

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: 738/2013

Далибор Живковић

Анализа оптерећења раванске решетке

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др. Весна Марјановић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

- Дефинише решеткасте носаче, њихову функцију и карактеристике
- Анализира оптерећење раванске решетке
- Уради рачунски пример за конкретно примењену раванску решетку

Препоручена литература:

[1] . Д. Буђевац, З. Марковић, Д. Богавац, Д. Тошић, *Металне конструкције – основе прорачуна и конструисања*, Београд, 1997.

[2] Б. Андоић, Д. Дујмовић, И. Џеба, *Металне конструкције 1*

[3] С. Митровић, *Металне и дрвене конструкције 1*, Београд, 2011.

Крагујевац, септембар 2014.

ментор:

Др. Весна Марјановић - доцент

РЕЗИМЕ

У овом раду, најпре се говори о дефинисању решеткастих носача, њиховим функцијама и карактеристикама, као и подели и облицима. У следећим поглављима је приказано детаљно разматрање оптерећења раванског решеткастог носача, које може да потиче од сила природног порекла (гравитације и метеоролошких појава: снег, ветар, киша) или од самог човека. Затим се говори о напрезањима, напонима и могућим ломовима раванских решеткастих носача који настају као последица оптерећења.

Посебна пажња у раду посвећена је прорачуну кровног решеткастог носача хале, за који је дат комплетан ток прорачуна.

Кључне речи: Равански решеткасти носачи, анализа оптерећења, прорачун носача хале

SUMMARY

In this paper, first we talk about defining trusses, their functions and features, as well as division and forms. The next chapter shows a detailed consideration of the load plane truss, which can originate from the forces of natural origin (gravitational and meteorological phenomenon: snow, wind, rain) or from the man himself. And speaking of stress, tension and possible breakage of plane trusses that arise as a result of stress.

Special attention in the paper is devoted to the calculation of roof truss plants, which gives the entire course of the budget.

Keywords: The flat lattice girders, load analysis, budget carrier halls

САДРЖАЈ

УВОД.....	2
1. НОСАЧИ.....	3
1.1 Подела решеткастих носача.....	4
1.2 Облици раванских решеткастих носача.....	5
2. ОПТЕРЕЋЕЊА КОЈА ДЕЛУЈУ НА РАВАНСКЕ РЕШЕТКЕ.....	8
2.1 Стално оптерећење.....	9
2.2 Промењиво оптерећење.....	10
2.2.1 Оптерећење снегом.....	10
2.2.2 Оптерећење ветром.....	13
2.2.3 Температурни утицаји.....	20
3. НАПРЕЗАЊА РАВАНСКИХ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА.....	24
3.1 Аксијално напрезање.....	25
4. МОГУЋИ ЛОМОВИ РАВАНСКИХ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА.....	27
4.1 Замор материјала.....	27
4.2 Крти лом.....	29
5. ПРИМЕР ПРОРАЧУН РЕШЕТКАСТОГ КРОВНОГ НОСАЧА.....	30
5.1 Примарно оптерећење.....	30
5.2 Секундарно оптерећење.....	32
5.3 Димензионисање решеткастог носача хале.....	48
ЗАКЉУЧАК.....	50
ЛИТЕРАТУРА.....	51

УВОД

До последњих деценија претпрошлог века пројектовање као рачунски доказ носивости и сигурности конструкција није постојало као фаза која претходи грађењу. Грађевинарство је представљало вештину засновану на интуицији и искуству. Основни принцип је био да се пропорције и димензије објеката задрже у оквиру димензија сличних, већ саграђених, конструкција. На такав начин су изграђене све катедрале на западу Европе. Међутим, развој математике и примењене механике, почев од друге половине XIX века доводи до постепене примене математичких операција и механичких модела у прорачуну конструкција. Од тада па све до данашњих дана императив у пројектовању било које грађевинске конструкције постаје израда пројекта, који треба да представља оптимално решење, које је најекономичније, технички прихватљиво и изводљиво, а при томе задовољава и естетске критеријуме.

Конструкција се може сматрати технички прихватљивом односно поузданом, ако задовољава све услове у вези сигурности, функционалности и трајности. Да би услови у вези сигурности били задовољени, носачи морају бити тако прорачуната (димензионисана) да са одговарајућим степеном сигурности прихвате сва очекивана оптерећења која ће се јавити током њиховог животног века, односно у фази монтаже и за време предвиђеног експлоатационог века (ветар, снег, потреси, терет, вибрације, покрети људи, аутомобила, машина, експозије и сл...). Уколико они, из било којег разлога, не могу да издрже оптерећења којима су изложени, долази до њиховог лома или лома дела носача, односно до губитка стабилности целе конструкције, што за последицу има велике материјалне штете, а не ретко и људске жртве.

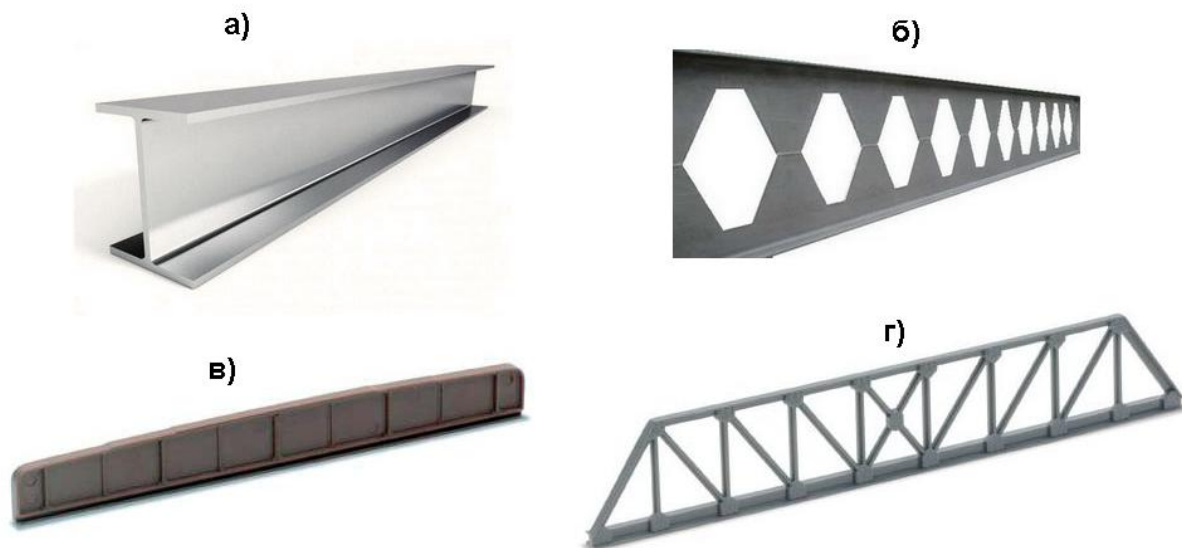
Такође, под дејством спољашњих оптерећења долази до појаве напрезања што даље за последицу има појаву напона и деформација, односно микропукотина у материјалу које такође изазивају лом. Величина напрезања коју носач може да издји зависи од самог квалитета материјала као и облика и димензија попречног пресека носача, па се због тога најчешће за израду носача користе челици одговарајућих карактеристика издржљивости, а при пројектовању конструкција анализирају оптерећења којима ће она бити изложена.



Слика 1.0 – Срушен кров школске сале услед ветра и кише у САД-у

1. НОСАЧИ

Носачи су елементи конструкција чији је основни задатак да пренесу оптерећење на одређено растојање. Могу бити пуни (в), олакшани-саћасти (б) и решеткасти (г).^[1]



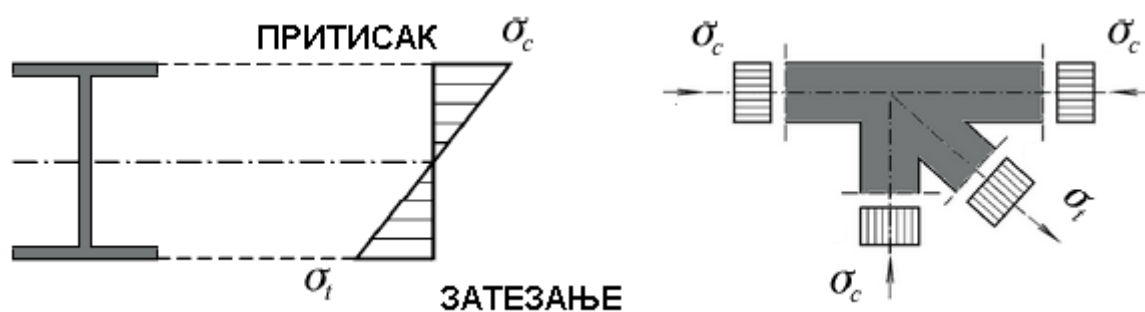
Слика 1.1 – Врсте носача у металним конструкцијама

Пуни носачи представљају носаче код којих су појасеви спојени пуним зидом односно ребром, а код решеткастих носача повезивање горњег и доњег појаса се остварује штаповима – вертикалама и дијагоналама, које формирају троугаону структуру.^[1]

Олакшани-саћасти носачи представљају прелазак између пуних и решеткастих носача. Настали су као последица надстојања да се добију што лакши носачи, уз минималан утрошак рада. Лакши су од пуних носача и користе се углавном у зградству за носаче средњег распона (10-15 m).^[1]

И пуни и решеткасти носачи имају своје предности и мане, па избор једног од ова два типа носача зависи од низа чинилаца, као што су: распон носача, интензитет оптерећења, цена рада и материјала, предвиђена корозиона заштита итд. Генерално, пуни носачи су тежи од решеткастих, али су знатно једноставнији за израду, монтажу и одржавање, па у зависности од односа цене рада и челика често могу да буду економичнији. Једноставне, равне површине и мањи обим по јединици дужине проузрокују јефтинију антикорозиону заштиту пуних носача. Међутим, за веће распоне и већа оптерећења пуни носачи постају тешки и неекономични, па се у таквим случајевима препоручује примена решеткастих носача.^[2]

Како су штапови решеткастих носача аксијално напрегнути дијаграм нормалних напона је константан, па се може остварити боље искоришћење напона него код пуних носача, код којих се, у области еластичног понашања, нормални напони линеарно мењају по висини попречног пресека. Отуда проистиче мањи утрошак материјала код решеткастих у односу на еквивалентне пуне носаче.^[1]



Слика 1.2 – Пуни и решеткасти носачи – дијаграми нормалних напона

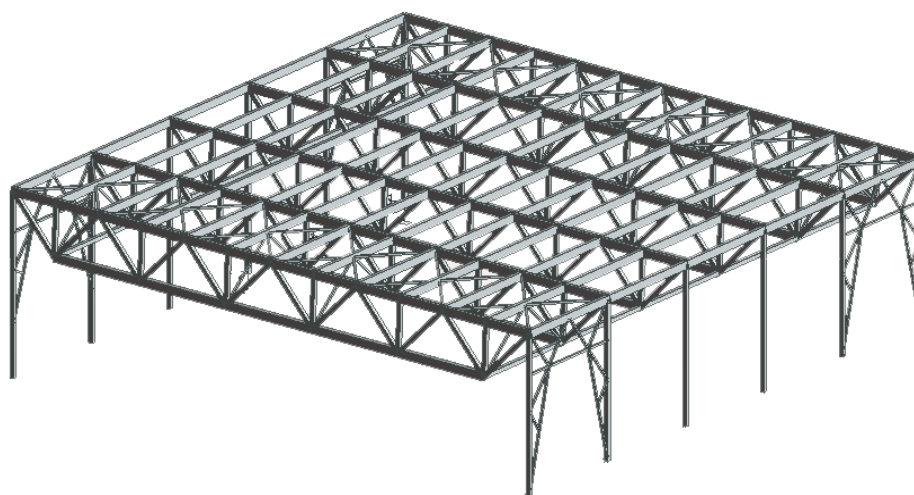
1.1 Подела решеткастих носача

С обзиром на просторни положај решеткасти носачи се могу поделити на: раванске и просторне.

Равански решеткасти носачи (слика 4.) су носачи код којих системне линије свих штапова леже у једној равни, а код просторних решеткастих носача системне линије штапова не леже у једној равни већ формирају просторну структуру (слика 5).^[1]



Слика 1.3 – Кровна конструкција изведена са раванском решетком

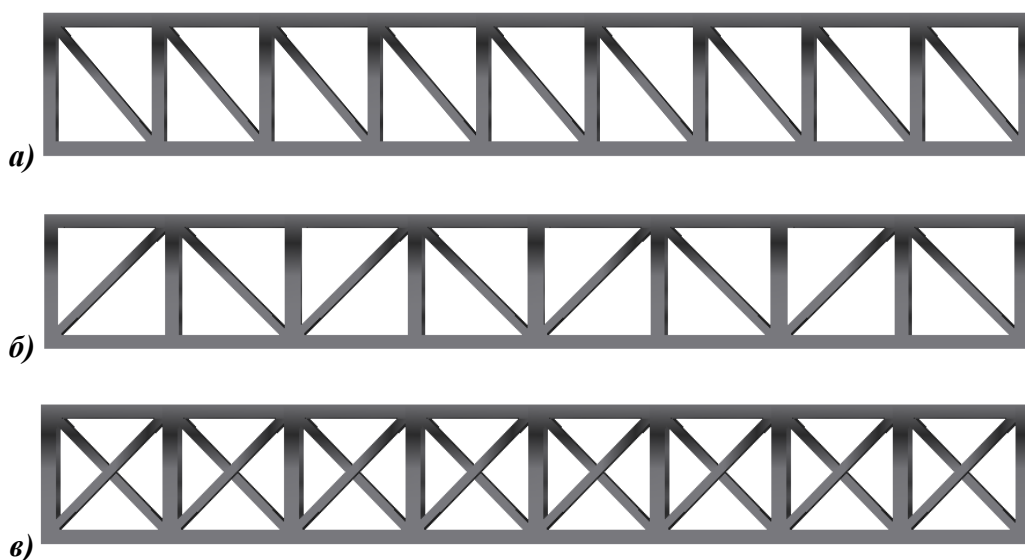


Слика 1.4 – Кровна конструкција изведена са просторном решетком

1.2 Облици раванских решеткастих носача

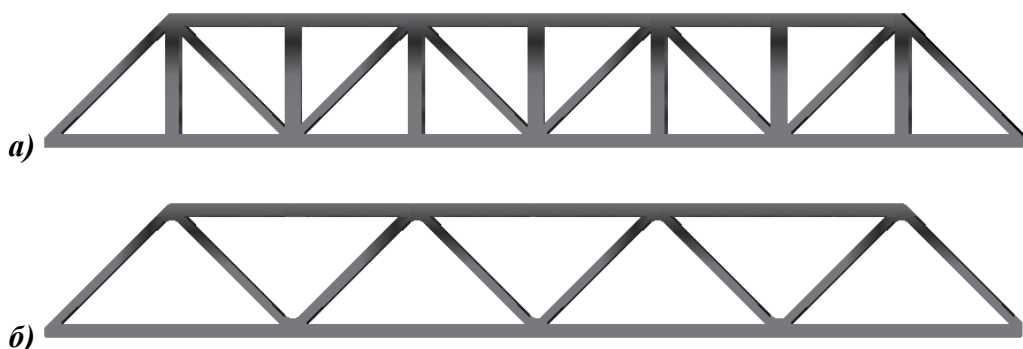
Од решеткастих носача најчешће се примењују просте греде, континуални носачи, конзоле и лучни носачи, а ређе Герберови носачи, чија је значајнија употреба везана за почетну фазу развоја челичних конструкција. У зависности од статичког система, функције носача, типа конструкције и интензитета оптерећења, решеткасти носачи имају различите облике и димензије. Њихов облик дефинисан је геометријом појасних штапова, односно спољашњом контуром носача, па с тога разликујем:

- **Решеткасте носаче са паралелним појасевима** који могу да буду правоугаоног или трапезасетог облика што је приказано на слици. У високоградњи се најчешће примењују као рожњаче, подни носачи, подвлаке, а у мостоградњи као главни носачи и спрегови.^[1]



а) са нагнутим дијагоналама према средини, б) са дијагоналама које падају од средине носача према крајевима в) са укрштеним дијагоналама

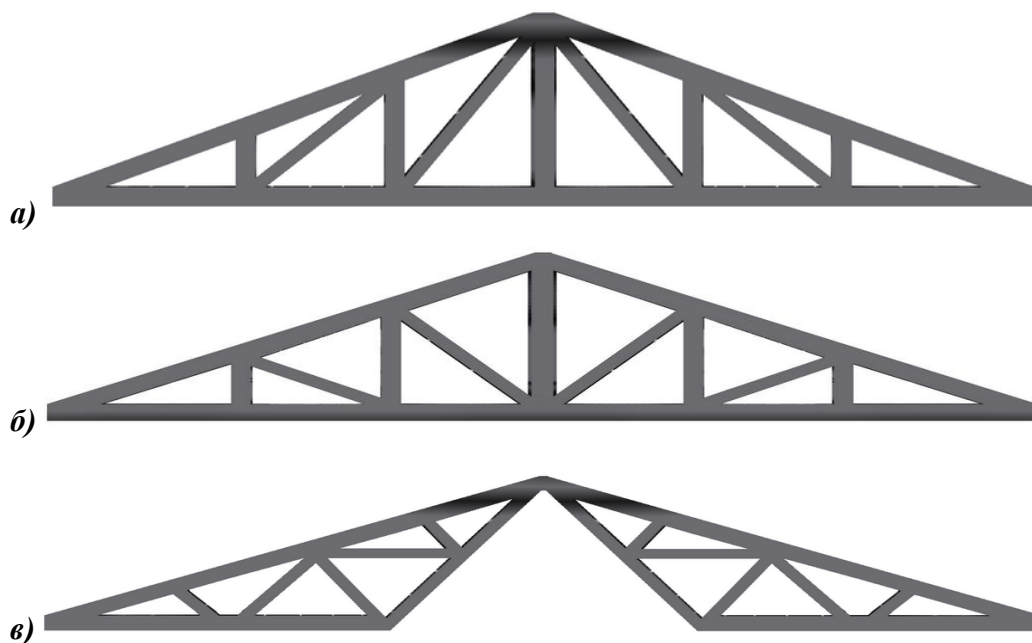
Слика 1.5 – Решеткасти носачи са паралелним појасевима правоугаоног облика



