

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Предраг Н. Цветковић
Пројектовање хале од стандардних
ваљаних профила по Еврокод
стандардима коришћењем савременог
софтвера
завршни рад

Крагујевац, 2018.

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: 85/ 2014

Предраг Н. Цветковић
Пројектовање хале од стандардних
ваљаних профила по Еврокод
стандардима коришћењем савременог
софтвера
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Весна Марјановић, ванр. проф.

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- да један краћи осврт на историјат пројектовања металних конструкција и укаже на правила и разлике које постоје у савременим прорачунима који користе најновије европске стандарде,
- посебно треба да опише како се узимају у обзир разна дејства на конструкције као што су у првом реду дејства ветра и снега, затим сеизмичка дејства, као и остала која би могла да се јаве при пројектовању хала,
- да кратак осврт на начин пројектовања хала,
- уради пример пројектовања једне хале коришћењем савременог софтвера.

Препоручена литература:

[1] - Буђевац Д., Марковић З., Богавац Д., Тошић Д., Металне конструкције, Београд, 1999. година

[2] - Марковић З., Гранична стања челичних конструкција према Еврокоду, Београд, 2014. година

[3] - Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – приручник за прорачуне, Крагујевац, 1998. године

...

Крагујевац,

Август, 2018. године

Др Весна Марјановић, ванр. проф

Садржај

1. Увод	1
1.1 Историјат и основне карактеристике металних конструкција	1
1.2 Методе прорачуна челичних конструкција	2
1.2.1 Метода допуштених напона	3
1.2.2 Метода граничних стања	4
2. Врсте челичних производа и њихова примена	6
2.1 Вруће обликовани профили	6
2.2 Хладно обликовани профили	8
3. Филозофија прорачуна према Еврокод стандарду	11
3.1 Дејства на конструкције	11
3.1.1 Стална оптерећења	12
3.1.2 Корисна оптерећења	13
3.1.3 Оптерећење снегом	13
3.1.4 Оптерећење ветром	14
3.1.5 Температурни утицаји – термички утицаји	16
3.1.6 Оптерећење дизалицама	17
3.1.7 Сеизмичка оптерећења	18
3.1.8 Оптерећење од експлозије, пожара – инцидентна оптерећења	19
4. Принципи пројектовања хала	20
5. Пример пројектовања хале помоћу софтвера ''Robot structural analysis''	21
6. Закључак	33
7. Литература	34

Summary

This thesis describes design of the hall.

Standards that any engineer must comply are Eurocode standards.

This thesis contain several parts, which the first is introduction where importance of this thesis is described. Next part is history and basic characteristics of steel constructions and advantages and disadvantages of steel construction.

Then there is text about methods of calculation of steel construction. Until today, in this part of engineering there are two methods and in thesis are described just basic things for both methods.

Main task of this thesis is to design and calculate hall made of standard profiles like I – profile, square bar profile, pipes etc.

By Eurocode standard there are many loads which affect on construction like snow load, wind load, seismic load, dead load, live load, temperature load – and each of these are detail described.

At the end of this thesis, there is concrete example of design and calculation of hall, which is made in "Robot Structural Analysis" software which include all of these loads that are specified up in text.

Keywords: hall, Eurocode standards, steel construction, methods of calculations, square bar profile, pipes, snow load, wind load, seismic load, dead load, live load, software

Резиме

У овом раду је описан процес пројектовања хале.

Стандарди који се морају поштовати при изради оваквог објекта су Еврокод стандарди.

Рад се састоји из неколико делова, најпре од увода где је описан значај израде завршног рада на ову тему. Следећи део је историја и основне карактеристике челичних конструкција где је акценат стављен на период када су челичне конструкције започеле да се пројектују и израђују, такође су и дате одређене предности челичних конструкција у односу на неке друге.

Након дела о историји челичних конструкција, следи део о методама прорачуна истих. Пошто, за сада, постоје само две основне методе прорачуна конструкција, у том делу су дате неке основне информације о обе методе.

Задатак је био пројектовати халу од стандардних ваљаних профила.

Према Еврокоду, на конструкцију делују разна оптерећења као што су стална оптерећења, корисна оптерећења, оптерећење снегом и ветром, температурни утицаји, сеизмичка оптерећења – и свако је детаљно проучено и објашњено.

У завршном делу рада је дат пример пројектовања хале у софтверском пакету "Robot Structural Analysis" који врши прорачун хале баш према Еврокод стандардима (дејства ветра, дејства снега, сеизмичка дејства и слично).

Кључне речи: хала, Еврокод стандард, челична конструкција, методе прорачуна, кутијасти профил, цеви, оптерећење снегом, оптерећење ветром, сеизмичка дејства, стална оптерећења, корисна оптерећења, софтвер

1. Увод

У овом делу је приказан шири аспект значаја и примене теме завршног рада, где је прво истакнуто неколико разлога значаја израде ове теме, а након тога и област примене.

Значај завршног рада на ову тему је упознавање са новим Европским стандардима који полако, али сигурно почињу да се користе у скоро свим земљама. Конкретан назив тог стандарда је 'Eurocode' и има неколико поглавља који обухватају највише бетонске, дрвене и челичне конструкције.

Пошто је ово доба рачунара и скоро сви инжењерски послови се обављају помоћу истих, израда ове теме није била могућа без неког софтвера. Баш из тог разлога, још један значај израде завршног рада на ову тему јесте упознавање са софтвером који помаже инжењерима у решавању сличних проблема.

Конкретна тема је пројектовање хале, односно неке челичне конструкције. Помоћу информација које се налазе у овом завршном раду, као што су на пример дејства на конструкцију, предности челичних конструкција, па и сама израда једне челичне конструкције, може да помогне у изради неког сличног објекта, који не мора бити истог облика нити димензија, али се прорачун и пројектовање заснива на истом принципу.

1.1 Историјат и основне карактеристике металних конструкција

Као материјал на носеће конструкције у грађевинарству се прво почело користити гвожђе, а потом и челик. Пошто је израда челичних конструкција релативно скоријег датума, из тог разлога је и најстарија конструкција стара само око 200 година. Већи проценат материјала који се користи за израду носећих конструкција је челик, али се све више употребљава и алуминијум. [2]

Челичне конструкције карактерише веома брз тренд развоја који је проузрокован појавом нових савремених метода прорачуна и анализе, као и развој потпуно аутоматизованих система за израду техничке документације на рачунару.

Као што је речено, највећи проценат материјала који се користи у изради конструкција је челик. Он се употребљава при изради индустријских хала, спратних зграда, спортских дворана, торњева, хангара, кровова стадиона, мостова, силоса, водоторњева, покретних трака, робусних машина и других конструкција које су дате испод на сликама.



Слика 1 – Примери челичних конструкција – покретне траке, роторни багер [9]



Слика 2 – Примери челичних конструкција – мостови, силоси [9]

1.2 Методе прорачуна челичних конструкција

До последњих деценија XIX века, нису постојале фазе рачунског доказа носивости и сигурности конструкција као фазе које претходе грађењу. До тада су се већина, или све конструкције, односно њихова израда, заснивале на искуству и интуицији. Пројектанти и инжењери који су били задужени за пројектовање и изградњу неког новог објекта, тежили су да тај објекат изгледа слично као претходно изграђени објекти, у погледу димензија и пропорција. [2]

Али у другој половини XIX века, полако се започело са примењивањем механичких модела и математичких операција при прорачуну конструкција.

Да би се изградила конструкција, прво је потребан пројекат. У данашњем свету, пројекат треба да представља оптимално решење, а да при томе конструкција буде технички прихватљива и изводљива, и такође да при томе задовољава и естетске критеријуме.

Под појмом "технички прихватљива конструкција" подразумева се конструкција која је поуздана односно која задовољава све захтеве у вези сигурности, функционалности и трајности.

Најважнији од напоменута три критеријума је критеријум сигурности. Конструкција треба тако да се пројектује да са одређеним степеном сигурности прихвати сва оптерећења која ће деловати на њу како у фазама монтаже, тако и у фази експлоатације. Уколико овај критеријум није задовољен долази до пластичних деформација, које могу да доведу до лома конструкције, што за последицу има велике материјалне штете, а понекад и људске жртве.

Што се тиче критеријума функционалности, он се огледа у томе да конструкција, током животног века, оствари захтеве који су битни за несметано функционисање објекта. Ти захтеви се најчешће односе на деформације које имају неповољан утицај на корисника, односно радника, функционисање опреме или пак да се критеријум функционалности одрази на естетски ефекат.

На последњи критеријум, односно на критеријум трајности највише утичу изабрани материјали за израду конструкције, начин и квалитет израде саме конструкције, па и конструкционо обликовање детаља. Из овога закључујемо да се трајност повећава правилним обликовањем. Уколико се конструкције налазе на отвореном, тада посебна

пажња треба да се усмери на корозиону заштиту, а то су мостови, кранови, роторни багери, стубови далековаода, димњаци, силоси, и слично.

Методе прорачуна челичних конструкција се могу поделити на **детерминистичке** и **пробабилистичке**. Ове две методе се знатно разликују, а њихове разлике и методе прорачуна су дате у даљем тексту.

1.2.1 Метода допуштених напона

Већина прорачуна у прошлости се заснивала на детерминистичком приступу. То значи да се подразумева да су оптерећења која делују на конструкцију као и карактеристике материјала унапред познате, односно детерминисане. Такође, најважнија вредност, а то је **степен сигурности** је био познат.

На основу поменутог степена сигурности се прописују допуштени напони који не смеју бити прекорачени ни у једној фази животног века конструкције. Пошто је горе у тексту напоменуто да се у обзир узимају допуштени напони преко степена сигурности, ова метода се назива методе допуштених напона.

Разним експериментима се дошло до закључка да је челик, који је уједно и најчешћи материјал за израду конструкција, до достизања границе развлачења идеално еластичан материјал. У прорачуну је усвојен став да баш тај напон на граници развлачења одређује почетак лома конструкције.

Ова метода је једна од најстаријих метода провере, али и даље представља широко прихваћен концепт доказа сигурности челичних конструкција.

Суштина ове методе је та да ни у једном пресеку конструкције, услед утицаја спољашњих оптерећења која ће такође бити детаљно објашњена, не дође до тога да вредности максималних напона буду веће од допуштених.

$$\sigma_{max} = \frac{f_y}{v} \leq \sigma_{dop} \dots (1)$$

Где величина f_y представља напон материјала на граници развлачења, величина v представља степен сигурности, а величина σ_{dop} представља допуштени напон.

Ово је израз код нормалних напона, док код тангенцијалних напона, израз је мало другачији и гласи:

$$\tau_{max} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot v} \leq \tau_{dop} \dots (2)$$

на овај начин је конструкција обезбеђена од лома, а коришћењем степена сигурности се узимају у обзир све неправилности у вези процене спољашњих оптерећења, карактеристика материјала, геометрије конструкције и слично.

Пошто се конструкција састоји из неколико делова, не важе иста оптерећења за све делове. За све елементе конструкције, на које делују разна оптерећења, проверавају се напони. На конструкцију углавном делују оптерећења изазвана ветром, снегом, статичка и динамичка оптерећења, сеизмичка дејства, температурна дејства и може се понекад десити да већина оптерећења делују у истом тренутку, што је веома незгодно за челичну конструкцију. Наравно, при деловању различитих оптерећења, сва оптерећења се узимају са пуним износом, али се за различите комбинације узимају и другачије вредности степена сигурности.

Табела 1 – Вредности степена сигурности за случајеве оптерећења [2]

редни број оптерећења	случај оптерећења	коэффициент сигурности
1.	I случај оптерећења	$v = 1,5$
2.	II случај оптерећења	$v = 1,33$
3.	III случај оптерећења	$v = 1,2$

Први случај оптерећења обухвата основна оптерећења која могу бити сопствена тежина конструкције, корисна оптерећења, снег и слично. Таква оптерећења се најчешће јављају у току радног века конструкције па је зато и вредност степена сигурности за ову врсту оптерећења највећи. Што се другог случаја тиче, у њега спадају допунска оптерећења, као што су ветар, температурни утицају, удари код кранских носача, силе кочења и слично. Под трећим случајем подразумевају се изузетна оптерећења као што су сеизмичко померање тла, удар возила у конструкцију и слично.

Метода допуштених напона узима у обзир и одређене претпоставке као на пример, да се прорачуном не узимају у обзир заостали напони при ваљању профила, сечења, заваривања или других поступака обраде. Такође у ову методу се не уводе утицаји концентрације напона.

На основу одређених закључака, може се рећи да су апроксимације које су уведене у овој методи, можда и олакшавајуће при прорачуну, али да су такође те апроксимације веома грубе. И поред овог закључка, метода допуштених напона, заједно са уведеним упрошћењима, јасна је и једноставна и са задовољавајућом тачношћу се примењује при пројектовању конструкција. Уколико се поштују правила пројектовања и уколико се објекат адекватно конструише и изграђује, неће бити бојазни да ће се објекат или конструкција срушити.

Због предности које су до сада наведене, ова метода је погодна за примену и при пројектовању бетонских, спрегнутих па и дрвених конструкција.

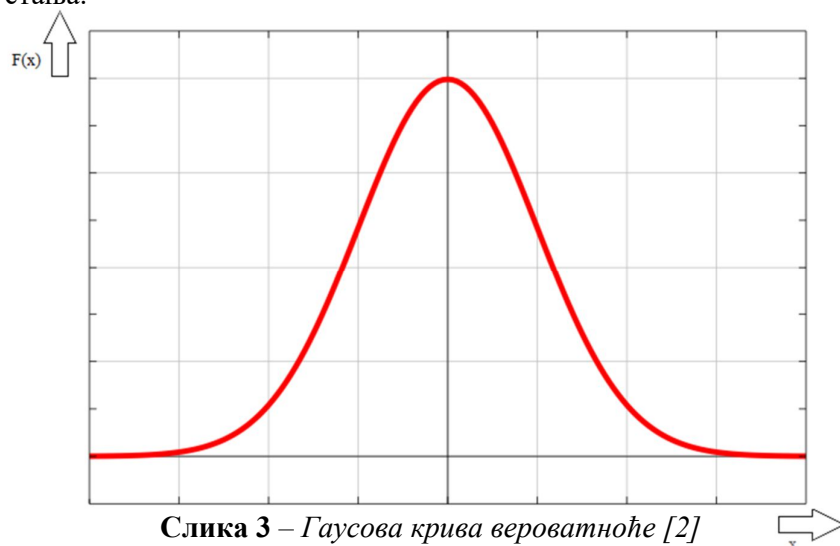
1.2.2 Метода граничних стања

Пошто су се у методи допуштених напона појавила груба упрошћења, она нису добро утицала на пројектовање конструкција у новијем добу. Конструктори и пројектанти су увидели те недостатке и потрудили се да у прорачун уведу што реалније параметре.

Принцип и суштина ове методе је та да се понаособ узму подаци за оптерећења која делују на конструкцију и уведу се у прорачун преко стварних крива расподеле, па потом вишеструком интеграцијом проверити да ли је постигнут задовољавајући степен сигурности. Поред коришћења савремених и веома моћних рачунара, и даље ова метода није у потпуности примењива у пракси јер захтева веома обиман рад око поменутих криви расподеле.

Наравно, пошто је то веома сложен процес, и у овој методи је уведено одређено упрошћење, а оно гласи да се сви параметри у прорачуну узимају преко Гаусове криве и преко карактеристичних вредности. Од свих параметара који утичу на прорачун, само су својство материјала и оптерећења обрађена у статистичком смислу.

Суштинска разлика између методе допуштених напона и ове методе је та да се, у овој методи не димеционише конструкција која има апсолутну сигурност, већ се пројектује конструкција која са одређеном вероватноћом неће доживети гранично стање или више граничних стања.



Слика 3 – Гаусова крива вероватноће [2]

По овој методи, задатак конструктора је тај да он пројектује конструкцију која ће са прихватљивом вероватноћом остати погодна за употребу, и притом водећи рачуна о њеној трајности. Као што је напоменуто, у овој методи се степен сигурности узима као степен вероватноће да конструкција неће доживети ни једно гранично стање и вредност степена сигурности зависи од тежине последица од могућих незгода. Као и код методе допуштених напона, конструкција треба да издржи сва оптерећења која се јављају у току њене монтаже, могућих пробних оптерећења и експлоатације.

