



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jaani Vainio

SBI-teräsrakenneliitokset

Opinnäytetyö
Kevät 2022
Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennus

Tekijä: Jaani Vainio

Työn nimi: SBI-teräsrakenneliitokset

Ohjaaja: Arto Saariaho

Vuosi:2022

Sivumäärä: 34

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön aiheena oli taulukkolaskentaohjelmalla toteutettu yleisten teräsrakenneliitoksien laskentapohja Ruotsin teräsrakenneyhdistyksen mukaan. Excel-laskentapohja meni Sitowisen käyttöön suunnittelijoiden työtä helpottamaan. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia Sitowiselle suunnittelun tueksi. Nämä liitokset olivat BB3, BP1, PT3 ja PT5. Jokaisesta liitoksesta on tehty oma laskentapohjansa. Liitokset ovat tehty Eurokoodin EN1993-1 ja EN1993-1-8 mukaan kansallisine liitteineen (NA). Liitokset ovat yleisiä teräsrakentamisessa käytettyjä liitoksia. Liitokset ovat avoprofiililiitoksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli myös esitellä lukijalle teräsrakentamisen historiaa, teräksen valmistusmenetelmiä nyt ja tulevaisuudessa, sekä sen käyttöä rakennusmateriaalina. Tämän jälkeen käydään lävitse yksi mahdollinen teräслиitos ja sen laskentateoriaa. Opinnäytetyössä on hyödynnetty sekä teoriaa että käytännön kokemusta.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyneen Excel-laskentapohjan uskotaan nopeuttavan ja antavan varmuutta jatkossa tehtävien teräsrakenneliitoksien mallintamisessa ja laskennassa. Opinnäytetyön tuloksena tehdyt liitokset julkaistaan Sitowisen teräsrakenteiden laskentapohjiin ja Tekla Structures-ympäristöön makroina. Opinnäytetyön tuloksena julkaistut laskentapohjat ovat salaisia.

¹ Asiasanat: teräsrakentaminen, Excel, teräслиitos, rakennesuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Jaani Vainio

Title of thesis: SBI-steelstructural joints

Supervisor: Arto Saariaho

Year:2022

Number of pages: 34

Number of appendices: 0

The topic of the thesis was the calculation base of general steel construction joints, according to the Swedish Steel Structural Association. The calculation base will be used by Sitowise to simplify the work of their designers. The thesis detailed steel construction in general, the history of steel and steel as a material. The thesis included an example of a complete joint work. These joints are BB3, BP1, PT3 and PT5 Each joint has its own calculation base. The joints have been made according to the Eurocode EN1993-1 and EN1993-1-8, with national annexes (NA). Joints are open profile joints.

The thesis also to aimed present the reader the history of steel construction, steel manufacturing methods now and in the future, and the use of steel as a building material. After that, one example of a steel joint and its calculation theory was described. The thesis utilized both theory and practical experience

The Excel calculation base formed as the result of the thesis is thought to accelerate and provide certainty for the calculating and modelling of future steel structures. The joints calculation base resulting from the thesis will be published in the Sitowises steel structures calculation bases and Tekla Structures in the environment as macros. The calculus bases resulting from the thesis are secret

¹ Keywords: steel construction, excel, steel joint, structural engineering

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Opinnäytetyön tavoite.....	7
1.3 Työnrakenne	7
1.4 Yritysesittely	8
2 TERÄSRAKENTAMINEN	9
2.1 Teräsrakentamisen historiaa	9
2.2 Teräksen valmistus	11
2.3 Teräksen valmistus tulevaisuudessa.....	13
2.4 Teräs rakennusmateriaalina	13
2.5 Teräsrakenteiden liittäminen toisiinsa	17
2.5.1 Pulttiliitokset.....	17
2.5.2 Hitsattavat liitokset.....	19
3 TERÄSPILARI, -PALKKI LIITOKSEN LASKENTA ESIMERKKI	22
3.1 Alkutilanne.....	22
3.1.1 kuormitus	23
3.1.2 materiaalin ja liitos tyyppin valinta.....	23
3.2 Laskenta.....	24
3.3 Laskennan lopputulokset ja yhteenveto	27
4 TULOKSET JA YHTEENVETO	28
5 POHDINTA.....	32
LÄHTEET	33

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Ironbridge helmikuussa 2019 (Whales Seth, 2020)	9
Kuva 2. Maailman korkein rakennus Burj Khalifa ibn Zayid (Smarko, 2016).....	10
Kuva 3. Masuuniuuni terästehtaassa (Zephylwer0 2015)	11
Kuva 4. Teräsrunkohalli runkorakennusvaiheen jälkeen. (burdette, 2013)	15
Kuva 5. Frami F Seinäjoki -rakennus, jossa on käytetty julkisivulevyjä.....	16
Kuva 6. Rakennus, jossa on käytetty teräksisiä julkisivu elementtejä.....	16
Kuva 7. Teräskaarihalli (Aaericks, 2015)	22
Kuvio 1. I-profiili muoto (Hiro 2005)	10
Kuvio 2. WB- ja WQ- palkin poikkileikkaus	13
Kuvio 3. Termorankojen erilaisia profiileja	15
Kuvio 4. Ruuvien keskiö- ja reunaetäisyyksiä voiman suunnan mukaan, (perustuu SFS-EN 1993-1-11).	19
Kuvio 5. Yleisimpien liitosten poikkileikkaus, nimitys ja piirustusmerkintä (Kalamies i.a.).....	20
Kuvio 6. Hitsauksien poikkileikkauksia ja osien selitteitä (Kalamies i.a.).....	21
Kuvio 7. pienahitsien merkintä (Kalamies i.a.)	21
Kuvio 8. Pienahitsin a-mitta (Kalamies, i.a.).....	21
Kuvio 9. Malli hallin pilari-palkkiliitoksesta (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 31).....	22
Kuvio 10. Liitoksen pilarin päätälevyn alareunaan hitsattu asennusaikainen tuki (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 31).....	24

Kuvio 11. Liitoksen merkinnät, (perustuu Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 31)	25
Kuvio 12. Laippojen yläpuolen ruuvit lasketaan T-poikkileikkauksenlailla, (perustuu Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 32)	25
Kuvio 13. Esimerkkisivu tehdystä Excel-pohjasta, liitos PT3 löytyy kirjasta P186: Ramhörn och pelartopp	28
Kuvio 14. Esimerkkisivu tehdystä Excel-pohjasta, liitos PT3 löytyy kirjasta P186: Ramhörn och pelartopp	29
Kuvio 15. Esimerkki pilaripalkkiliitoksesta, josta on tehty laskentapohja. Pilariin on kiinnitetty tukipala, BP1 löytyy kirjasta P185: Balk-pelarfästning (Stålbyggnadsinstitutet, 2004).....	30
Kuvio 16. Esimerkki pilaripalkkiliitoksesta, josta on tehty laskentapohja, PT5 löytyy kirjasta P186: Ramhörn och pelartopp (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 39)	30
Kuvio 17. Esimerkki palkki-, palkkiliitoksesta liitoslevyllä, BB3, josta on tehty laskentapohja. P188: Balk-balkinfästning (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 33).....	31
Taulukko 1. Pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyys ruuveille, (perustuu SFS-EN 1993-1-11).	18

1 JOHDANTO

Tässä osiossa käsitellään opinnäytetyön taustaa, tarvetta ja rakennetta.

