

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Металне конструкције

Број индекса: 126/2016

Филип М. Богдановић

**Пројектовање пуног лименог носача
коришћењем Еврокод стандарда**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Весна Марјановић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише пројектовање пуног лименог носача примењивањем Еврокод стандарда, оптерећења која се јављају код пуних лимених носача, као и конструисање и прорачун лимених носача.

Препоручена литература:

[1] Буђевац Д., Марковић З., Богавац Д., Тошић Д., Металне конструкције -Основи прорачуна и конструисања, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд 1997.

[2] Митровић С., Металне и дрвене конструкције 1, Високо грађевинско-геодетска школа, Београд, 2011.

[3] Марјановић В., Николић Р., Металне конструкције -Приручник за прорачуне, Машински факултет у Крагујевцу, 1998.

Крагујевац, јун 2020.

Ментор: Проф. Др Весна Марјановић

Резиме

У овом завршном раду описани су носачи као елементи сложених металних конструкција. Између осталог, овај рад даје преглед различитих врста носача са посебним освртом на пуне лимени носаче. Приказане су карактеристике пуних лимених носача, оптерећења која се код њих јављају, спољашњи фактори који на њих делују, процес њиховог конструисања, као и прорачун ових носача. На крају је наведен пример анализе и прорачуна једног пуног лименог носача.

Кључне речи: конструкција, носачи, оптерећења, прорачун

Summary

Within this final paper, girders are described as elements of a metal structure. Among other things, this paper provides an overview of different types of girders with special reference to solid sheet metal girders. The characteristics of solid sheet metal girders, the loads that occur within them, the external factors that affect them, the process of their construction, and calculation of these girders, are shown here. The paper gives an example of the calculation and analysis of one solid sheet metal girder.

Keywords: construction, girders, loads, calculation

Садржај

1. Увод.....	1
2. Сопствена тежина конструкције и стална оптерећења.....	2
3. Покретна и додатна оптерећења.....	5
3.1 Корисно оптерећење.....	6
3.2 Оптерећење снегом.....	7
3.3 Оптерећење ветром.....	14
3.4 Температурни утицаји/ термичка дејства.....	18
3.5 Сеизмичко оптерећење.....	20
4. Носачи.....	22
4.1 Пуни носачи.....	24
4.2 Решеткасти носачи.....	27
5. Конструисање и прорачун лимених носача.....	32
6. Пример.....	41
Закључак.....	51
Литература.....	52

1. Увод

Примена гвожђа, а затим и челика као материјала за носеће грађевинске конструкције је релативно скорије почела. Прва гвоздена конструкција стара је око два века. За носеће конструкције од метала, челик још и данас представља главни материјал, мада се последњих година повећава употреба алуминијума. Конструкције од челика имају специфичне особине и битне техничке и функционалне предности у односу на друге врсте материјала које се користе у грађевини, па зато имају широку примену код свих типова грађевинских конструкција. Поред тога, дефинише их брз тренд развоја чија је последица појава и развој нових савремених метода анализе, нових софистицираних конструкцијских система, развој потпуно аутоматизованих система за израду техничке документације, као и софтвера за израду конструкција и модерних начина монтаже на градилишту.

Челици, као основни материјали код носећих конструкција, се употребљавају код скоро свих типова грађевинских објеката, међу којима су индустријске хале, зграде, спортске дворане, кровови стадиона, мостови, резервоари, силоси, гараже, бункери, водоторњеви, и многе друге специјалне конструкције. Велика примена челика је и у машиноградњи код дизалица, конвејера, роторнихбагера и слично.

Металне конструкције могу бити лимене или решеткасте конструкције. За сваку конструкцију веома је битно да се постигне најекономичнији утрошак материјала, а да се притом задовољи намена конструкције и преношење оптерећења. Избр конструкције зависи од врста оптерећења која се у конструкцији јављају. Основни задатак сваке конструкције је да се пренесе оптерећење, а на основу тога се бирају материјал, облик и димензије конструкције.

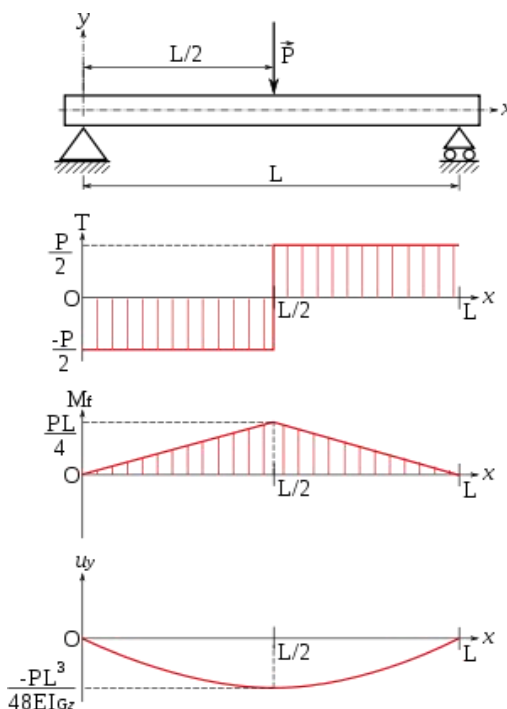
Најчешће примењиване елементе конструкција представљају траке и пуни вруће ваљани профили, сложени и хладно обликовани профили, лимени и профилисани носачи. Пуни носачи су тема овог рада.

2. Сопствена тежина конструкције и стална оптерећења

Конструкције се пројектују на такав начин, да могу да поднесу различите спољне утицаје и оптерећења, као и најнеповољније комбинације оптерећења са одговарајућим степеном искоришћења. Поред тога, конструкције се такође тестирају на разне услове употребљивости, као нпр. угиб и лом. Вредности највећег броја могућих оптерећења могу се само апроксимативно одредити. Методе за одређивање минималних идеалних вредности оптерећења која делују на конструкцију и препоручене вредности, адекватне за прорачун, се могу наћи у стандардима из области грађевинарства.

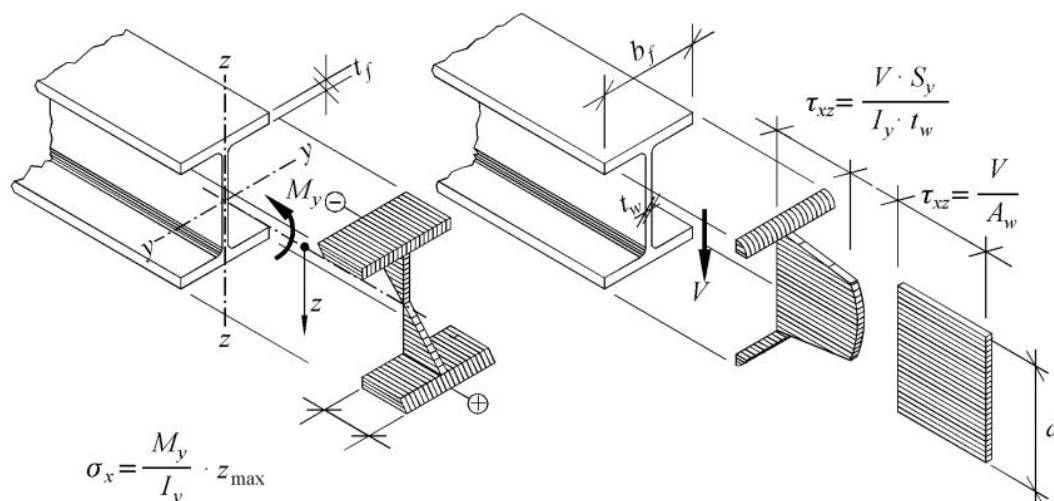
Сва оптерећења која делују на конструкцију, могу се класификовати према различитим факторима, и то према: [3]

- Пореклу
- Непосредности деловања
- Промени у времену и простору
- Карактеру деловања



Слика 1. Статички дијаграм оптерећења једног пуног носача, [4]

За правилно димензионисање конструкције неопходна је темљна и правилна анализа свих деловања на конструкцију или неки њен део. Комбиновање оптерећења се врши ради израчунавања максималних напона у елементу конструкције.



Слика 3. Дијаграми напона код носача, [1]

Основна оптерећења су у склопу наших стандарда описана у следећим стандардима:[3]

- SRPS.U.C7.121/1988- Основа пројектовања грађевинских конструкција- Корисна оптерећења стамбених и јавних зграда
- SRPS.U.C7.122/1988- Основа пројектовања грађевинских конструкција- Одређивање корисног оптерећења таваница у производним погонима и складиштима
- SRPS.U.C7.123/1988- Основа пројектовања грађевинских конструкција- Сопствена тежина конструкција, неконструкционих елемената и ускладиштеног материјала који се узима у обзир при димензионисању

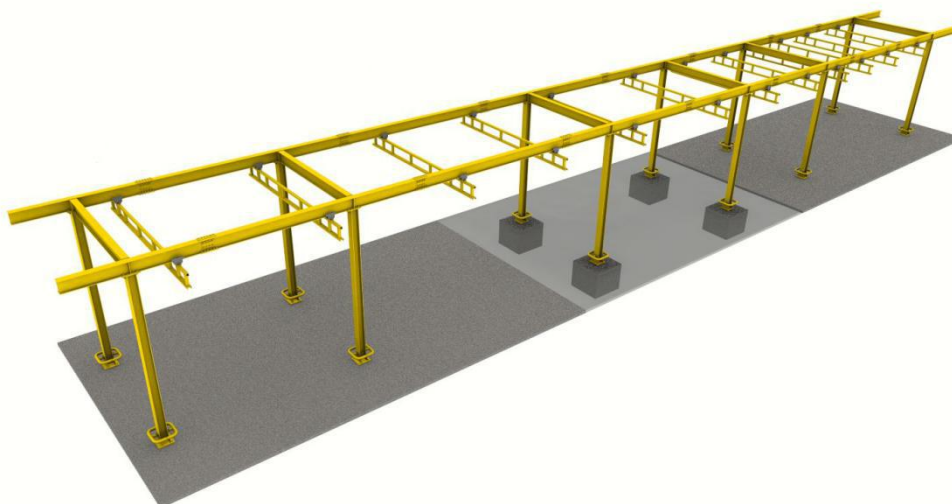
Основно оптерећење, у оквиру европске техничке регулативе дефинише стандард “ЕВРОКОД 1: Дејства на конструкције”, тачније EN 1991-1-1:2002.

Применом одговарајућег материјала за израду конструкције и рационалним искоришћењем попречних пресека добија се адекватна вредност сталног оптерећења, односно сопствене тежине елемента конструкције. У случају грађевинских објеката, сопствена тежина подразумева конструкционе и неконструкционе елементе, као и непокретне инсталације и опрему.



Слика 4. Конструкција фабричке хале са лименим носачима

Сопствена тежина представља директно оптерећење конструкције, статичке природе. Такође се класификује као стално непокретно дејство. Сопствена тежина одређеног елемента конструкције израчунава се множењем запремине елемента конструкције (m^3) са запреминском масом (kg/m^3) и гравитационим убрзањем ($9,81 \sim 10 N/kg$), или се узимају подаци из каталога произвођача. У неким случајевима је запреминска тежина (N/m^3) дата уместо запреминске масе. Запреминска тежина подразумева укупну тежину по јединици запремине материјала, рачунајући на садржај микрошупљина, шупљина и пора материјала. Ова вредност се множи са димензијама елемента, како би се добила сопствена тежина.



Слика 5. Пример једне носеће конструкције, [5]

Имајући у виду да се на почетку прорачуна не располаже са тачним вредностима сопствених тежина елемената, оне се морају претпоставити на основу претходних искустава или усвајањем вредности са неких сличних, већ изведених конструкција. Усвојене вредности не смеју одступати за више од 3% од вредности касније добијених димензионисањем, у супротном, неопходна је корекција.

3. Покретна и додатна оптерећења

На конструкцију, поред сопствене тежине и сталног оптерећења, могу деловати различита друга додатна и покретна оптерећења. Ова оптерећења представљају оптерећења настала утицајем спољашњих услова и фактора на конструкцију. Она по природи могу бити статичка и динамичка, а према промени у простору су углавном покретна. Међу покретним и додатним оптерећењима, најистакнутија су:

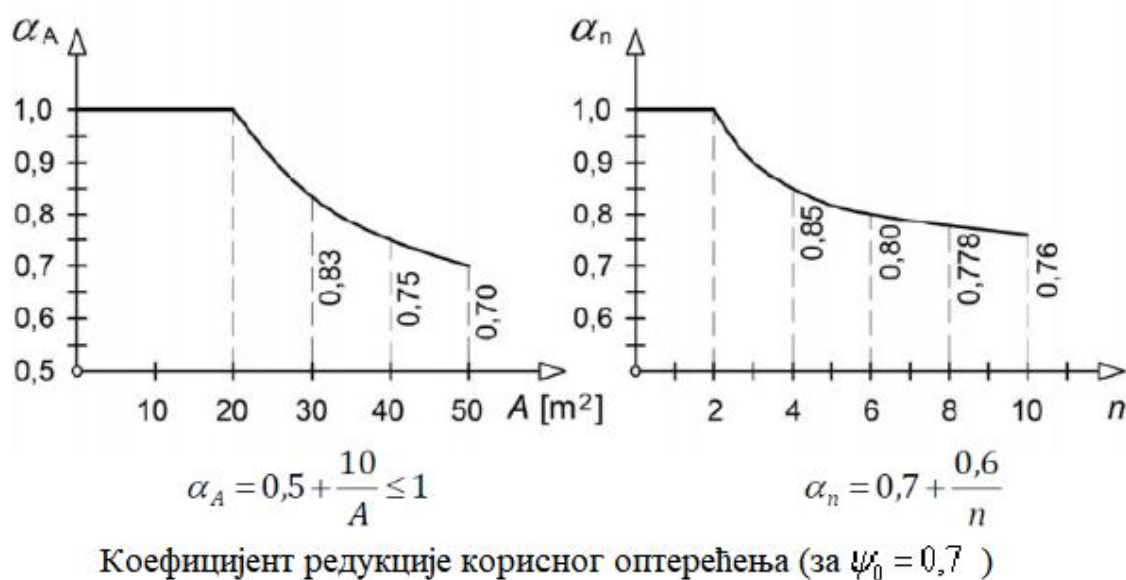
- Корисно оптерећење
- Оптерећење снегом
- Оптерећење ветром
- Температурни утицаји/ термичка дејства
- Сеизмичко оптерећење

3.1 Корисно оптерећење

Корисно оптерећења представљају променљива дејства која потичу од присуства људи и инвентара унутар објекта. У ова оптерећења се убрајају површинска, линијска и концентрисана оптерећења, која су последица уобичајеног коришћења објекта и садржаја у објекту или на њему.

Интезитет ових оптерећења, у зависности од намене објекта, прописан је Еврокод стандардом SRPS EN 1991-1-1.

Будући да је у току експлоатационог века објекта могуће мењати његов садржај, као и да је вероватноћа истовременог искоришћења оптерећености сваког квадратног метра објекта на свим деловим изузетно мала, одређена оптерећења могу се редуковати у складу са факторима редукције покретних оптерећења.



Слика 6. Редуција корисног оптерећења код елемената међуспратних конструкција и вишеспратних зграда, [6]

3.2 Оптерећење снегом

Челичне и дрвене конструкције су веома осетљиве на дејство снега, због своје мале сопствене тежине. Оптерећење снегом представља променљиво непокретно дејство, статичке природе. Ово оптерећење третира се као гравитационо (вертикално) оптерећење које делује на m^2 основе, а интензитет оптерећења зависи од локације објекта и од нагиба крова. Интензитет оптерећења у зависности од нагиба кровне равни, одређује се према следећој табели:

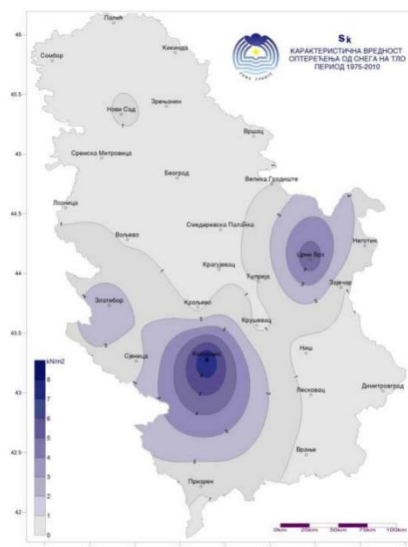
Нагиб крова (°)	≤ 20	25	30	35	40	45	50	55	60	≥ 60
$s \text{ (} kN / m^2 \text{)}$	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,00

Табела 1. Оптерећење снегом у kN / m^2 , [3]

За приморске и друге крајеве где је снег редак, усваја се $s = 0,35 kN / m^2$, као минимално замењујуће оптерећење, док се за планинске крајеве са надморском висином (H) већом од 500m, усваја $s = 0,75 + \frac{H - 500}{400} (kN / m^2)$, за $\alpha = 20^\circ$. За веће нагибе крова претходна вредност смањује се пропорционално вредностима из табеле. [3]

Код шед кровова треба обратити пажњу о нагумилавању снега у увалама крова, док код мансардних и сличних решеткастих носача треба водити рачуна о томе да је за штапове испуне неповољан случај оптерећења снегом на v распона решетке. У случају решеткастих носача треба проверити три различита случаја оптерећења: снег на целом распону носача, снег са пола интензитета на v распона и са пуним интензитетом на другој половини и снег са пуним интензитетом на v распона. [3]

Основа за прорачун дејства снега на кровове је карактеристична вредност оптерећења снега на тло Sk , која је заснована на годишњој вероватноћи прекорачења од 0,02 (да се деси једном у 50 година). У нашим прописима су вредности оптерећења снегом јако подцењене и не слажу се метеоролошким подацима, тако нпр. за подручје Београда основно оптерећење снегом износи $1,00 kN / m^2$. Карактеристична вредност оптерећења снега треба да буде прописана у Националном прилогу за читаву територију земље у виду карте снега.



