

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Примењена механика и аутоматско управљање
Предмет: Отпорност материјала
Број индекса: 537/2014

Сара Г. Костић

**Прорачун хале од стандардних ваљаних профила према
еврокоду**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Весна Марјановић-ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада, студент треба да:

- Направи увод и објасни примену металних конструкција
- Направи технички опис за халу коју израђује
- Димензионише елементе конструкције
- Одреди оптерећење конструкције услед дејства снега, ветра и сопствене тежине
- Одреди максимално напрезање и критичну тачку
- Помоћу програма одреди сигурност конструкције
- Изнесе свој закључак о одрађеној теми

Препоручена литература:

1. Андрић В., Дујмовић Д., Џеба И., Металне конструкције 1, Институт Грађевинарства Хрватске, Загреб 1994. Године
2. Буђевац Д., Марковић З., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд 2007.године
3. Домазет Ж., Крстуловић-Опара Л., Факултет Електротехнике, Стројарства и Бродоградње, Сплит 2009.године
4. HRN EN 1991-1-3/NA: Eurocode 1: Деловање на конструкцију-део 1: 1-3: Општа деловања – оптерећење снегом- Национални додатак, ХЗН, 2011.
5. HRN EN 1991-1-4/NA: Eurocode 1: Деловање на конструкцију- део 1-4: Општа деловања – деловање ветра – Национални додатак, ХЗН, 2011.

Крагујевац,

Септембар 2017.

Ментор:

Др Весна Марјановић, ванредни професор

Резиме:

Овим радом предвиђена је израда металне конструкције, тачније хале од стандардних ваљаних профила, 20x25 m, од конструкцијског челика S235. Хала је израђена од IPN профила различитих димензија. У склопу тога, одређује се стабилност конструкције, померања услед оптерећења, критична тачка, као и методе заштите од корозије. Као софтверска подршка при анализи проблема коришћен је *Solidworks*. Од прописаних стандарда, коришћене су европске норме за димензионисање челичних конструкција и за променљива оптерећења.

Кључне речи:

Металне конструкције, IPN профили, конструкцијски челик, напрезања, вијчани спојеви, заварени спојеви, деловање снегом, деловање ветром, еврокодови, статичка анализа

Summary:

This work is envisaged to develop metal structures, namely the halls of the standard rolled profiles, 20x25 m, from structural steel S235. The hall is built of IPN profiles of different dimensions. In this context, determines the stability of the structure, critical point, displacement of construction, as well as methods of corrosion protection. As software support problem analysis was used Solidworks. From the prescribed standards, European standards are used for dimensioning of steel structures and variable loads.

Keywords:

Metal construction, IPN profiles, structural steel, stress, thread, weldings, wind actions, snow actions, eurocode standard, static analysis

Садржај

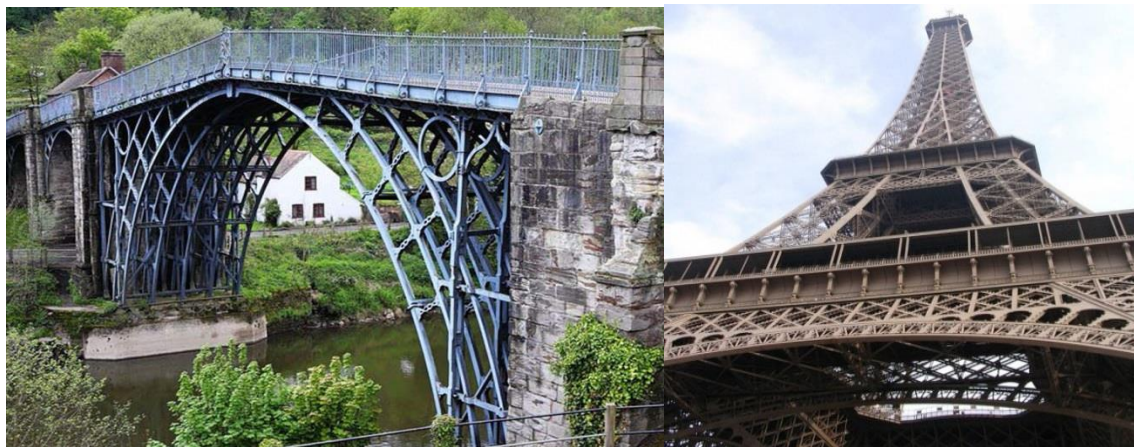
1. УВОД.....	1
2. ТЕХНИЧКИ ОПИС.....	3
2.1. Материјал.....	3
2.2. Конструктивно решење хале.....	4
2.3. Статичка анализа система.....	8
2.4. Опис конструктивних елемената.....	8
2.5. Заштита од корозије.....	10
2.6. Монтажа и транспорт.....	11
3. ИЗРАДА КОНСТРУКЦИЈЕ У ПРОГРАМУ <i>SOLIDWORKS</i>	11
3.1. 2D модел.....	12
3.2. 3D модел.....	12
3.3. Димензионисање греда.....	13
4. АНАЛИЗА ОПТЕРЕЋЕЊА.....	15
4.1. Оптерећење сопственом тежином.....	16
4.2. Оптерећење снегом.....	16
4.3. Оптерећење ветром.....	18
4.4. Укупно оптерећење.....	21
4.5. Дијаграми аксијалних и смицајних сила.....	23
5. ПРОРАЧУН СПОЈЕВА.....	24
5.1. Вијчани спојеви.....	24
5.2. Спој ступ-плоча-темељ.....	25
6. ПРОРАЧУН КРИТИЧНОГ СПОЈА.....	26
7. ЗАКЉУЧАК.....	30
8. ЛИТЕРАТУРА.....	31

1. Увод

Металне конструкције су конструкције које су претежно или у потпуности израђене од метала. Као материјал се најчешће користи челик, а ређе његове легуре или алуминијум. Међу металима, преовладава челик, због јефтино ваљаних профила, а алуминијум и његове легуре се примењују када не постоје нека већа оптерећења у поређењу са властитом тежином конструкције. Према намени и изради металне конструкције се деле на:

- Транспортна средства (дизалице, жичаре)
- Мостове (пешачки, путни, цевоводни)
- Зграде (хале, небодери, димњаци, скеле)
- Конструкције индустријских постројења

Значајну улогу у грађевинарству и архитектури, овакве конструкције заузеле су након индустријске револуције. Прве примене биле су за изградњу мостова (Coalbrookdale, пројекат Абрахама Дарбија и архитекта Томаса Притчарда, 1781.), затим грађевине као Ајфелов торањ и павиљон *Galerie des Machines*, у Паризу 1889.године. Данас су незаобилазан конструкцијски систем при изградњи зграда, објеката, летелица, постају и значајан обликовни елемент. Металне конструкције у зградарству имају све већу примену, због једноставне израде и економичности. Најпопуларније су складишта и металне хале које се користе углавном као радионице, простор за одлагање робе, хране, индустријских производа и слично. Изглед једне такве хале приказан је на слици 1.2.



Слика 1.1. Прве примене металних конструкција, мост Coalbrookdale и Ајфелов торањ[10]



Слика 1.2. Метална хала [11]

Предности које карактеришу металне конструкције су потпуна творничка израда, монтажа и демонтажа, комбиновање различитих материјала, лака адаптација, могућност брзе монтаже на градилишту и када су лоши временски услови.

Погодност примене металних конструкција огледа се и у њиховој великој чврстоћи, еластичности, пластичности, док су недостаци оваквих конструкција појава корозије, те је потребна стална заштита антикорозивним средствима, и опасност од пожара, јер је метал добар проводник топлоте.

Економичност металних конструкција огледа се у могућности примене свих основних конструкцијских елемената:

- Траке
- Лимови
- **Профилни носачи**
- Сложени профили
- Хладно обликовани профили

Спајање металних конструкција игра значајну улогу у обликовању и остваривању. Ваљани производи који се испоручују у одређеним мерама, скраћују се и састављају у радионицама. Задатак спојених делова је да делују као целина и да сигурно пренесу силе и напрезања. Средства за спајање су заковице, вијци, завари и високонапрегнути вијци.

Овим радом предвиђена је израда металне хале од стандардних ваљаних профила, од челика S235, поштујући и користећи се правилима еврокода, те прорачун спојева и допуштених напрезања са циљем осигуравања стабилности конструкције. [2]

2. Технички опис

2.1. Материјал

Материјал који се најчешће примењује је челик због јефтиних ваљаних производа, док се алуминијум и његове легуре примењују на конструкцијама где је властита тежина главно оптерећење. [8]

Конструкцијски челик је основни елемент за металне конструкције. То су угљенични челици са садржајем угљеника до 0.6% или легирани челици са додатком мангана, силицијума, хрома, никла и волфрама. Користе се за израду конструкцијских елемената као што су вратила, осовине, зупчаници, вијци, вентили и слично.

Конструкцијски челик за носиве конструкције, каква је ова, треба испунити одређене захтеве у погледу носивности и сигурности. Ти захтеви се остварују уколико овакав челик има довољно високу границу развлачења, затезну чврстоћу, смицајну чврстоћу и жилавост. Међу главним технолошким својствима спада заварљивост. Услов за што бољу заварљивост је што мањи еквивалент угљеника C_E :

$$C_E = C_E = \%C + \%Mn/4 + (\%Cr + \%Mo + \%V)/5 + (\%Ni + \%Cu)/10$$

Вриједност еквивалента прихватљивог за металне носиве конструкције износи $C_E < 0,4$.

Челици за носиве конструкције углавном се примењују у температурном подручју од $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Уобичајени челици из ове групе су S235 (Č0370) и S355J2G3 (Č. 0563), према EN 10027. За израду ове хале од стандардних ваљаних профила изабран је челик S235, а његове карактеристике дате су табелом 1. Ознака S означава да се ради од конструкцијском челику (Structural Steel), а 235 означава границу течења.