Гранично стање конструкције може наступити у било ком тренутку њеног животног века. У зависности од начина на који конструкција престаје да испуњава одређену функцију, постоје различите врсте граничних стања, и то су:

- Гранично стање носивости,
- Гранично стање употребљивости.

Гранично стање носивости је везано за рушење или за неки сличан вид губитка носивости које могу да угрозе безбедност људи. До губитка носивости може доћи услед губитка статичке равнотеже, великих померања конструкције, губитка стабилности неког дела конструкције, прекорачења отпорности попречног пресека и слично.

Са друге стране, гранично стање употребљивости се може поистоветити са критеријумом функционалности што би значило да уколико се достигне гранично стање употребљивости, тада најчешће долази до угиба односно деформација које лоше утичу на изглед и на ефикасну експлоатацију конструкције. Такође достизање граничног стања употребљивости достиже се и кад се појави нелагодност код радника који се налазе унутар таквог објекта.

Принцип примене методе граничних стања је да се конструкција димензионише на основу граничног стања носивости, а да се гранично стање употребљивости проверава. Гранична стања се могу дефинисати преко рачунског модела који обухвата различите параметре који могу бити:

- Дејства (оптерећења, принудне деформације),
- Својство материјала,
- Геометријски подаци.

Услов за доказ граничног стања, било да је реч о носивости или употребљивости се може дефинисати једначином:

$$E_d \leq R_d \dots\dots (3)$$

Где је величина E_d прорачунска вредност ефекта услед спољашњег дејства, а R_d је прорачунска вредност носивости.

Величина E_d зависи, као што је речено, од оптерећења. Условљена је врстама оптерећења, начином наношења оптерећења, трајањем, комбинацијом оптерећења док променљива R_d зависи од врсте односно квалитета основног материјала, начина израде, грешака које су настале при изради и сл.

Када се врши провера граничног стања употребљивости, користи се релација:

$$E_d \leq C_d \dots\dots (4)$$

Где величина E_d представља ефекат који је одређен на основу меродавне комбинације дејстава, а величина C_d представља прописану вредност, као на пример допуштени угиб, вибрације и слично.

Прорачун се може поделити на два дела, где први део чини одређивање свих дејстава на конструкцију, док други део обухвата прорачун отпорности конструкције.

Разлика у методи граничних стања у односу на методу допуштених напона је та што код ове методе прорачун не зависи од начина на који се одређују пресечне силе, док код методе допуштених напона прорачун зависи од начина одређивања пресечних сила. Најновији европски стандарди користе за своје препоруке при прорачунима готово искључиво методу граничних стања.

2. Врсте челичних производа и њихова примена

Тема овог рада је пројектовање хале од стандардних ваљаних профила. Највећу примену ваљани профили имају баш при изради металних, односно челичних конструкција. Прва, груба подела ваљаних профила су они који се добијају помоћу ваљања профила у топлом стању и они се називају **вруће ваљани профили**, а друга врста профила која се добија ваљањем у хладном стању, односно материјал се не загрева и они се називају **хладно обликовани профили**. Још неке разлике, као и начини добијања и детаљнија подела стандардних ваљаних профила биће дата у даљем тексту. [2]

2.1 Вруће обликовани профили

Ова врста профила се најчешће користи при изради носећих конструкција. Постоји четири врсте вруће ваљаних профила, и то су:

- Штапови,
- Лимови,
- Профилисани носачи,
- Шупљи профили.

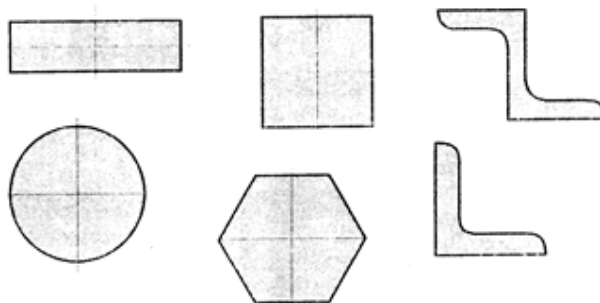
Што се тиче **штапова**, они се могу израђивати у разним облицима и дужинама, као и дебљинама. Што се тиче облика, могу се израђивати у облику пљоштег челика, широког пљоштег челика, угаоника, Т и Z профила, малих I и U профила висине до 80 mm, округлог, шестоугаоног и квадратног облика.

Штапови облика пљоштег челика се ваљају у дебљинама од 5 до 60 mm, и дужине профила могу бити од 3 до 15 m.

Универзални, односно широки пљошти челик је правоугаоног попречног пресека, и најчешће се ваља са два хоризонтална и два вертикална ваљка. Дебљине ваљања су идентичне као код пљоштег челика, а ширине од 150 па до 1250 mm, дужине од 3 до 12 m.

Угаоници се добијају ваљањем између калибрисаних ваљака. Краци ваљака су под правим углом, а краци могу бити **равнокраки** и **разнокраки**. Између крака постоји заобљење које има вредност дебљине једног крака. Свака врста угаоника се ваља у три или четири дебљине.

T – профили могу бити или са широком ножицом или са већом дужином ребра. Z – профили се данас врло мало користе, чак се и мало производе.



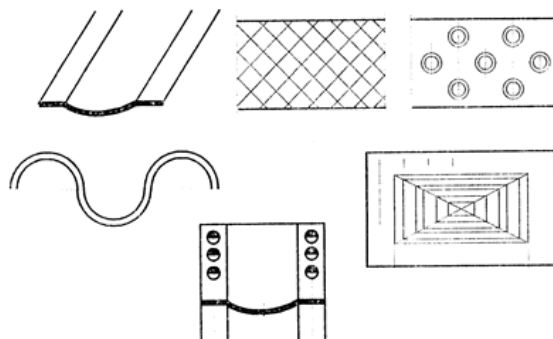
Слика 4 - Разни попречни пресеци штапова [6]

Да би се добили **лимови**, табла челика се ваља између равних ваљака, и то у оба правца. Због таквог начина добијања, лимови немају равне ивице, па се накнадно морају обрађивати.

Лимови могу бити различитих дебљина, па се подела заснива на следећем:

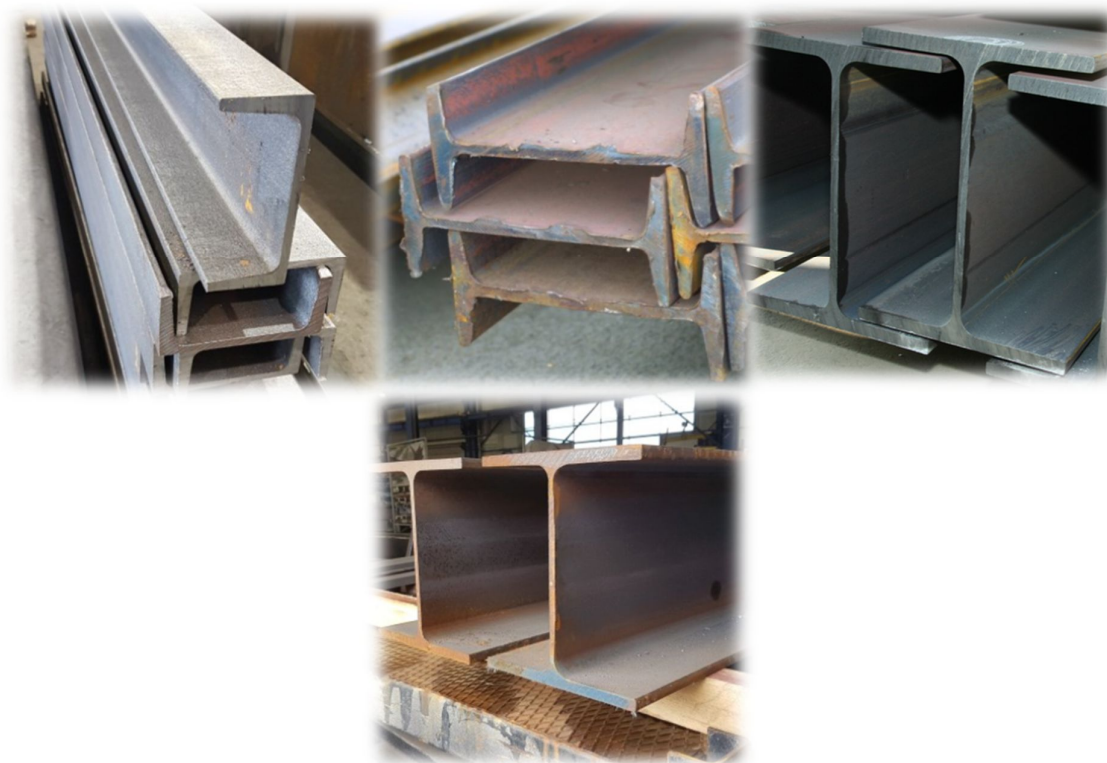
- фини лимови, дебљине до 3 mm,
- средњи лимови, дебљине од 3 до 4,75 mm,
- груби лимови, дебљине преко 4,75 mm.

Што се тиче облика површине, лимови могу бити глатки, ребрасти, брадавичасти и перфорирани. Ширина ваљања може ићи до 4 или 6 m, дужине до 10 m, а дебљине од 6 mm на више.



Слика 5 – Разни облици лимова [6]

Постоје два основна облика **профилисаних носача**, то су I и U профили. I – профили се најчешће примењују за израду гредних и оквирних носача и стубова. Дужина профила може бити од 8 m па до 15 m. Постоје профили који поседују нагиб на ножицама, и тај нагиб код I профила је најчешће 14%, док је код U профила 5% или 8%. Код оваквих профила, дужина ребра је већа, у односу на ширину ножице па зато им је момент инерције релативно мали. Из тог разлога су се развили профили са широким паралелним ножицама познати као IP носачи. Такви IP носачи се ваљају са различитим дебљинама ножица.



Слика 6 - Профилисани носачи [5]

Специјална серија, односно серија HD се односи на профиле новијег датума и они се користе највише за стубове зграда.

Последњи тип вруће ваљаних профила су **шупљи профили**. Под тим појмом се подразумевају профили чији је попречни пресек у облику прстена и кутијаст, и то у облику квадратног, правоугаоног или кружног прстена. Шупљи профили могу бити бешавни и шавни.

2.2 Хладно обликовани профили

Принцип добијања вруће ваљаних профила је тај да се припремак прво загреје па се онда врши процес ваљања. Код обликовања профила на хладно, припремак се не загрева већ се на температури на којој се налази, ваља. Овакав принцип израде профила има неколико предности као што су:

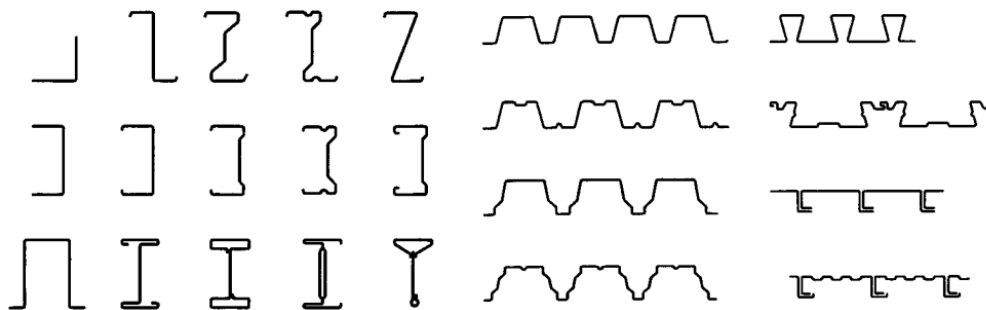
- добијање знатно равнијих и финијих површина,
- повећање механичких карактеристика.

Ваљање се може извршити на два начина. Један је да равна трака пролази кроз серију ваљака, а друга је превијање траке на преси у посебном алату. Под појмом повећања механичких карактеристика се подразумева да се повећава граница развлачења и да се повећава чврстоћа на затезање. Недостатак је тај да се са побољшањем механичких карактеристика смањује дуктилност.

Хладно обликовани профили се производе као отворени профили, шупљи, профилисани лимови и равни лимови и траке.

Предност ових профила се огледа у малој тежини, лакој транспорту и манипулацији, као и велики избор облика.

Типови **профила отвореног попречног пресека** могу бити U, C, L, Z, σ - облика, шеширасти облици и многи други. Поседују велики асортиман димензија и дебљине; дебљине се налазе у опсегу од 1,5 mm до 6 mm.



Слика 7- Хладно обликовани профили отвореног попречног пресека [2]

Шупљи профили се добијају тако што се траке намотане у котурове која има облик профила савијају, односно преобликују и након тога се спајају заваривањем. Ширина и дебљина профила који се жели произвести диктирају димензије траке.

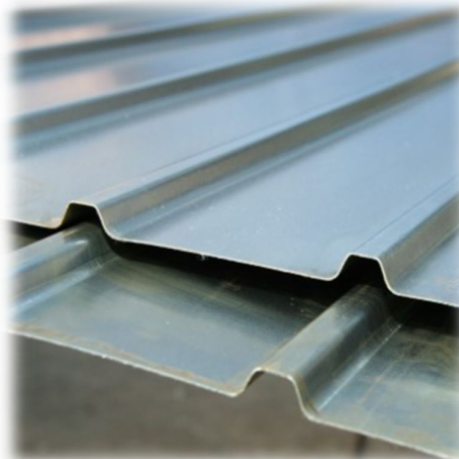


Слика 8 - Шупљи профили [5]

Намена профилисаних лимова је да се најчешће објекти покривају и облажу. Лимови могу бити намотани у траке, дебљине опсега од 0,6 mm до 1 mm, који могу бити поцинковани или поцинковани па бојени.

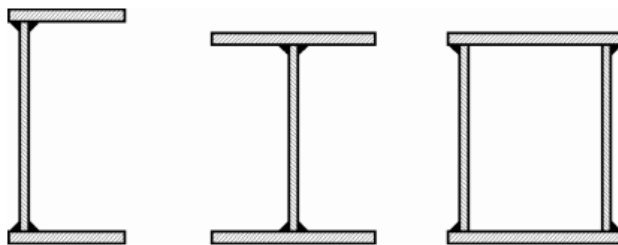
Постоје производи које се не могу сврстати директно у једну од ове две групе профила, али су свакако значајни за израду челичних конструкција. У ту групу спадају аутоматски заварени носачи, саћасти профили, ужади и каблови, истегнути метали и решеткаста газишта.

Аутоматски заварени носачи се добијају заваривањем металних плоча различитих димензија у облику I или неког другог сандучастог профила.



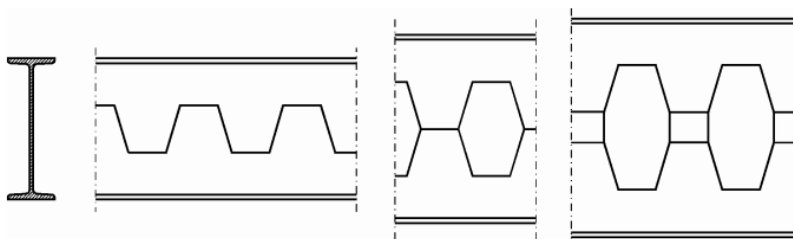
Слика 9 - Профилисани лим [5]

Пазећи на однос момента инерције и површине попречног пресека I/A као и односа отпорног момента инерције и површине попречног пресека W/A могу се добити врло економични профили.



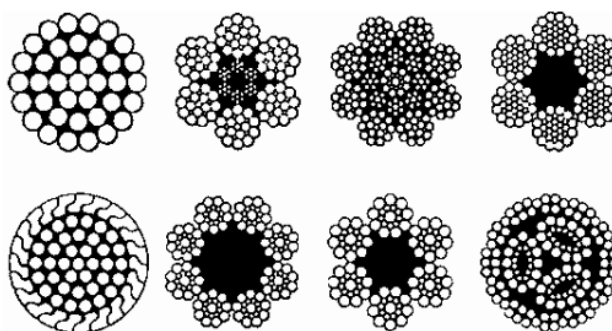
Слика 10 – Аутоматски заварени профили [6]

Саћасти профили се добијају тако што се на пример ребро I профила посебно исече и изврши заваривање са другим, такође посебно исеченим ребром. Овакви профили поседују веће вредности носивости, крутости, поседују мању масу. Отвори у оваквим профилима се могу успешно искористити за спровођење инсталација.