а) са троугаоном испуном; б) са испуном од дијагонала

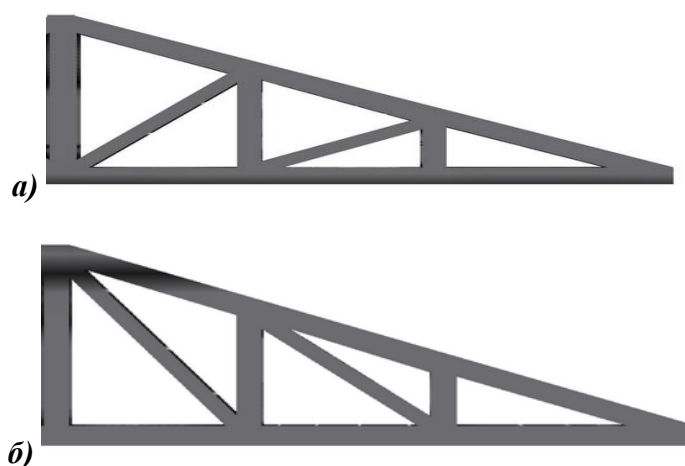
Слика 1.6 – Решеткасти носачи са паралелним појасевима трапезног облика

- **Троугаоне решеткасте носачи** који се примењују код стрмих кровова са нагибом од 20-45°, а могу бити симетрични и несиметрични (кров на једну воду, шед кров, надстрешнице конзолног статичког система). ^[1]



- а) са дијагоналама каје падају од средине према крајевима; б) са нагнутим дијагоналама према средини; в) са троугаоном испуном која се може поделити на монтажне секције

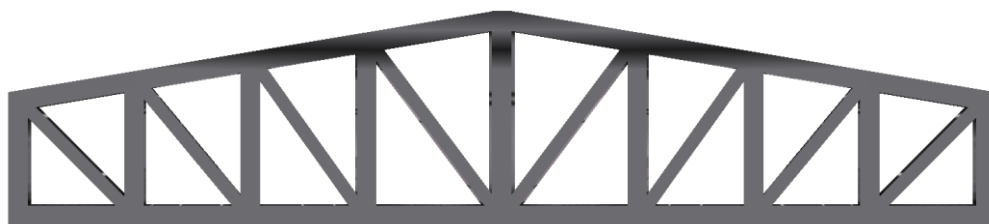
Слика 1.7 – Симетрични троугаони решеткасти носачи



- а) са нагнутим дијагоналама према средини; б) са дијагоналама које падају од средине према крајевима

Слика 1.8 – Несиметрични троугаони решеткасти носачи

- **Полигоналне решеткасте носаче** који се, за разлику од троугаоних, углавном примењују код кровних носача са благим нагибом (2-12%). Најчешће се користе као кровни носачи већих распона (од 18 до 36m), и то како у индустријским објектима тако и у објектима високоградње. ^[1]



Слика 1.9 – Полигонални решеткасти носач са нагнутим дијагоналама према средини



Слика 1.10 – Полигонални решеткасти носач са простом дијагоналном испуном

- **Параболични решеткасти носачи** су носачи код којих чворови бар једног појаса образују параболу. Примењују се у мостоградњи као главни мостовски носачи са саобраћајем на доњем појасу.^[1]



Слика 1.11 – Параболични решеткасти носач примењив у мостоградњи за саобраћај на доњем појасу

2. ОПТЕРЕЋЕЊА КОЈА ДЕЛУЈУ НА РАВАНСКЕ РЕШЕТКЕ

Оптерећења која делују на раванску решетку у металним конструкцијама потичу или од сила природног порекла или од самог човека, тј. постоје два основна извора оптерећења: геофизички и људски. Геофизичке силе су резултат континуалних промена у природи и могу се поделити на гравитационе, метеоролошке и принудне силе. Као резултат гравитације, тежина носача ствара стално оптерећење и ово оптерећење остаје константно кроз читав животни век. Свака промена кроз време је такође предмет ефеката гравитације, јер ствара различита оптерећења у различитим периодима времена. Метеоролошка оптерећења мењају се са временом и локацијом и јављају се у форми ветра, снега, леда, кише и сл. Принудна оптерећења настају као природна реакција решеткастог носача усле немогућности да се промени запремина елемената која је њиховим природним границама спречена (нпр. температурни утицаји). Људски извори оптерећења су оптерећења настала као резултат покрета људи, опреме и сл...^[2]

Због тога, неопходно је на самом почетку пројектовања прецизно одредити вредности појединих оптерећења решеткастих носача јер је то параметар који у највећој мери обезбеђује адекватну сигурност конструкције.

Оптерећења која делују на решеткасте раванске носаче се могу сврстати у три основне групе: основна, допунска и изузетна оптерећења. Основна оптерећења обухватају: стална оптерећења (сопствена тежина), снег и друга оптерећења сталног карактера. Допунска оптерећења обухватају: дејство ветра, температурне утицаје и друге силе привременог карактера. У изузетна оптерећења спадају: сеизмички утицаји, неравномерно слегање ослонаца и сл.^[3]

Према деловању у току времена оптерећења могу бити: стална и промењива. Стална оптерећења су статичка. Њихов интензитет постепено расте од нуле до неке коначне (радне) вредности, а зим се не мења – остаје константно. Промењива оптерећења су динамичка. То су ударна оптерећења код којих долази до тренутног повећања њихове вредности од нуле до неког нивоа, после којег оптерећење може током времена да буде стално или промењиво.^[3]

Према правцу деловања, оптерећење може бити: вертикално (стална, снег и сл), хоризонтално (ветар).^[3]

2.1 Стално оптерећење

Стално оптерећење раванског решеткастог носача представља сопствена тежина носеће конструкције – решетке, али и тежина неносивих елемената (нпр кровни покривач, изолација и сл). Оно настаје као последица запреминских сила. ^[3]

Одређивање сопствене тежине раванског решеткастог носача врши се множењем запремине (m^3) елемената носача (штапова и појасева) са запреминском масом (kg/m^3) и гравитационим убрзање ($9,81 N/kg$) или се подаци узимају из каталога произвођача. Стално оптерећење решеткастог носача је свакако мање од пуног носача па је код изградње већих конструкција решеткасти носач прави избор. ^[3]

Некада је уместо запреминске масе дата запреминска тежина (N/m^3) што представља укупну тежину по јединици запремине материјала. За добијање сопствене тежине, ова вредност се множи запремином елемената. ^[3]

Табела 2.1 – Карактеристичне запреминске тежине материјама

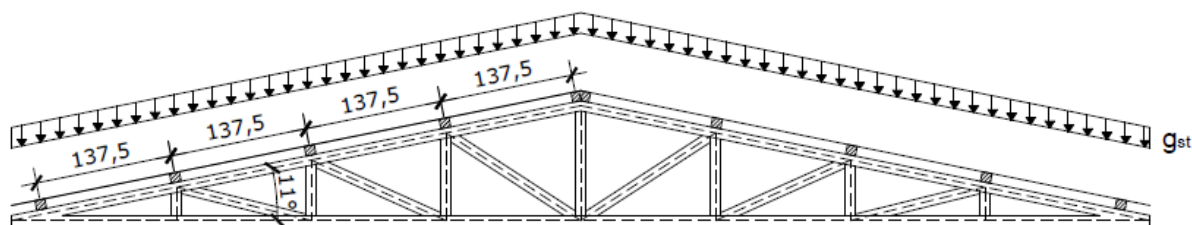
Врста материјала	Запреминска тежина материјала
Челик	77,00 до 78,50 kN/m^3
Покривач од трапезног лима на челичној подконструкцији	0,35 kN/m^3

Ако се та тежина обележи са g , тада при нагибу крова α° на решеткасти носач делује једнакоподељено оптерећење: ^[3]

$$g_{kp} = \frac{g}{\cos \alpha} \quad (2.1)$$

тј. оптерећење g_{kp} повећава се са повећањем нагиба крова α .

Посматрајмо кров под углом од 11° који се састоји од кровног покривача, изолације, подрожњача и раванског решеткастог носача.



Слика 2.1 – Одређивање сопствене тежине раванске решетке у кровној конструкцији

Парцијална оптерећења ће износити:

- Кровни покривач (алуминијумски лим) 0,10 kN/m^2
- Изолација (минерална вуна $d=10cm$, $\rho_v = 0,5 kg/m^3$)... $0,5 \cdot 0,10 = 0,05 kN/m^2$

- Властита тежина подножице..... $\frac{0,18 \cdot 0,20 \cdot 4,10}{1,375} = 0,11 \text{ kN/m}^2$
- Раванска решетка ($d=5\text{cm}$; $\rho=12,0 \text{ kg/m}^3$)..... $0,05 \cdot 12,0 = 0,6 \text{ kN/m}^2$

а укупно стално оптерећење $1,31 \text{ kN/m}^2$.

2.2 Промењиво оптерећење

2.2.1 Оптерећење снегом

Снег се у метеорологији мери и изражава на два начина: висином снежног покривача и садржајем воде у снегу, односно густином. Како је маса снега једнака производу густине и запремине, за прецизно одређивање интензитета оптерећења снегом мора се располагати прецизним подацима о густини, односно садржају воде у снегу за одређену висину снежног покривача. Густина снега варира у знатним границама зависно од доба године, надморске висине, географске особине итд. Ефекат старости снежног покривача огледа се у знатном повећању његове густине. Такође се мора узети у обзир ефекат падавина у облику кише које се могу јавити при постојању снежног покривача. [3]

Табела 2.2 – Средња запремина тежине снега

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

Снег се на кров наноси у различитом облику, па према томе разликујемо: [3]

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

Оптерећење од снега на крову са раванским решеткама се одређује:

1. за сталне / полазне прорачунске ситуације

$$s = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k \quad (2.2)$$

2. за инцидентне прорачунске ситуације, у којима је инцидентни снежни смет инцидентно дејство

$$s = \mu_1 \cdot s_k \quad (2.3)$$

где су:

μ_1 - коефицијент облика оптерећења од снега

s_e - коефицијент изложености

s_t - термички коефицијент

s_k - карактеристична вредност оптерећења од снега на тло, дата у Националном анексу, а на основу одговарајућих статичких дуготрајно регистрованих поузданих података

Табела 2.3 – Препоручене вредности коефицијената s_e за различите топографије

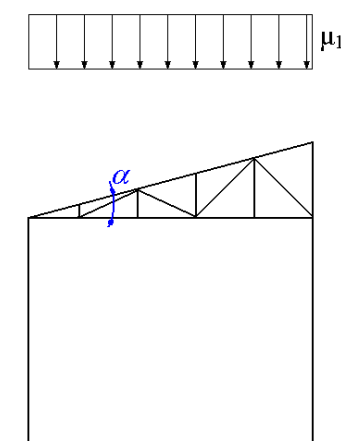
Топографија	s_e
Изложена ветру	0,8
Уобичајена	1,0
Заклоњена	1,2

Термички коефицијент s_t је значајан за кровове са значајном термичком проводљивошћу, посебно за кровове покривене стаклом, уобичајено $s_t = 1,0$.^[3]

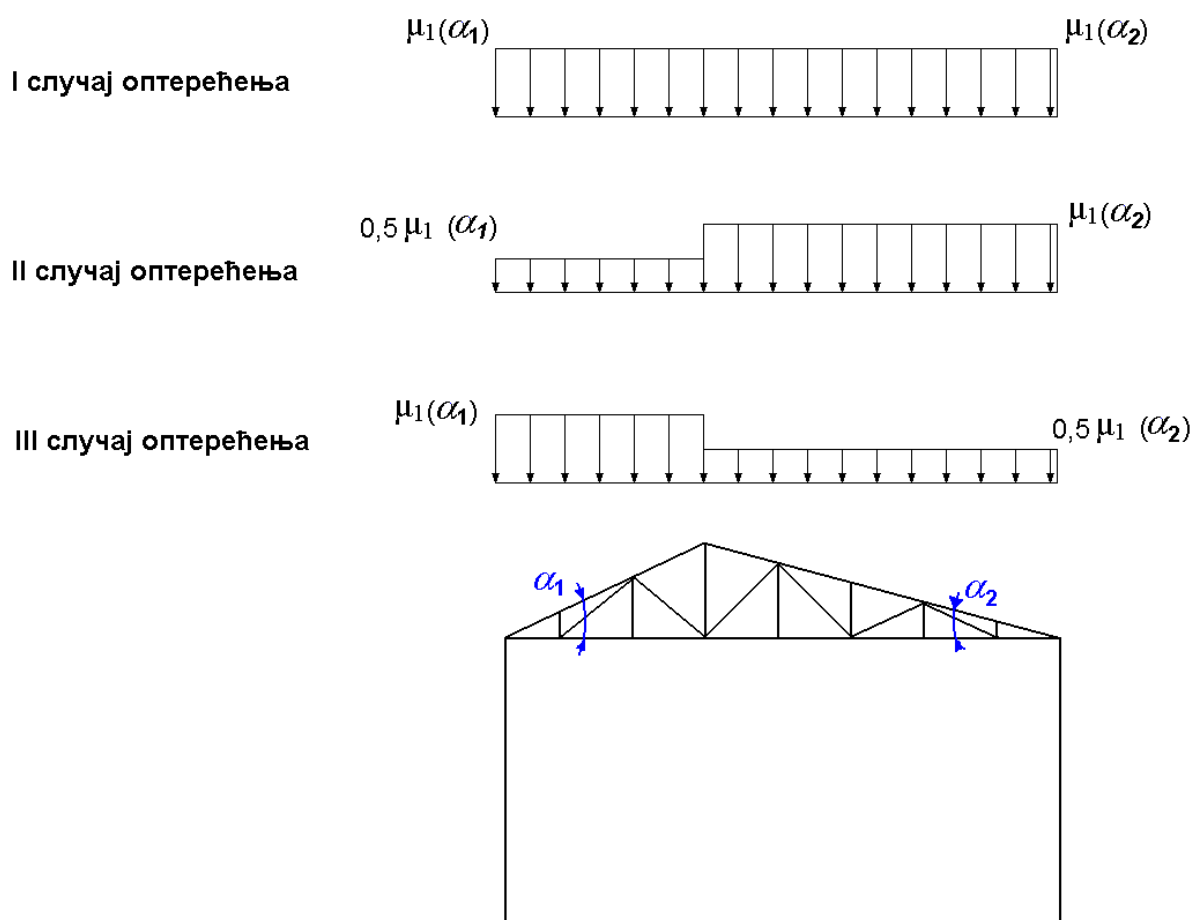
Табела 2.4 – Коефицијент облика оптерећења од снега

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	-

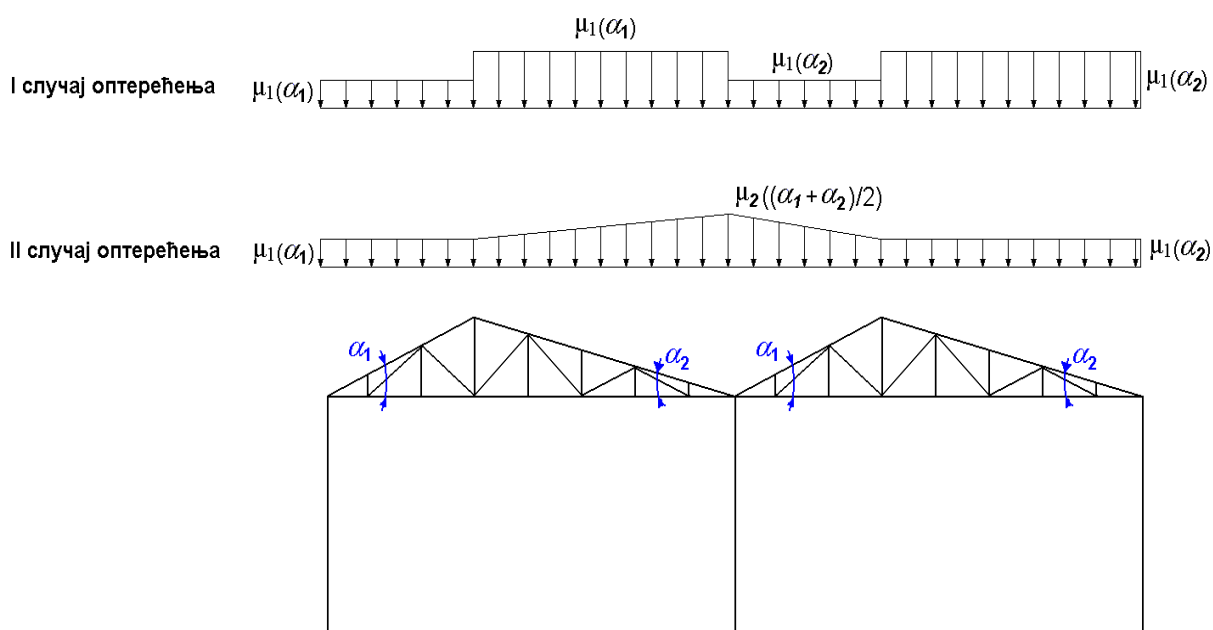
Вредности из табела се примењују када није спречено клизање снега са кровова. Када постоје снеговрани, минимална вредност коефицијента облика оптерећења на треба да буде мања од 0,8.^[3]



Слика 2.2 – Коефицијент облика оптерећења од снега – једноводни кров



Слика 2.3 – Коефицијент облика оптерећења од снега – коси кровови (I случај оптерећења – без сметова, II и III случај оптерећења – са сметовима)



Слика 2.4 - Коефицијент облика оптерећења од снега – тестерасти кровови (I случај оптерећења – без сметова, II случај оптерећења – са сметовима)

Коефицијент облика оптерећења снега услед ветра μ_w може да се одреди помоћу израза:

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \gamma \cdot \frac{h}{s_k} \text{ за } 0,8 \leq \mu_w \leq 4 \quad (2.4)$$

где је:

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

2.2.2 Оптерећење ветром

Одређивање утицаја дејства ветра на конструкцију са решеткастим носачима је изузетно сложен инжењерски проблем, јер је дејство ветра уствари динамичко и на њега утичу фактори као што су: брзина ветра, висина конструкције, локација, форма терена, облик и виткост конструкције као и положај суседних објеката. [4]



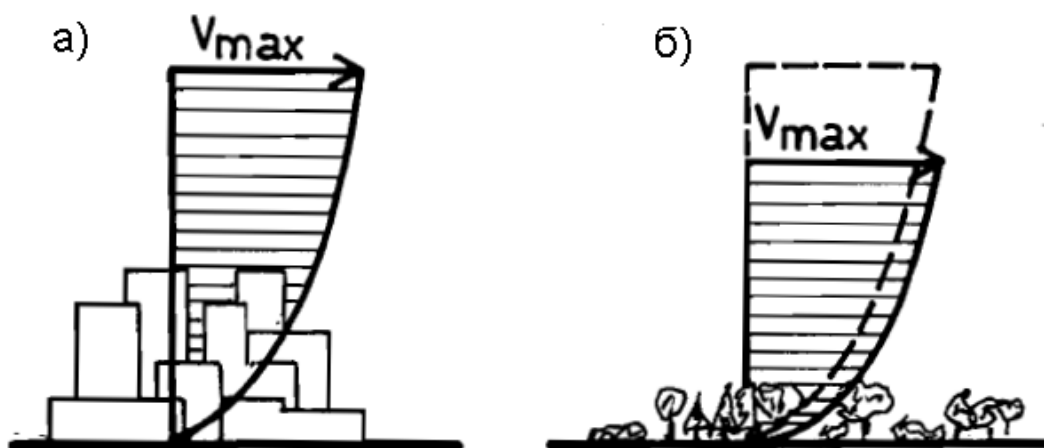
Слика 2.5 – Динамички карактер ветра

Резултати мерења на одређеним висинама конструкција са решеткастим носачима указују на две појаве: ветар има константну средњу брзину и промењиву тренутну брзину, из чега произилази да ветар има и статичко и динамичко дејство. Средња брзина ветра, уопштено говорећи повећава се са висином. [4]

Однос повећања средње брзине ветра функција је конфигурације терена, посебно стога што се услед трења смањују брзину при тлу. Што је веће мешање околних објеката (зграда, брда, девета и сл) појавиће се и веће одступање у максималној брзини ветра. [4]

У ношој техничкој регулативи дејство ветра на конструкцију се дефинише: [4]

1. у метеролошком смислу – као хоризонтално или приближно хоризонтално ваздушно струјање у атмосфери
2. у смислу механике флуида – као турбулентно ваздушно струјање
3. као оптерећење – као динамичко оптерећење случајног карактера (стохастичка поремећајна сила), које се, у начину прорачуна по стандарду, третира као квазистатичко, а делује у хоризонталним равнинама.
4. у метематичком смислу – као стационаран, случајан процес.