Табела 1. Спецификације челика S235[6]

Vrsta materijala	Oznaka materijala			Zatezna čvrstoća R_m [N/mm ²]	Granica plastičnosti $R_{es}R_{p0.2}$ [N/mm ²]	Modul elastičnosti E [N/mm ²]	Poissonov broj ν
	EN 10027-1	DIN	HRN				
Konstrukcijski čelici	S185	St 33	Č 0130	290	175	$2.1 \cdot 10^5$	0.3
	S235	St 37-2	Č 0370	340	225		
	S275	St 44-2	Č 0451	410	265		
	S355	St 52-3	Č 0562	490	345		
	E295	St 50-2	Č 0545	470	285		
	E335	St 60-2	Č 0645	570	325		
	E360	St 70-2	Č 0745	670	355		

2.2. Конструктивно решење хале

Димензије хале су препоручене од стране професора, а оне износе:

Ширина хале: 20-30 m

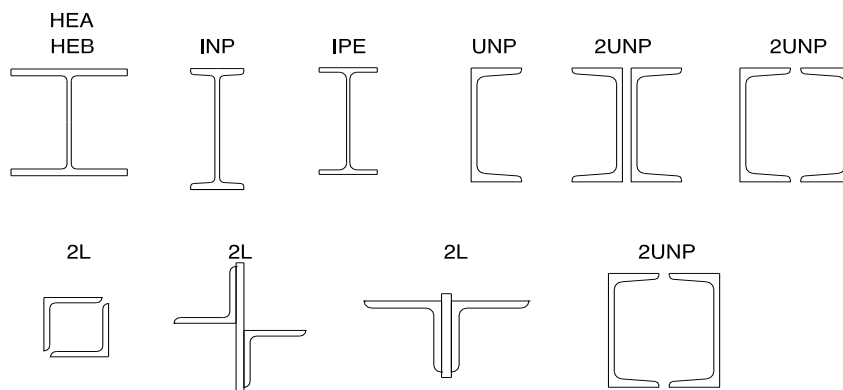
Број оквирних носача: 3-5

Размак главних ступова: 4-6 m

Висина (h): 7-9 m

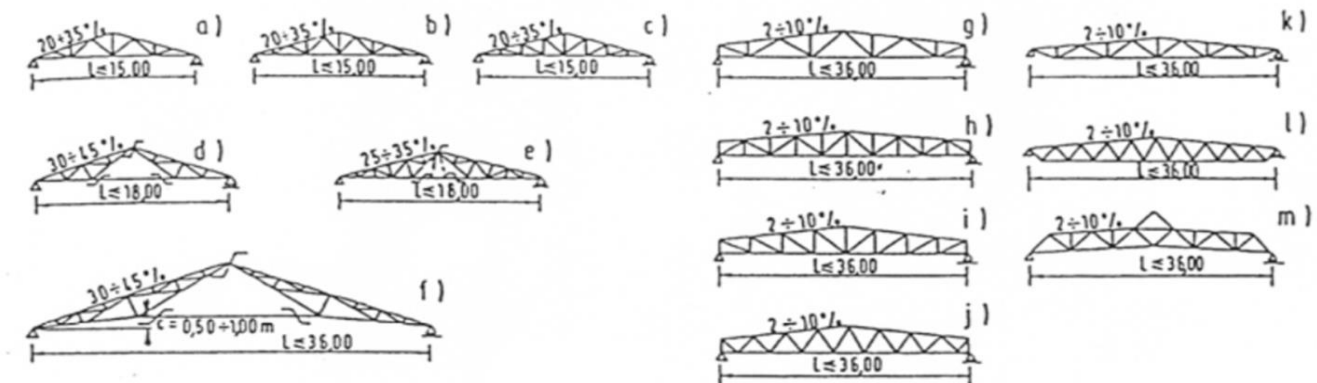
Секундарни ступови (ако је потребно): На половини висине ($h/2$)

Препорука при одабиру стандардних ваљаних профила:



Слика 2.2.1. Примери стандардних ваљаних профила и њихове комбинације[2]

Препорука за одабир решеткистог носача:

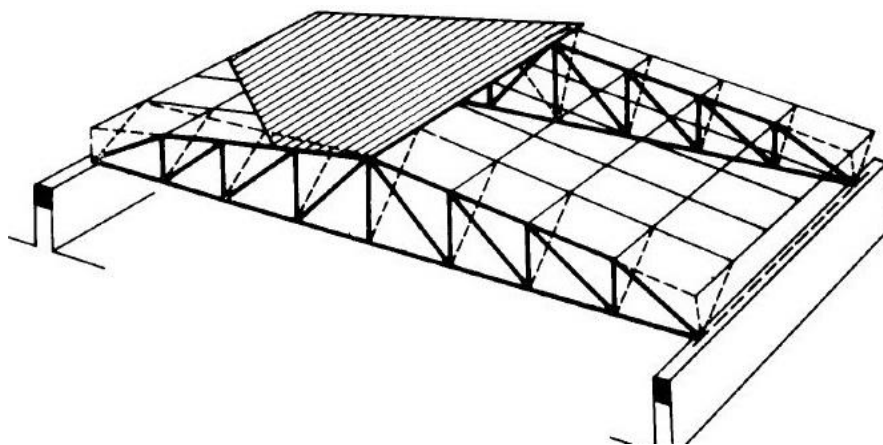


Слика 2.2.2 Решеткасти носачи [2]

Решеткасти носачи, поред носивих конструкција, попут хала и објеката, широку примену нашли су у мостоградњи, авионској, аутомобилској и машинској индустрији. Примењују се када конструкција треба да пренесе оптерећење преко великог распона.

Честа им је примена у зградарству: кровни носачи, подни носачи, крански носачи у индустријским халама и слично. Због разноликости изгледа, могу имати занимљив и атрактиван облик те се могу наћи као саставни део ентеријера.

Практични су и када је у питању провођење инсталационих цеви и каблова између штапова испуне. Пример једног решеткастог насача у зградарству приказан је на слици 2.2.3:



Слика 2.2.3. Решеткаст носач у зградарству [12]

Због своје разноликости и широке применљивости, извршена је подела решеткастих носача:

- Према броју појасева (двопојасни, вишепојасни)
- Према просторном положају (равански, просторни)
- Према интензитету напрезања (лаки, средњи, тешки)
- Према начину обликовања (са чворним лимовима, без чворних лимова)

Основна правила за конструисање решеткастог насача[3]:

- Спољашње оптерећење треба да се уноси у решеткасти носач по правилу у чворовима. На тај начин се избегава локално савијање појасних штапова, па су сви штапови изложени само дејству аксијалних сила. Међутим код неких типова решеткастих носача као што су на пример рожњаче, подни и крански носачи, ово правило не може да се испоштује. Оптерећење се код ових носача не уноси посредно, преко чворова, већ директно савијањем појасних штапова, па су услед овог локалног савијања појасни штапови изложени истовремено дејству аксијалне силе и момента савијања.

- Дужини притисних штапова треба да буде што мања. На овај начин се повећева отпорност притисних штапова на извијање јер је, као што је познато критична сила еластичног извијања обрнуто пропорционална квадрату дужине.
- Услови под којима се сустичу штапови решеткастих носача треба да буду већи од 30 степени. У супротном, да би се оствариле везе, било у завареној изради или помоћу завртњева, неопходни су дугачки и неправилни чворни лимови, а саме везе су тешко приступачне и дугачке.
- Штапови решеткастих носача треба да буду прави између чворова. Криве или коленасте штапове треба избегавати јер се код њих због одступања од замишљене линије која спаја суседне чворове, јављају локални моменти савијања.
- Монтажне наставке појасних штапова треба предвидети непосредно уз чворове, са стране мање напегнутог штапа. На овај начин, монтажни наставци су ослобођени евентуалних секундарних утицаја од извијања штапова и оптерећени су мањим силама, па се постиже уштеда на спојним средствима. Постављање на монтажном наставку тачно на месту пресека системних линија штапова знатно компликује и поскупљује његову израду.

Појасни штапови треба да буду прави у оквиру једног монтажног комада. На овај начин се избегавају релативно скупи радионички наставци. Уколико је неопходна промена правца у оквиру једног монтажног сегмента, она треба да се оствари у чвору како би штапови испуне прихватили скретне силе.

При одређивању сила у штаповима решеткастог носача, користи се прорачунски модел који је заснован на следећим претпоставкама:

1. Штапови су идеално зглобно ослоњени
2. Оптерећења делују у чворовима
3. Осе штапова су праве и центрисане

Применом оваквог модела, поједностављује се поступак прорачуна, јер су штапови изложени дејству само аксијалних сила. Имајући у виду наведене претпоставке, у почетним фазама развоја челичних конструкција везе, у чворовима су образоване помоћу чепова и образних лимова, како би се омогућила несметана ротација штапова у чвору. Овакве везе су јако компликоване, тешке и естетски неповољне, а трење између образних лимова ограничава слободно обртање. Примењују се везе које су знатно једноставније за израду и естетски повољније.

Појасне штапове треба димензионисати на комбинованом дејству аксијалне силе и момента савијања. Због тога су по правилу појасни штапови знатно крући од штапова испуне, ослобођени су утицаја момента савијања, већ само обезбеђују ослањање континуалног појаса.

Према препорукама, конструкција је осмишљена као систем који се састоји од 6 оквирних носача размакнутих за 5m, што значи да је усвојена дужина хале 25m. Висина главних ступова износи 5m на којима се налазе решеткасти кровни носачи. Изабран је носач под g). Његов изглед и димензије приказане су на слици број 2.2.5.

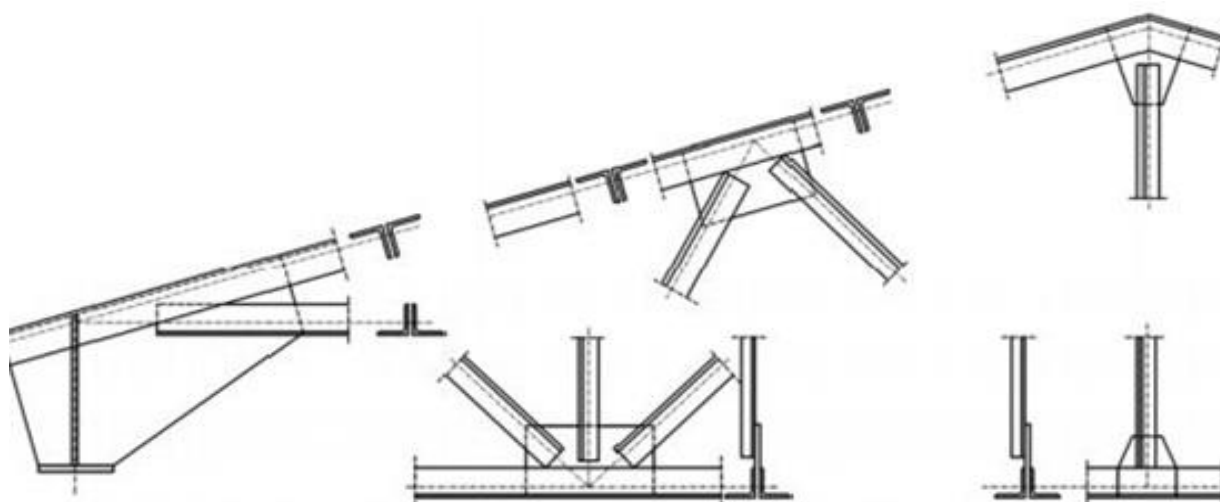
Спојеви решеткастог носача су остварени заваром. Заваривање се врши у радионицама те се транспортује до места изградње. Заварени спојеви су у односу на коване спојеве и до 50 % лакши

уз једнаку чврстоће и крутост, док је њихово обликовање једноставније. Из ових разлога је заваривање постало један од најважнијих начина спајања металних конструкција. Постоје различити поступци заваривања, најчешћи су лучно-електролучно, тачкасто заваривање, гасно, ТИГ, МИГ итд.