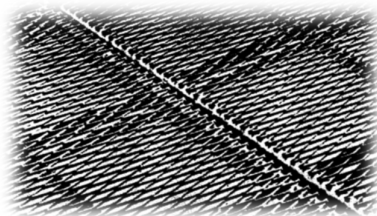
Слика 11 – Саћасти профили [6]

Ужади и каблови се користе код елемената који су изложени великим напонима на затезање. За добијање ужади и каблова се користе жице, које су извлачене на хладно и накнадно термички обрађене. Чврстоћа стандардних жица се креће у опсегу од 1180 до 2160 МПа, док је чврстоћа код патентираних топлотном обрадом побољшаних жица чак и 3000 МПа. Ужади се добијају тако што се жице увијају у струкове, а након тога се струкови постављају тако да обавијају језгро жице.



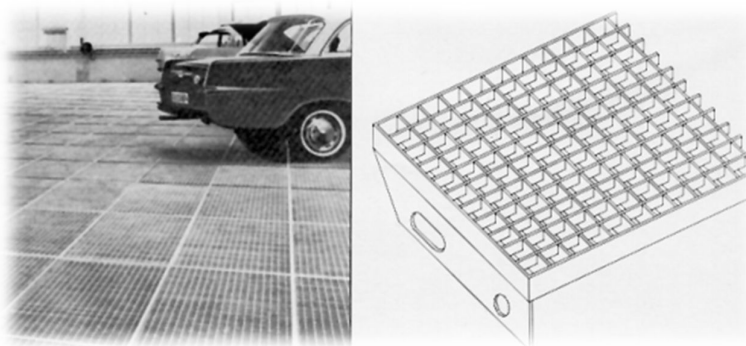
Слика 12 - Ужади и каблови [2]

Истегнути метали се добијају тако што се табла лима исече на посебне облике и након тога се истегне.



Слика 13 - Мрежаста плоча погодна за подест [2]

Последњи тип ових производа су решеткаста газишта.



Слика 14 – Решеткаста газишта [2]

3. Филозофија прорачуна према Еврокод стандарду

Као што је већ напоменуто у раду, Еврокод стандард се заснива на полу - пробабилистичком концепту прорачуна, уз примену теорије граничних стања, док се поузданост конструкције доказује на основу методе парцијалних коефицијената.

Еврокод стандард разликује четири групе прорачунских ситуација, и то: [3]

- сталне прорачунске ситуације – у ове ситуације спадају уобичајени односно нормални услови коришћења објекта. Ова дејства су присутна током већег дела радног века конструкције,
- повремене или пролазне прорачунске ситуације – ове ситуације настају приликом извођења одређених радова или при поправкама конструкције,
- инцидентне прорачунске ситуације – ови случајеви могу, али се не морају јавити у експлоатационом веку конструкције. У ову групу спадају експлозије, пожари, удари возила и слично,
- сеизмичке прорачунске ситуације – ове ситуације се односе на сеизмичка дејства. Оне обухватају утицаје који се јављају у конструкцији за време земљотреса и након њега.

3.1 Дејства на конструкције

Еврокод стандард под појмом "дејства" подразумева све спољашње утицаје који делују на конструкцију током експлоатационог периода. У металним конструкцијама постоји подела на **директна** и **индиректна дејства**. [1, 3]

У директна дејства, као што само име каже, спадају дејства која директно делују на пројектовану конструкцију. То су сопствена тежина, корисно оптерећење, стално оптерећење, ветар, снег.

Под појмом индиректна дејства спадају принудне деформације које могу да настану на пример услед термичких утицаја.

Следећа подела која постоји у овом делу рада је подела према променљивости у току времена, и у ову поделу спадају **стална дејства (G), променљива дејства (Q) и инцидентна дејства (A).**

Стална дејства константно делују на конструкцију током читавог животног века конструкције. Она су углавном статичког карактера и у њих спадају дејство сопствене тежине, оптерећења услед тежине неконструкцијских елемената или сталне опреме, скупљање, течење и неједнако слегање темеља.

Променљива дејства на конструкцију трају краће, као што се и може закључити, јер се јављају само повремено. У њих спадају дејство снега, дејство ветра, термички утицаји.

У последњу групу, односно у инцидентна дејства спадају експлозије, удари возила. Вероватноћа да се оваква дејства појаве је веома мала, али постоји. Као нека врста подгрупе, у ову групу спадају и **сеизмичка дејства (A_E).** Понекад, у зависности од локације конструкције, она се могу сврстати у променљива оптерећења.

Након овог уводног дела о дејствима на конструкцију, биће детаљније описана сва дејства која се у току радног века конструкције, могу јавити као оптерећења. У њих спадају: **сопствена тежина и стална оптерећења, корисна оптерећења, снег, ветар, температура и сеизмика.**

Такође, постоји подела према пореклу и то на **геофизичка** која потичу од гравитационих, сеизмичких, метеоролошких сила, као и **људска** која потичу од аутомобила, машина, људи.

Према правцу деловања постоје **вертикална и хоризонтална** оптерећења. У вертикална спадају снег, стална оптерећења или променљива. У хоризонтална оптерећења спадају ветар, потреси.

Подела која може бити занимљива је подела према карактеру деловања:

- основна оптерећења (стална оптерећења, корисна оптерећења)
- допунска оптерећења (ветар, термичка дејства, силе које потичу од дизалица)
- изузетна оптерећења (сеизмичка дејства, експлозије, удари возила)

Анализа дејства на конструкцију је почетни корак при сваком прорачуну било које конструкције.

Одређена дејства као што су снег, ветар, сеизмика, температура зависе од климатских услова локације где се налази конструкција, па на пример параметри као што су основна брзина ветра или основно дејство снега морају бити дефинисани у Националном прилогу земље.

3.1.1 Стална оптерећења

Да сопствена тежина конструкције, која спада у ово оптерећење, не би била велика, морају се рационално користити материјали за израду исте. У сопствену тежину конструкције не улазе само конструкцијски елементи, већ и неконструкцијски као што су непокретне инсталације, опрема, кровни покривачи, рукохвати, спуштени плафони, термичка заштита.

Сопствена тежина конструкције се може или израчунати или се појединачне тежине елемената који улазе у конструкцију узимају из каталога.

Уколико се прорачунавају, то се врши на начин тако што се множи запремина са густином и гравитационим убрзањем. Како на почетку прорачуна не можемо тачно да знамо сопствене појединачне тежине елемената, прибегава се одређеним искуственим усвајањима.

3.1.2 Корисна оптерећења

Корисна оптерећења могу бити једнако подељена, линијска или концентрисана. Она потичу од уобичајеног коришћења објекта и садржаја који се налази у њему. Ова оптерећења спадају у променљива оптерећења из разлога што се на пример инвентар унутар конструкције може стално мењати.

3.1.3 Оптерећење снегом

Предност челичних конструкција се огледа у њиховој малој сопственој тежини. Колико је то предност, са друге стране је и мана јер су такве конструкције, поред дрвених, веома осетљиве на дејство снега и зато се веома пажљиво приступа анализи овог оптерећења.

Дејство снега се рачуна као гравитационо оптерећење по 1m^2 основе. У табели испод се могу видети оптерећења снега у зависности од нагиба крова.

Табела 2 - Оптерећење снега у зависности од нагиба крова [1]

нагиб крова	< 20	25	30	35	40	45	50	55	60	> 60
S [kN/m ²]	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0

У крајевима где је снег редак, као што су приморска места, усваја се оптерећење од $0,35\text{ kN/m}^2$. Са друге стране, уколико постоји нека већа надморска висина, онда се оптерећење рачуна путем формуле:

$$s = 0,75 + \frac{H - 500}{400} \dots\dots (5)$$

Где су величине: s – оптерећење снегом; H – надморска висина.

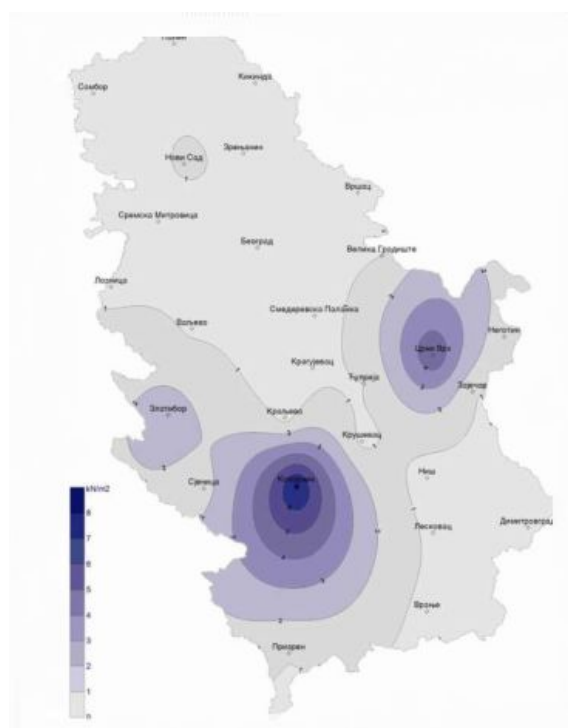
Код шед кровова треба водити рачуна о нагомилавању снега у увалама док код мансарадних носача или решеткастих носача, треба водити рачуна да је за штапове испуне неповољнији случај оптерећења снегом на V – распону решетке.

Некада, може доћи до ситуације да услед појаве веће количине снега, та количина дуже време остане на крововима. Уколико се у том тренутку десе и ниске температуре, снег прелази у лед. Прелазак снега у лед може веома неповољно да утиче на конструкцију и да доведе до лома неког њеног дела.

Као што је наведено у почетку овог дела, при прорачуну конструкције на основу дејства снега, мора се приступити са посебном пажњом.

У тексту испод су приказане две формуле које помажу у прорачуну дејства снега на кров, у две ситуације, у сталним односно пролазним прорачунским ситуацијама и у инцидентним ситуацијама:

$$s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k \dots\dots (6)$$



Слика 15 - Карта снега наше земље [7]

- μ_i – коефицијент облика оптерећења од снега
- c_e – коефицијент изложености
- c_t – термички коефицијент
- s_k – карактеристична вредност оптерећења снега на тло

код инцидентних прорачунских ситуација, услед снежних наноса:

$$s = \mu_i \cdot s_k \dots\dots (7)$$

Као нека последња битна информација о дејству снега, дата је табела са тежинама снега у зависности од типа снега, и то:

Табела 3 - Тежина снега у зависности од врсте снега [1]

врста снега	запреминска тежина [kN/m ²]
свеж	1
слегнут - неколико сати или дана након падања	2
стар - неколико недеља или месеци након падања	2,5 - 3,5
влажан	4

3.1.4 Оптерећење ветром

Ветар представља турбулентно кретање ваздушног флуида, а сам утицај ветра на конструкцију се карактерише као притисак, сишуће дејство и вртложно дејство. Конструкције, у односу на то како се супротстављају ветру, могу бити **витке** и **круте**. У овом делу ће бити приказане и формуле за основни притисак ветра, за основну брзину ветра, за густину ваздуха и слично.

Основни притисак ветра се рачуна према изразу:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \dots\dots (8)$$

Где су величине:

- ρ – густина ваздуха - $\frac{kg}{m^3}$
- v_b – основна брзина ветра - $\frac{m}{s}$

Према Еврокод стандарду, за густину ваздуха се препоручује вредност $\rho = 1,25 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ и уколико се у горњу једначину замени ова вредност, добије се израз:

$$q_b = \frac{v_b^2}{1600} \dots\dots (9)$$

У зависности од надморске висине места, зависи и фундаментална вредност основне брзина ветра, чија је вредност дата у табели испод.

Табела 4 – Фундаментална вредност основне брзине ветра [3]

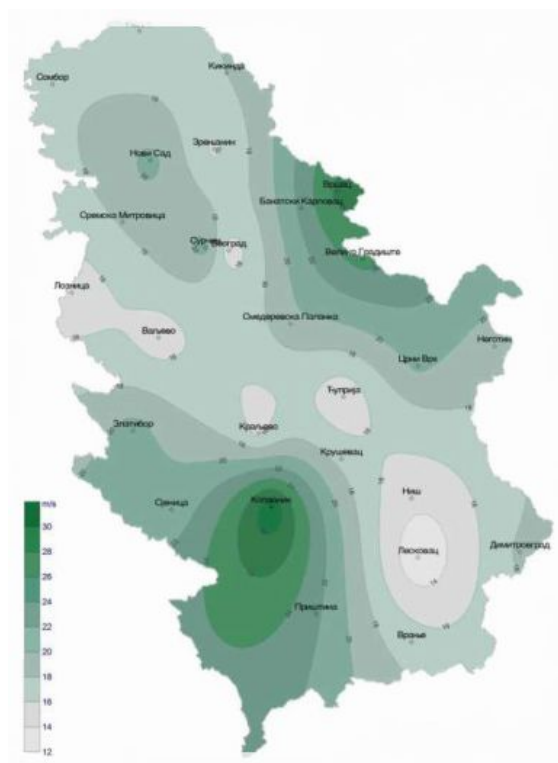
Место	Надморска висина	Vb,o [m/s]
Београд	132	19
Ваљево	174	19
Врање	433	19
Зајечар	137	19
Крагујевац	190	16
Сомбор	87	26

Брзина и притисак ветра се према Еврокоду састоје се из средње и флукутирајуће компоненте. Средња брзина ветра се одређује на основу основне брзине ветра која зависи од ветровитости подручја и промене ветра по висини која се одређује на основу храпавости и топографије терена. Основна брзина ветра се израчунава из израза:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \dots (10)$$

Где су:

- v_b – основна брзина ветра
- $v_{b,0}$ – фундаментална вредност основне брзине ветра
- c_{dir} – коефицијент правца, усваја се $c_{dir} = 1$
- c_{season} – коефицијент сезонског деловања, препоручена вредност $c_{season} = 1$



Слика 16 - Карта ветра наше земље [7]

Средња брзина ветра на висини "z" изнад терена се рачуна из обрасца:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \dots (11)$$

Где величине у изразу представљају:

- $c_r(z)$ – коефицијент храпавости
- $c_o(z)$ – коефицијент топографије

Коефицијент храпавости зависи од категорије терена и одређује се помоћу израза:

$$c_{r(z)} = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_o}\right) \dots (12)$$

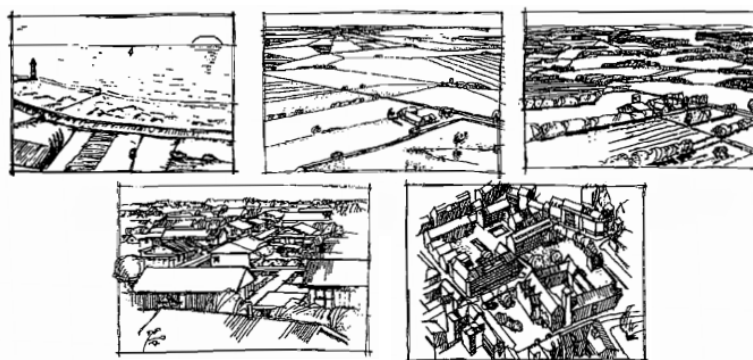
Где је k_r коефицијент терена, константна је вредност и узима се из таблице, а може се израчунати из израза:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_o}{0,05} \right)^{0,07} \dots (13)$$

Табела 5 - Коефицијенти који се користе при прорачуну дејства ветра [3]

	Категорија терена	Z_o	Z_{min}	k_r	$C_r (Z_{min})$
		(m)	(m)		
0	мора или обална подручја изложена отвореном мору	0,003	1	0,156	0,906
I	језера, равничарске површине без препрека и много вегетације	0,01	1	0,17	0,782
II	површине са ниском вегетацијом	0,05	2	0,19	0,701
III	површине равномерно покривене вегетацијом или зградама са изолованим препрекама	0,3	5	0,215	0,606
IV	површине на којима је бар 15% покривено зградама	1	10	0,234	0,54

Коефицијент топографије терена зависи од рељефа на којем се изводи објекат. Када је просечан нагиб наветрене стране терена испред објекта мањи од 3° може се сматрати да топографија терена не утиче на повећање брзине ветра па се усваја вредност једнака јединици.



