са спорим развојем, већином заснованим на искуствима из већ изграђених зграда. У почетном периоду су задаци градитеља мостова били ограничени на пешачке прелазе и мостове. Са појавом железнице и развојем друмског саобраћаја велике брзине јавио се захтев за изградњу мостова великих отвора и дужина, који су се требали брзо изградити. Конструкција је решавала ове задатке употребом нових материјала и конструкцијама разних система и облика. Стални развој и захтеви друмског и железничког саобраћаја наметали су потребу сигурног преласка често врло широких и дубоких водених препрека. Савремена техничка и технолошка достигнућа у мостоградњи омогућила су да жеље за савладавањем великих препрека постану стварност данас. Данас се реализују многи сложени пројекти, чији се трошкови исказују у милијардама долара, а у фази планирања и припреме су такви грандиозни пројекти о којима се некада само маштало. Реализација ових пројеката није се првенствено заснивала на економској оправданости. Пројектовање мостова је сложен конструкцијски и технички задатак који треба да испуни многе захтеве, не само техничко решење његове носиве конструкције. Поузданост носеће конструкције је важан предуслов постојања моста, мада то није довољно за употребну вредност моста. Мостови, као и сви други грађевински објекти, треба да испуњавају захтеве функционалности, сигурности, издржљивости, економичности, естетике и екологије (утицај на животну средину). Испуњавање свих тих

захтева изискује широко знање, док је за веће и сложеније пројекте потребно укључити већи број стручњака за различите области како би се постигло оптимално решење. Саставни део мостоградње су проблеми пројектовања и изградње носећих конструкција. Неопходно је познавати различите дисциплине у циљу постизања поузданог, трајног и економичног решења конструкције. У последње време, посебно је значајан напредак у области израчунавања носећих конструкција. Развој нумеричких метода прорачуна, нарочито метода коначних елемената, вођених рачунарском експанзијом, омогућава поуздане статичке и динамичке, линеарне и нелинеарне анализе структура. Некада је прорачун, често доминантног дела моста, био дуготрајан и захтеван процес, а данас је постао готово рутински део посла. Иако су градитељи мостова директно повезани са прорачуном његових носећих конструкција, проналажење оптималног решења захтева много шире знање [3].

У данашње време пешачки мостови више добијају на значају и све више се граде за из потребе људи за кретањем и здравим животом. Пешачки мостови се граде у рекреационим зонама и парковима, као и у градовима кроз које протичу реке. Висећи пешачки мост преко Дунава у Линцу има рапон 280 метара и ширину од 3 метра [4].



Слика 2. Висећа конструкција моста преко реке Дунав у Линцу [4]

Пешачки мостови (пасареле) су према намени слични надвожњацима. Надвожњаци су намењени за денивелисано укрштање путева, док пешачки мостови служе за денивелисан и безбедан прелаз пешака преко саобраћајница. Локације пешачких мостова су предодређене на местима изражених потреба. Најчешће се граде накнадно преко саобраћајница. Распоне, укупну дужину и ширину, као и начин приступа изградњи предодређује локација. Слободни профили испод пешачких мостова исти су као и за надвожњаке изнад путева и железница.

Према намени се разликују:

- пешачки мостови преко саобраћајница и железница и
- пешачки мостови за потребе пешака у градовима.

Деонице аутопутева у близини градова и у градовима (градски аутопутеви) пресецају токове пешачког саобраћаја те се јавља потреба за изградњом пешачког моста. Уколико је аутоут у усеку, тада нису потребне приступне рампе нити степеништа, па су објекти једноставнији и јефтинији у том случају. На равним путевима пешачки мостови морају имати приступне рампе, лифтове или степенице. Конструкција рампе, односно

степеница је функционално повезана, а конструктивно и статички одвојена од конструкције пасареле.

Челични пешачки мостови су прилично погодни за примену у урбаним и у природним окружењима, обзиром да због свог елегантног изгледа и разноврсности конструктивних система могу да се адекватно конструкторски и архитектонски обликују.

Рационални распони за пешачке мостове су:

- до 20 m носачи моста на два ослонца;
- до 30 m континуални носачи;
- до 40 m рамовски носачи;
- за веће распоне су пешачки мостови са косим кабловима или лучни мостови, док су
- за највеће распоне висићи мостови [3].

Геометрија пешачких мостова (нивелета, нагиби) је пуно слободнија од геометрије друмских мостова. Ширине мостова се усклађују према потребама пешака или пешака и бициклиста. Код дужих мостова је ширина константна, док се код краћих мостова често предвиђају и проширења на крајевима или по целој дужини. Мањи мостови се граде од дрвета и бетона, а већи од челика или као спрегнута конструкција челик-бетон.

Статички системи су гредни, лучни, висићи и мостови са косим затегама. Код пешаких мостова је дозвољена већа креативна слобода, те су тако обogaћене форме посебно мостова са косим затегама [4].

1.1 Историјски развој металних конструкција

Руда гвожђа се у природи јавља као ферит, магнетит, хематит, лимонит и пирит. Да би се гвожђе могло користити као руда, најпре се мора ослободити од значајних процената нечистоћа. Дуги низ година археолози су безуспешно покушавали да одгонетну ко је био проналазач гвожђа и његове израде. Међутим, ни најстарији списи немају одговор на то питање. При истраживању Кеопсове пирамиде 1837. године, Енглеz Хил (*Hill*) је у њеним зидинама пронашао парче гвожђа чија старост достиже око 5000 година. Тај комад гвожђа се чува у британском музеју у Лондону, као највећа реткост.

Вештина ливења гвожђа и гвоздених предмета није била позната старим народима, јер се ливено гвожђе јавља тек почетком XV века и то махом за израду топова. Већа производња сировог гвожђа, а самим тиме и његова шира примена, омогућена је 1735. године након проналаска поступка добијања сировог гвожђа помоћу кокса у високим пећима.

Примена гвожђа је у грађевинским конструкцијама била углавном ограничена на побољшање познатих техника спајања елемената. Употреба ексера датира још од првог миленијума пре нове ере. Завртњевци почињу да се користе од средине XVI века, а подвезице од кованог гвожђа за спајање елемената дрвене грађе од XVII века. Скоро до краја XVIII века је ливено гвожђе углавном коришћено за алате и ратну технику, тако да познатих примера употребе гвожђа као главног материјала за носеће конструкције нема све до касних година XVIII века.

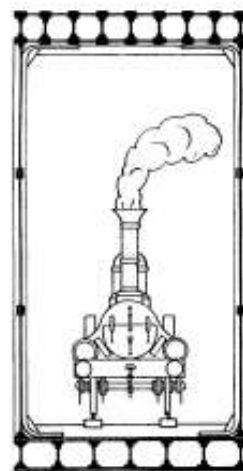
Прва носећа конструкција од гвожђа у свету подигнута је у периоду између 1777.-1779. године у Енглеској. Мост преко реке Северн (слика 3) подигнут је од стране Абрахама

Дарбија (Abraham Darby). Мост је лучни, распона 30,6 метара, са стрелом од 13,7 метара. Мост је и данас у употреби и служи за пешачки саобраћај [7].



Слика 3. Мост реко реке Северн [7]

Након проналаска парне машине која је знатно олакшала поступак добијања гвожђа у високим пећима, 1784. године је Хенри Корт (Henry Cort) пронашао пудел-процес, поступак за производњу вареног челика, са својствима сличним данашњем челику. Својства вареног челика су омогућила израду смелијих конструкција, тако да је од овог материјала изведен мост Британија (слика 7) преко мореуза Менеј, 1850. године. Конструкција моста се састојала од два одвојена паралелна сандучаста носача кроз које пролазе возови. Овај објекат је посебно значајан за развој мостова уопште и представља претечу савремених мостова сандучастог пресека.

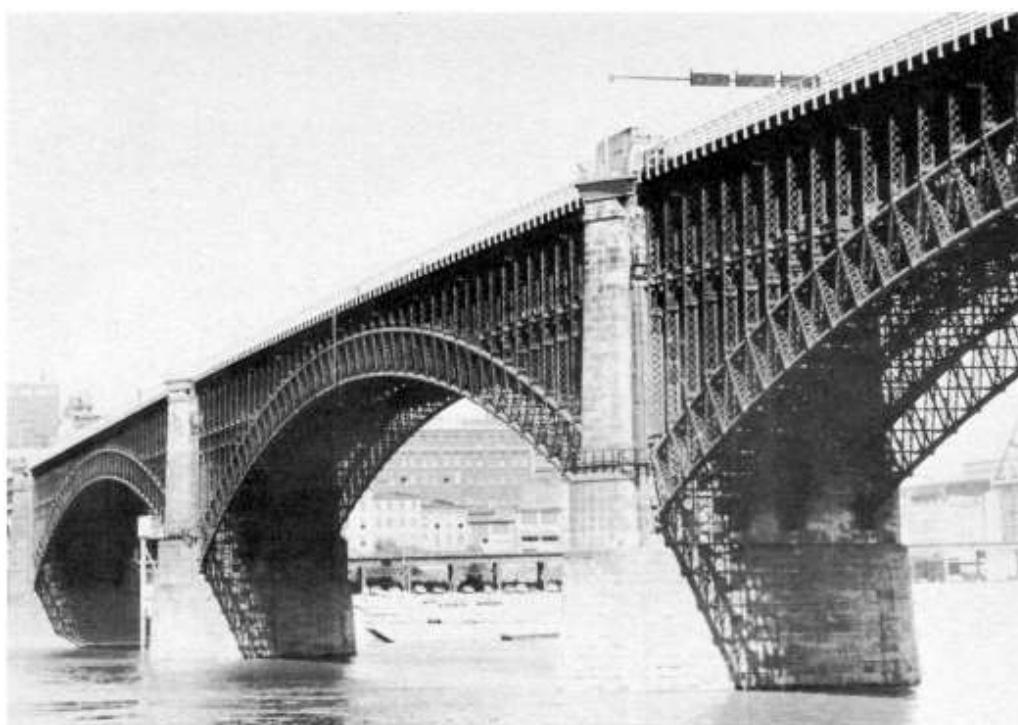


Слика 4. Мост Британија преко мореуза Менеј [7]

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

Посебан значај за развој металних конструкција је имао проналазак топљеног челика 1855. године од стране Хенрија Бесемера (*Henry Bessemer*). До друге половине XIX века челик се није производио у довољним количинама и са довољно ниском ценом да би био конкурент вареном гвожђу. Главна разлика у хемијском саставу ова два челика је била у садржају угљеника.

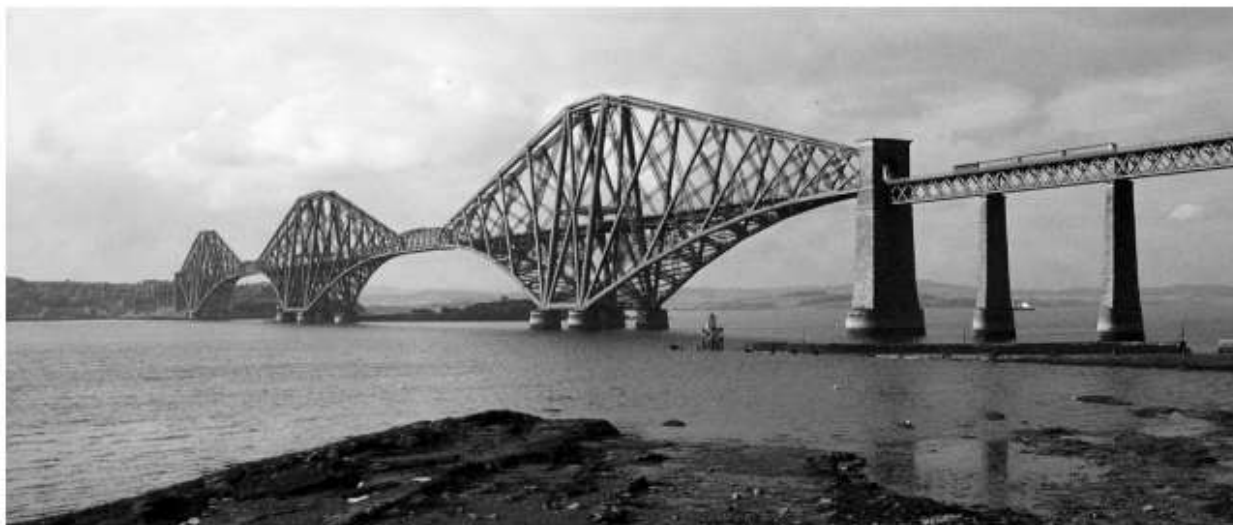
Мост Сент Луис (слика5) подигнут преко реке Мисисипи је први значајан мост направљен од челика.



Слика 5. Мост Сент Луис преко реке Мисисипи [7]

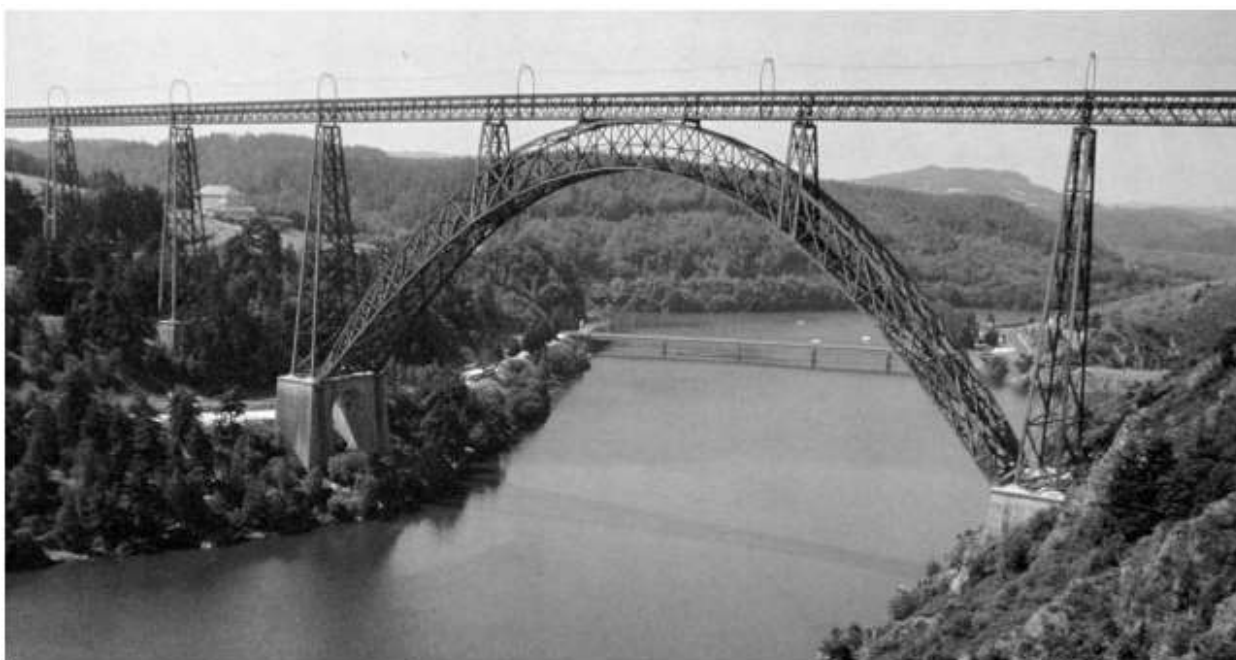
Масовна производња челика је омогућена увођењем Сименс-Мартиновог поступка 1880. године. То је топљени челик доброг квалитета који је и дан данас у употреби.

Прва значајна конструкција од челика у Енглеској је монументални Фортски мост (*Forth Bridge*) који је завршен 1890. године. Мост је решеткаст, система Герберовог носача. Тежина конструкције је 53 305 t, са уграђених 6 500 000 закивака. Мост је изузетно импресиван те и данас изазива пажњу инжењера широм света.



Слика 6. Фортски мост [7]

За мостове лучног система неоспорно највеће услуге имају Французи. Први мост Арколе од вареног гвожђа је саградио Одри (*Oudry*) 1854. године у Паризу. Најзначајнији лучни мост са распоном од 165 метара је такође саграђен у Француској. Мост Гарабит (слика 7) је 1884. године саградио чувени Густав Ајфел (*Gustave Eiffel*).