Слика 2.6 – Утицај околине на средњу брзину ветра

Оптерећење ветром свих конструкција, па и са решеткастим носачима одређује се по следећем изразу: ^[4]

$$w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (V_{m,50,10}^B \cdot k_t \cdot k_T)^2 \cdot 10^{-3} \cdot S_z^2 \cdot k_z^2 \cdot G_z \cdot C \cdot A \quad (2.5)$$

где је:

ρ - густина ваздуха у kg/m^3

$V_{m,50,10}^B$ - основна брзина ветра у m/s

k_t - фактор временског осредњавања основне брзине ветра, уобичајено $k_t = 1$

k_T - фактор повратног периода основне брзине ветра

S_z - фактор топографије терена

k_z - фактор експлозије

G_z - динамички коефицијент

C - коефицијент силе или притиска

A - ефективна површина у m^2

Поједини делови овог општег изаза за оптерећење ветром имају следеће значење: ^[4]

- основни притисак ветра

$$q_{m,T,10} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (V_{m,50,10}^B \cdot k_t \cdot k_T)^2 \cdot 10^{-3} [kN/m^2] \quad (2.6)$$

- осредњи аеродинамички притисак ветра

$$q_{m,T,z} = q_{m,T,10} \cdot S_z^2 \cdot K_z^2 [kN/m^2] \quad (2.7)$$

- аеродинамички притисак ветра

$$q_{g,T,z} = q_{m,T,z} \cdot G_z^2 [kN/m^2] \quad (2.8)$$

- притисак ветра

$$q_w = q_{g,T,z} \cdot C [kN/m^2] \quad (2.9)$$

Аеродинамички притисак ветра q представља квазистатички притисак ветра на јединицу површине оптерећене кровне конструкције. Његова рачунска вредност износи: ^[4]

$$q = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot 10^{-3} \left[\text{kN/m}^2 \right] \quad (2.10)$$

где је:

ρ - густина ваздуха у kg/m^3 , а

v - брзина ветра у m/s

Густина ваздуха ρ зависи од надморске висине и температуре ваздуха. У прорачун се узима вредност која одговара надморској висини подножја конструкције и температури од $t = +15^\circ \text{C}$ према табели 2.2. Дозвољава се узимање у прорачун константне густине ваздуха, без обзира на надморску висину подножја конструкције са вредношћу $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$. Када се спроводи тачнији прорачун, густина ваздуха на надморској висини H [m] се може израчунати према изразу: ^[4]

$$\rho = 1,225 - \frac{H}{800} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (2.11)$$

Табела 2.5 – Промена густине ваздуха у зависности од надморске висине

	Надморска висина подножја [m]	Густина ваздуха ρ [kg/m ³]		Надморска висина подножја [m]	Густина ваздуха ρ [kg/m ³]
	a	b		a	b
1	0	1,2250	12	1200	1,0900
2	100	1,2133	13	1400	1,0686
3	200	1,2017	14	1600	1,0476
4	300	1,1901	15	1800	1,0269
5	400	1,1787	16	2000	1,0065
6	500	1,1673	17	2200	0,9864
7	600	1,1560	18	2400	0,9666
8	700	1,1448	19	2600	0,9472
9	800	1,1337	20	2800	0,9280
10	900	1,1226	21	3000	0,9091
11	1000	1,1117			

Основна брзина ветра $V_{m,50,10}^B$ је просечна брзина ветра у временском интервалу од 1h. Вредност пројектне основе брзине ветра одређује се на једном од следећа два начина: ^[4]

1. Мерењем брзине ветра на локацији на којој се налази пројектована конструкција са решеткастим носачима и анемографским бележењем.

2. Коришћењем вредности основних брзина ветра из табеле 2.3 узимајући у обзир географску зону брзине ветра у којој се налази посматрана конструкција са решеткастим носачима.

Табела 2.6 – Брзина ветра на одређеним локацијама

Станица	Надморска висина Hs [m]	$V_m^B, 50, 10$ [m/s]
Београд	132	19
Ваљево	174	19
Врање	433	19
Димитровград	446	23
Жагубица	314	26
Зајечар	137	19
Зрењанин	80	23
Киkinда	81	19
Крагујевац	190	16
Краљево	219	19
Крушевац	166	19
Лозница	121	23
Ниш	202	19
Пећ	498	19
Приштина	573	23
Призрен	402	19
Нови Сад	86	35
Сомбор	87	26
Ужице	440	19

Табела 2.7 – Повратни период ветра за поједине врсте конструкција

Појединачне конструкције	T (god)	k _T
Позоришта, биоскопи, спортске дворане	100	1,060
Индустријске зграде са скупоценом опремом	100	1,060
Индустријске зграде, складишта скупоцене опреме	50	1
Хангари	100	1,060
Сточне стаје	20	0,920

На оптерећење ветром утиче храпавост терена што се изражава катором експлозије k_z . Терени су сврстани у три класе храпавости: ^[4]

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

2.8 – Фактор храпавости терена

Висина изнад терена z (m)	Категорија храпавости терена		
	А	В	С
10	1,400	1,000	0,500
15	1,531	1,120	0,598
20	1,631	1,214	0,678
25	1,713	1,292	0,748
30	1,783	1,360	0,811
35	1,844	1,420	0,868
40	1,899	1,474	0,920
45	1,949	1,524	0,969
50	1,995	1,569	1,015
60	2,076	1,652	1,100
70	2,148	1,724	1,177
80	2,212	1,790	1,248
90	2,270	1,850	1,315
100	2,323	1,905	1,377
120	2,419	2,005	1,492
140	2,502	2,094	1,597
160	2,577	2,173	1,693
180	2,644	2,246	1,784
200	-	2,314	1,868
225	-	2,391	1,968
250	-	2,463	2,061

Притисак ветра који делује на спољашње површине w_e одређује се на основу израза: ^[4]

$$w_e = q_p(z_e) \cdot C_{pe} \quad (2.12)$$

где су:

$q_p(z_e)$ - ударни притисак ветра

C_{pe} - коефицијент спољашњег притиска

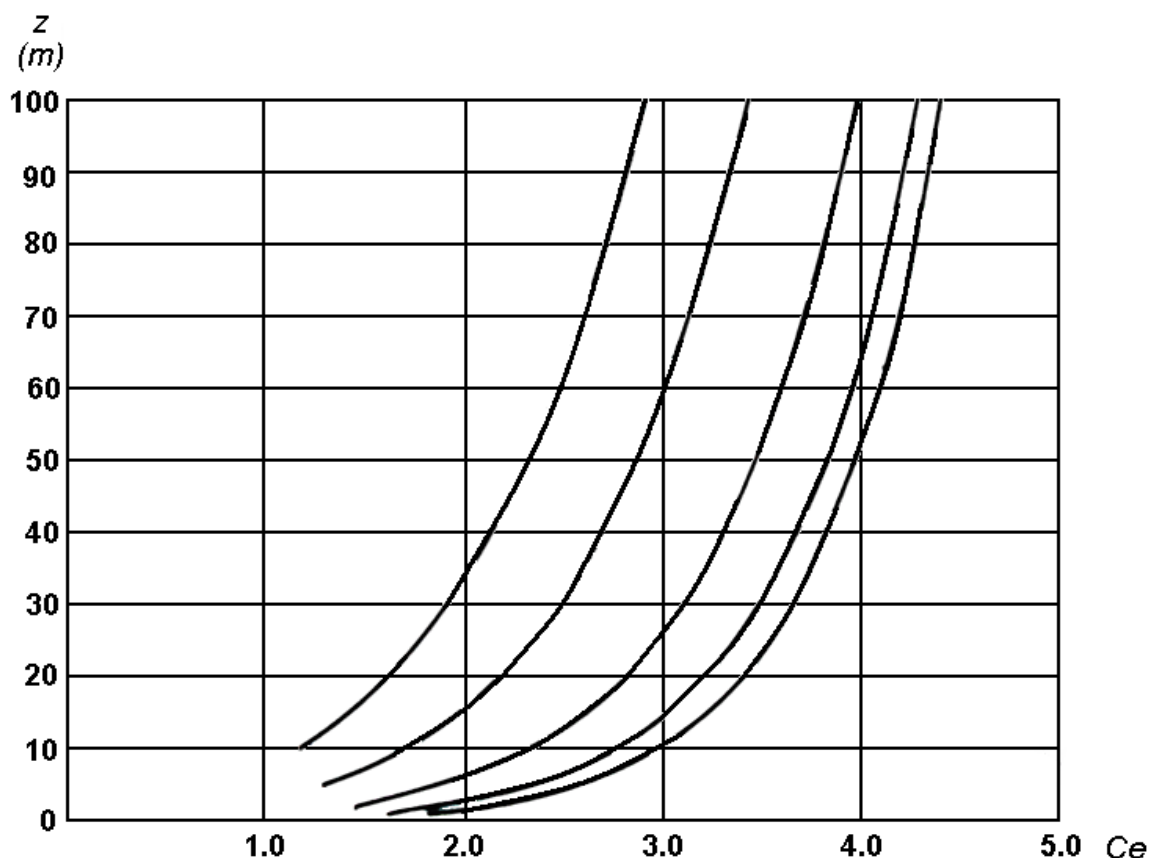
Ударни притисак ветра је једнак:

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot \ell_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (2.13)$$

где су:

$c_e(z)$ - коефицијент изложености

q_b - основни притисак ветра

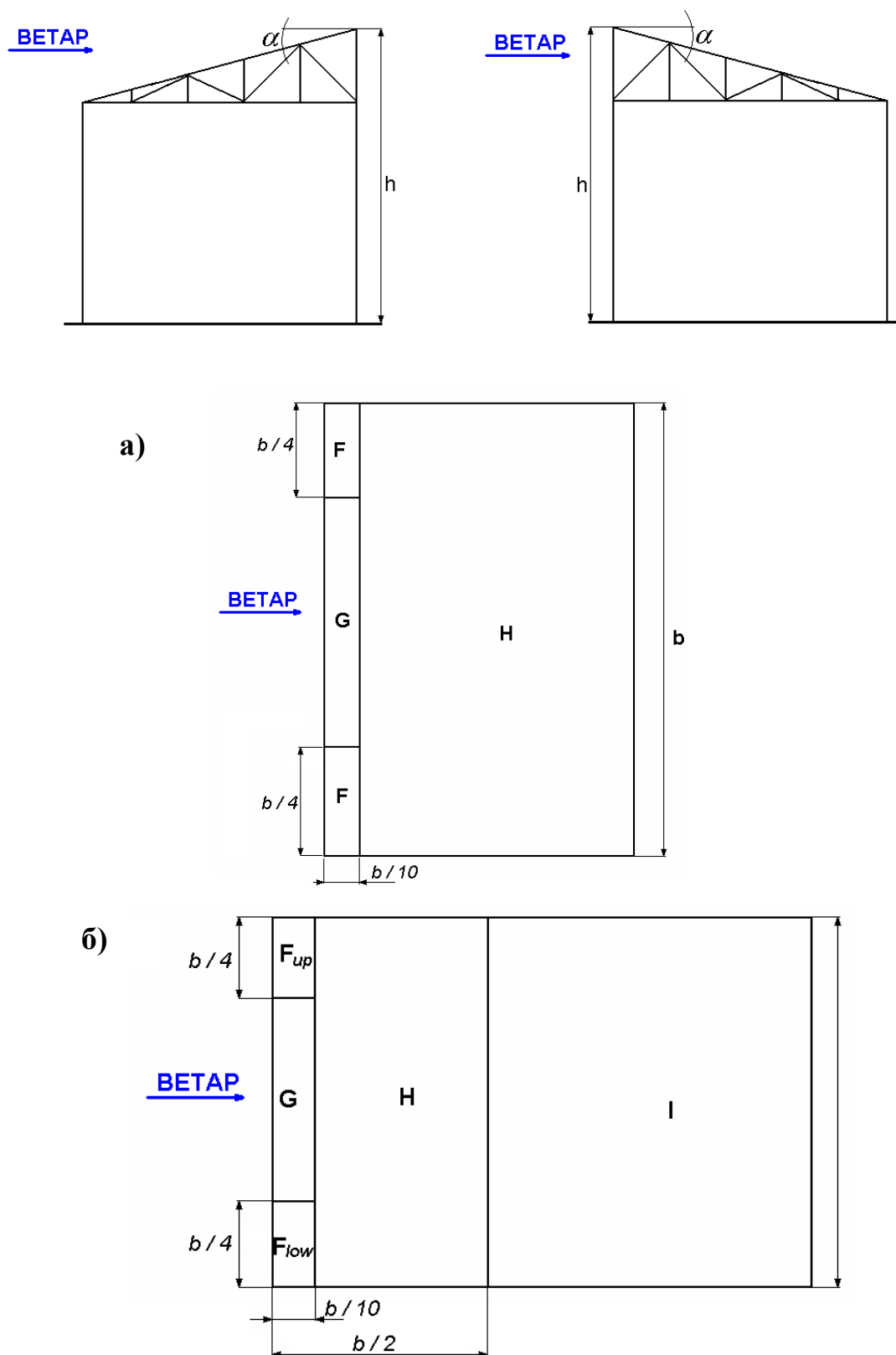


Слика 2.7 – Приказ коефицијента изложености

Основни притисак ветра одређује се на основу израза:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (2.14)$$

За једноделне кровове коефицијент спољашњег притиска се одређује на следећи начин (референтна висина $z_e=h$): ^[4]