Чворови решеткасти носача представљају осетљиве детаље. Веза између штапова испуне и појасних штапова остварује се преко чворних лимова или директно па из тога и разликујемо два типа носача:

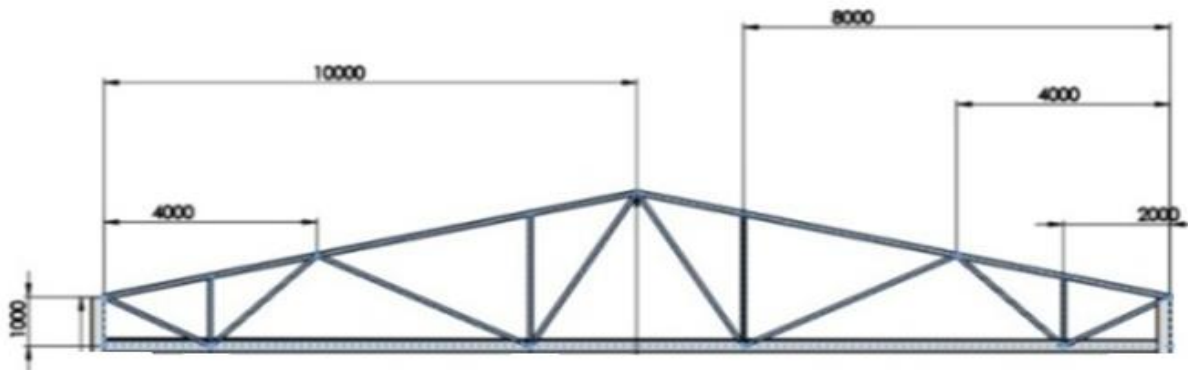
- Решеткасти носачи са чворним лимом
- Решеткасти носачи без чворног лима

Директна веза подразумева да се они заварују. Постоје и изузеци, као што је примет код појасних штапова Т-пресека где је могућа примена завртњева. Предности веза у завареној изради у односу на везе механички спојним средствима су, пре свега, бржа, једноставнија и јефтинија израда. На слици 2.2.4. приказан је изглед заварених спојева решеткастог носача. Ради лакшег међусобног спајања IPN профила, користи се плоча као веза.



Слика 2.2.4. Заварени спојеви

Након димензионисања решеткастог носача, укупна висина хале износи 8.13 m. Хала се налази на подручју града Сплита.



Слика 2.2.4.. Направљен решеткаст нос

2.3. Статичка анализа система

Статичком анализом обухваћена су оптерећења (сопствена тежина, снег, ветар) која делују на конструкцију. Потребно је одредити напрезања елемената, померања услед оптерећења и коефицијент сигурности.

Провера стабилности конструкције извршена је након уноса података о одабраним елементима у програм *Solidworks*. Уколико постоје критична места која не задовољавају услове стабилности, врши се замена стандардних ваљаних профила за веће и отпорније.

2.4. Опис конструктивних елемената

Основни елементи хале су стандардни ваљани профили од конструкцијског челика. Поступак за добијање оваквих профила назива се ваљање.[8]

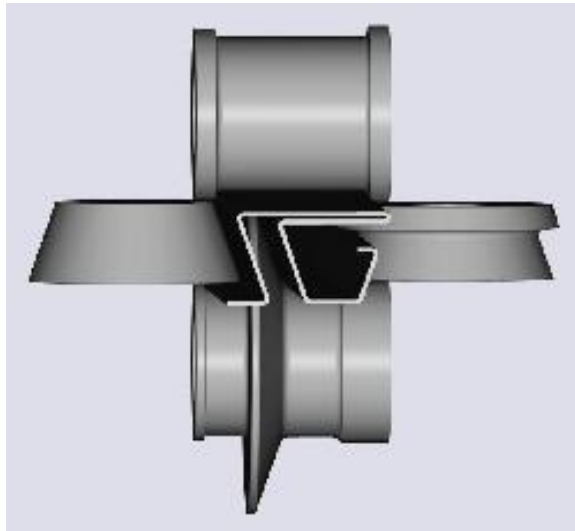
Ваљање је поступак обликовања материјала деформирањем код кога се пропуштањем кроз ротирајуће ваљке добија жељени облик смањеног попречног пресека а побољшаних механичких карактеристика. Поступак започиње ваљањем ингота у полупроизводе. Ободна брзина ваљака може бити већа или мања, иста или спорија од пролаза материјала. Ваљати се може у топлом или хладном стању. Материјали већег пресека ваљају се претежно у топлом стању, због веће пластичности и могућности пуно већих редукција пресека, те мањих сила и мањег утрошка рада. Материјали мањег пресека ваљају се претежно у хладном стању јер се постиже глађа површина, ужа толеранција и већа тврдоћа. Разликују се 3 поступка ваљања:

- Уздужно
- Косо
- Попречно

Ваљањем се производе лимови, траке, фолије, шипке, **профили** и цеви. Основна подела ваљаоничких производа:

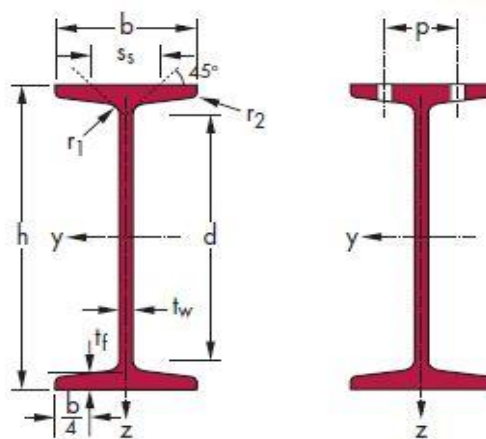
- Лимови, могу се ваљати у топлом и хладном стању
- Полупроизводи: слаб, платина, квадратне гредице, плоснате гредице
- Траке, израђују се у различитим димензијама, ширина може прелазити и 600 мм
- **Ваљани профили:** округли, квадратни, шестерокутни, L профил, Т профил, I носачи

Овај поступак има највећу примену од свих процеса пластичног деформисања.



Слика 2.4 Ваљање профила [13]

Изабран профил за халу је стандардни ваљани IPN профил. Профили су различитих димензија, изабрани према очекиваном степену оптерећења. Ови профили налазе широку примену у машинству као носећи елементи конструкције. На слици број 2.5. Приказан је стандардни ваљани IPN профил.



Слика 2.5. Стандардни IPN профил [9]

1. група – Главни носећи ступови IPN 260

Ови ступови су ослоњени на бетонске темеље тако да је на њиховом споју употребљена челична плоча димензије 380x163 мм. Ступови су везани за темељ вијцима М24. Димензија темеља изабрана је на основу искуства те је прорачуната методом коначних елемената у програму Солидворкс.

2. група - Хоризонталне греде решеткастог носача - IPN 120

3. група – Вертикалне греде решеткастог носача - IPN 100

4. група – Горњи појас решеткастог носача - IPN 80

5. група – Цик-цак греде решеткастог носача - IPN 80

2.5. Антикоровивна заштита

Корозијски процеси претварају велики број корисних материјала у некорисне спојеве, при чему метали прелазе у термодинамички стабилније стање. Челик је најкориснији при изради различитих конструкција те га је потребно заштитити употребом антикорозивних средстава како би сачувао механичке карактеристике, стабилност и век трајања.[2]

Корозију челичних конструкција узрокују вода и оксидацијска средства при чему пресудан утицај има кисеоник из атмосфере те у одсутности кисеоника нема ни корозије. Изузетак чине кисели агресивни медији где је корозија могућа и без утицаја атмосферског кисеоника. Корозија челика почиње код релативне влажности ваздуха од око 60%. За развој корозије довољан је и влажни филм на површини метала, нпр. Кондензат или капљице росе. Претпоставке за дјелотворну заштиту од корозије морају се остварити већ при самом конструирању. Делови који се површински заштићују морају бити приступачни за испитивање, контролу, одржавање и обнову корозивне заштите. Ако пак нека места нису приступачна, потребно је на тим местима пре спајања провести уговорену површинску заштиту, нпр. површине контакта вијчаних спојева.

При извођењу заштите, осим стварног времена наношења превлаке, узети у обзир и најкраће те најдуже допуштено време за наношење заштитних превлака. Температура ваздуха и температура објекта могу значајно варирати. При том треба обратити пажњу на минималну разлику температуре објекта и околине како би се избегло орошавање. Време сушења зависи од температуре и влажности ваздуха, а наведено је од стране произвођача премаза. Премазна средства треба исправно складиштити, у правилу на температури не нижој од 0 °C и не вишој од 30°C. Нужно је придржавати се упута за извођење изданих од стране произвођача. Треба се такође придржавати упута за извођење изданих од стране произвођача премаза. За време извођења премазних средстава треба водити рачуна о климатским условима као што су температура, релативна влажност и тачка трошења (избегавање кондензирања влаге на површини).

Дебљина слоја меродавна је заштитно деловање, трајност, учесталост пора, еластичности и тврдоћа премаза. Док претанки слој премаза не пружа довољну заштиту заштити, предебели слој може довести до грешака у премазу попут цурења, набораности, непотпуног сушења, недовољне приоњивости и одвајања слоја.