Слика 7. Мост Гарабит у Франциској [7]

Година 1881. се везује за почетке електролучног заваривања, а 1928. за примену заваривања у мостogradњи. Крајем 1928. године је завршен мост Слудви (*Sludwa*) у Пољској. То је први друмски мост израђен заваривањем. На почетку је заваривање дало изузетне резултате, јер су мостови постали једноставније конструкције, а јефтинији од одговарајућих закованих. Међутим, 1936. године су откривене пукотине у подужном шаву између ребра и ножица главног носача железничког моста у Берлину. Иста оштећења су пронађена и на друмском мосту у Немачкој 1938. године. Између 1938. и

1940. године је три моста у Белгији доживело хаварије услед кртог лома. Све ове пукотине су биле повод за допунска истраживања широм света. Из тог временског периода се могу издвојити још два моста. Први је Џорџ Вашингтон (*George Washington*) преко реке Хадсон, са распоном од 1067 метара, грађен од 1927. до 1932. године. Други мост је Голден Гејт (*Golden Gate*) у Сан Франциску (слика 8), саграђен 1937. године, распона 1281 метар, што је дуги низ година био највећи распона моста у свету.



Слика 8. Мост Голден Гејт у Сан Франциску [7]

1.2 Карактеристике металних конструкција

Употреба гвожђа, затим и челика, као материјала за израду носећих конструкција у грађевинарству је релативно скоријег датума. Тек нешто пре 200 година је израђена прва конструкција од гвожђа. За израду грађевинских објеката са металним носећим конструкцијама, челик и данас представља главни материјал по употребљеној количини. Међутим, последњих деценија се уочава повећана употреба алуминијума. Конструкције од челика поседују специфична својства и значајне техничке и функционалне предности у односу на друге материјале, те зато имају широку примену за све врсте грађевинских конструкција. Карактерише их изузетно брз тренд развоја који је проузрокован појавом и развојем нових савремених метода прорачуна и анализе, нових високо софистицираних конструкцијских система, развој потпуно аутоматизованих система за израду техничке документације на рачунару, као и система за израду конструкција у радионици и нових поступака монтаже на градилишту. Као основни материјал за носеће конструкције, челик се користи за скоро све типове грађевинских објеката.

Као материјал носеће конструкције челик поседује изузетне карактеристике у које се убрајају:

- висока механичка својства,
- мале димензије и тежине елемената челичних конструкција,
- индустријализована производња,
- лака манипулација,
- транспорт и монтажа,
- релативно лако фундаирање,
- велика сеизмичка отпорност,
- флексибилност и адаптивност и
- могућност демонтаже и трајна вредност [7].

Високе механичке карактеристике и дуктилност конструкционих челика, које су много веће него код других грађевинских материјала, обезбеђују највећи степен искоришћења носећих својстава, као и знатну резерву носивости. То је од нарочитог значаја при екстремним оптерећењима као што је слегање темеља, дејство земљотреса или удар возила о конструкцију. Управо због тих изузетних механичких својстава, елементи челичних конструкција имају знатно мање димензије у поређењу са конструкцијама од других материјала, те самим тим и мању тежину што умногоме олакшава манипулацију и транспорт. Челичне конструкције омогућавају савладавање великих распона и висина, како код хала и спратних зграда, тако и код мостова, при чему су тежине и димензије носеће челичне конструкције значајно мање него код других грађевинских материјала. Неретко носећа конструкција од челика представља једину прихватљиву солуцију, као што је на пример код мостова изузетно великих распона, хала великих површина без стубова, зграда високе спратности или високих торњева и јарбола. Челичне конструкције држе све рекорде у грађевинарству.

Мостови, без сумње, представљају највеће достигнуће модерног градитељства где посебно место заузимају метални мостови, који држе све рекорде у погледу распона, висине стубова и пилона, ширине коловозне табле итд. И у другим областима примене је слична ситуација, као на пример у зградарству. Све бржи пораст броја људи и интензивна миграција у велике градове постављају захтев за прелазак са конвенционалних начина грађења на потпуну индустријализацију грађења. Индустријализација обухвата комплексно планирање, пројектовање, израду, монтажу, финализацију и одржавање објеката кроз један простудиран концепт, који обједињује све учеснике у процесу изградње, са циљем да се испуне захтеви за уштеду времена и коштања. Значајним смањењем радова на градилишту остварује се скоро потпуно елиминисање непредвиђених радова.

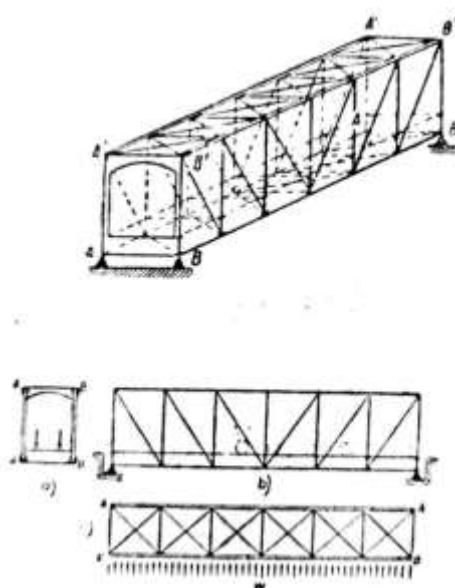
За разлику од многобројних позитивних особина које челик поседује, осетљивост челичног материјала на дејство корозије и пожара представља проблем који захтева посебну пажњу током изградње и експлоатације објекта [7].

2. Решеткасте конструкције

У техници се под термином конструкције подразумева свака конструкција чији се облици и димензије могу дефинисати техничким и економским прописима. Свака конструкција треба бити отпорна на дејства разних спољних сила и утицаја, те мора бити чврста и стабилна. Уколико су дејствујуће силе непознате, није могуће одредити чврстоћу, односно уколико је непознат распоред унутрашњих сила и момената које су настале као последица деловања спољних сила. Дакле, задатак теорије конструкције састоји се у проучавању распореда унутрашњих сила у деловима конструкције и одређивању односа сила и напона, тј. одређивање критичне тачке конструкције, а затим и димензионисање према тој критичној вредности. Конструкција треба бити јака, али то не значи да треба претеривати са димензионисањем те бирати јаке и тешке елементе за некритичне делове конструкције. Према томе врши се оптимизација [5].

Све чешће се конструкције обликују од штапова малих попречних пресека у односу на своју дужину. Елементи таквих конструкција су изложени на притисак и затезање, те се из тог разлога израђују од материјала који добро подносе оптерећења те врсте, као што су армирани бетон, дрво и челик. Ове конструкције су тродимензионалне и у ову групу убрајамо греде, стубове, решетке и слично. Предност ових тродимензионалних конструкција је могућност рашчлањавања на системе у равни. Тако, примера ради, било који мост који је просторни систем, који је под оптерећењем сопствене тежине у вертикаланом и под оптерећењем ветра у хоризонталном и вертикалном правцу, може се рашчланити на:

- Попречни систем (а) 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 9. Мост као решеткаст просторни систем [20]

Постоје и просторне конструкције. Код просторних конструкција вертикалне силе не припадају само вертикалној равни, те се не могу једноставно разложити. Пример такве конструкције је конструкција крана. Најпростије конструкције су греде и стубови. Склапањем најпростијих елемената у целину настају најсложеније конструкције. Стварање сложених конструкција се може извести тако да сваки елемент ради за себе самостално, али су неке направљене са међусобно зависним елементима. Такви системи настају помоћу зглобних и крутих веза и називамо их склопљеним системима. Најпростији облик скопљених система јесте решетка, која је састављена од штапова који су састављени на својим крајевима. Могу бити самосталне, а могу бити и део неке конструкције [5].

2.1. Решеткасти носачи

Решеткасти носачи су настали са жељом конструктора да се смањи утрошак материјала, а постигне довољна носивост конструкције. Решеткасти носачи се састоје 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 сила које делују у штаповима решетки. Углавном се примењују за пријем тешких оптерећења и премоставање већих распона, јер у том случају су пуни носачи тешки и њихова употреба није рационална. Израда зглобова без трења није могућа и врло ретко се раде у виду зглобова, углавном су то чворни лимови, закивци, заварени спојеви. При великој дужини штапа, а релативно малој ширини попречног пресека, допунски напони проузроковани од круте везе у штаповима су релативно мали у односу на напоне проузроковане аксијалним силама. Допунски напони прорачунавају се углавном у области решеткастих мостова [7].

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

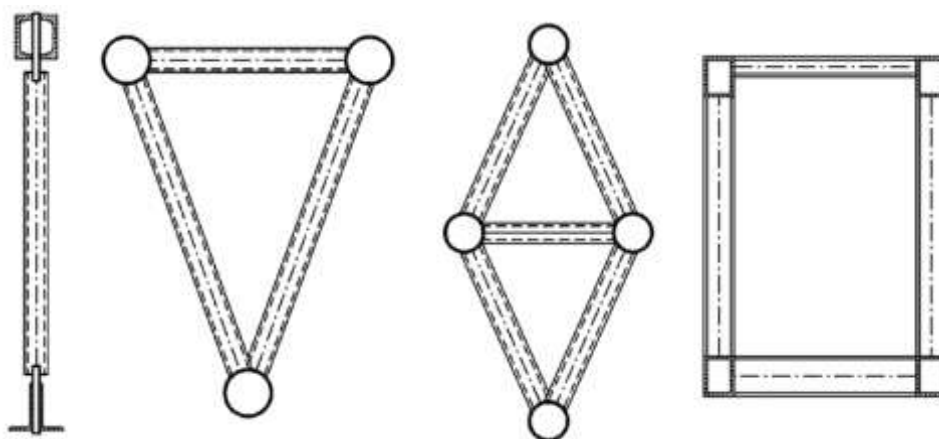
Решеткасти носачи треба да испуњавају услов крутости, односно да нема слободног померања међу штаповима. Решетки које немају крутост, тј. које су променљивог облика, нису корисне као саставни делови конструкције.

2.2. Подела решеткастих носача

Подела решеткастих носача може се извршити на више начина [7]:

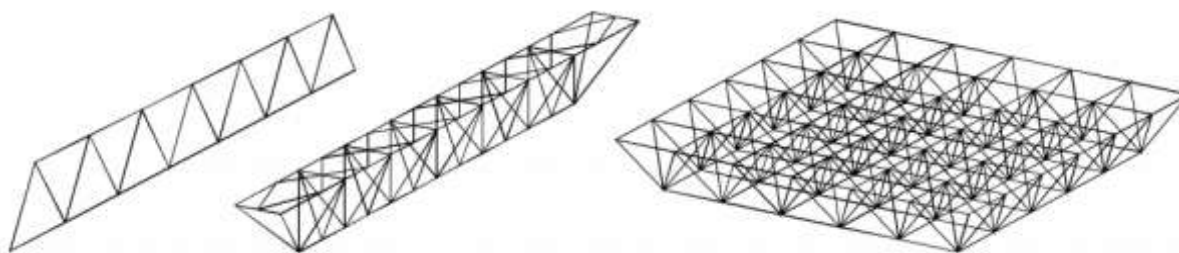
- према броју појасева;
- према просторном положају;
- према интензитету напрезања;
- према начину обликовања.

Решеткасти носачи се према броју појасева могу поделити на двопојасне и вишепојасне. Двопојасни носачи састоје се из горњег и доњег појаса који су међусобно повезани штаповима испуне. Вишепојасни носачи имају више од два појаса. Највише се примењују тропојасни решеткасти носачи (у зградарству) и четворопојасни (за мостоградњу). Тропојасни имају троугаони попречни пресек, као што је приказано на слици 10. Четворопојасни решеткасти носачи су углавном квадратног, ромбичног или трапезастог попречног пресека, као што је приказано на слици 10.



Слика 10. Подела решеткастих носача према броју појасева [20]

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 11. Према томе, равански решеткасти носачи имају два појаса, те се могу сврстати у двопојасне носаче. Просторни решеткасти носачи су носачи код којих линије штапова не леже у истој равни, већ формирају просторну структуру:



Слика 11. Подела решеткастих носача према просторном положају [20]

Према интензитету напрезања носачи се деле се на лаке, средње и тешке.

Лаки решеткасти носачи се углавном користе у зградарству, где су оптерећења умерена. Израђују се углавном од ваљаних U и T профила и некад од I профила, или хладно обликованих профила отвореног и затвореног попречног пресека.

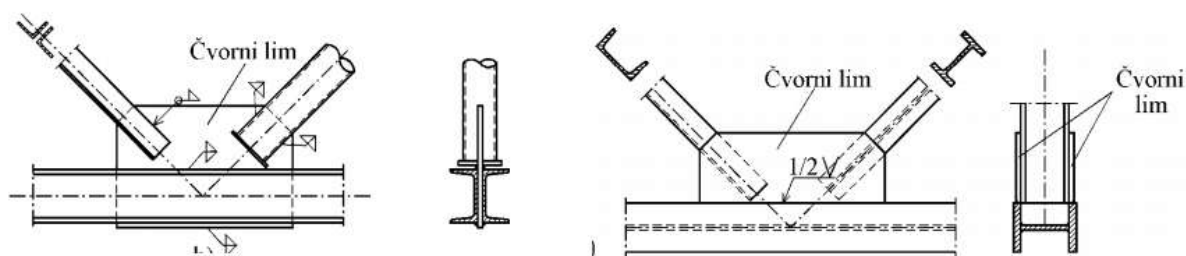
Средње тешки носачи се примењују за веће распоне и већа и значајнија оптерећења, углавном као кровни и подни носачи. За штапове оваквих решеткастих носача користе се претежно тешки ваљани профили (U, I, IPE, HEA, HEB).

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 100 m. Штапови ових носача се повезују заваривањем, и то са сандучастим, шеширастим или I попречним пресецима [7].

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 се веза штапова остварује завртњима или заваривањем. 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. Решеткасти носачи са чворним лимом код којих су штапови испуне за појасне штапове везани помоћу посебних додатних лимова, називају су чворни лимови.

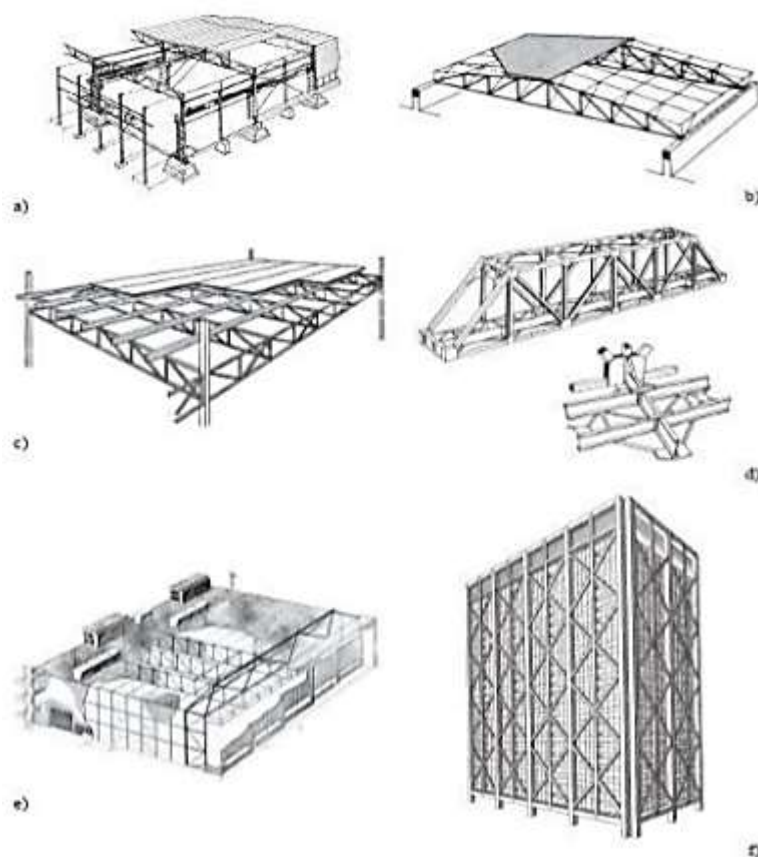
Према броју чворних лимова, разликујемо једнозидне чворне носаче који се користе за лаке и средње носаче, и двозидне решеткасте носаче који имају два лима, приказано на слици 12.