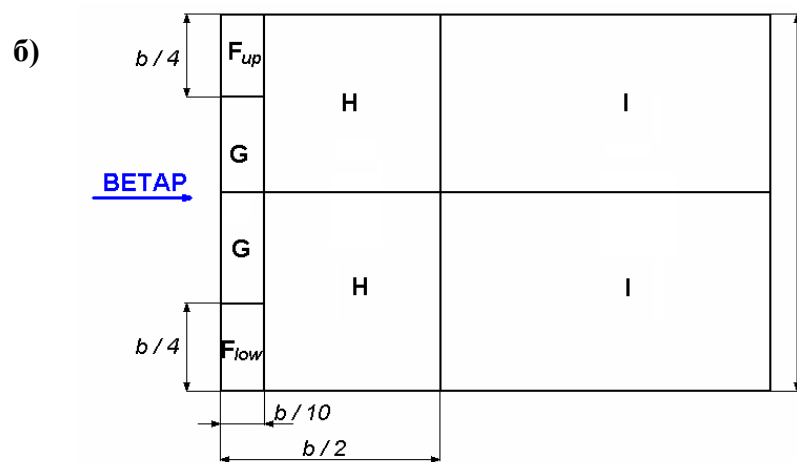
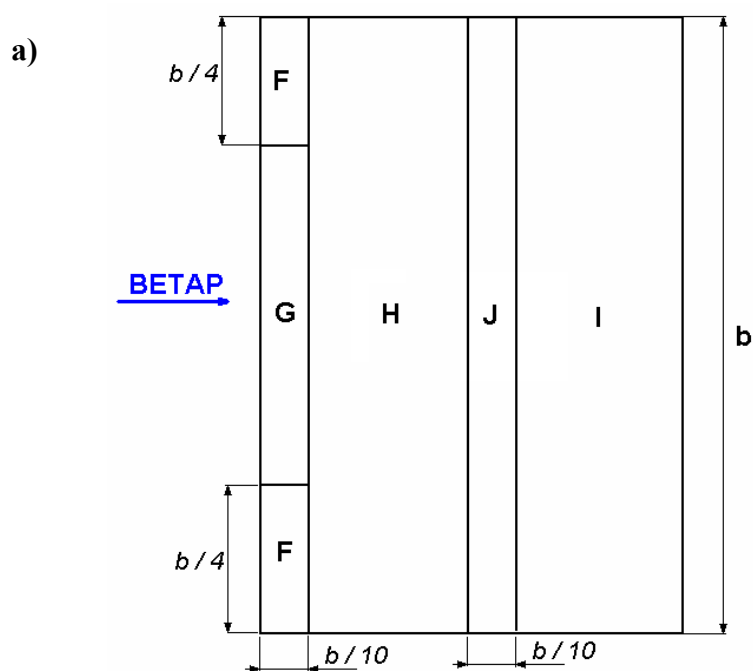
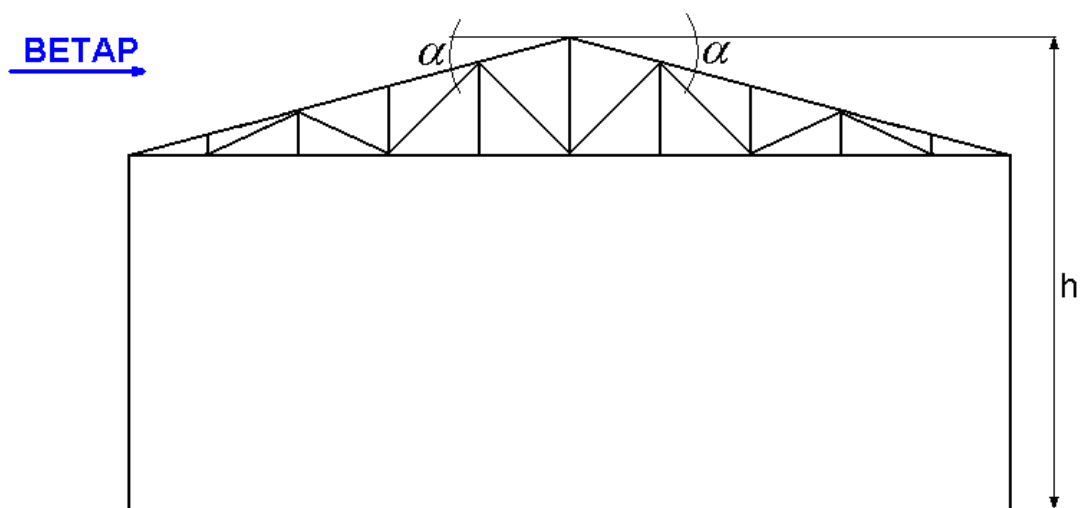
Слика 2.8 – Једноводни кровови

Табела 2.9 – Коефицијент спољашњег притиска ветра за једноводне кровове (а)

α	Зона за правац ветра $\theta=0^{\circ}$						Зона за правац ветра $\theta=180^{\circ}$					
	F		F		G		H					
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
5°	-1,70	-2,50	-1,20	-2,0	-0,60	-1,20	-2,30	-2,50	-1,30	-2,00	-0,80	-1,20
	+0,00		+0,00		+0,00							
15°	-0,90	-2,00	-0,80	-1,50	-0,30		-2,50	-2,80	-1,30	-2,00	-0,90	-1,20
	+0,20		+0,20		+0,20							
30°	-0,50	-1,50	-0,50	-1,50	-0,20		-1,10	-2,30	-0,80	-1,50	-0,80	
	+0,70		+0,70		+0,40							
45°	-0,00		-0,00		-0,00		-0,60	-1,30	-0,50		-0,70	
	+0,07		+0,07		+0,06							
60°	+0,70		+0,70		+0,70		-0,50	-1,00	-0,50		-0,50	
75°	+0,80		+0,80		+0,80		-0,50	-1,00	-0,50		-0,50	

Табела 2.10 – Коефицијент спољашњег притиска ветра за једноводне кровове (б)

α	Зона за правац ветра $\theta=90^\circ$									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
5°	-2,10	-2,60	-2,10	-2,40	-1,80	-2,00	-0,60	-1,20	-0,50	
15°	-2,40	-2,90	-1,60	-2,40	-1,90	-2,50	-0,60	-1,20	-0,70	-1,20
30°	-2,10	-2,90	-1,30	-2,00	-1,50	-2,00	-1,00	-1,30	-0,80	-1,20
45°	-1,50	-2,40	-1,30	-2,00	-1,40	-2,00	-1,00	-1,30	-0,90	-1,20
60°	-1,20	-2,00	-1,20	-2,00	-1,20	-2,00	-1,00	-1,30	-0,70	-1,20
75°	-1,20	-2,00	-1,20	-2,00	-1,20	-2,00	-1,00	-1,30	-0,50	



Слика 2.9 – Дводелни кровови

Табела 2.11 – Коефицијенти спољашњег притиска за дводелне кровове (а)

α	Зона за правац ветра $\theta=0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
-45°	-0,60		-0,60		-0,80		-0,70		-1,00	-1,50
-30°	-1,10	-2,00	-0,80	-1,50	-0,80		-0,60		-0,80	-1,40
-15°	-2,50	-2,80	-1,30	-2,00	-0,90	-1,20	-0,50		-0,70	-1,20
-5°	-2,30	-2,50	-1,20	-2,00	-0,80	-1,20	+0,20		+0,20	
							-0,60		-0,60	
5°	-1,70	-2,50	-1,20	-2,00	-0,60	-1,20	-0,60		+0,20	
	+0,00		+0,00		+0,00				-0,60	
15°	-0,90	-2,00	-0,80	-1,50	-0,30		-0,40		-1,00	-1,50
	+0,20		+0,20		+0,20		+0,00		+0,00	+0,00
30°	+0,50	-1,50	-0,50	-1,50	-0,20		-0,40		-0,50	
	+0,70		+0,70		+0,40		+0,00		+0,00	
45°	-0,00		-0,00		-0,00		-0,20		-0,30	
	+0,70		+0,70		+0,60		+0,00		+0,00	
60°	+0,70		+0,70		+0,70		-0,20		-0,30	
75°	+0,80		+0,80		+0,80		-0,20		-0,30	

Табела 2.12 – Коефицијенти спољашњег притиска за дводелне кровове (б)

α	Зона за правац ветра $\theta=90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
-45°	-1,40	-2,00	-1,20	-2,00	-1,00	-1,30	-0,90	-1,20
-30°	-1,50	-2,10	-1,20	-2,00	-1,00	-1,30	-0,90	-1,20
-15°	-1,90	-2,50	-1,20	-2,00	-0,80	-1,20	-0,80	-1,20
-5°	-1,80	-2,50	-1,20	-2,00	-0,70	-1,20	-0,60	-1,20
5°	-1,60	-2,20	-1,30	-2,00	-0,70	-1,20	-0,60	
15°	-1,30	-2,00	-1,30	-2,00	-0,60	-1,20	-0,50	
30°	-1,10	-1,50	-1,40	-2,00	-0,80	-1,20	-0,50	
45°	-1,10	-1,50	-1,40	-2,00	-0,90	-1,20	-0,50	
60°	-1,10	-1,50	-1,20	-2,00	-0,80	-1,00	-0,50	
75°	-1,10	-1,50	-1,20	-2,00	-0,80	-1,00	-0,50	

2.2.3 Температурни утицаји

Да би могао да се оцени утицај температурних промена на решеткасти носач, неопходно је утврдити закон промене температуре спољашњег ваздуха. Температура ваздуха у Европи креће се од -30°C до $+45^{\circ}\text{C}$. Неки елементи, нарочито тамно обојени челични делови могу услед дејства сунчевих зрака да имају температуру и до $+80^{\circ}\text{C}$.^[4]

Приликом прорачуна решеткастих носача изложених температурним променама треба, по правилу, узети у обзир осцилације температуре, изнад и испод средње месне температуре за око $\pm 30^{\circ}\text{C}$. Физичка карактеристика материјала којом се приказује осетљивост материјала на промену температуре назива се коефицијент температурског издужења и обележава се са $\alpha [K^{-1}]$, а за челик, подсетимо се, ова величина има вредност:^[4]

$$\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6} [K^{-1}] \quad (2.15)$$

3. НАПРЕЗАЊА РАВАНСКИХ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

Током експлоатације раванских решеткастих носача, спољашње оптерећење тежи да деформише носач, односно да измени међусобни распоред честица (промени облик и димензије штапова и појасева) што изазива напрезање носача, а за последицу има појаву напона који може бити један од узрока појаве микропукотине у материјалу носача. [5]

Напон је интензитет унутрашњих сила, у некој тачки пресека штапа носача, којом се он супроставља деформисању, односно промени облика и димензија. Унутрашње силе су увек присутне – и у напрегнутом и у ненапрегнутом носачу, при чему величина унутрашњих сила није једнака у случајевима напрегнутог и ненапрегнутог носача. [5]

У зависности од оптерећења, код раванског решеткастог носача могу се јавити напрезања на:

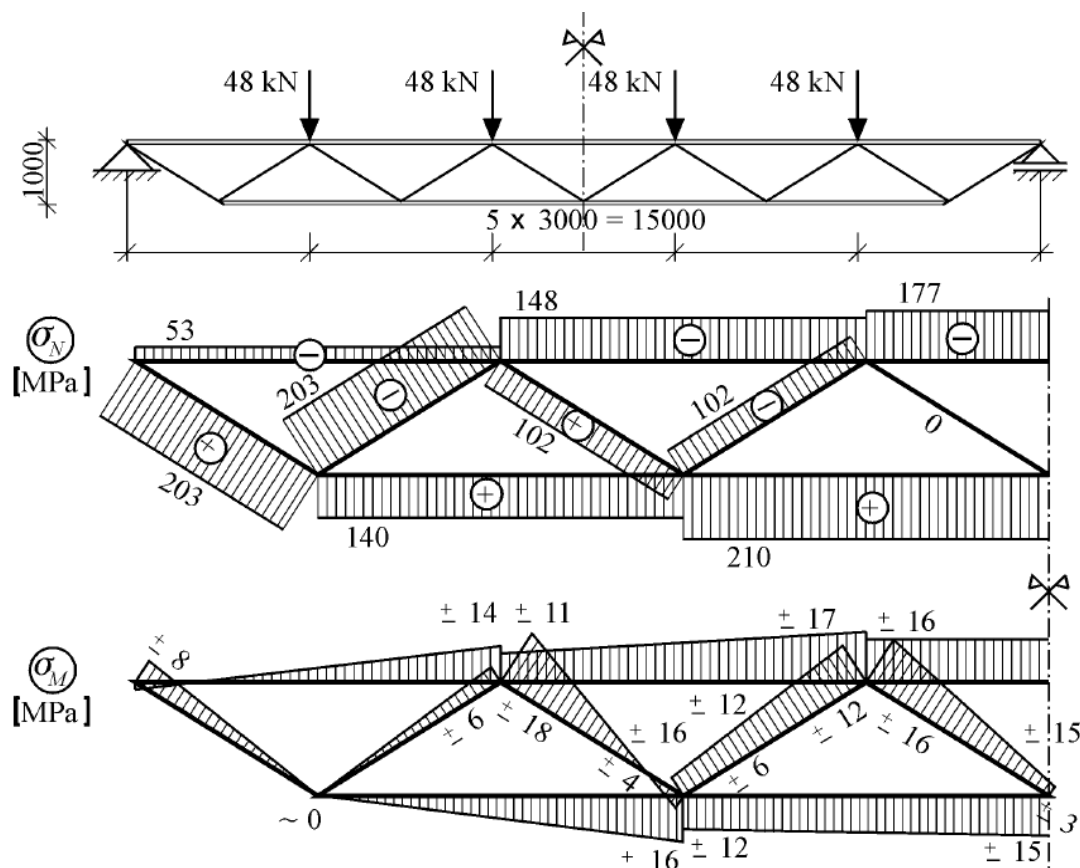
- затетање или притисак и
- савијање

Величина напрезања коју решеткасти носач може да издржи зависи од самог квалитета материјала па се због тога најчешће се за израду носача користе челици одговарајућих карактеристика издржљивости. [5]

Пријем момента савијања код решеткастих носача остварује се помоћу појасних штапова, а штапови испуне прихватају само аксијалне силе. Због тога се у штаповима решеткастог носача као примарна напрезања јављају се нормални напони изазвани дејством аксијалних сила σ_N , док се утицаји настали услед момента савијања σ_M сматрају секундарним. Међутим, може се показати да утицаји услед момената савијања у крутим угловима могу да се занемаре. Као потврда ове чињенице може да послужи пример приказан на слици 3.1, на којем се уочава да су нормални напони услед аксијалних сила (σ_N) и преко 10 пута већи од секундарних напона изазваних савијањем (σ_M). Моменти савијања у чворовима решеткастог носача одређени су уз претпоставку о идеално крутим везама. Код већине веза изведених помоћу завртњева долази до извесне релативне ротације, услед поништавања зазора између врата завртња и рупе и због деформације прикључних елемената (нпр. чворних лимова), па су услед полукрутог понашања оваквих веза моменти савијања, а самим тим и секундарни напони, још мањи и могу да се занемаре. [5]

Уколико се оптерећење уноси изван чворова решеткастог носача, као на пример код решеткастих роњача, оно изазива локално савијање појаса дуж којег делује. Моменти савијања који су последица оваквог савијања између чворова не могу се занемарити, већ треба да се третирају као примарни утицаји. [5]

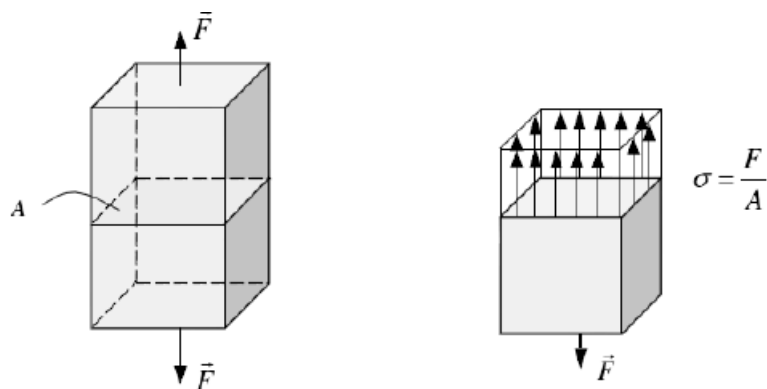
Према томе, појасне штапове треба прихватити комбиновано дејство аксијалне силе (притиска или затезања) и момента савијања.



Слика 3.1 – Секундарни утицаји услед крутих веза у чворовима

3.1 Аксијално напрезање

Аксијално напрезање представља специјални случај равнoг стања напона. Оно се јавља када је штап на својим крајевима оптерећен затежућим или притискујућим колинеарним силама чији се правци поклапају са уздужном осом штапа. То је једноосно напрезање, и у попречном пресеку који је нормалан на уздужну осу, јавља се само нормална компонента напона $\sigma_z = \sigma$.^[5]



Слика 3.2 – Штап под деловањем спољашњих и унутрашњих сила

Посматрајмо слику 2.3. Штап је оптерећен на крајевима подужним центричним силама F . Ако се штап пресече, унутрашња сила представља резултанту елементарних сила распоређених по површини попречног пресека A . Може се рећи да је сила распоређена по јединици површине или интензитет силе подељен са попречним пресеком напон σ , односно: ^[5]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Силе у штаповима се могу одредити графичким и аналитичким методама као што су: Кремонин план сила, Кулманова метода, метода издвајања чворова, Ритерова метода и сл... Поред тога, користе се и доступни софтвери који раде много поузданије и брже од човека, па се у томе огледа њихова велика предност.