Слика 7. Карта снега Србије без утицаја надморске висине, [7]

У неким случајевима, због појаве веће количине снежног покривача од предвиђене, или претварања дела снежног покривача у лед, услед дугог периода трајања ниских температура, долази до непредвиђених последица на конструкцију, па чак и до лома. Због тога, прорачуну дејства снега треба веома пажљиво приступити, и треба повећати основне вредности из стандарда. Када постоји реална опасност од изузетних снежних падавина и нагомилавања снега, такво дејство снега се третира као инцидентно дејство.



Слика 8. Срушен кров изложбене хале у Катовицама у Пољској, [8]

Дејство снега на конструкције се према европској техничкој регулативи разматра у склопу ЕВРОКОДА 1, тачније: EN 1991-1-3:2003.

У оквиру овог стандарда разматра се деловање снега на кровове на надморским висинама до 1500,00 m. Овим стандардом су обухваћени различити начини деловања снега на кров и под различитим факторима, као што су: [3]

- Облик крова
- Његова термичка својства
- Храпавост његове површине
- Количина топлоте испод крова
- Близина суседних зграда
- Оклолни терен
- Локални метеоролошки климатски услови

Оптерећење крова се јавља у облику различитих шема оптерећења: [3]

- Оптерећење од снега на крову без сметова, које се наноси као једнакоподељено гравитационо оптерећење, и на чији интензитет утиче само облик крова
- Оптерећење од снега на крову са сметовима, што је последица премештања снега са једног на друго место, услед дејства ветра

Оптерећење снега на кров се одређује на два начина у зависности од типа прорачунске ситуације:

- За сталне или пролазне прорачунске ситуације- $s = \mu_i c_e c_t s_k$
- За инцидентне прорачунске ситуације- $s = \mu_i s_k$

-где су: μ_i - коефицијент облика оптерећења од снега

s_k - карактеристична вредност оптерећења снега на тло

c_e - коефицијент изложености

c_t - термички коефицијент

Топографија	c_e
Изложена ветру	0,8
уобичајена	1,0
заклоњена	1,2

Табела 2. Препоручене вредности c_e за различите топографије, [3]

Термички коефицијент μ_t битан је за кровове који имају велику термичку проводљивост, поготово кровове покривене стаклом, углавном је $s_t = 1,0$

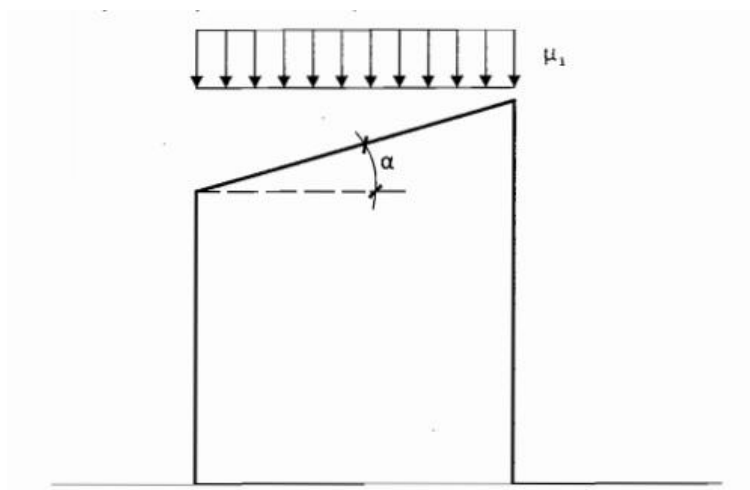
Коефицијент облика крова μ_i приказан је у следећој табели:

Угао нагиба крова α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \frac{60 - \alpha}{30}$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \frac{\alpha}{30}$	1,6	-

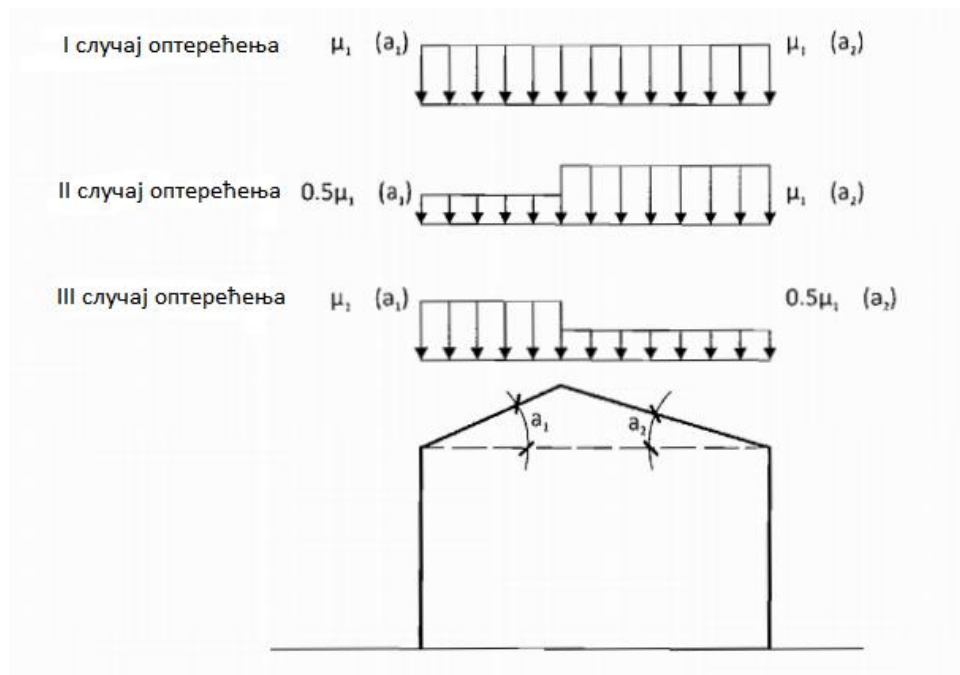
Табела 3. Коефицијенти облика оптерећења од снега, [3]

Вредности из табеле се узимају у обзир када клизање снега са крова није спречено. Ако на крову постоје снеговрани или парапети, минимална вредност коефицијента облика оптерећења не треба да буде мања од 0,8.

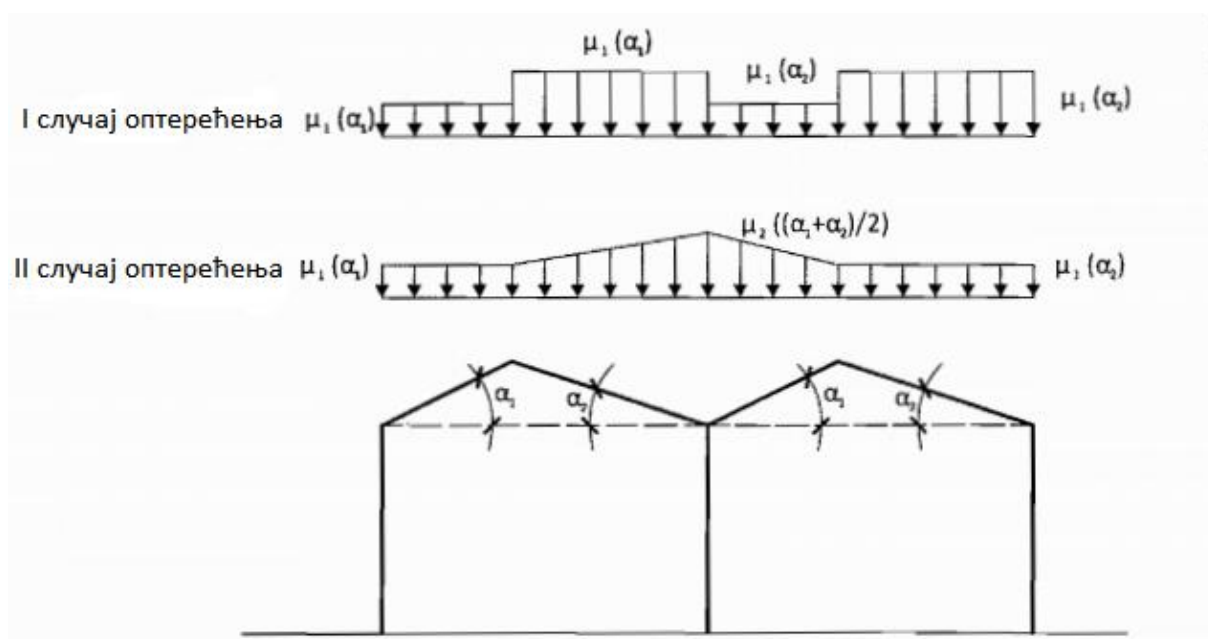
Шеме оптерећења за различите врсте кровова:



Слика 9. Коефицијент облика оптерећења од снега- једноводни кров, [3]



Слика 10. Коефицијент облика оптерећења од снега- коси кровови
(I случај оптерећења- без сметова, II и III случај оптерећења- са сметовима), [3]



Слика 11. Коефицијент облика оптерећења од снега- тестерасте кровови
(I случај оптерећења- без сметова, II случај оптерећења- са сметовима),

Код кровова који се граниче са високим грађевинским објектима, дефинишу се и коефицијенти μ_s - коефицијент облика оптерећења од снега услед клизања снега са горњег крова, и μ_w - коефицијент облика оптерећења од снега услед ветра.

Када је нагиб крова $\alpha \leq 15^\circ$, $\mu_s = 0$, међутим када је нагиб крова већи од 15° , овај коефицијент се одређује на основу додатног оптерећења које износи 50% од максималног укупног оптерећења од снега на суседном нагибу горњег косог крова.[3]

Коефицијент облика оптерећења од снега услед ветра μ_w , добија се помоћу следећег израза:

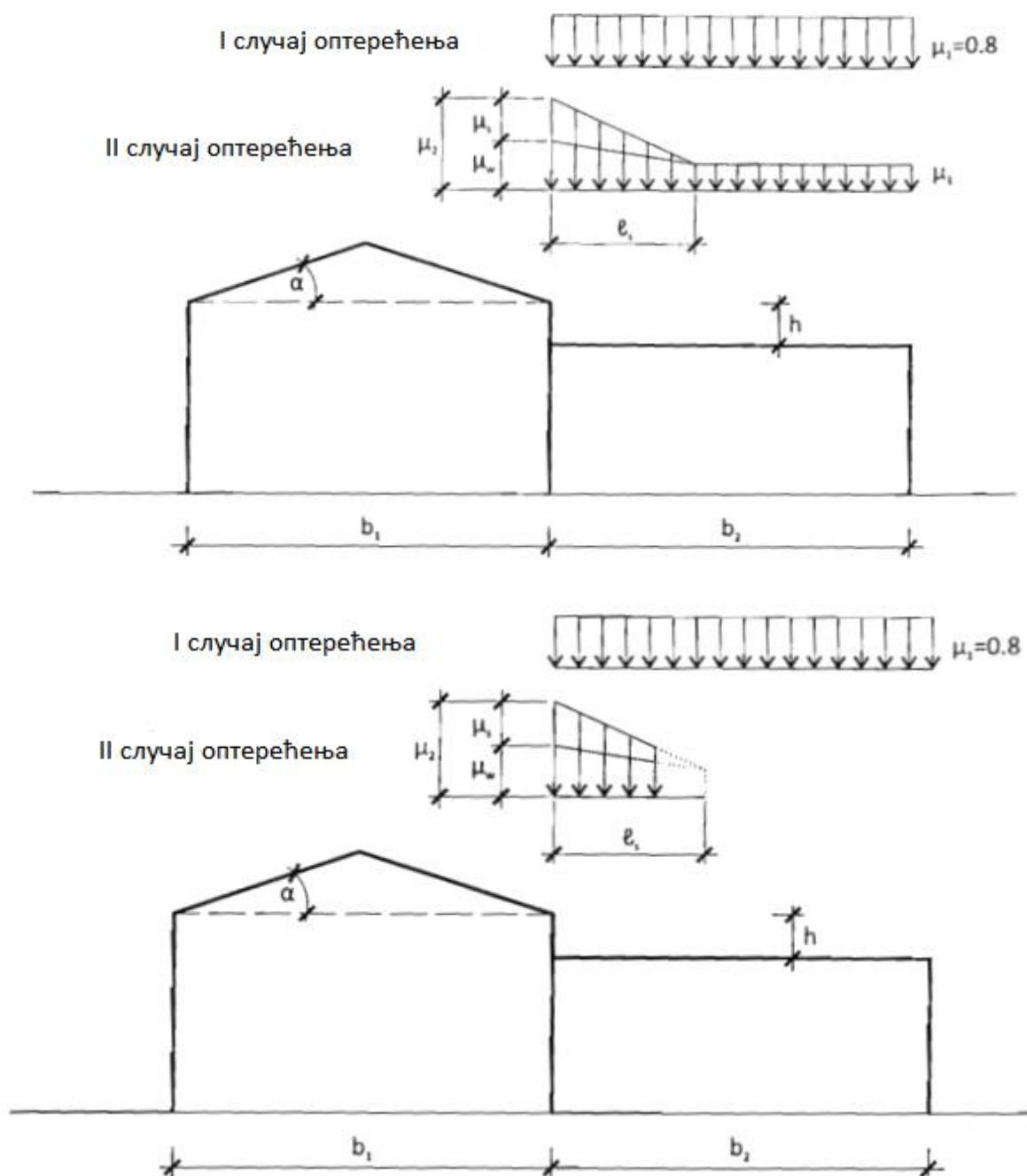
$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \gamma \frac{h}{s_k} \text{ за } 0,8 \leq \mu_w \leq 4$$

-где је: γ - запреминска тежина снега која може да се усвоји у вредности од $2,00 \text{ kN} / \text{m}^3$

Запреминска тежина снега, у зависности од локације, климе и надморске висине, може имати различите вредности.

Врста снега	Запреминска тежина (kN / m^3)
свеж	1,0
слегнут- неколико сати или дана после падања	2,0
стар- неколико недеља или месеци после падања	2,5-3,5
влажан	4,0

Табела 4. Средња запреминска тежина снега, [3]



Слика 12. Коефицијент облика оптерећења од снега за кровове који се граниче са високим грађевинским објектом
(I случај оптерећења- без сметова, II случај оптерећења са сметовима), [3]

У склопу европске техничке регулативе дат је и приказ сила које требају да буду примењене за локалне прорачунске доказе за појаву сметова на испустима и препрекама, ивици крова и на снеговранима.

3.3 Оптерећење ветром

Ветар представља кретање ваздуха, настало услед разлике у температури и притисцима, као и ротације Земље. Када постоји разлика атмосферског притиска, ваздух се креће из области вишег притиска у област са нижим притиском, такво струјање ваздуха представља ветар. У смислу механике флуида, ветар представља турбулентно кретање ваздушног флуида. Утицај ветра на конструкције, јавља се у виду: притиска, сишућег дејства и вртложног дејства.



Слика 13. Осциловање и колапс моста услед дејства ветра (Tacoma Narrows Bridge), [9]

Оптерећење ветром је директно промњливо оптерећење, динамичког типа. Оптерећење ветра на конструкције је по нашим техничким прописима дефинисано у четири стандарда: [3]

- SRPS U.C7.110/1991- Оптерећење ветром- Основни принципи и осредњени аеродинамички притисак ветра
- SRPS U.C7.111/1991- Оптерећење ветром- Динамички коефицијент и аеродинамички притисак ветра
- SRPS U.C7.112/1991- Оптерећење ветром - Оптерећење ветром зграда
- SRPS U.C7.113/1991- Оптерећење ветром- Оптерећење ветром осталих грађевинских конструкција

Оптерећење конструкција ветром последица је дејства аеродинамичког притиска ветра, коефицијента силе или притиска и изложене површине конструкције. Ветар се у овом стандарду може дефинисати на више начина: [7]

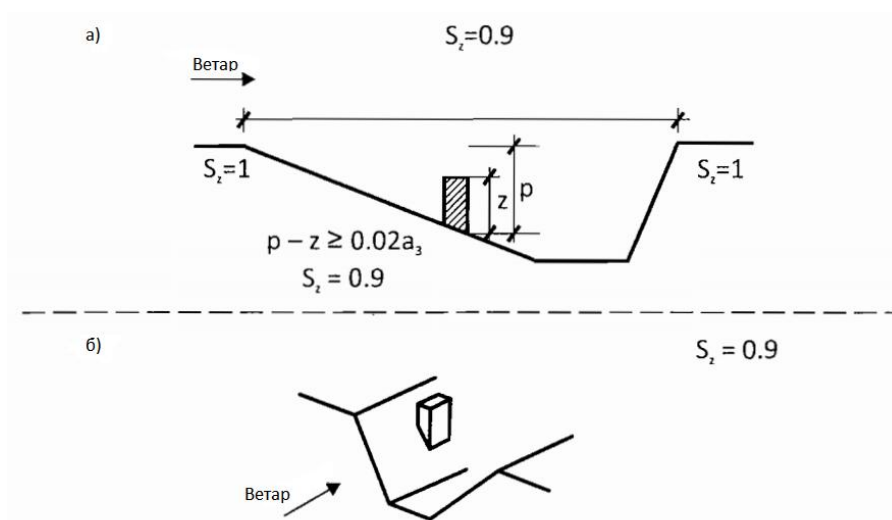
- У метеоролошком смислу- као хоризонтално или приближно хоризонтално струјање ваздуха
- У смислу механике флуида- као турбулентно кретање флуида ваздуха
- У математичком смислу- као случајан, стационаран и ергодичан процес
- У смислу оптерећења- као динамичко оптерећење случајног карактера, које се, у прорачуну по овом стандарду, третира као квазистатичко и делује у хоризонталним равнима

Аеродинамички притисак ветра q представља квазистатички притисак ветра по јединици површине оптерећене конструкције. Рачуна се изразом $q = \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot 10^3 (kN / m^2)$, где је ρ густина ваздуха у kg / m^3 , а v брзина ветра у m / s .