Слика 12. Подела решеткастих носача према начину обликовања чворног лима [20]

2.3 Примена решеткастих носача

Решеткасти носачи имају широку примену како у зградарству тако и у мостоградњи. У зградарству се користе као кровни носачи, подвлаке, подни носачи, крански носачи у индустријским халама итд. Кровни носачи имају најширу примену. Захваљујући великом и разноврсном избору профила, комбиновањем и обликовањем се могу добити решеткасти носачи атрактивног изгледа, а могу бити и 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 од ветра, као и просторна стабилност. На слици 13 приказани су различити облици решеткастих носача у зависности од њихове примене.



Слика 13. Примери примене решеткастих носача [20]

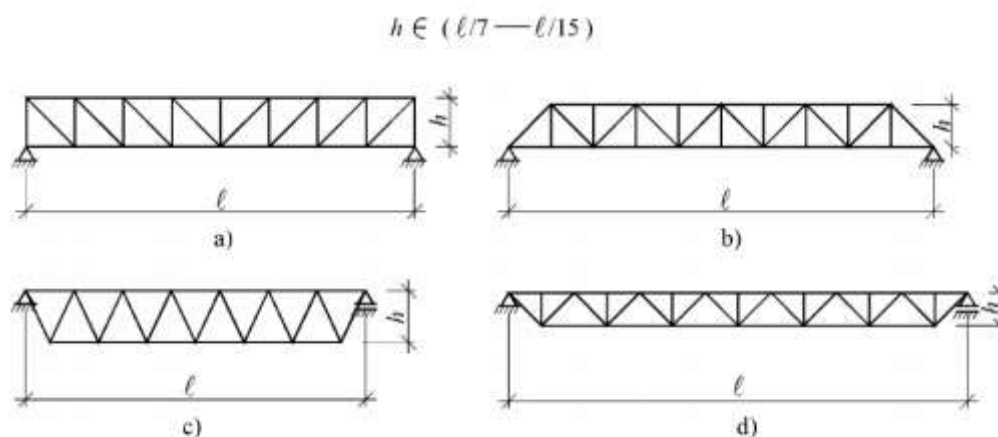
2.4 Обликовање решетки

За обликовање и изградњу решетки најчешће се користе греде, континуални носачи и лучни носачи. Најслабије се користе Герберови носачи. 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 и штапове испуне.

2.5 Решеткасти носачи са паралелним појасевима

Овакви решеткасти носачи се најчешће користе у високоградњи, као рожњаче, подни носачи и крански носачи, и у мостоградњи као главни носачи или као спрегови. Ови носачи су правоугаоног или трапезног облика, као што је приказано на слици 14. Висина ових носача зависи од тога да ли је реч о тешким или лаким носачима, те се према томе висина за лаке носаче креће у опсегу од $l/10$ до $l/15$, а за тешке носаче од $l/7$ до $l/9$ [5]. Ове вредности односе се на просте греде, а за континуалне носаче као на пример, мостовски носачи који трпе тешка оптерећења, усваја се нешто мања висина и креће се

од $l/9$ до $l/12$, где је l распон решетке. Распон ових носача креће се од неколико десетина до неколико стотина метара.

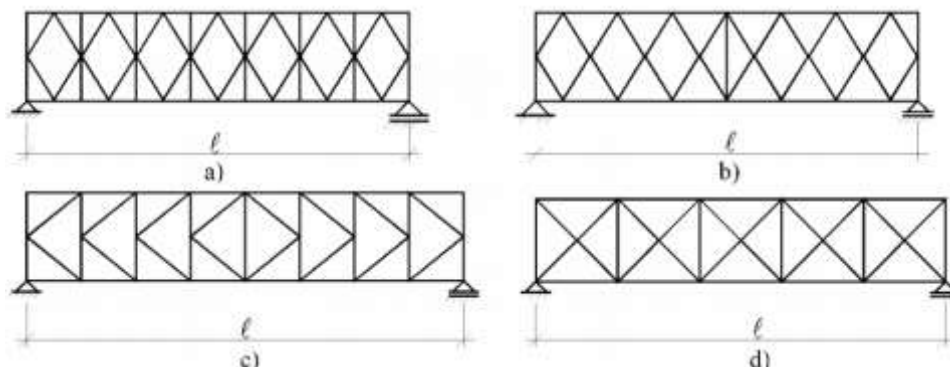


Слика 14. Решеткасти носачи са паралелним појасевима [20]

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 утрошак материјала.

2.6 Решеткаста укрућења или спрегови

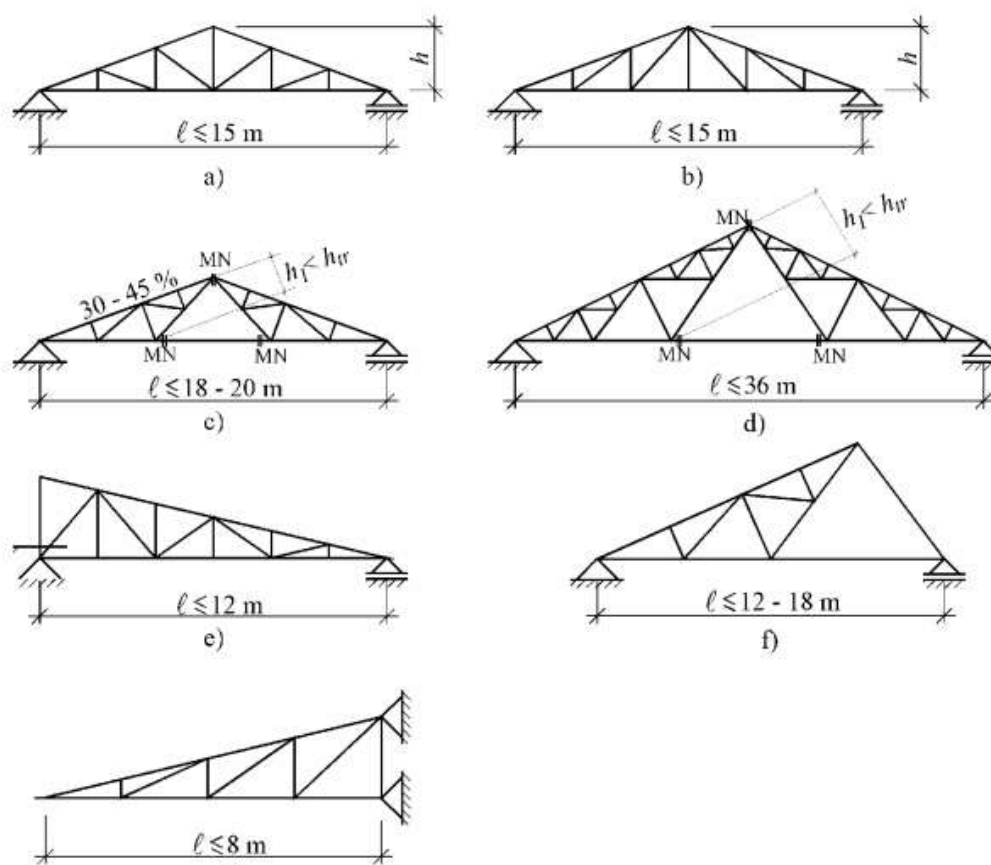
Ови носачи се израђују углавном са паралелним појасевима. Као спрегови најчешће се користе носачи са ромбичном испуном, на пример код пријема ветра код мостовских носача. Овакав облик је повољан јер обезбеђује придржавање притиснутих штапова у средини распона. Спрегови са К-испуном имају кратке штапове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



Слика 15. Решеткаста укрућења или спрегови [20]

2.7 Троугаони решеткасти носачи

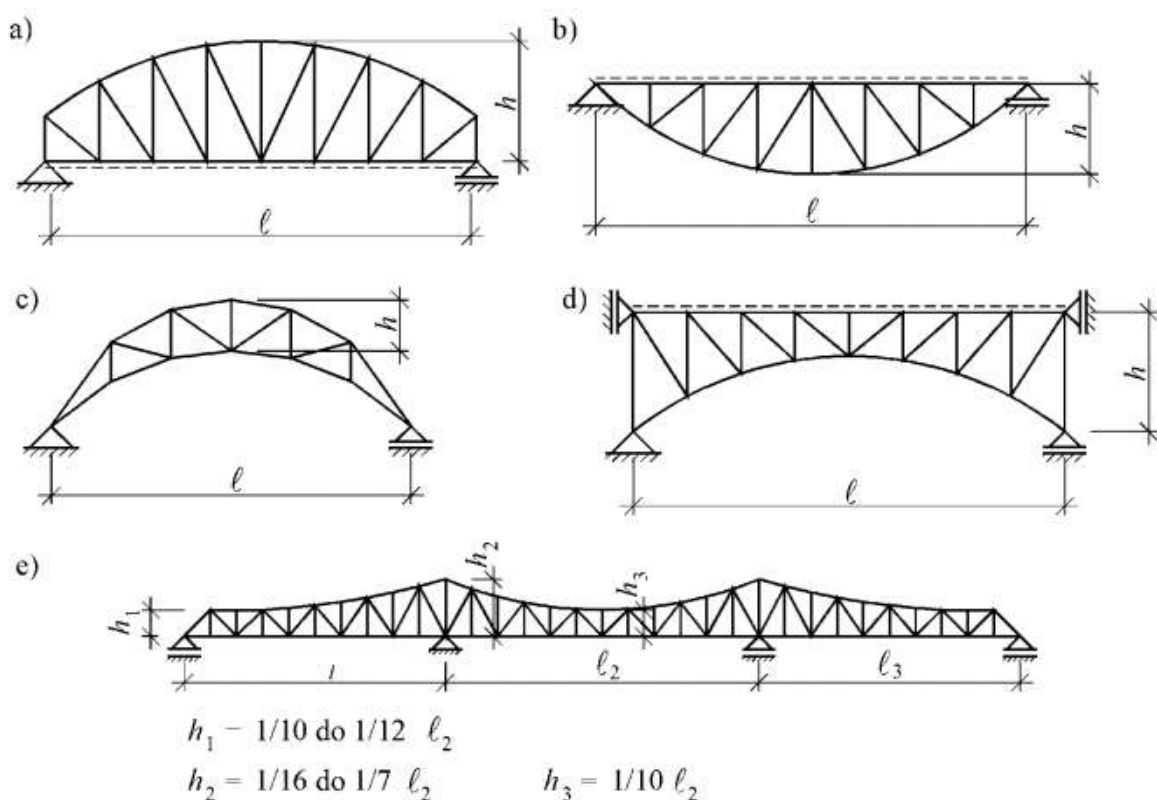
Ови носачи су најзаступљенији, користе се кровни носачи и зградарству. Срећу се код стрмих кровова са нагибом до 45%. Висина ових носача је већа у односу на носаче са паралелним појасевима и износи од $l/6$ до $l/4$. Велика висина у средини решетке неопходна је како би се избегли оштри углови између штапова ($< 30^\circ$). Распон ових носача креће се до 15 m (слика 16a), али се може и повећати на 30-36 m (слика 16d) уколико се штапови испуне обликују тако да се могу поделити на монтажне секције. Несиметрични решеткасти носачи користе се као кровни носачи код индустријских објеката или као надстрешнице конзолног статичког система (слика 16 f и g). Исто као и код решетастих носача са паралелним појасевима, дијагонале су затегнуте ако су 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 испуне са робуснијим попречним пресеком. Овакви носачи се не препоручују тамо где постоји континуално оптерећење дуж решетке.



Слика 16. Троугаони решеткасти носач [20]

2.8 Параболични решеткасти носачи

Ови решеткасти носачи пројектују се тако да њихови чворови, то јест чворови бар једног појаса образују 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 17 а и б, али постоје и решења са два параболична појаса, као на слици 17 с. Овакви решеткасти носачи су повољни за примену у мостogradњи јер се њихов облик прилагоди дијаграму момента савијања. Примењују се у мостogradњи као равни мостовски носачи са транспортом на горњем или доњем појасу. Најчешће се изводе као просте греде, констинуални носачи и укљештене греде.



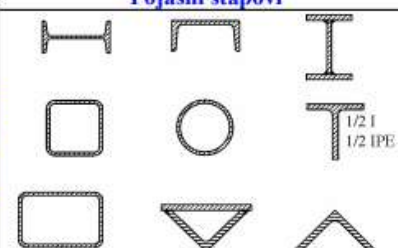
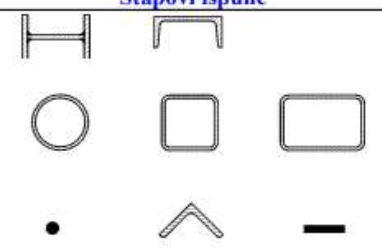
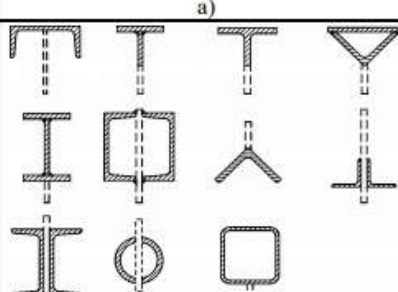
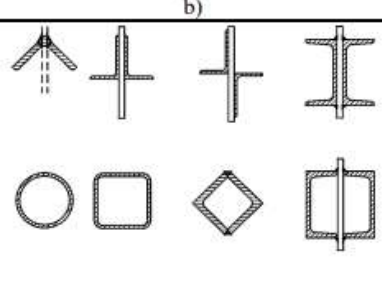
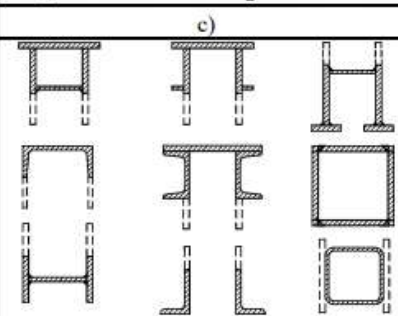
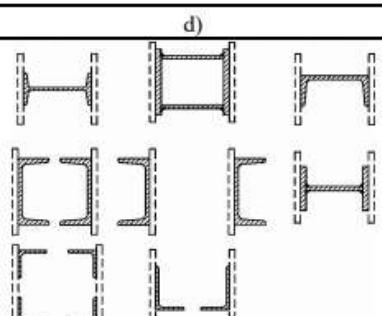
Слика 17. Параболични решеткасти носачи [20]

2.9 Елементи и попречни пресеци решеткастих носача

За формирање решеткастих носача користе се стандардни ваљани профили. У зависности од интензитета напрезања, 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 1. 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 мостogradњи 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 1. Облици попречног пресека решеткастог носача [20]

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

Средином прошлог века започета је масовнија израда шупљих профила квадратног и кружног попречног пресека. У периоду између два светска рата, највећи број челичних решеткастих конструкција био је изведен са монтажним везама елемената, закивцима 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. Материјал за изградњу моста

Последњих неколико векова велику примену у мостоградњи имају метали. Они су омогућили остваривање највећих домета у погледу савладаних распона, нарочито код висећих мостова и мостова са кабловима. Метали поседују повољнија својства од осталих материјала која се првенствено огледају кроз мањи удео сопствене тежине и већу чврстоћу. Почетак примене метала се везује за примену ливеног гвожђа, да би се касније увео у употребу челик и алуминијумске легуре. Највећи остварени распони савладани су управо челиком [2].

Механичке карактеристике челика су најзначајније од свих особина за прорачун конструкција израђених од челика. Најзначанија од свих карактеристика јесте граница развлачења (f_y) која представља граничну вредност за димензионисање. Такође су значајне и чврстоћа на затезање (f_u), процентуално издужење (δ), жилавост (φ), модул еластичности (E), модул клизања (G) и тангентни модул (E_t). Модул еластичности – Јангов модул означава крутост челичног материјала у области еластичности у којој остају напрезања највећег броја носећих конструкција и изражава зависност између нормалног напона и дилатације. Издужење и контракција материјала су показатељи деформабилности самог материјала током његове обраде и при достизању напона у области пластичности. Модул клизања је константа материјала којом се одређује зависност између смичућег напона и промене угла. Главне механичке карактеристике конструкционих челика се утврђују испитивањем на затезање на стандардној епрувети.