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön aiheena on yleisien teräsrakenneliitoksien mitoittaminen Excel-ohjelmalla. Pultattuja teräsrakenneliitoksia käytetään yhdistämään rakenteet työmaalla toisiinsa. Hitsausliitoksia pyritään työmaalla välttämään, koska tehdasolosuhteissa olosuhteet ovat hitsaukselle paremmat. Kuljetusten ja asennettavuuden kannalta pulttiliitokset soveltuvat hyvin työmaalle. Hitsaus keskitetään sinne, missä se voidaan tehdä tehokkaimmin ja luotettavimmin eli tehdasolosuhteisiin.

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on Excel-laskupohjan tekeminen teräsrakenneliitoksista Ruotsin teräsrakenneyhdistyksen (SBI), Eurokoodin EN1993-1 ja EN1993-1-8 mukaan. Laskupohjat tehdään liitoksesta BB3, joka löytyy kirjasta P188: Balk-balkinfästning, BP1 löytyy kirjasta P185: Balk-pelarinfästning, PT3 ja PT5 molemmat löytyvät kirjasta P186: Ramhörn och pelartopp. Tässä opinnäytetyössä käydään lävitse vain yhden liitoksen laskenta mallin mukaisesti

1.3 Työnrakenne

Opinnäytetyön teoriassa käsitellään teräsrakentamisen historiaa, sen jälkeen käsitellään terästä rakennusmateriaalina, kuten esimerkiksi teräksen valmistusta. Miten se eroaa esimerkiksi raudasta ja teräksen eroa muihin rakennusmateriaaleihin. Tämän jälkeen käydään lävitse yleisimpiä liitostapoja, jotka on jaettu kahteen pääryhmään, hitsiliitoksiin ja pulttiliitoksiin. Viimeisenä käydään läpi yksi teräksen avoliitos esimerkinomaisesti lävitse.

1.4 Yritysesittely

Sitowise on pohjoismainen rakennetun ympäristön asiantuntija- ja digitalo (Sitowise, i.a.). Sitowise syntyi, kun Sito Oy ja Wise Group yhdistyi vuonna 2018 ja on sen jälkeen kasvanut yritysostoin (Intera partners, 2017). Sitowise listautui pörsiin keväällä 2021 (Sitowise, i.a.).

Sitowisellä työskentelee tällä hetkellä noin 2 200 asiantuntijaa ja yrityksen liikevaihto oli vuonna 2020 160 miljoonaa euroa (Sitowise, i.a.). Tällä hetkellä yritys toimii Suomessa ja Ruotsissa. Yrityksellä on toimipisteet myös Virossa ja Latviassa, joissa tehdään projekteja Suomeen ja Ruotsiin. Sitowisellä on 16 toimipistettä Suomessa, pääkonttori sijaitsee Espoossa. Sitowise tarjoaa asiantuntiapalveluita kolmella eri liiketoiminta-alueella: talosuunnittelu, infrasuunnittelu ja digitaaliset ratkaisut.

Tämä opinnäytetyö on tehty Sitowise Rakennetekniikka Pohjanmaalle ja Seinäjoen toimipisteelle.

2 TERÄSRAKENTAMINEN

Tässä osuudessa tutustutaan teräksen historiaan ja tulevaisuuteen sekä siihen rakennusmateriaalina. Lisäksi käsitellään teräksen ominaisuuksia ja tyypilliset rakennusmenetelmät.

2.1 Teräsrakentamisen historiaa

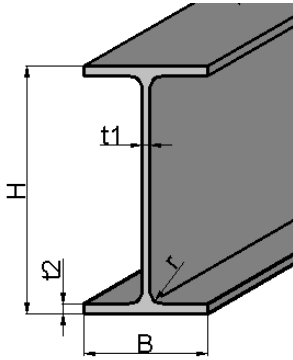
Teräs on melko uusi keksintö. Aluksi siitä tehtiin vain liitostarvikkeita, kuten nauvoja, vaarvoja ja hakoja. 1500-luvulla terästankojen ja -levyjen taonta alkoi kehittyä (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 14). 1700-luvulla teräsrakentaminen yleistyi kattopeltien yleistymisen myötä. Ensimmäinen merkittävä teräs- ja rautarakennelma on Ironbridge (kuva 1), joka rakennettiin 1776–1779. Se on vieläkin ehjänä paikallaan ja käytössä Englannin Shropshiressä.



Kuva 1. Ironbridge helmikuussa 2019 (Whales Seth, 2020)

Maailman tunnetuin teräsrakennelma on todennäköisesti Eiffel-torni, joka rakennettiin vuonna 1889 (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 15). Torni on 300 m korkea ja sen suunnitteli Gustave Eiffel. Eiffel-torni on ristikkorakennelmatekniikan mestariteos. Tornin eri osien yhteen liittämässä käytettiin niittausta, joka oli 1900-luvun alkuun asti käytetyin liitosmenetelmä.

Teräksen nykyaikainen massatuotanto alkoi vasta 1855 (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 15–16). Tuohon aikaan valssattiin pelkästään peltiä tai kulmaliitoksia. Vuonna 1895 yhdysvaltalainen metalliteollisuuden yhtiö Carnegie Steel patentoi I-palkki valssauksen (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 15–16).



Kuvio 1. I-profiili muoto (Hiro 2005)

I-palkkeja voidaan käyttää pilareina ja palkkeina ja niiden käyttöönoton takia kerrostalorakentaminen kasvoi nopeasti, koska niillä saatiin pitkiä jännevälejä ja suuria kuormia siirrettyä melko pienillä rakenteilla (kuvio 1) (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 16). 1900-luvun alussa keksittiin hitsaaminen ja se yhdessä ruuviliitoksen kanssa syrjäytti niittauksen liitosmenetelmänä. Perusta nykyaikaiselle teräsrakentamiselle oli luotu.