Осредњени аеродинамички притисак ветра $q_{m,T,z}$ за одговарајућу брзину ветра $v_{m,T,z}$, одређен је једначином, $q_{m,T,z} = q_{m,T,10} S_z^2 K_z^2 (kN / m^2)$,

- где су: S_z - фактор топографије,

K_z - фактор експозиције терена.



Слика 14. Фактор топографије терена S_z при деловању ветра а) управно на осу околине; б) паралелно оси околине, [3]

Основни притисак ветра је једнак аеродинамичком притиску са пројектном основном брзином ветра: $q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \rho (v_{m,T,10} k_t k_T)^2 (kN / m^2)$,

- где су: k_t - фактор временског осредњивања (углавном $k_t = 1$),

k_T - фактор повратног периода.

Густина ваздуха ρ је количина ваздуха у јединици запремине, она зависи од више фактора, као што су: количина водене паре у атмосфери, географска локација, ваздушни притисак и температура, итд. Густина ваздуха, при притиску од $p = 1 \text{ bar}$ и температури од $T = 288 \text{ K} = 15^\circ \text{C}$, износи $\rho = 1,225 (kg / m^3)$. Ако је објект на већој надморској висини, може се узети у обзир мања густина ваздуха: $\rho = 1,225 - \frac{H}{8000} (kg / m^3)$, где је H надморска висина. Веома често се усваја густина ваздуха $\rho = 1,25 (kg / m^3)$.

Храпавост терена утиче на оптерећење ветром, што се изражава фактором експозиције K_z . Усвојене су три класе храпавости терена: [3]

- Класа храпавости А: велике водене површине (мора и језера), мирне и узбуркане
- Класа храпавости В: отворени, равни терени са ретким појединачним препрекама, дрвећем, кућама, сл.
- Класа храпавости С: шумовити предели, индустријске зоне, урбани комплекси, градови

У неким земљама, као што су нпр. САД, Канада, Јапан, постоји и класа храпавости D: “центри великих градова”.

Фактор експозиције K_z дат је степеним законом у облику: $K_z = \sqrt{b} \cdot \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha$,

-где су: b ; α - параметри храпавости терена зависни од класе храпавости
 z_{ref} - референтна висина од 10m (на којој се мери брзина ветра)

Оптерећење ветром добија се према следећем изразу: $w = q_{g,T,Z} \cdot C \cdot A$

Аеродинамички притисак ветра се за велике круте конструкције, одређује изразом:

$$q_{g,T,Z} = q_{m,T,Z} \cdot G_z \left(kN / m^2 \right),$$

-где су: C - коефицијент притиска или силе
 A - изложена површина конструкције
 G_z - динамички коефицијент

Европска техничка регулатива утицај ветра на конструкције сагледа у оквиру стандарда EN 1991-1-4:2005.

Брзина и притисак ветра, се према овом стандарду, састоје од средње флукутирајуће компоненте. Основна брзина ветра v_b је величина која зависи од ветровитости подручја и промене ветра по висини која се одређује на основу храпавости и топографије терена. Преко основне брзине ветра се израчунава средња брзина ветра v_m , док се флукутирајућа компонента ветра добија на основу интезитета турбуленције.

Основна брзина ветра једнака је производу фундаменталне брзине ветра $v_{b,0}$, коефицијента правца и коефицијента сезонског деловања.

$$v_b = C_{dir} C_{season} V_{b,0}$$

Средња (просечна) брзина ветра узима у обзир храпавост терена $c_r(z)$, топографију терена $c_o(z)$ и референтну висину изнад терена.

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$$

Коефицијент храпавости $c_r(z)$ узима се у обзир услед варирања средње брзине ветра на локацији конструкције. У зависности од висине, одређује се преко следећих израза:

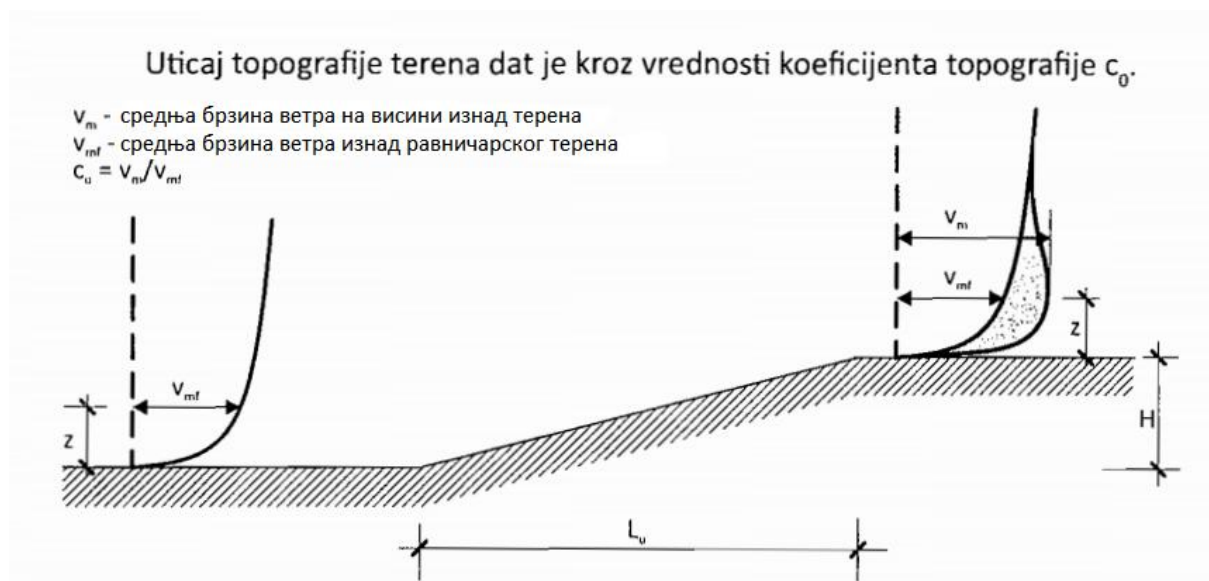
$$\text{За } z_{\min} < z \leq z_{\max} = 200 \quad c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$\text{За } z \leq z_{\min} \quad c_r(z) = c_r(z_{\min}) = k_r \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right)$$

-где је k_r коефицијент храпавости терена, који се рачуна као:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{z_0}{0,05} \right)^{0,07}$$

Утицај топографије терена изражава се кроз коефицијент топографије c_o .



Слика 15. Повећање брзине ветра због топографије терена, [3]

Приликом прорачуна конструкције, било да је у питању грађевински објект, мост и сл. изузетно је битно имати у виду дјество ветра. Од карактеристика саме конструкције, зависи у којој се мери ветар утицати на њену стабилност. Дејство ветра је, улед његове стохастичке природе, немогуће математички одредити са одређеним правцем и интензитетом. Због тога се на одређеном подручју врши вишегодишње посматрање и прикупљање података у вези учесталости и интензитета ветра у том подручју, са циљем одређивања могућег дејства ветра на конструкцију у току њене експлоатације. Ипак, постоји велики случајева рушења конструкције, што због превида у току конструисања, што због неочекиваних налета јаких ветрова, за које конструкција није ни димензионисана, због мале вероватноће њихове појаве. Анализирањем оваквих појава долази се до бољег увида у дејство ветра на конструкције, што даље доводи до корекције постојаћих прописа и чини будуће конструкције трајнијим и сугурнијим.

3.4 Температурни утицаји/ термичка дејства

Термичка дејства на конструкцију или елемент конструкције, представља она дејства која настају услед преомене температурног поља у одређеном временском интервалу. Према пореклу ова дејства спадају у индиректна променљива оптерећења. Утицај температуре на конструкције достиже сво пун значај када се увиди разлика температуре ваздуха између зимске и летње сезоне. Утицај температуре на металне и дрвене конструкције најзначајнији је у току процеса монтаже елемената конструкције, док су током експлоатационог века, угрожени само елементи који су под непосредним утицајем спољашњег ваздуха. Под утицајем температуре се сматра, промена температуре у оси елемената или разлика температуре између одређених делова елемената.

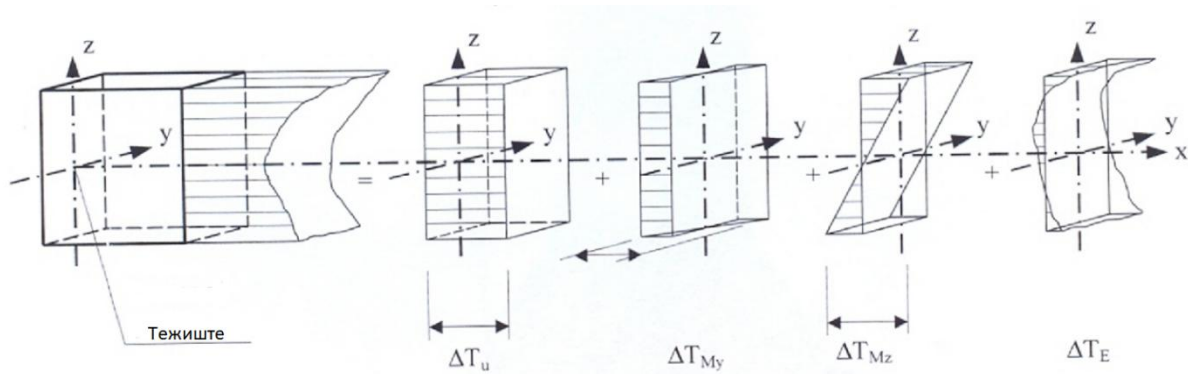
Термичка дејства на конструкције се у европској техничкој регулативи разматрају се Еврокод стандардом: EN 1991-1-1-5. Све вредности термичког дејства дате у овом стандарду су карактеристичне вредности, са годишњом вероватноћом прекорачења од 0,02, уколико није другачије назначено.

Расподела температуре одређеног конструкцијског, дели се на четири саставне компоненте: [3]

- Компонента линеарно променљиве температуре $\Delta T_u = T - T_0$
- Компонента линеарно променљиве температурне разлике ΔT_{My} , ΔT_{Mz} око осе z-z
- Компонента линеарно променљиве температурне разлике ΔT_{Mz} , око осе y-y
- Компонента нелинеарне температурне разлике ΔT_e , ово резултира у равнотежи напона, који не производе оптерећење елемената

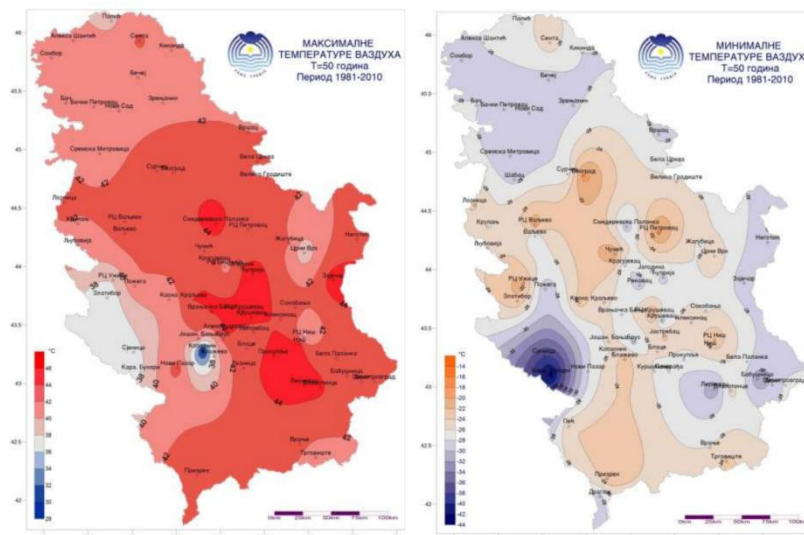
-где су: T - просечна температура конструкцијског елемента услед климатских температура у зимској или летњој сезони, као и услед експлоатационих температура

T_0 - температура на којој је конструкција саграђена (монтирана)

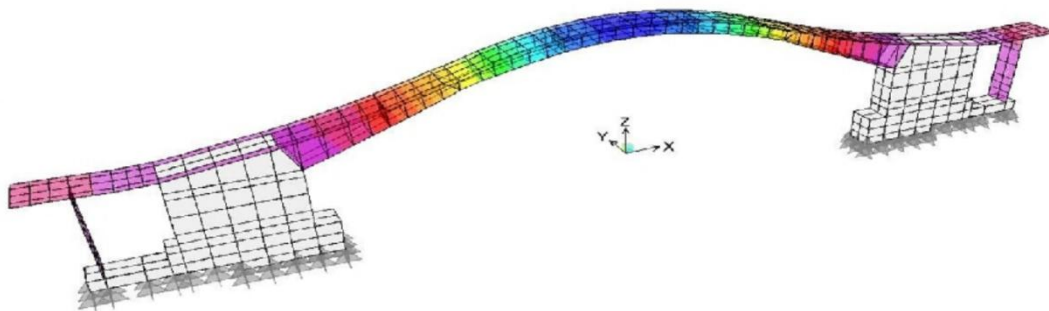


Слика 16. Компоненте температурног профила у конструктивном елементу, [10]

Величина термичких утицаја зависи од више различитих фактора: локалних климатских услова (соларна радијација, дневна и сезонска промена температуре ваздуха у хладу, влага и брзина ветра), оријентације и масе конструкције, гометрије, као и од физичких својстава материјала конструкције и завршна обрада загреваних површина.



Слика 17. Карта максималне и минималне температуре Србије, [7]



Слика 18. Термална анализа конструкције моста, [10]

3.5 Сеизмичко оптерећење

Земљотрес представља осциловање делова тла, проузроковано природним или вештачким узроцима (експлозије). Они су изазвани сложеним географским процесима земљине коре, који доводе до ослобађања унутрашње Земљине енергије. Сеизмичко оптерећење представља инцидентно директно дејство, динамичке природе.



Слика 19. Ефекат земљотреса на металне конструкције, [10]

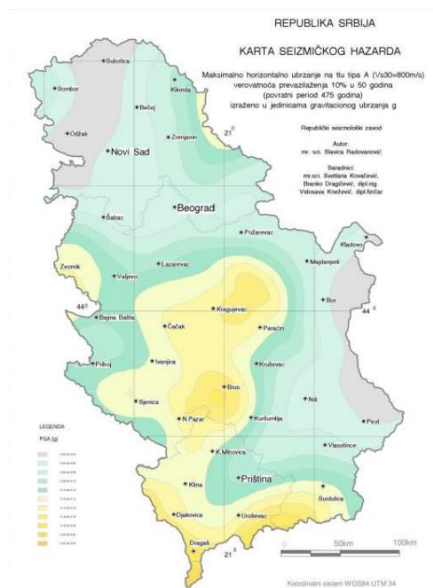
Дрхтање и цепање тла довољно великог интензитета може бити погубно за конструкције и објекте, а поред тога може да доведе и до ликвефакције тла. Ликвефакција тла је појава промене механичких особина тла услед његовог натапања, при чему оно губи своју чврстоћу и понаша се као течност. Ликвефакција настаје услед смањења смичућег напона између честица тла. Ово смањење може бити изазвано кретање подземних вода навише, што је честа последица земљотреса. Ова појава може да изазове велике штете, како на мостовима тако и на зградама, које се нагињу или тону у натопљени седимент.



Слика 20. Последице ликвефакције тла, [11]

Оцењивање вероватноће потенцијалне сеизмичке опасности, односно сеизмички хазард, усвојен је у свим развијенијим земљама и разматра се у оквиру европске техничке регулативе ЕВРОКОД-а 8, чија је сврха пројектовање сеизмички отпорних конструкција.