Вредности основних карактеристика које су заједничке за све челике су [7]:

- | | |
|---|---|
| - запреминска маса: | $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$, |
| - модул еластичности: | $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, |
| - модул клизања: | $G = E/2(1+\nu) = 8100 \text{ MPa}$, |
| - Поасонов коефицијент: | $\nu = 0,3$, |
| - коефицијент линеарног термичког ширења: | $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. |

Савремени челик састоји се од гвожђа са малим примесама угљеника, мангана, силицијума, хрома и трагова других легираних елемената који су додати ради побољшања физичких својстава, док се чврстоћа челика повећава са већим садржајем угљеника, што утиче на технолошка својства, односно на дуктилност и заварљивост. У челику се такође налазе и штетни елементи попут фосфора и сумпора, који су присутни у руди гвожђа. Уколико је њихов садржај до 0,05%, они могу повољно утицати на жилавост 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. Најзначајнији састојак челика који уједно има и највећи утицај на физичко-хемијска својства челика јесте угљеник, чији садржај углавном износи мање од 1%. Конструкцијски челик има садржај угљеника мањи 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 [7].

Данас је у употреби велики број челика, као што су: нелегирани, нискоугљенични, ситнозрнасти челици, челици са повећаном отпорношћу на дејство атмосферске корозије (CORTEN), челици високе чврстоће (Histar челици), итд [2].

За челичне конструкције у изградњи мостова најчешће се користе лимови дебљине 8 mm и више, вруће ваљани профили и хладно обликовани профили. Захтева се да челик буде умирен, заварљив, без појаве двојласности и ламинарног цепања, као и са гарантованом отпорношћу на жилавост.

Најважније предности челика су:

- велика прилагодљивост формирању најразличитијих типова и врста носивих склопова;
- релативно једноставна уградња;
- релативно мала сопствена тежина;
- велика носивост.

Челик је као материјал у изразитој предности за велике распоне мостова имајући у виду повољан однос сопствене тежине и корисног оптерећења. Уколико се узму у обзир и временски неповољни утицаји у бетонским конструкцијама, јасно је да ће се и у будућности челик употребљавати за изградњу мостова великих распона.

За челичне конструкције у грађевинарству се најчешће користе конструкциони челици (нелегирани, нискоугљенични челици, са ознаком S, по новом систему означавања). Везе старих и нових ознака су дате у табели 1.

Табела 2. Веза старих и нових ознака за челик [6]

Стари систем означавања	Нови систем означавања
Č0130	S 185
Č0370	S 235 JR
Č0371	S 235 JRG1
Č0361	S 235 JRG2
Č0362	S 235 J0
Č0363	S 235 J2G3
Č0451	S 275 JR
Č0452	S 275 J0
Č0453	S 275 J2G3
Č0561	S 355 JR
Č0562	S 355 J0
Č0563	S 355 J2G3

Технички услови испоруке производа су обрађени у стандарду JUS EN 10025-„Топловаљани производи од нелегираних конструкционих челика – Технички захтеви за испоруку“. Овим стандардом се дефинишу: врста челика (механичке карактеристике и хемијски састав), квалитет челика (жилавост на крти лом-енергија лома на одговарајућој температури), начин дезоксидације и стање испоруке.

Основни параметри који утичу на избор квалитета конструкционог челика као основног материјала за спрегнуте мостове су:

- отпорност на крти лом и замор материјала,
- отпорност на ламерално цепање (двопласност).

На избор конструкционог челика утиче:

- врста и значај конструкције,
- интензитет и природа оптерећења,
- обликовање конструкције и њених детаља,
- минималне радне температуре и
- економски показатељи.

Техничка регулатива за избор квалитета основног челичног материјала - JUS U.E7.010/1988: „Избор основног челичног материјала“ у колизији са новоусвојеним стандардом за означавање челика, Еврокод 3, део 1-10: “Избор основног материјала са становишта отпорности на крти лом и ламерално цепање“ (још увек није усвојена дефинитивна верзија) [6].

3.1 Фактори од утицаја на избор челика као основног материјала

Адекватан избор челика је један од најважнијих параметара од којих зависи сигурност и функционалност, али и економичност и естетика носећих конструкција и објеката у целини. Правилан избор челика је најпре од значаја за заварене конструкције изложене статичком, а поготову динамичком оптерећењу. При избору челика потребно је водити рачуна о свим утицајним факторима. Узроци досадашњих незгода и хаварија на челичним конструкцијама углавном се везују за неадекватан избор челичног материјала, опште концепције, начина израде и условима коришћења. Правилан одабир челика утиче на смањење ризика од хаварије и на техно-економску оптимизацију носећих конструкција.

Најважнији утицајни фактори при одабиру челика су: радна температура, микролокација, услови коришћења, врста напрезања, особине челика, дебљина материјала, концепција и обликовање конструкције, услови изградње и значај делова конструкције.

Један од најзначајнијих утицаја на оцену ризика и последица евентуалног лома конструкције зависи од конструкције или њених делова.

Стога се разликују:

- конструкције или делови конструкције од чијих функционалних способности зависи стабилност односно употребљивост читаве конструкције, и
- конструкције или делови конструкције чији лом узрокује локално оштећење или смањење употребљивости, али не доводи у питање стабилност или употребљивост носеће конструкције или њених важних делова [7].

3.2 Избор основног материјала

Конструкциони челици за општу употребу су нелегирани угљенични челици нормалне чврстоће. Њихов хемијски састав, механичке и технолошке особине прописане су националним СРПС Ц.Б.500 стандардом. Овим стандардом утврђују се технички услови за израду жица, шипкастог материјала, пласнатог челика, лимова, профила, округлих, квадратних шупљих профила и осталих производа који се испоручују у вруће обликованом или нормализованом стању. Односи се и на израду заварених конструкција, спајање завртњима и закивцима у мостоградњи, високоградњи, нискоградњи и хидроградњи. Овим стандардом се прописује поступак избора челика за заварене конструкције код којих адекватан избор, као што је претходно наведено, има одлучујући утицај на сигурност конструкције. У табели 3 је дат преглед механичких особина конструкционих челика [7].

Табела 3. Механичке и технолошке карактеристике конструкционих челика [7]

Vrsta čelika	$f_y^{(1)}$			$f_y^{(2)}$							Položaj uzorka 3)	δ									
	za debljinu proizvoda u [mm]			za debljinu proizvoda u [mm]								$\ell_a=80 \text{ mm}, \ell_a=5d_a$ 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 580	do 540		275	265	255	245	235													
Č0453																					
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 680	do 630		355	345	335	325	315													
Č0563																					
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			

4. Методе прорачуна челичних конструкција

Најважнији критеријум који је неопходно задовољити при пројектовању јесте критеријум сигурности. Конструкција мора бити прорачуната тако да са одговарајућим степеном сигурности прихвати сва очекивана оптерећења која ће се јавити током њеног животног века, односно у фази монтаже и за време експлоатације. Уколико критеријум сигурности из било којих разлога није задовољен, долази до лома дела или читаве конструкције, односно до губитка стабилности конструкције, што за последицу има велике материјалне штете, а неретко и људске жртве.

На трајност објекта утичу избор и квалитет уграђених материјала, али и квалитет извођачких радова и конструкцијско обликовање детаља. Правилним одабиром облика се може знатно повећати трајност конструкције, нарочито код инжењерских објеката (нпр. мостови, стубови далековода, димњаци, силоси и сл.), који су директно изложени деловању атмосферских утицаја. На трајност металних конструкција повољно утиче примена одговарајуће антикорозионе и противпожарне заштите, као и редовно и периодично одржавање.

4.1 Метода допуштених напона

Експериментима је показано да је челик до достизања границе развалчења идеално еластичан материјал који се понаша сагласно Хуковом закону, те је зато у прорачуну уз ту претпоставку усвојен и став да напон на граници развлачења одређује почетак лома конструкције. Директна последица усвојених претпоставки је настанак методе допуштених напона. Ова метода је једна од најстаријих метода прорачуна челичних конструкција.

Метода допуштених напона се заснива на услову да услед спољашњег оптерећења, ни у једном делу конструкције, максимални нормални (σ_{max}) и смичући напон (τ_{max}) не смеју бити већи од допуштених (σ_{dop} и τ_{dop}), односно:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{dop} = f_y / \vartheta$$
$$\tau_{max} \leq \tau_{dop} = (f_y / \sqrt{3}) / \vartheta, \text{ где су:}$$

f_y – напон на граници развлачења и

ϑ – коефицијент сигурности, чија је вредност обавезно већа од 1.

На овај начин је конструкција обезбеђена од лома, а еластично понашање њених елемената је осигурано за све време њеног трајања. Притом, коефицијент сигурности обухвата све неправилности у вези процене оптерећења, карактеристика материјала, претпостављене и стварне геометрије елемената конструкције, као и одступања стварних утицаја у конструкцији од рачунских услед неадекватног статичког модела или методе анализе.

Променљива оптерећења су углавном независна и променљива кроз време (снег, ветар, сеизмика, температурни утицаји,...) и могуће је њихово истовремено дејство. Метода допуштених напона не допушта никакву редукцију ових оптерећења при истовременом деловању, којом би се на изврстан начин узела у обзир смањена вероватноћа истовременог деловања више различитих променљивих оптерећења. Дакле, сва

оптерећења се при комбиновању, узимају са пуним износом, али се за различите комбинације прописује различит коефицијент сигурности. Законском техничком регулативом је дефинисано три случаја оптерећења и њима одговарајући степени сигурности, приказани у табели 3.

Табела 4. Вредности степена сигурности за различите случајеве оптерећења [7]

Случај оптерећења	Коефицијент сигурности
1 I случај оптерећења (основно)	$\gamma^I = 1,50$
2 II случај оптерећења (основно+допусно)	$\gamma^{II} = 1,33$
3 III случај оптерећења (основно+допусно+изузетно)	$\gamma^{III} = 1,20$

Први случај оптерећења обухвата комбинације основних оптерећења која се најчешће јављају током експлоатационог века конструкције, па је самим тим и коефицијент сигурности за овај случај оптерећења највиши. У ова оптерећења сврставају се сопствена тежина, корисно оптерећење, снег, итд.

У други случај оптерећења спадају комбинације оптерећења које поред основних обухватају и допунска оптерећења од ветра, бочних удара код кратких кранских носача и железничких мостова, силе кочења, температурних утицаја, итд.

Под трећим случајем оптерећења се подразумевају комбинације основних, допунских и изузетних оптерећења попут сеизмике, силе удара возила, различитог слегања ослонаца итд [7].

4.2 Метода граничних стања

Метода граничних стања је поједностављена пробалистичка метода прорачуна заснована на примени теорије вероватноће, по којој се сви параметри који утичу на прорачун уводе преко њихових стварних кривих расподеле, те се вишеструком интеграцијом проверава да ли је постигнут захтевани степен сигурности. Поједностављење ове методе се постиже усвајањем Гаусове криве расподеле вероватноће за све параметре у прорачуну и преко карактеристичних вредности.

Метода граничних стања која се примењује у савременим регулативама представља даље поједностављење поступка, на тај начин што се од свих параметара који утичу на прорачун, само својства материјала и оптерећења обрађују у статичком смислу. Ови параметри се уводе у прорачун преко њихових карактеристичних вредности. Карактеристична вредност одређује величину која са одређеним степеном вероватноће неће бити прекорачена у неповољнијем смислу. Остали фактори неизвесности се узимају у обзир трансформисањем карактеристичних вредности у прорачунске, помоћу парцијалних коефицијената сигурности.

Значи, уместо јединственог коефицијента сигурности прописаног у методи допуштених напона, метода граничних стања користи више парцијалних коефицијената сигурности који се односе на оптерећења и отпорност.

Основни захтев који пројектант мора испунити јесте да испројектује и конструише конструкцију која ће са прихватљивом сигурношћу остати погодна за употребу за коју је намењена, притом водећи рачуна о њеној трајности. Степен вероватноће којим се гарантује сигурност конструкције се усваја према тежини последица од могућих незгода, за сваки случај оптерећења. Гранично стање може наступити у било ком делу животног века конструкције и представља стање у коме или цела конструкције или само неки њен

део губи функцију за коју је пројектован. Зависно од начина престанка функционисања конструкције постоје различите врсте граничних стања.

Гранична стања се деле на две групе:

- гранична стања носивости и
- гранична стања употребљивости.

Гранично стање носивости обично наступа услед губитка статичке равнотеже или великих померања конструкције као крутог тела, лома конструкције или њеног дела услед прекорачења отпорности попречног пресека, губитка стабилности елемената или конструкције као целине услед ефеката другог реда, преласка система у потпуни или делимични механизам формирањем пластичних зглобова, прекомерне деформације и замора материјала. Приликом прорачуна челичних конструкција методом граничних стања носивости је потребно спровести анализу понашања конструкције у односу на сва критична гранична стања. Углавном се најпре димензионише конструкција у односу на гранично стање носивости, а потом проверава на гранично стање употребљивости.

Гранична стања се изражавају помоћу рачунског модела који обухвата различите параметре и променљиве:

- дејства (оптерећења, принудне деформације, температура,...),
- својства материјала и
- геометријски подаци.

У општем случају, било да се говори о граничном стању носивости или граничном стању употребљивости, услов за доказ граничног стања се може изразити следећом неједначином:

$S_d \leq R_d$, где је:

S_d - прорачунска вредност ефекта (унутрашње силе, напони, деформације, итд.) услед спољашњих дејстава, а

R_d - одговарајућа прорачунска отпорност.

Сигурност конструкције се дефинише са две основне величине, а то су оптерећење или утицаји који делују на конструкцију, S и отпорност саме конструкције, R .

Свака од ових величина јесте заправо статички скуп:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$$
$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}.$$

Спречавање настанка граничног стања употребљивости се углавном постиже ограничавањем деформација, померања или вибрација конструкције.

Прорачун се уствари може поделити на два дела. Први део обухвата одређивање ефеката у конструкцији услед меродавне комбинације дејстава. Други део обухвата прорачун отпорности конструкције односно њеног дела [7].

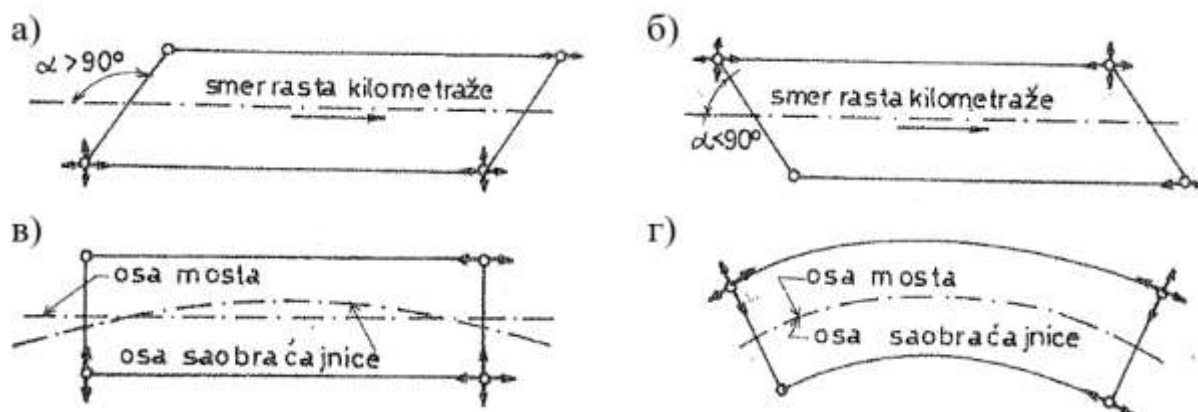
5. Основе за диспозиционо решење пешачког моста

Мост је сачињен од горњег и доњег строја. Горњи строј челичног моста представља челична конструкција која непосредно прихвата корисно оптерећење, заједно са осталим оптерећењима која делују на ту конструкцију. Горњи строј чине: коловоз, подужни и попречни коловозни носачи, главни носачи, пешачке стазе, носачи пешачких стаза и спрегови. Доњи строј преузима оптерећења са горњег строја и преноси их на тло. Доњи строј је сачињен од опораца (крајњи стубови) и међустубова (средњи стубови). Између горњег и доњег строја се налазе лежишта и конструкције прелазница. Ако је ослањање горњег строја само на крајевима моста, као што је то случај са мостом који је предмет овог рада, тада је *мост са једним отвором*. У случају када је потребно премостити већу, односно ширу препреку, горњи строј се ослања на међустубове, те је тада мост са два, три или више отвора. Општа диспозиција моста је цртеж који приказује горњи и доњи строј у погодној размери (обично 1:200, 1:100, 1:50).

Савремени носећи конструктивни системи непокретних челичних мостова могу бити: гредни, лучни, рамовски, са косим кабловима или висећи, у зависности од статичког система главних носача. Узимајући у обзир препреку коју је потребно премостити, оптерећење на мосту, саобраћај испод моста, монтажу, локацију моста, естетске захтеве и друго [2].