Приликом површинске заштите, као и приликом њезине обнове, треба поштовати државне одредбе и прописе о заштити на раду!

2.6. Монтажа и транспорт

Када се развије идејно решење хале, те се заврше прорачуни и мере заштите од пожара и корозије, следећи корак је тражење стационарног решења, односно тражење идеалног места за монтирање конструкције. Да би се то извело, потребно је обезбедити грађевинску дозволу и сву проратну документацију.

Делови конструкције се израђују у радионици, решеткаст носач се заварује и детаљно чисти од прашине и других нечистоћа. Транспортним средствима се тако готови делови превозе до места градње и врши монтирање хале.

Након монтирања, следи детаљно чишћење конструкције, те наношење средстава за заштиту од корозије.

3. Израда конструкције у програму Solidworks

Solidworks је рачунарски програм за чврсто моделирање. Нуди 3D софтверске софтверске алате који омогућују креирање, симулацију и управљање подацима. Налази широку примену у областима електротехнике, информационим технологијама, управљању подацима, те машинству и грађевинарству.[7]

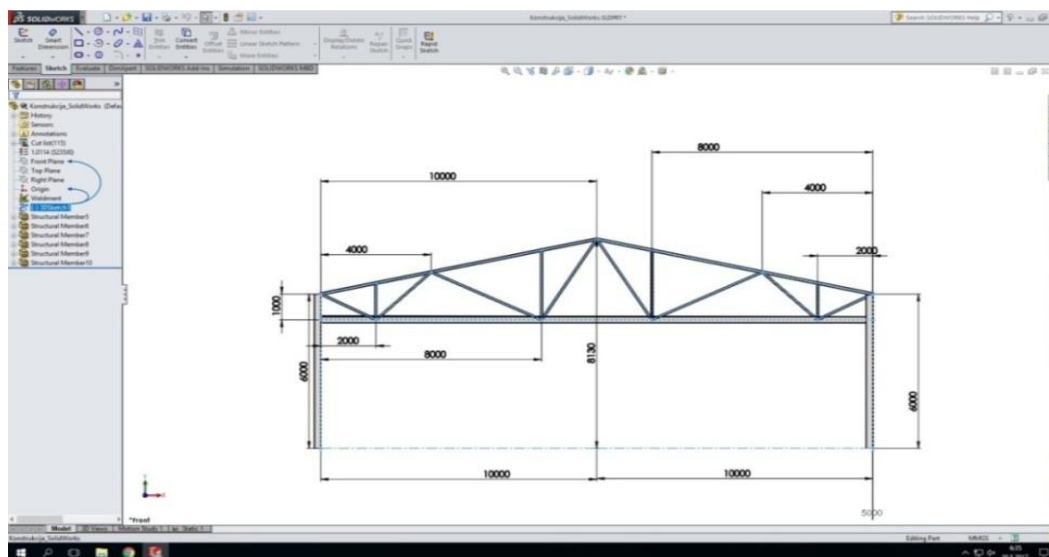
У машинству је један од најпогоднијих софтвера јер у себи има интегриране стандарде у свом систему те олакшава креирање и димензионисање машинских елемената.

Solidworks симулације (Solidworks Simulation) омогућују рад на свом персоналном рачунару и то:

- Креирање тј. дизајн различитих модела
- Додељивање материјала
- Примена и распоред оптерећења
- Креирање мреже коначних елемената (Meshing)
- Обраду унесених података
- Анализа резултата

3.1. Израда 2D модела

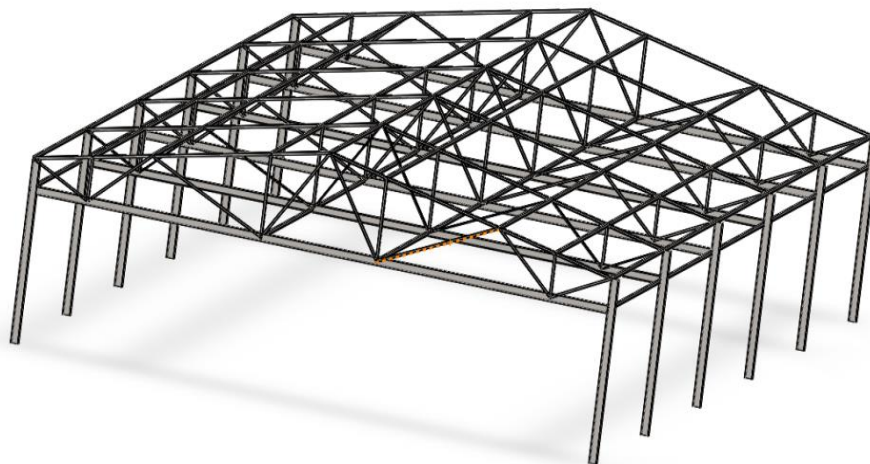
Одабиром опције у програму Солидворкс, почиње се са цртањем решеткастог носача. Изабрати једну равнину (*Front Plane*, *Right Plane*, *Top Plane*) и кликнути на *Sketch* (скица). Користећи *Line Tool* нацртати носач, затим помоћу на *Smart Dimension* унети димензије греда.



Слика 3.1. 2D модел хале

3.2. Израда 3D модела

Скица је умножена за број решеткастих носача конструкције који се налазе на растојању од 5m. Укупна дужина хале је 25m. Повезати их користећи *Line Tool*. Добија се 3D модел који је приказан на слици 3.2. [7]



Слика 3.2. 3D модел хале

3.3. Димензионисање греда

Солидворкс у свом систему има интегрисан ИСО стандард те се на једноставан начин могу димензионисати греде ове конструкције. Кликнути на *Insert - Weldments – Structural Member*. Изабрати ИСО стандард и врсту греде - *Type*. [7]

Захваљујући симулацијама које се могу урадити у овом софтверу могу се изнова димензионирати греде док се не добије задовољавајући фактор сигурности и напрезања материјала. Такође се лако може извршити оптимизација, због економичности, уштеде материјала и антикорозивних средстава.

Као што је напоменуто у опису конструктивних елемената, главни елементи хале су стандардни ваљани профили, а њихове карактеристике су дате табелом 2.

Табела 2. Карактеристике профила IPN 80,100,120 [9]

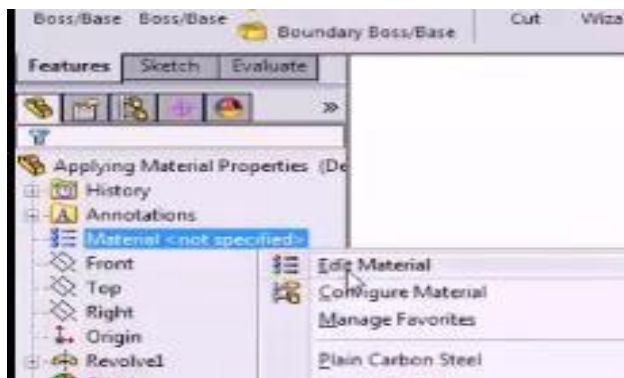
Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				Surface Oberfläche		
G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r ₁ mm	r ₂ mm	A mm ²	d mm	Ø	P _{min} mm	P _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t	
							x 10 ²							
IPN 80*	5,9	80	42	3,9	5,9	3,9	2,3	7,58	59	-	-	-	0,304	51,09
IPN 100*	8,3	100	50	4,5	6,8	4,5	2,7	10,6	75,7	-	-	-	0,370	44,47
IPN 120*	11,1	120	58	5,1	7,7	5,1	3,1	14,2	92,4	-	-	-	0,439	39,38
IPN 140*	14,3	140	66	5,7	8,6	5,7	3,4	18,3	109,1	-	-	-	0,502	34,94
IPN 160*	17,9	160	74	6,3	9,5	6,3	3,8	22,8	125,8	-	-	-	0,575	32,13
IPN 180*	21,9	180	82	6,9	10,4	6,9	4,1	27,9	142,4	-	-	-	0,640	29,22

Носећи ступови су најоптерећенији елементи те морају бити много већих димензија, а самим тим имају боље карактеристике у погледу издржљивости. За ове ступове усваја је профил IPN 260. Карактеристике су приказане табелом 3.

Табела 3. Карактеристике профила IPN 260 [9]

Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				Surface Oberfläche		
G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r ₁ mm	r ₂ mm	A mm ²	d mm	Ø	P _{min} mm	P _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t	
							x 10 ²							
IPN 80*	5,9	80	42	3,9	5,9	3,9	2,3	7,58	59	-	-	-	0,304	51,09
IPN 100*	8,3	100	50	4,5	6,8	4,5	2,7	10,6	75,7	-	-	-	0,370	44,47
IPN 120*	11,1	120	58	5,1	7,7	5,1	3,1	14,2	92,4	-	-	-	0,439	39,38
IPN 140*	14,3	140	66	5,7	8,6	5,7	3,4	18,3	109,1	-	-	-	0,502	34,94
IPN 160*	17,9	160	74	6,3	9,5	6,3	3,8	22,8	125,8	-	-	-	0,575	32,13
IPN 180*	21,9	180	82	6,9	10,4	6,9	4,1	27,9	142,4	-	-	-	0,640	29,22
IPN 200*	26,2	200	90	7,5	11,3	7,5	4,5	33,4	159,1	-	-	-	0,709	27,04
IPN 220*	31,1	220	98	8,1	12,2	8,1	4,9	39,5	175,8	M 10	50	56	0,775	24,99
IPN 240*	36,2	240	106	8,7	13,1	8,7	5,2	46,1	192,5	M 10	54	60	0,844	23,32
IPN 260*	41,9	260	113	9,4	14,1	9,4	5,6	53,3	208,9	M 12	62	62	0,906	21,65
IPN 280*	47,9	280	119	10,1	15,2	10,1	6,1	61,0	225,1	M 12	68	68	0,966	20,17

Када су одабрани профили елемената конструкције, потребно је доделити им материјал и његове карактеристике. У софтверу је то могуће одабиром *Feature – Apply Material – Edit Material – Steel – S235 – Apply*. Приказано на слици 3.3. [7]



Слика 3.3. Дефинисање материјала

4. Анализа оптерећења

При одређивању носивости и стабилности конструкције услед дејства оптерећења, коришћен је еурокод EN 1991. Поједина деловања на конструкције као што су снег, ветзар, температура, ванредна деловања садржани су у овом стандарду. [4]

На конструкцији деловања изазивају одзив конструкције. Деловања могу бити независна (деловање снегом на тло, земљиште) или зависна када делује на саму конструкцију (деловање снега или удар ветра).