Наша земља се налази у области умерене сеизмичке активности, у којој су магнитуде од 5,7 до 5,9 степени Рихтерове скале. Земљотреси у нашој земљи не представљају рушилачке земљотресе и веће штете услед земљотреса се могу једноставно спречити квалитетном израдом објеката.



Слика 21. Карта сеизмичког хазарда Републике Србије, [7]

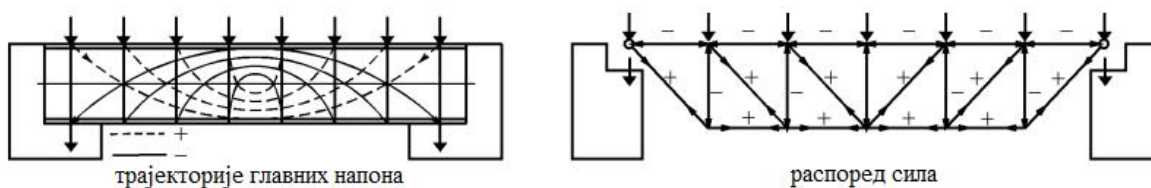
У грађевинарству се укупна сеизмичка сила у две међусобно ортогоналне равни, израчунава као: $S = K \cdot G$

-где су: К- укупни сеизмички коефицијент за хоризонтални правац

G- Укупна тежина објекта и опреме изнад нивоа темеља

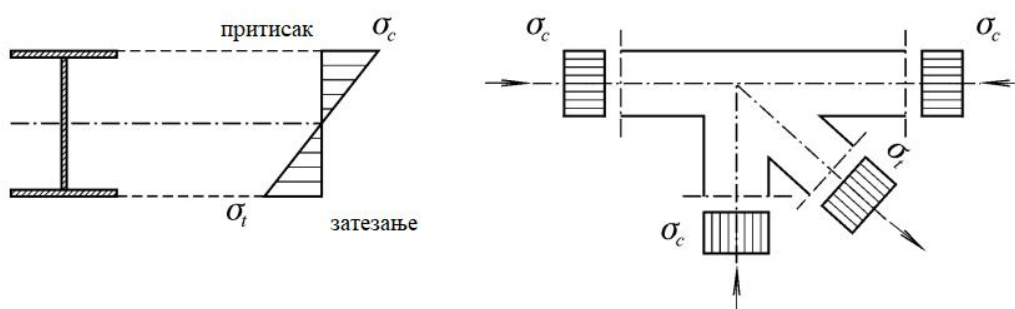
4. Носачи

Под носачима се подразумевају елементи конструкције који под оптерећењем подлежу претежно деформацијама савијања. Са гледишта отпорности материјала, савијање носача може бити узроковано следећим случајевима напрезања: чистим правим савијањем, савијањем силама, косим савијањем, косим савијањем силама и ексцентричним притиском или затезањем. Код носача се јављају напрезања у области великих ексцентритета, односно напрезања код којих су утицаји савијања знатно већи од утицаја аксијалних напрезања, било да је реч о притиску или затезању. Елементи код којих се ексцентрични притисак и затезање јављају у зони малих ексцентритета не спадају у носаче, јер је код њих доминантан утицај аксијалних сила.



Слика 22. Пуни и решеткасти носачи- напрезање, [1]

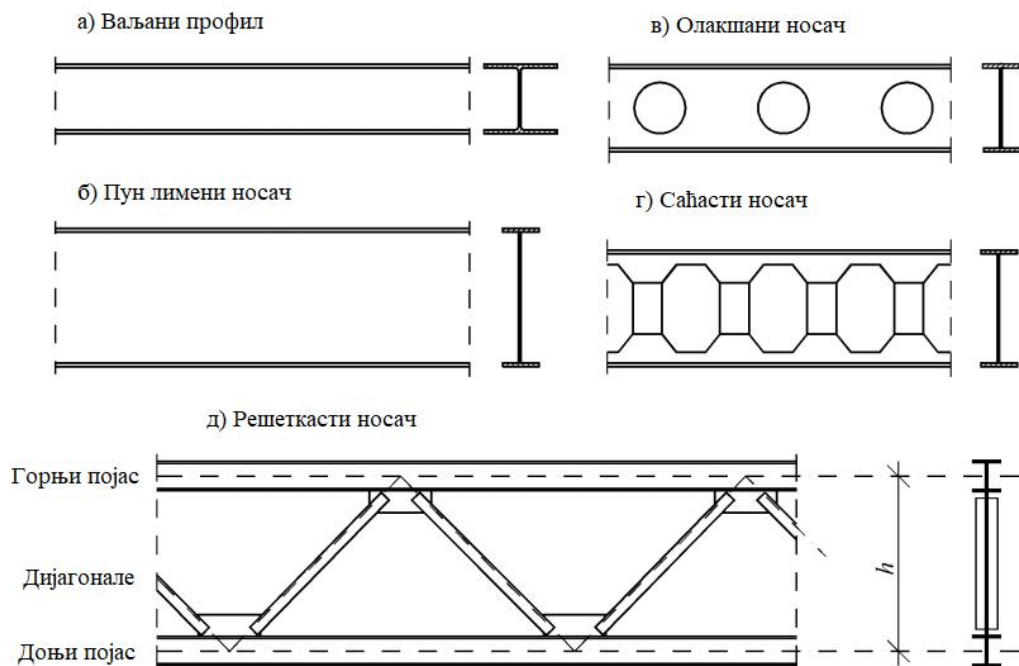
Носачи се могу извести на два основна начина, као пуни носачи са појасевима који су повезани ребром дуж целог носача или као решеткасти носачи, чији су појасеви међусобно повезани штаповима испуне само у одређеним тачкама (вертикалама и дијагоналама). Без обзира на то што имају исту сврху и што се супростављају сличном оптерећењу, пуни и решеткасти носачи се знатно разликују по начину напрезања и конструкцијском обликовању. Пријем момента савијања се код обе врсе носача постиже на сличан начин, помоћу појасних штапова (ламела), док се код пријема трансверзалних (смичућих) сила увиђају битне разлике. Решеткасти носачи пријем смичућих сила остварују аксијалним напрезањем штапова испуне, док пуни носачи трансверзалну силу прихватају ребром.



Слика 23. Дијаграм нормалних напона код пуних и решеткастих носача, [1]

И пуни и решеткасти носачи поседују низ предности и мана, које утичу на адекватан избор носача. Пуни носачи су тежи од решеткастих, али су једноставнији за израду, монтажу и одржавање, па се могу испоставити као економичнији.

Једноставан, раван облик пуних носача, као и мањи обим по јединици дужине, чине јефтину антикорозиону заштиту. Ови носачи постају тешки и неисплативи при већим распонима и оптерећењима, те се у таквим случајевима препоручује примена решеткастих носача. Граница економичности, са гледишта распона, између пуних и решеткастих носача је између 20 m и 30 m, у зависности од корисног оптерећења, док су за распоне преко 30 m решеткасти носачи дефинитивно исплативији.

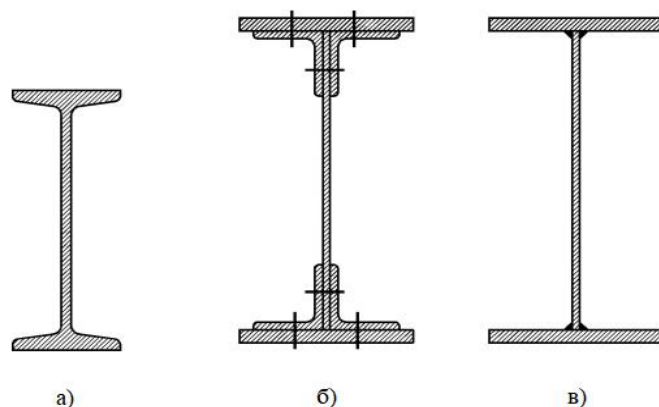


Слика 24. Еволуција облика носача у тежњи за смањењем њихове масе, [1]

Олакшани и саћасти носачи представљају прелаз између пуних и решеткастих носача. Они су настали у циљу олакшавања носача, уз минималан утрошак рада. Израђују се једноставним резањем и заваривањем ваљаних или заварених I-профила. Због своје мање масе у односу на пуне носаче, овакви профили се користе за средње распоне од 10- 15 метара.

4.1 Пуни носачи

Као пуни носачи најчешће се употребљавају стандардни ваљани профили, као и профили који су састављани од равних челичних лимова, спојених уз помоћ угаоника, закивака или методом заваривања. Зависно од методе спајања лимова и остваривања њиховог заједничког рада, носаче је могуће поделити на: заковане носаче и носаче у завареној изради. Ова два типа носача, се заједнички називају пуни лимени носачи. Пуни лимени носачи су се пре почетка масовне употребе заваривања, као веома ефикасног вида спајања челичних елемената, изводили искључиво у закованој изради. Мостоградња је један од најчешћих примера примене ове врсте носача. Данас се производња пуних лимених носача заснива искључиво на завареној изради, међутим добро познавање правила за прорачун и конструисања пуних лимених носача у закованој изради је неопходно због реконструкције и санације великог броја постојећих објеката, поготово мостова.

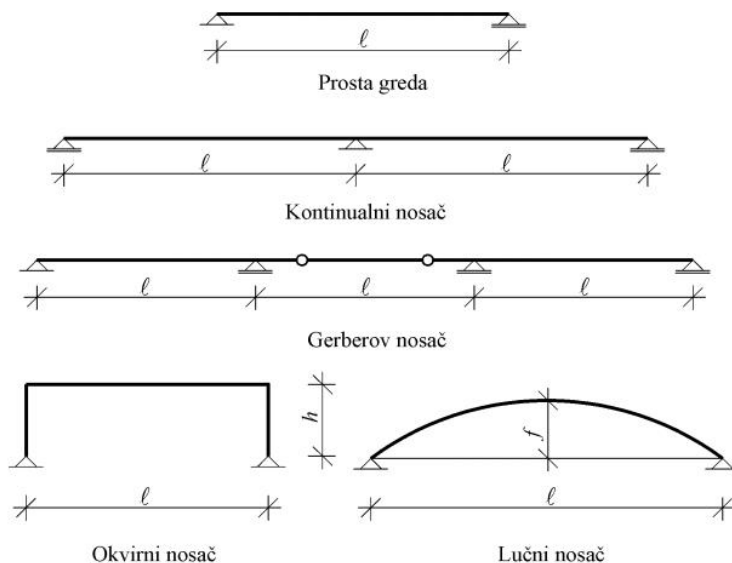


Слика 25. Различити облици пуних носача: а) ваљани I-профил; б) пуни лимени носач у закованој изради; в) пуни лимени носач у завареној изради, [1]

Карактеристични статички системи пинух лимених носача су:

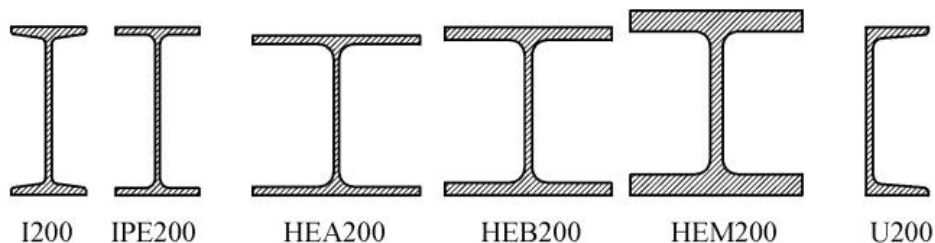
- Гредни системи (проста греда и континуалани носач)
- Оквирни носачи
- Системи са косим затегама
- Висећи системи

Најчешће примењивани статички системи пуних носача су свакако гредни носачи, али честу примену такође имају и оквирни и лучни носачи.



Слика 26. Статички системи пуних носача, [1]

Пуни носачи израђени од ваљаних профила имају широку примену у зградарству, где су распони релативно мали. Они се у зградарству изложени мирним оптерећењима умереног интензитета. Предност ваљаних носача у односу на лимене је у томе што су они једноставнији и јефтинији за израду. Недостатак ваљаних профила је њихова већа тежина од еквивалентних лимених носача, што је последица недовољно развијене технологије ваљања. Од широког избора ваљаних профила, највећу примену као носачи имају I-профили и ређе U-профили.



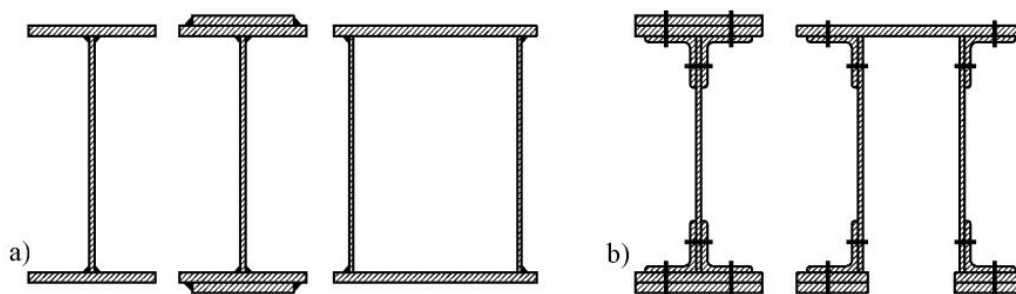
Слика 27. Различити типови ваљаних профила, [1]

Пуни лимени носачи примењују се када су распони и оптерећења толико велики да је носивост ваљаних профила недовољна, као и у свим осталим случајевима када је њихово коришћење економски оправдано. Ови носачи поседују низ предности у односу на ваљане носаче, а недостатак им је виша цена.

Основне предности пуних лимених носача у односу на ваљане су: [2]

- Мања тежина конструкције
- Велике могућности обликовања попречног пресека
- Савладавање великих распона и прихватање великих оптерећења
- Варирање димензија попречног пресека, и прилагођавање димензија пресека стварним потребама (покривање дијаграма момента)
- Могућност оптимизације попречног пресека

Цена пуних лимених носача је нешто већа од цене ваљаних, због већег обима радних операција потребних за њихову израду. Спајање челичних лимова у једну целину и креирање једноставног попречног пресека захтева додатне радне операције, тако и веће трошкове. Међутим, на основу горе наведених предности, а нарочито мањег утrophка материјала, пуни лимени носачи су у великом броју случајева најјекономичније решење, па због тога уживају велику примену у области зградарства и мостоградње.



Слика 28. Попречни пресеци пуних лимених носача: а) у завареној изради; б) у закованој изради, [1]

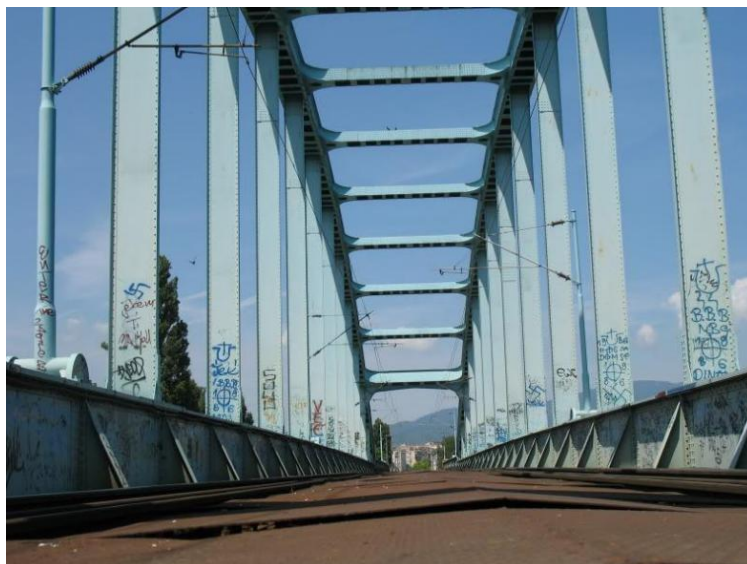
Код заварених носача појасне ламеле се директно заварују на ребра, док се код закованих ова веза добија уз помоћ појасних угаоника и закивака. Појасни угаоници поред тога што омогућавају повезивање управних лимова, доприносе и раду попречног пресека. Пуни лимени носачи у завареној изради поседују низ предности у односу на заковане, међу којима су најбитније: [1]

- Мања тежина
- Бржа и једноставнија израда
- Мања јединична цена
- Једноставније настављање и бржа монтажа
- Лакше одржавање
- Јефтинија антикорозивна заштита итд.

Ове предности лимених носача у завареној изради у потпуности су потиснуле заковане носаче, зато се данас пуни лимени носачи израђују скоро увек у заверној изради.



