

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: 72/2012

Александар Д. Матић

Прорачун и конструкција закованог раванског решеткастог носача

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Весна Марјановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Факултет инжењерских наука Универзитет у Крагујевцу
Модул за машинске конструкције и механизацију

Предмет: Металне конструкције

Завршни рад

Кандидат: **Матић Александар 72/2012**

Тема: **Прорачун и конструкција закованог раванског решеткастог носача**

Оквирни садржај завршног рада:

- Увод
- Просте решетке
- Метода чворова
- Кремонин план сила
- Метода пресека
- Компјутерско одређивање сила у штаповима
- Пример прорачуна и конструкција једног завареног раванског решеткастог носача
- Закључак

У Крагујевцу, 2015.

Ментор:

Др Весна Марјановић

РЕЗИМЕ

Решеткасти носачи настали су као резултат жеље да се добију носачи уз минималан утрошак материјала. Састоје се од међусобно повезаних појасних штапова и штапова испуне (дијагонале и вертикале) који формирају троугаону структуру. Решеткасти носачи пропуштају више светлости и омогућавају несметано провођење инсталација.

У металним конструкцијама решеткасти носачи се веома често користе и то како у зградарству тако и у мостogradњи, машиноградњи (кранови) ...

Кључне речи: носачи, решетки, цеви, ваљани профили.

SUMMARY

Braced girders are created as result of desire to obtain girders with minimal consumption of materials. They consist of interconnected girdle rod i rods of fulfilling (diagonals and verticals) forming a triangular structure. Braced griders let in more light and provide smooth conducting of installation.

The metallic structures braced girders are very often used both in buildings and in bridge construction, mechanical engineering (cranes)

Key words: girders, lattice, pipe, rolled profiles

Садржај

Увод	1
1. Просте решетке	3
2 .Метода чворова	7
2.1. Одређивање отпора ослонца	8
2.2. Одређивање сила у штаповима методом издвајања штапова	10
3. Кремонин план сила	10
4. Методе пресека	16
4.1. Рихтерова метода	16
5.2. Кулманова метода	18
5. Компјутерско одређивање сила у штаповима	20
6. Прпрачун и конструкција раванског решеткастог носача	26
1. Димензионисање штапова	27
1.1 Димензионисање појасних штапова O_n , O_{n+1}	27
1.2. Димензионисање дијагонале D_{n+1}	27
1.3.Димензионисање дијагонале D_n	28
2. Димензионисање веза свих штапова за чворни лим	29
2.1.Прорачун везе дијагонале D_n за чворни лим	29
2.2.. Прорачун везе дијагонале D_{n+1} за чворни лим	30
2.3. Прорачун везе чворног лима са појасним штаповима	30
3. Контрола напона у свим карактеристичним пресецима чворног лима	32
Закључак	33
Литература	34

УВОД

Решеткасти носачи представљају конструкције које су сачињене од међусобно повезаних штапова који су притом аксијално оптерећени, напрезањем појасних штапова преносе се моменти савијања док штапови испуне преузимају утицај трансверзалних сила. Стална тежња за носачима са минималном употребом материјала довела је до открића решеткастих носача који су управо са аспекта употребе и коришћења материјала знатно повољнији од саћастих и пуних носача. Сачињени су од појасних штапова и штапова испуне међусобно повезаних тако да формирају троугаону структуру. Пошто су штапови решеткастих носача напрегнути аксијално дијаграм нормалних напона биће константан што доводи до бољег искоришћења напона у односу на пуне носаче код којих се нормални напони линеарно мењају по висини попречног пресека у области еластичног понашања. Предност решеткастих носача огледа се у већој количини светлости коју пропуштају као и у могућности несметаног провеђења инсталација.

Неке од карактеристика које се помињу код решеткастих носача јесу:

- боље искоришћење материјала (константна расподела напона),
- мања тежина у односу на пуне носаче,
- могућност премештавања великих распона,
- транспарентност и могућност спровођења инсталација,
- компликованија израда у односу на пуне носаче, и
- већа јединична цена.

Решеткасти носачи у металним конструкцијама имају бројну примену, нарочито се издваја њихова употреба у зградарству, мостogradњи, машиноградњи ...

У решеткастој изради кровни носачи се примењују у готово свим типовима објеката, почевши од индустријских хала, преко објеката високоградње до спортских и конгресних дворана и изложбених павиљона. Избором облика решеткасте структуре и попречних пресека штапова могу се добити решеткасти носачи веома атрактивног изгледа, тако да челична конструкција постаје саставни део ентеријера, а да ни на који начин не нарушава архитектонску целину.

Могућност провођења инсталационих цеви између штапова испуне само је још једна од бројних погодности које доноси употреба решеткастих носача, па се на тај начин избегава повећање висине међуспратне конструкције. У мостоградњи се решеткасти носачи користе као главни носачи код друмских, железничких и транспортних мостова у индустријским објектима, такође је веома честа примена у виду спрегова за стабилизацију, којима се обезбеђује пријем хоризонталних сила (ветар, сеизмика,...) и просторна стабилност конструкције.

Облик решеткастог носача завси од облика појасних штапова. По свом облику решеткасти носачи могу да буду:

- Решеткасти носачи са паралелним појасом;
- Решеткасти носачи са горњим појасом у нагибу (углавном прати нагиб кровних равни)

Решеткасти носачи са параболичним појасом или појасевима.

Израда решеткастих носача захтева већи број радних операција, па је јединична цена решеткастих носача виша од цене пуних носача. Пријем момента савијања код решеткастих носача остварује се помоћу појасних штапова, док штапови испуне прихватају само смичуће силе. Углавном се примењују за пријем тешких оптерећења и премошћавање већих распона, јер су у тим случајевима пуни носачи тешки и нерационални.



Слика 1 – Кровна конструкција на Централном терену Вимблдона [12]

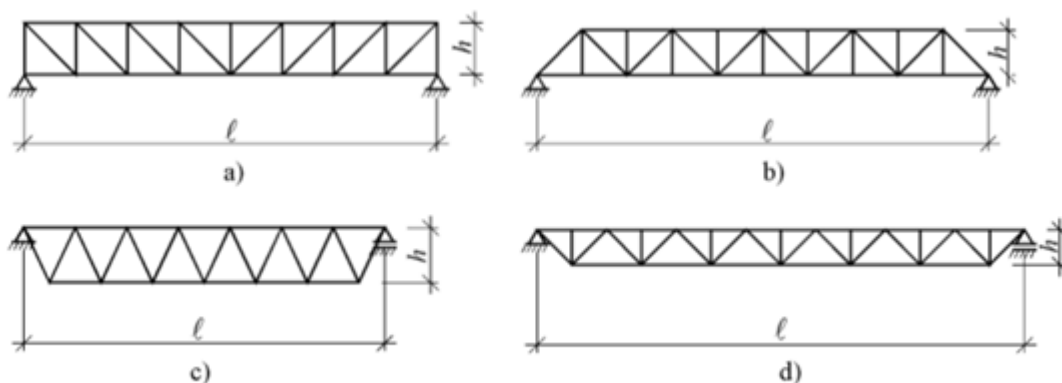
1. ПРОСТЕ РЕШЕТКЕ

Статички системи, који се користе код решеткастих носача углавном су исти као и код пуних носача, најчешће се примењују просте греде, континуални носачи, конзоле док се ређе користе Герберови носачи чија је употреба била веома заступљена у почетној фази развоја челичних конструкција. Облик и димензија решеткастих носача разликују се у зависности од статичког система, функције носача, типа конструкције и интензитета оптерећења. Геометријом појасних штапова као и спољашњом контуром носача дефинише се облик решеткастих носача. Решеткасти носачи са паралелним појасевима могу да буду правоугаоног (слика 2а) или трапезастог облика (слика 2б), уколико су изостављене ослоначке вертикале. [1]

Увисокоградњи се најчешће примењују као рожњаче, подни носачи, подвлаке, спрегови и крански носачи, а у мостogradњи као главни носачи и спрегови. Распони решеткастих носача са паралелним појасевима варирају од минималних, који се крећу од 10 до 18 м за рожњаче и подне носаче, до максималних, који у појединим случајевима премашују 100 м (нпр. мостовски носачи).

На распоред штапова испуне утичу бројни фактора као што су: распон носача, висина носача, положај и карактер оптерећења итд. Дијагонале решеткастих носача са паралелним појасевима падају према средини (симетрично са обе стране слика 2а) када спољашње оптерећење не мења смер деловања (вертикално гравитационо оптерећење). Најрационалнија је примена просте решеткасте испуне, која је састављена искључиво од дијагонала (слика 2ц). Иако је у овом случају свака друга дијагонала притиснута укупна тежина решеткастог носача је мања јер су изостављане вертикале.

Решеткастим носачима са простом троугаоном испуном често се додају вертикале (слика 2д), како би се смањила дужина извијања притиснутог појаса у равни решеткастог носача и омогућило увођење оптерећења преко гушће мреже чворова.

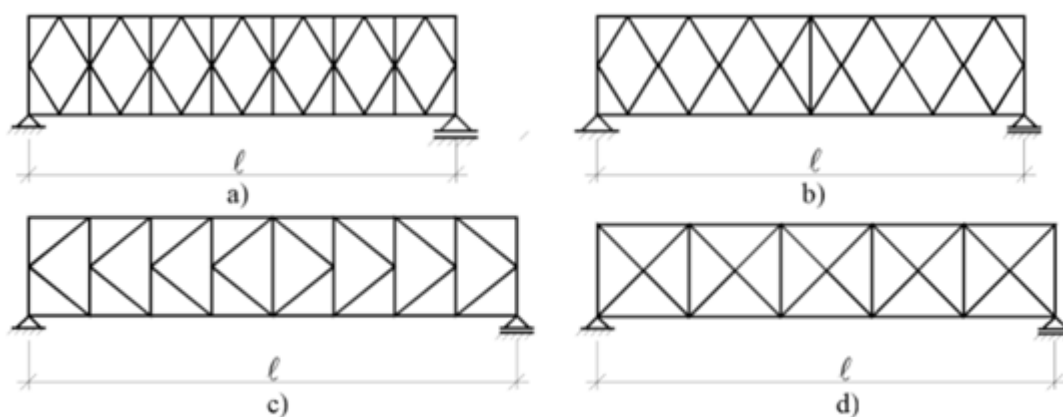


Слика 2. – Решеткасти носачи са паралелним појасевима [1]

Као укрупњења (спрегови) веома често се користе решеткасти носачи са ромбичном испуном, К – испуном или са укрштеним дијагоналама. Ромбична испуна (слика 3а) се најчешће примењује за спрегове за пријем ветра код мостовских носача. . Код спрегова са ромбичном испуном средња вертикала се не може изоставити пошто обезбеђује стабилну троугаону структуру (слика 3б), остале вертикале се могу изоставити.