Подаци о деловању, добијени проматрањем или законима физике, одређују се статичким методама. На основу тога, усваја се честа вредност, деловање у комбинацији, посебно преовладавајућа вредност деловања.

Деловања на конструкцију која ће се проматрати у овом раду су:

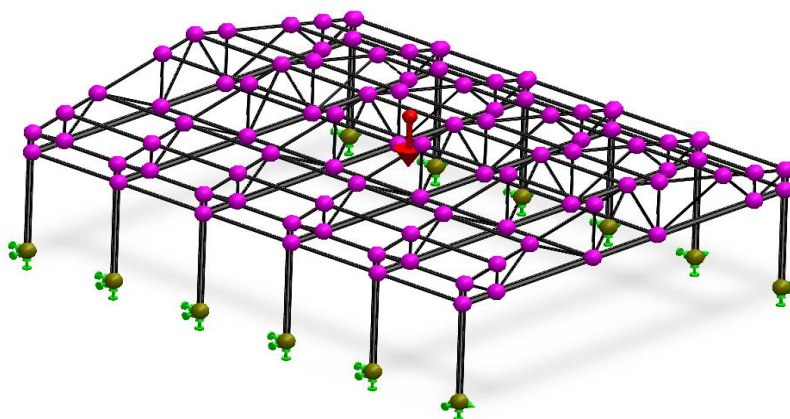
- Оптерећење снегом
- Оптерећење ветром
- Оптерећење сопственом тежином

Подела оптерећења према временској променљивости:

- Стална (сопствена тежина)
- Променљива
- Дуготрајна
- Краткотрајна
- Случајна

4.1. Оптерећење сопственом тежином

Сопствена тежина конструкције зависи од материјала и типа профила који се користе. Данас се све чешће конструкције моделирају у простору (3) а сопствена тежина се аутоматски рачуна из употребљених профила и специфичне масе челика. Међутим на сваком елементу постоје још и одређене челичне плоче за ослањање или везу са другим елементима, вијци и варови као спојна средства што се код аутоматског средства често занемарује. Стога, при моделирању конструкције, повећати тежину за 3% код заварене, односно 5% код претежно вијчане изведбе. Тежину хале видимо у програму након димензионисања свих елемената. Изабрати опцију *Tools - Evaluate - Mass Properties*. Маса овакве конструкције са увећањем од 5% износи 13,767t. [7]

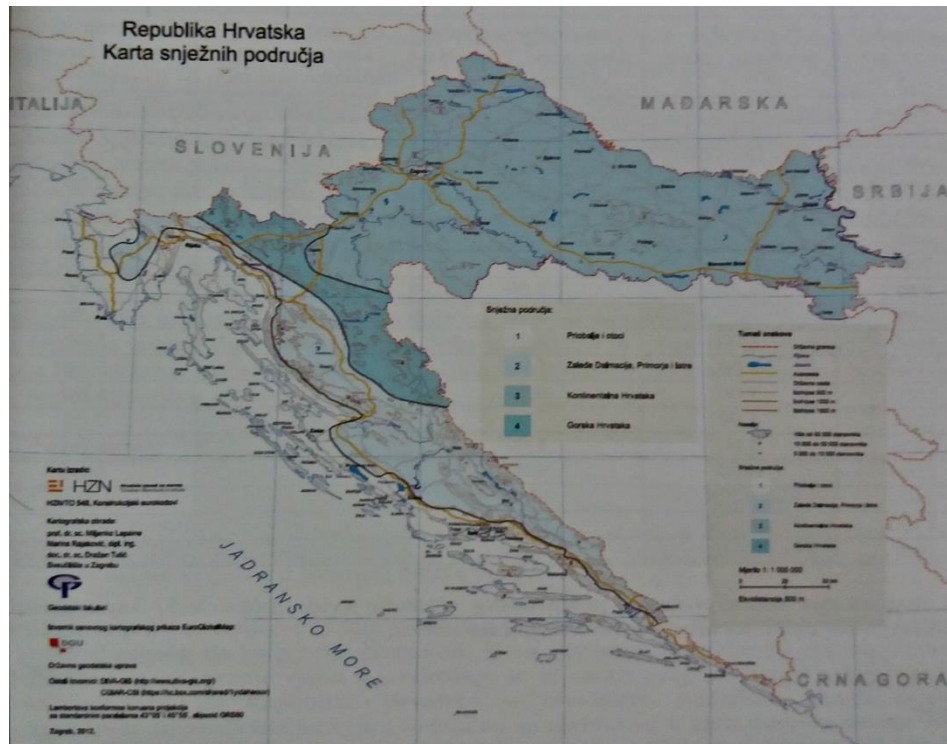


Слика 4.1. Оптерећење сопственом тежином

4.2. Оптерећење снегом

Оптерећење снегом је променљиво слободно деловање. Оптерећење се прорачунава на основу карактеристичног оптерећења s_k које одговара једноликом снегу који је нападао у мирним временским условима. Ова вредност се прилагођава у зависности од: [4]

- Облика и нагибу крова (m)
- Храпавости површине
- Учинку ветра
- Околном терену



Слика 4.2.1. Подручја оптерећења снегом [4]

Табела 4.2. Карактеристичне вредности оптерећења снегом у $[kN/m^2]$ [4]

Угао нагиба крова	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$
m	0.8	0.8	$0,8(60 - \alpha)/30$
m	0.8	$0,8 + 0,6(\alpha - 15)/30$	$1,1(60 - \alpha)/30$
m	$0,8 + 0,8\alpha/30$	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6

Деловање снега према обрасцу:

$$s = m * C_e * C_t * s_k [kN/m^2] \quad (4.2)$$

Где је:

m – коефицијент облика за оптерећење снегом, овисно о облику крова

За $\alpha = 15^\circ$, $m = 0,8$

s_k – карактеристична вредност оптерећења на тлу у kN/m^2

За Сплит та вредност је $s_k = 0,5 kN/m^2$

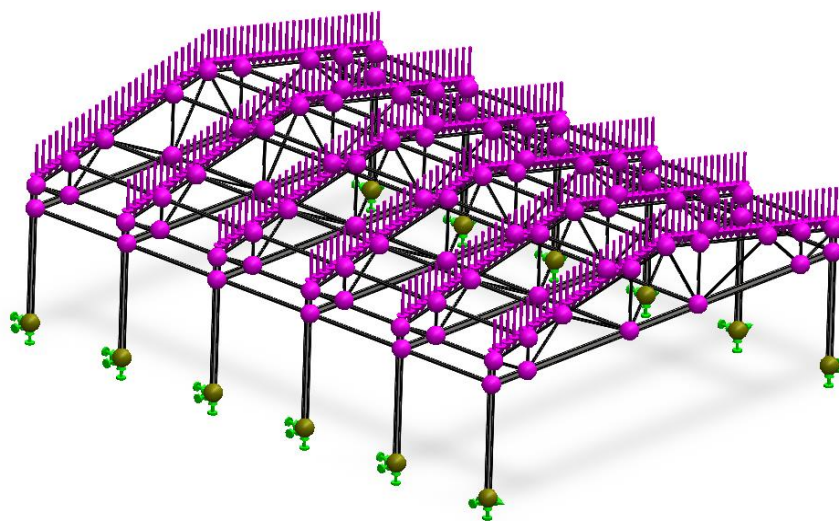
C_e – коефицијент изложености (1,0)

C_t – топлински коефицијент (1,0)

P_a је оптерећење на цели кров :

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

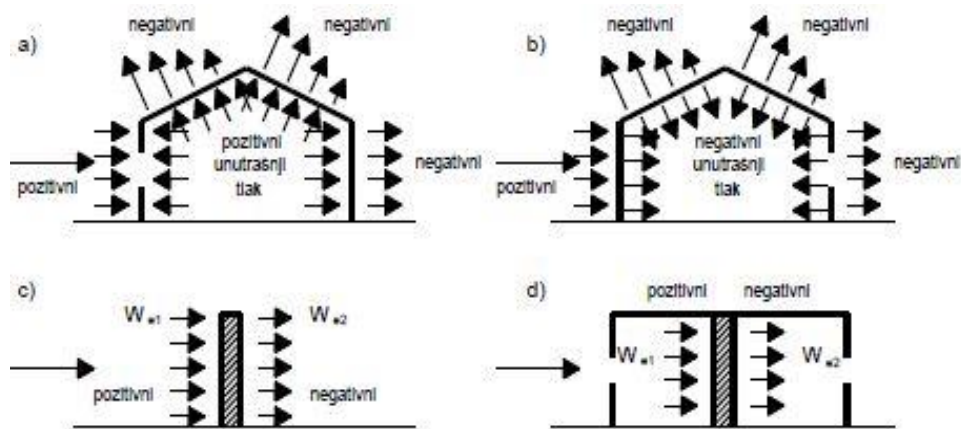
Оптерећење хале услед деловања снега приказано је на слици 13.



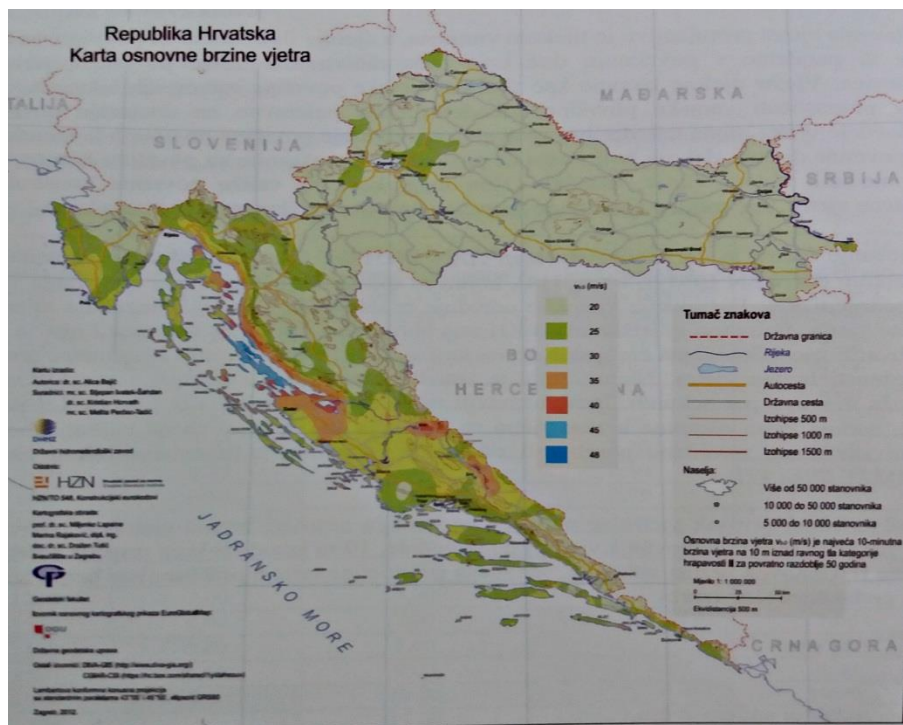
Слика 4.2. Оптерећење снегом

4.3. Оптерећење ветром

Оптерећење ветром је променљиво слободно деловање. Међутим, хала је висине 8м, те се утицај ветра узима као статичко оптерећење. Привремене констуркције могу се прорачунати и на мање оптерећење ветра. Нето притисак на површину је збир унутрашњег и спољашњег притиска. Објашњење је дато сликом 4.3.1.