Teräsrakentaminen vauhditti korkeiden rakennusten rakentamista. Pilvenpiirtäjässä teräs on paras vaihtoehto sen ison kantokyvyn takia (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 16). Kuuluisista pilvenpiirtäjistä voidaan esimerkiksi mainita World Trade Center-kaksoistornit, jotka valitettavasti tuhoituivat terrori-iskussa, sekä maailman korkein rakennus Burj Khalifa ibn Zayid, joka on 823 m korkea. (Kuva 2.)



Kuva 2. Maailman korkein rakennus Burj Khalifa ibn Zayid (Smarko, 2016)

2.2 Teräksen valmistus

Teräksellä tarkoitetaan raudan ja hiilen seosta, jossa hiilipitoisuus on pienempi kuin 1,7 prosenttia. Jos kuitenkin hiilipitoisuus ylittää tämän, silloin kyseessä on valurauta (Teräsrakenneyhdistys, 2020, s. 17). Rakennusalla kantavissa rakenteissa käytettävää terästä kutsutaan rakenneteräkseksi tai hiiliteräkseksi.

Teräksestä saadaan monia erilaisia ominaisuuksia, kuten sitkeyttä, ruostumattomuutta ja pintakovuutta lisäämällä seosaineita ja säätelämällä hiilin määrää valmistusvaiheessa (Teräsrakenneyhdistys, 2020, s. 17). Mikrorakenteeseen voidaan vaikuttaa kolmella eri tavalla, jotka ovat seostaminen, muokkaaminen ja lämpökäsittely.

Teräksen valmistuksessa pääraaka-aineena voidaan käyttää rautamalmia tai kierrätysterästä (Teräsrakenneyhdistys, 2020, s. 17–18). Malmipohjaisessa valmistuksessa kierrätysteräksen osuus on maksimissaan 40 prosenttia. Kun kierrätysteräksestä valmistetaan uutta materiaalia, valmistus tapahtuu valokaariuuniprosessilla. Nykyään kierrätysteräksen osuus on noin 32 prosenttia maailmalla ja EU-alueella jopa 55 prosenttia. Teräs on yksi maailman kierrätetyimmistä materiaaleista ja se on ainutlaatuinen materiaali siksi, että se säilyttää ominaisuutensa jokaisen kierrätyskerran jälkeen. (Teräsrakenneyhdistys, 2020, s.17–18). Kierrätetyn teräksen käyttö terästuotannossa vähentää hiilidioksidipäästöjä ja säästää luonnonvaroja. Kierrätysteräs ei riitä yksin kattamaan teräksen kysyntää, siksi uutta terästä on valmistettava myös rautamalmita.



Kuva 3. Masuuniuuni terästehtaassa (Zephylwer0 2015)

Suurin osa louhitusta rautamalmista valmistetaan raakaraudaksi. Raakaraudan valmistamisessa käytetään rautarikastetta, koksia ja kalkkikiveä (Teräsrakenneyhdistys, 2020, s. 18). Koksen tarkoitus on tässä prosessissa pelkistää rautaoksideja raudaksi sisältämänsä hiilen ja korkean lämpötilan avulla. Kalkkikiven tehtävä on sitoa itseensä epäpuhtauksia, joita syntyy raudan valmistusprosessissa. Kuona on kevyempää kuin rauta, joten se kelluu sulan raudan pintaan ja näin suojaa rautaa hapettumiselta.

Sula metalli on tässä vaiheessa laskenut masuuniuunin pohjalle, josta se on helppo kerätä talteen (kuva 3.) (Teräsrakenneyhdistys, 2020, s. 18). Sulaa metallia kutsutaan tässä vaiheessa raakaraudaksi. Se sisältää noin 4–5 prosenttia hiiltä, joka tekee siitä erittäin hauraan. Raakarauta sisältää myös pieniä määriä muita ei-toivottuja materiaaleja, kuten piitä, mangaania, rikkiä ja fosforia. Sulan metallin keräämisen jälkeen raakaraudasta poistetaan rikki rikinpoistokäsittelyssä. Raakarauta on nyt valmista jatkojalostettavaksi teräkseksi ja muiksi raudan jatkojalostus tuotteiksi.

Jotta raakaraudasta saadaan terästä, täytyy sen hiilipitoisuutta laskea alle 0,2 prosenttiin (Teräsrakenneyhdistys, 2020, s. 18). Tämä tapahtuu puhaltamalla puhdasta happea sulan raakaraudan lävitse, se syrjäyttää ja poistaa ei-toivottua hiilipitoisuutta. Tätä prosessia kutsutaan melotukseksi.

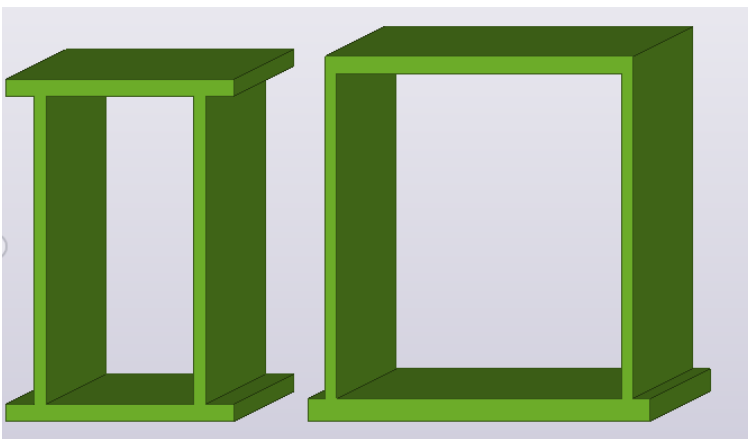
Mellotuksen jälkeen sula rauta sisältää liikaa happea, joka hiilen kanssa reagoidessaan muodostaa hiilimonoksidia, joka kovettuessaan tekee raudasta huokoisen (Teräsrakenneyhdistys, 2020, s. 18). Hiilimonoksidin muodostumisen voi kuitenkin estää tiivistämällä teräksen, mikä sitoo sulassa raudassa olevan hapen. Teräksen tiivistyksessä sulan raudan sekaan kaadetaan piitä ja alumiinia. Tämän jälkeen teräs on valmis käytettäväksi jatkojalostuksessa valmistettaviin tuotteisiin. Teräksen valmistus on pitkä ja monivaiheinen prosessi (kuva 3).