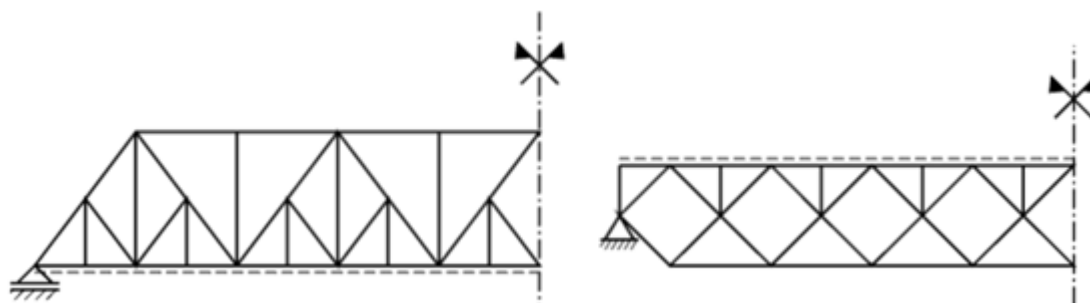
Спрегови са К-испуном (слика 3ц) имају кратке штапове испуне, што је веома битно са становишта отпорности на извијање, јер омогућава примену релативно малих попречних пресека састављених од једног или два Л-профила. Примењују се подједнако ефикасно и у зградарству и у мостограђи.

Спрегови са укрштеним дијагоналама (слика 3д) се примењују код мирних оптерећења. Дијагонале се код оваквих спрегова димензионишу као затегнути штапови, јер се сматра да се изузетно витке притиснуте дијагонале извијају при врло малим силама и не могу учествовати у даљем преношењу оптерећења. Примена укрштених дијагонала је погодна када је спрег изложен алтернативном оптерећењу, па се овакви спрегови називају и алтернативни спрегови.



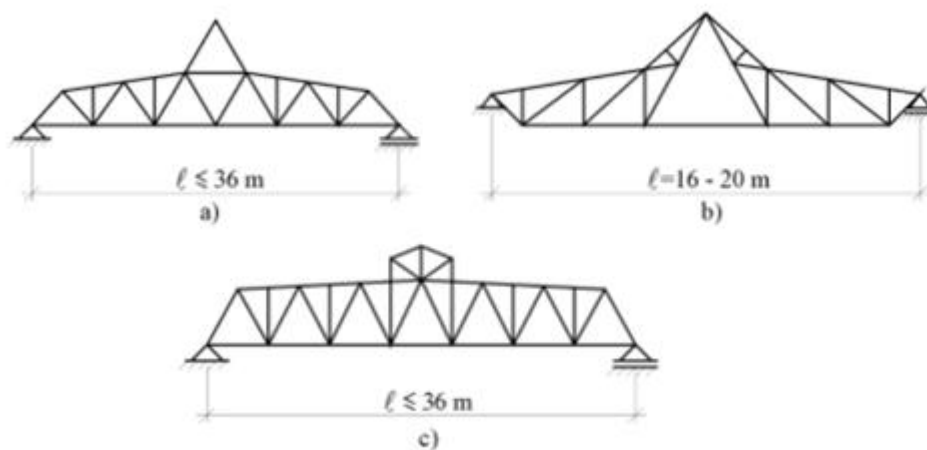
Слика 3. – Начин испуне код решеткастих укрућења односно спрегова [1]

Код мостовских носача изузетно великих распона примењују се решеткасти носачи са секундарним испуном.



Слика 4. – Решеткасти носачи са паралелним појасевима и секундарном испуном [1]

Природно осветљење у халама може се обезбедити применом светларника. Светларници могу бити изведени као засебне конструкције, које леже на главном кровном носачу и омогућавају постављање светлих површина. Међутим, посебним обликовањем решеткастих кровних носача може се постићи да они истовремено представљају и носећу конструкцију светларника. На слици 5 је приказано неколико карактеристичних примера кровних носача код кровова са светларницима.



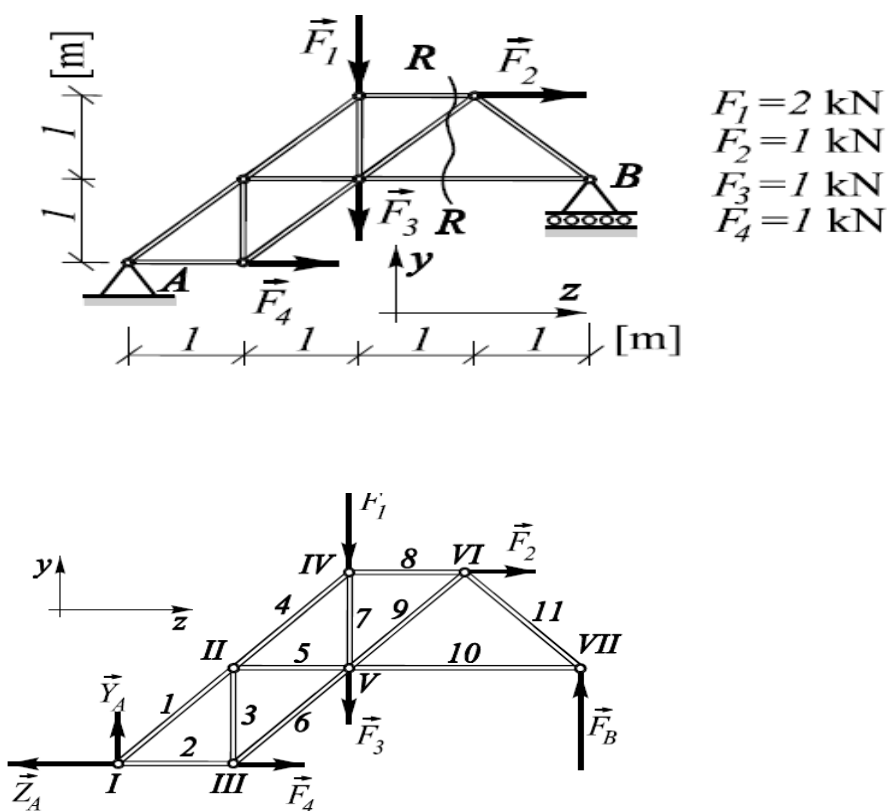
Слика 5. - Решеткасти носачи код кровова са светларником [1]

2. МЕТОДА ЧВОРОВА

Овом методом чворови се појединачно издвајају из решеткастог носача и за њих се постављају услови равнотеже. Услови равнотеже се решавају аналитички за све штапове решеткастог носача. [9]

Поступак одређивања сила у штаповима мора да садржи :

- Одређивање реакције ослонаца
- Издвајање сваког чвора појединачно
- Постављање независних услова равнотеже
- При прорачуну се претпоставља да су сви штапови оптерећени на затезање, уколико се при прорачуну добије предзнак – то значи да штап није оптерећен на затезање већ на притисак



Слика 6. – Пример раванске решетке која се решава [9]

2.1 Одређивање отпора ослонаца

На чворове раванске решетке приказане на слици (слика 6.) поред активних (задатих) сила делују и реакције спољашњих веза (силе ослонаца), с обзиром да је решетка ослоњена преко неких чворова. Код носача се разликују покретни и непокретни ослонци. У непокретном ослонцу А постоје реакције у оба нормална правца (у и z), док се у покретном ослонцу В јавља реакција само у вертикалном правцу (што омогућава кретање у хоризонталном правцу). Решавање оваквог типа решетке подразумева одређивање отпора ослонаца и сила у штаповима.

$$\sum M_{Ii} = -F_1 \cdot 2 - F_2 \cdot 2 - F_3 \cdot 3 + F_B \cdot 4 = 0 \rightarrow F_B = 2 \text{ kN} \quad (2.1)$$

Сума момента око ослонца I

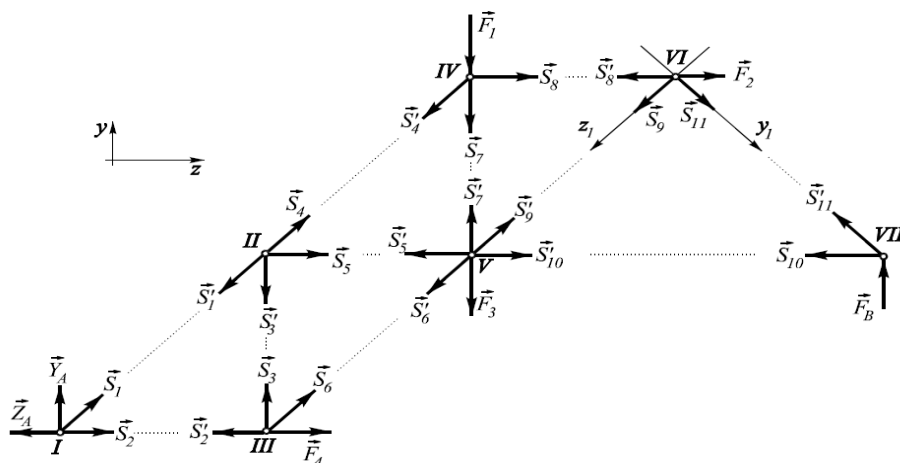
$$\sum Y_i = Y_A - F_1 - F_3 + F_B = 0 \rightarrow Y_A = 1 \text{ kN} \quad (2.2)$$

Сума свих вертикалних сила

$$\sum Z_i = -Z_A + F_2 + F_4 = 0 \rightarrow Z_A = 2 \text{ kN} \quad (2.3)$$

Сума свих хоризонталних сила

2.2 Одређивање сила у штаповима методом издвајања чворова



Слика 7.-Сви чворови решетке и силе које на њих делују [9]

Одређивање сила у чвору I :

$$\sum Y_i = Y_A + S_1 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow S_1 = -\sqrt{2} \text{ kN} \quad (2.4)$$

$$\sum Z_i = -Z_A + S_1 \frac{\sqrt{2}}{2} + S_2 = 0 \rightarrow S_2 = 3 \text{ kN} \quad (2.5)$$

Одређивање сила у чвору III:

$$\sum Z_i = -S_2 + S_6 \frac{\sqrt{2}}{2} + F_4 = 0 \rightarrow S_6 = 2\sqrt{2} \text{ kN} \quad (2.6)$$

$$\sum Y_i = S_3 + S_6 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow S_3 = -2 \text{ kN} \quad (3.7)$$

Одређивање сила у чвору II:

$$\sum Y_i = S_4 \frac{\sqrt{2}}{2} - S_1 \frac{\sqrt{2}}{2} - S_3 = 0 \rightarrow S_4 = -3\sqrt{2} \text{ kN} \quad (2.8)$$

$$\sum Z_i = S_4 \frac{\sqrt{2}}{2} - S_1 \frac{\sqrt{2}}{2} + S_5 = 0 \rightarrow S_5 = 2 \text{ kN} \quad (2.9)$$

Одређивање сила у чвору IV:

$$\sum Z_i = -S_4 \frac{\sqrt{2}}{2} + S_8 = 0 \rightarrow S_8 = -3 \text{ kN} \quad (2.10)$$

$$\sum Y_i = -F_1 - S_7 - S_4 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow S_7 = 1 \text{ kN} \quad (2.11)$$

Одређивање сила у чвору VI:

$$\sum Z_{1i} = S_9 + S_8 \frac{\sqrt{2}}{2} - F_2 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow S_9 = 2\sqrt{2} \text{ kN} \quad (2.12)$$

$$\sum Y_{1i} = S_{11} - S_8 \frac{\sqrt{2}}{2} + F_2 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow S_{11} = -2\sqrt{2} \text{ kN} \quad (2.13)$$