5.1 Положај моста у основи

Препоручује се, уколико је то могуће, прилагодити прилазне мостовске саобраћајнице тако да се препрека налази под правим углом и у правцу, пошто је за прав мост, по правилу, једноставније и економичније решење носеће конструкције. Када то није случај, раде се коси и закривљени мостови (слика 18).



Слика 18. Положај моста у равни: а) мост кос улево;
б) мост кос удесно;
в) прав мост са осом саобраћајнице у кривини;
г) крив мост [2]

5.2 Величина отвора

Величина и број отвора на мосту зависе од ширине препреке коју је потребно премостити, као што је већ поменуто. За мост који прелази преко путне саобраћајнице, отвор је одређен тиме да је испод моста обезбеђен захтевани слободни профил пута. Прорачунава се *мост са једним отвором*. Саобраћајницу чине четири коловозне траке и разделни појас. Распон моста износи 13,75 м.

5.3 Висина слободног профила моста

Висина слободног профила испод моста првенствено зависи од врсте препреке која треба да се премости. За друмски саобраћај испод моста прописана је слободна пролазна висина од 4,50 m, али је препорука да се рачуна са повећаном вредношћу од 4,70 m због могућих реконструкција асфалтних коловоза, односно додавањем нових слојева застора, а и неких других експлоатационих разлога.

Усвојена висина слободног профила испод моста износи 4,70 m.

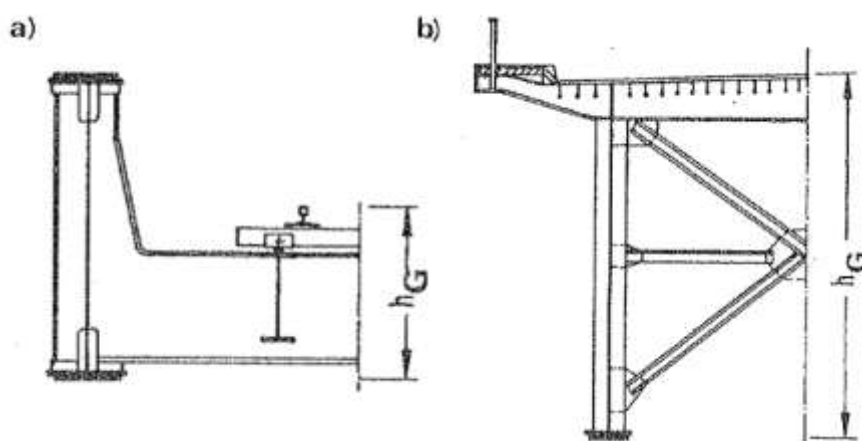
5.4 Ширина моста

Статичка ширина моста се дефинише као растојање између оса главних носача. Ширина моста зависи од: положаја коловоза у односу на главне носаче, слободног профила за пролаз саобраћајних средстава, броја колосека – односно саобраћајних трака (и ширина пешачких стаза), као и услова за обезбеђење стабилности моста против претурања. За пешачки мост се дефинише број редова пешака у зависности од могућег интензитета пешачког саобраћаја, с тим да је минимална ширина пешачких мостова (пасарела) 2,00 m.

5.5 Грађевинска и конструктивна висина

Грађевинска висина h_G представља висинско растојање од горње ивице шине (железнички мост), односно круне коловоза - нивелете (друмски мост), до доње ивице конструкције у посматраном пресеку моста (слика 19).

Конструктивна висина h_K представља висинско растојање од горње до доње ивице конструкције у посматраном пресеку моста. У неким литературама се конструктивна висина дефинише као висинско растојање од горње ивице кведера до горње ивице шине, односно круне коловоза.



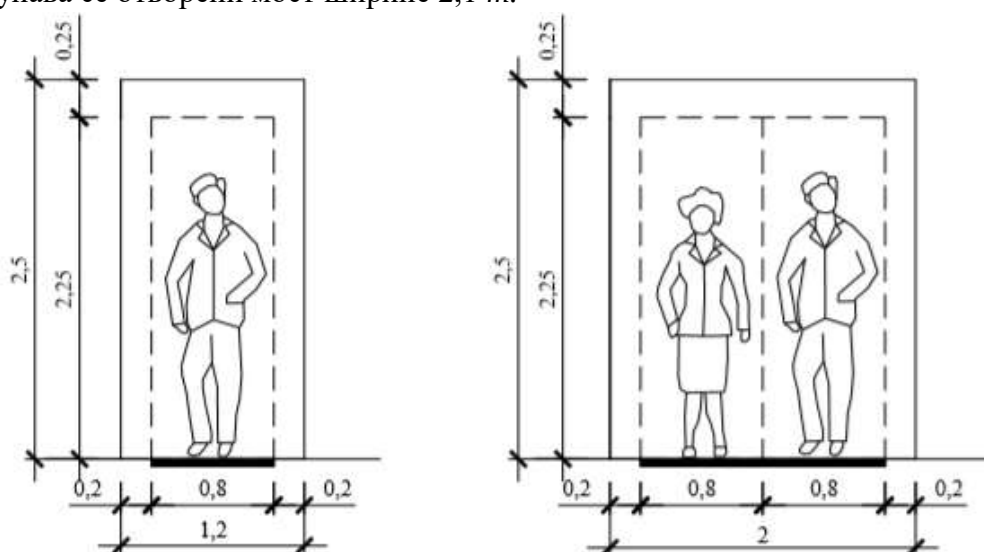
Слика 19. Одређивање грађевинске висине за: а) друмски мост, б) железнички мост [1]

5.6 Слободни профил моста. Отворени и затворени мост

Слободни профил моста представља слободни део поперечног пресека ограничен главним носачима и коловозом, који треба да обезбеди на мосту пролаз саобраћајних средстава, односно одвијање саобраћаја на мосту. У погледу слободних профила пешачких мостова предвиђена је висина од $2,50\text{ m}$, док је ширина за један ред пешака минимум $0,8\text{ m}$. За пешачки мост се дефинише број редова пешака у зависности од могућег интензитета пешачког саобраћаја, с тим да је минимална ширина пешачких мостова (пасарела) $2,00\text{ m}$.

Отворени мост се дефинише као мост који је отворен са горње стране, те стога висина слободног профила моста није ограничена мостовском конструкцијом. Затворени мост је затворен са горње стране, пошто је висина главних носача довољна да се постави горњи подужни спрег за ветар.

Прорачунава се отворени мост ширине $2,1\text{ m}$.



Слика 20. Саобраћајни и слободни профил пешачких стаза [5]

5.7 Нормални попречни профил и ширина моста

Нормални попречни профил (НПП) и ширина моста на путевима са две или више трака морају бити усаглашени са геометријским елементима и НПП путева и саобраћајним и слободним профилима мостова [6]. Ширину моста одређује четири коловозне траке, t_v ширине 3,00 м у складу са препорукама у зависности од брзине кретања моторних возила на саобраћајници (табела 5) и уски разделни појас ширине 0,75 м.

Табела 5. Ширина коловозних трака [6]

$v_{ri} [km/h]$	$t_v [m]$
$v_{ri} > 100$	3,75
$80 < v_{ri} \leq 100$	3,50
$60 < v_{ri} \leq 80$	3,25
$40 < v_{ri} \leq 60$	3,00
$v_{ri} \leq 40$	2,75

5.8 Челична лежишта

Није неопходно конструисати лежиште од само једног материјала. За израду челичних лежишта се бирају материјали према табели 6. Поред материјала наведених у табели могу се користити и челици бољег квалитета [1].

Табела 6. Челици за израду лежишта

Врста челика	Техничка ознака челика	JUS
Č 0371, Č 0363	ČN 24	C.B0.500
Č 0471, Č 0473	ČN 36	C.B0.500
ČL 0500		C.J3.011
Č 1430		C.B9.021

Челична лежишта се могу конструисати за израду ливењем или заваривањем, при чему се допушта комбиновање ова два начина израде. Додирне површине између лежишта морају бити обрађене. Степени обраде и толеранције димензија које нису одређени стандардном, дефинишу се пројектом. При прорачуну челичних лежишта се морају испитати:

- притисак на бетон у лежишној равни,
- притисак у додиру између делова лежишта,
- димензије горње лежишне плоче,
- димензије доње лежишне плоче и
- преношење хоризонталних сила.

Дозвољени напони су дати у табели 7. Уколико нису сви делови лежишта од истог материјала, при прорачуну напона по додиру узима се мања вредност од оне која важи за материјале који се додирују.

Табела 7. Дозвољени напони за прорачун челичних лежишта [N/mm^2]

Врста челика	Случај оптерећења	Дозвољени напони			
		Савијање	Чист притисак	Додир	
		затезања	притисак	по линији	у тачки
Ѓ 0371	I		160	720	815
Ѓ 0363	II		180	815	910
Ѓ 0471	I		240	1080	1185
Ѓ 0473	II		270	1185	1390
Ѓ L0500	I		180	800	90
	II		200	900	1000
Ѓ 1430	I		200	900	1000
	II		220	1000	1100

6. Услови монтаже

Сва правила за монтажу дата су у *Правилнику за техничке мере и услове за монтажу челичних конструкција* [10] 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.

Три облика монтаже су:

- монтажа на скели,
- слободна монтажа (монтажа конзолним поступком) и
- монтажа подужним или попречним превлачењем (померањем моста).

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

- 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).

Пројект за монтажу челичних конструкција мора садржати [10]:

- 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 пробној 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.

7. Заварени спојеви

7.1 Основе прорачуна

Еврокодом EN 1993-1-8 су дате методе прорачуна за везе изведене од челика квалитета S235, S275, S355 и S460 које су изложене дејству претежно статичког оптерећења.

Према општим претпоставкама неопходно је са све везе 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 8.

Табела 8. Парцијални коефицијенти сигурности за везе [11]

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

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

$$\gamma_{M2} = 1,2$$

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

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

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

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

$$\gamma_{M6,ser} = 1,0$$

$$\gamma_{M7} = 1,1$$

Носивости веза се пројектују на основу реалне претпоставке о расподели унутрашњих сила и момената. За одређивање распореда сила користе се следеће претпоставке [11]:

- унутрашње силе и моменти, који су претпостављени у анализи, у равнотежи су са силама и моментима које делују на везу,
- сваки елемент везе је способан да се одупре унутрашњим силама и моментима,
- деформације подразумеване овом расподелом не прелазе деформациони капацитет спојних средстава или шавова и спојених делова,
- претпостављени распоред унутрашњих сила мора бити реалан с обзиром на релативне крутости унутар веза,
- 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 коришћени модел који је у сагласности са вредновањем резултата испитивања (према EN 1990).

7.2 Врсте шавова

Следеће одредбе се односе на заварљиве конструкционе челике и материјале дебљине преко 4 mm. Према EN 1993-1-8: 2005 [11] одредбе се такође примењују код веза код којих су механичке карактеристике метала шавова (*weld metal*) компатибилне са својствима основног материјала (*parent metal*).

Додатни материјал (*welding consumables*) треба да буде у складу са релевантним стандардима. Карактеристике материјала електрода требају бити једнаке или боље од карактеристика материјала који се спаја.

Овим стандардом је обухваћен 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 се користе за спајање делова код којих је угао између површина које се спајају између 60° и 120° [18].

Могу се користити и за мање углове, али у том случају је потребно узети у обзир да је шав са сучеоним проваром. Постоје и испрекидани угаони шавови, који се не користе у корозионим условима окружења.

Растојање између угаоних шавова треба усвојити 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.

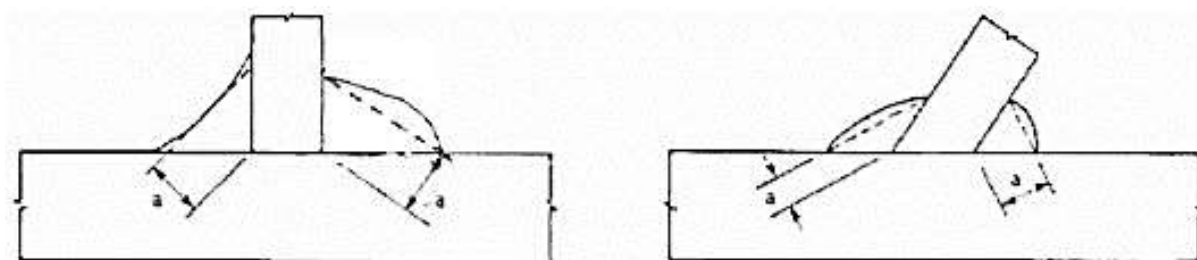
7.3 Прорачунска носивост угаоних шавова

7.3.1. Дужина шавова

Ефективна дужина угаоних шавова l треба бити једнака дужини на којој је шав пуне дебљине. Може се узети 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. Угаони шав чија је ефективна дужина мања од 30 mm или 6 пута мања од ефективне дебљине шавова се не треба пројектовати за пренос оптерећења [11].

7.3.2. Ефективна дебљина угаоних шавова (Effective throat thickness)

За ефективну дебљину шавова a узима се висина највећег троугла који је могуће уписати у тело шавова, а која је мерена управно на спољну страну троугла, као на слици 21. Ефективна дебљина угаоног шавова не би требала да буде мања од 3 mm .



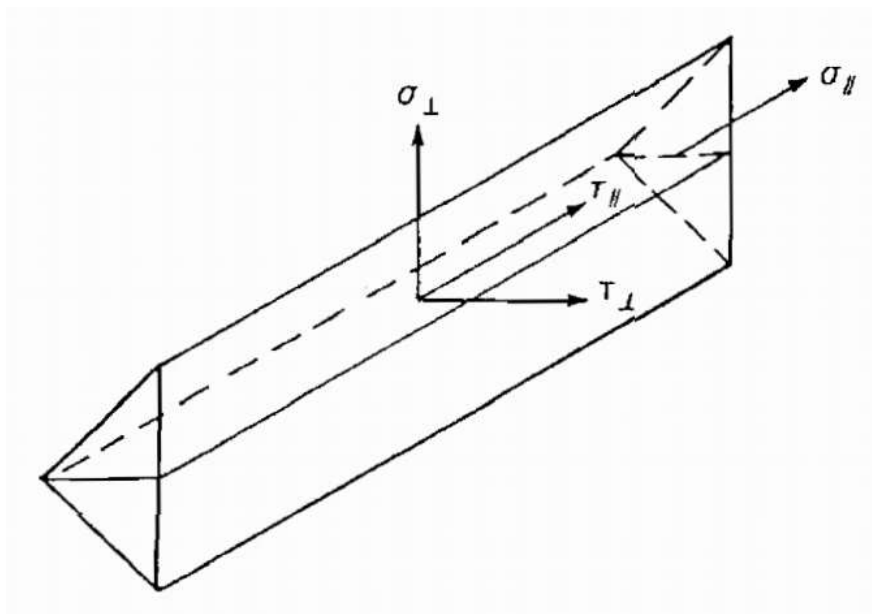
Слика 21. Дебљина угаоног шавова [11]

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:

$$A_W = \sum a l_{eff}$$

У меродавном пресеку шавова, претпоставља се да равномерна расподела напона, која доводи до нормалних и смичућих напона, као што је приказано на слици 22.



Слика 22. Напони у меродавном пресеку шавова [11]:

$\sigma_{\perp}$ — нормалан напон управан на меродавну равину шавова,

$\sigma_{\parallel}$ — нормалан напон паралелан са осом шавова,

$\tau_{\perp}$ — смичући напон управан на осу шавова,

$\tau_{\parallel}$ — смичући напон паралелан са осом шавова.

При провери прорачунске носивости шавова се не разматра нормалан напон паралелан са осом шавова, $\sigma_{\parallel}$.

Прорачунска носивост је задовољена уколико су испуњени следећи услови [11]:

$$\sigma_{\perp} + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)^{0.5} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$$
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

где је:

f_u - чврстоћа на затезање слабијег спојеног дела и

β_w - одговарајући корелациони фактор, према табели 9.