2.3 Teräksen valmistus tulevaisuudessa

Nykyään teräksen tuotanto maailmalla tuottaa 7–9 prosenttia maailman päästöistä. Se on noin kolminkertainen määrä lentoliikenteeseen verrattuna (Sipola, 18.8.2021). Esimerkiksi Suomessakin Raahan SSAB:n terästehdas tuottaa pelkästään 7 prosenttia Suomen päästöistä. Tähän ongelmaan SSAB on kehittänyt ratkaisun, jossa vedestä erotetulla vedyllä voitaisiin rikastaa teräs hiilen sijan. Mutta tämä teknologia on kallista ja vie paljon sähköä, joka pitäisi tuottaa myös uusiutuvalla tavalla, jos haluttaisiin tuottaa terästä täysin hiilineutraalisti. Tämä kuitenkin olisi asiantuntijoiden mukaan mahdollista ottaa kokopäiväiseen käyttöön Suomessa vuoteen 2040 mennessä. SSAB:n Ruotsin tehtailla olisi mahdollista korvata nykyinen sähköntuotanto tuulivoimalla melko helposti, jolloin virtaa jäisi ylitsekin asutusalueiden käyttöön. SSAB pyrkii edistämään hiilineutraalin teräksen valmistuksen kannattavuutta Pohjoismaissa.

2.4 Teräs rakennusmateriaalina

Rakennusteollisuudessa teräksestä käytetään kolmea erilaista tuotetta, jotka ovat kuuma- valssattu, kylmävalssattu ja hitsatut teräspalkit (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 33). Kylmävalssatut tuotteet ovat yleensä ohuita ja laakeita, kuten esimerkiksi rakennuspellit. Kuuma- valssatut tuotteet ovat järeämpiä tankoja, kuten esimerkiksi pyörö- ja lattatangot (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 33). Näihin tankoihin luetaan myös HEA-, HEB-, HEM-, IPE-, UNP- ja UPE-profiileja. Yleensä Suomessa käytetään IPE- ja HEA-tankoja, joita käytetään rakennuksissa ensisijaisesti pilareina ja palkkeina. Hitsatut palkit valmistetaan hitsaamalla erilaisia lattateräksiä toisiinsa kiinni, kuten esimerkiksi delta-, WQ- ja WB-palkkeja (kuvio 2.).



Kuvio 2. WB- ja WQ- palkin poikkileikkaus

Teräksen rakenteen etuja ovat keveys ja lujuus suhteessa sen painoon. Tämä pienentää tarvittavien terästen ulkomittoja, mikä lisää rakennuksen hyöty tilaa (Väisänen, 2007, s. 28). Työmaalla teräksen liitokset on helppo toteuttaa ja teräkseen on mahdollista liittää lisäterästä, esimerkiksi hitsaamalla. Myös teräksen kestävyys ja muut ominaisuudet on helppoa laskea, koska siinä on homogeeninen rakenne. Teräsrakenne kestää hyvin palamattomana tuotteena palotilanteissa ja erilaisissa olosuhteissa, koska korroosion eteneminen on hidasta materiaalissa. Kaikista materiaaleista teräs kestää parhaiten kulutusta, jonka takia siitä tehdään esimerkiksi kiskoja (Väisänen, 2007, s. 28).

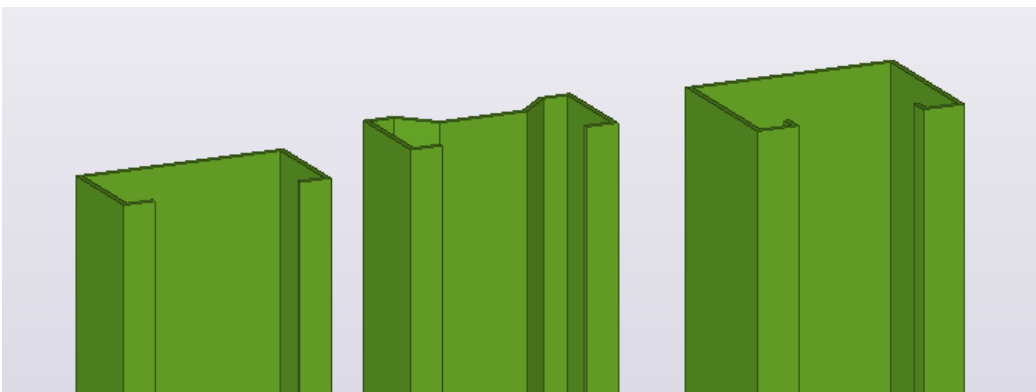
Teräksellä on myös huonoja puolia, kuten sen kalleus. Materiaali menettää myös lujuutensa korkeassa lämpötilassa nopeasti, eli jos terästä ei suojata, se ei saavuta korkeampia palovaatimusluokkia (Väisänen, 2007, s. 28). Pinnan korroosio on haitallista ja heikentää profiileja. Se pyritään estämään tavalla tai toisella. Esimerkiksi paaluissa lisätään korroosiovaraa ja pintakäsittelyllä korroosio estetään (Väisänen, 2007, s. 28). Terästä ei yleensä haluta muokata työmaalla, koska se on melko kallista. Sen kalleus johtuu työmaan puutteellisista koneista, varsinkin jos kyseessä on jokin suuri palkki tai pilari. Myös teräksen hitsaaminen on hankalampaa työmaalla sen muuttuvien olosuhteiden takia. Hitsaamisessa teräksen pitää olla puhdasta ja lämmintä, tämän takia hitsaukset on parempi tehdä hallituissa olosuhteissa kokoonpanotehtaalla.

Teräksestä voidaan valmistaa melkein mikä tahansa rakennusosa (Väisänen, 2007 s. 65). Siitä voidaan valmistaa esimerkiksi kolmea erilaista paalua: pora-, RR- ja X-paaluja. Käyttökohteita ovat pientalojen perustukset ja korjausrakentamisessa vanhojen perustuksien vahvistaminen riippuen maanpohjaolosuhteista. Teräksestä voidaan myös tehdä perustuksia, mutta ne ovat hieman harvinaisempia.