Одређивање преостале силе у чвору VII и провера другог услова равнотеже:

$$\sum Z_i = -S_{10} - S_{11} \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow S_{10} = 2 \text{ kN} \quad (2.14)$$

Прва провера:

$$\sum Y_{1i} = F_B + S_{11} \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow 2 + (-2\sqrt{2}) \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow 0 = 0 \quad (2.15)$$

Провера услова равнотеже у чвору V:

Друга провера:

$$\sum Z_i = -S_5 - S_6 \frac{\sqrt{2}}{2} + S_{10} + S_9 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow -2 - 2\sqrt{2} \frac{\sqrt{2}}{2} + 2 + 2\sqrt{2} \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow 0 = 0 \quad (2.16)$$

Трећа провера:

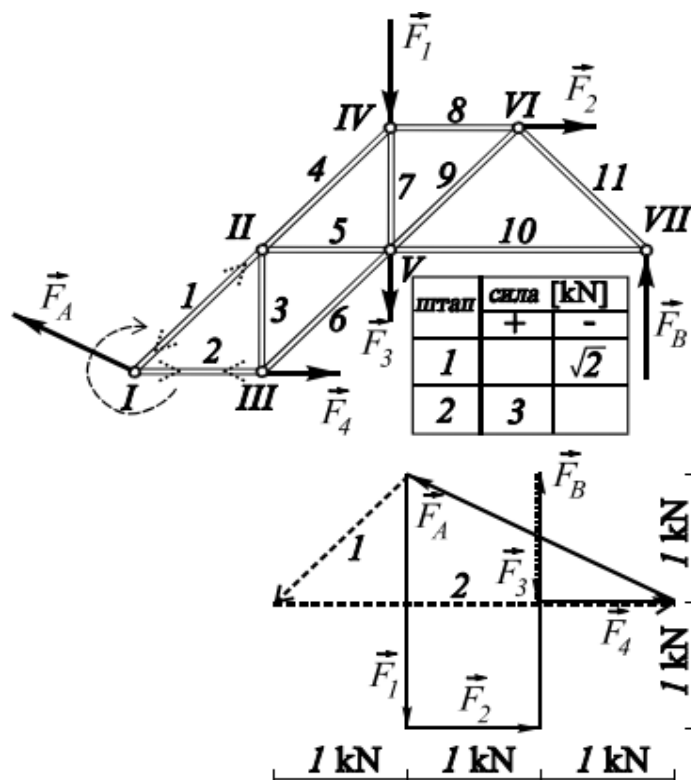
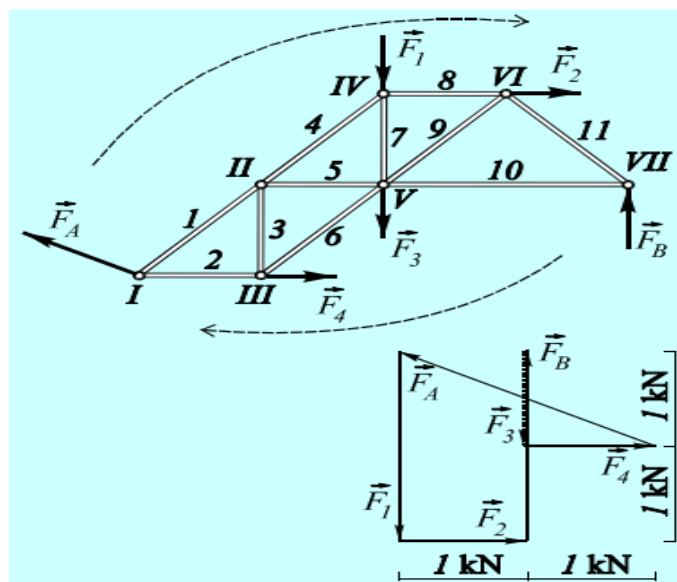
$$\sum Y_i = S_7 + S_9 \frac{\sqrt{2}}{2} - F_3 - S_6 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow 1 + 2\sqrt{2} - 1 - 2\sqrt{2} \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \rightarrow 0 = 0 \quad (2.17)$$

3. КРЕМОНИН ПЛАН СИЛА

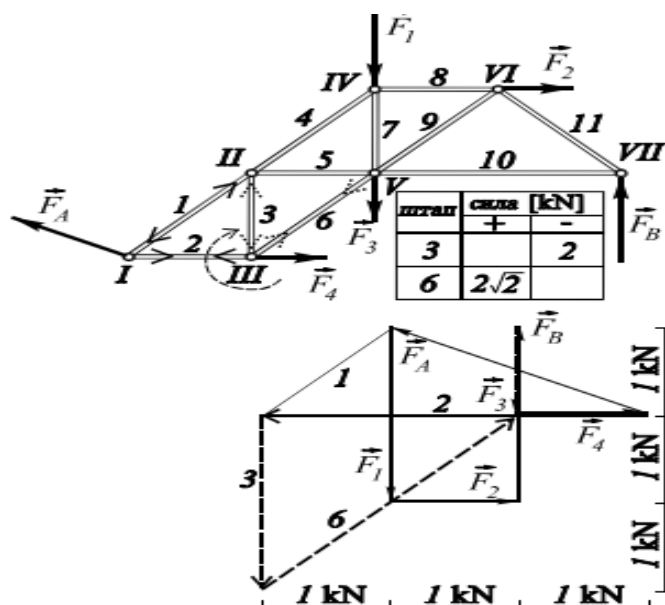
Цртање Кремониног плана сила је графичка метода одређивања сила у свим штаповима која је такође базирана на задовољавању услова равнотеже сваког чвора посебно. Графички услов равнотеже сучељног система сила је “затворен полигон сила”. Исто тако, један од услова равнотеже решетке као целине је “затворен полигон спољашњих сила” [9]

Да би се у потпуности нацртао Кремонин план сила морају се поштовати следећа правила:

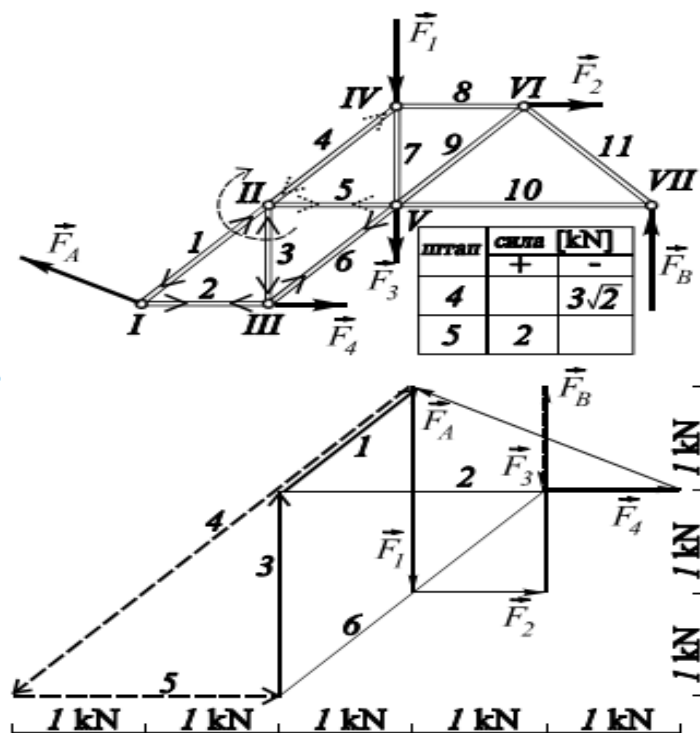
- Прво се одреде отпори ослонаца (то је овде већ учињено).
- Све спољашње силе које дејствују на решетку као целину цртају се ван контуре решетке
- Затворен полигон спољашњих сила црта се у размери, али тако што се оне надовезују редоследом, каквим се на њих наилази при обиласку око решетке у смеру казаљке на сату. Тако добијен затворен полигон спољашњих сила представља основу (костур) Кремониног плана сила.
- Затим се графички решава један по један чвор (црта се затворени полигон сила за сваки чвор). Могу се решавати само они чворови који у датом тренутку немају више од две непознате.



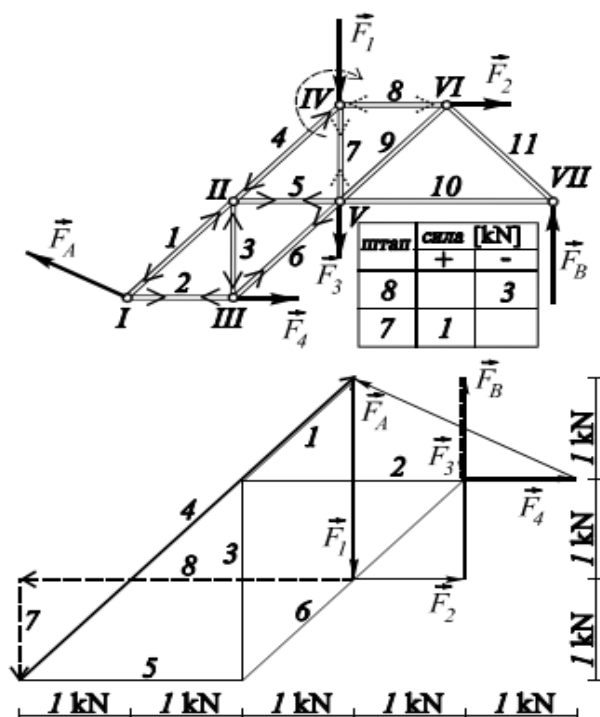
Слика 8. – Решавање чвора I [9]



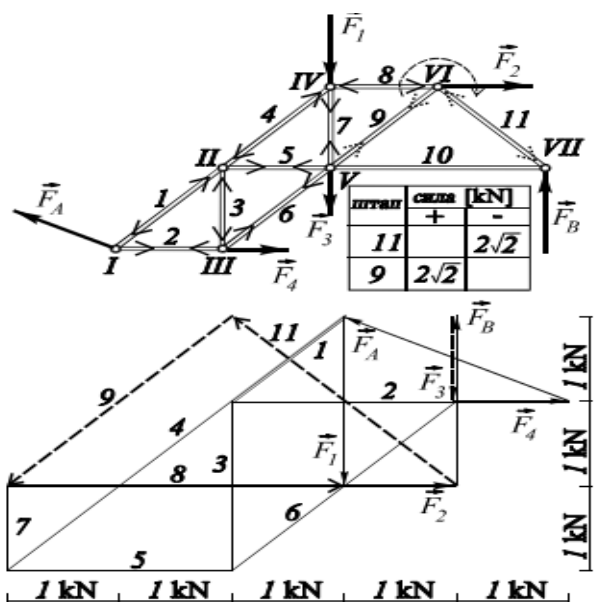
Слика 9. – Решавање чвора III [9]