Слика 29. Примена пуних лимених носача у завареној изради,



Слика 30. Примена пуних лимених носача и закованој изради, [12]

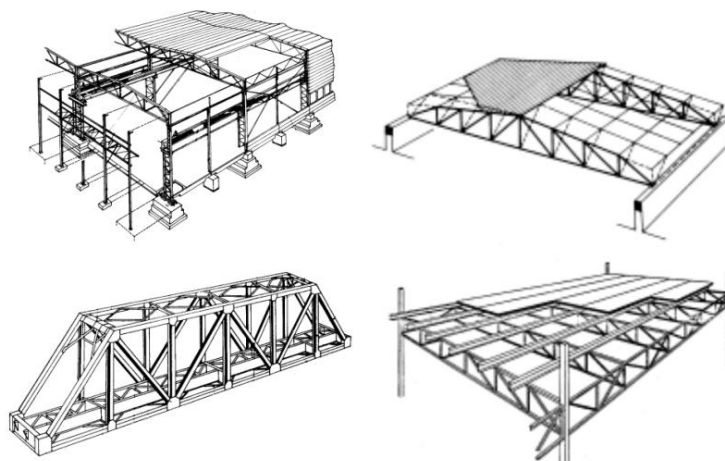
4.2 Решеткасти носачи

Решеткасти носачи настали су у циљу смањења утрошка материјала. Што се тиче утрошка материјала решеткасти носачи јефтинији су од пуних носача. Ови носачи састоје се од међусобно повезаних аксијално оптерећених штапова, који образују троугаону структуру. Моменат савијања преноси се напрезањем појасних штапова, док деловање смичућих сила прихватају штапови испуне. Иако је утошак материјала код решеткастих носача мањи у односу на еквивалентне пуне носаче, њихова израда захтева већи број радних операција, па је њихова јединична цена виша.



Слика 31. Примена решеткастих носача код различитих врста дизалица, [13]

Решеткасти носачи имају широку примену како у зградарству тако и у мостogradњи. У зградарству се најчешће користе као: рожњаче, кровни носачи, подни носачи, крански носачи, спрегови итд. У мостogradњи примењују се као главни носачи друмских, железничких и транспортних мостова.



Слика 32. Примери примене решеткастих носача, [1]

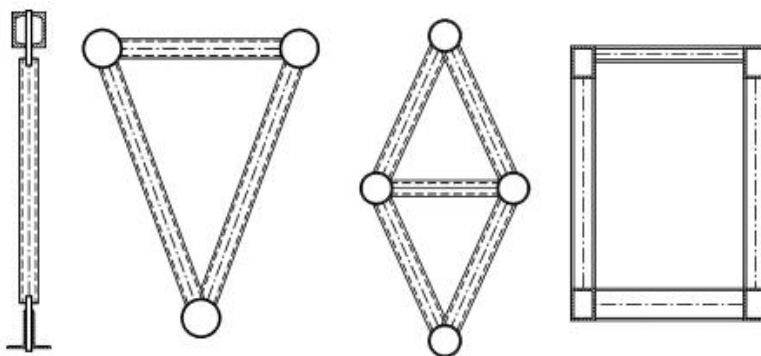
Подела решеткастих носача се врши на основу следећих критеријума: [1]

- Према броју појасева
- Према просторном облику
- Према интензитету оптерећења
- Према начину обликовања чворова

Према броју појасева решеткасти носачи деле се на: двопојасне и вишепојасне.

Двопојасну решеткасти носачи састављени су од два појаса, међусобно повезаних штаповима испуне.

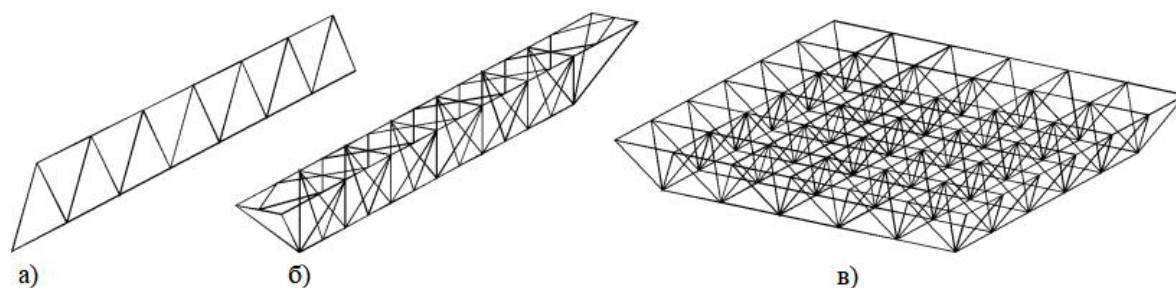
Вишепојасни решеткасти носачи садрже више од два појаса, најчешће се користе носачи са три или четири појаса, мада постоје примери и са више појаса. Тропојасни носачи имају троугаони попречни пресек, па им је горњи или доњи појас удвојен. Попречни пресек четворопојасних носача је углавном квадратног, ромбоичног или трапезастог облика.



Слика 33. Подела решеткастих носача према броју појасева, [1]

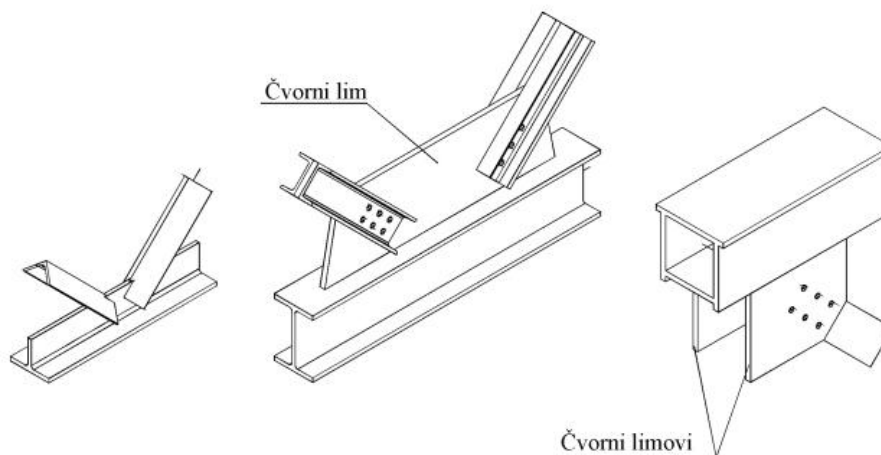
Према просторном положају решеткасти носачи се деле на: раванске и просторне.

Код раванских решеткастих носача системне линије свих штапова леже у једној равни, према томе они спадају у двопојасне носаче. Код просторних носача системне линије не леже у једној равни већ имају просторну структуру. Ови носачи се са статичког гледишта могу поделити на линијске и површинске решеткасте носаче, у зависности од доминантних димензија.



Слика 34. Подела решеткастих носача према просторном положају: а) равански решеткасти носачи, б) линијски просторни решеткасти носачи, в) површински просторни решеткасти носачи, [1]

Према интензитету оптерећења решеткасти носачи могу се поделити на: лаке, средње и тешке носаче. Лаки решеткасти носачи најчешћу примену имају у зградарству за мирна оптерећења, умереног интензитета. Углавном се праве од ваљаних “L”, “T” и “U” профила. Средње тешки решеткасти носачи користе се при већим оптерећењима и распонима. Примењују се као подни, кровни или крански носачи у индустријским објектима, а као штапови ових носача најчешће се користе тешки ваљани профили. Тешки решеткасти носачи користе се код веома великих оптерећења и распона. Најчешће се користе као главни мостовски носачи и као кровни носачи изузетно великих распона, какви се налазе на стадионима, изложбеним халама, дворанама итд. Штапови ових носача изводе се у завареној изради, са сандучастим, шеширастим или “Т” попречним пресеком.

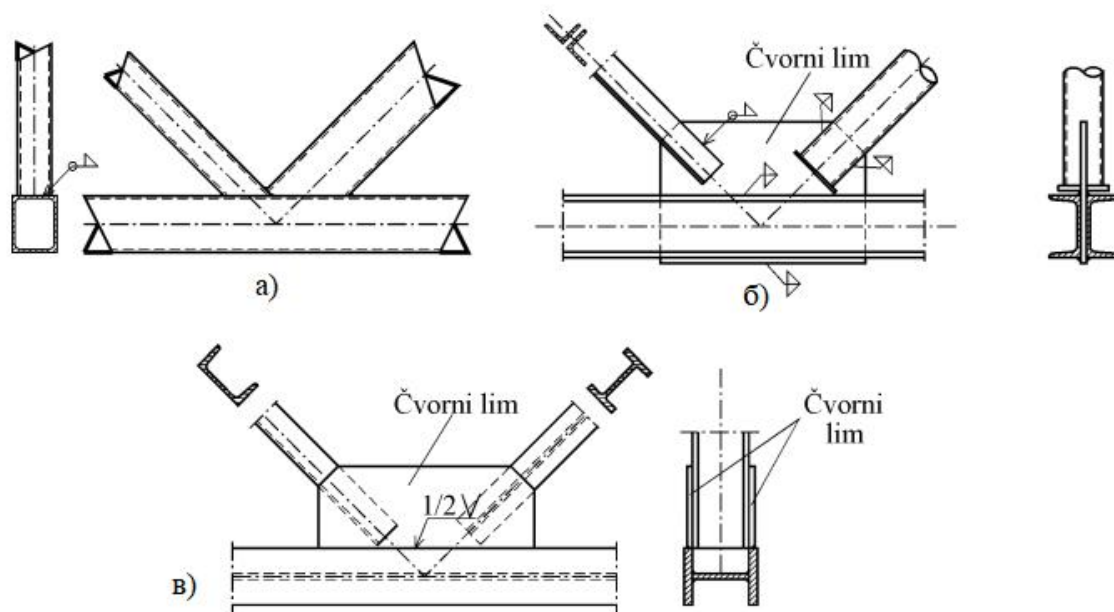


Слика 35. Подела решеткастих носача према интензитету напрезања, [1]

Према начину обликовања чворова, тј. начина спајања појасних и штапова испуне, решеткасти носачи могу се поделити на: решеткасте носаче са чворним лимом и решеткасте носаче без чворног лима.

Код решеткастих носача без чворног лима, штапови испуне су директно везани за појасне штапове. Без чворног лима се најчешће израђују лаки решеткасти носачи.

Код решекастих носача са чворним лимом, веза у чвору се остварује тако што се штапови испуне причвршћују за појасне штапове преко посебних, чворних лимова. У зависности од броја чворних лимова, ови носачи могу бити једнозидни или двозидни.



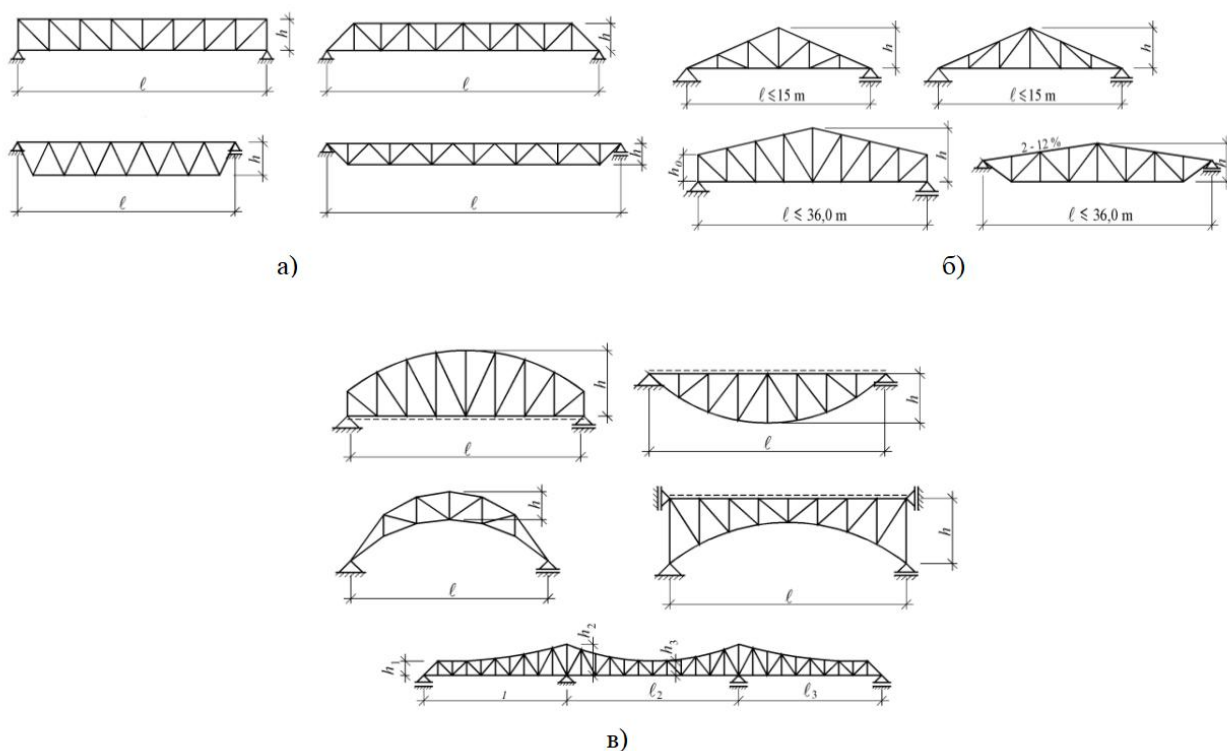
Слика 36. Подела решеткастих носача према начину обликовања чворова: а) решеткаст носач без чворног лима, б) једнозидни решеткаст носач, в) двозидни решеткаст носач, [1]

Приликом пројектовања решеткастих носача и одређивања њихове структуре, неопходно је поштовати следећа правила: [14]

- Оптерећење треба да делује у чворовима
- Дужина притиснутих штапова треба да буде што мања
- Штапови треба да буду прави између чворова
- Системне линије штапова треба да се секу у чворовима
- Углови штапова испуне не треба да буду превише оштри
- Монтажни наставци појасних штапова изводе се изван чворова на страни слабије оптерећеног штапа

У зависности од статичког система, функције носача, типа конструкције и интензитета оптерећења, решеткасти носачи могу имати различите облике и димензије. Њихов облик дефинисан је геометријом појасних штапова, односно спољашњом контуром носача. [1] Према томе, на основу свог облика, решеткасти носачи се могу бити:

- Решеткасти носачи са паралелним појасевима
- Решеткасти носачи са горњим појасом у нагибу
- Решеткасти носачи са параболичним појасом или појасевима



Слика 37. Подела решеткастих носача према облику: а) решеткасти носачи са паралелним појасевима, б) решеткасти носачи са горњим појасом у нагибу, в) решеткасти носачи са параболичним појасом, [1]

5. Конструисање и прорачун лимених носача

Пуни лимени носачи се формирају од једног или више ребара и појасних ламела (ножица). Положај ребара је најчешће вертикалан, осим када је реч о појединим сандучастим или вишезидним мостовским носачима. Висина ребара варира у широком опсегу и зависи од распона носача, интензитета оптерећења и деформацијских критеријума. Висина ребара:

- У високоградњи $h = l/20 - l/35$
- Код друмских мостова $h = l/15 - l/25$
- Код железничких мостова $h = l/10 - l/15$, где је l распон носача

Дебљина ребара би са економског гледишта требала да буде што је могуће мања, јер са њеним повећањем не расте значајно носивост носача на савијање, док се тежина носача значајно повећава. Међутим, од површине ребара директно зависи отпорност носача на смицање, јер ребро прихвата скоро целу смичућу силу. Према томе, дебљина ребра треба бити што мања, а да при томе буде довољна да са одговарајућим факторима сигурности прихвати смичуће напоне. На дебљину ребара такође утиче и носивост шава, односно закивака за повезивање ребра са појасним ламелама. На основу дугогодишњег искуства у пројектовању конструкција, изведене су формуле за израчунавање дебљине ребара t_w и смернице за њихову препоручену вредност.

$$t_w = 0,025 \cdot \sqrt[3]{V \cdot d}$$

- У функцији висине ребара (h_w) и интензитета напрезања:

$$t_w [mm] = 2 + 2h_w [m] \quad \text{за мања оптерећења}$$

$$t_w [mm] = 9 + 2,5h_w [m] \quad \text{за већа оптерећења}$$

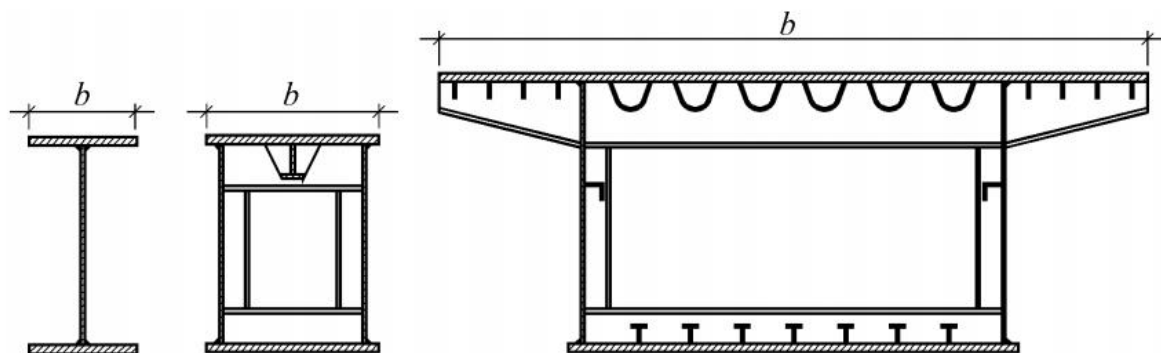
- У функцији висине ребара (h_w) :

$$t_w = h_w / 120 \quad (S235)$$

$$t_w = h_w / 100 \quad (S355)$$

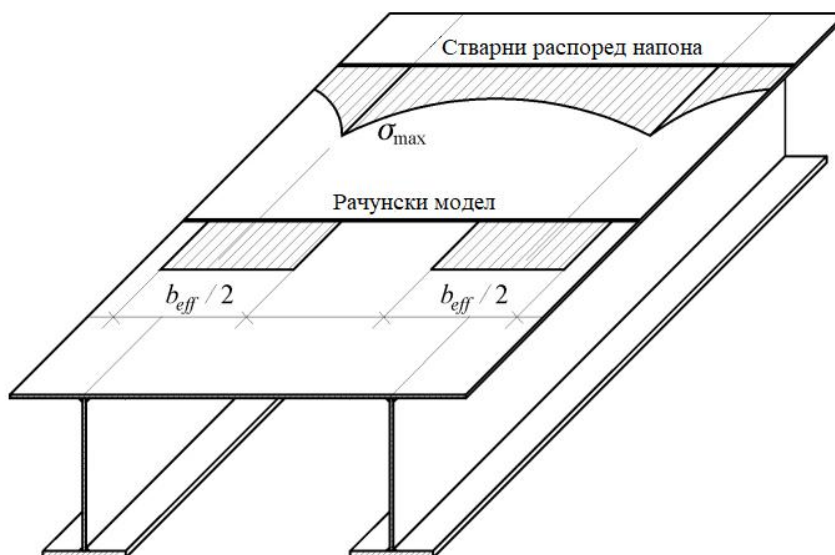
Приказани емпиријски критеријуми за одређивање висине и дебљине ребара представљају само почетну тачку, правилан избор димензије ребара бива потврђен тек након контроле напона и стабилности носача.