Слика 17 - Категорије терена [3]

3.1.5 Температурни утицаји – термички утицаји

Овај утицај који делује на конструкцију добија свој пуни значај тек када се сагледа температурна разлика ваздуха између зимског и летњег периода. Такође, утицај температуре је и значајан у самом тренутку монтаже, док у периоду експлоатације су угрожени само делови који су под директним утицајем спољашњег ваздуха.

На ове утицаје се не обраћа детаљна пажња, али уколико на пример код пројектовања зграде, постоји могућност нарушавања граничних стања носивости и употребљивости, тада се ови утицаји узимају са већом пажњом.

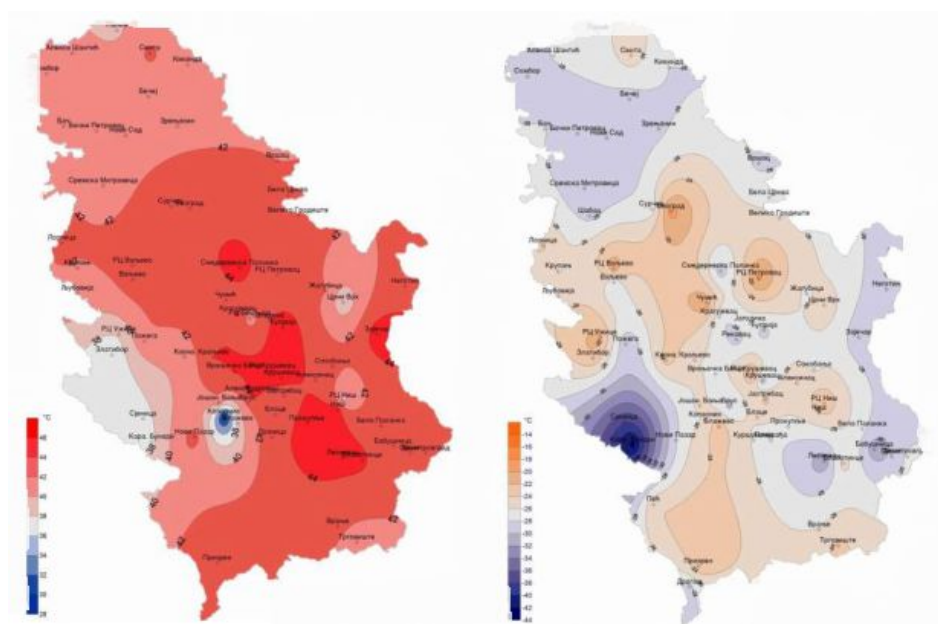
У зависности од тога колика је температура, материјали поседују различите коефицијенте линеарне термичке дилатације, који су дати у табели.

Табела 6 – Коефицијенти линеарне термичке дилатације [3]

Материјал	$\alpha_T [10^{-6}/^{\circ}\text{C}]$
Нерђајући челик	16
Al и његове легуре	24
Конструкцијски челик, ливено и ковано гвожђе	12
Дрво - управно на влакна	30 ÷ 70
Дрво - у правцу влакана	5

Температурне промене изазивају померања односно деформације, а ако су та померања на неки начин спречена, тада се у конструкцији јављају напрезања. Из овог разлога се термичка дејства третирају као променљива – индиректна дејства и треба их веома добро анализирати.

На слици испод се могу видети расподеле температура, минималних и максималних, према регионима наше земље.



Слика 18 - Температурна карта наше земље[7]

3.1.6 Оптерећење дизалицама

Присуство мосне дизалице у халама великих димензија је неизбежно. У халама мањих димензија, могу постојати мање дизалице јер се претпоставља да у халама мањих димензија неће имати потребе за инсталацијом мосне дизалице.

Конкретно, у хали која је пројектована у овом раду мосна дизалица не постоји, из разлога што је хала намењена да буде нека врста радионице у којој ће се обављати најчешће браварски радови.

Оптерећење од дизалице спада у променљива динамичка оптерећења јер дизалица се креће по носачима који се налазе по страни хале, односно крећу се по кранским стазама. Ти носачи могу бити од различитих профила.

Баш из разлога што мосна дизалица спада у променљива динамичка оптерећења, усваја се и динамички коефицијент, који се означава са грчким словом ϕ и налази се у опсегу $1,0 \div 1,6$.

Наравно, рад мосне дизалице није увек уједначен па тако се и из тог разлога усваја коефицијент $l = 1,1 \div 1,3$.

Када се прорачунавају носачи кранова – односно кранске стазе, узимају се следећа оптерећења:

- Вертикално оптерећење од точкова крана – помножено са динамичким коефицијентом и ово оптерећење се сматра основним,
- Хоризонтално оптерећење – она су управна на кранску стазу (бочни удари),
- Хоризонтално оптерећење – паралелна кранској стази (силе кочења).



Слика 19 – Мосна дизалица у хали [8]

3.1.7 Сеизмичка оптерећења

На појединим деловима планете Земље, подрхтавање тла је веома често и ту се мора велика пажња усмерити на решавање проблема око граничног стања носивости. Разлог је тај што се Земљина кора састоји из неколико великих тектонских плоча (пацифичка, евроазијска, филипинска, афричка, антарктичка, северно – америчка, јужно – америчка и аустралијска).

Место у Земљиној кори или омотачу језгра на којем настаје земљотрес се назива **жариште** или **хипоцентар**. Када се та тачка вертикално пројектује на површину земље, то се назива **епицентар** земљотреса.

Вертикално растојање између жаришта и епицентра се назива **дубина жаришта**.

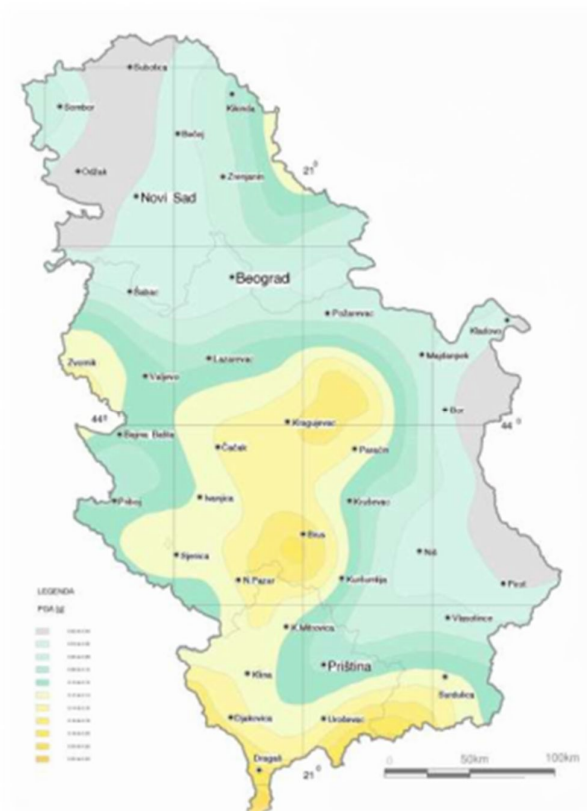
Земљотрес представља, као што пише изнад, осциловање делова тла изазвано природним или вештачким узроцима. На тај начин се ослобађа унутрашња енергија Земље.

Што се тиче конкретно наше земље, она се налази у области умерене сеизмичке активности са магнитудама од 5,7 – 5,9 степени Рихтерове скале, односно по Меркалијевој скали је то 8 степени.

Када на објекат делује сеизмичко оптерећење, он се супротставља инерцијалним силама. Према правилнику о техничким нормативима, укупна сеизмичка сила, у две међусобно ортогоналне равни се рачуна према изразу:

$$S = K \cdot G \dots (14)$$

- K – укупни сеизмички коефицијент, који се рачуна $K = K_o \cdot K_s \cdot K_d \cdot K_p \geq 0,02$
- K_o – коефицијент категорије објекта $0,75 \div 1,5$
- K_s – коефицијент сеизмичког интензитета $0,025 \div 0,1$
- K_d – коефицијент динамичности $0,33 \div 1$
- K_p – коефицијент дуктилности и пригушења, максималне вредности 2.
- G – укупна тежина објекта и опреме која се налази изнад темеља или подрума, 50% корисног оптерећења и оптерећење снегом. Оптерећење кранова се не узима.



Слика 20 – Карта прорачунског убрзања тла [7]

3.1.8 Оптерећење од експлозије, пожара – инцидентна оптерећења

Као што сам наслов каже, ова оптерећења су инцидентна јер се не могу претпоставити ни на један начин. Експлозије су појаве са веома брзим процесом сагоревања, услед тога се ваздух нагло шири и ствара ударни талас услед чега долази до оштећења или рушења објекта.

Индустријски објекти, а нарочито складишта су места потенцијалне опасности од експлозија и пожара.



Слика 21 – Пожар захватио складиште у Ријеци [9]

4. Принципи пројектовања хала

У досадашњем тексту је дат осврт на опште информације које се односе на дејства на конструкцију, методе прорачуна и слично. У овом делу, конкретно су дати одређени принципи који се поштују у процесу пројектовања хале.

За почетак се морају добро дефинисати сви параметри који утичу на диспозицију носеће челичне конструкције. На даље се разрађује концептуално решење објекта, затим идејни пројекат, па потом и главни пројекат који је важан јер у зависности од његовог квалитета, објекат добија дозволу за градњу или не. Уколико се дозвола одобри, на крају се израђује извођачки пројекат. [10]

Ставке које спадају у параметре који су напоменути горе у тексту су:

- У зависности од намене објекта се дефинише и технолошки пројекат,
- Дефинисање начина транспорта унутар објекта, односно хале (мосна дизалица, дизалице на једном носачу, порталне или конзолне дизалице, транспортери, виљушкари и слично),
- Уколико се обраћа детаљна пажња и на сеизмичка дејства, прикупљају се подаци о носивости тла и утицају сеизмичких сила,
- Узети у обзир и могућа проширивања хале,
- Обратити пажњу и на инсталације које ће се налазити у објекту (електроинсталације, машинске, водоводне и канализационе инсталације),
- Обратити пажњу на рокове и динамику извођења конструкције,
- Држати се уско националних и Еврокод стандарда.

Када се сви наведени параметри провере и анализирају, следећи корак је израда диспозиционог решења хале као и израда грубих прорачуна да би се дошло до неких приближних димензија хале односно до њених габарита. Диспозиција се најчешће израђује у размери 1:100 и садржи све потребне елементе као што су основе, пресеци и изгледи.

Такође, при самом пројектовању хала, мора се уско сарађивати са свим лицима која имају удела у самом пројектовању, као на пример са технолозима, разним инсталатерима, архитектама па на крају и са радницима односно монтерима.

Наравно, након овога се мора обратити пажња и на дејства која делују на конструкцију, која су напоменута већ у раду.

Главни пројекат мора да садржи све диспозиције хале, као и јасна образложења зашто се инжењер одлучио баш за такав изглед конструкције.

Пројектант или инжењер мора извршити проверу статичких утицаја за све фазе израде и монтаже челичне конструкције.

Последњи корак при избору најоптималнијег решења одређеног објекта је да се израђују варијантна решења па се затим усваја најповољније решење са аспекта цене коштања, утрошеног материјала, услова носивости и употребљивости и слично.

Најчешће број варијантних решења је 3. Разлог је тај што уколико има више решења, запослени ће утрошити много више времена, а са друге стране ни једно решење неће бити детаљно испитано. Уколико ипак постоји мање од 3 решења, то је недовољно јер са 3 решења, запослени се могу довољно концентрисати и изабрати оно право решење.

5. Пример пројектовања хале помоћу софтвера *”Robot structural analysis”*

Постоји мноштво софтвера који помажу при пројектовању конструкција, али пројектовање хале у овом раду је помогао софтвер *”Robot structural analysis.”*

Разлог због ког је хала пројектована у овом програму је тај јер сналажење у овом софтверу није компликовано, али пре тога се мора имати одређено пред знање у виду начина веза елемената, у виду дејства снега, ветра, сеизмике и слично.

Сва теорија која је дата испред ове тачке је потребна како би се успешно пројектовала хала.

Изглед хале који је дат у раду је мењан неколико пута све док сви профили нису задовољили степен сигурности. Помоћ око изгледа хале и избора профила је била из одређених архива, слика са интернета, литературе као и помоћ менторке.

Профили и цеви који су се користили при пројектовању су **IPN 140, IPN 160, квадратне цеви 140x140x4, 100x80x3, 100x100x4, 40x40x3, TRON 30x2.5, TRON 33x4.** Наравно, нису сви профили и цеви коришћене, већ уколико неки профил или нека цев није задовољила проверу, користила се нека друга.

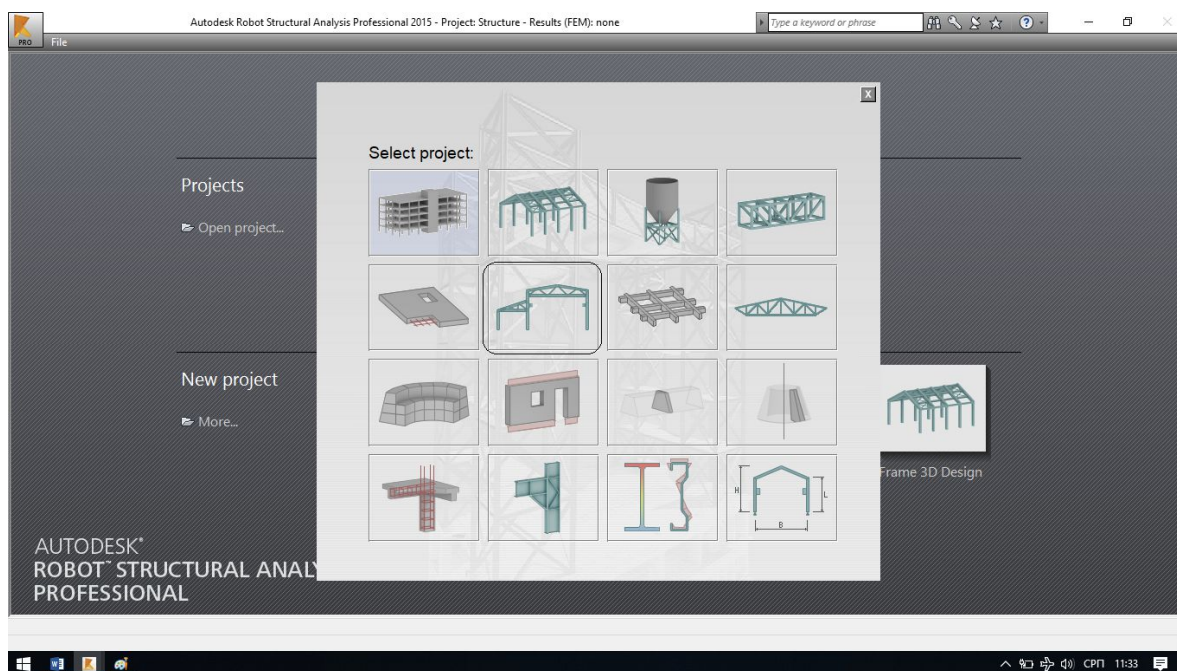
За главне стубове хале се усваја квадратна цев 140x140x4. За профиле који држе кров односно панеле прво се користе IPN 140, а након тога нешто већи IPN 160, јер прорачун првог профила није био задовољавајућ.

За спрегове са бочних страна се користе квадратне цеви 40x40x3, а за спрегове са горњих страна цеви TRON 30x2.5 односно TRON 33x4.

Хала се може користити као радионица у којој ће се обављати неке врсте радионичких радова, браварских послова, аутолимарија и сличних послова који не захтевају велики простор.

У прорачуну се није дефинисало дејство сеизмике јер је Република Србија на умереном подручју и не дешавају се често померања тектонских плоча.