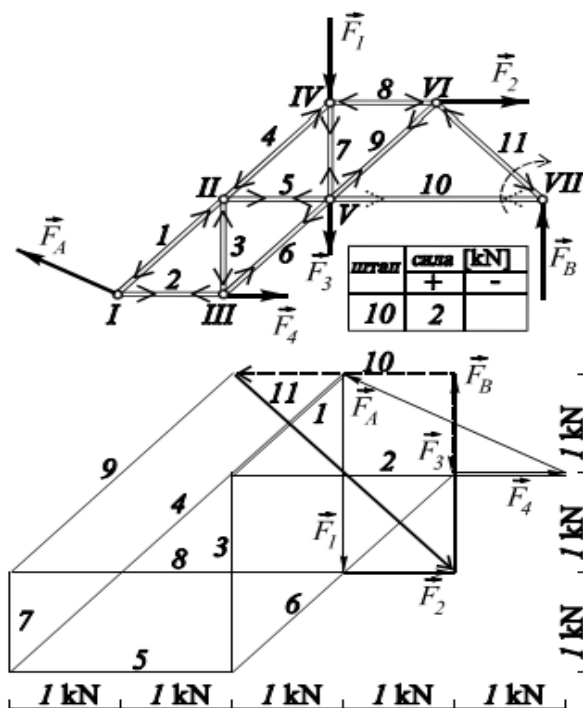
Слика 10. – Решавање чвора II [9]



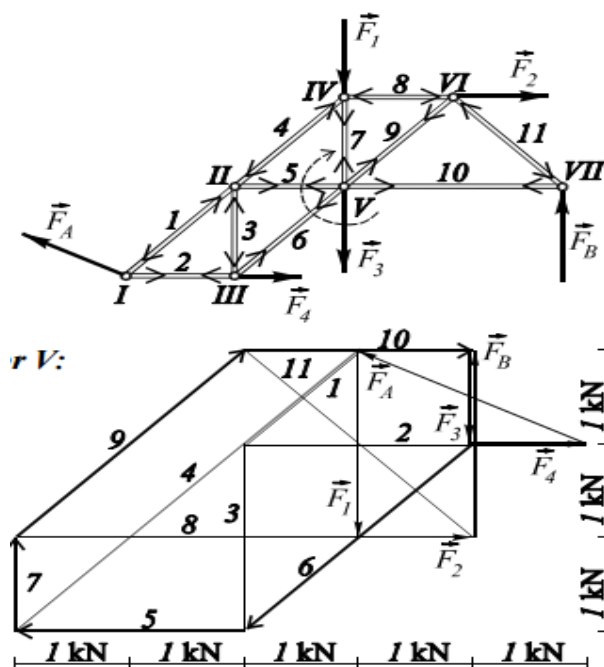
Слика 11. – Решавање чвора IV [9]



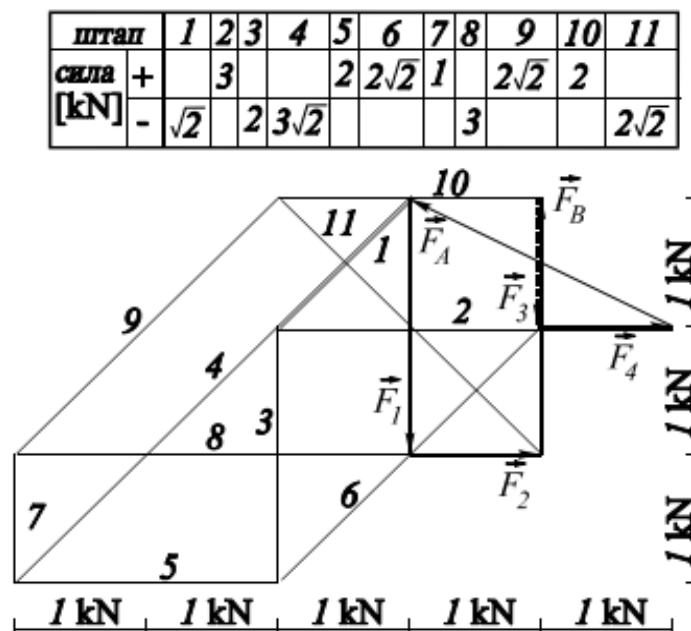
Слика 12. – Решавање чвора VI [9]



Слика 13. – Решавање чвора VII [9]



Слика 14. – Решавање чвора V [9]



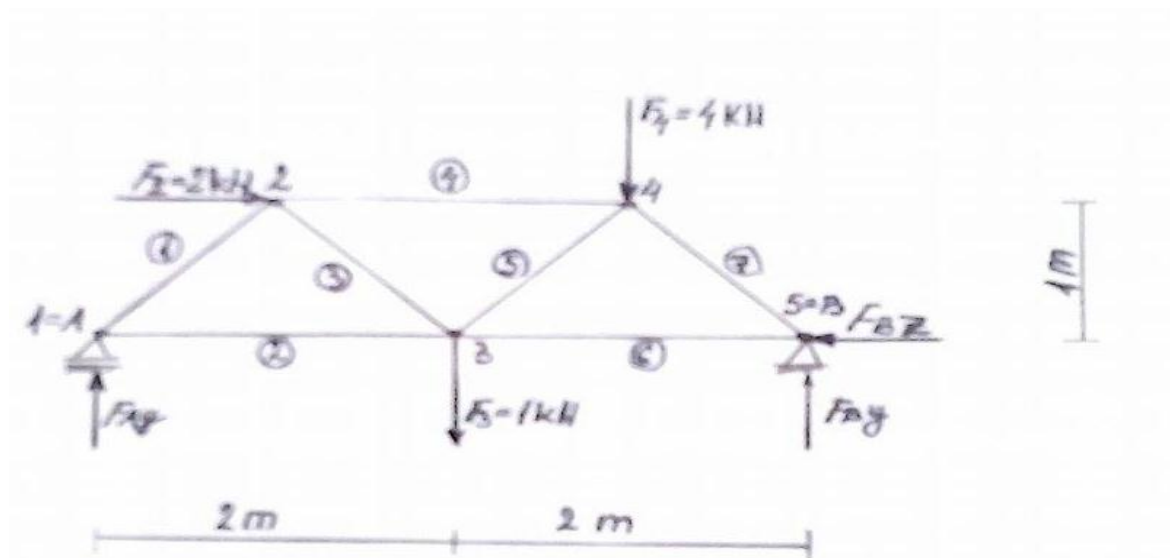
Слика 15. – Коначан облик Крeмониног плана сила [9]

4. МЕТОДЕ ПРЕСЕКА

Методом пресека се прекидање решетке врши кроз оне штапове чије се силе рачунају. Решетка се никако не сме пресећи тако да садржи више од три штапа, пошто би онда систем био статички неодређен јер би тада садржао више непознатих величина од независних услова равнотеже. Ово је могуће постићи само под условом да тај пресечени део не садржи више од три непознате величине. Утицај једног на други крај штапа надомешћује се силама S_1, S_2 и S_3 , са претпоставком да су сва три штапа изложена затезању. Негативна вредност неке од сила S_1, S_2 и S_3 у прорачуну указује да се не ради о сили затезања већ о сили притиска. При одређивању сила у штаповима посматра се један део пресеченог решеткастог носача, најчешће је то део на који делује мањи број спољашњих сила. [10]

4.1. Рихтерова метода

Помоћу рихтерове методе могу се одредити нормалне силе у произвољном пресеку решеткастог носача. Први корак при одређивању нормалних сила решеткастог носача Рихтеровом методом је одређивање сила ослонаца. (пример је дат на слици 16) [10]



Слика 16.-Решеткасти носач са ослоњцима А и В [10]

Сума момената око ослоња В:

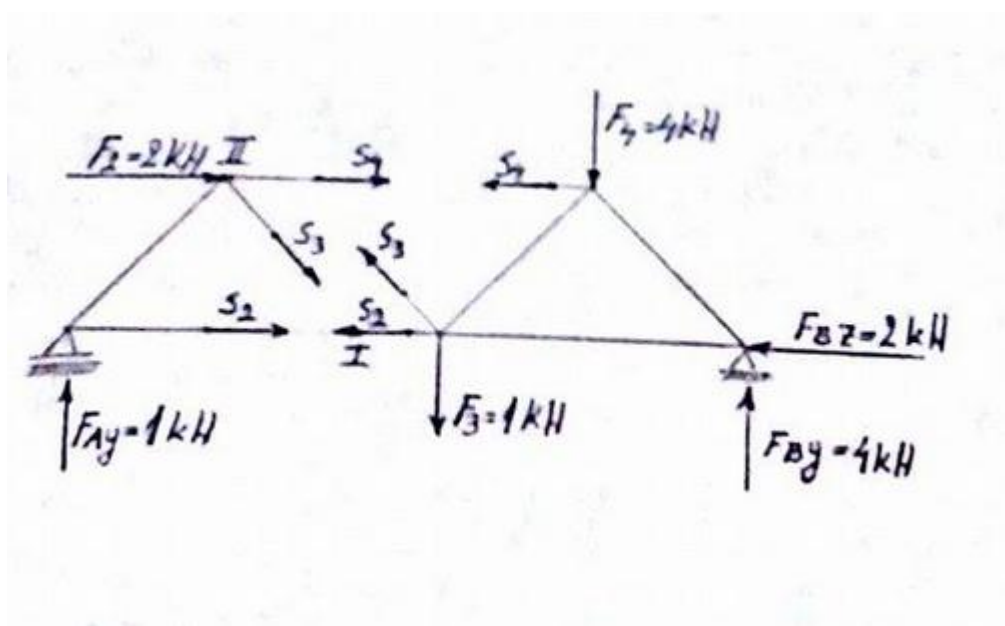
$$\sum M_B = 0 \rightarrow F_{Ay} \cdot 4\text{m} + F_2 \cdot 1\text{m} - F_3 \cdot 2\text{m} - F_4 \cdot 1\text{m} = 0 \rightarrow F_{Ay} = 1\text{kN} \quad (4.1)$$

Сума свих вертикалних сила:

$$\sum Y_i = 0 \rightarrow F_{By} + F_A - F_3 - F_4 = 0 \rightarrow F_{By} = 4\text{kN} \quad (4.2)$$

Сума свих хоризонталних сила:

$$\sum Z_i = 0 \rightarrow F_2 - F_{Bx} = 0 \rightarrow F_{Bx} = 2\text{kN} \quad (4.3)$$



Слика 17. – Решеткасти носач пресечен у итаповима [10]

Карактеристичне тачке су:

- тачка I – тачка у којој се секу правци сила S_2 и S_3
- тачка II – тачка у којој се секу правци сила S_3 и S_4 .