Табела 9. Корелациони фактор β_w за угаоне шавове [11]

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	S 275	0,85
S 275 N/NL	S 275 N/NL	S 275 N/NL	
S 355	S 355	S 355 H S 355	0,90
S 355 N/NL	S 355 N/NL	NH/NLH S 355	
S 355 W		MH/MLH	

7.3.4 Прорачунска носивост угаоних шавова (поједностављена метода)

Ова метода је алтернатива претходној методи, са главном претпоставком да је прорачунска носивост угаоног шавва задовољавајућа, уколико у свакој тачки дуж шавва резултанта свих сила по јединици дужине шавва задовољава следећи критеријум [11]:

$$F_{w,E_d} \leq F_{w,R_d}$$

где је:

F_{w,E_d} - прорачунска вредност силе у шаву по јединици дужине и

F_{w,R_d} - прорачунска носивост шавва по јединици дужине.

Независно од оријентације меродавне равни шавва у односу на силе које делују, прорачунска носивост шавва по јединици дужине F_{w,R_d} треба да се одреди као [11]:

$$F_{w,R_d} = f_{vw,d} \cdot a$$

Где је $f_{vw,d}$ прорачунска носивост шавва на смицање, а одређује се на следећи начин [11]:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

8. ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК

Предмет овог рада је већ постојећи пешачки мост на прометној саобраћајници у Крагујевцу (слика 23). Као што се може видети на слици, премошћава се саобраћајница са четири траке и разделним појасом



Слика 23. Реалан приказ моста

Статичка анализа, анализа напона и деформација, као и прорачун носивости заварених спојева на конструкцији урађени су на тродимензионалном моделу (слика 24). За моделирање је коришћен софтвер *Autodesk Inventor Proffesional 2020*.



Слика 24. 3Д приказ пешачког моста

8.1 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.

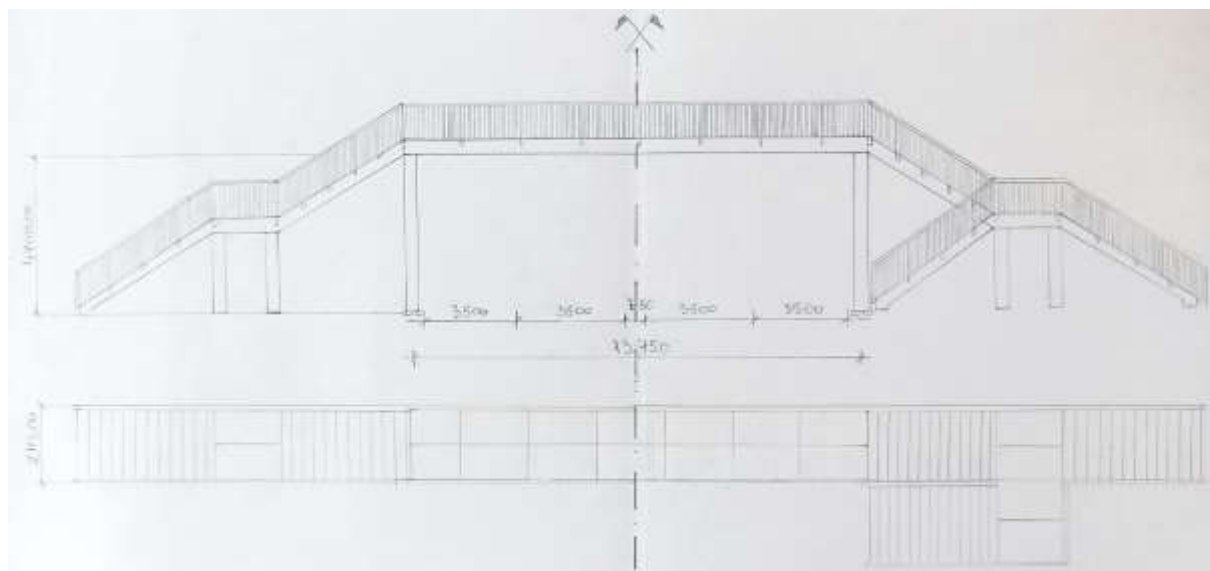
Табела 10. Карактеристике материјала [1]

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

8.2 Диспозиција пешачког моста

- Објекат се састоји од пешачког моста и степеништа.
- Главни носачи моста су топло ваљани I профили (подужни профили су ојачани попречним профилима).
- Распон моста износи 13,75 метара (мост се предвиђа на прометној саобраћајници са четири саобраћајне траке и разделни појасом).
- Висина моста је 5,6 метара уз поштовање препоруке за висину слободног профила испод моста (4,70 метара).
- Усвојена је минимална ширина пешачког моста (на предвиђеној локацији не постоји потреба за већом ширином обзиром да је мала густина пешака).

На слици 25 је приказ диспозиције израђен ручно.



Слика 25. Цртеж диспозиције

8.3 Опис конструктивних елемената

Сви штапови на конструкцији су стандардни ваљани профили. Приликом статичке анализе система, сваки елемент биће приказан са својим карактеристикама профила.

8.4 Лежишта

Мост се ослања на два непокретна лежишта. Лежишта су челична и сви њихови делови израђени су челика S235.

8.5 Услови монтаже

Делови конструкције се израђују у радионици и детаљно чисте 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 поступком заваривања на лицу места.

8.6 Антикорозивна заштита

Антикорозивна заштита се примењује са циљем да се спречи продирање кисеоника и влаге у структуру челика. Пропадање и лом конструктивних елемената најчешће настаје као последица 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.

8.7 Статичка анализа система

Статичком анализом обухваћен је прорачун решетке услед оптерећења од снега, ветра, сопствене тежине и саобраћајног оптерећења. Прорачун је спроведен у софтверу *Autodesk Inventor Professional 2020* у складу са нормама и правилима из Еврокода:

- Еврокод 1991-1-1 Дејства на конструкцију - Општа правила (*Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities*);
- Еврокод 1991-1-2 Деловање сопствене тежине (*Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight*);
- Еврокод 1991-1-3 Деловање снега на конструкцију (*Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads*);

- Еврокод 1991-1-4 Деловање ветра на конструкцију (*Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions*);
- Еврокод 1993-1-8 Прорачун веза (*Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints*).

8.8 Анализа оптерећења пешачког моста

Структурна анализа представља важан део пројектовања мостова обзиром да спољашња оптерећења могу довести до структурних оптерећења и изазвати напрезање, деформације и померања, што доводи до губитка чврстоће и носивости конструкције. Прописи који су 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 подељена на [12]:

- 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 пешака. Ова дејства могу имати значајан динамички утицај, па се у разматрање укључују удари, моменти, вибрације и слично.

8.8.1 Сопствено оптерећење - dead load

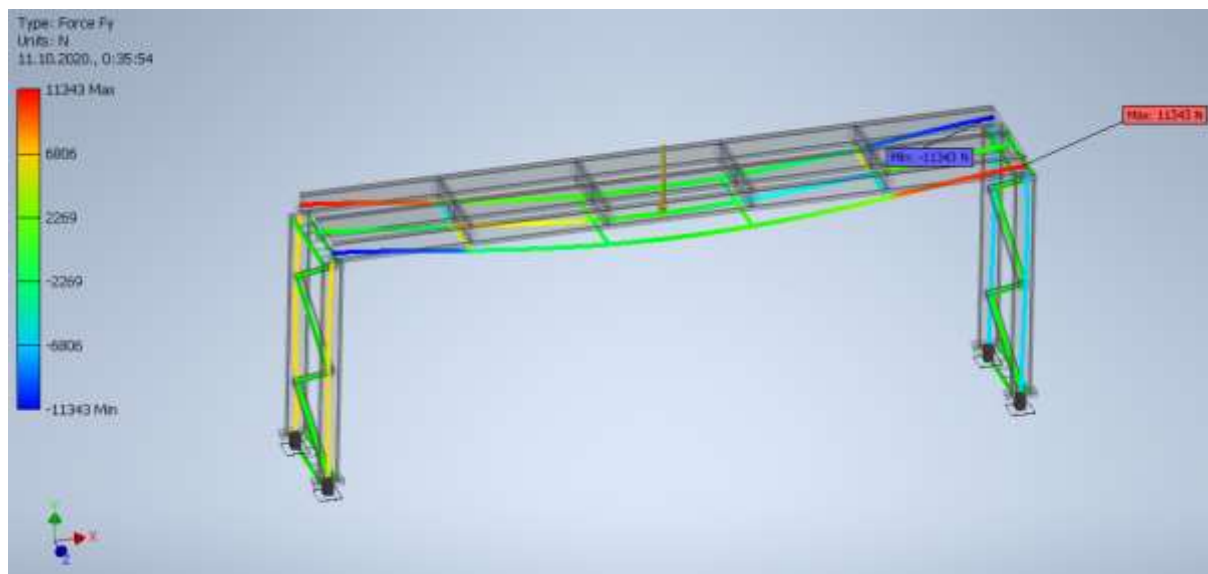
Како би се одредила сопствена тежина моста неопходно је знати специфину густину челика која износи 7850 kg/m^3 [1].

Табела 11. Сопствена тежина у kN

носачи газишта	14,5
плоче газишта	14,8
главни носачи	7,3
Укупно	36,6

Према општим одредбама Правилника о техничким мерама и условима за монтажу челичних конструкција [10] 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%.

Дакле, коначна вредност сопственог оптерећења моста износи 37,15 kN.



Слика 26. Модел моста оптерећеног сопственом тежином

8.8.2 Променљиво оптерећење

8.8.2.1 Оптерећење снегом

Оптерећење конструкције услед дејства снега одређује се према еврокоду [13]. Оптерећења снегом обухваћена овим стандардом класификују се као статичка променљива дејства.

Основ за прорачун је карактеристична вредност дејства снега на тло, s_k која је дата на картама у оквиру националног прилога за територију земље:

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

У случају изузетних снежних падавина се користи прорачунска вредност изузетног оптерећења од снега на тло, s_{Ad} :

$$s_{Ad} = C_{est} s_k \quad (7.8.2.1)$$

C_{est} је коефицијент за изузетна дејства снега и према препорукама EN је $C_{est} = 2$.

За сталне и пролазне прорачунске ситуације:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (7.8.2.2)$$

За инцидентне прорачунске ситуације услед снежних падавина великог интензитета:

$$s = \mu_i C_e C_t s_{Ad} \quad (7.8.2.3)$$

За инцидентне прорачунске ситуације услед снежних наноса односно нагомилавања снега:

$$S = \mu_i S_k \quad (7.8.2.4)$$

У општем случају термички коефицијент C_t има вредност 1.

Коефицијент изложености се усваја према топографији терена. За предметни мост, односно за виши грађевински објекат, усваја се $C_e = 0,8$.

Коефицијент облика за оптерећење снегом μ_i усваја се у зависности од угла нагиба прорачунске површине, према табели 11.

Табела 12. Карактеристичне вредности оптерећења снегом у $[kN/m^2]$ [14]

угао нагиба	без нагомилавања	са нагомилавањем
$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	0.8	0.8
$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0.8	$0,8 + 0,6(\alpha - 15)/30$
$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$0.8(60 - \alpha)/30$	$1,1(60 - \alpha)/30$

Када усвојене вредности заменимо у прорачунским једначинама, добија се:

$s = 0,64 \text{ kN/m}^2$ за случај сталне и пролазне ситуације,

$s = 0,8 \text{ kN/m}^2$ за прорачунске ситуације услед нагомилавања снега и

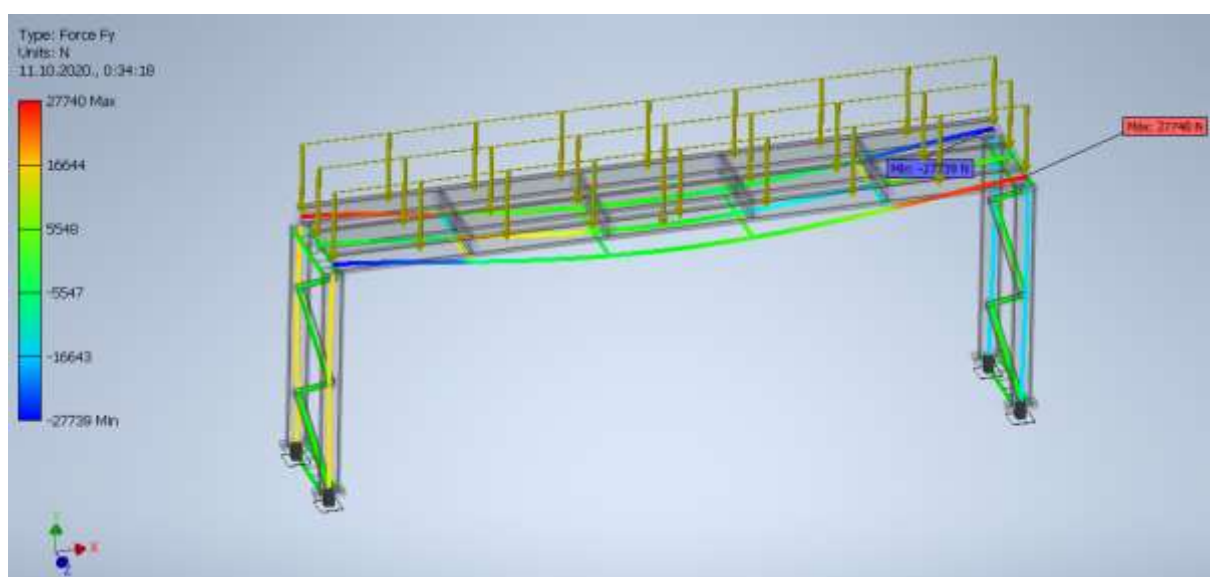
$s_{Ad} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ у најнеповољнијем случају.

Површина која може бити покривена снегом износи $32,851 \text{ m}^2$.

За најнеповољнији случај, када се целокупна количина снега задржи на мосту, оптерећење има вредност:

$$Q_s = 65,7 \text{ kN}$$

Оптерећење снегом се не узима у обзир при прорачуну у комбинацији са саобраћајним оптерећењем.



Слика 27. Модел моста под оптерећењем снега у најнеповољнијем случају

8.2.2 Оптерећење ветром у z правцу

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. Дејства ветра се класификују као променљива статичка дејства.

За коловозне конструкције чији распон није већи од 40 m, није потребно уводити динамички коефицијент и утицај. Сила ветра може се израчунати применом обрасца [5]:

$$F_{wz} = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_{ref,z} \quad (7.8.2.5)$$

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.

Препоручена основна брзина ветра је $v'_b = 25 m/s$ за оптерећен мост.

Коефицијент оптерећења од ветра се рачуна као:

$$C = c_e c_{f,z} \quad (7.8.2.6)$$

где су:

c_e – коефицијент изложености (за трећу категорију и висину од 5,15 метара износи 1,5),

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

Дакле, заменом вредности у изразу (7.8.2.6), добија се коефицијент оптерећења ветра:

$$C = 1,35$$

$A_{ref,z}$ је референтна површина је $5,5 m^2$.

Када се замене све вредности у изразу (7.8.2.5) за прорачун силе:

$$F_{wz} = 2454, N = 2,4 kN$$

8.8.2.3 Оптерећење ветром у у правцу

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

$$F_{wy} = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C A_{ref,y} \quad (7.8.2.7)$$

где су:

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

v_b – основна брзина ветра,

C – коефицијент оптерећења од ветра,

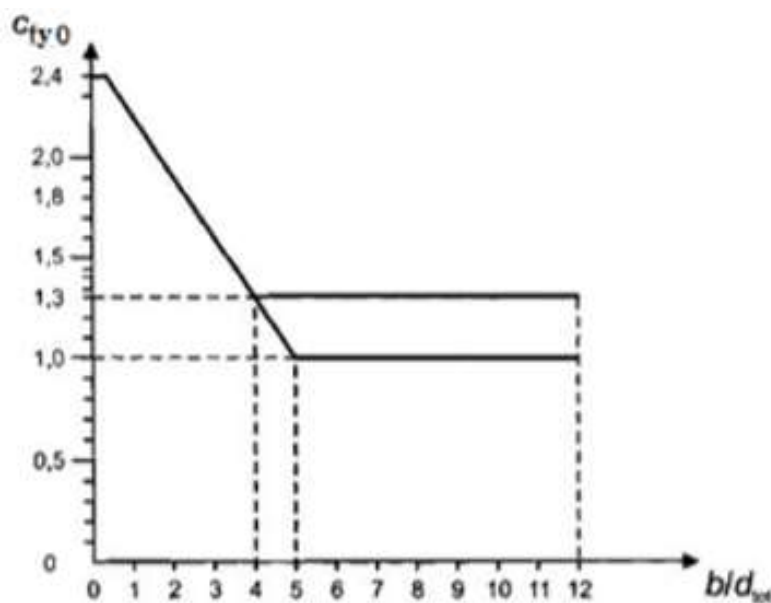
$A_{ref,y}$ – референтна површина.