Слика 4.3.1. Спољашњи и унутрашњи притисак



Слика 4.3.2. PX – Карта основне брзине ветра [4]

Табела 4.3. Поредбене брзине ветра с обзиром на зону [4]

Подручје	I	II	III	IV	V
$V_{ref,0}$ (m/s)	20.0	30.0	35.0	40.0	50.0

Спољашњи притисак ветра одредићемо уз помоћ основног или поредбеног притиска ветра а израз је дат формулом (4.3.1):

$$q_b = p/2 * v_b^2 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (4.3.1)$$

Где је:

v_b - основна брзина ветра

p - густина ваздуха $1,25 \text{ kg/m}^3$

Основна брзина ветра V_b , дата је изразом:

$$V_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} \quad (4.3.2)$$

Где је:

$v_{b,0}$ – фундаментална брзина ветра (за Сплит $v_{b,0} = 25\text{-}30\text{m/s}$)

c_{dir} – фактор смера (vrijedost 1,0)

c_{season} – фактор доба године (vrijednost 1,0)

Уносом ових података у образац за основну брзину ветра (4.3.2) добија се:

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 25,0 = 25 \text{ m/s}$$

$$q_b = 1,25/2 * 25,0^2 = 562,5 \text{ N/m}^2 = 0,391 \text{ kN/m}^2$$

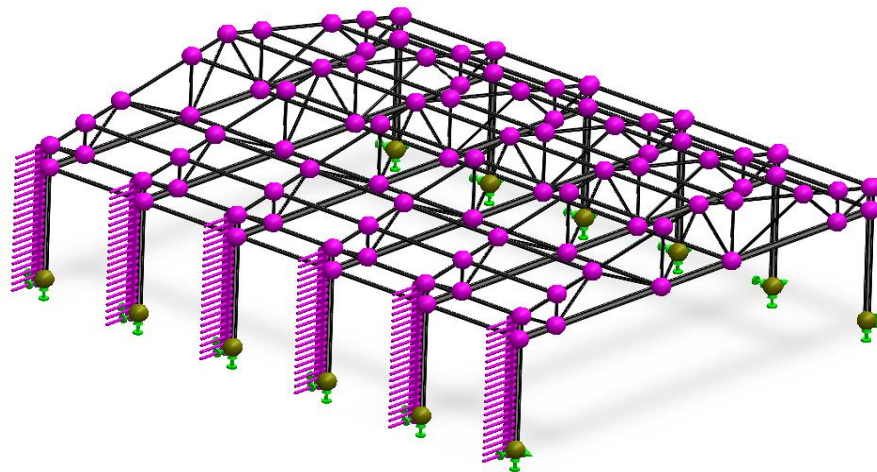
Површина бочне стране хале P_b износи:

$$P_b = 25 \times 6 \text{ m} = 150 \text{ m}^2$$

Вредност која је добијена означава притисак на једном метру квадратном, стога се та вредност множи са површином бочне стране хале:

$$q_b = 0,391 \text{ kN/m}^2 * 150 \text{ m}^2 = 58.65 \text{ kN}$$

Оптерећење конструкције услед притиска ветра приказано на слици 4.3.3.



Слика 4.3.3. Оптерећење ветром

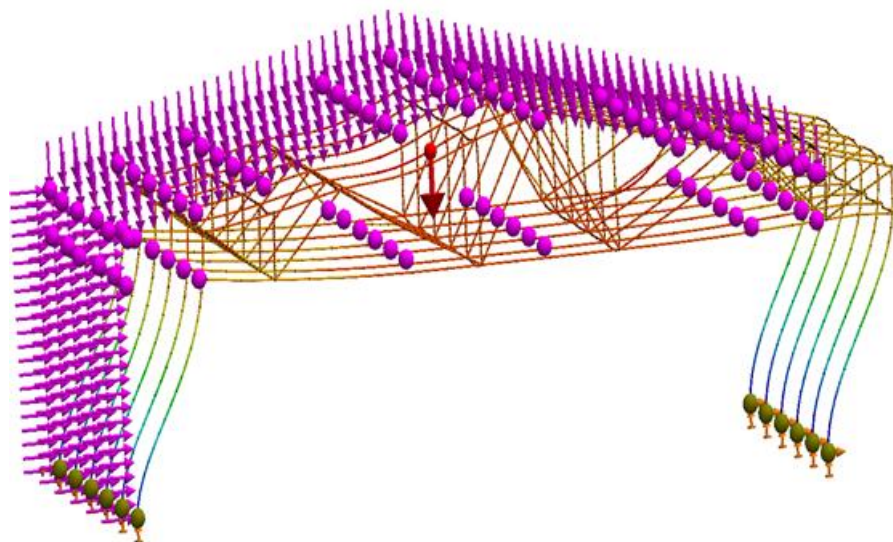
4.4. Укупно оптерећење хале

За одређивање стабилности конструкције након свих оптерећења потребан је програм у коме ће се извршити симулација.

Симулација је екпериментална метода која омогућава проучавање стварног процеса помоћу његовог модела на рачунару. Користи се у различитим гранама науке, нарочито техничким.

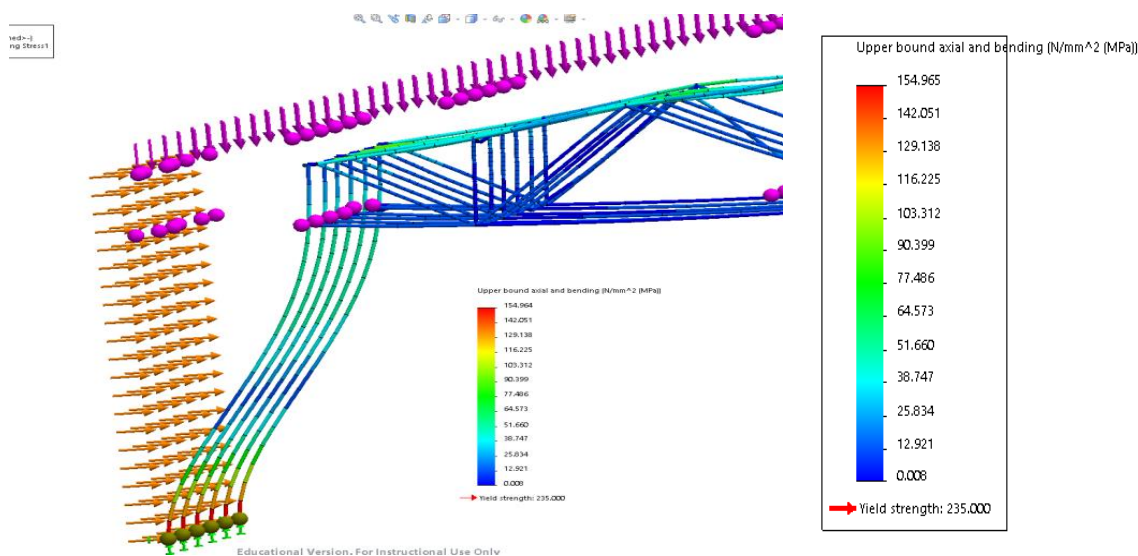
Основни концепт је креирани модел стварног система који се испитује и доделити му параметре из реалног окружења са циљем добијања одговарајућих резултата као што су трајност, стабилност, статички и динамички отпор, пренос топлоте и слично.

Инжењери првенствено користе структурну симулацију за одређивање снаге и крутости производа показујући компоненте напона и деформација. Да би се извршила симулација у програму, изабрати опцију *Simulation – New Study – Statics – Ok*. Додати вредности силе које су израчунате помоћу познатих коефицијената и норми - *External Loads*.



Слика 4.4.1. Померања елемената хале услед дејства свих оптерећења

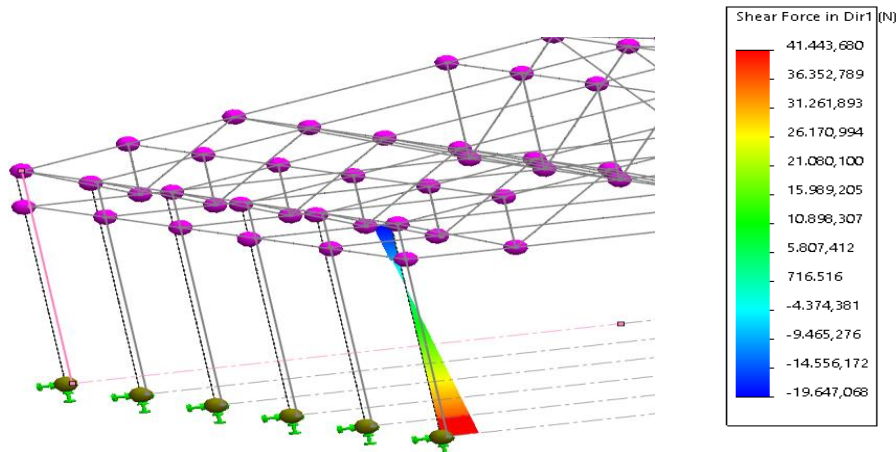
На слици се могу уочити зелене тачке на дну греда. Оне представљају фиксирана места на којима не долази до померања. То су спојеви ступа са темељом. Нижи делови греде обојени су плавом бојом, према дијаграму вредности померања су близу или једнаки нули. Према вишим деловима, боја се мења ка светло жутој и светло црвеној боји, што означава велика померања, до 20мм. Супротно томе, на местима где нема померања, појавиће се највећа напрезања, јер ће услед деловања оптерећења фиксни чворови тежити да одрже стабилност конструкције. На слици 4.3.6. Приказан је део конструкције (увећан) са дијаграмом напрезања, [MPa].