Runkorakenteissa teräksestä voidaan tehdä kantavia osia ja ei-kantavia väliseiniä. Kantavassa rakenteessa terästä yleensä käytetään pilari-palkkirakenteena (kuva 4), jossa teräksestä tehdyt runkorakenteet kantavat koko rakennuksen kuormat (Väisänen, 2007, s. 65, 71). Rakennus jäykistetään tuulisiteillä rakennuksen päistä tai levyjäykisteellä tekemällä kattorakenteesta yhdessä toimiva yksikkö. Ei-kantavissa rakenteissa käytetään termorankoja. Ne ovat erittäin kevyitä ja helposti asennettavia. Termorankojen asennuksen edut ovat nopeus, helppous ja materiaalin tasalaatuisuus (kuvio 3).



Kuva 4. Teräsrunkohalli runkorakennusvaiheen jälkeen. (burdette, 2013)



Kuvio 3. Termorankojen erilaisia profiileja

Teräksestä valmistetaan lisäksi erilaisia elementtejä ja peltiprofiileja. Usein peltiprofiilit ovat kattopeltejä ja julkisivulevyjä (Väisänen, 2007, s. 65, 71). Julkisivulevyt eivät auta rakennusta rakenteellisesti millään tavalla, vaan ovat rakennuksessa vain arkkitehtuurillisista syistä (kuva 5). Sandwich-elementti sisältää mineraalivillan tai polyuretaanieristyksen, jonka molemmiin puolin on liimattu pintalevyt. Elementit liittyvät toisiinsa uros- ja naarasponnintimenetelmällä. Näitä elementtejä käytetään esimerkiksi julkisivussa, osastoivissa rakenteissa, väliseinissä ja yläpohjissa (kuva 6.).



Kuva 5. Frami F Seinäjoki -rakennus, jossa on käytetty julkisivulevyjä



Kuva 6. Rakennus, jossa on käytetty teräksisiä julkisivu elementtejä

2.5 Teräsrakenteiden liittäminen toisiinsa

Tässä osiossa käsitellään tarkemmin kaksi yleisintä tapaa liittää terästä toisiinsa eli hitsaaminen ja pulttiliitokset.

2.5.1 Pulttiliitokset

Pulttiliitokset jaetaan kolmeen osaan, tavallisiin pulttiliitoksiin, kitkaliitoksiin ja vedettyihin liitoksiin (Ympäristöministeriö, 1988, s. 21). Tavallisessa pulttiliitoksessa voiman oletetaan siirtyvän ruuvin varressa vaikuttavan leikkausvoiman ja liitettävän osan välillä. Kitkaliitoksessa voiman oletetaan siirtyvän osien välillä kitkan vaikutuksesta käyttörajatilassa. Murtorajatilassa kitkaliitos toimii kuten tavallinen pulttiliitos. Vedetyssä liitoksessa voima siirtyy ruuvin varressa vaikuttavan voiman välityksellä.

Ruuvit valmistetaan lujuusluokissa 4.6, 4.8, 5.6, 6.8, 8.8 ja 10.9. Suomessa suositellaan käytettävän lujuusluokkien 8.8 ja 10.9 omaavia ruuveja (Kouhi, 1993, s. 423). Ruuveille on päätyetäisyyksien laskentakaavoja, jotka antavat pultin minimi reuna- ja päätyetäisyyden. Tällä pyritään estämään kiinnitettävän levyn halkeaminen ja liian lähelle reunaa ruuvin reiän poraaminen. Tämän lisäksi ruuveille on annettu keskiöiden välinen etäisyyskaava, jossa lopputulokseksi saadaan ruuvien keskilinjojen minimietäisyys (Kouhi, 1993, s. 424). Nämä minimiarvojen kaavat näkyvät taulukossa 1 ja kuviossa 4. Näiden arvojen laskennassa täytyy olla tiedossa ruuvin koko ja joissain tapauksissa t , joka on kiinnitettävän rakenteen paksuus. Ruuvin koolla pystytään määrittämään poratun reiän halkaisija. Poratun reiän halkaisija määritetään alla olevalla kaavalla.

$$d_0 = \emptyset + 2 \text{ mm} \quad (1)$$

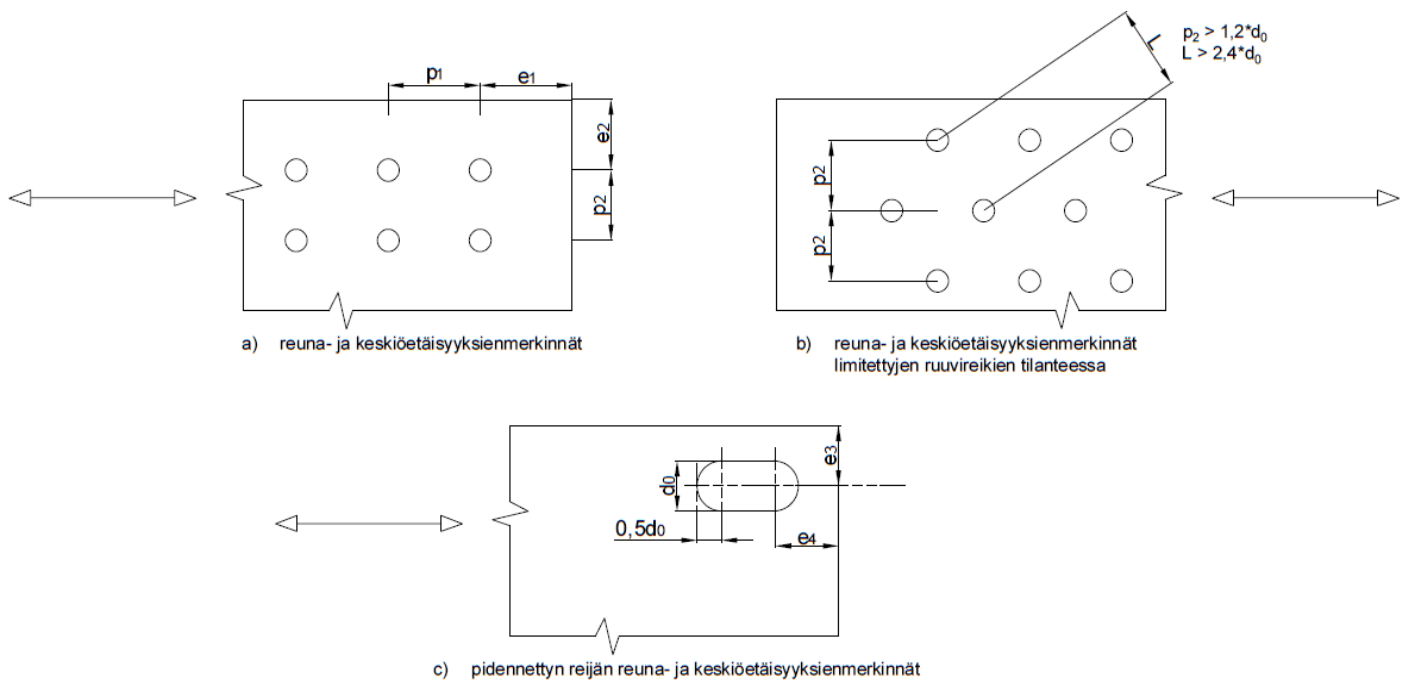
Jossa:

\emptyset = ruuvin halkaisija

d_0 = porattavan ruuvireiän koko

Taulukko 1. Pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyys ruuveille, (perustuu SFS-EN 1993-1-11).