Коефицијент оптерећења од ветра се рачуна као:

$$C = c_e c_{f,y} \quad (7.8.2.8)$$

c_e – коефицијент изложености (за трећу категорију и висину од 5,15 метара износи 1,5),

$c_{f,y}$ – коефицијент дејства ветра, узима се вредност 1,3 или алтернативно помоћу графика на слици 28.



Слика 28. Коефицијент дејства ветра [15]

Када се замене све вредности у изразу (7.8.2.8) добија се вредност:

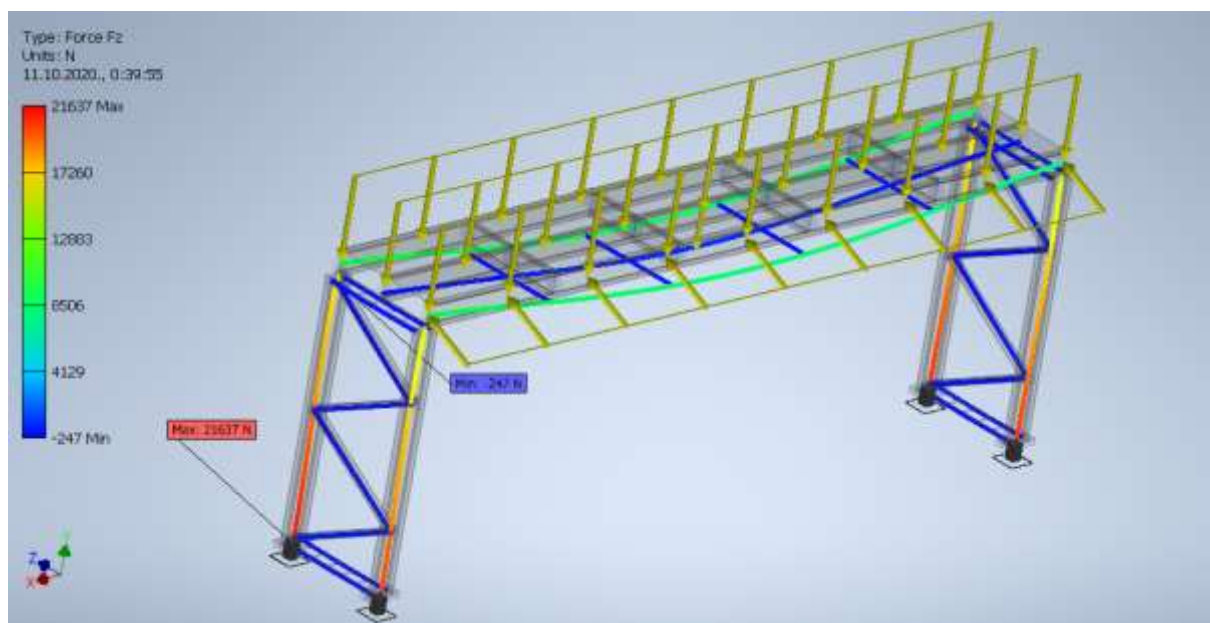
$$C = 1,95$$

Збир површина плоча, односно укупна површина газишта је референтна површина и износи:

$$A_{ref,y} = 29,92m^2$$

Вредност силе у правцу осе Y се добија када заменимо вредности у изразу (7.8.2.7):

$$F_{wz} = 19289,985N = 19,2 kN$$



Слика 29. Мост под оптерећењем сопствене тежине и утицаја ветра

8.8.3 Саобраћајно оптерећење

Пешачки мостови су мостови намењени искључиво саобраћају пешака. Корисно оптерећење за пешачке мостове се узима као равномерно расподељено оптерећење $p = 5,00 kN/m^2$. Уколико је распон носећих елемената моста већи од $10 m$, допуштена је редукција оптерећења на $p = 5,5 - 0,05l$, где је l распон моста у метрима. Не усваја се вредност оптерећења мања од $4,00 kN/m^2$ [16].

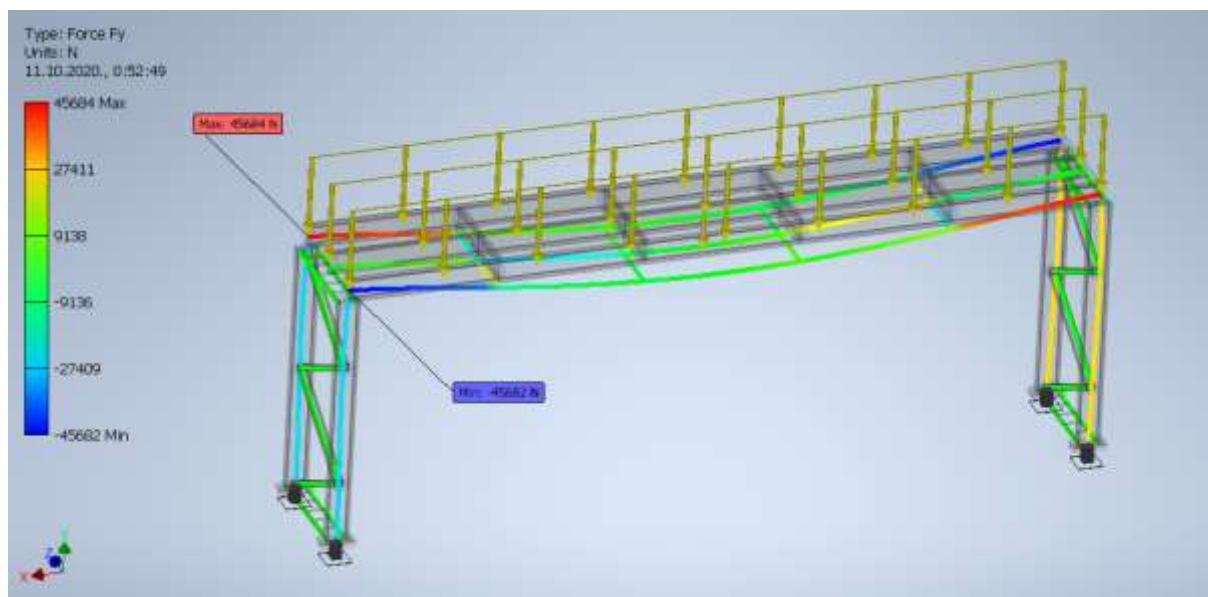
Дакле, усваја се карактеристична вредност вертикалног оптерећења:

$$p = 5,00 kN/m^2$$

Оптерећење на ограду пешачког моста се узима као мирно линијско оптерећење које делује у висини горње ивице ограде у вертикалном или хоризонталном смеру.

Величина оптерећења на ограду је:

$$p = 1,00 kN/m$$



Слика 30. Мост под корисним оптерећењем

Према класификацији пешачких мостова предметни мост се сврстава у четврту класу (пешачки мостови које се ретко користе и који обезбеђују пешацима прелазак преко прометне саобраћајнице). Према томе није потребна динамичка анализа [17].

9. Димензионасање носача пешачког моста

Карактеристике профила IPN 400 значајне за димензионисање:

Табела 13. Карактеристике профила

Симбол	Опис симбола	Вредност	Јединица
A_x	Попречни пресек	117.63	cm^2
A_y	Област смицања око у осе	70.40	cm^2
A_z	Област смицања око z осе	60.00	cm^2
I_y	Момент инерције око у осе	29159.50	cm^4
I_z	Момент инерције око z осе	1157.31	cm^4
I_x	Торзиона константа	175.00	cm^4
W_{ely}	Еластични модул пресека око у осе	1711.41	cm^3
W_{elz}	Еластични модул пресека око z осе	253.65	cm^3
t_w	Дебљина попречног пресека	14	mm
h	Висина попречног пресека	400	mm
b	Ширина попречног пресека	155	mm

Прорачун хоризонталних носача

Силе у носачима:

$$\begin{aligned}N_{Ed} &= 8,9 \text{ kN} \\N_{C,Rd} &= 2764,28 \text{ kN} \\N_{b,Rd} &= 855,10 \text{ kN}\end{aligned}$$

Прорачунска вредност силе притиска мора бити мања од 1:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{C,Rd}} = 0,00 < 1,00$$

Прорачунска вредност момента савијања мора бити мања од 1:

$$\frac{M_{zEd}}{M_{z,C,Rd}} = 0,01 < 1,00$$

Прорачунска вредност смицања мора бити мања од 1:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,C,Rd}} = 0,00 < 1,00$$

Провера стабилности:

$$L_{amy} = 29,85 < L_{am,max} = 210 \rightarrow \text{стабилан}$$

$$L_{amz} = 149,84 < L_{am,max} = 210 \rightarrow \text{стабилан}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{X_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,01 < 1,00$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{X_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{X_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,02 < 1,00$$

Прорачун вертикалних носача

Унутрашње снаге и капацитети:

$$\begin{aligned}M_{y,Ed} &= 0,0 \text{ kNm} \\M_{y,pl,Rd} &= 402,18 \text{ kNm} \\M_{y,c,Rd} &= 402,18 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{z,Ed} &= 0,0 \text{ kNm} \\M_{z,pl,Rd} &= 59,61 \text{ kNm} \\M_{z,C,Rd} &= 59,61 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{y,Ed} &= 0,0 \text{ kN} \\V_{y,T,Rd} &= 955,12 \text{ kN} \\V_{z,Ed} &= -0,0 \text{ kN} \\V_{z,T,Rd} &= 814,06 \text{ kN} \\T_{t,Ed} &= 0,0 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Прорачунска вредност момента савијања мора бити мања од 1:

$$\frac{M_{yEd}}{M_{y,C,Rd}} = 0,00 < 1,00$$

$$\frac{M_{zEd}}{M_{z,C,Rd}} = 0,00 < 1,00$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = 0,00 < 1,00$$

Прорачунска вредност смицања мора бити мања од 1:

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,T,Rd}} = 0,00 < 1,00$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,T,Rd}} = 0,00 < 1,00$$

Провера еластичне прорачунске носивости:

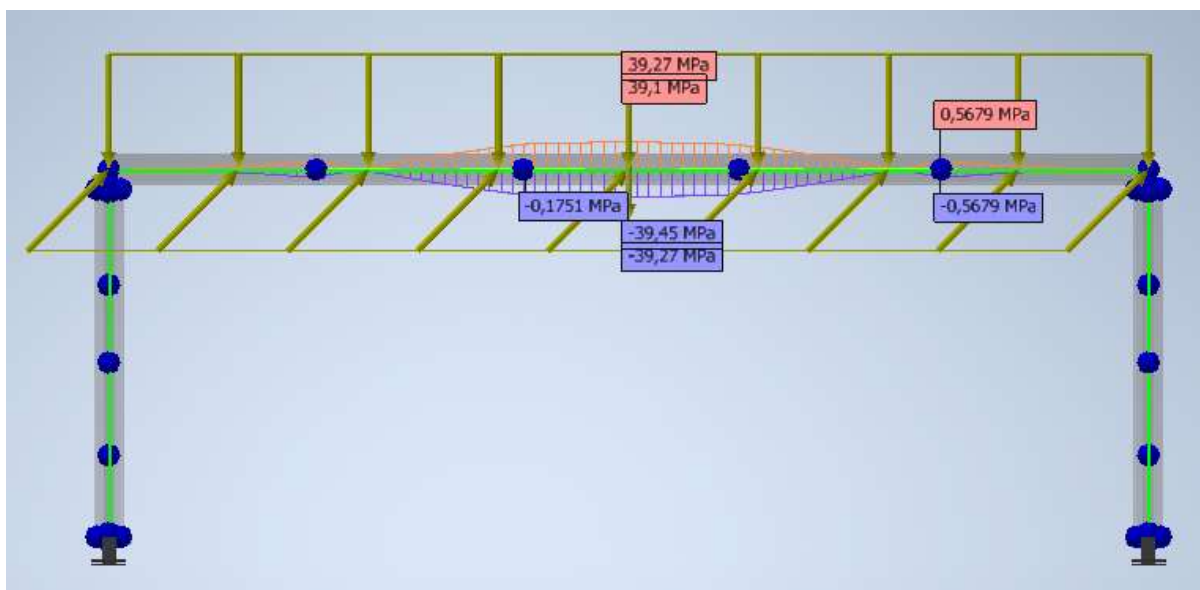
$$\frac{\tau_{ty,Ed}}{f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})} = 0,00 < 1,00$$

$$\frac{\tau_{tz,Ed}}{f_y/(\sqrt{3}\gamma_{M0})} = 0,00 < 1,0$$

Гранична померања:

$$u_y = 0,1 \text{ cm} < u_{y\max} = \frac{L}{200} = 6,9 \text{ cm}$$

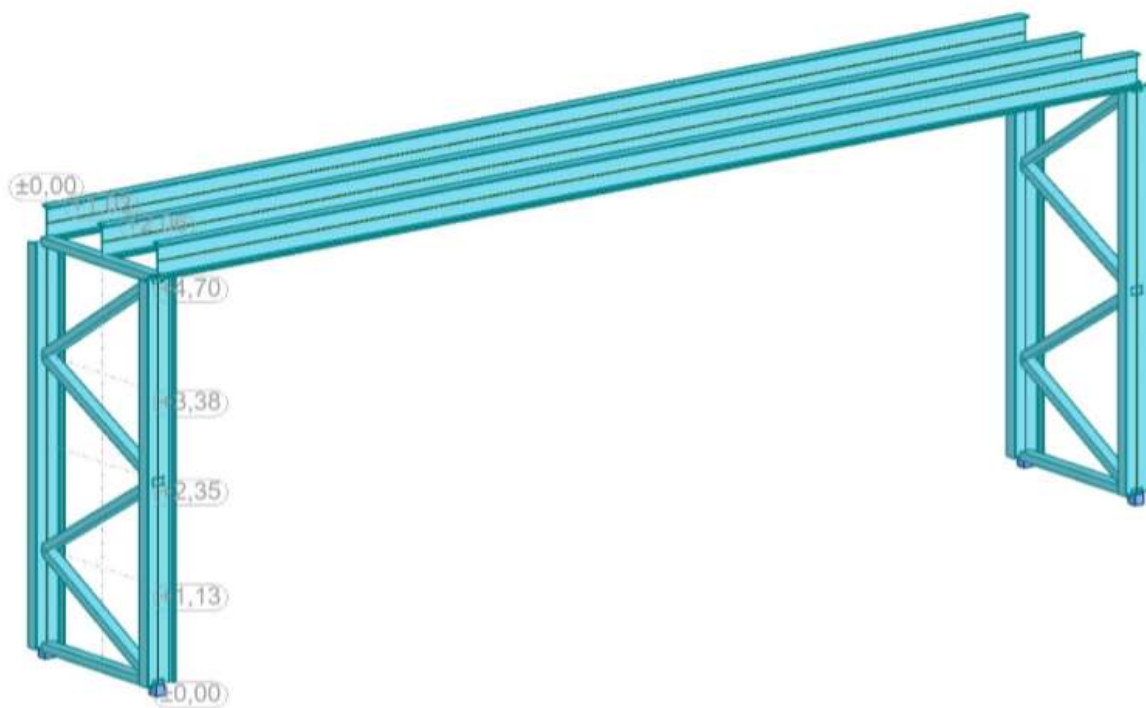
$$u_z = 0,1 \text{ cm} < u_{z\max} = \frac{L}{200} = 6,9 \text{ cm}$$



Слика 31. Вредности минималних и максималних нормалних напона на мосту

10. Комбинација оптерећења

Комбинација оптерећења је скуп оптерећења која делују на конструкцију (оптерећење од сопствене тежине, оптерећење од ветра и саобраћајно оптерећење). Прорачун је одрађен у софтверском програму *Autodesk Robot* који аутоматски додељује коефицијенте при прорачуну у зависности од оптерећења. Сви изабрани носачи задовољавају услове.



Слика 32. *Модел моста у програму Autodesk Robot*

11. 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 . Као што се може видети на слици 20, максимална вредност се очекивано налази на средини носача. Плавим тачкама означени су чворови решетке, а зелене линије представљају носаче.