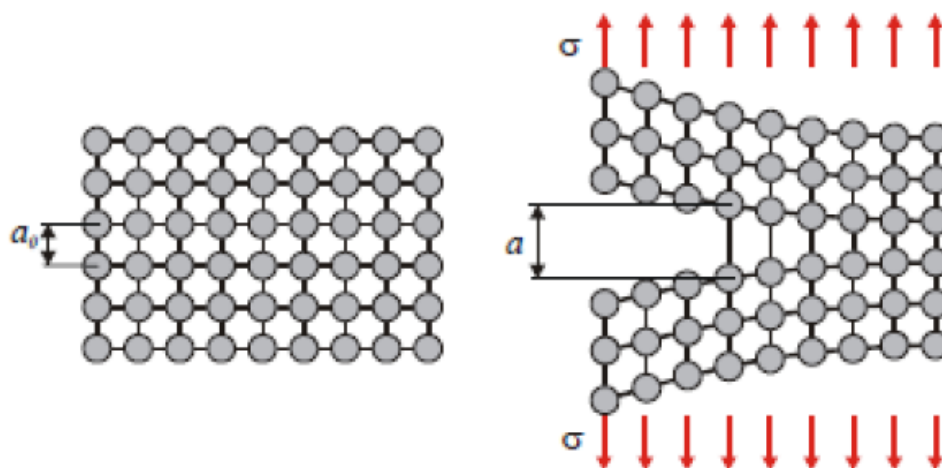
Површина попречног пресека зависи од облика самог профила. Као штапови решеткастих носача користе се сви ваљани профили, како отвореног тако и затвореног попречног пресека као и попречни пресеци образовани заваривањем. Избор попречног пресека зависи од интензитета напрезања, начина конструкцијског обликовања везе и чворовима, положају штапа у конструкцији и предвиђене функције решеткастог носача. Ваљани профили се примењују као самостални, једноделни штапови или као саставни елементи вишеделних попречних пресека. ^[5]

4. МОГУЋИ ЛОМОВИ РАВАНСКИХ РЕШЕТКАСТИХ НОСАЧА

Лом раванских решеткастих носача се може дефинисати као макроскопско раздвајање материјала, које доводи до губитка носивости целе конструкције. Он је крајњи догађај који веома често наступа брзо. Насупрот њему, узрок лома – грешке у материјалу (микropоре, микropукотине) напредују споро током времена. Настанак и напредовање ових грешака је различит. Најчешће су последица: ^[6]

- замора материјала
- напонске корозије услед константног оптерећења
- пузања – развлачења материјала
- неправилности у материјалу

Прва две ставке и њихове комбинације су најчешћи узроци појаве и напредовања пукотине. Оне изазивају разарање атомске или молекулске везе, па се на тај начин ствара нова слободна површина, што је илустровано приказано на слици 4. ^[6]



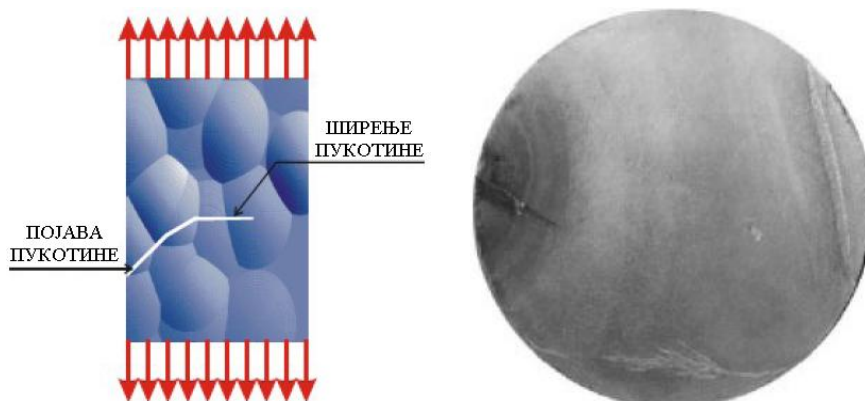
Слика 4.1 – Раздвајање атома

Појава замора је уочена пре око 170 година када је након железничке несреће у Версају 1842. пукла осовина на локомотиви и погинуло најмање 55 људи. Читаво време, све до данас, се проучавају ломови материјала како би се пронашли узроци и ублажиле њихове последице. ^[6]

4.1 Замор материјала

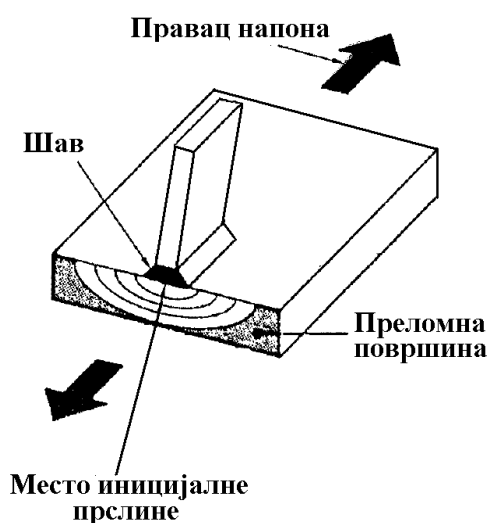
Услед оптерећења чији се интензитет вишеструко циклично мења, може да дође до лома напругнутог носача, иако ни у једном тренутку није достигнута статичка чврстоћа материјала. Ова појава се назива замор материјала. Вишедеценијско градитељско искуство показује да се велики број хаварија инжењерских конструкција приписује замору. Лом изазван замором материјала дешава се у конструкцијским носачима мостова, кранова, носача дизалица, платформи, итд. Оптерећења која могу да доведу до лома конструкције услед замора су променљива оптерећења услед дејства ветра, вибрација, па и температурних промена. ^[6]

Лом изазван вишеструким оптерећењем најчешће настаје на месту унутрашње или спољашње грешке. На таквим местима у конструкцији носача, при наизменичном напрезању променљивим оптерећењем долази до неравномерне расподеле напона која се огледа у стварању јаких локалних концентрација напона. Како природа оптерећења не омогућава остварење процеса пластификације, то се на овим местима редовно јавља микроскопска прлина, која се потом шири и изазива лом. Преломна површина је карактеристична по томе што се прелом постепено шири око микроскопске прсине (која је због своје улоге названа "иницијална прлина") остављајући концентричне трагове.^[6]



Слика 4.2 – Ширење пукотина при цикличном оптерећењу

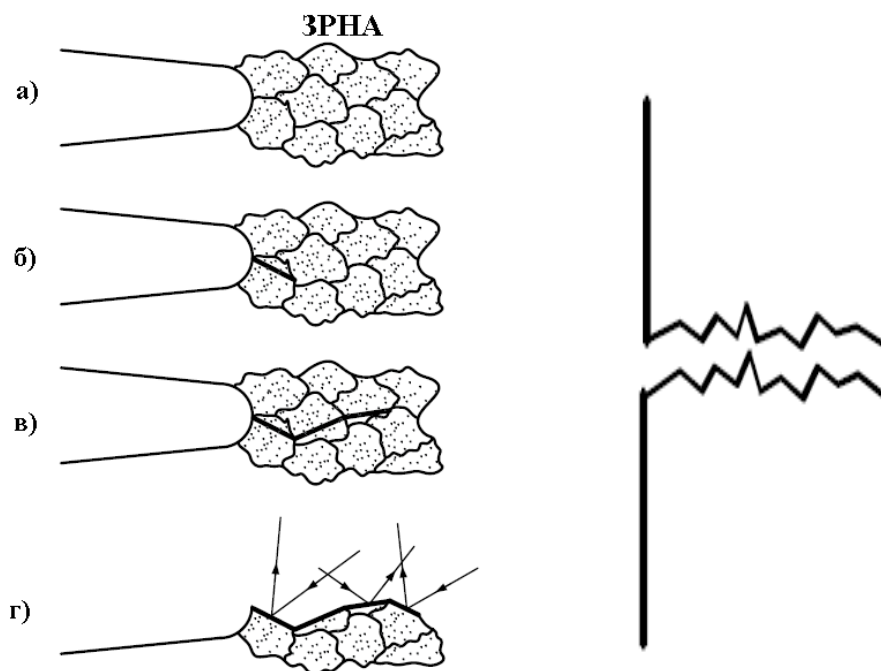
Слика 4.3 представља типичан лом услед замора (крти лом) на месту иницијалне прсине у једном завареном решеткастом носачу. На местима грешака у материјалу или завареном шаву, где је поремећен ток сила, долази до концентрације напона (стварања напонских врхова). Уколико је материјал статички оптерећен, а материјал има пластична својства, долази до прерасподеле напона, па се дијаграм напона изравнава. Међутим, уколико је материјал изложен променљивом, односно динамичком оптерећењу, не може доћи до достизања границе развлачења, јер се на местима где је прекорачена отпорност на замор јавља прлина која изазива лом.^[6]



Слика 4.3 – Шематски приказ типичног прелома услед замора једног завареног решеткастог носача

4.2 Крти лом

Снижавањем спољашње температуре код челика долази до смањења његове дуктилности. Постоји температурна граница испод које лом челика настаје дуж површина кристала пропраћен са мало или без икакве пластичне деформације, за разлику од класичног лома који је праћен знатним пластичним деформацијама. Основна карактеристика кртог лома је да нема никаквих пропратних деформација, па се настале прсине у конструкцији тешко откривају пре рушења конструкције. Запажено је да такве прсине настају на местима високих концентарација напона. Најчешће је извор пукотине грешка у завареном шаву. У свим случајевима околина извора прсине има гладак изглед, који се протеже до границе подручја подложног кртом лому. Подручје кртог лома је ишарано мрежом радијалних и концентричних линија помоћу којих се лако може открити почетак напрсине. Генерално, крти лом настаје у конструкцији при комбинацији конструктивног дисконтинуитета (дејства зареза) и неповољних услова као што су напони затезања.^[6]

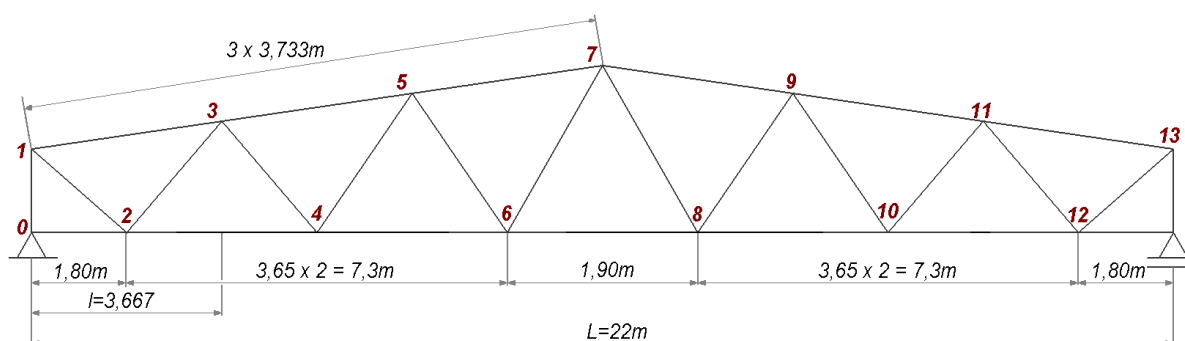


Слика 4.4 – Крти лом започет у врху пукотине (а,б,в); Сјај ломних површина услед рефлектовања светлости (г)

5. ПРИМЕР ПРОРАЧУН РЕШЕТКАСТОГ КРОВНОГ НОСАЧА

Конструкција хале је изведена је рамовским системом са стубовима укљештеним у темеље и зглобним везама стубова и кровних носача. Стубови су заварени I профили, а кровни носач је изведен као решеткасти носач дужине 22m са полигоналном дијагоналном испуном. Максимална висина решеткастог носача износи 2,6m, а остале димензије су дате сликом 5.1.

Потребно је димензионисати решеткасти носач, код кога попречни пресек доњег и горњег појаса, као и дијагонала има правоугаони облик.



Слика 5.1 – Кровни носач хале

5.1. Примарно оптерећење

а) Сопствена тежина

Носећу кровну конструкцију чине рожњаче и кровни везачи, а као покривач користи се AL сендвич који се састоји од два лима са термоизолацијом од полиретана између њих.

Сопствена тежина кровног носача износи:

- покривач $0,0865 \text{ kN/m}^2$
- рожњаче $0,09 \text{ kN/m}^2$
- главни везач (по 1 m^2 основе) $0,28 \text{ kN/m}^2$

Ово оптерећење сводимо по 1 m^2 основе, па је:

$$g = (0,0865 + 0,09) \cdot \frac{3,733}{3,667} + 0,28 = 0,459 \text{ kN/m}^2 \quad (5.1)$$

Чворна оптерећења:

- чворови 3 и 5:

$$P_{g3} = P_{g5} = g \cdot L' \cdot L_v = 0,459 \cdot 3,667 \cdot 5,6 = 9,43 \text{ kN} \quad (5.2)$$

- чворови 1 и 7:

$$P_{g1} = P_{g7} = \frac{1}{2} \cdot 9,43 = 4,72 \text{ kN} \quad (5.3)$$

б) Оптерећење од снега

Оптерећење од снега:

$$s = 0,75 \text{ kN/m}^2 \text{ основе} \quad (5.4)$$

Чворна оптерећења:

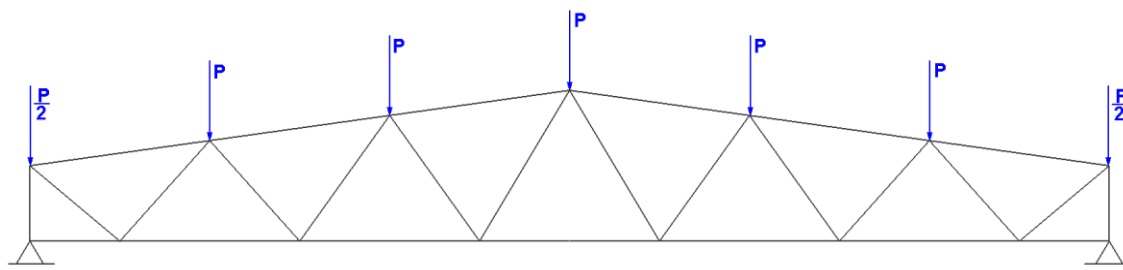
$$P_3 = P_5 = 0,75 \cdot 3,667 \cdot 5,6 = 15,4 \text{ kN} \quad (5.5)$$

$$P_1 = P_7 = \frac{1}{2} \cdot 15,4 = 7,7 \text{ kN} \quad (5.6)$$

Израчунате силе од сталног оптерећења и снега свODE се на једначину оптерећења па је:

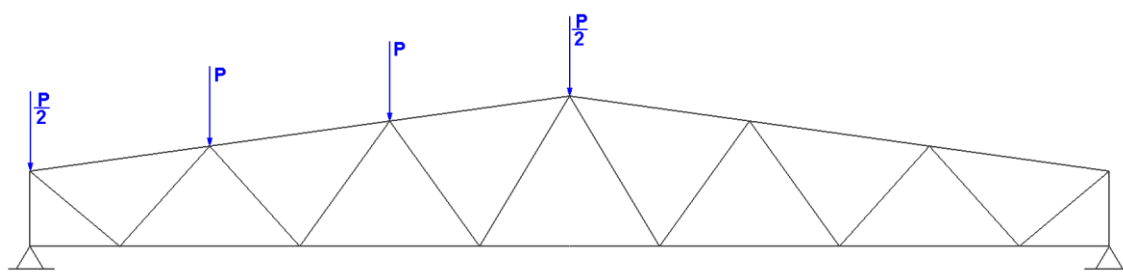
$$P_3 = P_5 = P \quad (5.7)$$

$$P_1 = P_{levo} = \frac{P}{2} \quad (5.8)$$

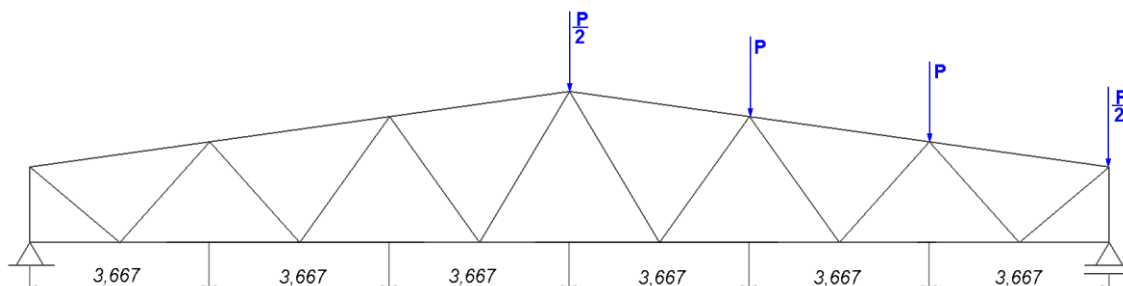


Слика 5.2 – Оптерећење од снега

Напомена: Ради различитих могућности оптерећења и ради различите могућности појаве статичких утицаја, решеткасти носач се не посматрамо као симетрично оптерећен, већ као несиметрично.

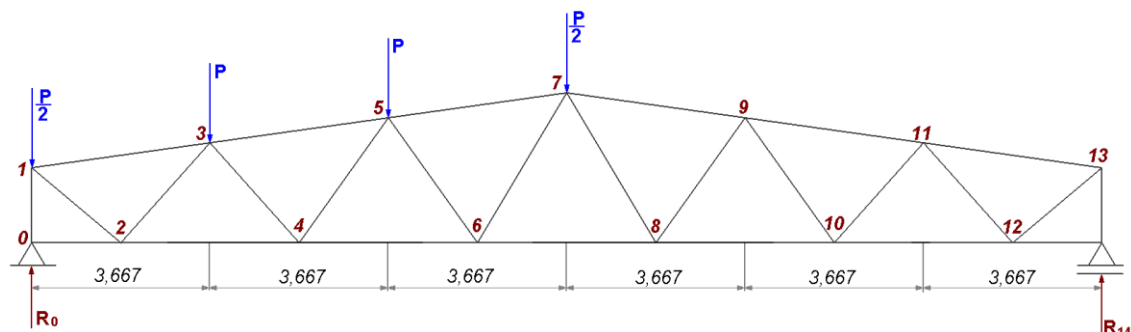


Слика 5.3 - Несиметрично оптерећен решеткасти носач



Слика 5.4 – Несиметрично оптерећен решеткасти носач

За овако несиметричан случај (за било које оптерећење а) или б) тражимо силе у штаповима. У овом случају тражимо силе у штаповима за случај а.