Силе S_2 , S_3 и S_4 могу се израчунати из следећих услова:

I услов: Сума момената око тачке I једнака је нули

$$\sum M_I = 0 \rightarrow S_{4I} \cdot 1\text{m} + F_{2I} \cdot 1\text{m} + F_{AyI} \cdot 2\text{m} = 0 \rightarrow S_4 = -4\text{kN} \text{ (сила притиска)} \quad (4.4)$$

II услов: Сума момената око тачке II једнака је нули

$$\sum M_{II} = 0 \rightarrow F_{AyII} \cdot 1 \text{ m} - S_2 \cdot 1 \text{ m} = 0 \rightarrow S_2 = 1 \text{ kN} \quad (4.5)$$

III услов: Сума момената око ослонца A једнака је нули

$$\sum M_A = S_2 \cdot \sqrt{2} \text{ m} + F_2 \cdot 1 \text{ m} + S_4 \cdot 1 \text{ m} = 0 \rightarrow S_3 = \sqrt{2} \text{ kN} \quad (4.6)$$

4.2 Кулманова метода

Пошто је пример идентичан као код Рихтерове методе (слика 18) није потребно поновно израчунавање сила у ослонцима (једначине 4.1, 4.2 и 4.3) већ ћемо искористити добијене вредности из примера Рихтерове методе.[10]

$$F_{Ay} = 1 \text{ kN} \quad (4.1)$$

$$F_{By} = 4 \text{ kN} \quad (4.2)$$

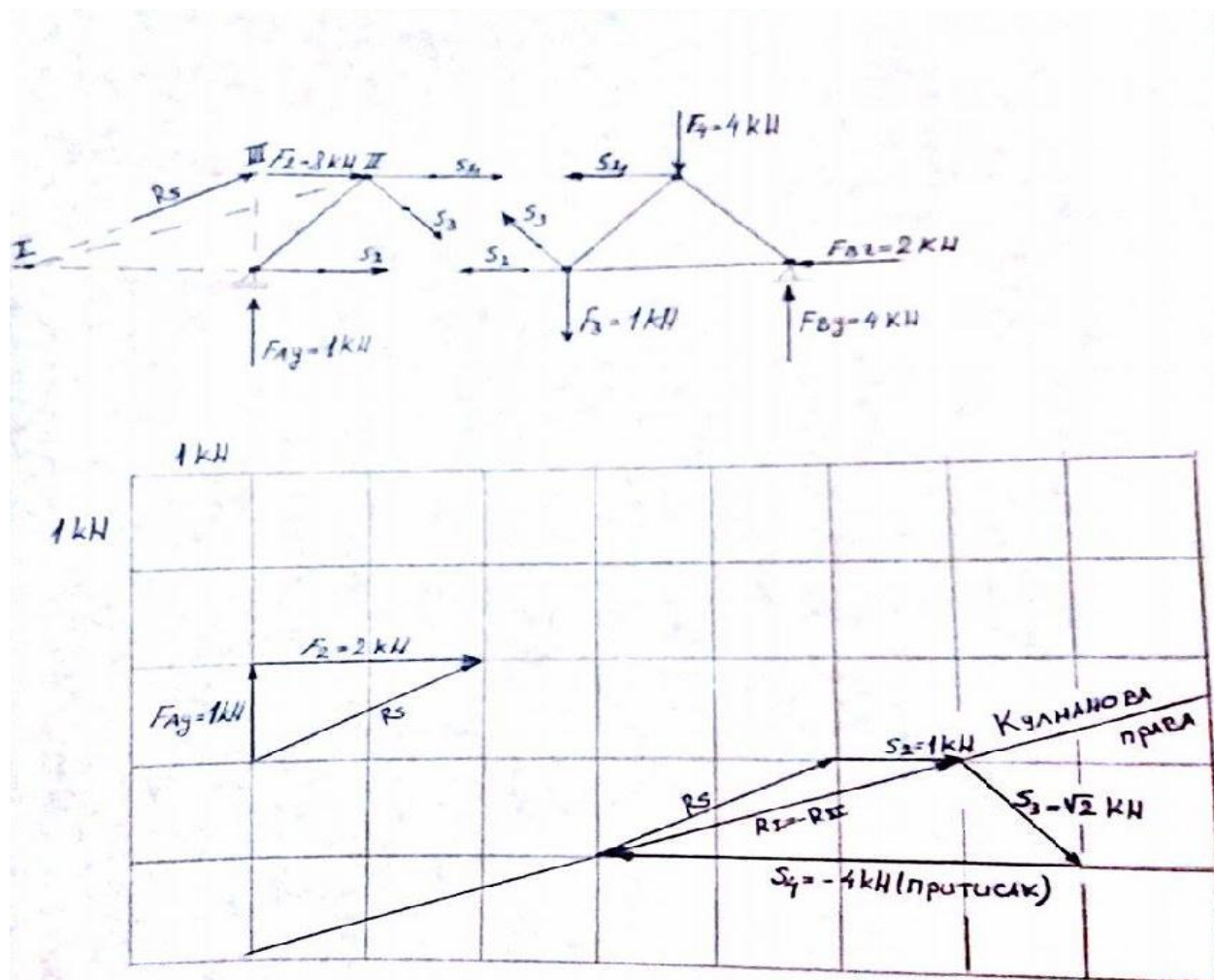
$$F_{Bz} = 2 \text{ kN} \quad (4.3)$$

Кулманова метода је графичка метода у којој се за одређивање пресечних сила у штаповима користи квадратна мрежа.

Поступак одређивања сила у штаповима Кулмановом методом (пример са слике)

- Најпре је потребно сабирањем вектора F_{Ay} и F_2 одредити правац и интензитет резултујућег вектора R_s
- Након преношења правца силе R_s у решеткасти носач, сила R_s се групише са силом S_2 а потом се групишу и остале две силе (силе S_3 и S_4)
- Кулманова права се добија када се споје пресече тачке правца сила које су груписане и потом се Кулманова права паралелно преноси у квадратну мрежу
- У произвољној тачки Кулманове праве паралелно се наноси вектор R_s а потом се на њега надовезује вектор S_2 , сабирањем ових вектора добија се резултујући вектор R_I
- Вектор R_I лежи на вектору R_{II} ($R_{II} = S_3 + S_4$) има исти интензитет али супротног смера.
- Наношењем правца сила S_4 и S_3 на крајњу и почетну тачку вектора R_{II} добијају се вектори сила S_4 и S_3 так што се крајеви вектора R_{II} споје са пресечном тачком правца сила S_4 и S_3

- Након одређивања смера вектора S_4 и S_3 остаје да се прочитају њихови интензитети са квадратне мреже



Слика 18 – Пресечени решеткасти носач и квадратна мрежа [10]

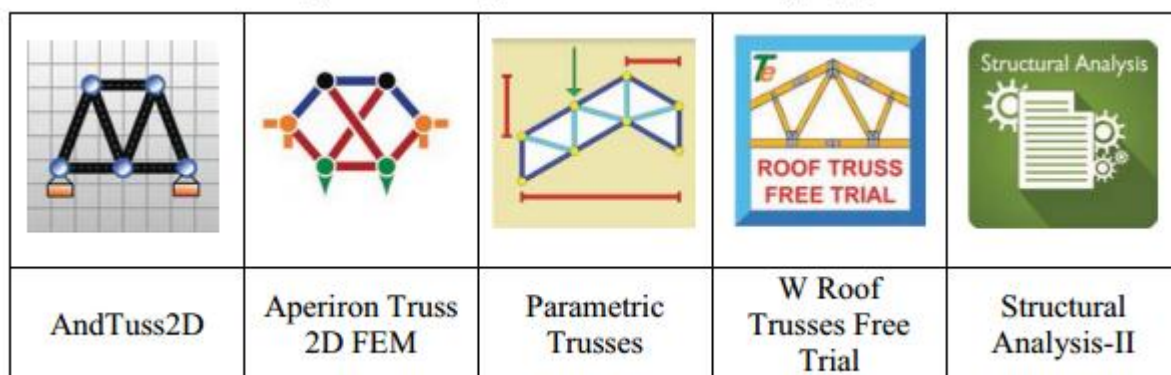
5. КОМПИЈУТЕРСКО ОДРЕЂИВАЊЕ СИЛА У ШТАПОВИМА

У време настанка решеткастих конструкција инжењери су се користили описаним методама како би дошли до тачнијег резултата, стабилне конструкције. У то време није постојао алат попут данашњег дигитрона који би тај поступак убрзао и знатно га олакшао. Из тог разлога постоје, данас помало заборављене графичке методе. Њихова практичност се огледа баш у томе што нису захтевале било какво рачунање. Потребно је било само пажљиво наносити силе на „план сила“ и водити рачуна о размери. [13]

Данас је инжењерски посао готово незамислив без помоћи рачунара. Применом рачунара поступак је вишеструко убрзан и олакшан. Рачунари су преузели рачунски део посла који је био све тежи како су конструкције постојале веће и компликованије, са више појасева, штапова и чворова.

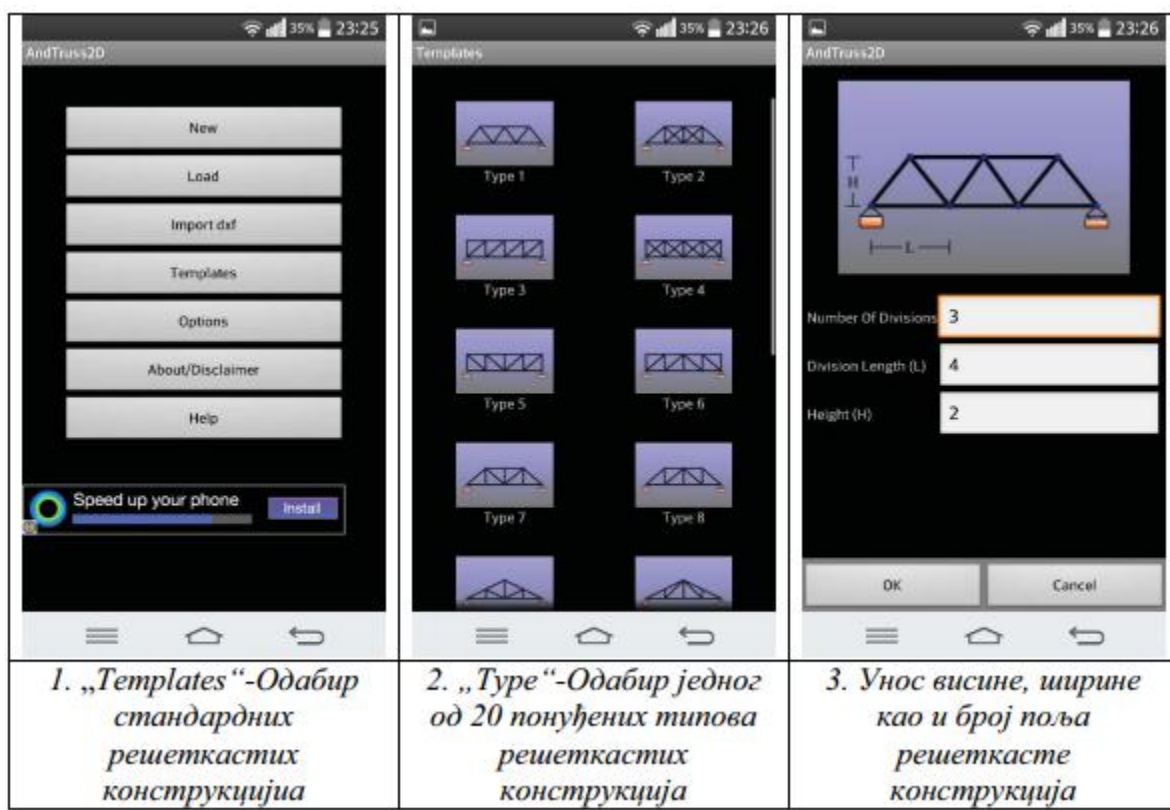
Међутим, примена рачунара се може спровести на основу застарелих графичких метода помоћу програма за 2Д цртање. Неки од тих програма су АутоCAD, CorelDRAW, SketchUP ... Помоћу ових програма се може врло лако и прецизно цртати план сила, па чак и за неке компликованије конструкције али се опет не користе у пракси већ програми могу послужити само за репрезентативно представљање графичких метода.