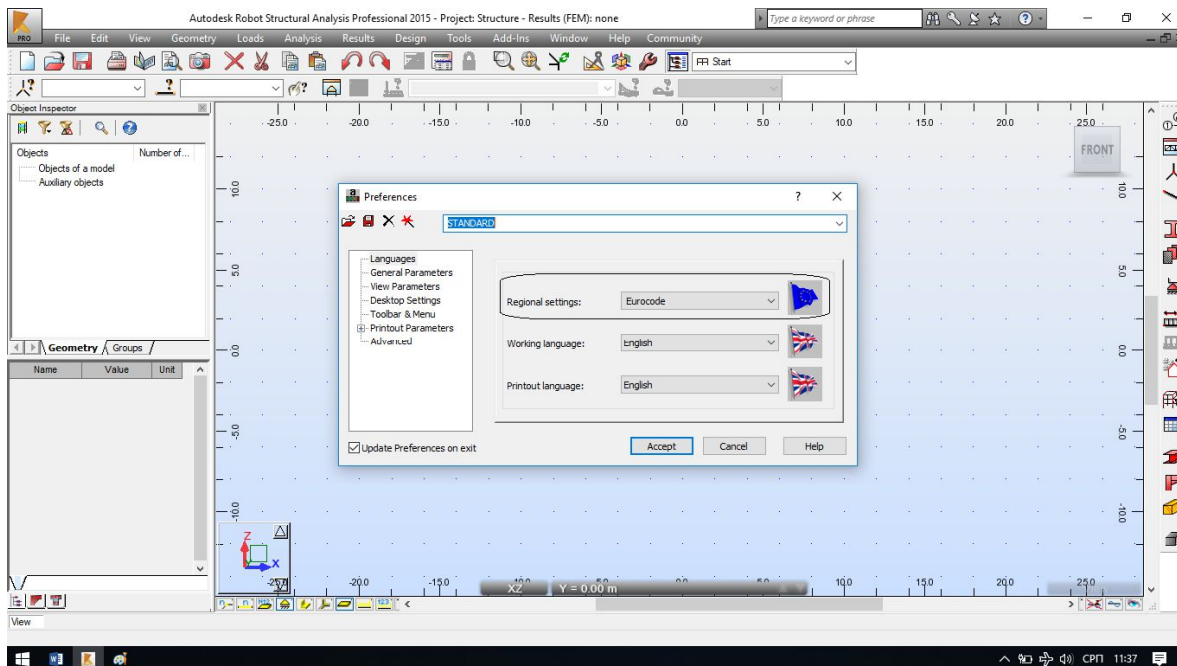
Такође, у софтверу није дата покривена хала, али се она веома лако може покрити панелима са свих страна.



Слика 22 – Почетна страна софтвера

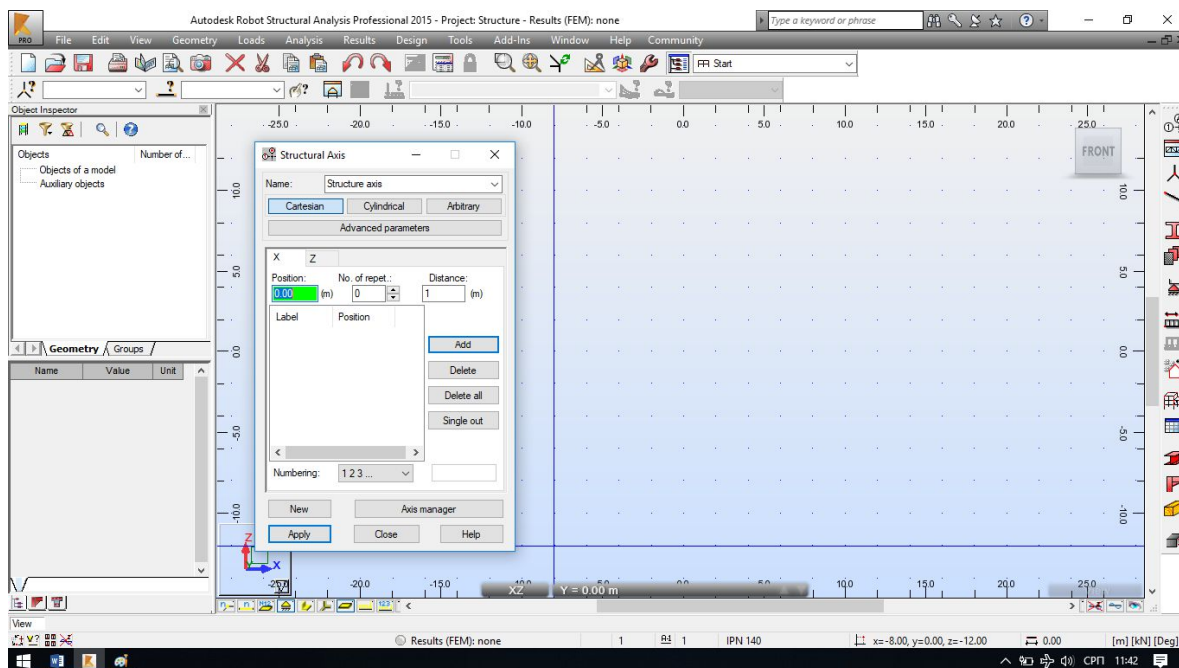
На слици изнад се може видети почетна страна софтвера. Види се да постоји много опција за конструисање различитих конструкција, од бетонских, преко зграда, решеткастих конструкција и слично. Селектује се дводимензионална конструкција која је заокружена на слици.

У подешавањима се при првом стартовању софтвера промене подешавања и поставе се на Еврокод стандарде, као на слици испод. Еврокод узима тада сва дејства на конструкцију као што су наведена у овом раду.



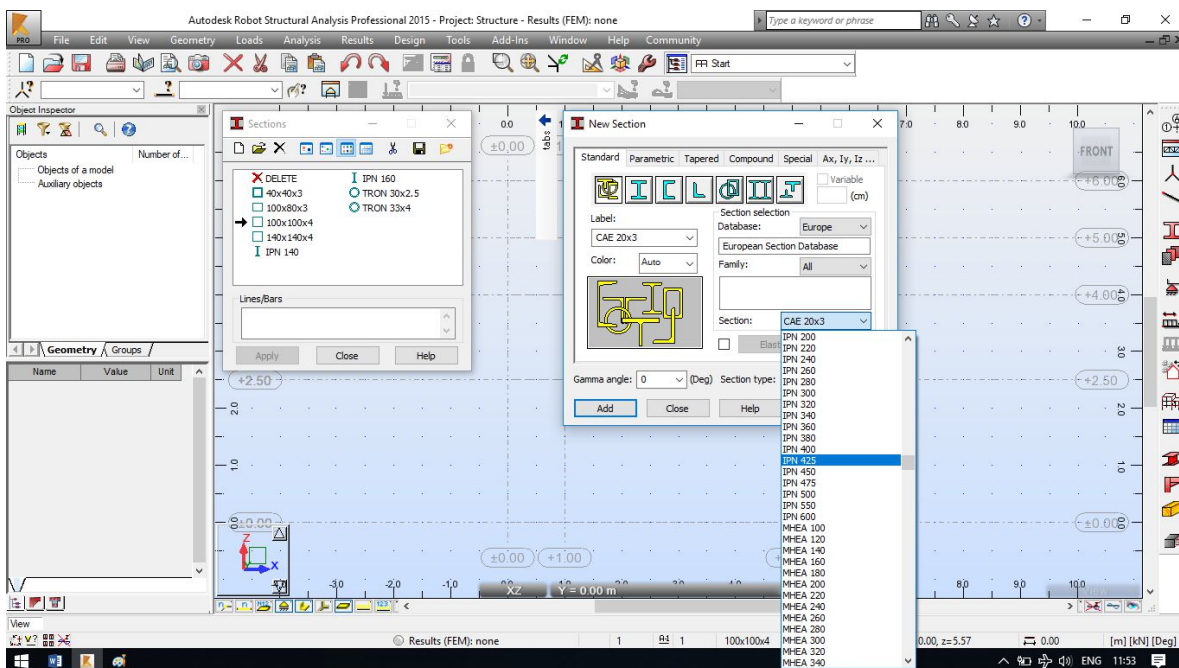
Слика 23 – Подешавање стандарда

Следећи корак је да се дефинишу осе ширина и висина хала. Конкретне димензије хале су ширина 6 метара, висина такође 6 метара и дужина 12 метара. Нагиб крова је приближно 9° . Поред ових габаритних димензија, у овом кораку се могу дефинисати и помоћне осе које ће касније помоћи при даљем додавању профила и цеви на халу.



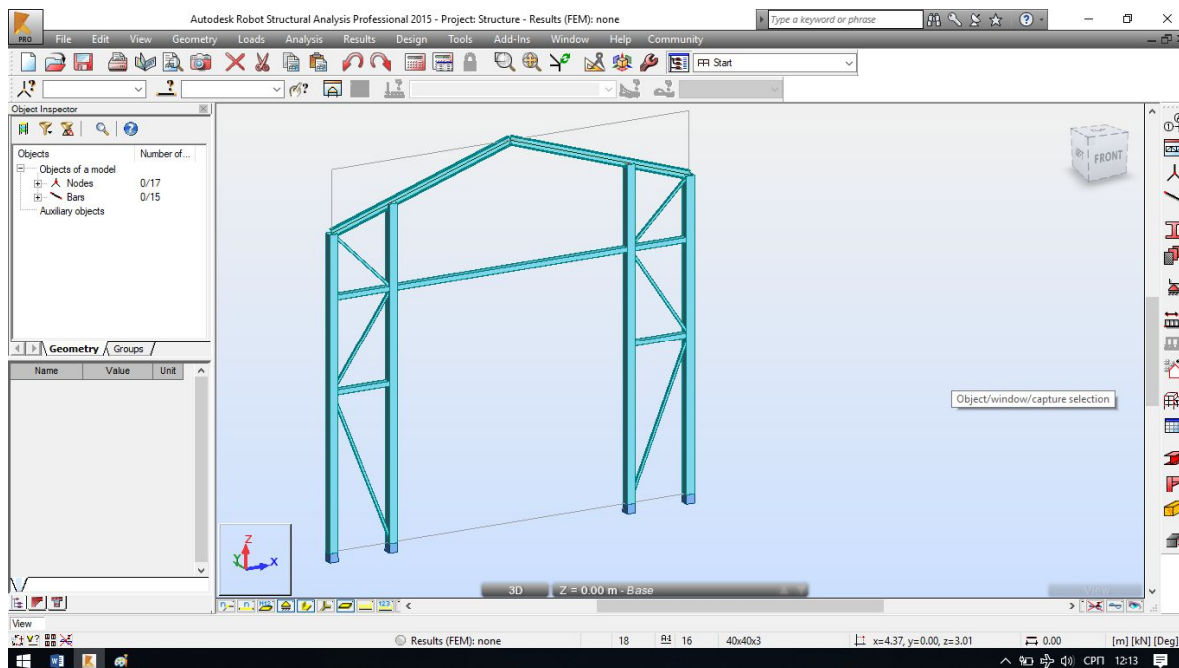
Слика 24 – Дефинисање димензија хале и помоћних оса

Када се дефинишу параметри на претходној слици, следи дефинисање профила и цеви који ће се користити при изради хале. Постоји веома много профила и цеви који се могу користити, што значи да је и каталог софтвера веома разноврстан.



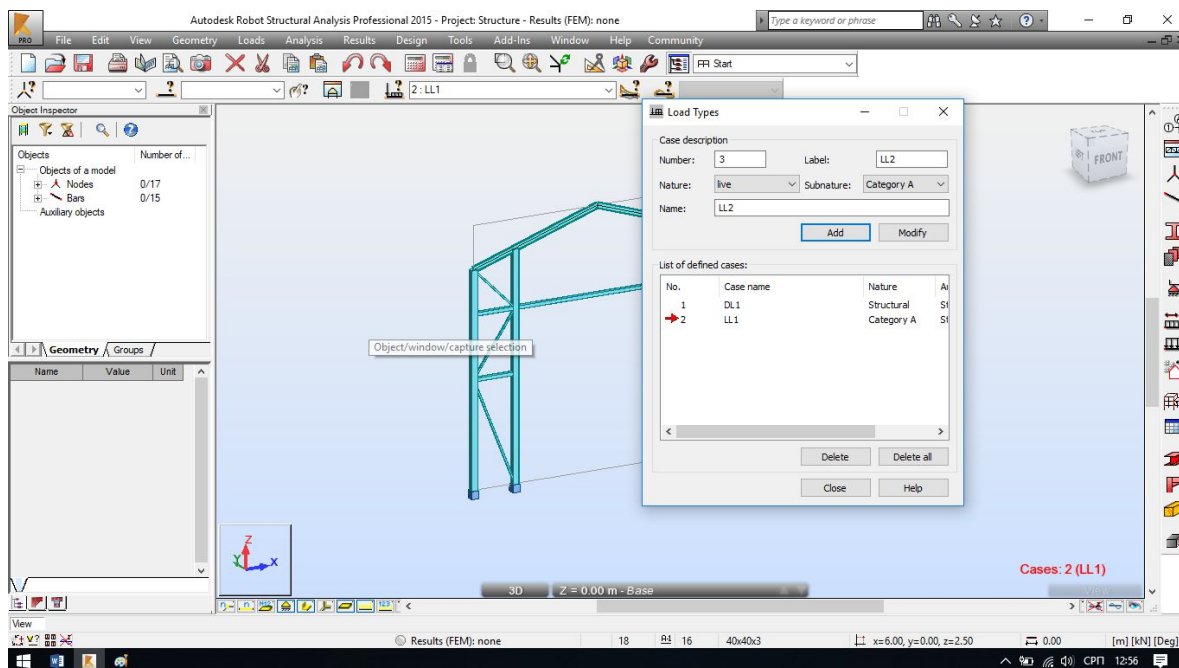
Слика 25 – Дефинисање профила и цеви

Следећи корак је да се конструише предње платно хале. Касније се та предња страна хале умножава онолико пута колико хала има поља.



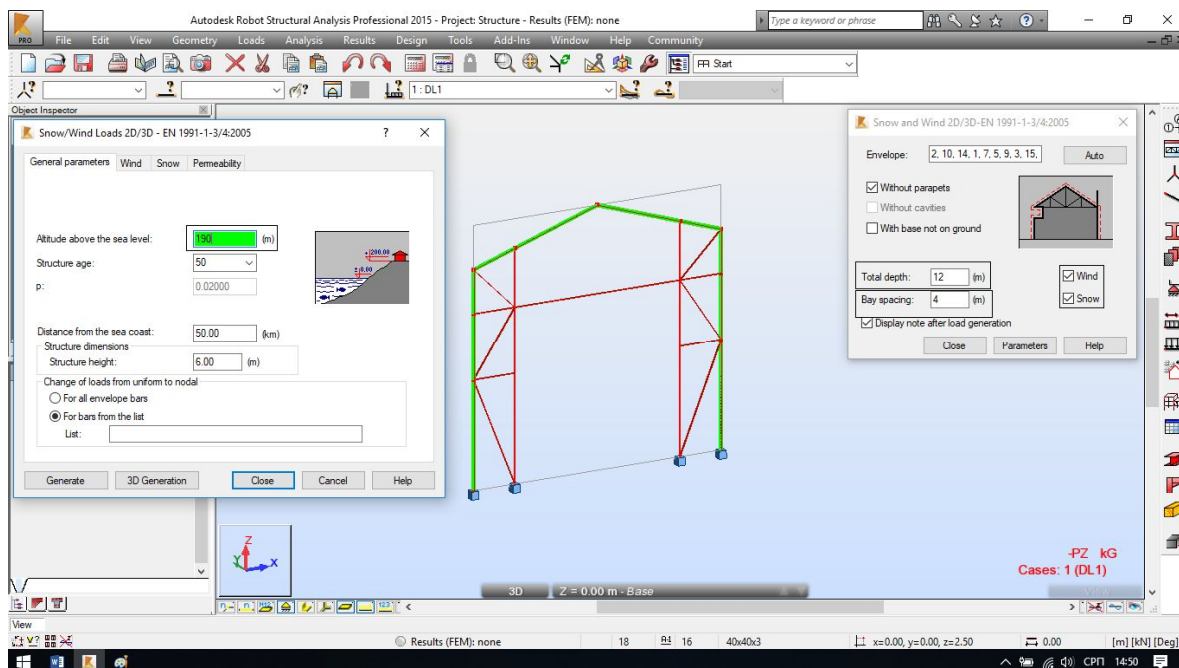
Слика 26 – Конструкција предњег платна хале

Наредни корак је да се додају и оптерећења на конструкцију у виду сталних и корисних. Софтвер та оптерећења препознаје као "Dead and live loads."