Pääty- ja reunaetäisyydet, ks, kuvio 6	Minimiarvo	Maksimiarvo		
		EN 10025 mukaisia teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräkset) tehdyt teräsrakenteet		EN10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle ja muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys e_1	$1,2d_0$	$4t+40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Reunaetäisyys e_2	$1,2d_0$	$4t+40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Etäisyys e_3 pidennetyistä rei'istä	$1,5d_0$			
Etäisyys e_4 pidennetyistä reistä	$1,5d_0$			
Keskiöväli P_1	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ tai 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ tai 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ min tai 175 mm
Keskiöväli $P_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ tai 200 mm		
Keskiöväli $P_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ tai 200 mm		
Keskiöväli P_2	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ tai 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ tai 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ min tai 175 mm



Kuvio 4. Ruuvien keskiö- ja reunaetäisyyksiä voiman suunnan mukaan, (perustuu SFS-EN 1993-1-11).

2.5.2 Hitsattavat liitokset

Hitsaus on teräksen liitostyyppi, jossa teräskappaleet liitetään toisiinsa kuumentamalla liitoskohta sulaksi. Usein myös lisätään hitsauslisäainetta, esimerkiksi hitsauspuikkoa tai metalliseoslankaa, jota tulee MIG-hitsauksessa hitsauspuikon kärjestä (Väisänen, 2007, s. 56). Lisäaineen lujuus on aina suurempi kuin hitsattava teräs. Hitsaustyyppin valintaan ja hitsauksen onnistumiseen vaikuttaa merkittävästi teräksen hiiliekvivalenttiarvo.

Lähes kaikkia teräslajeja voidaan hitsata toisiinsa kiinni (Väisänen, 2007, s. 56). Korkea hiilipitoisuus saattaa aiheuttaa erityistoimenpiteitä hitsatessa ja muita vaikeuttavia tekijöitä ovat erilaiset lämpölaajenemiskertoimet liitettävien kappaleiden välillä, lämmönjohtokyky ja ominaisvastus.

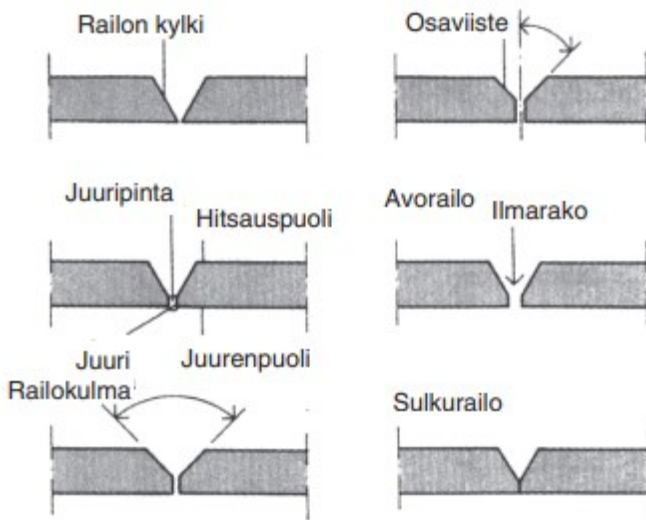
Hitsausmenetelmiä on muutamia erilaisia: Kaasuhitsaus, jossa asetyleeniliikki sulattaa seosainetta hitsauskohtaan (Väisänen, 2007, s. 65, 71). Kaarihitsaus, jossa valokaari palaa hitsauksessa käytettävän puikon ja hitsattavan kappaleen välillä. Tällaisia ovat esimerkiksi MIG-

, MAG-hitsaus, MAG-täytelankahitsaus ja TIG-hitsaus. Vastushitsauksessa sähkövirta kuumentaa yhteen puristettuja kappaleita luoden liitoksen. Laserhitsaukset tehdään aina tehtaalla. Laserhitsauksessa laserin sulattama teräs muodostaa hitsin.

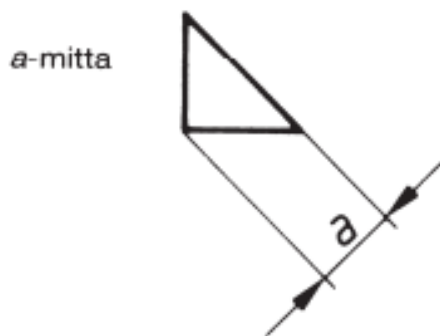
Hitsauksessa yleisimmät ongelmat ovat kylmähalkeilu, kuumahalkeilu ja lämpövyöhykkeen iskutheyden aleneminen (Väisänen, 2007, s. 56). Hitsauksessa mahdollisia virheitä ovat huokoiset liitokset, reunahaavat, vajaa tunkeutuminen, kuona-aine ja sytytysjäljet. (Väisänen, 2007, s. 56).

Hitsit	Liitoksen aksometrinen kuva	Perusmerkki
Pienahitsi		
I-hitsi		
V-hitsi		
Puoli-V-hitsi		
V-hitsi, hitsattu osaviistettyyn V-railoon		
Puoli-V-hitsi, hitsattu osaviistettyyn puoli V-railoon		
U-hitsi		
J-hitsi		
Juurihitsi		

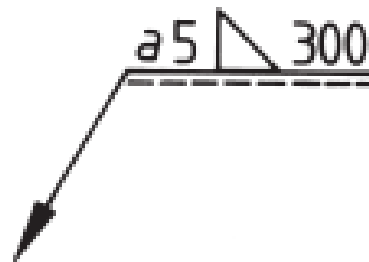
Kuvio 5. Yleisimpien liitosten poikkileikkaus, nimitys ja piirustusmerkintä (Kalamies i.a.)