Апликације паметних телефона - Како је моћ некадашњих правих рачунара више стотина пута превазиђена у облику данашњих паметних телефона, тај непотпуно искоришћен потенцијал софтверски програмери видели су као шансу да инжењерима пруже још једноставнији приступ прорачуну решеткастих конструкција. Тако су настале неке од популарних инжењерских апликација које се бесплатно могу преузети са Google-овог „Play Store“.

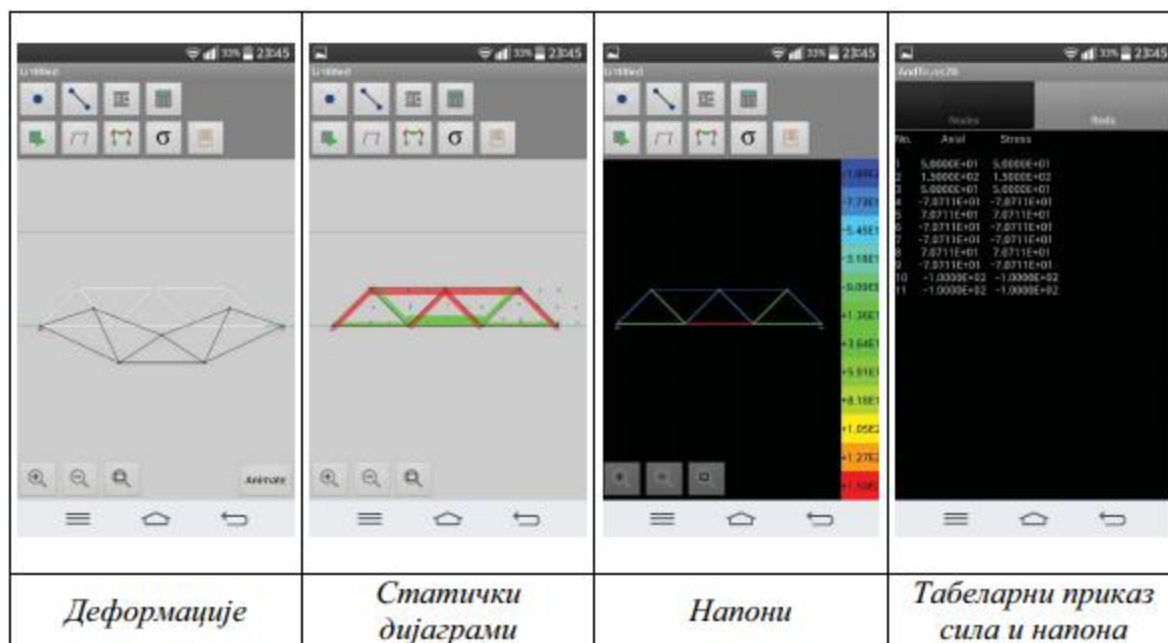


Слика 19. – Апликације за анализу решеткастих конструкција

Интерфејс је врло једноставно осмишљен што је заједничка особина и предности свих поменутих апликација. То омогућава кориснику лако и брзо сналажење при решавању конкретних проблема у поступку анализе решеткастих конструкција.



Слика 20. – Анализа решеткастих конструкција у AndTruss2D



Слика 21. – Могућности апликације

За потребе оквирног сагледавања основних параметара резултати решеткисте конструкције ове апликације су сасвим задовољавајуће. Међутим, и оне имају своје недостатке. Само неке од њих су:

- израда техничке документације,
- конструкција чвора,
- одабир врсте чворишта,
- провера штапова на извијање,
- одређивање масе конструкције,
- комбиновање различитих врста оптерећења,
- утицај покретног оптерећења,
- анализа пространих решетки и други.

Претходно наведени недостаци, као обавезне целине глобалног прорачуна, неопходни су за комплетну анализу конструкције. Самим тим, оне се не могу користити за нека озбиљнија конструисања јер само конструкције захтевају проверу по више тачака и помоћу стандардизованих прорачуна.

Софтверски програми – Због својих ограничених димензија и потенцијала, који су далеко мањи од дестоп рачунара, софтверски пакети који раде на windows оперативној платформи, нуде много шири спектар могућности у односу на претходно наведене апликације. Софтвери теже да смање недостатке апликација и једина разлика између самих софтвера огледа се у томе како је дизајниран интерфејс софтвера, односно како су програмери сагледали однос корисника са софтвером и колико је једноставно његово коришћење.

				
MDSolids	2D Frame Analysis	SimpleTruss	FrameMaster	Engilab Beam 2D

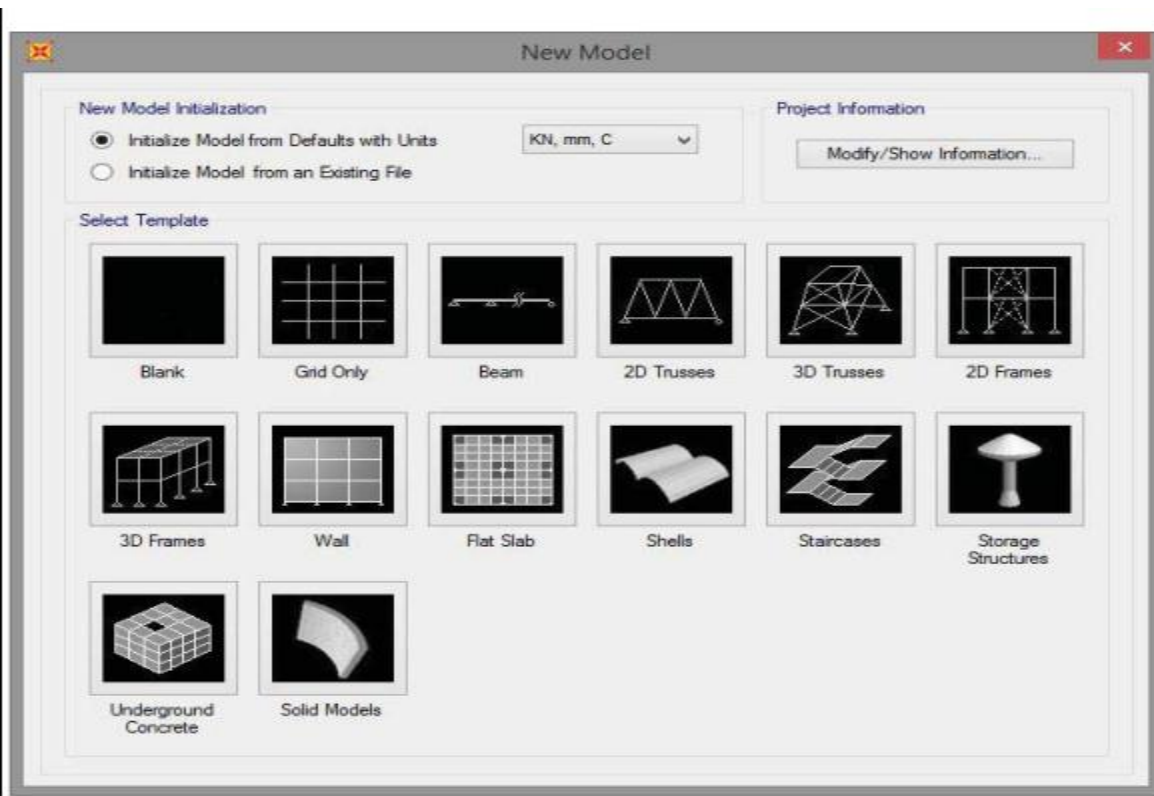
Слика 22.– Софтвери за анализу решеткастих конструкција

MDSolids је софтвер који преко својих модула нуди широк спектар могућности за решавање инжењерских проблема. Програм MDSolids је програмиран да буде првенствено едукативан. Међутим, модул за решеткасте конструкције је прилично једноставан и у том смислу превзиђен од стране поједних апликација.

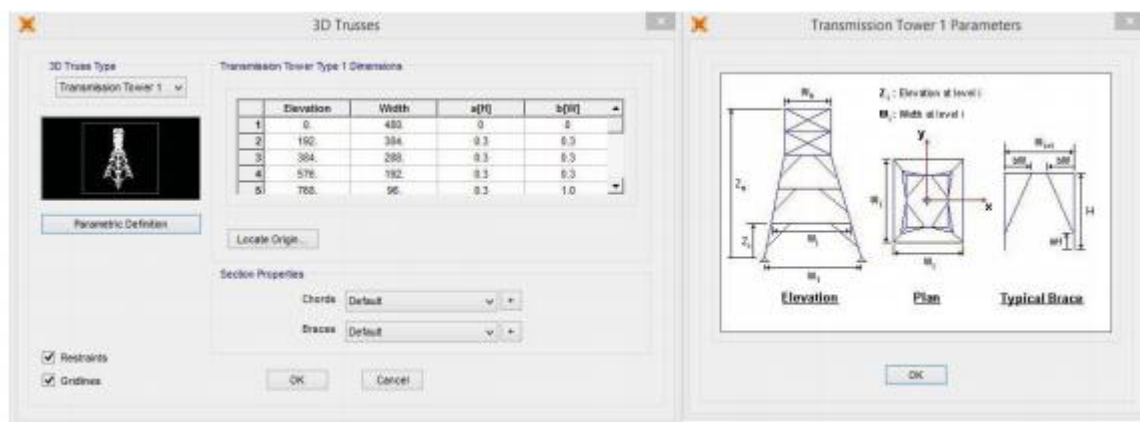
Савремени софтвери – Данас су развијени софтвери са готово неограниченим могућностима у погледу сложености конструкције. Практично, софтвери су прављени за анализу конструкција које још нису осмишљене, али и за оне које су осмишљене, а сматрају се финансијски и технички неизводљиве, па се у том смислу могу поново анализирати. Помоћу софтвера може се проверити изводљивост сваке идеје.

Цена софтвера сразмерно расте са могућностима софтвера. Са повећањем могућности софтвера повећава се потражња за рачунаром са јачим карактеристикама, јер је тешко оптимизовати софтвере са циљем да софтвер ради на слабијим рачунарима, па се од рачунара захтева снага за обраду података.

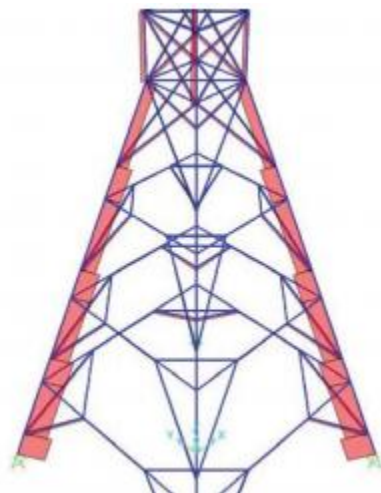
Неки од софтвера за анализу решеткастих конструкција су: SAP 2000 и Autodesk Robot Structural Analysis.