Код пуних лимених носача готово читаву трансверзалну силу прима ребро, док појасне ламеле прихватају највећи део момента савијања. Да би се створила што већа носивост на савијање, појасеви се израђују са што већом површином. Ширина појасних ламела зависи од интензитета оптерећења, типа носача, намене носача итд. Површина појасних ламела код двозидних и вишезидних носача је значајно већа у односу на површину појаса једнозидних носача.



Слика 38. Ширине појасних ламела код једнозидних и сандручастих носача, [1]

Када се ради прорачун сандручастих носача широких појаса, веома је битно утврдити ефективну ширину појаса, имајући у виду неравномерну расподелу нормалних сила услед утицаја смицања (shear leg ефекат).

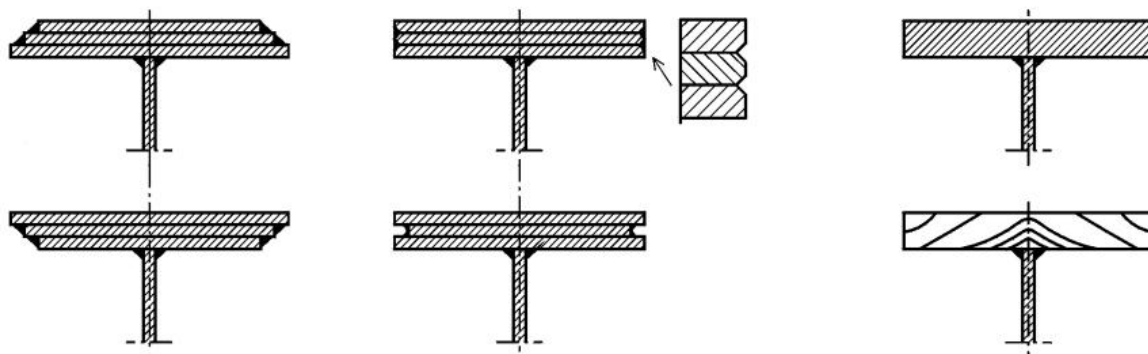


Слика 39. Ефективна ширина појаса, Shear leg ефекат, [1]

Ширина појасних ламела код једнозидних носача, који се углавном израђују као I-пресеци, је ограничена услед појаве локалног избочавања конзолног препуста. Због тога се жељене ширине појасних ламела остварују повећањем дебљине лима. Упркос томе, технологија заваривања не дозвољава коришћење појасних ламела превелике дебљине, зато што током њиховог заваривања, услед велике количине метала, долази до бржег хлађења шавова. То може довести до ламеларног цепања појасева. Према томе, препоручене дебљине појасних ламела су:

- $t_f = 50\text{ mm}$ за Č036 и
- $t_f = 30\text{ mm}$ за Č0561

Потребна површина појаса може се добити међусобним заваривањем више танких ламела, тако формирајући један појесни пакет, при чему се препоручују ламеле дебљине од 10 до 20 mm (у неким случајевима и до 30 mm-мостоградња). При заваривању више ламела ради стварања појаса, треба водити рачуна о томе да виткост ламела не треба да буде веће од граничних вредности, такође није препоручљива примена више од три појасне ламеле. Применом пакета појасних ламела елиминишу се проблеми везани за технологију заваривања и могућа појава кртог лома, али за овакво формирање појасне ламеле потребан је већи број шавова при заваривању.

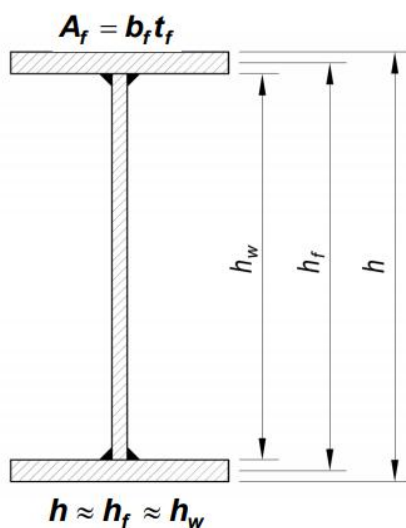


Слика 40. Облици попречног пресека појасних ламела, [1]

Утврђивање потребне површине појасних ламела, као почетне претпоставке за даљи прорачун једног пуног лименог носача, заснива се на следећем изразу из Отпорности материјала:

$$W_{y,pot} \geq \frac{M}{\sigma_{dop}}$$

У случају да су висина и дебљина ребра у напред дефинисани, на основу одговарајућих препорука, онда је могуће одредити потребну површину појаса. Ради добијања једноставних израза, који су погодни за брзу употребу, претпоставља се да је висина носача h као и растојање тежишта појасева, једнако висини ребра d . С обзиром да је код пуних лимених носача висина ребра изузетно већа од дебљине појаса, овом претпоставком се не нарушава тачност израза, док он бива знатно једноставнији.



Слика 41. Попречни пресек носача са ознакама димензија, [2]

Момент инерције и отпорни момент попречног пресека, уз наведене претопставке, а у складу са ознакама на слици, одређују се на следећи начин [1]: [1]

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot d^3 \cdot t_w + 2 \cdot A_f \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$W_y = \frac{1}{d/2} = \frac{1}{6} \cdot d^2 \cdot t_w + A_f \cdot d$$

Када се у неједначину $W_{y,pot} \geq \frac{M}{\sigma_{dop}}$ уврсти W_y , према претходном изразу, добија се потребна повешина појаса A_f у следећем облику [1]:

$$A_f \geq \frac{M/d}{\sigma_{dop}} - \frac{1}{6} \cdot d \cdot t_w$$

У литератури се такође могу наћи и алтернативни изрази за израчунавање потребне површине појаса, као што су:

$$A_f \geq \frac{M/h}{\sigma_{dop}} - 0,15 \cdot d \cdot t_w, \text{ или ако претходно нису дефинисане димензије ребра:}$$

$$A_f \geq 0,9 \cdot \frac{M/h}{\sigma_{dop}}$$

Наведени изрази користе се при прорачуну пуних лимених носача у завареној изради, за пуне лимене носаче у закованој изради потребно је повећати потребну површину појасних ламела за 10-15%, због њиховог ослабљивања отворима за закивке.

Приликом пројектовања пуних лимених носача, постоје одређене неопходне контроле које се морају извршити, а оне су: [13]

Гранична стања носивости:

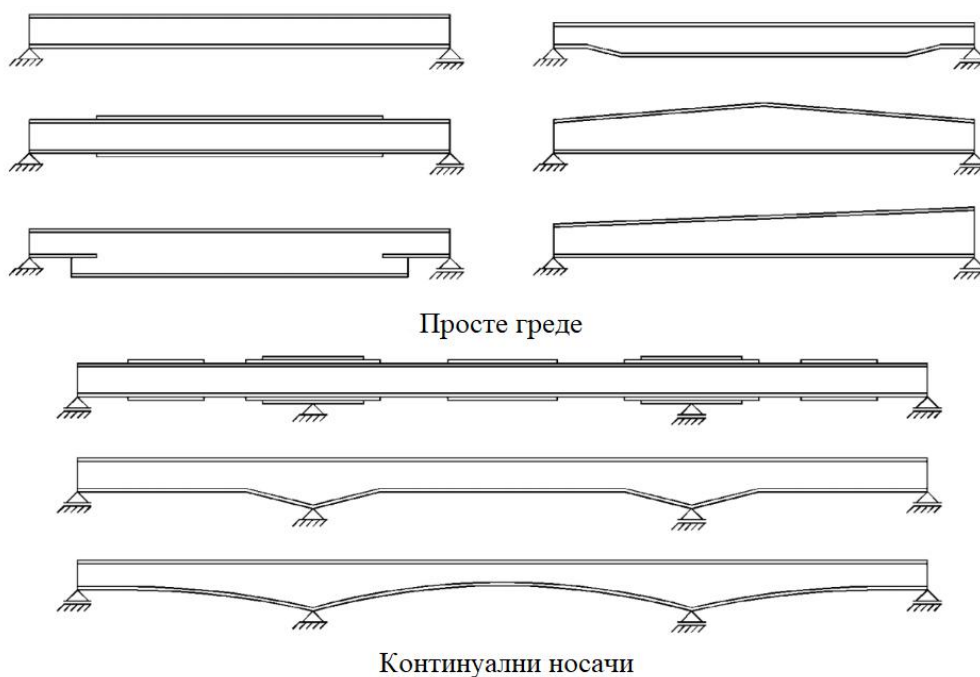
- Контрола носивости попречних пресека (V_{Rd}, M_{Rd})
- Контрола носивости носача на бочно-торзионо извијање ($M_{b,Rd}$)
- Контрола локалног напрезања
- Контрола носивости на избочавање

Гранична стања употребљивости:

- Контрола деформација (угиба и обртања)
- Контрола вибрација (ако је потребно)
- Контрола напон (ако је потребно)

За обликовање пуних лимених носача постоји велики избор могућности, па се њихове геометријске карактеристике и носивост, могу прилагодити статичким утицајима дуж носача, првенствено моменту савијања. Овако је материјал за израду носача распоређен сходно са потребама носача, а тежина носача знатно је смањена. Геометријске карактеристике носача (W_y и I_y) могу се мењати на следеће начине:

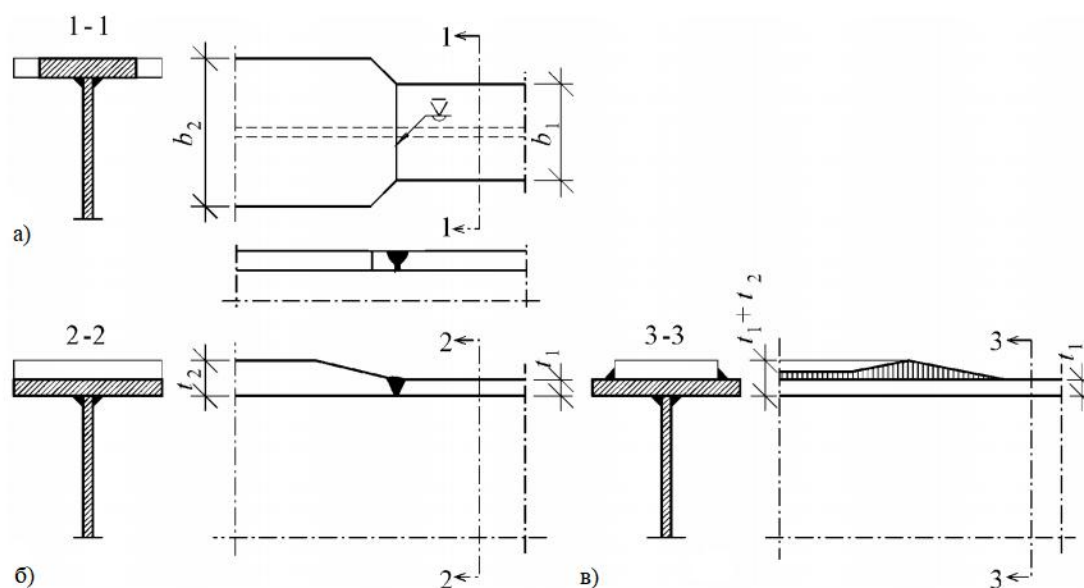
- Променом висине ребра
- Променом површине појасних ламела



Слика 42. Облици пуних лимених носача, [1]

Пуни лимени носачи се најчешће пројектују као гредни носачи, у виду простих греда или континуалних носача. Облик носача зависи од висине ребра, односно промене његове висине дуж носача, па се према томе носачи могу поделити на носаче са константним или променљивиом висином ребра. Носачи статичког система просте греде најчешће се израђују са константном висином ребра, јер је такав облик ребра најједноставнији за израду. Промена носивости код ових носача врши се мењањем површине појасних ламела. Промена површине појаса може се извршити:

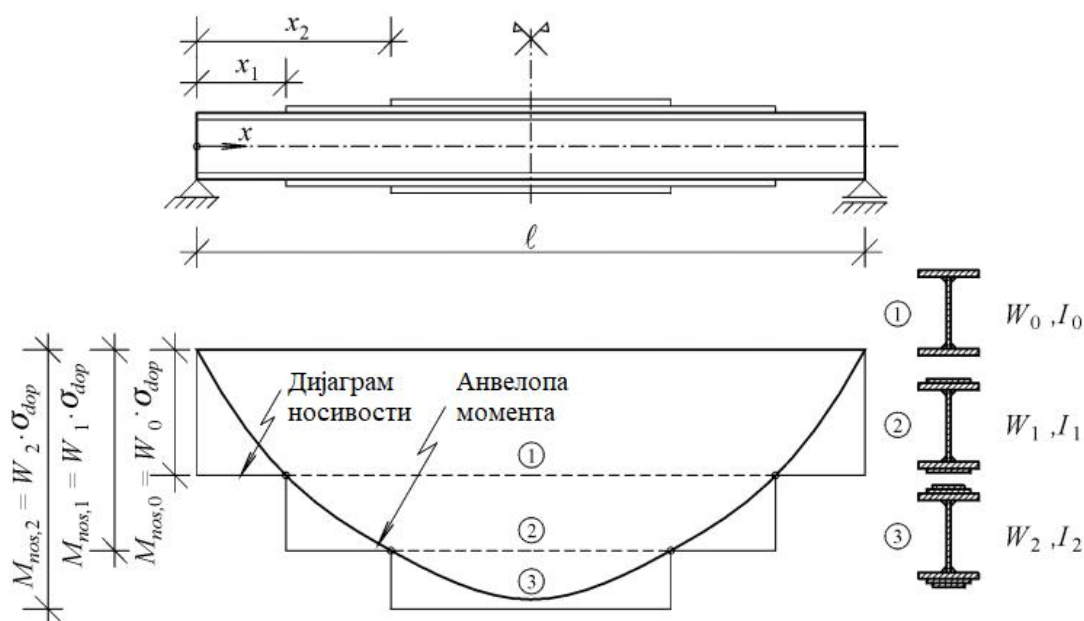
- Променом ширине појасне ламеле
- Променом дебљине појасне ламеле
- Додавањем једне или више додатних појасних ламела



Слика 43. Начини промене површине појасне ламеле, [1]

Независно од тога на који начин се врши промена површине појаса, разликују се пресек који има минималну носивост (основни пресек) и један или више ојачаних пресека. Положај почетака и завршетака ојачања зависе од анvelope момента савијања и носивости основног и ојачаног пресека [1].

Одређивање теоријског почетка ојачања се назива покривање дијаграма момента и врши се графичким или нумеричким путем. Графичко одређивање теоријског почетка ојачања изводи се тако што се на цртеж у истој размери нацртају анvelope момента савијања и хоризонталне линије које представљају носивост основног и ојачаног пресека. Пресеци анvelope и тих линија представљају почетак и завршетке ојачаних појасних ламела.