Kuvio 6. Hitsauksien poikkileikkauksia ja osien selitteitä (Kalamies i.a.)



Kuvio 8. Pienahitsin a-mitta (Kalamies, i.a.)



Kuvio 7. pienahitsien merkintä (Kalamies i.a.)

Hitsausmerkintä kertoo hitsauksen tyylin, sen koon ja matkan. Yleisimmät hitsausmerkinnät näkyvät kuviossa 5. Hitsauksen tunnuksessa käytetään merkkiä, joka kuvaa hitsauksen rai-
loa ja liitoksen poikkileikkausta. (kuvio 6.) (Kalamies, i.a. s. 462). Hitsausmerkinnässä näkyy myös hitsauksen a-mitta (Kuvio 8.), joka tarkoittaa hitsauksen poikittaismittaa lyhintä reittiä pitkin. Esimerkki pienahitsauksen merkinnästä löytyy kuviosta 7, jossa ensiksi on merkitty hit-
sin a-mitta ja sitten hitsin tyyli, joka on tässä tapauksessa pienahitsi. Viimeisenä on merkitty hitsin pituus (Kalamies, i.a. s.465).

3 TERÄSPILARI, -PALKKILIITOKSEN LASKENTAESIMERKKI

Tässä osiossa käydään lävitse laskentaperiaatteen yhdelle avoteräslitokselle, josta tehtiin Sitowiselle Excel-laskentapohja. Viimeisenä käydään lävitse hieman laskentapohjan toimintaa ja sen käyttöperiaatetta.

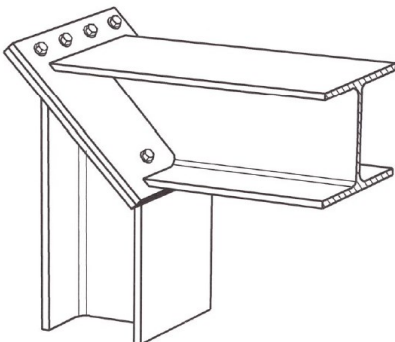
3.1 Alkutilanne

Tässä esimerkissä käsitellään pilari-palkkiliitos, joka voi esiintyä esimerkiksi teräskaarihallissa (kuva 7). Teräskaarihallin runko on tehty I-palkeista, jotka muodostavat kiilamuotoisen kolminivelkehän (Rapko, i.a.). Tämä ratkaisu on siitä hyvä, että se ei sisällä kondenssille ja muille vauriolle alttiita rakenteita.



Kuva 7. Teräskaarihalli (Aericks, 2015)

Nyt käydään lävitse runkopilarin ja palkin liitoksenlaskenta periaate, joka on toteutettu pilarin ja palkin päihin hitsatuille päätylevyille, jotka on liitetty ruuveilla kiinni toisiinsa työmaalla (kuvio 9).



Kuvio 9. Malli hallin pilari-palkkiliitoksesta (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 31)

3.1.1 Kuormitus

Tämän työn tavoitteena oli luoda laskentapohjat Exceliin avoteräslitoksista, joten tästä syystä ei tässä työssä oteta kantaa kuormien laskentaan syvemmin.

Tässä laskentaesimerkissä käydään lävitse kuvion 9 mukaisen momenttijäykän liitoksen laskenta. Tätä ennen on jo laskettu kaikilta kuormilta liitokseen kohdistuva leikkaava kuorma (Ved) ja momenttikuorma (Med). Kuormat koostuvat muuttuvista vaaka- ja pystykuormista sekä pysyvistä kuormista.

3.1.2 Materiaalin ja liitos tyyppin valinta

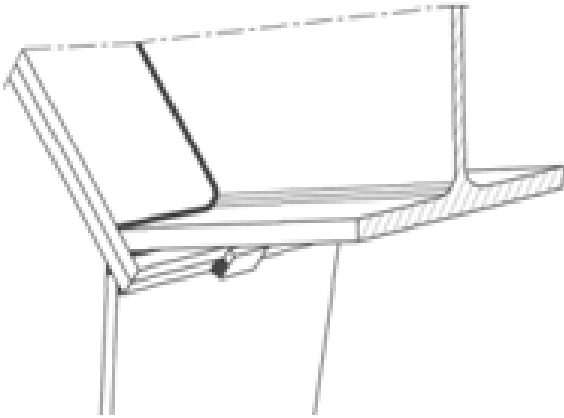
Liitostyyppin valintaan vaikuttaa tehtävän rakennuksen muoto, liitoksen paikka ja liitoksen tarvittava kestävyys. Tässä esimerkissä on päädytty tekemään kuvion 9 mukainen liitos, koska sillä saadaan kasvatettua hallin sisäkorkeutta ja sillä saavutetaan riittävä kestävyys kyseiseen rakennukseen. Tämä liitostapa sopii pienemmille I-profiileille, koska ne ovat vielä kohtuullisen helppoa leikata kulmaan sahalla (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s.31). Korkeissa profiileissa, joita ei voi sahalla näin leikata, liitos täytyy toteuttaa eri tavalla (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s.31)

Tämä liitos on I-profiilien omaavien palkkien ja pilareiden liitos (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s.31). Liitos on toteutettu niin, että pilarin ja palkin pää on leikattu samalla kulmalla ja niiden päähän on hitsattu I-profiileita isompi päätylevy. Nämä päätylevyt pultataan työmaalla toisiinsa kiinni ja muodostetaan liitos.

Tässä liitostyyppissä ruuvit, jotka tulevat palkin ylälaipan yläpuolelle, ottavat suurimman momentin vastaan (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s.31). Tämän takia ne määräävät mutterikoon. Tämä profiilin ylittävä osuus myös yleensä määrää päätylevyn paksuuden, koska sen täytyy kestää ruuvien aiheuttama lävistysvoima. Lävistysvoima syntyy, kun palkin momentti vetää ruuvien kiinnitys levyn yläreunaa irti toisistaan.