Слика 23. - SAP 2000



Слика 24.-Одабир конструкције и преглед основних параметара

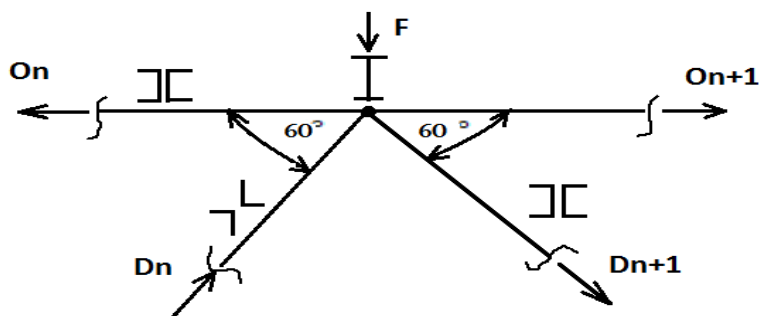


Слика 25.-Дијаграм аксијалне силе приказан на 3D моделу

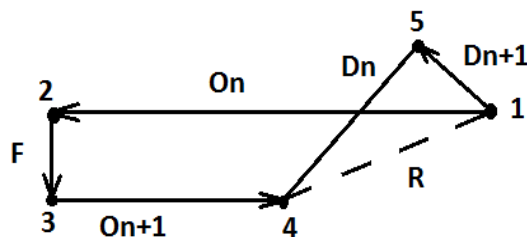
7) ПРОРАЧУН И КОНСТРУКЦИЈА РАВАНСКОГ РЕШЕТКАСТОГ НОСАЧА

Димензионисати штапове решеткастих носача датих на слици. Посебно прорачунати и конструисати везу штапова у једном чвору горњег појаса тако да појасни штапови буду непрекидни у чвору. Нормалне силе у штаповима за I случај оптерећења су O_n , O_{n+1} , D_n , D_{n+1} .

Напомена: спајање штапова за чворни лим извршити заваривањем.



План сила:



1. Димензионисање штапова

1.1 Димензионисање појасних штапова $On, On+1$

Пошто се према услову задатка појасни штапови не прекидају у чвору, оба поасна штапа се димензионишу према већој сили то јест према $On=600$ kN која је затежућа те ће провера штапова на извијање овде бити непотребна што много олакшава задатак. Такође утицај силе $F=600$ kN преко носача и тачно у чвору је секундаран и при димензионисању га занемарујемо (напони σ_m од силе F били би и 10 пута мањи од нормалних напона насталих од аксијалне силе у појасном штапу).

$$A_{\text{pot}} \geq \frac{On}{\sigma_{\text{dop}}} = \frac{600 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 37,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 37,5 \text{ cm}^2$$

за Č.0361 $\rightarrow \sigma_{\text{dop}} = 160 \text{ MPa}$; $A_{\text{pot}} \geq 37,5 \text{ cm}^2$

усваја се: 2UPE160 [литература „11” стр. 28] $\rightarrow A = 43,4 \text{ cm}^2$ за појасне штапове

1.2 Димензионисање дијагонале $Dn+1$ (затегнута)

Пошто је ова дијагонала затегнута то се димензионисање врши само према нормалном напону од аксијалне затежуће силе (нема провере на извијање).

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{F}{A} \leq \sigma_{\text{dop}}; F = Dn + 1 = 280 \text{ kN}$$

$\sigma_{\text{dop}} = 160 \text{ MPa}$ за Č. 9361 I случај оптерећења

Потребна површина попречног пресека је:

$$A_{\text{pot}} \geq \frac{Dn + 1}{\sigma_{\text{dop}}} = \frac{280 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 17,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 17,5 \text{ cm}^2$$

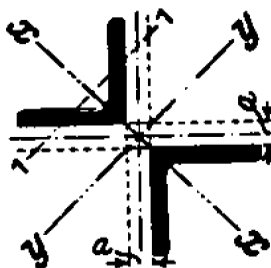
$A_{\text{pot}} \geq 17,5 \text{ cm}^2$; усваја се : 2UPE80 [литература „11” стр. 28] $\rightarrow A = 20,2 \text{ cm}^2$

1.3 Димензионисање дијагонале Dn (притиснута)

Пошто је ова дијагонала притиснута и сложеног попречног пресека по предлогу задатка може се проверавати на извијање по JUS U. E7.091.

Претпоставља се за прву пробу пресек од 2L100x100x12 [литература „8 ”стр. 795]

Са карактеристикама: (за цео пресек од 2L профила)



$$A_{2L} = A = 45,4 \text{ cm}^2; i_x = i_{\min} = 3,8 \text{ cm}; I_{x2L} = I_{\min} = 656 \text{ cm}^4;$$

$$\text{за } a = 12 \text{ mm} \rightarrow i_y = 5,32 \text{ cm}; I_{y2L} = 1280 \text{ cm}^4$$

Извијање у равни носача JUS.U.E7.086. : [литература „8 ”стр. 657]

$$0,8 < \beta < 1$$

$$l_{ix} = \beta \cdot l_{dn} = 0,8 \cdot 420 = 336 \text{ mm}; l_{dn} = 4,2 \text{ m} = 420 \text{ cm} - \text{дужина штапа}$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ix}}{i_x} = \frac{336}{3,8} = 88,42 \quad \text{или} \quad \lambda_x = \frac{420}{3,8} = 110,52$$

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{420}{5,32} = 78,9$$

$\sigma_v = 240 \text{ MPa}$ – нормални напон на граници развлачења

$$\lambda_v = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_v}} = 92,9 - \text{виткост при граници развлачења за } \check{C}.0361$$

Релативна виткост $\bar{\lambda}$ (за веће λ): $\bar{\lambda} = \frac{\lambda_x}{\lambda_v} = \frac{88,42}{92,9} = 0,96517 \rightarrow K = 0,539$ – крива С

$$\sigma_{Ldop} = \frac{K \cdot \sigma_u}{U} = \frac{0,539 \cdot 240}{1,5} = 86,24 \text{ MPa} - \text{допуштени нормални напон извијања}$$

$$\text{Равански нормални напон: } \sigma_N = \frac{D_n}{A} = \frac{352 \cdot 10^3}{45,4 \cdot 10^{-4}} = 82,547 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 82,547 \text{ MPa}$$

$$\sigma_N < \sigma_{Ldop}$$

Пошто овај услов задовољава, усваја се: 2L 110x110x12

2. Димензионисање веза свих штапова за чворни лим

Начин спајања: ЗАКИВАЊЕ

Дебљина чворног лима: $a = 12 \text{ mm}$

2.1 Прорачун везе дијагонале Dn за чворни лим

- моћ ношења једносечног закивка према критеријуму смицања

$$F_{\tau} = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot \tau^{\text{I dop}} = \frac{2,3^2 \cdot \pi}{4} \cdot 13 = 54 \text{ kN}$$

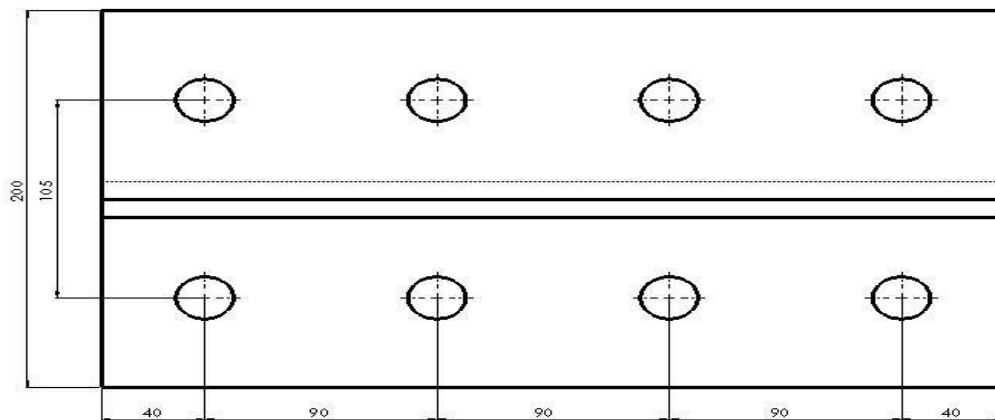
-моћ ношења једносечног закивка према критеријуму контролног притиска

$$F_{\sigma \text{ dop}} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma^{\text{I dop}} = 88,32 \text{ kN}$$

-одређивање броја закивака

$$n = \frac{F_{dn}}{F_{\tau}} = 6,52 \text{ kom}$$

-усваја се: $n=4 \times 2=8$ ком закивака



2.2 Прорачун везе дијагонале Dn+1 чворни лим

- моћ ношења једносечног закивка према критеријуму смицања

$$F\tau = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot \tau^I \text{dop} = \frac{2,8^2 \cdot \pi}{4} \cdot 13 = 80,04 \text{ kN}$$

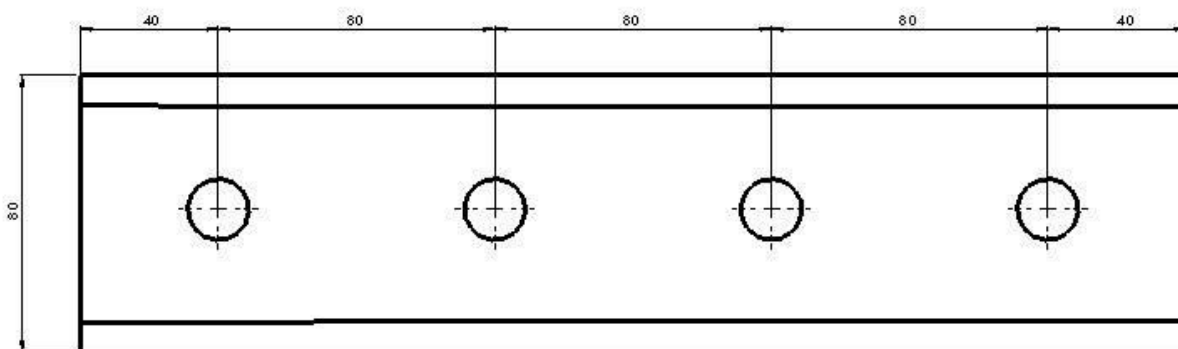
-моћ ношења једносечног закивка према критеријуму контролног притиска

$$F\sigma \text{dop} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma^I \text{dop} = 107,52 \text{ kN}$$

-одређивање броја закивака

$$n = \frac{Fdn + 1}{F\tau} = 3,49 \text{ ком}$$

-усваја се: $n=4 \times 1=4$ ком закивака



2.3 Прорачун везе чворног лима са појасним штаповима

- моћ ношења једносечног закивка према критеријуму смицања

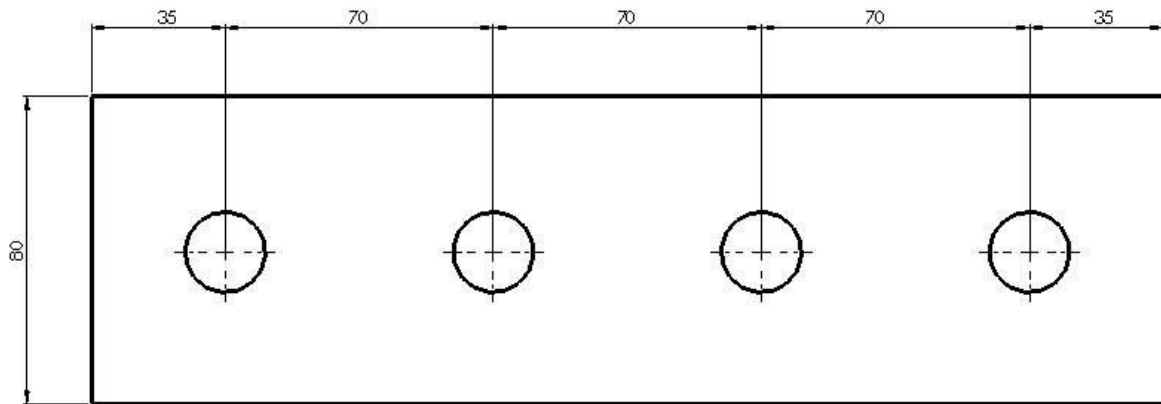
$$F\tau = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot \tau^I \text{dop} = \frac{2,5^2 \cdot \pi}{4} \cdot 13 = 45,027 \text{ kN}$$