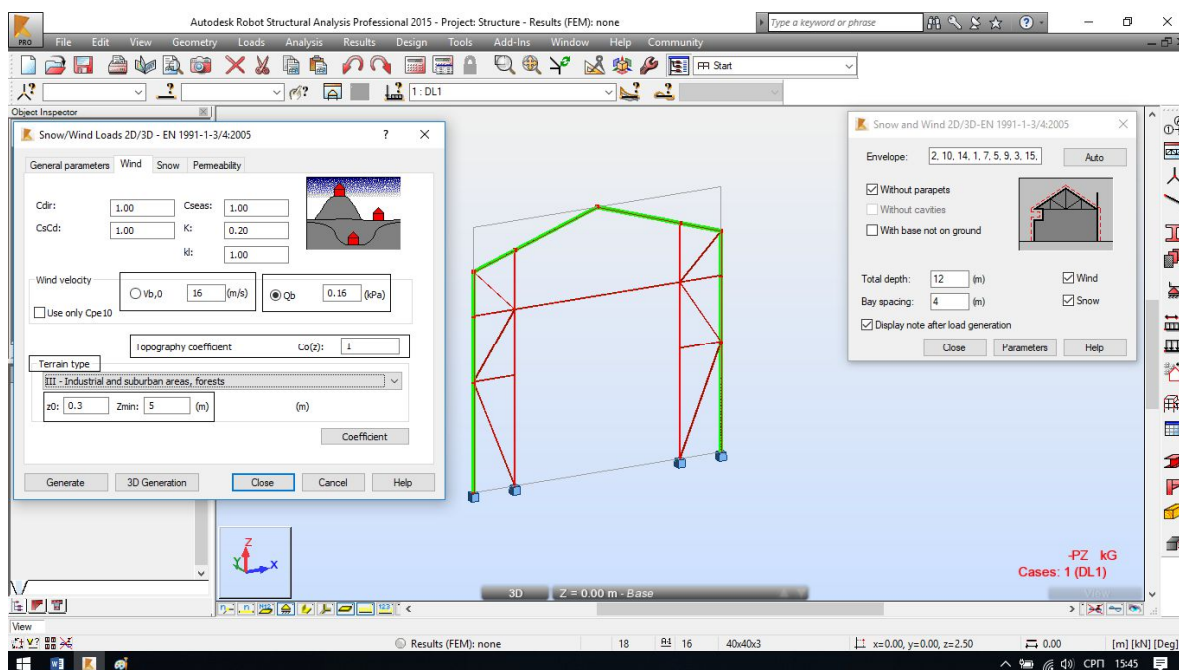
Слика 27 – Додавање сталних и корисних оптерећења

Након овог корака, следећи је да се приступи додавању оптерећења ветра и снега. Што се тиче вредности које се усвајају за одређене параметре код овог дела прорачуна, они су поменути у досадашњим деловима рада, а то су надморска висина места где се хала поставља, основна брзина ветра, оптерећење снегом, категорија терена и слично.



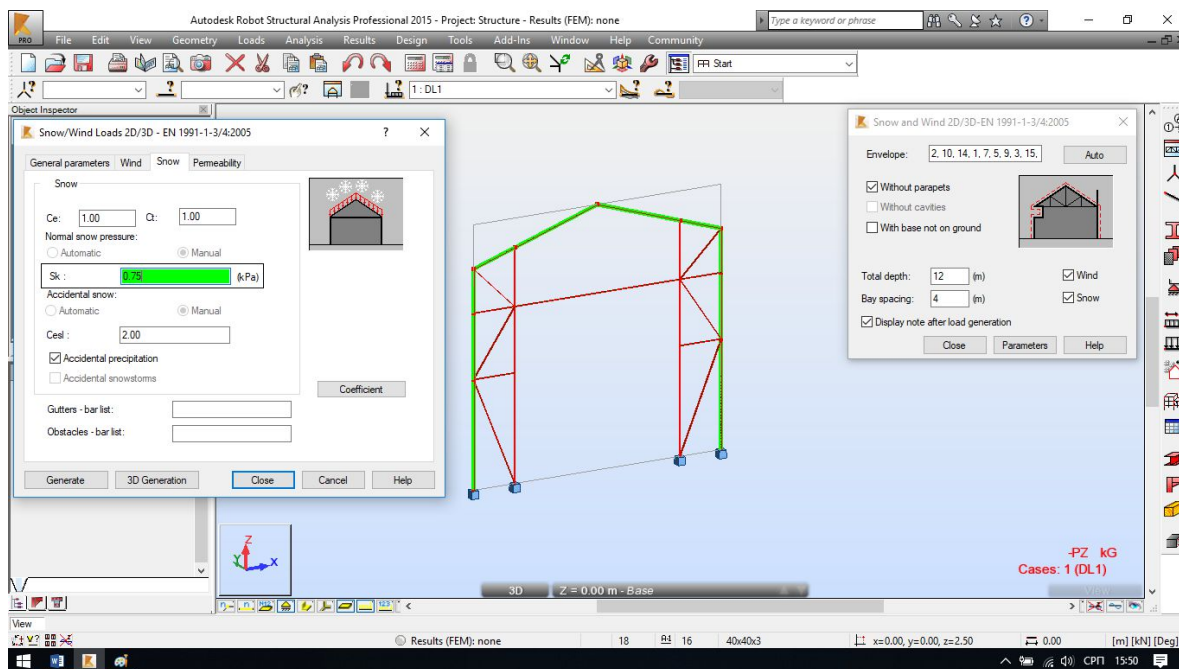
Слика 28– Унос вредности за надморску висину, дужину хале и ширину поља хале

Након уноса вредности за параметре са горње слике, прелази се на следећу картицу и уносе се вредности за дејство ветра као што су основна брзина ветра, притисак ветра, коефицијент топографије терена, категорија терена и слично.



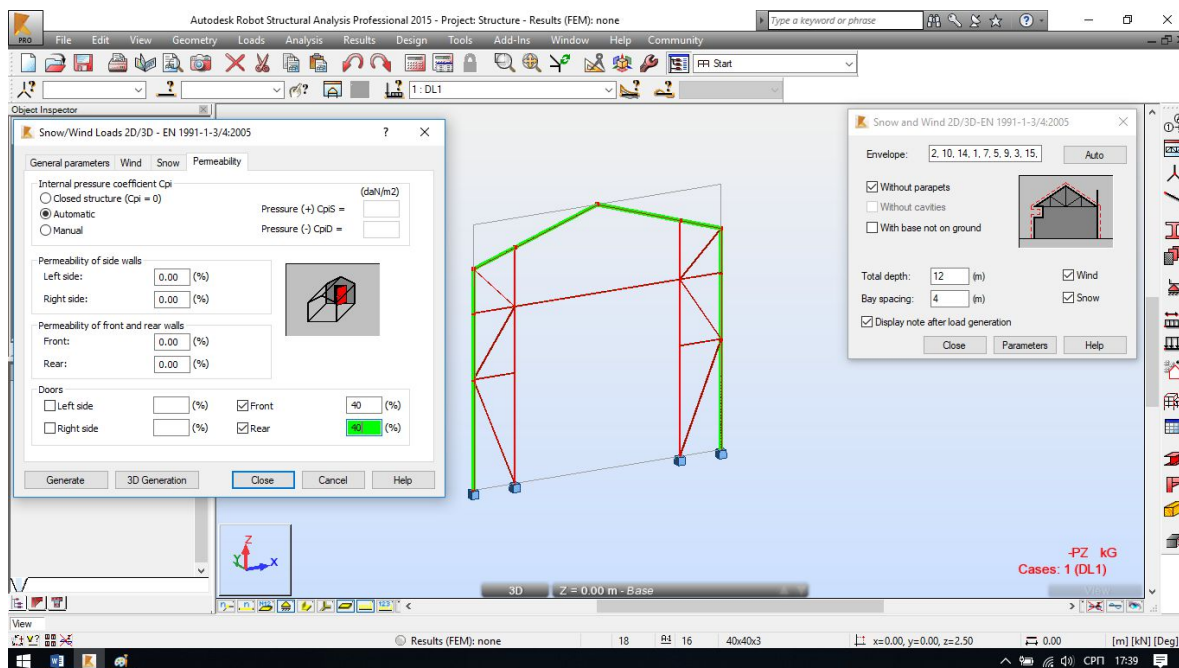
Слика 29 – Унос вредности параметра за оптерећење ветром

Након подешавања параметара за оптерећење ветром, приступа се подешавању вредности за оптерећење снегом. У овој картици не постоји много опција, па се само мења заокружена вредност притиска снега на кров, и она зависи од нагиба крова.



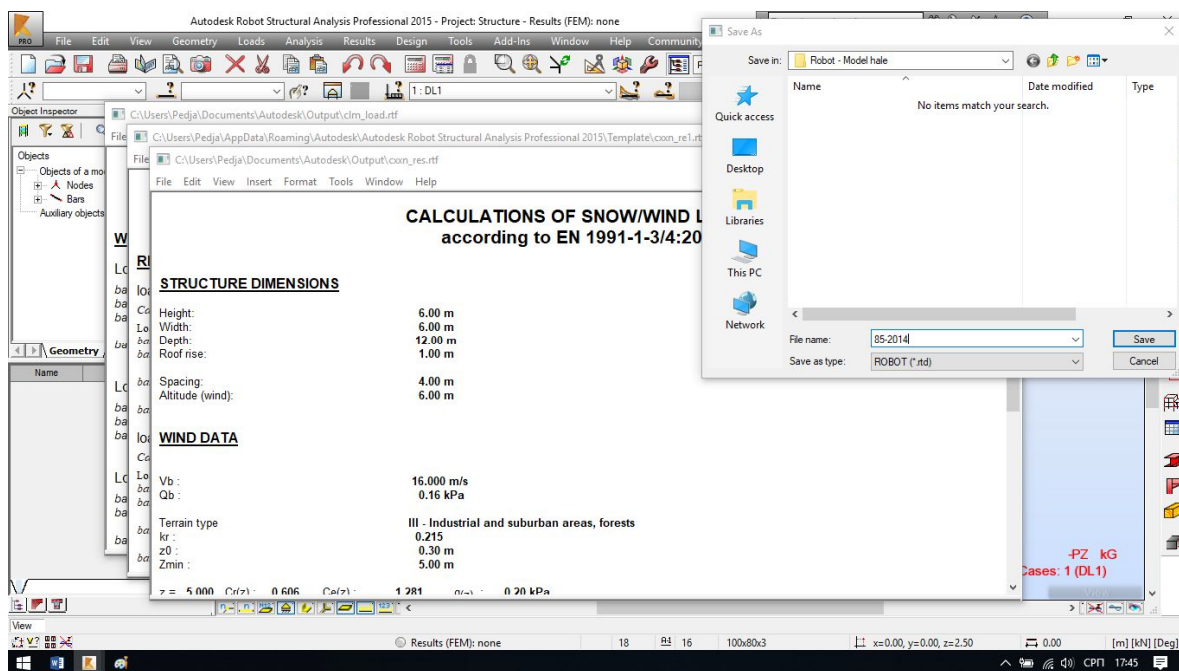
Слика 30 - Унос вредности за оптерећење снегом

У оквиру овог дела, последње подешавање је везано за отворе на хали, односно највише на врата. Пошто ова хала има врата и са предње и са задње стране, онда у делу за врата, уписујемо процентуални отвор врата, односно колико процената целокупне предње и задње стране је покривено вратима.



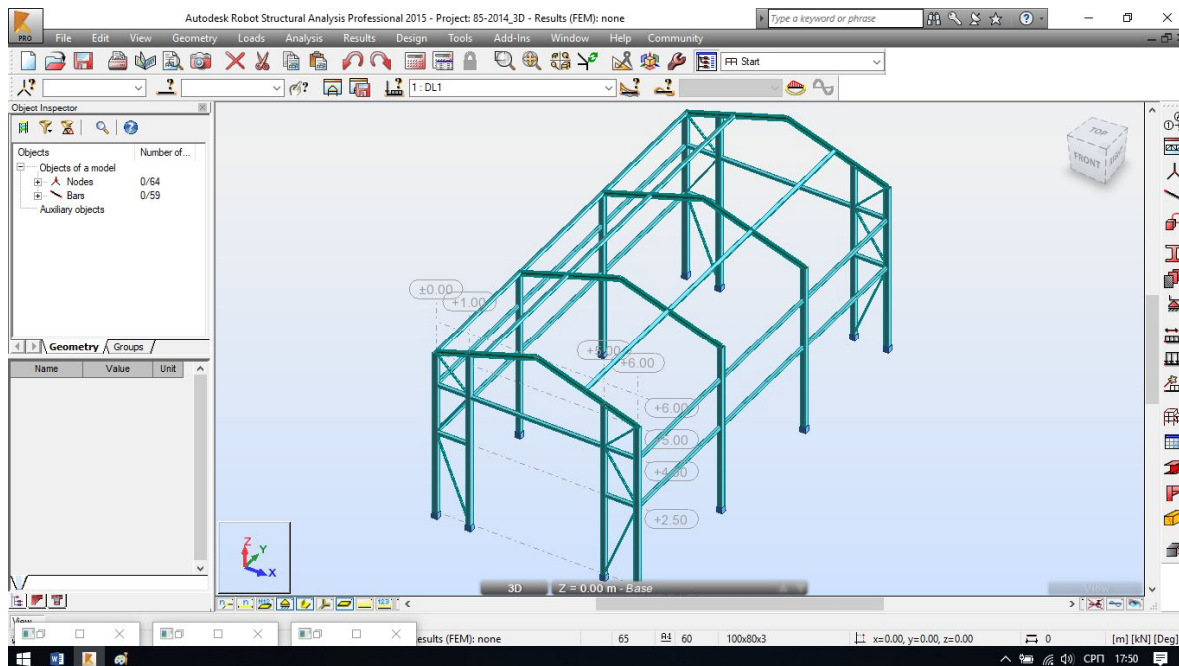
Слика 31 – Унос података о отворима на хали

Након претходног корака, прихватамо све параметре и притиском на тастер "3D Generation" формирамо тродимензионални изглед хале. Пре самог приказа, приказаће се и четири прозора, од којих један приказује где се чува пројекат, а остала три су подаци о хали и резултати прорачуна ветра и снега према Еврокоду.



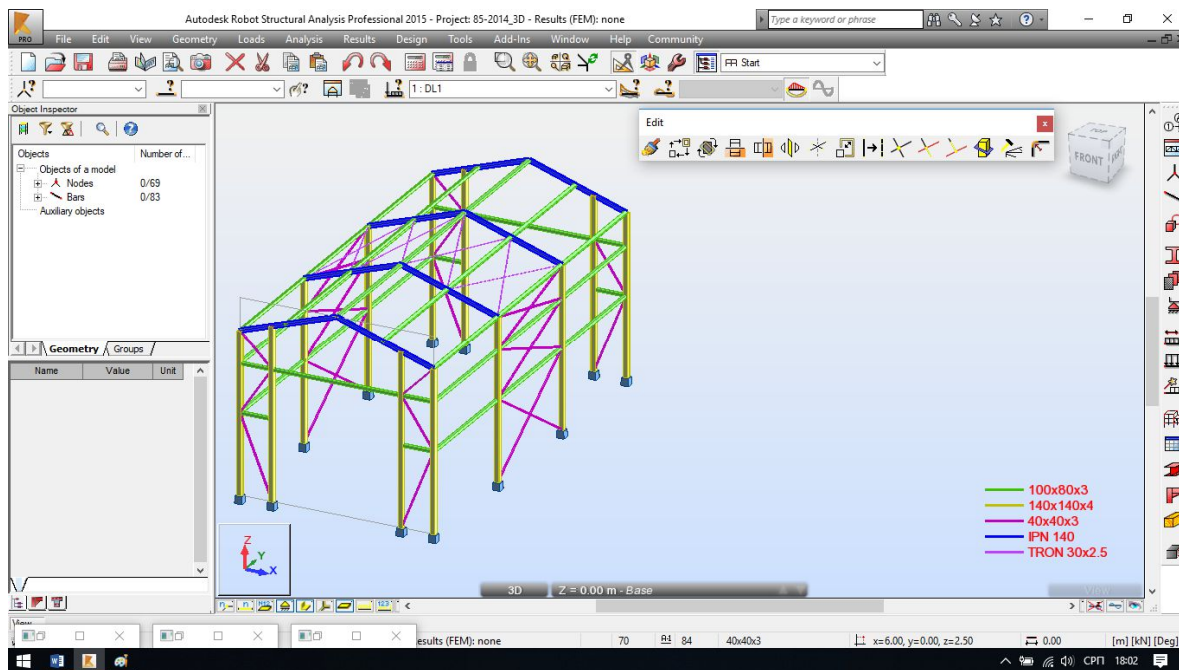
Слика 32 – Чување пројекта, резултати прорачуна и 3D изглед хале

Следећа слика приказује изглед хале који није коначан јер се на њу морају додати и спрегови на крову и бочним странама.