Слика 4.4.2. Напрезање елемената конструкције [MPa]

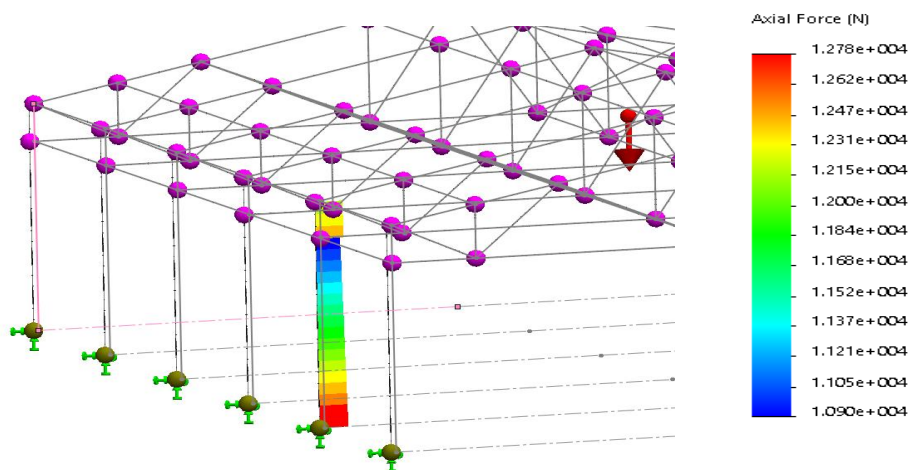
4.5. Дијаграми смицајних и нормалних сила

Смицање је врста деформације тела која настаје деловањем силе на њега, у којима силе делују паралелно са унутрашњим или спољашњим површинама тела. Варијабла која означава смичући напон је τ . Последица смицања су тангенцијална напрезања која леже у равнини пресека тела, а распоређена су по неком закону у зависности о начину деловања сила и момената.



Слика 4.5.1. Дијаграм смицајних сила [N]

Нормално напрезање добије се уколико на штап делују две једнаке и супротно усмерене силе. Нормално напрезање делује једнолико по попречном пресеку површине A , па је укупна сила у пресеку $\sigma \cdot A = F$. Дијаграм нормалних напрезања једне греде носиве конструкције приказан је на слици 4.5.2.



Слика 4.5.2. Дијаграм нормалних сила [N]

5. Спојеви

Спајање елемената конструкције врши се помоћу заковица, вијака или заваривањем. При томе се разликују растављиви и нерастављиви спојеви.

Греде решеткастог носача су заварене а главни ступови и решетка су спојени вијцима. Прорачун свих спојева извршиће се у програму, креирањем мреже коначних елемената, те ће се анализирати добијени резултати.

5.1. Вијчани спојеви

Једна од великих погодности металних конструкција јесте монтажа и демонтажа, која се остварује спајањем елемената помоћу вијака. За металне конструкције користе се вијци са метричким навојем, ознака је „М“ уз који стоји нумерички број који означава пречник вијка. [2]

Обзиром да су вијак и матица најчешће коришћени елементи на свим подручјима технике њихов облик, величина и материјал су стандардизовани.



Слика 5.1. Приказ вијчаних спојева[14]

Према класа механичких својстава одређује се двема скупинама бројева међусобно одвојених тачком. Први број означава влачну чврстоћу док други број означава колико посто од затезне чврстоће износи доња граница развлачења. Примери класа чврстоће вијака су 4.6, 4.8, 5.8, 8.8, 10.9 и 12.9.

На пример, ознака вијка 4.6.[5] :

Rm – Затезна чврстоћа

Први број $\times 100 = 4 \times 100 = 400 \text{ N/mm}^2$

Re – Граница еластичности

Први број x други број x 10 = 4 x 8 x 10 = 320 N/mm²

Додавање вијка у програму SolidWorks, изабрати опцију *Design Library – ToolBox – Add it now – ISO standard*.

Табела 1. Први број при означавању вијка[2]

Први број	3	4	5	6	8	10	12	14
Затезна чврстоћа N/mm ²	340	400	500	600	800	1000	1200	1400

Табела 2. Други број при означавању вијка[2]

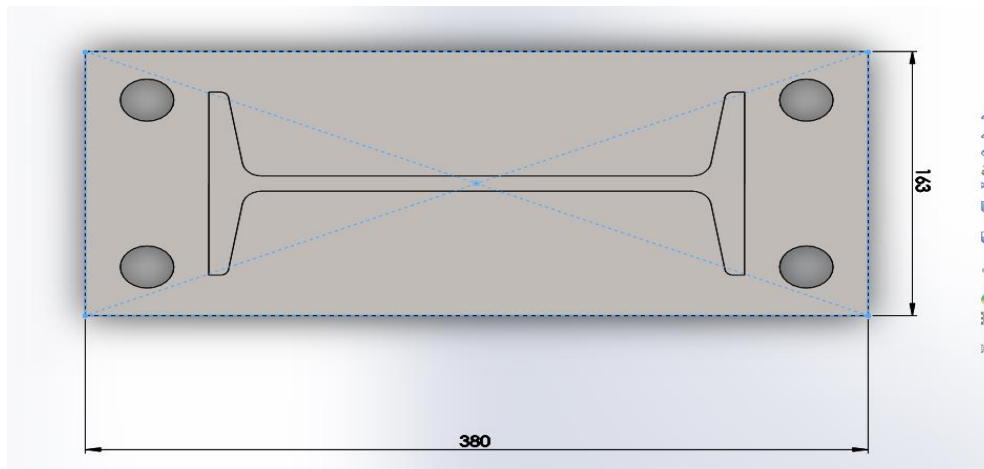
Други број	.6	.7	.8	.9
$\frac{\text{Доња граница течења} \cdot 10}{\text{Затезна чврстоћа}}$ [N/mm ²]	6	7	8	9

5.2. Спој ступа, плоче и темеља

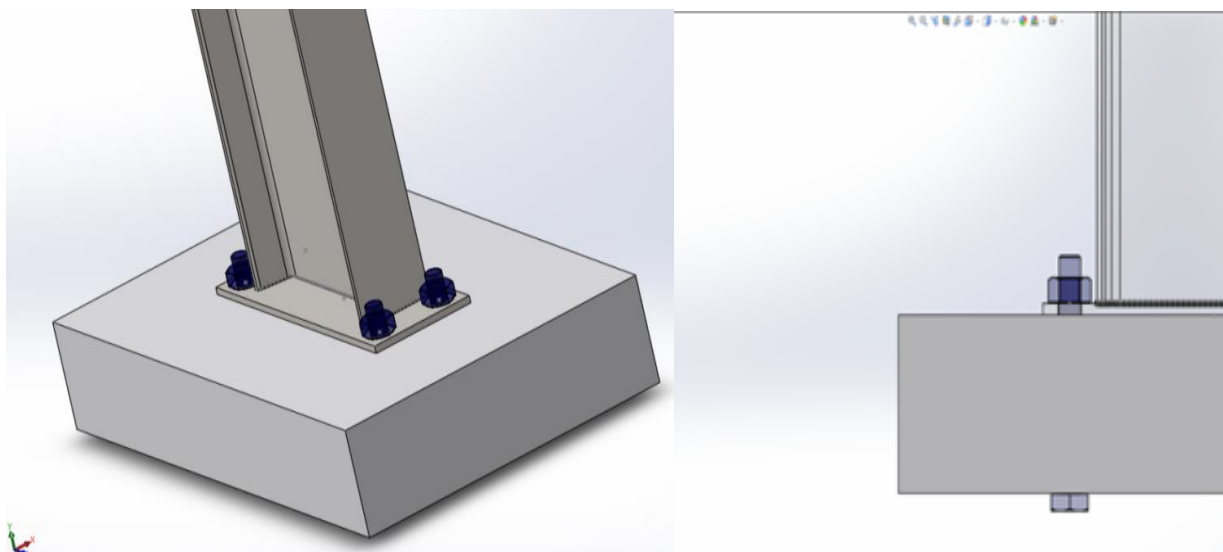
Главни носиви ступови су ослоњени на бетонске темеље тако да је на њиховом споју употребљена челична плоча димензије 380x163 мм. Ступови су везани за темељ вијцима M24x200.

Бетонски темељи су начин учвршћивања конструкције за подлогу, дебљина уливеденог бетона је 200 мм.

Приликом креирања мреже коначних елемената за цели спој ступа и темеља, биће обухваћени и вијчани спојеви, те ће се прорачунати њихова стабилност.



Слика 5.2.1. Спој ступа и плоче



Слика 5.2.2. Спој плоче и темеља помоћу вијака

6. Прорачун критичног споја

Прорачун критичног споја је најбитнија анализа конструкције. Састоји се у одређивању чврстоће конструкције, а то подразумева њену способност да у одређеном року не претрпи недозвољена оштећења. Анализа обухвата одређивање максималног тј. радног напрезања, упоређивање са допуштеним напрезањем и одређивањем степена сигурности. [1]

Услов чврстоће:

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{dop}} \quad (6.1)$$

Где је:

$\sigma_{\max}$ - Максимално тј. радно напрезање, зависи од оптерећења којем је изложена конструкција, о врсти примењеног материјала, распореду главних и секундарних елемената и слично.

σ_{dop} - Допуштено напрезање је мјеродавна карактеристика чврстоће материјала. Ако су напрезања статичка, битно је да не дође до лома, па ће мјеродавна карактеристика чврстоће бити максимална влачна чврстоћа R_m . Ако су оптерећења временски променљива тј. динамичка, мјеродавна карактеристика биће динамичка чврстоћа, граница замора R_D .