Слика 5.5 – Одређивање сила у штаповима несиметрично оптерећеног решеткастог носача

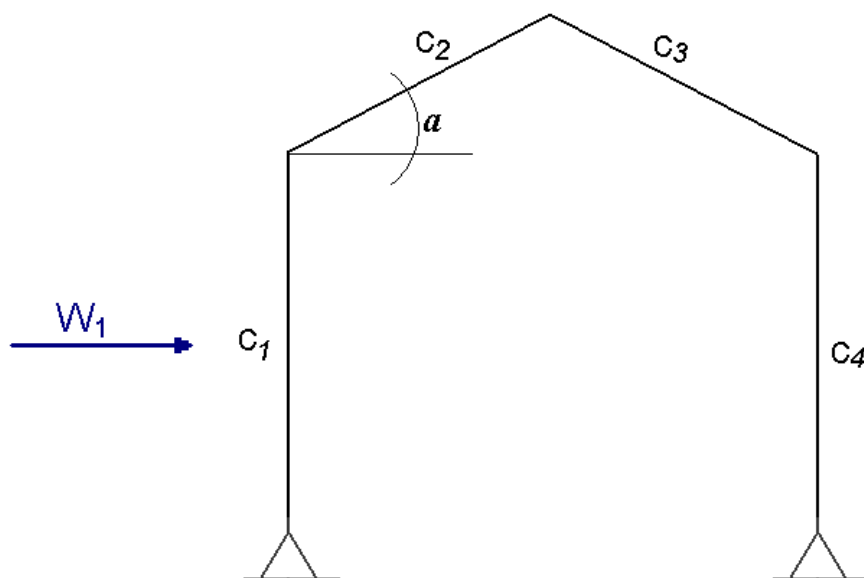
$$\sum M_a = 0 \quad P \cdot \left(3,667 + 2 \cdot 3,667 + 3 \cdot 3,667 \cdot \frac{1}{2} \right) - R_{14} \cdot 22 = 0 \quad (5.9)$$

$$R_{14} = 0,75 \cdot P \quad (5.10)$$

$$R_0 = \frac{P}{2} + 2P - \frac{P}{2} - 0,75P = 2,25P \quad (5.11)$$

5.2 Секундарно оптерећење

а) Ветар



Слика 5.6 – Дејство коефицијената притиска ветра

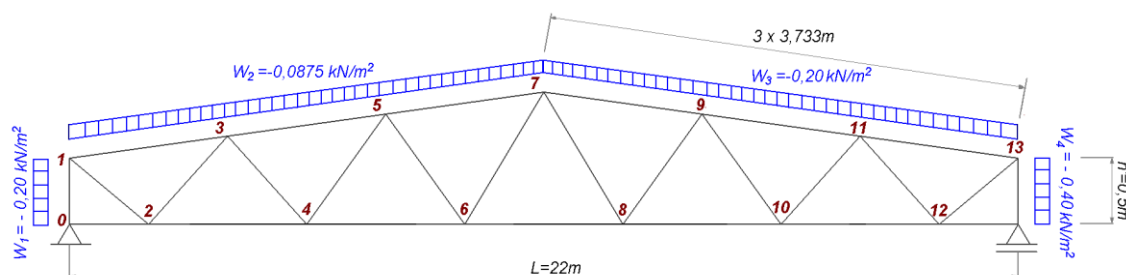
Коефицијенти притиска ветра:

$$c_1 = 0,8 \quad (5.12)$$

$$c_2 = c(\alpha) \quad (5.13)$$

$$c_3 = -0,4 \quad (5.14)$$

$$c_4 = -0,4 \quad (5.15)$$



Слика 5.7 – Оптерећење кровног носача ветром

Нагиб крова:

$$\alpha = 10^\circ 48' 29''$$

$$\sin \alpha = 0,1875$$

$$\cos \alpha = 0,98226$$

Коефицијенти притиска ветра:

$$c_1 = 0,8 \quad (5.16)$$

$$c_2 = 1,2 \cdot \sin \alpha - 0,4 = 1,2 \cdot 0,1875 - 0,4 = -0,175 \quad (5.17)$$

$$c_3 = -0,4 \quad (5.18)$$

$$c_4 = -0,4 \quad (5.19)$$

Зона ветра I висине 10-30 m ; полузаштићен $g = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Дејство ветра на решетку (стварно):

$$\omega = c \cdot g \quad (5.20)$$

$$\omega_1 = 0,8 \cdot 0,5 = 0,40 \text{ kN/m}^2 \quad (5.21)$$

$$\omega_2 = -0,175 \cdot 0,5 = -0,0875 \text{ kN/m}^2 \quad (5.22)$$

$$\omega_3 = -0,4 \cdot 0,5 = -0,20 \text{ kN/m}^2 \quad (5.23)$$

$$\omega_4 = -0,4 \cdot 0,5 = -0,20 \text{ kN/m}^2 \quad (5.24)$$

Стварне силе на решетку (утицај 1) износе:

$$W_i = \omega_i \cdot F_i \quad (5.25)$$

а за размак главних носача: $L = 5,6 \text{ m}$

$$W_1 = 0,40 \cdot 0,5 \cdot 5,6 = 1,12 \text{ kN/m}^{-1} \quad (5.26)$$

$$W_2 = -0,0875 \cdot 11,2 \cdot 5,6 = -5,488 \text{ kN/m}^{-1} \quad (5.27)$$

$${}_V W_2 = -5,39 \text{ kN} \quad (5.28)$$

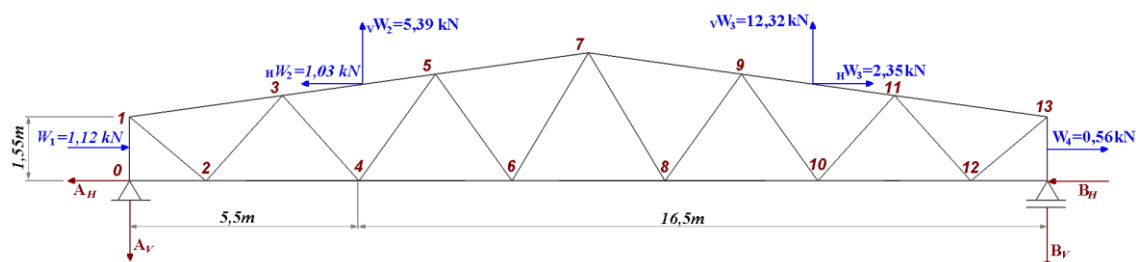
$${}_H W_2 = -1,029 \text{ kN} \quad (5.29)$$

$$W_3 = -0,20 \cdot 11,20 \cdot 5,60 = -12,54 \text{ kN} \quad (5.30)$$

$${}_V W_3 = -12,32 \text{ kN} \quad (5.31)$$

$${}_H W_3 = -2,35 \text{ kN} \quad (5.32)$$

$$W_4 = -0,20 \cdot 0,5 \cdot 5,60 = -0,56 \text{ kN} \quad (5.33)$$



Слика 5.8 – Стварне силе ветра на решетки

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0 \quad & 1,12 \cdot 0,25 - 1,029 \cdot 1,55 - 5,39 \cdot 5,5 - 12,39 \cdot 16,5 + \\ & + 2,35 \cdot 1,55 + 0,56 \cdot 0,25 = -B_V \cdot 2,2 \end{aligned} \quad (5.34)$$

$$B_V = 10,53 \text{ kN} \quad (5.35)$$

$$A_V = 5,39 + 12,32 - 10,53 = 7,18 \text{ kN} \quad (5.36)$$

Хоризонталне реакције тражимо апроксимативно:

$$A_H = \frac{1,12 \cdot 22}{22} - \frac{1,03 \cdot 16,5}{22} + \frac{2,35 \cdot 5,5}{22} + \frac{0,56 \cdot 0}{22} = 0,935 \text{ kN} \quad (5.37)$$

$$B_H = 1,12 - 1,03 + 2,35 + 0,56 - 0,935 = 2,065 \text{ kN} \quad (5.38)$$

Оптерећење по чворовима

а) вертикално оптерећење

$${}_v\omega_2 = \omega_2 \cdot \cos \alpha = -0,0875 \cdot 0,98226 = -0,0859 \text{ kN} \quad (5.39)$$

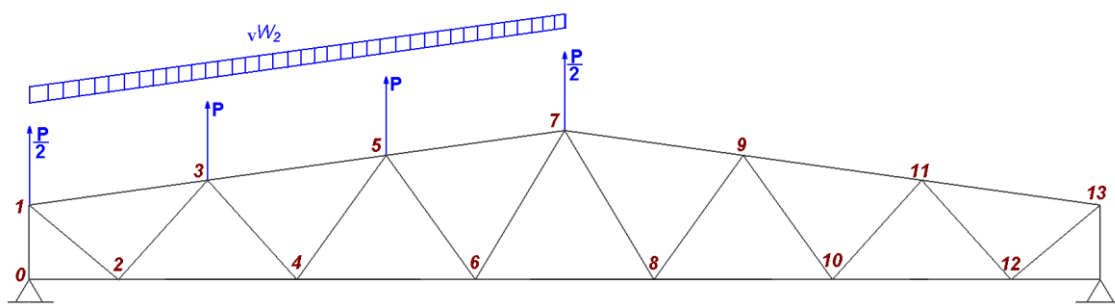
$${}_v\omega_3 = \omega_3 \cdot \cos \alpha = -0,20 \cdot 0,98226 = -0,196 \text{ kN} \quad (5.40)$$

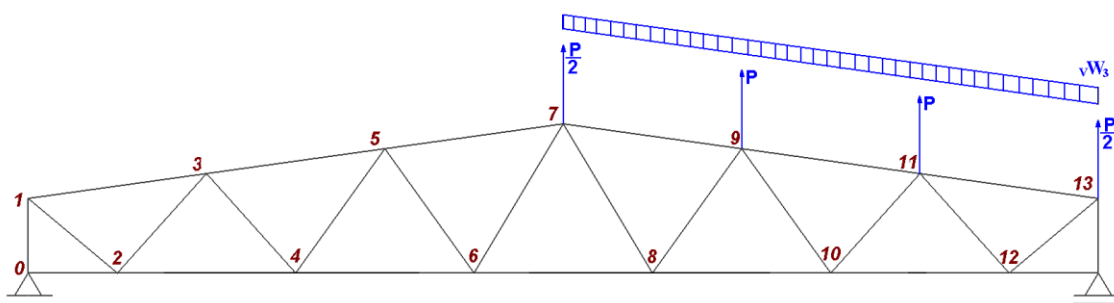
$$V_1 = V_7^l = -0,0859 \cdot \frac{3,667}{2} \cdot 5,6 = -0,882 \text{ kN} \quad (5.41)$$

$$V_3 = V_5 = -0,0859 \cdot 3,667 \cdot 5,6 = -1,764 \text{ kN} \quad (5.42)$$

$$V_{14} = V_7^d = -0,196 \cdot \frac{3,667}{2} \cdot 5,6 = -2,012 \text{ kN} \quad (5.43)$$

$$V_9 = V_{11} = -0,196 \cdot 3,667 \cdot 5,6 = -4,025 \text{ kN} \quad (5.44)$$

Слика 5.9 – Вертикално оптерећење ${}_vW_2$ разложено по чворовима

Слика 5.10 - Вертикално оптерећење vW_3 разложено по чворовима

б) хоризонтално оптерећење

$${}_H\omega_2 = -0,0875 \cdot 0,1875 = -0,0164 \text{ kN} \quad (5.45)$$

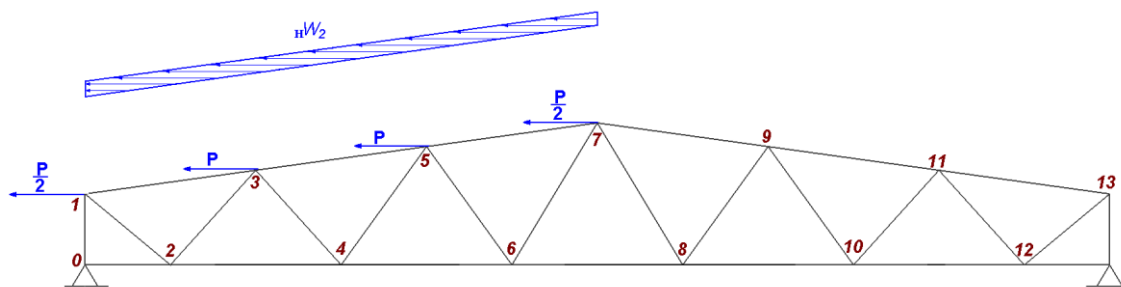
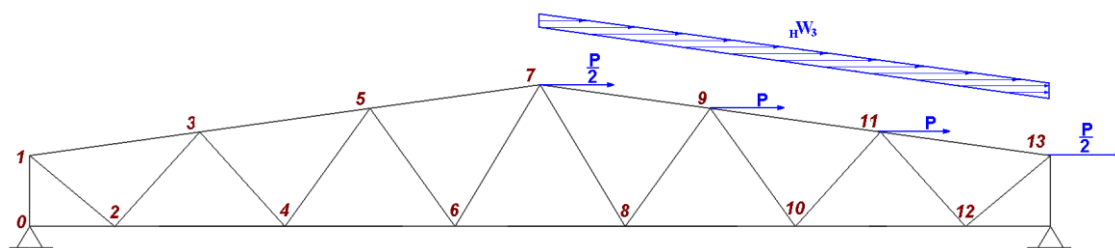
$${}_H\omega_3 = -0,20 \cdot 0,1875 = -0,0375 \text{ kN} \quad (5.46)$$

$$H_1 = H_7^L = -0,0164 \cdot \frac{3,667}{2} \cdot 5,6 = -0,168 \text{ kN} \quad (5.47)$$

$$H_3 = H_5 = -0,0164 \cdot 3,667 \cdot 5,6 = -0,337 \text{ kN} \quad (5.48)$$

$$H_7^d = H_{13} = -0,0375 \cdot \frac{3,667}{2} \cdot 5,6 = -0,337 \text{ kN} \quad (5.49)$$

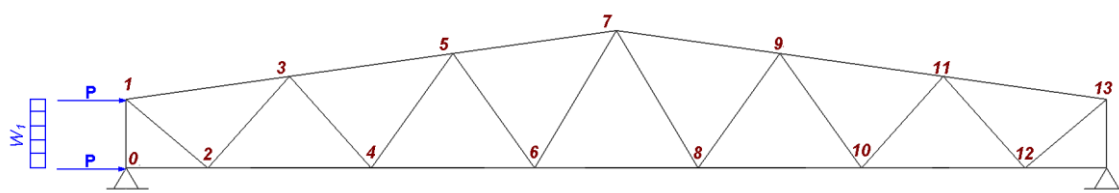
$$H_9 = H_{11} = -0,0375 \cdot 3,667 \cdot 5,6 = -0,77 \text{ kN} \quad (5.50)$$

Слика 5.11 - Хоризонтално оптерећење ${}_H W_2$ разложено по чворовимаСлика 5.12 - Хоризонтално оптерећење ${}_H W_3$ разложено по чворовимаХоризонтално оптерећење ${}_H W_3$ разложено по чворовима:

$$\omega_1 = 0,40 \text{ kN/m}^2 \quad (5.51)$$

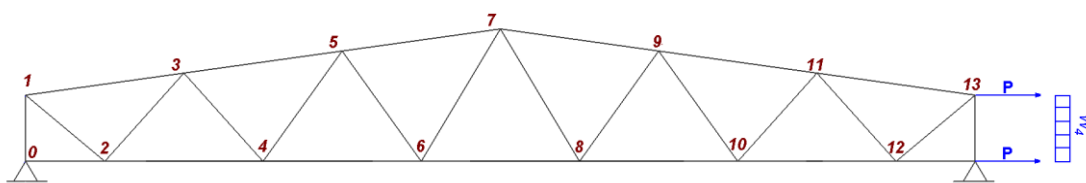
$$\omega_4 = -0,20 \text{ kN/m}^2 \quad (5.52)$$

$$H_1 = H_0 = 0,40 \cdot \frac{0,5}{2} \cdot 5,6 = 0,56 \text{ kN} \quad (5.53)$$

Слика 5.13 - Хоризонтално оптерећење W_1 разложено по чворовима

Хоризонтално оптерећење W_1 разложено по чворовима:

$$H_3 = H_{14} = -0,20 \cdot \frac{0,5}{2} \cdot 5,6 = -0,28 \text{ kN} \quad (5.54)$$

Слика 5.14 - Хоризонтално оптерећење W_4 разложено по чворовима

в) подпритисак и надпритисак

$$c = \pm 0,30 \quad (5.55)$$

$$g = 0,5 \quad (5.56)$$

$$\omega = \pm 0,30 \cdot 0,5 = \pm 0,15 \text{ kN} \quad (5.57)$$

Код подпритиска и надпритиска хоризонталне силе се уравнотежавају:

$$_v \omega = \pm 0,15 \cdot 0,98226 = \pm 0,147 \text{ kN} \quad (5.58)$$

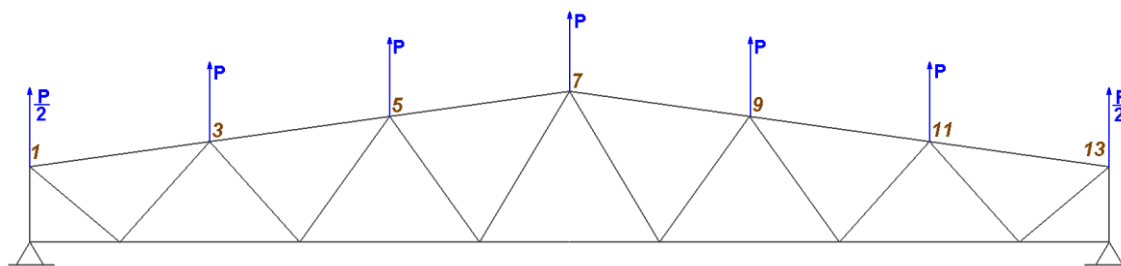
$$_H \omega = \pm 0,15 \cdot 0,1875 = \pm 0,028 \text{ kN} \quad (5.59)$$

$$A_v = \pm 0,147 \cdot 5,60 \cdot 11 = \pm 9,05 \text{ kN} \quad (5.60)$$

$$B_v = \pm 9,05 \text{ kN} \quad (5.61)$$

$$V_1 = V_{13} = \pm 0,147 \cdot \frac{3,667}{2} \cdot 5,6 = 1,51 \text{ kN} \quad (5.62)$$

$$V_2 \text{ до } V_{11} = \pm 0,147 \cdot 3,667 \cdot 5,6 = 3,02 \text{ kN} \quad (5.63)$$



Слика 5.15 – Оптерећење од ветра растављено на утицаје по чворовима

Напомена: Оптерећење од ветра раставили смо на утицаје по чворовима. На основу тога добили смо седам начина деловања и за сваки од њих тражимо погодном методом силе у штаповима. За начин 1 и 2 могу се

искористити кремона од утицаја сопствене тежине, стим што се мења знак силе у штаповима.

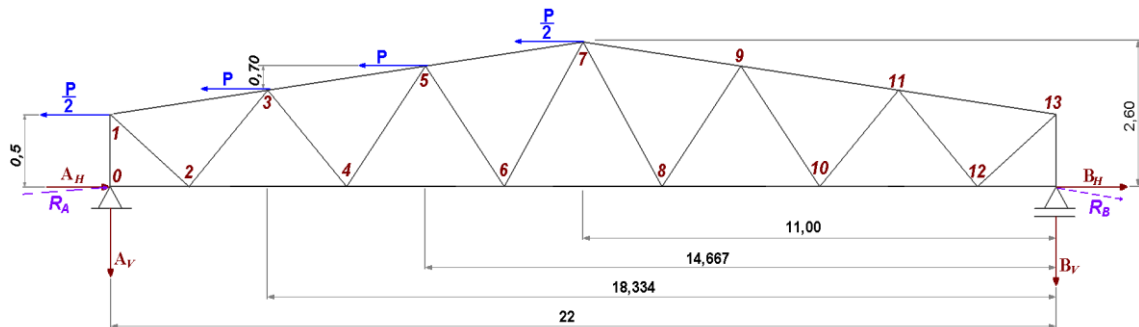
За 3 и 4 начин црта се један кремонин полигон сила.