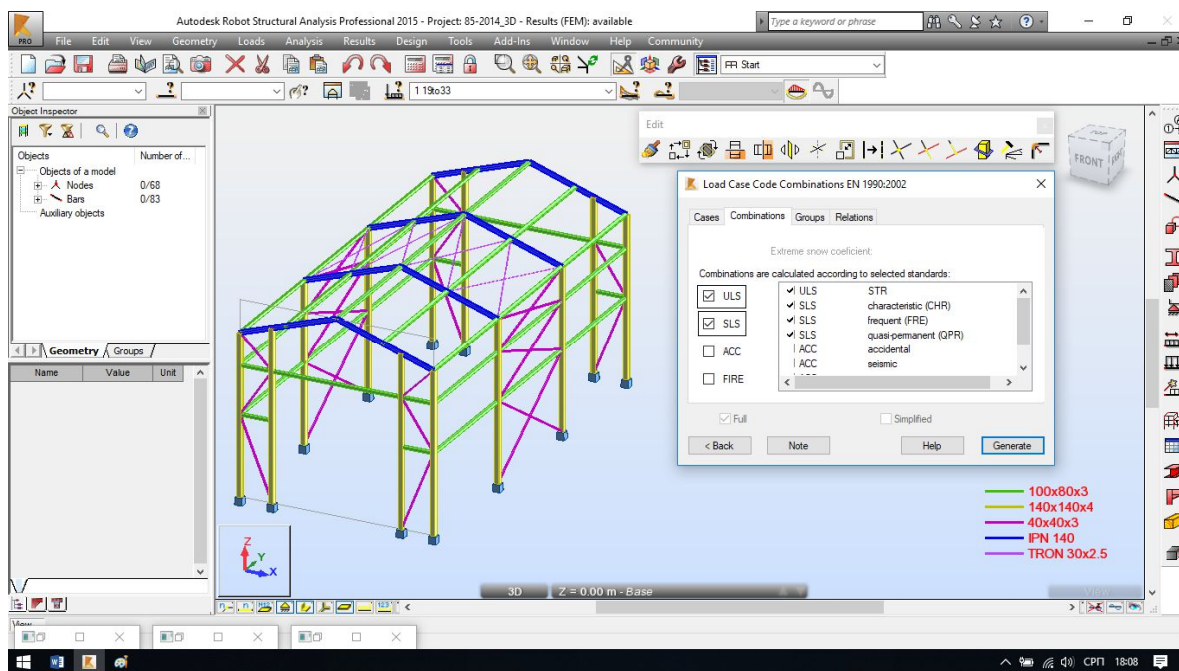
Слика 33 – Изглед хале без бочних и горњих спрегова

Након додавања спрегова на бочну и горњу страну, за изглед хале се може рећи да је коначан.



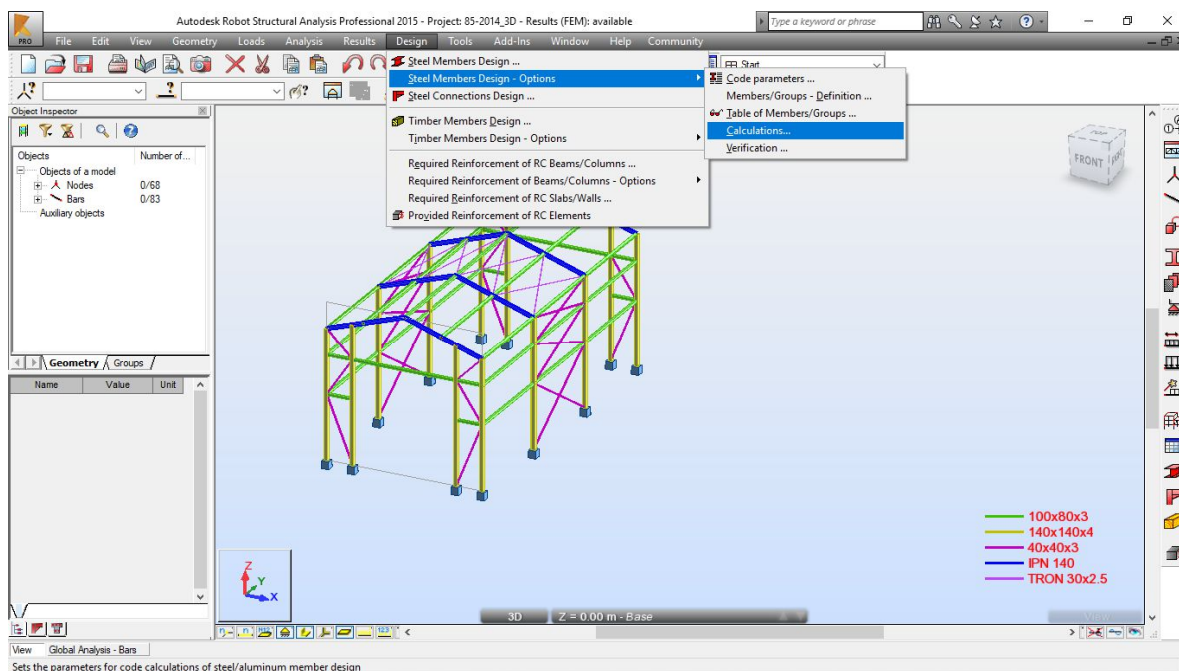
Слика 34 – Коначан изглед хале и приказ профила и цеви

Након овога се покреће провера да се види да ли има неких грешака, додаје се комбинација оптерећења "ULS & SLS." У овом делу се може захтевати и прорачун сеизмичких оптерећења, али као што је напоменуто, наша земља се налази у подручју малих и средњих померања тектонских плоча па се то оптерећење занемарује.

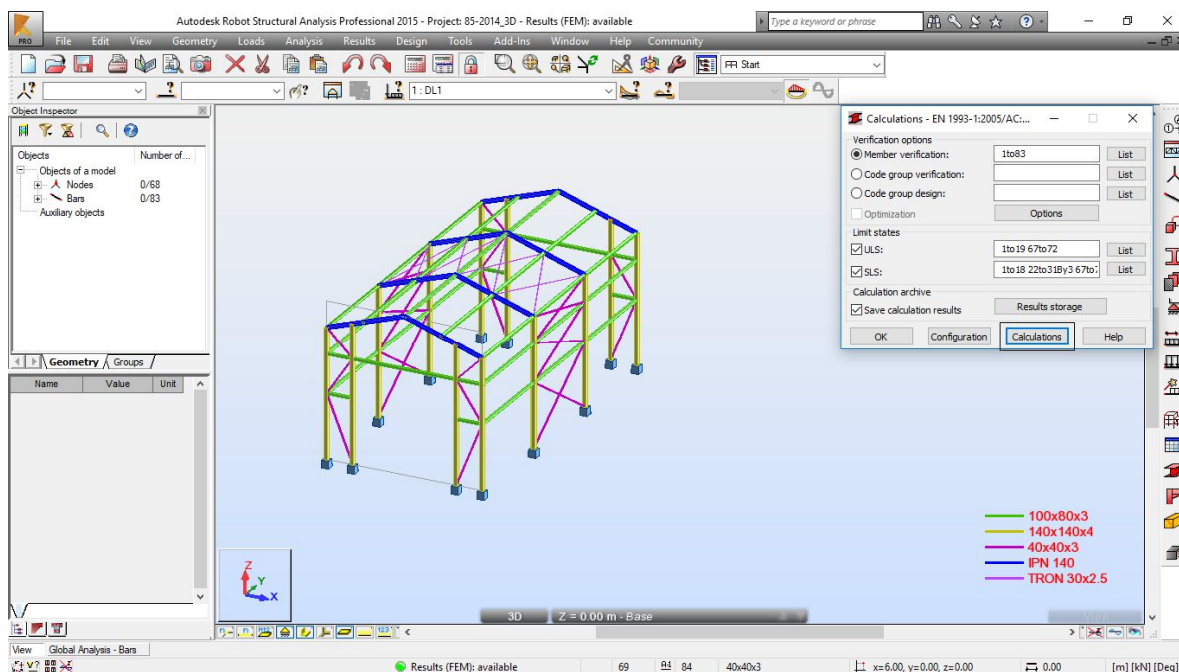


Слика 35 – Додавање комбинација оптерећења

На следећој слици се може видети на који се начин покреће прорачун. Када се прорачун покрене, он ће за одређено време проверити све профиле и цеви које улазе у састав конструкције и након тога се може видети и табела која говори који профили су задовољили прорачун, а који не.

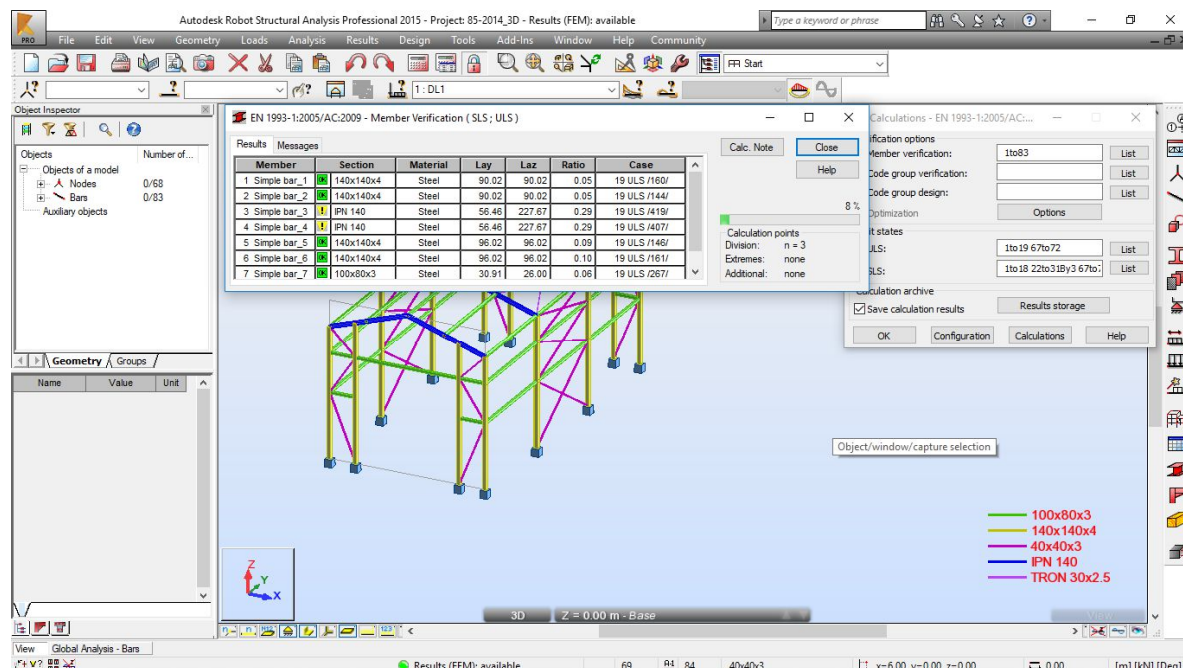


Слика 36 – Покретање прорачуна - анализе



Слика 37 – Подешавање параметара прорачуна и покретање

Следећи корак је да се сачека да софтвер заврши прорачун и на екрану се појави табела са профилима који јесу или нису задовољили прорачун.



Слика 38 – Табела профила са степенима сигурности

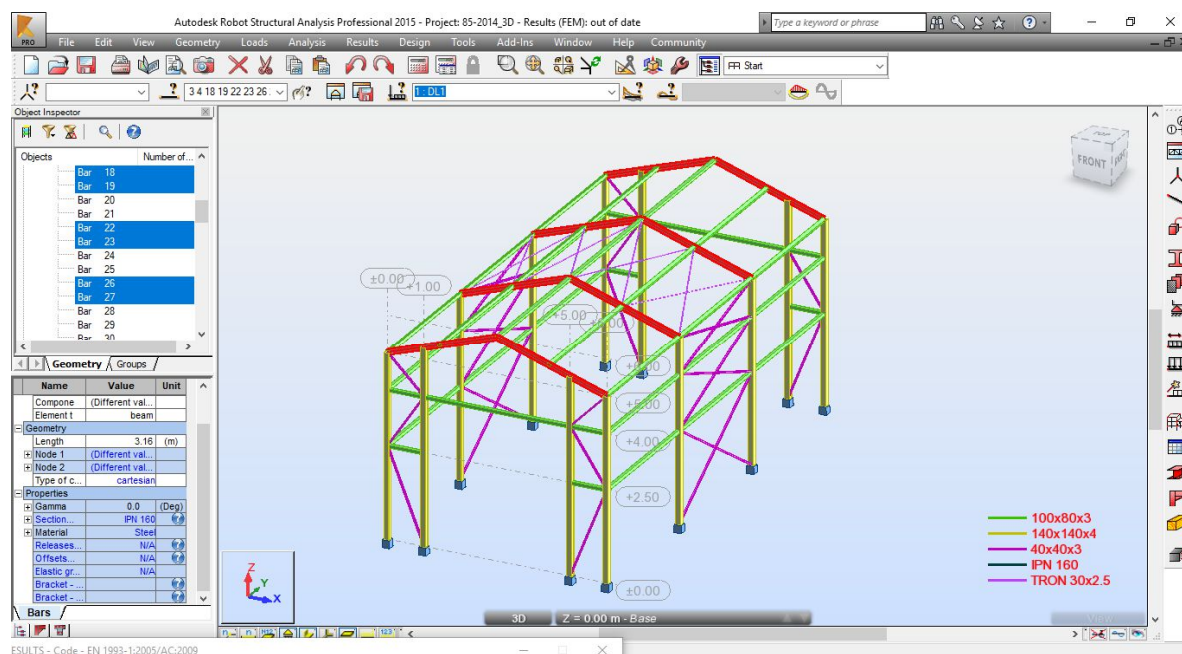
У табели постоје одређене поруке које софтвер избацује. Помоћу иконица разних боја софтвер такође показује који профили нису сигурно задовољили степен сигурности, профили који су задовољили степен сигурности и профили који су на граници степена сигурности.