Слика 44. Графичко одређивање теоријског почетка и краја ојачања, [1]

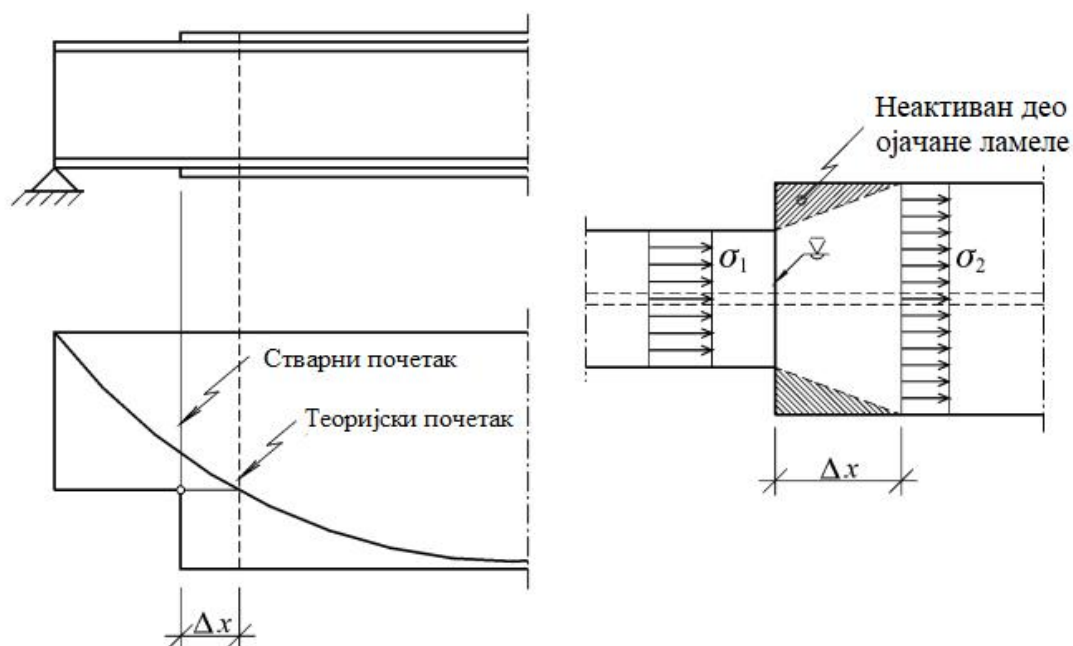
Нумеричко одређивање теоријског почетка ојачања заснива се на познавању израза за анвелопу момената, која представља функцију која зависи од променљиве, то јест од подужне координате x , из услова:

$$M(x) = \frac{q \cdot l}{2} \cdot x - \frac{q}{2} \cdot x^2 = M_{nos,0}$$

Ова квадратна једначина, има два решења, која представљају теоријски почетак и завршетак ојачања, а она се добијају на следећи начин:

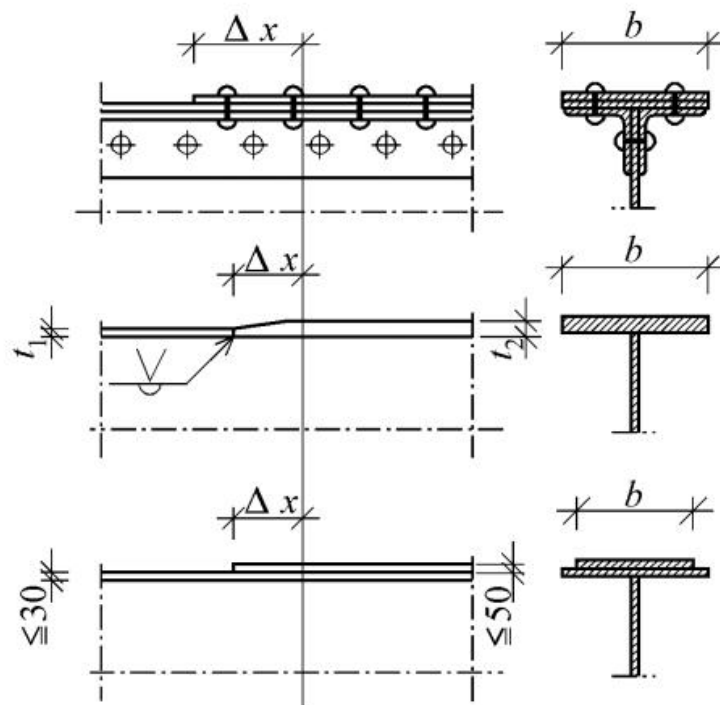
$$x_{1,2} = \frac{l}{2} \cdot \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{M_{nos,0}}{\max M}} \right)$$

Будући да се место теоријског почетка ојачања не поклапа са стварним почетком ојачања, стварни почетак ојачања помера се нешто испред теоријског ради остваривања правилног активирања ојачаног пресека. Да би ојачани пресек на месту теоријског почетка био активан и способан да прихвати предвиђена оптерећења, неопходно је да стварни почетак буде лоциран испред њега.



Слика 45. Стварни почетак ојачања појасне ламеле, [1]

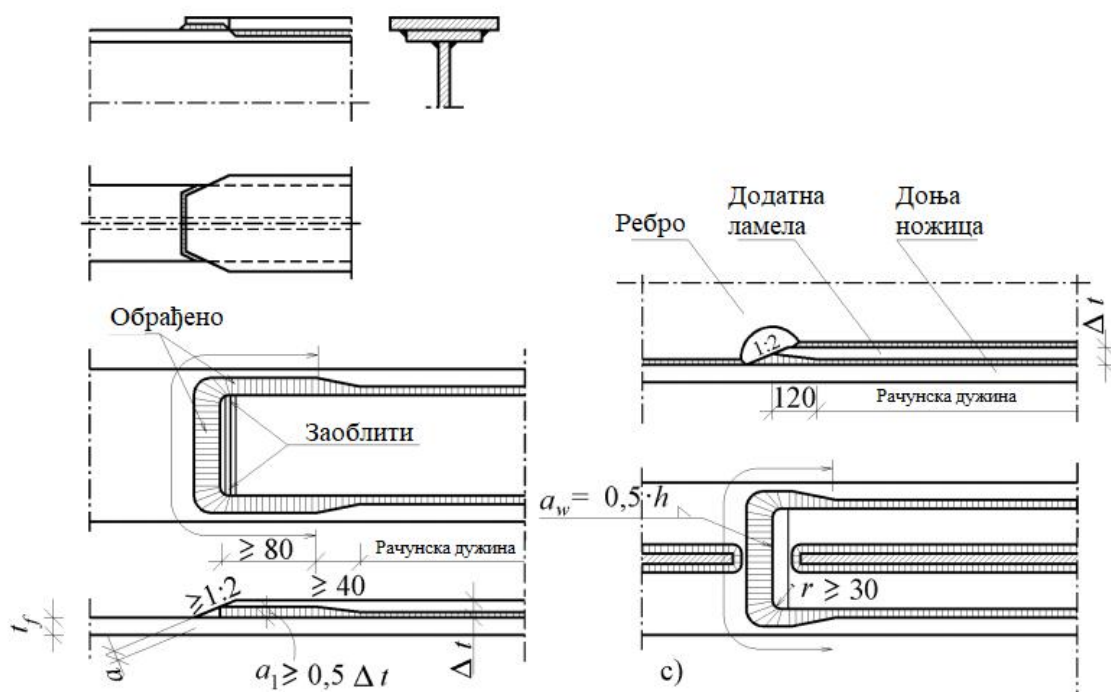
Код пуних лимених носача у завареној изради стварни почетак се помера за половину ширине појаса ($\Delta x \geq b/2$), а код закованих носача за два реда закивака ($\Delta x \geq 5 \cdot d_1$) [1].



Слика 46. Положај стварног почетка код носача у закованој и завареној изради, [1]

Почетак ојачања код заварених носача је веома осетљиво место и треба му посветити доста пажње при обликовању, неадекватним решењем доста се може умањити њихова јачина на замор.

По правилу додатне ламеле би требале да буду уже од основне, да не би дошло до компликација током заваривања. У случају када су додатне ламеле шире од основних, чеони и и подужни шавови не леже у истој равни, па прелазак са подужних на чеоне шавове отежава процес заваривања, а на том прелазу могућа је појава прслина. Ширина додатне ламела би требала да буде правилно усклађена тако да се она може правилно спојити заваривањем са основном ламелом. Додатне ламеле се најчешће постављају са спољашње стране, али се у случајевима када је неопходно да спољашње ивица носача буду равне читавом његовом дужином оне могу поставити са унутрашње стране основних ламела.

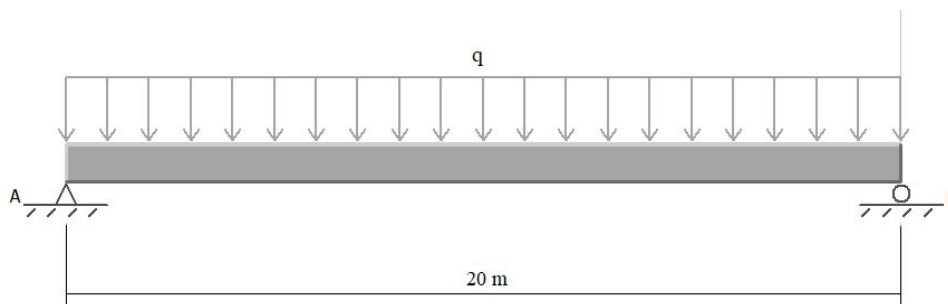


Слика 47. Обликовање везе додатних појасних ламела, [1]

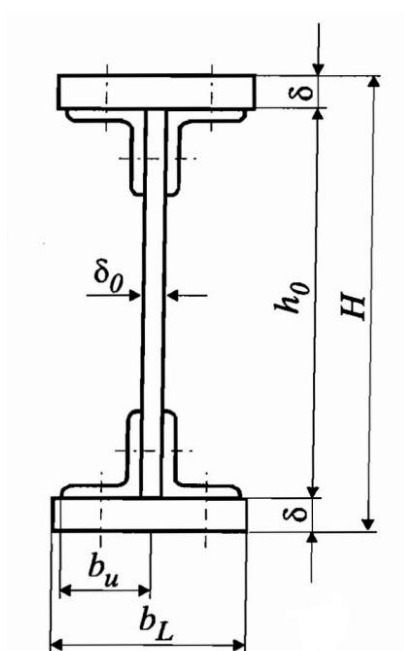
6. Пример

Прорачун једног лименог закованог носача чији је распон, $l = 20 \text{ m}$. Носач је оптерећен једнако подељеним теретом $q = 140 \text{ kN/m}$, као што је приказано на слици 1.(a). На слици 1.(b) приказан је попречни пресек носача. Допуштени напони су:

- за основни материјал: $\sigma_{\text{dop}} = 180 \text{ MPa}$
- за закивке: $\tau_{\text{dop}} = 140 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{bdop}} = 330 \text{ MPa}$



Слика 1.(a) Оптерећење носача



Потребна висина носача:

Висина основног пресека h_0 бира се у границама:

$$h_0 = \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{12} \right) \cdot l$$

За посматрани проблем усваја се да је висина основног пресека:

$$h_0 = \frac{1}{12} = \frac{20}{12} = 1.67 \text{ m}$$

Слика 1.(б) Попречни пресек носача

Димензије вертикалног лима:

На избор дебљине вертикалног лима, δ_0 , утичу следећи фактори:

- економичност конструкције захтева да дебљина лима буде што мања;
- дебљина вертикалног лима мора бити довољна да напон,

$$\tau_{\max} = \frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot \delta_0}, \text{ буде у дозвољеним границама;}$$

- да постоји потребан степен сигурности против избочавања;
- носивост закивака и шавова такође зависи од дебљине вертикалног лима.

Препоруке су:

$$\delta_0 [\text{mm}] = 8 + 2 \cdot h_0 [\text{m}] - \text{за слабије оптерећене носаче,}$$

$$\delta_0 [\text{mm}] = 9 + 2.5 \cdot h_0 [\text{m}] - \text{за јаче оптерећене носаче.}$$

Обично се дебљина вертикалног лима креће од 6mm до 20mm.

За посматрани проблем је:

$$\delta_0 [\text{mm}] = 9 + 2.5 \cdot h_0 [\text{m}] = 9 + 2.5 \cdot 1.67 = 13.18 \text{mm}$$

За дебљину вертикалног лима усваја се $\delta_0 = 13 \text{mm}$.

Избор појасних угаоника

Појасни угаоници могу бити равнокраки и разнокраки са ширим крацима да би се обезбедио економичнији пресек, већа ширина појаса, а тиме и већа стабилност притиснутог појаса од извијања. Препоруке за ширину крака су:

$$b_u [\text{mm}] = 60 + 25 \cdot h_0 [\text{m}] - \text{за слабије оптерећене носаче,}$$

$$b_u [\text{mm}] = 75 + 25 \cdot h_0 [\text{m}] - \text{за јаче оптерећене носаче}$$

За посматрани случај крак појасног угаоника је:

$$b_u [\text{mm}] = 75 + 25 \cdot h_0 [\text{m}] = 75 + 25 \cdot 1.67 = 116.75 \text{mm}$$

Дакле, за ширину крака појасног угаоника усваја се: $b_u = 150 \text{mm}$. За дебљину појасног угаоника усваја се иста или нешто већа дебљина од дебљине вертикалног лима. Према томе за појасне угаонике се усваја разнокраки L-профил L 100x150x12.

Избор појасних ламела

Да би се олакшало конструисање закованих монтаћних наставка препоручује се да се узме једнака дебљина свих ламела у појасу, и то приближно као што је дебљина појасних угаоника, а код јаче оптерећених носача може да буде и већа. Што се тиче ширина ламела, постоје практична правила којих се треба придржавати:

- најмања ширина ламела треба да је већа од ширине појасних угаоника са сваке стране за по 5mm до 10mm, да би ивице угаоника и њихова подвеза биле увек покривене ламелама;
- да не би дошло до извијања, препуштање ламела преко угаоника је максимално $4d_1$ мерено од осе закивака на угаонику, када постоји једна ламела, где је d_1 пречник закивака. За већи број ламела то препуштање се ограничава на $3d_1$, зато да би ламеле биле међусобно добро спрегнуте;
- ако је потребан већи препуст ламела мора да сед употреби један ред закивака који везује ламеле ван угаоника да би се спречило витоперење ламела и улажење влаге између ламела.

Број ламела у једном појасу закованог носача је од 1 до 4.

Код заварених носача ширина ламела је толика да се могу извести по два бочна угаона шава. Ширина ламеле која је причвршћена са суседном ламелом само континуалним боћним шавовима дуж својих ивица, не треба да пређе 30δ да би се избегло избочавање ламела, где је δ - дебљина ламела.

Препоруке:

$$b_L = 2 \cdot b_u + 2 \cdot \delta_u + \delta_0 + [5...10] \text{ mm}$$

За посматрани проблем биће:

$$b_L = 2 \cdot b_u + 2 \cdot \delta_u + \delta_0 + [5...10] \text{ mm}$$

За ширину ламеле усваја се:

$$b_L = 2 \cdot 150 + 2 \cdot 12 + 13 + 10 = 347 \text{ mm}$$

За ширину ламеле усваја се: $b_L = 350 \text{ mm}$

Појачање основног пресека ламелама

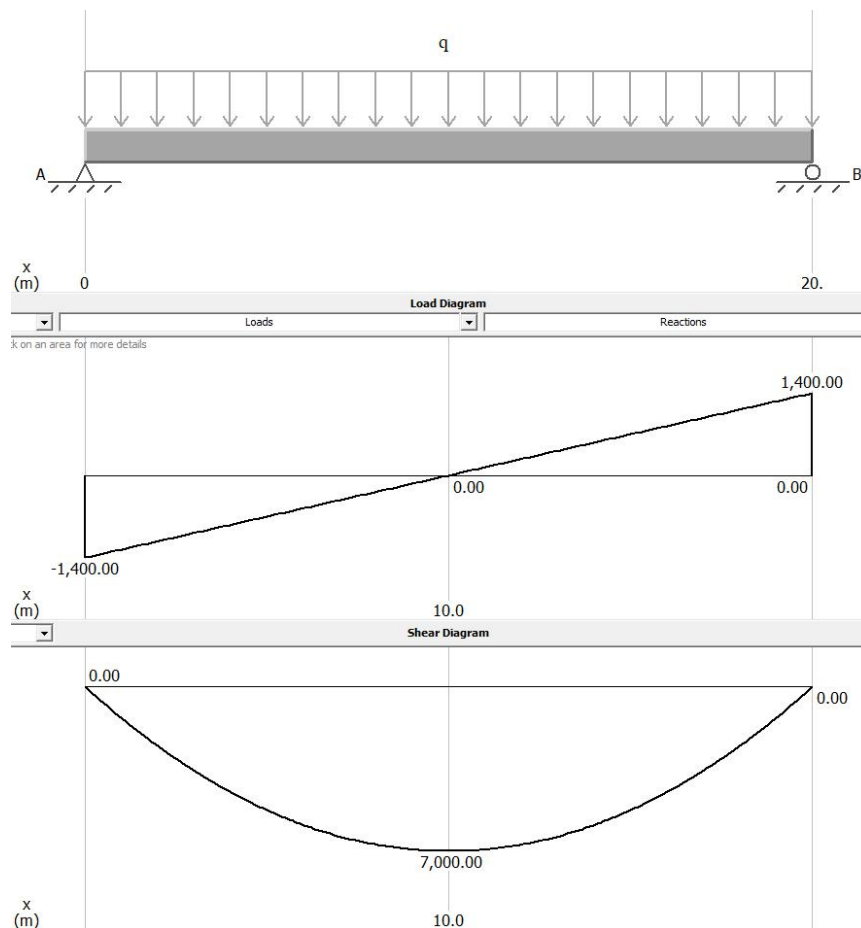
Отпори ослонаца су:

$$\sum F_i = 0 \Rightarrow F_a = F_b = \frac{ql}{2} = \frac{140 \cdot 20}{2} = 1400 \text{ kN}$$

Максимални момент савијања је за $z = \frac{l}{2}$ и износи:

$$M_f = M_{f \max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{140 \cdot 20^2}{8} = 7000 \text{ kNm}$$

Статички дијаграми за посматрани проблем дати су на слици 2.