- моћ ношења једносечног закивка према критеријуму контролног притиска

$$F\sigma \text{dop} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma^I \text{dop} = 80,64 \text{ kN}$$

- одређивање броја закивака

$$n = \frac{F}{F_t} = 3,33 \text{ kom}$$



$$F=150\text{kN}$$

- усваја се: $n=4 \times 1=4$ ком закивака

- момент: $M = F \cdot a = 150 \cdot 0,07 = 10,5\text{kNm}$

- оптерећење најудаљенијег закивка од трансверзалне силе:

$$F_t = \frac{F}{m \cdot n} = 3,5\text{kN}$$

-са обзиром на то да важи услов закивци су добро изабрани $F_t < \begin{cases} F_\sigma \\ F_{\sigma dop} \end{cases}$

3 Контрола напона у свим карактеристичним пресецима чворног лима

Дебљина чворног лима је: $t_{\text{CL}} = 12 \text{ mm}$.

Места на чворном лиму у којима се јављају критични напони су тамо где се уводи сила у чвор (на крају штапова испуне пресеци (1 – 1) и (2 – 2) и у самом чвору ако је на чворном лиму).

Пресек 1 – 1:

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_{\text{neto1}}} = \frac{F_1}{t \cdot beff1} \leq \sigma_{\text{dop}} = 160 \text{ MPa}$$

$$beff1 = by1 + 2 \cdot tg30^\circ \cdot ly1 = 80 + 2 \cdot tg30^\circ \cdot 320 = 449,5$$

$$by1 = 80 \text{ mm}$$

$$F1 = 280 \text{ KN}$$

$$\sigma_1 = 63,13 < \sigma_{\text{dop}} = 160 \text{ MPa}$$

Пресек 2 – 2:

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{t_{\text{beff2}}} < \sigma_{\text{dop}} = 160 \text{ MPa}$$

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$beff2 = by2 + 2 \cdot tg30^\circ \cdot ly2 = 212 + 2 \cdot tg30^\circ \cdot 350 = 616,15$$

$$by2 = 100 + 100 + 12 = 212 \text{ mm}$$

$$F2 = 352 \text{ KN}$$

$$\sigma_2 = 57,12 \text{ MPa} < \sigma_{\text{dop}} = 160 \text{ MPa}$$

Провера шава којим се чворни лим везује за појасне штапове већ је извршена при димензионисању тог шава.

ЗАКЉУЧАК

Решеткасти носачи посебно су погодни јер омогућавају провођење инсталационих цеви између штапова испуне. У мостоградњи се решеткасти носачи користе као главни носачи код друмских, железничких и транспортних мостова у индустријским објектима. Осим тога, у зградарству, мостоградњи као и у машиноградњи (кранови, роторни багери, транспортери...) је веома честа примена спрегова за стабилизацију, којима се обезбеђује пријем хоризонталних сила (ветар, сеизмика,...) и просторна стабилност конструкције,

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.

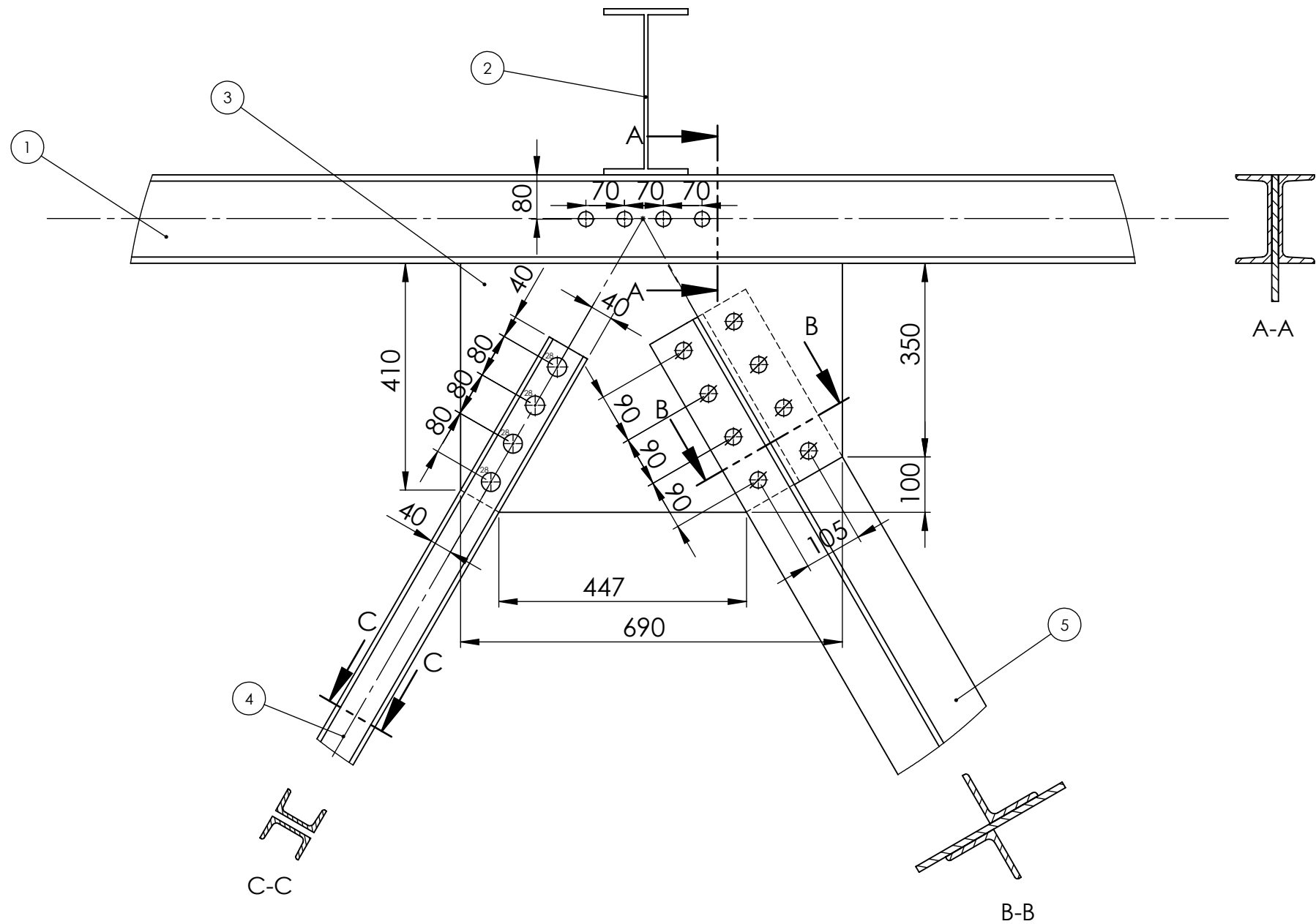
Као штапови решеткастих носача користе се сви стандардни ваљани профили, како отвореног тако и затвореног попречног пресека као и попречни пресеци образовани заваривањем. Избор попречног пресека зависи од интензитета напрезања, начина конструкцијског обликовања веза у чворовима, положаја штапа у конструкцији (појасни или штап испуне) и предвиђене функције решеткастог носача. Ваљани профили се примењују као самостални, једноделни штапови или као саставни елементи вишеделних попречних пресека.

Избор облика попречних пресека појасних штапова и штапова испуне не може да се врши независно. Приликом избора пресека штапова, код решеткастих носача без чворног лима, треба избегавати комбинације појасних штапова и штапова испуне чије је директно везивање конструкцијски неповољно или немогуће. Посебно су атрактивни решеткасти носачи код којих су и појасни штапови и штапови испуне израђени од шупљих профила повезаних директним заваривањем. Примењују се углавном у зградарству као кровни носачи, и то у виду двопојасних, или чешће, тропојасних и четворопојасних решеткастих носача.

У раду су решеткасте конструкције обрађене са теоријског аспекта док је посебан нагласак стављен на аналитичке и графичке методе одређивања сила у штаповима, наведени су неки од програма који су намењени компјутерском одређивању сила у штаповима и дат је пример прорачуна и конструкције везе чворног лима са појасним штаповима и штаповима испуне раванског решеткастог носача.

Литература

1. Буђевац Д., Марковић З. и др., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд, 2007. конструкција, Грађевинска књига, Београд, 1986.
2. Бабин Н., Бркњач Н., Шостаков Р., Металне конструкције, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2006.
3. Милосаљевић М., Радојковић М., и Кузмановић Б.: Основи челичних конструкција, Грађевинска књига, Београд, 1984.
4. Петковић З., Острић Д., Металне конструкције у машиноградњи, Институт за механизацију Машинског факултета у Београду, Београд, 1996.
5. Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – Приручник за прорачуне, Машински факултет, Крагујевац, 1998.
6. Николић Р., Вењковић Ј., Марјановић В., Металне конструкције – Збирка решених задатака, Машински факултет, Крагујевац, 2013.
7. Марковић З., Гранична стања челичних конструкција према еврокоду, Београд, 2014.
8. Зарић Б., Стипанић Б., Буђевац Д.: Челичне конструкције у грађевинарству, Грађевинска књига, Београд, 1990.
9. <http://polj.uns.ac.rs/~mehanika/6%20resetka.pdf> – преузето 29.07.2015.
10. <http://budi.inzenjer.org> – преузето 30.07.2015.
11. Таблице стандардних ваљаних профила
12. https://www.google.rs/search?q=stadio+vimbldona&client=opera&hs=lyw&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0CAcQ_AUoAWoVChMI39OBgeyJyAIVAl0UCh3M_A_g&biw=1280&bih=926#tbn=isch&q=vimbldon+krov&imgsrc=SO-k_nOr9lBo6M%3A- слика преузета 08.08.2015.
13. <http://www.grad.hr/nastava/ga/sr/gr.pdf> - преузето 09.08.2015.



5	2		L profil	L 100x100x12	
4	2		U profil	UPN 80	
3	1		Čvorni lim	690x410x12	
2	1		I profil	IPE 300	
1	2		U profil	UPN 160	
Poz.	Kom.	J.m.	Naziv	Standard-izabrane karakteristike	Primerba
Tolerancije slobodnih mera			Površinska zaštita		Površinska zaštita
Materijal S 235					Termička obrada
					Masa
					Razmera 1:10
			Datum	A.Matić	Čvor rešetkastog nosača
			Obrad		
			Stand		
			Odobr		
			Fakultet inženjerskih nauka Kragujevac		Oznaka
					1/1
St. i	Izmene	Datum	Ime	Izv pod	
				Zamena za	