EN 1993-1:2005/AC:2009 - Member Verification (SLS; ULS) 1to83

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
17 Simple bar_17	140x140x4	Steel	90.02	90.02	0.50	19 ULS /407/	-	-	-	-
18 Simple bar_18	IPN 140	Steel	56.46	227.67	0.63	19 ULS /419/	-	-	-	-
19 Simple bar_19	IPN 140	Steel	56.46	227.67	0.63	19 ULS /407/	-	-	-	-
20 Simple bar_20	140x140x4	Steel	90.02	90.02	0.50	19 ULS /419/	-	-	-	-
21 Simple bar_21	140x140x4	Steel	90.02	90.02	0.50	19 ULS /407/	-	-	-	-
22 Simple bar_22	IPN 140	Steel	56.46	227.67	0.63	19 ULS /419/	-	-	-	-
23 Simple bar_23	IPN 140	Steel	56.46	227.67	0.63	19 ULS /407/	-	-	-	-
24 Simple bar_24	140x140x4	Steel	90.02	90.02	0.05	19 ULS /160/	-	-	-	-
25 Simple bar_25	140x140x4	Steel	90.02	90.02	0.05	19 ULS /144/	-	-	-	-
26 Simple bar_26	IPN 140	Steel	56.46	227.67	0.29	19 ULS /419/	-	-	-	-
27 Simple bar_27	IPN 140	Steel	56.46	227.67	0.29	19 ULS /407/	-	-	-	-
28 Simple bar_28	140x140x4	Steel	96.02	96.02	0.09	19 ULS /146/	-	-	-	-
29 Simple bar_29	140x140x4	Steel	96.02	96.02	0.10	19 ULS /161/	-	-	-	-
30 Simple bar_30	100x80x3	Steel	30.91	26.00	0.06	19 ULS /267/	-	-	-	-
31 Simple bar_31	100x80x3	Steel	30.91	26.00	0.06	19 ULS /287/	-	-	-	-
32 Simple bar_32	100x80x3	Steel	185.48	155.98	0.08	19 ULS /139/	-	-	-	-
33 Simple bar_33	40x40x3	Steel	93.32	93.32	0.03	19 ULS /419/	-	-	-	-
34 Simple bar_34	40x40x3	Steel	118.96	118.96	0.09	19 ULS /168/	-	-	-	-
35 Simple bar_35	40x40x3	Steel	177.67	177.67	0.25	19 ULS /154/	-	-	-	-
36 Simple bar_36	40x40x3	Steel	177.67	177.67	0.26	19 ULS /168/	-	-	-	-
37 Simple bar_37	40x40x3	Steel	118.96	118.96	0.08	19 ULS /152/	-	-	-	-
38 Simple bar_38	40x40x3	Steel	93.32	93.32	0.03	19 ULS /407/	-	-	-	-
39	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /150/	0.04	1 DL1	0.34	5 Wind L/R pres. (+)
40	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /147/	0.04	22 SLS /6/	0.63	22 SLS /82/
41	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /169/	0.04	22 SLS /18/	0.34	22 SLS /95/
42	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /163/	0.04	22 SLS /102/	0.63	10 Wind L/R pres. (+)
43	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.30	70 Snow accidental	0.15	70 Snow accidental	0.62	70 Snow accidental
44	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.74	70 Snow accidental	0.47	70 Snow accidental	1.99	70 Snow accidental
45	100x80x3	Steel	123.66	103.99	1.09	71 Snow ACC II W	0.62	70 Snow accidental	2.62	71 Snow ACC II W
46	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /152/	0.04	22 SLS /102/	0.34	22 SLS /79/
47	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /152/	0.04	22 SLS /6/	0.63	6 Wind L/R pres. (+)
48	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /168/	0.04	22 SLS /7/	0.34	22 SLS /95/
49	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /168/	0.04	22 SLS /2/	0.63	22 SLS /99/
50	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.29	19 ULS /407/	0.15	70 Snow accidental	0.62	70 Snow accidental
51	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.74	70 Snow accidental	0.47	70 Snow accidental	1.99	70 Snow accidental
52	100x80x3	Steel	123.66	103.99	1.09	71 Snow ACC II W	0.62	70 Snow accidental	2.62	70 Snow accidental
53	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /150/	0.04	22 SLS /10/	0.34	22 SLS /80/
54	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /147/	0.04	22 SLS /16/	0.63	22 SLS /83/

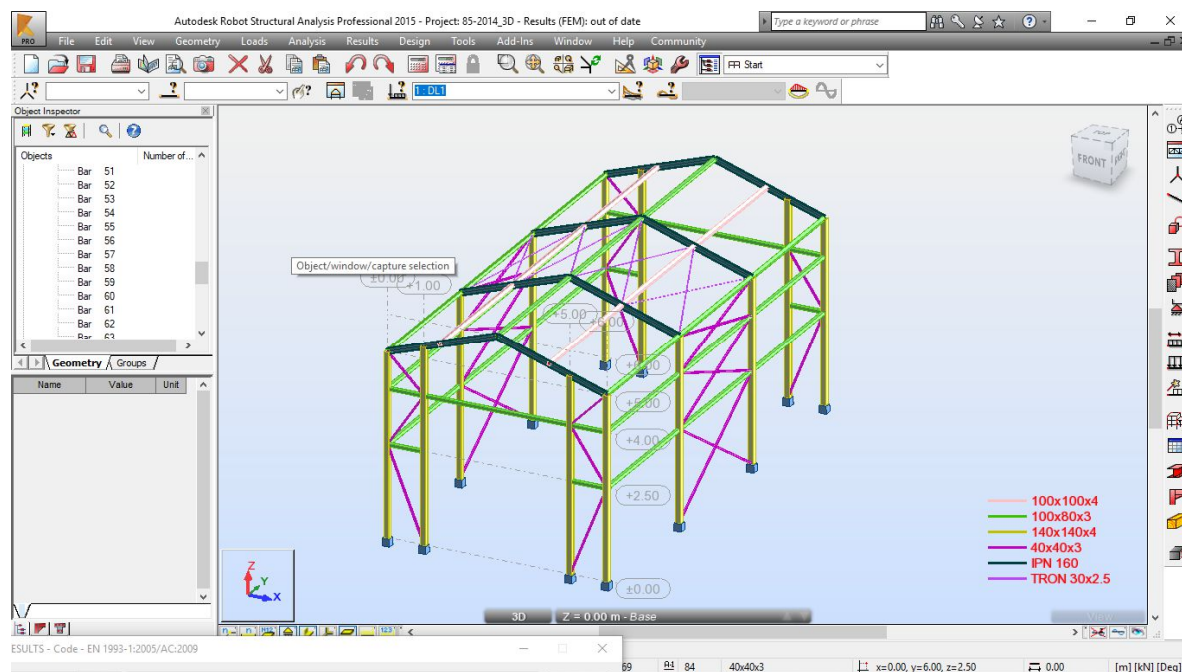
Слика 39 – Профили који се требају мењати

Из претходне слике се може закључити да профили који треба да се повећају су IPN – профил, квадратна цев 100x80x3 и ради сваке сигурности цев TRON 30x2.5. када се поменути профили и цеви замене, прорачун се поново покреће и читавају се резултати.



Слика 40 – Замењени IPN - профили

На следећој слици се виде и замењене квадратне цеви 100x100x4.



Слика 41 – Замењене квадратне цеви

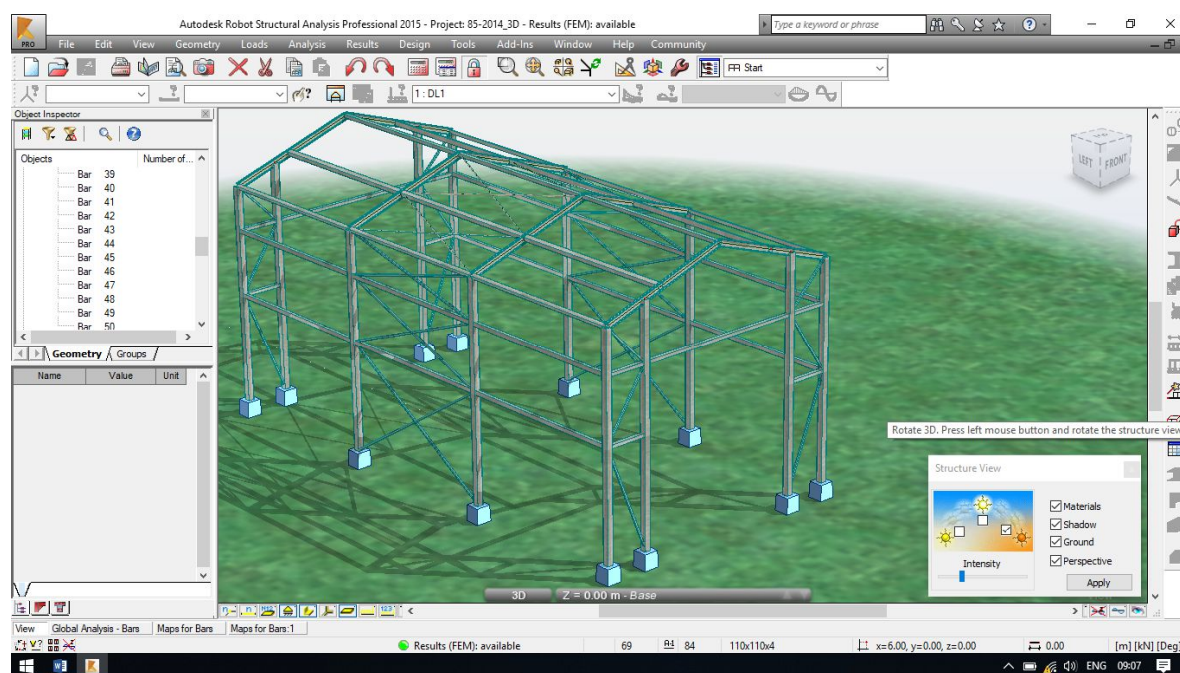
Поновним покретањем прорачуна, ни квадратне цеви нису задовољиле степен сигурности. Након тога, цев је повећана на димензију 110x110x4. Ове цеви су задовољиле степен сигурности, као што се на слици испод види.

EN 1993-1-2:2005/AC:2009 - Member Verification (SLS; ULS) 1to83

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)
33 Simple bar_33	40x40x3	Steel	93.32	93.32	0.03	19 ULS /419/	-	-	-	-
34 Simple bar_34	40x40x3	Steel	118.96	118.96	0.09	19 ULS /168/	-	-	-	-
35 Simple bar_35	40x40x3	Steel	177.67	177.67	0.25	19 ULS /154/	-	-	-	-
36 Simple bar_36	40x40x3	Steel	177.67	177.67	0.26	19 ULS /168/	-	-	-	-
37 Simple bar_37	40x40x3	Steel	118.96	118.96	0.08	19 ULS /152/	-	-	-	-
38 Simple bar_38	40x40x3	Steel	93.32	93.32	0.03	19 ULS /407/	-	-	-	-
39	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /150/	0.04	22 SLS /8/	0.34	22 SLS /83/
40	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /147/	0.04	1 DL1	0.63	22 SLS /79/
41	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /169/	0.04	22 SLS /2/	0.34	10 Wind LR pres. (+)
42	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /163/	0.04	22 SLS /213/	0.63	22 SLS /94/
43	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.30	70 Snow accidental	0.15	70 Snow accidental	0.62	70 Snow accidental
44	110x110x4	Steel	92.37	92.37	0.35	70 Snow accidental	0.23	70 Snow accidental	0.68	70 Snow accidental
45	110x110x4	Steel	92.37	92.37	0.45	70 Snow accidental	0.30	70 Snow accidental	0.90	70 Snow accidental
46	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /152/	0.04	22 SLS /8/	0.34	22 SLS /83/
47	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /152/	0.04	22 SLS /24/	0.63	6 Wind LR pres. (+)
48	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /168/	0.04	22 SLS /224/	0.34	9 Wind LR pres. (+)
49	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /168/	0.04	22 SLS /36/	0.63	22 SLS /101/
50	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.29	19 ULS /407/	0.15	70 Snow accidental	0.62	70 Snow accidental
51	110x110x4	Steel	92.37	92.37	0.35	70 Snow accidental	0.23	70 Snow accidental	0.68	70 Snow accidental
52	110x110x4	Steel	92.37	92.37	0.45	70 Snow accidental	0.30	70 Snow accidental	0.90	70 Snow accidental
53	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /150/	0.04	22 SLS /75/	0.34	5 Wind LR pres. (+)
54	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /147/	0.04	22 SLS /3/	0.63	6 Wind LR pres. (+)
55	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.19	19 ULS /169/	0.04	22 SLS /4/	0.34	22 SLS /100/
56	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.35	19 ULS /163/	0.04	22 SLS /46/	0.63	9 Wind LR pres. (+)
57	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.30	70 Snow accidental	0.15	70 Snow accidental	0.62	70 Snow accidental
58	110x110x4	Steel	92.37	92.37	0.35	70 Snow accidental	0.23	72 Snow ACC II r/l	0.68	70 Snow accidental
59	110x110x4	Steel	92.37	92.37	0.45	70 Snow accidental	0.30	70 Snow accidental	0.90	70 Snow accidental
60	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.30	70 Snow accidental	0.15	70 Snow accidental	0.62	70 Snow accidental
61	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.30	19 ULS /409/	0.15	70 Snow accidental	0.62	70 Snow accidental
62	100x80x3	Steel	123.66	103.99	0.30	70 Snow accidental	0.15	70 Snow accidental	0.62	70 Snow accidental
63 Beam_63	100x80x3	Steel	370.97	311.96	0.20	19 ULS /169/	0.27	22 SLS /100/	0.31	70 Snow accidental
64 Beam_64	TRON 30x2.5	Steel	443.27	443.31	0.01	19 ULS /307/	0.04	22 SLS /204/	0.26	22 SLS /92/
65 Beam_65	TRON 30x2.5	Steel	443.27	443.31	0.01	19 ULS /323/	0.04	22 SLS /204/	0.26	22 SLS /92/
66 Beam_66	TRON 30x2.5	Steel	437.55	437.59	0.01	70 Snow accidental	0.06	22 SLS /100/	0.31	22 SLS /216/
67 Beam_67	TRON 30x2.5	Steel	437.55	437.59	0.01	70 Snow accidental	0.06	22 SLS /100/	0.31	22 SLS /216/
68 Beam_68	TRON 30x2.5	Steel	437.19	437.24	0.01	19 ULS /307/	0.04	22 SLS /216/	0.25	22 SLS /77/

Слика 42 – Коначан прорачун профила

На крају прорачуна, кад сви профили задовоље степене сигурности, може се иштампати помоћу софтвера и прорачун за сваки профил који улази у састав хале. Изглед у простору је дат на следећој слици.



Слика 43 – Изглед хале у простору

6. Закључак

Инжењери и пројектанти који су се у претходним годинама бавили конструисањем челичних конструкција уопштено, а не само конструисањем хала имали су веома тежак задатак јер нису могли да предвиде како ће се конструкција понашати у одређеним ситуацијама, па као што се и наводи у досадашњем тексту, те конструкције су биле израђиване на основу претходних искустава.

У двадесетом веку конструктори су почели да користе сложене математичке прорачуне да би добили што боље конструкције и у томе су били јако успешни. Међутим то је био дуготрајан процес све до краја века када увелико почињу да се користе рачунари. Доласком софтвера на тржиште, знатно је олакшан комплетан процес пројектовања конструкција, од идејног решења, преко прорачуна, израде техничке документације, до саме монтаже.

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

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

У раду је дат делимичан приказ поступка пројектовања једне индустријске хале димензија 12m x 6m x 6m. Приказан је 3Д модел конструкције са основним стубовима, носачима и неопходним ојачањима. Стандардни ваљани профили међусобно су повезани заваривањем. Прорачун и провера ових веза није приказана у раду мада овај софтвер и то омогућава. Узета су при провери носивости оптерећења од сопствене тежине, корисна оптерећења, дејство ветра и дејство снега. Сеизмичка дејства могу да се узму у обзир јер софтвер то омогућава, али овде нису узета јер би рад био преобиман. Може се такође рећи да на нашем поднебљу, поготово за хале које често имају кратак век трајања, тај утицај није приоритетан.

Може се закључити да је прорачун и пројектовање хале јако комплексан посао који захтева вештог конструктора који поседује знање, искуство, али и вештину прилагођавања новим стандардима и савременим софтверима.

7. Литература

- [1] – Митровић С., Металне и дрвене конструкције 1, Београд, 2010. година
- [2] – Буђевац Д., Марковић З., Богавац Д., Тошић Д., Металне конструкције, Београд, 1999. година
- [3] – Марковић З., Гранична стања челичних конструкција према Еврокоду, Београд, 2014. година
- [4] – Скејић Д., Џеба И., Челичне конструкције – приручник, Загреб, 2015. година
- [5] - <http://jeepcommerce.rs/>, приступљено 11.07.2018. године
- [6] – Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – приручник за прорачуне, Крагујевац, 1998. године
- [7] - <http://www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2015/EvrokodoviSajamGradjevinarstva.pdf>, приступљено 11.07.2018. године
- [8] - https://www.google.com/search?client=firefox-b-ab&biw=1366&bih=641&tbm=isch&sa=1&ei=TT1FW5vqMLHgkgXbibGIBQ&q=mosna+dizalica+u+hali&oq=mosna+dizalica+u+hali&gs_l=img.3...33240.34131.0.34822.7.7.0.0.0.115.624.6j1.7.0....0...1c.1.64.img..0.1.114...0i30k1j0i24k1.0.zGs0kPsZL-c, приступљено 11.07.2018. године
- [9] - <https://www.google.rs/imghp?hl=sr>, приступљено 11.07.2018. године
- [10] – Бешевић М., Тешановић А., Металне конструкције 2 – хале и складишта, Грађевински факултет Суботица, 2011. године