Слика 2. Статички дијаграми

Потребан отпорни момент нето пресека у средини распона, јер је то пресек са највећим моментом савијања, је:

$$W_n = \frac{M_{f \max}}{\sigma_{\text{dop}}} = \frac{7000 \cdot 10^3}{180 \cdot 10^6} = 38889 \text{ cm}^3$$

Потребна површина нето пресека ламела у једном појасу је:

$$A_p = \frac{W_n}{h_0} - \frac{W_{0n}}{H} + d_1 \cdot \delta$$

где је: W_{0n} - отпорни момент отвора за закивке, $H = h_0 + 2 \cdot \delta$.

Ако се усвоје три ламеле ширине 380mm и пречник закивака за везу ламела са основним пресеком $d_1 = 25mm$ и дебљина једне ламеле $t = 15mm$, добија се:

$$A_p = \frac{38889}{167} - \frac{16362}{176} + 2.5 \cdot 4.5 = 151.15cm^2$$

где је: $\delta = 3 \cdot t = 3 \cdot 15 = 45mm$, $H = 1670 + 90 = 1760mm = 176cm$

Са друге стране је:

$$A_p = 3 \cdot b_L \cdot t = 3 \cdot 35 \cdot t \Rightarrow t = \frac{A_p}{3 \cdot 35} = \frac{151.15}{105} = 1.44cm = 14.4mm$$

Дакле, усвојене ламеле $3 \neq 380 \times 15$ задовољавају.

Статичке вредности за заковани лимени носач дате су у табlici.

Контрола напона у носачу

- **Ивични нормални напон у средини распона**

У средини распона је максимални момент, па су ту и три ламеле.

$$\sigma_{\max} = \frac{W_{f\max}}{W_{3n}} = \frac{7000 \cdot 10^3}{40444 \cdot 10^{-6}} = 173.08MPa < \sigma_{dop} = 180MPa$$

- **Смичући напон у пресеку десно од ослоња**

Максимална трансверзална сила је $F_T = F_A = F_B = 1400kN$. У пресеку десно од ослоња, $z = 0$, нема ламела. Смичући напон је:

$$\tau_{\max} = \frac{F_A \cdot S_x}{I_x \cdot \delta_0} = \frac{1400 \cdot 9186}{1260199 \cdot 13} = 78.5MPa < 0.6 \cdot \sigma_{dop} = 108MPa$$

С обзиром на то да су оба напона мања од одговарајућих допуштених напона, усвојени носач задовољава.

Одређивање теоријских дужина ламела

Моменти носивости носача одређени су са $\sigma_{\max} \cdot W_n$ у табlici. Изједначавањем момента носивости са моментима савијања добија се образац за одређивање положаја почетака и крајева појединачних ламела. Моментна линија као обвојница максималних момената, има у средини распона зараван у дужини $0.12l$, па је:

$$M_{\text{nosiv}} = \frac{4 \cdot M_{\max} \cdot x \cdot (0.88l - x)}{(0.88l)^2}$$

$$x = \frac{0.88 \cdot l}{2} \cdot \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{M_{\text{nosiv}}}{M_{\max}}} \right)$$

- основни пресек:

$$x_1 = \frac{0.88 \cdot 20}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1821}{7000}} \right) = 1.231 \text{ m}$$

Теоријска дужина прве ламеле је: $l - 2x_1 = 20 - 2 \cdot 1.231 = 17.5 \text{ m}$

- основни пресек и једна ламела:

$$x_2 = \frac{0.88 \cdot 20}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2944}{7000}} \right) = 2.101 \text{ m}$$

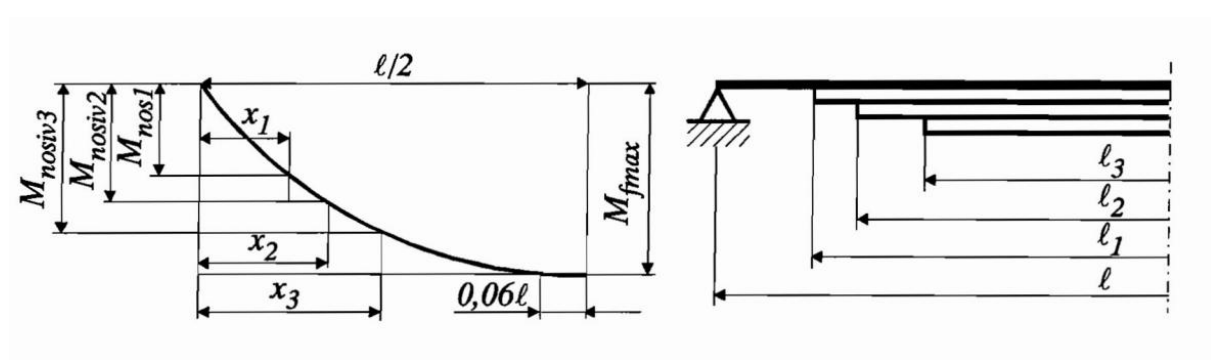
Теоријска дужина друге ламеле је: $l - 2x_2 = 20 - 2 \cdot 2.101 = 15.8 \text{ m}$

- основни пресек и две ламеле:

$$x_3 = \frac{0.88 \cdot 20}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4063}{7000}} \right) = 3.1 \text{ m}$$

Теоријска дужина треће ламеле је: $l - 2x_3 = 20 - 2 \cdot 3.1 = 13.8 \text{ m}$

Преглед теоријских дужина ламела дат је на слици 3.



Слика 3. Приказ теоријских дужина ламела

Контрола упоредног напона у висини линије загибака на појасним угаонцима

- У пресеку $a = x_1 = 1.231m$ од ослоња (теоријски почетак прве ламеле)

$$Q^a = \frac{ql}{2} - qa = \frac{140 \cdot 20}{2} - 140 \cdot 1.231 = 1227.66kN$$

$$\sigma = \sigma_{\max}^{3L} \cdot \frac{2y}{h_0} = 173.08 \cdot \frac{2 \cdot 78}{167} = 161.68MPa$$

$$\tau = \frac{Q^a \cdot S_x^a}{I_x^0 \cdot \delta_0} = \frac{1227.66 \cdot (4654 + 666.19)}{1260199 \cdot 1.5} = 34.6MPa$$

где је: I_x - момент инерције основног пресека (10. колона, 2. врста у табlici);

$S_x^a = S_x^u + S_x^{VL}$; S_x^u - статички момент основног пресека (8. колона, 2. врста у табlici); $S_x^{VL} = 5.5 \cdot 1.5 \cdot 80.75 = 666.19cm^3$ - статички момент за део вертикалног лима изнад линије загибака.

Упоредни напон је:

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{161.68^2 + 3 \cdot 34.6^2} = 172.4MPa < \sigma_{dop} = 180MPa$$

- У пресеку $b = x_2 = 2.101m$ од ослоња (теоријски почетак друге ламеле)

$$Q^b = \frac{ql}{2} - qb = \frac{140 \cdot 20}{2} - 140 \cdot 2.101 = 1105.86kN$$

$$\sigma = \sigma_{\max}^{3L} \cdot \frac{2y}{h_0 + 2 \cdot t} = 173.08 \cdot \frac{2 \cdot 78}{167 + 2 \cdot 1.5} = 158.83MPa$$

$$\tau = \frac{Q^b \cdot S_x^b}{I_x^{1L} \cdot \delta_0} = \frac{1105.86 \cdot (4654 + 4797 + 666.19)}{2067639 \cdot 1.5} = 36.07MPa$$

где је: I_x^{1L} - момент инерције пресека са једном ламелом (10. колона, 3. врста у табlici); $S_x^b = S_x^u + S_x^{1L} + S_x^{VL}$; S_x^u - статички момент основног пресека (8. колона, 2. врста у табlici); S_x^{1L} - статички момент за једну ламелу (8. колона, 3. врста у табlici); S_x^{VL} - статички момент за део вертикалног лима изнад линије закивака.

Упоредни напон је:

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{158.83^2 + 3 \cdot 36.07^2} = 170.66 \text{ MPa} < \sigma_{dop} = 180 \text{ MPa}$$

Контрола напона на почетку треће ламеле не мора да се ради јер ће очигледно бити мањи од $\sigma_{dop} = 180 \text{ MPa}$.

Прорачун растојања закивака за везу појаса са вертикалним лимом

За пречник закивака усваја се $d_1 = 25 \text{ mm}$.

- У првом пољу од ослонца (основни пресек)

$$e = \frac{F_{\min} \cdot I_x^0}{Q \cdot S_x^u} = \frac{123.75 \cdot 1260199}{1400 \cdot 4654} = 23.93 \text{ cm}$$

где је: $F_{\min} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{bdop} = 2.5 \cdot 1.5 \cdot 33 = 123.75 \text{ kN}$; $Q = F_A = 1400 \text{ kN}$;

I_x^0 - момент инерције основног пресека (10. колона, 2. врста у табlici);

S_x^u - статички момент основног пресека (8. колона, 2. врста у табlici)

- На растојању $a = 1.231 \text{ m}$ од ослонца (пресек са једном ламелом)

$$e_1 = \frac{F_{\min} \cdot I_x^{1L}}{Q^a \cdot S_x^{1L}} = \frac{123.75 \cdot 2067639}{1227.66 \cdot 9451} = 22.05 \text{ cm}$$

где је: $F_{\min} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{bdop} = 2.5 \cdot 1.5 \cdot 33 = 123.75 \text{ kN}$;

$$Q^a = Q - q \cdot a = 1400 - 140 \cdot 1.231 = 1227.66 \text{ kN}$$

I_x^{1L} - момент инерције за пресек са једном ламелом (10. колона, 3. врста у табlici)

S_x^{1L} - статички момент за основни пресек и једну ламелу (8. колона 2. + 3. врста у табlici)

- На растојању $b = 2.101m$ од ослонца (пресек са две ламеле)

$$e_2 = \frac{F_{\min} \cdot I_x^{2L}}{Q^b \cdot S_x^{2L}} = \frac{123.75 \cdot 2900214}{1105.86 \cdot 14322} = 22.66cm$$

$$\text{где је: } F_{\min} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{bdop} = 2.5 \cdot 1.5 \cdot 33 = 123.75kN ;$$

$$Q^b = Q - q \cdot b = 1400 - 140 \cdot 2.101 = 1105.86kN ;$$

I_x^{2L} - момент инерције за пресек са две ламеле (10. колона, 4. врста у табlici)

S_x^{2L} - статички момент за основни пресек и две ламеле (8. колона, 2. + 3. + 4. врста у табlici)

- На растојању $c = 3.1m$ од ослонца (пресек са три ламеле)

$$e_3 = \frac{F_{\min} \cdot I_x^{3L}}{Q^c \cdot S_x^{3L}} = \frac{123.75 \cdot 3758309}{966 \cdot 19267} = 24.99cm$$

$$\text{где је: } F_{\min} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{bdop} = 2.5 \cdot 1.5 \cdot 33 = 123.75kN ;$$

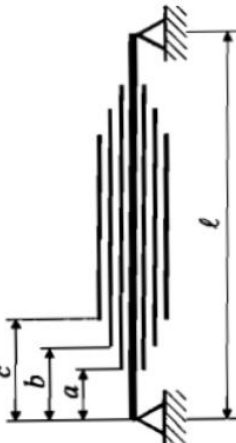
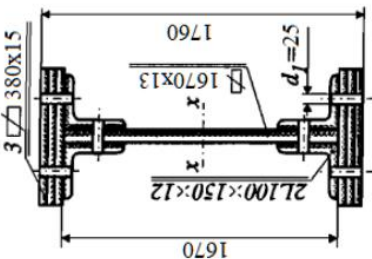
$$Q^c = Q - q \cdot c = 1400 - 140 \cdot 3.1 = 966kN$$

I_x^{3L} - момент инерције за пресек са три ламеле (10. колона, 5. врста у табlici)

S_x^{3L} - статички момент за основни пресек и три ламеле (8. колона, 2. + 3. + 4. + 5. врста у табlici)

Пошто су рачунска растојања хоризонталних закивака у појасу већа од максимално допуштеног размака који износи: $e_1 = (6 \div 8)d_1$, то се на целој дужини појаса усваја да је растојање између закивака:

$$e_1 = 6d_1 = 6 \cdot 25 = 150mm$$

Редни број		Подаци за површине		Подаци за статичке моменте			Подаци за моменте инерције						Подаци за отпорне моменте и моменте носивости								
		Бруто пресек елемента		Одбитак рупе зајакљика	Површина пресека	Одстојање тежишта елемента од тежишта	Статички момент елемента	Σ I _x елемената пресека	Момент инерције рупа за зајакљике	I _{kn} нето пресека елемента	Σ I _{kn} нето пресека елемента	Висина	Отпорни момент W _n нето пресека	Отпорни момент W _n opt	Највећи напон						
		cm ²	cm ²	cm ²	cm	cm ³	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm ³	kNm	MPa						
1		Слика попречног пресека		Димензије		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Основни пресек		Верикални лам 1670x13 835x13		217.1	32.57	108.55	41.75	4532	504558		75684	428874									
				114.8	15	57.4	81.08	4654	755641	1260199	98609	657032	1085906	167	13005	1821					
				2L100x150x12	I ламела	114	15	57	84.15	4797	807440	2067639	106218	701222	1787128	170	21025	2944			
Појасне ламете		II ламела 2 380x15 1 380x15		114	15	57	85.45	4871	832575	2900214	109526	723049	2510177	173	29019	4063					
				2 380x15	III ламела	114	15	57													
				1 380x15	2 380x15	114	15	57													
6	Свега		673.9		336.95		23799		3758309						3255389	176	36993	5179			

Закључак

Носачи представљају елементе конструкције доминантно напрегнуте на савијање. У пракси се сусрећемо са многобројним врстама носача. Тип носача зависи од услова њихове примене, интензитета оптерећења која требају да прихвате, потребног распона, цене итд. Носачи представљају основне елементе већине носећих конструкција и имају веома широку примену како у грађевинарству за извођење објеката са носећом конструкцијом од метала тако и у машиноградњи. Носачи се према начину израде деле на пуне и решеткасте носаче, који се битно разликују по начину напрезања појединих делова и конструкцијском обликовању. Као пуни носачи користе се стандардни ваљани профили или носачи израђени међусобним спајањем равних челичних лимова методом заваривања или закивцима. Пројектовање носача представља процес одабира типа, облика и димензија адекватног носача за одређене потребе, уз одговарајући прорачун. Развој металних конструкција, са собом је повлачио и развој софтверских пакета. Ови пакети у себи садрже програме за анализу и прорачун конструкција и њихових елемената, што нам олакшава процес пројектовања. Носачи због своје широке примене у индустрији, грађевинарству и машиноградњи представљају незамењив елемент металних конструкција.

У овом раду је прво дат детаљан преглед дејстава на конструкције према најновијим европским стандардима и врсте носача према конструкцијском извођењу. За један лимени заковани носач дужине 20 m који је континуално оптерећен целом својом дужином, дата је анализа конструкције, прорачун димензија и анализа напона.

Литература

- [1] Буђевац Д., Марковић З., Богавац Д., Тошић Д., Металне конструкције -Основи прорачуна и конструисања, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд 1997.
- [2] https://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/predavanje_6_1555920914456.pdf , преузето Новембар 2019.
- [3] Митровић С., Металне и дрвене конструкције 1, Високо грађевинско-геодетска школа, Београд, 2011.
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Beam_\(structure\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Beam_(structure)) , преузето Новембар 2019.
- [5] <https://www.timglobaleng.com/sr/project/noseca-konstrukcija-eksponata/> , преузето Новембар 2019.
- [6] <http://www.vpts.edu.rs/nastavni-materijali/djordjedjuric/Zidane%20i%20drvene%20konstrukcije/2%20Opterecenje%20na%20konstrukcije.pptx> ,преузето Новембар 2019.
- [7] <http://www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2015/EvrokodoviSajamGrađevinarstva.pdf> , преузето Новембар 2019.
- [8] <http://archiwum.thenews.pl/afb3f432-f5cd-4c1a-8590-417be66a4a11.file> , преузето Новембар 2019.
- [9] <https://sites.lsa.umich.edu/ksmoore/research/tacoma-narrows-bridge/> , преузето Новембар 2019.
- [10] <http://learningfromearthquakes.org/2011-03-11-tohoku-japan/11-resources/48-effects-of-the-2011-tohoku-japan-earthquake-on-steel-structures> , преузето Новембар 2019.
- [11] <https://liquefactionmitigation.weebly.com/liquefactions-basics.html> , преузето Новембар 2019.
- [12] http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/110246/mod_resource/content/1/Puni%20limeni%20nosa%C4%8Di%202017-2018.pdf , преузето Новембар 2019.
- [13] http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/110248/mod_resource/content/1/Re%C5%Aletke%202017-2018.pdf , преузето Новембар 2019.