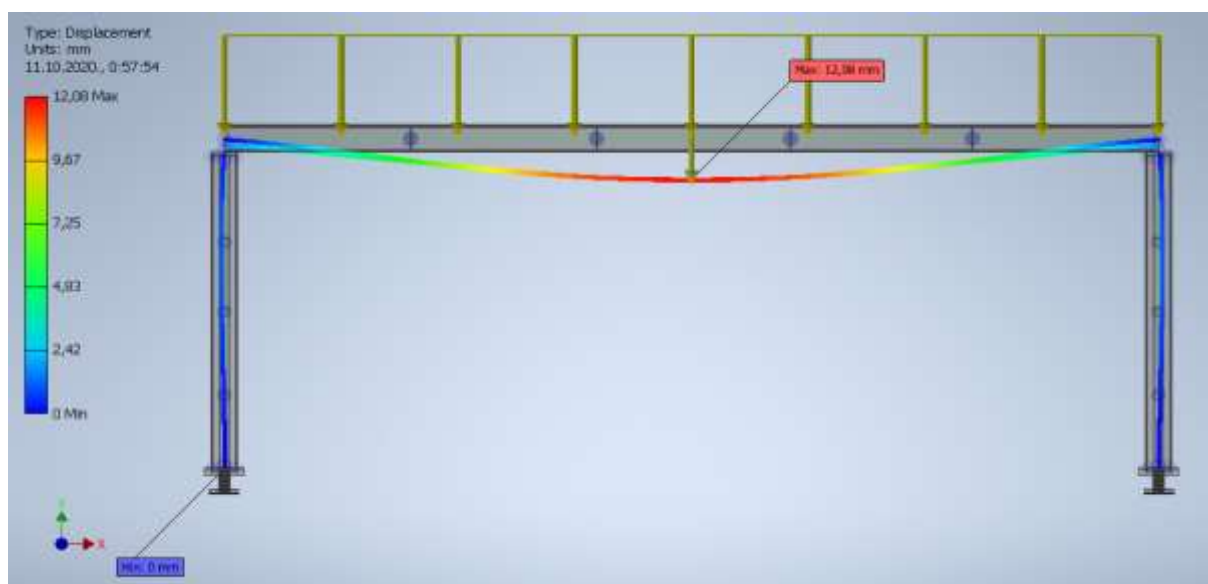
Према правилнику о техничким нормативима за одређивање величина оптерећења мостова [16], угиб главног носача услед дејства саобраћајног оптерећења, ограничен је на $L/200$.

$$f_{доп} = L/200$$

$$f_{доп} = 13750/200 = 68,75 \text{ mm}$$

$$f = 12,08 \text{ mm} \ll 68,75 \text{ mm}$$

$$f \ll f_{доп} \rightarrow \text{Угиб је задовољен.}$$

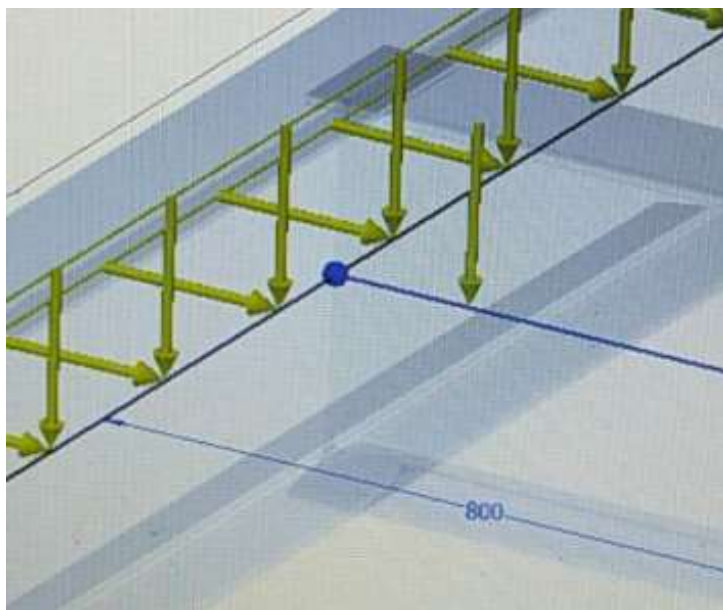


Слика 33. Угиб носача услед дејства саобраћајног оптерећења

12. Пример прорачуна завареног споја

Монтажа пешачког моста се обавља из више делова. Сви спојеви на мосту су остварени заваривањем. У овом поглављу је дат пример прорачуна угаоно завареног споја два стандардна профила.

Сви спојеви на конструкцији пешачког моста остварени су заваривањем.



Слика 34. Приказ завареног угаоног споја

11.1 Улазни подаци

Табела 14. Подаци о профилу

Ознака	Опис ознаке	Вредност	Јединица
α	угао нагиба	90	°
h_c	висина профила	400	mm
b_{fc}	ширина профила	155	mm
t_{fc}	дебљина ножице стуба	22	mm
t_{wc}	дебљина ребра стуба	14	mm
r_c	полупречник заобљења профила	14	mm
A_c	површина попречног пресека профила	117,63	cm ²
I_{xc}	момент инерције попречног пресека	29159,50	cm ⁴
f_{yc}	граница развлачења	235,00	MPa

Табела 15. Оптерећења

Ознака	Опис ознаке	Вредност	Јединица
$M_{b1,Ed}$	прорачунска вредност момента савијања	0,11	kNm
$V_{b1,Ed}$	прорачунска вредност силе смицања десног профила	6,03	kN
$N_{b1,Ed}$	прорачунска аксијалне силе десног профила	18,60	kN
$M_{c1,Ed}$	прорачунска вредност момента савијања левог профила	2,25	kNm
$V_{c1,Ed}$	прорачунска вредност силе смицања левог профила	-4,52	kN
$N_{c1,Ed}$	прорачунска вредност аксијалне силе левог профила	87,66	kNm

11.2 Носивост попречног пресека

11.2.1 Затезање (6.2.3)

Прорачунска носивост нето пресека:

$$N_{tb,Rd} = \frac{A_b f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

Прорачунска вредност носивости на затезање:

$$N_{tb,Rd} = 3117,17 \text{ kN}$$

Прорачунска вредност силе затезања у сваком попречном пресеку мора да задовољи услов:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{b1,Ed}}{N_{tb,Rd}} = 0,01 < 1 \rightarrow \text{задовољава}$$

11.2.2 Смицање (6.2.6)

Пластична прорачунска носивост на смицање:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

Прорачунска вредност пластичне носивости на смицање:

$$V_{pl,Rd} = 1070,99 \text{ kN}$$

Прорачунска вредност силе смицања у сваком попречном пресеку треба да задовољи услов:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{V_{b1,Ed}}{V_{cb,Rd}} = 0,01 < 1 \rightarrow \text{задовољава}$$

11.2.3 Момент савијања (6.2.5)

Прорачунска носивост попречног пресека на савијање:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{M0}}$$

Прорачунска вредност носивости попречног пресека на савијање:

$$M_{pl,Rd} = 453,52 \text{ kNm}$$

Прорачунска вредност момента савијања у сваком попречном пресеку треба да задовољи услов:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{M_{b1,Ed}}{M_{c,b,Rd}} = 0,00 < 1 \rightarrow \text{задовољава}$$

11.3 Носивост ребра

Табела 16. Оптерећења

Ознака	Опис ознаке	Вредност	Јединица
$M_{b1,Ed}$	Моменат савијања (десна греда)	0,11	kNm
$M_{b2,Ed}$	Моменат савијања (десна лева греда)	0,00	kNm
$V_{c1,Ed}$	Сила смицања (десна греда)	-4,52	kN
$V_{c2,Ed}$	Сила смицања (десна лева греда)	0,00	kN
z	крак сила	376	mm

Резултујућа смичућа сила у пољу ребра се одређује као:

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed})/z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed})/2$$

$$V_{wp,Ed} = 2,56 \text{ kN}$$

Површина смицања стуба:

$$A_{vc} = 60 \text{ cm}^2$$

Пластична прорачунска носивост неукрућеног поља ребра стуба на смицање:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$V_{wp,Rd} = 732.66 \text{ kN}$$

Прорачунска вредност носивости мора да задовољи услов:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = 0,00 < 1 \rightarrow \text{задовољава}$$

11.3.1 Ребро стуба оптерећено попречним затезањем

Прорачунска носивост неукрућеног ребра стуба које је изложено дејству попречног затезања одређује се као:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}$$

Табела 17. Подаци о стубу

Ознака	Опис ознаке	Вредност	Јединица
t_{wc}	дебљина ребра стуба	14	mm
$b_{eff,t,wc}$	ефективна ширина ребра стуба	216	mm
A_{vc}	смицајна површина стуба	60	cm ²
ω	коэффициент редукције	0,86	

Прорачунска вредност носивости неукрућеног стуба:

$$F_{t,wc,Rd} = 628,69 \text{ kN}$$

Прорачунска вредност носивости мора да задовољи услов:

$$\frac{N_{upp}}{F_{t,wc,Rd,upp}} \leq 1$$

$$\frac{N_{upp}}{F_{t,wc,Rd,upp}} = 0,02 < 1 \rightarrow \text{задовољава}$$

$$\frac{N_{low}}{F_{t,wc,Rd,low}} = 0,01 < 1 \rightarrow \text{задовољава}$$

11.3.2 Ребро стуба оптерећено попречним савијањем

Прорачунска носивост неукрућене ножице стуба на савијање се одређује као:

$$F_{fc,Rd} = b_{eff,b,fc} t_{fb} f_{y,fb} / \gamma_{M0}$$

Табела 18. Подаци о ножици

Ознака	Опис ознаке	Вредност	Јединица
t_{fb}	дебљина ножице	22	mm
$b_{eff,b,fc}$	ефективна ширина	177	mm
k	корелациони фактор	0,89	

Прорачунска вредност носивости ножице стуба:

$$F_{fc,Rd} = 1014,77 \text{ kN}$$

Прорачунска вредност носивости ножице стуба мора да задовољи услов:

$$\frac{N_{upp}}{F_{fc,Rd,upp}} \leq 1$$

$$\frac{N_{upp}}{F_{fc,Rd,upp}} = 0,01 < 1 \rightarrow \text{задовољава}$$

$$\frac{N_{low}}{F_{fc,Rd,low}} = 0,01 < 1 \rightarrow \text{задовољава}$$

Према стандарду EN 1993-1-8 (стр.50) препоручује се додавање укрућења обзиром да ефективна ширина не испуњава услов:

$$b_{eff} \geq (f_{y,p}/f_{u,p})b_p$$

11.4 Прорачунска носивост угаоних шавова

Табела 19. Површине завареног споја

Ознака	Опис ознаке	Вредност	Јединица
A_w	површина свих заварених спојева	78,73	cm^2
A_{wy}	површина хоризонталних спојева	25,93	cm^2
A_{wz}	површина вертикалних спојева	52,80	cm^2

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

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)] \leq \frac{f_y}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 f_y / \gamma_{M2}$$

Табела 20. Подаци за прорачун

Ознака	Опис ознаке	Вредност	Јединица
$\sigma_{\parallel}$	нормални напон паралелан са осом шава	не разматра се	
$\sigma_{\perp}$	нормални напон управан на раван шава	2,76	MPa
$\tau_{\parallel}$	смичући напон паралелан са осом шава	1,14	MPa
$\tau_{\perp}$	смичући напон управан на раван шава	2,76	MPa
β_w	корелациони фактор	0,80	

Прорачунска вредност носивости угаоног шава:

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)] = 5,53 < 360 \rightarrow \text{задовољава}$$

$$2,76 < 259,20 \rightarrow \text{задовољава}$$

12 Закључак

Инжењери и пројектанти који су се у претходним годинама бавили конструисањем челичних конструкција имали су веома тежак задатак, јер нису могли да предвиде како ће се конструкција понашати у одређеним ситуацијама, па су те конструкције су биле израђиване на основу претходних искустава. У двадесетом веку конструктори су почели да користе сложене математичке прорачуне да би добили што боље конструкције и у томе су били јако успешни. Међутим то је био дуготрајан процес све до краја века када увелико почињу да се користе рачунари. Доласком софтвера на тржиште, знатно је олакшан комплетан процес пројектовања конструкција, од идејног решења, преко прорачуна, израде техничке документације, до саме монтаже.

Мост се израђује од стандардних ваљаних профила. То значи да се модификацијом коришћених профила може постићи веома добра оптимизација конструкције тако да не дође на пример до предимензионисања одређених профила. Постоје два основна начина на који се профили могу добити, а то су ваљање у хладном и топлом стању. Вруће ваљани профили који су коришћени у раду се употребљавају за носаче и стубове јер поседују велику носивост.

Што се тиче метода прорачуна конструкција, наведене су две методе. Прва метода се заснива на прорачунима према допуштеним напонима, који су били главни метод при прорачуну у двадесетом веку. Са појавом Еврокодових стандарда уводи се анализа конструкција према граничним стањима и те препоруке користи софтверски пакет – Робот (*Robot structural analysis*). Тражени прорачун и конструисање моста је умногоме олакшано помоћу овог софтвера.

У раду је дат делимичан приказ поступка пројектовања једне конструкције пешачког моста који се налази на прометној саобраћајници, распона 13,75 метара. Приказан је 3Д модел конструкције моделиран у софтверу *Autodesk Inventor*. Стандардни ваљани профили међусобно су повезани заваривањем. Приказан је прорачун носача димензионисаних у софтверу *Autodesk Robot*. При провери носивости узета су оптерећења од сопствене тежине, корисна оптерећења, дејство ветра и дејство снега. Сеизмичка дејства могу да се узму у обзир јер софтвер то омогућава, али овде нису узета, јер би рад био преобиман, а и локација моста није на критичном подручју. Може се закључити да је прорачун и пројектовање конструкције моста јако комплексан посао који захтева вештог конструктора који поседује знање, искуство, али и вештину прилагођавања новим стандардима и савременим софтверима.

Резултати прорачуна показују да је потребно ојачати носаче моста који су израђени од стандардних I профила. Како у новије време предност имају конструкције од шупљих профила, ради уштеде материјала и побољшања естетике, могуће је реконструисати носаче. 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.

13. Литература

- [1] Д. Буђевац, Б. Стипанић, *Челични мостови*, Грађевинска књига Београд, 1989.
- [2] С. Живковић, *Основе челичних мостова*, Грађевинско-архитектонски факултет у Нишу, 2016.
- [3] Електронска скрипта, *Колегиј: Мостови*; Катедра за бетонске конструкције и мостове, Грађевинско архитектонски факултет Свеучилишта у Сплиту, 2008.
- [4], Миленко Пржуљ, *Мостови*, Изградња, Љубљана, 2014.
- [5] С.П.Тимошенко, Д.Х.Јанг, *Теорија конструкција*, Грађевинска књига Београд, 1968.
- [6] *Приручник за пројектовање путева у Републици Србији-Пројектовање мостова*, Јавно предузеће Путеви Србије, Београд, 2012.
- [7] Д. Буђевац, З.Марковић, Д. Богавац, Д. Тошић, *Металне конструкције*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, 1997.
- [8] И.П. Прокофјев, *Теорија конструкција*, Грађевинска књига Београд, 1959.
- [9] *Правилник о техничким мерама и условима за заштиту челичних конструкција од корозије* – Службени лист СФРЈ 30/70
- [10] *Правилник о техничким мерама и условима за монтажу челичних конструкција – опште одредбе* – Службени лист СФРЈ 29/јул/1970
- [11] EN 1993-1-8: 2005; Eurocode 3: *Design of steel structures – Part 1 – 8: Design of joints*
- [12] EN 1991-1-1, 2005; Eurocode 1: *General actions, Actions on structure – Part 1-1: General rules and rules for buildings*;
- [14] EN 1991-1-3: 2003; Eurocode 1: *Actions on structure – Part 1 – 3: General actions – Snow load*
- [15] EN 1991-1-4: 2005; Eurocode 1: *Actions on structure – Part 1 – 4: General actions – Wind actions*
- [16] *Правилник о техничким нормативима за одређивање величина оптерећења мостова* – Службени лист СФРЈ 1/91
- [17] Електронска скрипта,
https://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/predavanje_11_1576663406259.pdf , приступљено 28.09.2020.

- [18] М. Милошевић, С. Живковић, *Решеткасти носачи без чворних лимова од шупљих челичних профила*, Зборник радова Грађевинског факултета, Ниш
- [19] *Геометријске карактеристике челичних профила*, European Sections, European Committet for Standardization, Brussels
- [20] *Електронска скрипта*,
https://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/predavanje_7_1587367829617.pdf , приступљено
13.10.2020.