Ове вредности различите су за различита оптерећења (притисак, затезање, торзија, савијање). Још једна битна карактеристика је степен сигурности S (Factor of Safety). Треба бити већи или једнак потребном степену сигурности.

$$S \geq S_{\text{potr}} \quad (6.2)$$

Где је:

S_{potr} - Потребан степен сигурности, изима се искуствено, а границе су му одређене проценом висине штете, што мањим утршком материјала, тј. ценом производа. Изабрана вредност је:

$$S_{\text{potr}} = 1.5$$

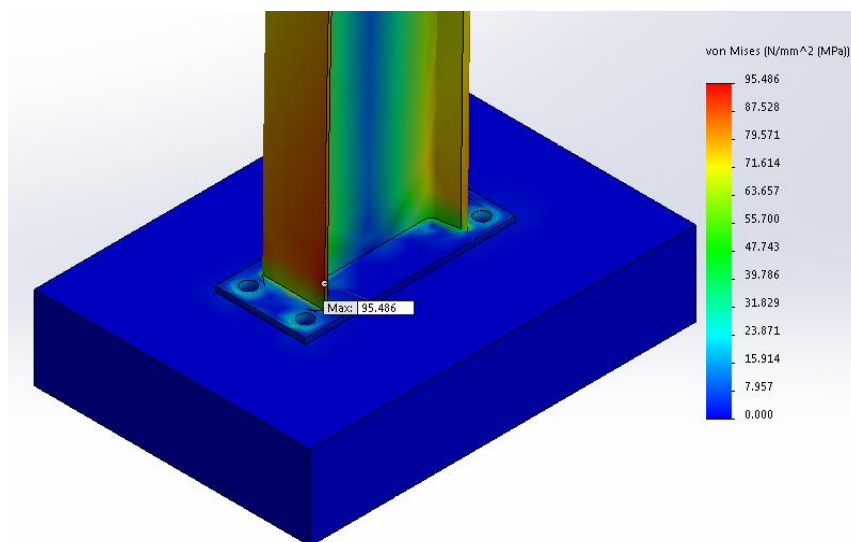
Вредност допуштеног напрезања је:

$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{Re}{S_{\text{potr}}} \quad (6.3)$$

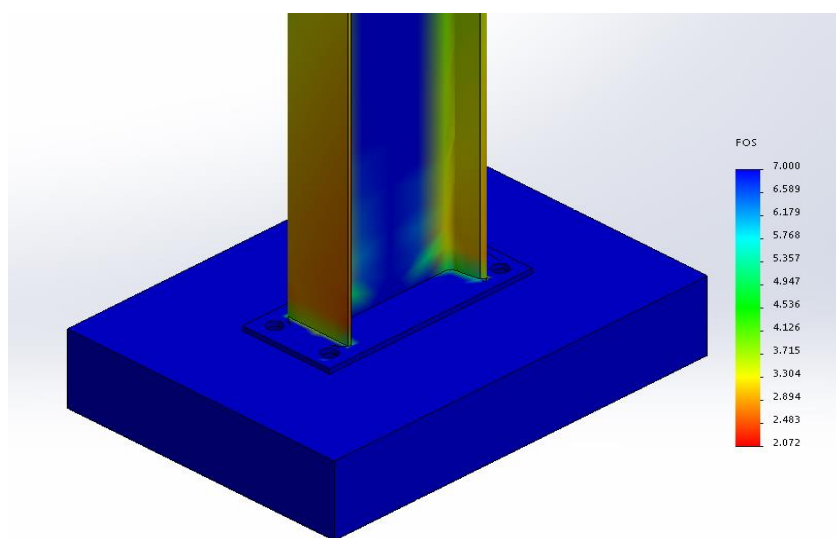
$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{Re}{S_{\text{potr}}} = \frac{235}{1.5} = 156.66 \text{ N/mm}^2$$

Максимално напрезање одређује се у софтверу Solidworks, коришћењем пакета Simulation. Основни принцип је креирање мреже коначних елемената на већ постојећем геометријском моделу. Мрежа обухвата вијчане спојеве ступа и плоче, те спој плоче са темељом. Развој мреже подразумева дефинирање основних елемената: тачака, линија, запремина, површина и коначних елемената. Могу се генерисати дводимензионалне и тродимензионалне мреже. Густина мреже бира се произвољно, с порастом густине, добијају се прецизнији и бољи резултати.

За покретање симулације у софтверу изабрати опцију *Simulation –New Study – Create Mesh – Run This Study.* [7]



Слика 6.1. Симулација оптерећења критичне тачке



Слика 6.2. Фактор сигурности на месту критичне тачке

Бетонски ступ има варијације напрузања од 0-95.486 [МПа] што се може видети на графику поред слике 6.2. Највеће напрезање, означено црвеном бојом, налази се на месту где се пружа највећи отпор ударима ветра, неколико милиметара од споја са плочом, јер се ту налази заварен спој који му даје додатну чврстоћу. Око вијчаних спојева примећује се плава боја у односу на боју бетона

где је напрезање σ [МПа] из разлога што вијци теже одвијању а највећи напор трпи материјал око матице.

Провера услова чврстоће (6.1) :

$$\sigma_{\max} = 95.486 \text{ МПа} = 95.486 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{dop}}$$

95.486 МПа < 156.66 МПа  Услов задовољава. Конструкција је стабилна.

7. Закључак

Главна идеја рада је да се помоћу програма Solidworks изврши прорачун хале од стандардних ваљаних профила, те се на основу добијених резултата врши ОПТИМИЗАЦИЈА. Циљ је наћи најпогодније решење за израду оваквог пројекта, како би се знатно уштедео материјал, средства за одржавање конструкције и пре свега време. Софтверска подршка данас омогућава много бржи и лакши начин димензионисање елемената конструкције, тј. избегава се пешачки принцип рада.

Овим радом су прорачунати основни елементи који утичу на стабилност конструкције, те су представљене многобројне предности које се заснивају на њиховој великој чврстоћи, еластичности и пластичности. Наравно, ту се појављују недостаци као што су слаба отпорност на избијање пожара и појава корозије. Зависно од степена угрожености, примењују се многобројне методе заштите, што оставља простора за истраживање ове области у будућности.

Основни захтев за металне конструкције је њихова додатна сигурност против отказивања носивности, а одређује се техничким прописима о пројектирању конструкција, те условима одржавања и експлоатације. Примењен је међународни пропис *Eurocode*.

У првом случају, конструкција, односно главни носећи ступови су димензионисани елементима IPN 120, те је симулацијом у софтверу Solidworks добијен степен сигурности, $S \approx 1$, те услови чврстоће нису били задовољени, што би могло означити лом конструкције услед променљивих оптерећења или краatak век трајања. То се могло побољшати на више начина:

- Постављање секундарних конструкција
- Спајањем профила и јачање стубова
- Одабир већих профила
- Одабир квалитетнијег и скупљег материјала и слично

Изабран је метод постављања већих и стабилнијих профила, односно профили IPN 120 су замењени профилима IPN 260. Након симулације у софтверу, утврђена је стабилност конструкције и услови чврстоће су задовољени.

Оно што овим радом није обухваћено је ручни прорачун решеткастог носача, тј њихових спојева. Претпоставка је да су штапови заварени, и симулација напрезања целе конструкције је извршена у програму, те овај рад оставља простор за даље истраживање и прорачуне.

Напредак у овој области у будућем раду огледа се кроз:

- Побољшање материјала у погледу механичких карактеристика
- Остварење већег квалитета за исту цену конструкције
- Нове технологије, аутоматизација..

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Андрић В., Дујмовић Д., Џеба И., Металне конструкције 1, Институт Грађевинарства Хрватске, Загреб 1994.
- [2] Домазет Ж., Крстуловић-Опара Л., Факултет Електротехнике, Стројарства и Бродоградње, Сплит 2009.године
- [3] Буђевац Д., Марковић З., Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд 2007.
- [4] HRN EN 1991-1-3/NA: Eurocode 1, HRN EN 1991-1-4/NA- Деловање на конструкцију-део 1: 1-3: Општа деловања Национални додатак, ХЗН, 2011.
- [5] Јеласка Д., Елемети стројева, Факултет Електротехнике, Стројарства и Бродоградње Сплит, 2011.
- [6] European Standard EN 10027-1, Designation system for steel – Part 1
- [7] Solidworks Guide; Introduction to Stress Analysis Applications; Dassault Systems Solidworks Corporation 01742 U.S.A.
- [8] Стројарски приручник, Бојан Краут, Техничка књига, Загреб 2009.
- [9] Геометријске карактеристике челичних профила, *European Sections*
- [10]
https://www.google.rs/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=coalbrookdale&oq=coalbrookdale&gs_l=psy-ab..3..0i19k1l4.92909.96131.0.96888.20.16.0.0.0.142.1210.11j3.14.0....0...1.1.64.psy-ab..8.11.971...0j0i10k1j0i13k1j0i13i10k1.0.Q8WoHLuzFNI#imgdii=NOXWQGMsDFyM1M:&imgsrc=F7TqCKdZNV5uuM: преузето 15.09.2017
- [11]https://www.google.rs/search?q=metalna+hala&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjTxuL1o7PWAhXBsxQKHTrKB9oQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=6YFPNjjg00cWM:преузето 15.09.2017
- [12]https://www.google.rs/search?q=%D1%80%D0%B5%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%BA%D0%B0%D1%81%D1%82+%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B0%D1%87&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjtnp7PWAhW10xQKHVGwA6UQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgsrc=8ZBA_q0016WLM: преузето: 12.09.2017

[13]https://www.google.rs/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=%D0%B2%D0%B0%D1%99%D0%B0%D1%9A%D0%B5+%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B8%D0%BB%D0%B0&oq=%D0%B2%D0%B0%D1%99%D0%B0%D1%9A%D0%B5+%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B8%D0%BB%D0%B0&gs_l=psy-ab.3...156352.160016.0.160422.14.14.0.0.0.148.1066.11j1.12.0....0...1.1.64.psy-ab..2.2.175...0j0i30k1j0i5i30k1j0i24k1.0.K6plrgezqRQ#imgsrc=pJmY0Y6XaqfZeM:преузето 05.09.2017

[14]https://www.google.rs/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=vijcani+spoj+greda&oq=vijcani+spoj+greda&gs_l=psy-ab.3...6365.9389.0.9566.6.6.0.0.0.113.486.3j2.5.0....0...1.1.64.psy-ab..1.0.0....0.CXWdMUcP0ZE#imgsrc=Pu7Dri1UrtV_wM: преузето 15.09.2017