Сила у штапу S_{1-3} :

$$S_{1-3} = S_{1-3}^3 + S_{1-3}^4 \quad (5.64)$$

Ако цртамо кремонин полигон сила за случај 3 онда се силе у штаповима, у случају 4, добијају тако што се ротира решетка, користећи симетрију решетки и симетрију јединице оптерећења.

$$S_{1-2}^3 = \pm S_{13-14}^4 \quad (5.65)$$



Слика 5.16 – Одређивање силе у штаповима

$$\sum M_A = 0 \quad B_V = \left(\frac{P}{2} \cdot 2,6 + P \cdot 1,9 + P \cdot 1,2 + \frac{P}{2} \cdot 0,5 \right) \cdot \frac{1}{22} = 0,21 \cdot P \quad (5.66)$$

$$\sum Y = 0 \quad A_V = 0,21 \cdot P \quad (5.67)$$

Хоризонталне реакције одређује апроксимативно:

$$\sum M_B = 0 \quad A_H = \left(\frac{P}{2} \cdot 11 + P \cdot 14,667 + P \cdot 18,334 + \frac{P}{2} \cdot 22 \right) \cdot \frac{1}{22} = 2,25 \cdot P \quad (5.68)$$

$$\sum X = 0 \quad B_H = \frac{P}{2} + P + P + \frac{P}{2} - 2,25 \cdot P = 0,75 \cdot P \quad (5.69)$$

$$R_A = \sqrt{0,21^2 + 2,25^2} = 2,22 \text{ kN} \quad (5.70)$$

$$R_B = \sqrt{0,21^2 + 0,75^2} = 0,78 \text{ kN} \quad (5.71)$$

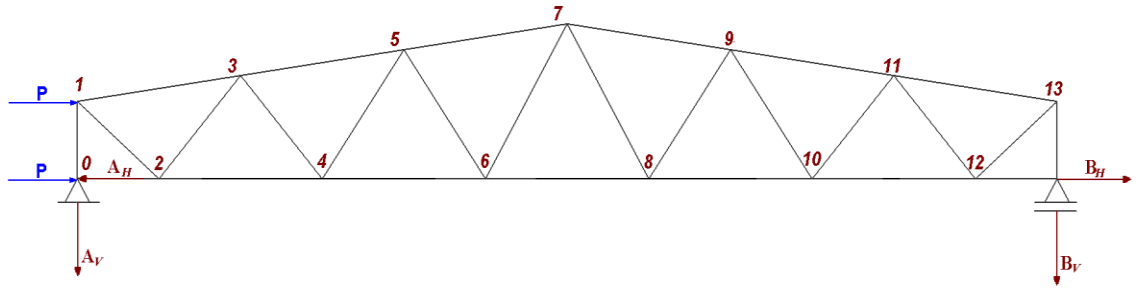
Табела 5.1 – Приказ сила у штаповима услед дејства $H W_2$ и $H W_3$

ШТАП	СИЛЕ У ШТАПОВИМА				
	Утицај од W_2		Утицај од W_3		$S_H W_2 + S_H W_3$ силе у штаповима [kN]
	Јед. оптерећење	$S_H W_2$ P=0,337	Јед. оптерећење	$S_H W_3$ P=0,185	
0-2	-2.25	0.758	-0.75	-0.288	-1.047
2-4	-1.31	-0.44	-0.113	-0.044	-0.484
4-6	-0.675	-0.227	-0.0625	-0.024	-0.251
6-8	-0.125	-0.0482	-0.125	-0.048	-0.090
8-10	-0.0625	-0.021	-0.675	-0.259	-0.281
10-12	-0.113	-0.038	-1.31	-0.504	-0.542
12-14	-0.75	-0.253	-2.25	-0.866	-1.12
1-3	0.15	0.05	0.463	0.178	0.228
3-5	0.187	0.063	0.25	0.096	0.159
5-7	0.637	0.214	0.863	0.332	0.546
7-9	0.863	0.29	0.637	0.245	0.535
9-11	0.25	0.084	0.187	0.072	0.156
11-13	0.463	0.147	0.15	0.0577	0.205
1-2	0.688	0.232	-0.475	-0.183	0.049
2-3	-0.34	-0.114	0.225	0.0866	-0.027
3-4	0.45	0.15	-0.30	-0.115	0.035
4-5	-0.375	-0.126	0.228	0.0878	-0.038
5-6	0.455	0.153	-0.12	-0.0462	0.1992
6-7	-0.413	-0.139	0.10	0.0385	-1.00
7-8	0.10	0.034	-0.413	-0.159	-0.125
8-9	-0.12	-0.040	0.455	0.175	0.135
9-10	0.228	0.0768	-0.375	-0.144	0.0675
10-11	-0.30	-0.10	0.45	0.173	0.073
11-12	0.225	0.075	-0.34	-0.13	0.056
12-13	-0.475	-0.16	0.688	0.265	0.105
0-1	-0.21	-0.071	+0.21	0.080	0.009
13-14	+0.21	0.071	-0.21	-0.080	-0.009

Табела 5.2 – Приказ сила у штаповима услед дејства vW_2 и vW_3

ШТАП	СИЛЕ У ШТАПОВИМА				
	Утицај од vW_2		Утицај од vW_3		$S_{vW_2} + S_{vW_3}$ силе у штаповима [kN]
	Јед. оптерећење	S_{vW_2} P=1,764	Јед. оптерећење	S_{vW_3} P=4,025	
0-2	0	/	0	/	/
2-4	-5.55	-979	-2.625	-10.56	-20.35
4-6	-4975	-8.776	-2.960	-11.914	-20.69
6-8	-3.275	-5.777	-3.276	-13.18	-18.96
8-10	-2.960	-5.22	-4.975	-20.02	-25.24
10-12	-2.625	-4.63	-5.55	-22.34	-26.97
12-14	0	/	0.0	/	/
1-3	3.875	6.84	1.550	6.24	13.08
3-5	5.30	9.35	2.775	11.17	20.52
5-7	4.075	7.19	3.213	12.93	20.12
07-9	3.213	5.67	4.075	16.40	22.07
9-11	2.775	4.89	5.30	21.33	26.22
11-13	1.550	2.73	3.875	15.59	18.33
1-2	-3.95	-6.97	-1.70	-6.84	13.81
2-3	2.037	3.59	0.826	3.32	6.91
3-4	0.425	0.75	-0.40	-1.61	-0.86
4-5	-0.312	-0.55	-1.238	1.31	0.758
5-6	1.40	2.47	-0.40	-1.61	0.86
6-7	-1238	-2.18	0.20	0.805	-1.375
7-8	0.20	-0.353	-1.238	-4.98	-4.63
8-9	-0.40	-0.71	1.40	5.635	4.925
9-10	0.325	0.57	-0.312	-1.26	0.68
10-11	-0.400	-0.70	0.425	1.71	1.01
11-12	0.326	1.475	2.037	8.198	9.65
12-13	-1.70	-2.998	-3.95	-15.898	18.89
0-1	2.25	3.969	0.75	3.02	6.99
13-14	0.75	1.323	2.25	9.05	10.38

Хоризонтално оптерећење ${}_H W_1$ и ${}_H W_4$ разложено по чворовима за цртање Кремониног полигона сила:



Слика 5.17 - Одређивање сила у штаповима

$$\sum M_B = 0 \quad -A_V \cdot 22 + P \cdot 0,5 = 0 \quad (5.72)$$

$$B_V = A_V = 0,023 \cdot P \quad (5.73)$$

Хоризонталне реакције одређује апроксимативно:

$$\sum M_B = 0 \quad A_H = \frac{P \cdot 22}{22} + \frac{P \cdot 22}{22} = 2 \cdot P \quad (5.74)$$

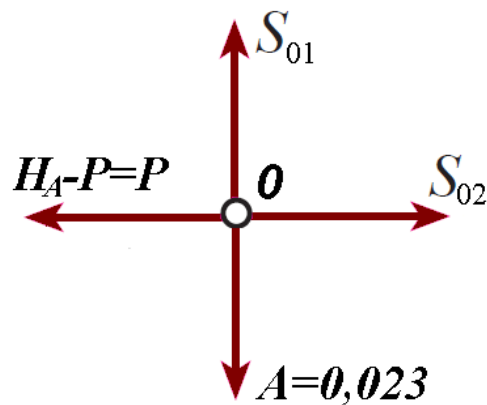
$$B_H = 0$$

Силе тражимо методом чворова:

- чвор 0:

$$\sum X = 0 \quad S_{02} = P \quad (5.75)$$

$$\sum Y = 0 \quad S_{01} = 0,023 \quad (5.76)$$



Слика 5.18 - Чвор 0

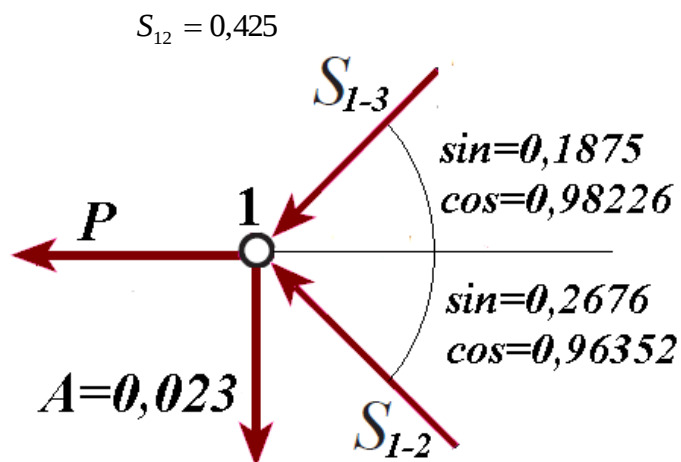
- чвор 1:

$$\sum X = 0 \quad -S_{13} \cdot 0,98226 + 1 + S_{12} \cdot 0,96352 = 0 \quad (5.77)$$

$$S_{12} = S_{13} \cdot 1,019 - 1,03786 \quad (5.78)$$

$$\sum Y = 0 \quad -S_{13} \cdot 0,1875 - S_{13} \cdot 0,2728 + 0,277 \quad (5.79)$$

$$S_{13} = \frac{0,277}{0,4603} = 0,60$$



Слика 5.19 - Чвор 1

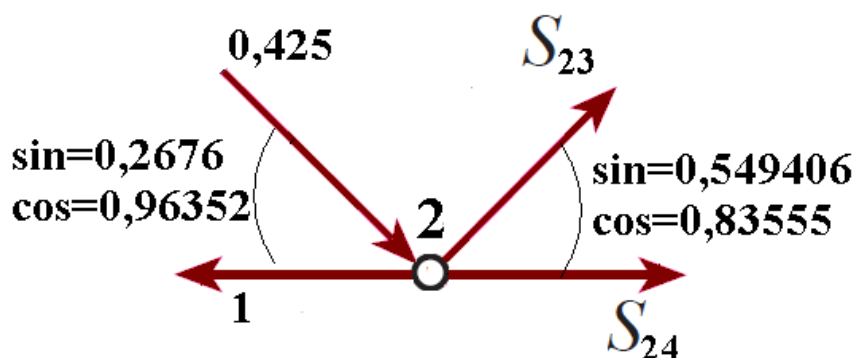
- чвор 2:

$$\sum Y = 0 \quad S_{23} \cdot 0,549406 = 0,425 \cdot 0,2676 \quad (5.80)$$

$$S_{23} = 0,21$$

$$\sum X = 0 \quad -1 + 0,409 + 0,175466 + S_{24} = 0 \quad (5.81)$$

$$S_{24} = 0,415$$



Слика 5.20 - Чвор 2

- чвор 3:

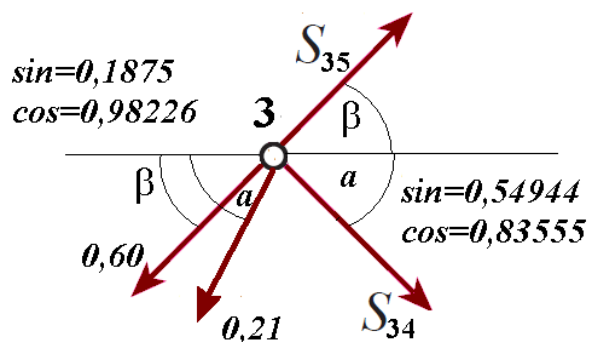
$$\begin{aligned} \sum X = 0 \quad & 0,60 \cdot 0,98226 - S_{35} \cdot 0,98226 - 0,21 \cdot 0,83555 + \\ & + S_{34} \cdot 0,83555 = 0 \end{aligned} \quad (5.82)$$

$$S_{34} = 1,175585 \cdot S_{35} - 0,4953 \quad (5.83)$$

$$\sum Y = 0 \quad 0,0096 - S_{35} \cdot 0,1875 - 0,6459 \cdot S_{35} + 0,272 = 0 \quad (5.84)$$

$$S_{35} = \frac{0,281737}{0,83334} = 0,338$$

$$S_{34} = 0,098$$



Слика 5.21 - Чвор 3

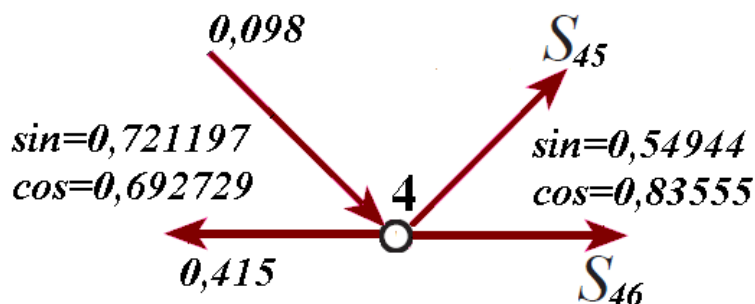
- чвор 4:

$$\sum Y = 0 \quad 0,098 \cdot 0,54944 = S_{45} \cdot 0,721197 \quad (5.80)$$

$$S_{45} = 0,075$$

$$\sum X = 0 \quad -0,415 + 0,08188 + 0,05195 + S_{46} = 0 \quad (5.81)$$

$$S_{46} = 0,28$$



Слика 5.22 - Чвор 4

- чвор 5:

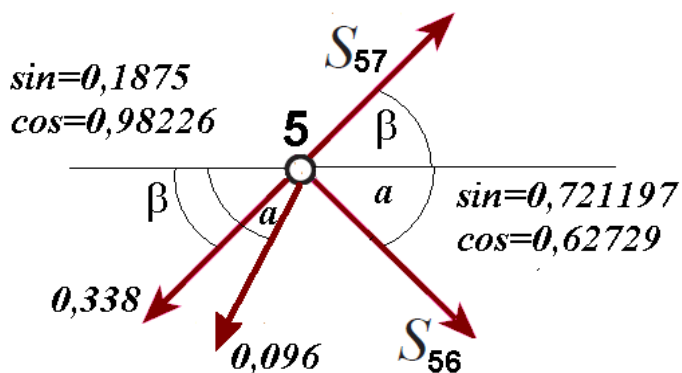
$$\sum Y = 0 \quad 0,06337 - 0,0692 - S_{57} \cdot 0,1875 + S_{56} \cdot 0,72119 = 0 \quad (5.82)$$

$$S_{56} = S_{57} \cdot 0,25998 + 0,008132$$

$$\sum X = 0 \quad 0,26655 - S_{57} \cdot 0,98226 - 0,1631 \cdot S_{57} - 0,0051 = 0 \quad (5.83)$$

$$S_{57} = 0,228$$

$$S_{56} = 0,0675$$



Слика 5.23 - Чвор 5

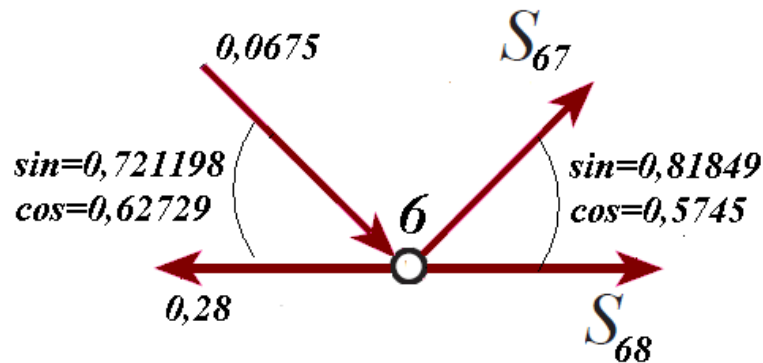
- чвор 6:

$$\sum Y = 0 \quad 0,0675 \cdot 0,721197 = S_{67} \cdot 0,81849 \quad (5.84)$$

$$S_{67} = 0,0595$$

$$\sum X = 0 \quad -0,28 + 0,0423 + 0,0342 + S_{68} = 0 \quad (5.85)$$

$$S_{68} = 0,20$$



Слика 5.24 - Чвор 6

- чвор 7:

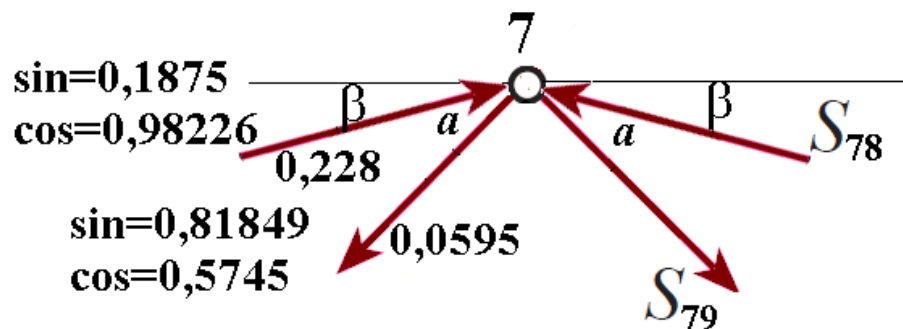
$$\sum Y = 0 \quad -0,00595 + S_{79} \cdot 0,1875 + S_{78} \cdot 0,18849 = 0 \quad (5.86)$$

$$S_{78} = 0,007269 - S_{79} \cdot 0,22908$$

$$\sum X = 0 \quad 0,1897 + S_{79} \cdot 0,1316 - 0,00417 - S_{79} \cdot 0,98226 = 0 \quad (5.87)$$

$$S_{79} = \frac{0,1855}{0,85046} = 0,218$$

$$S_{78} = 0,0426$$

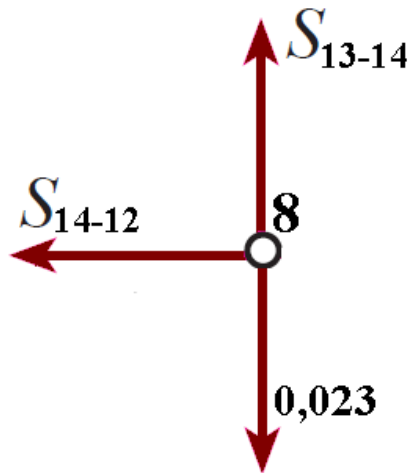


Слика 5.25 - Чвор 7

- чвор 8:

$$\sum X = 0 \quad S_{14-12} = 0 \quad (5.88)$$

$$\sum Y = 0 \quad S_{13-14} = 0,023 \quad (5.89)$$



Слика 5.26 - Чвор 8

- чвор 13:

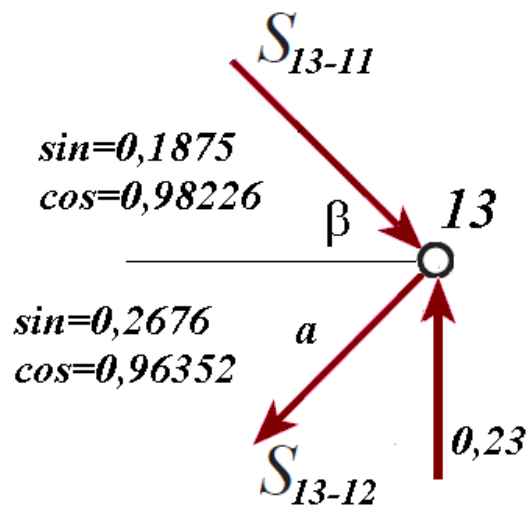
$$\sum X = 0 \quad S_{13-11} \cdot 0,98226 = S_{13-12} \cdot 0,96352 \quad (5.90)$$

$$S_{13-11} = 0,4807 \cdot S_{13-12} \quad (5.91)$$

$$\sum Y = 0 \quad 0,023 - S_{13-12} \cdot 0,2667 - S_{13-11} \cdot 0,1839 = 0 \quad (5.92)$$

$$S_{13-12} = 0,051$$

$$S_{13-11} = 0,050$$



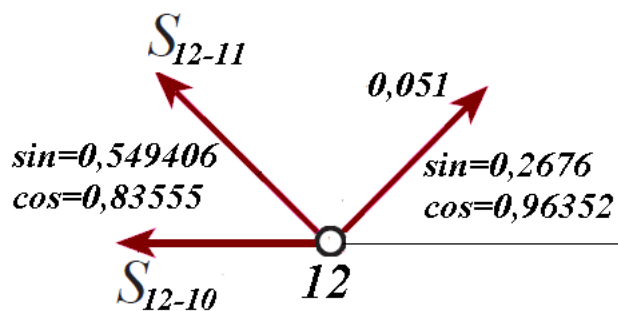
Слика 5.27 - Чвор 13

- чвор 12:

$$\sum Y = 0 \quad S_{11-12} \cdot 0,549406 = 0,051 \cdot 0,2676 \quad (5.93)$$

$$S_{11-12} = 0,025$$

$$\sum X = 0 \quad S_{12-10} = 0,207 + 0,049 = 0,0699 \quad (5.94)$$



Слика 5.28 - Чвор 12

- чвор 11:

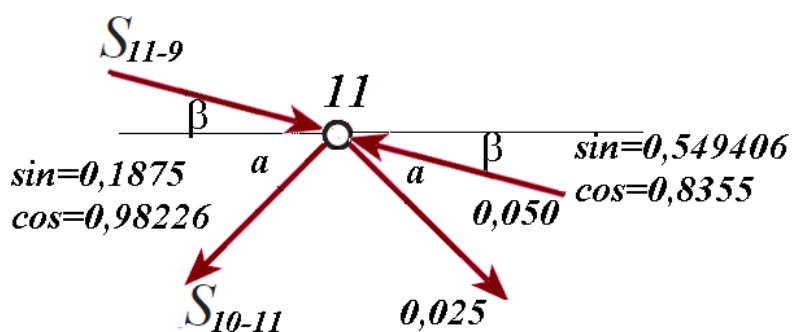
$$\sum X = 0 \quad -0,07 - S_{10-11} \cdot 0,8355 + S_{11-9} \cdot 0,98226 = 0 \quad (5.95)$$

$$S_{11-9} = 0,07126 + 0,85 \cdot S_{10-11} \quad (5.96)$$

$$\sum Y = 0 \quad 0,023 - 0,01336 - 0,159 \cdot S_{10-11} - S_{10-11} \cdot 0,54906 = 0 \quad (5.97)$$

$$S_{10-11} = \frac{0,00964}{0,70878} = 0,013$$

$$S_{11-9} = 0,083$$



Слика 5.29 - Чвор 11

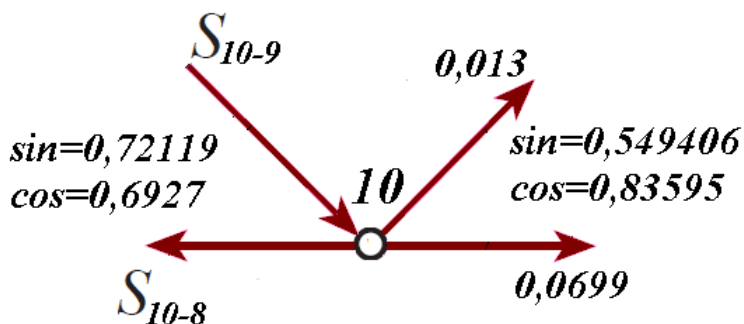
- чвор 10:

$$\sum Y = 0 \quad 0,013 \cdot 0,549406 = S_{10-9} \cdot 0,72119 \quad (5.98)$$

$$S_{10-9} = 0,01$$

$$\sum X = 0 \quad 0,0679 + 0,01086 + 0,00693 = S_{10-8} \quad (5.99)$$

$$S_{10-8} = 0,0876$$



Слика 5.30 - Чвор 10

Табела 5.3 – Приказ сила у штаповима услед дејства W_1 и W_4

ШТАП	СИЛЕ У ШТАПОВИМА				
	Утицај од W_1		Утицај од W_4		$S_{W1} + S_{W4}$ силе у штаповима [kN]
	Јед. оптерећење	S_{W1} P=0,56	Јед. оптерећење	S_{W4} P=0,28	
0-2	1	0.56	0	0	0.56
2-4	0.415	0.23	- 0.0699	- 0.0196	0.21
4-6	0.28	0.157	- 0.086	- 0.024	0.133
6-8	0.20	0.112	- 0.20	- 0.056	0.056
8-10	0.086	0.05	- 0.28	- 0.0784	- 0.028
10-12	0.0699	0.04	- 0.415	- 0.116	- 0.076
12-14	0	0	- 1	- 0.28	- 0.28
1-3	- 0.60	- 0.336	0.050	0.14	- 0.322
3-5	- 0.338	- 0.19	0.013	0.0036	- 0.186
5-7	- 0.228	- 0.127	0.218	0.06	- 0.066
07-9	- 0.218	- 0.122	0.228	0.064	- 0.058
9-11	- 0.013	- 0.007	0.338	0.094	- 0.087
11-13	- 0.050	- 0.028	0.60	0.168	- 0.140
1-2	- 0.425	- 0.238	0.051	0.014	- 0.224
2-3	0.21	0.12	- 0.025	- 0.007	0.113
3-4	- 0.098	- 0.055	0.013	0.0036	- 0.05
4-5	0.096	0.054	- 0.01	- 0.0028	0.051
5-6	- 0.0675	- 0.038	0.198	0.055	0.017
6-7	0.0595	0.033	- 0.043	- 0.012	0.021
7-8	0.043	0.024	- 0.0595	- 0.0166	0.0073
8-9	0.198	0.11	0.0675	0.0189	0.129
9-10	- 0.01	- 0.0056	- 0.096	- 0.0268	- 0.032
10-11	0.013	0.0073	0.098	0.027	0.035
11-12	- 0.025	- 0.014	- 0.21	- 0.0588	- 0.073
12-13	0.051	0.028	0.425	0.119	0.15
0-1	0.023	0.013	0.023	0.00644	0.0194
13-14	- 0.023	- 0.013	- 0.023	- 0.00644	- 0.0194

Табела 5.4 - Укупне резултујуће силе у штаповима услед свих утицаја на кровни решеткасти носач

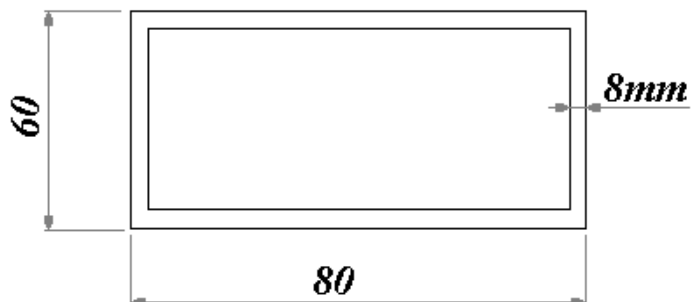
ШТАП	СИЛЕ У ШТАПОВИМА ОД ПОЈЕДИНАЧНИХ ОПТЕРЕЋЕЊА					УКУПНА РЕЗУЛТУ. СИЛА [kN]
	Прим. оптр.	Секундарно оптерећење				
	Комп. од сопств. оптр. [kN]	Комп. од $\sqrt{W_2 + \sqrt{W_3}}$ [kN]	Комп. од $\sqrt{W_2 + \sqrt{W_3}}$ [kN]	Комп. од $W_1 + W_4$ [kN]	Комп. од под. и над. [kN]	
0-2	0	/	± 1.047	± 1.047	0	0.487
2-4	202.99	± 20.35	± 0.484	± 0.484	± 22.90	246.65
4-6	197.03	± 20.69	± 0.251	± 0.251	± 23.254	241.09
6-8	162.64	± 18.96	± 0.090	± 0.090	± 19.116	200.75
8-10	197.03	± 25.24	± 0.281	± 0.281	± 23.254	245.83
10-12	202.99	± 26.97	± 0.542	± 0.542	± 22.90	253.48
12-14	0	0	± 1.12	± 1.12	± 0	1.148
1-3	- 134.72	± 13.08	± 0.228	± 0.322	± 16.37	- 164.07
3-5	- 200.50	± 20.52	± 0.159	± 0.186	± 23.556	- 244.55
5-7	- 180.04	± 20.12	± 0.546	± 0.066	± 21.44	- 222.08
07-9	- 180.04	± 22.07	± 0.535	± 0.058	± 21.44	- 179.89
9-11	- 200.50	± 26.22	± 0.156	± 0.087	± 23.556	- 250.52
11-13	- 134.72	± 18.33	± 0.205	± 0.140	± 16.37	- 169.76
1-2	149.29	± 13.81	± 0.049	± 0.224	± 16.61	170.54
2-3	- 71.98	± 6.91	± 0.027	± 0.113	± 8.23	- 87.21
3-4	- 0.62	± 0.86	± 0.035	± 0.05	± 0.302	- 1.791
4-5	- 0.32	± 0.758	± 0.038	± 0.051	± 0.25	- 1.341
5-6	- 24.93	± 0.86	± 0.1992	± 0.017	± 3.41	- 29.42
6-7	- 35.71	± 0.86	± 1.00	± 0.021	± 3.84	- 41.904
7-8	- 35.71	± 1.375	± 0.125	± 0.0073	± 3.84	- 44.29
8-9	- 24.93	± 4.63	± 0.135	± 0.129	± 3.41	- 16.33
9-10	- 0.32	± 4.925	± 0.0675	± 0.032	± 0.25	- 1.28
10-11	- 0.62	± 1.01	± 0.073	± 0.035	± 0.302	- 2.04
11-12	- 71.29	± 9.55	± 0.056	± 0.073	± 8.22	- 89.14
12-13	140.29	± 18.89	± 0.105	± 0.15	± 16.61	176.04
0-1	- 74.79	± 6.99	± 0.009	± 0.0194	± 9.06	- 90.86
13-14	- 74.79	± 10.38	± 0.009	± 0.0194	± 9.06	- 94.2

5.3 Димензионисање решеткастог носача хале**а) Доњи појас**

Највећа сила у штапу:

$$\max S = S_{10-12} = 253,45 \text{ kN}$$

Усвајам:



Слика 5.31 - Димензије попречног пресека доњег појаса

Површина попречног пресека:

$$A = 8 \cdot 6 - 6,4 \cdot 4,4 = 19,84 \text{ cm}^2$$

Нормални напон:

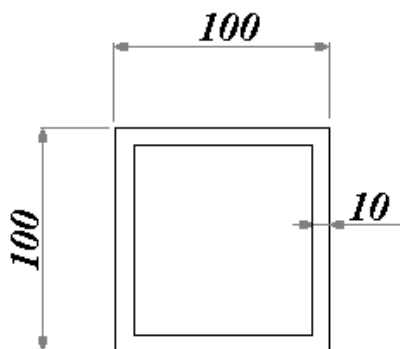
$$\sigma = \frac{253,45}{19,84} = 12,77 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{doz} = 16 \text{ kN/cm}^2$$

б) Горњи појас

Највећа сила у штапу:

$$\max S = S_{9-11} = -250,52 \text{ kN}$$

Усвајам:



Слика 5.32 - Димензије попречног пресека горњег појаса

Површина попречног пресека:

$$A = 36 \text{ cm}^2$$

Момент инерције:

$$J_x = J_y = 492 \text{ cm}^4$$

$$L_k = l_0 = 373,3$$

$$i_x = i_y = 3,69$$

Виткост:

$$\lambda = \frac{373,3}{3,69} = 101,165 \Rightarrow \omega = 1,92$$

Нормални напон:

$$\sigma = \frac{\omega \cdot P}{A} = \frac{1,92 \cdot 250,52}{36} = 13,36 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{doz} = 16 \text{ kN/cm}^2$$

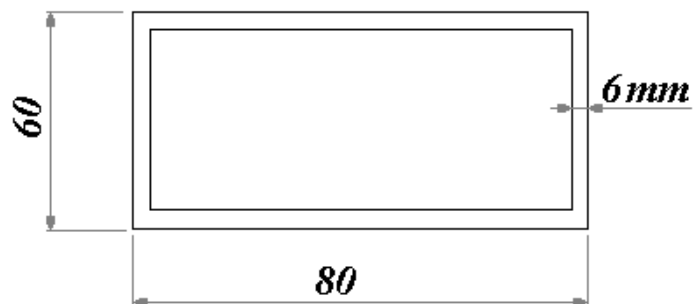
в) Дијагонале

Највећа сила у штапу:

$$\max S = S_{12-13} = 176,04 \text{ kN}$$

$$A_{pot} = \frac{176,04}{16} = 11,0 \text{ cm}^2$$

Усвајам:



Слика 5.33 - Димензије попречног пресека доњег појаса

Површина попречног пресека:

$$A = 15 \text{ cm}^2$$

Нормални напон:

$$\sigma = \frac{176,04}{15} = 11,73 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{doz} = 16 \text{ kN/cm}^2$$

ЗАКЉУЧАК

Решеткастих носача су носачи код којих се повезивање горњег и доњег појаса остварује штаповима – вертикалама и дијагоналама, које формирају троугаону структуру. С обзиром на просторни положај они се могу поделити на: раванске (код којих системне линије свих штапова леже у једној равни) и просторне (код којих системне линије свих штапова формирају просторну структуру).

Да би конструкција са решеткастим носачима била технички прихватљива и поуздана, мора задовољити све услове у вези сигурности, функционалности и трајности. Да би услови у вези сигурности били задовољени, носачи морају бити тако прорачуната (димензионисана) да са одговарајућим степеном сигурности прихвате сва очекивана оптерећења која ће се јавити током њиховог животног века, односно у фази монтаже и за време предвиђеног експлоатационог века (ветар, снег, потреси, терет, вибрације, покрети људи, аутомобила, машина, експозије и сл...).

Оптерећења која делују на раванску решетку у металним конструкцијама потичу или од сила природног порекла или од самог човека, тј. постоје два основна извора оптерећења: геофизички и људски. Геофизичке силе су резултат континуалних промена у природи и могу се поделити на гравитационе, метеоролошке и принудне силе. Као резултат гравитације, тежина носача ствара стално оптерећење и ово оптерећење остаје константно кроз читав животни век. Метеоролошка оптерећења мењају се са временом и локацијом и јављају се у форми ветра, снега, леда, кише и сл. Принудна оптерећења настају као природна реакција решеткастог носача усле немогућности да се промени запремина елемената која је њиховим природним границама спречена (нпр. температурни утицаји). Људски извори оптерећења су оптерећења настала као резултат покрета људи, опреме и сл...

Током експлоатације раванских решеткастих носача, спољашње оптерећење тежи да деформише носач, односно да измени међусобни распоред честица (промени облик и димензије штапова и појасева) што изазива напрезање носача, а за последицу има појаву напона који може бити један од узрока појаве микроруптуре у материјалу носача.

Да би презентовали оптерећења која се јављају при експлоатацији раванског решеткастог носача, изведен је прорачун на конкретном примеру, односно на решеткастом кровном носачу хале, полигоналног облика, распона 22m и максималне висине 2,6m са дијагоналном испуном. Прво су дефинисана појединачна оптерећења (сопствена тежина, снег, ветар), како би се одредиле силе у штаповима. На основу највећих резултујућих сила у штаповима, димензионисани су попречни пресеци доњег и горњег појаса, као и дијагонала који су правоугаоног облика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Буђевац, З. Марковић, Д. Богавац, Д. Тошић, *Металне конструкције – основе прорачуна и конструисања*, Београд, 1997.
2. Б. Андоић, Д. Дујмовић, И. Џеба, *Металне конструкције I*
3. С. Митровић, *Металне и дрвене конструкције 1*, Београд, 2011.
4. М. Бешевић, А. Тешановић, *Металне конструкције 2 – Хале и склацишта*, Суботица, 2011
5. М. Милованчевић, Н. Анђелић, *Отпорност материјала*, Београд, 2006.
6. Мирко Хусњак, *Механика лома*, Загреб, 2009.