Asennuksen kannalta liitos on yksinkertainen, koska työmaaolosuhteissa pulttiliitoksen kiinnitys on helppoa (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s.31). Liitoksesta voidaan tehdä vielä työmaaystävällisempi hitsaamalla pilarin liitoslevyn alapäähän pieni tuki, joka helpottaa liitoslevyjen

kohdistamista asennuksen aikana (kuvio 10). Tämä tuki on kuitenkin pelkästään asennuksen helpottamista varten, tätä ei oteta liitoksen kestävyuden laskennassa huomioon



Kuvio 10. Liitoksen pilarin päätylevyn alareunaan hitsattu asennusaikainen tuki (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 31)

3.2 Laskenta

Laskenta aloitetaan määrittämällä ruuvit palkin ylälaipan yläpuolelle yhtälöllä

$$n_d * F_{tRd} * h_r \geq M \quad (2)$$

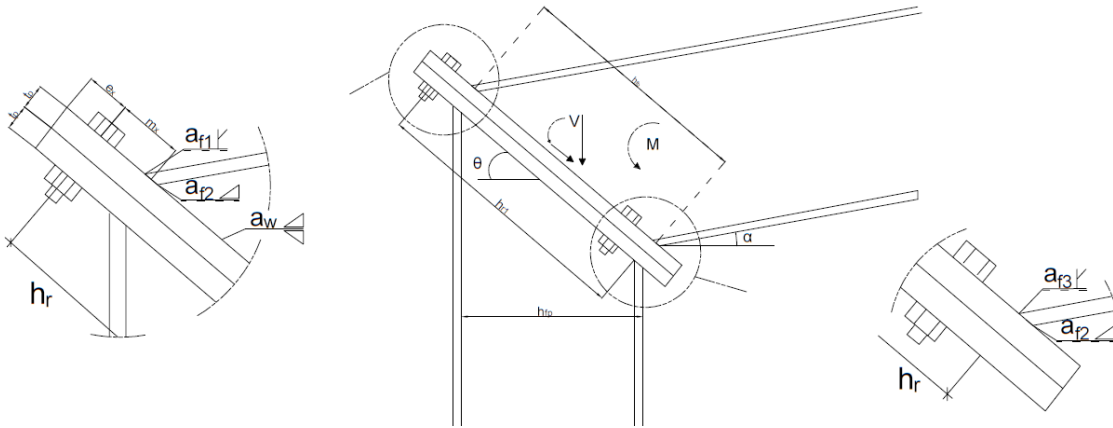
jossa:

n_d = ruuvien lukumäärä

$F_{t,Rd}$ = valittujen ruuvien työntövoima kapasiteetti

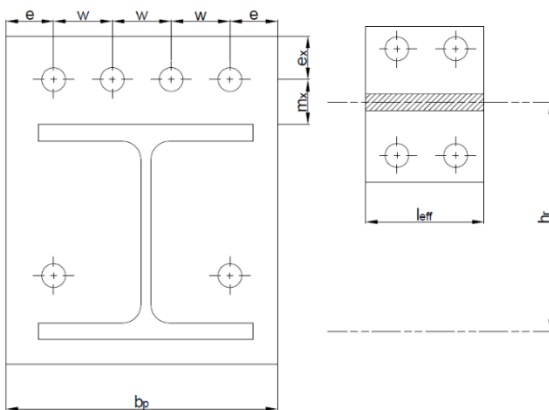
h_r = kuvion 11 mukainen momenttivarsi (tämä lasketaan omalla kaavalla)

M = liitokseen kohdistuva momenttivoima



Kuvio 11. Liitoksen merkinnät, (perustuu Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 31)

Laippojen yläpuolella olevat ruuviryhmät ajatellaan toimivan laskennassa T-poikkileikkauksen lailla kuvion 12 mukaan (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 32). Tässä tilanteessa otetaan laskennassa huomioon liitoslevyn taivutus ja hitsaus.



Kuvio 12. Laippojen yläpuolen ruuvit lasketaan T-poikkileikkauksenlailla, (perustuu Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 32)

$$F_{T,Rd} = \min \left\{ \frac{4 \cdot M_{pl,Rd}}{m}; \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n}; \sum F_{t,Rd} \right\} \quad (3)$$

jossa

$m = m_x$ = kuvion 12 mukainen mitta, jonka suunnittelija päättää reuna- ja päätyetäisyydet huomioon ottaen

$F_{t,Rd}$ = valittujen ruuvien työntövoima kapasiteetti

n = lasketaan kaavalla 4

$M_{pl,Rd}$ = plastinen kantokyky tehollisen leveyden l_{eff} mukaan

l_{eff1} ja l_{eff2} lasketaan moniehtokaavalla, josta valitaan pienin lopputulos, tätä ei esitetä opinnäytetyössä tarkemmin.

$$n = \min\{e_x; 1,25m_x\} \quad (4)$$

e_x = kuvion 10 mukainen mitta, jonka suunnittelija päättää reuna- ja päätyetäisyydet huomioon ottaen

$m = m_x$ = kuvion 10 mukainen mitta, jonka suunnittelija päättää reuna- ja päätyetäisyydet huomioon ottaen

Seuravaksi lasketaan joukkovoimista määräävä murtotapa (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 33). Murto tapahtuu joko kiinnityslevyssä tai ruuveissa. Kiinnityslevyn murtotilanteessa pilarin ja palkin päätylevy leikkaantuu kitkan tuottaman momentin vaikutuksesta. Ruuvien leikkaantumisen tapahtuu levyyn kohdistuvasta leikkausvoimasta.

Painettavan laipan puolella olevia ruuveja ei käytetä ottamaan vetovoimia, tällöin voidaan olettaa, että ristivoimat tarttuvat ruuvien tapaan painetun laipan puolella. Jos ruuvit painetun laipan puolella murtuvat, voidaan ruuvien leikkaavaa voimaa pienentää momentin aiheuttaman työntövoiman verran, jolloin joukkovoimakapasiteetin kaava muuttuu.

$$V_{Rd} = \frac{\sum \min\{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} + \frac{\mu}{\gamma_M^3} \frac{M}{h_r}}{\sin(\alpha + \theta)} \quad (5)$$

Jossa

$F_{v,Rd}$ = ruuvien leikkausvoima katsotaan taulukosta. Arvo riippuu ruuvien koosta ja siitä onko ruuvien kierre leikkaustasossa.

$F_{b,Rd}$ = reikäreunojen kantokyky

Tälle on oma laskentakaava, mutta sitä ei käydä tässä opinnäytetyössä tarkemmin lävitse

μ = ominaisarvo kitkakertoimelle, joka johtuu vastepintojen kitkasta

γ_{M3} = osavarmuuskerroin, teräksessä vakio 1,25

Kuitenkin kaavan voi yksinkertaistaa muotoon, jossa ei huomioida momentin aiheuttamaa työntövoimaa, joka pienentää ruuveille kohdistuvaa leikkaus voimaa. (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 35) Leikkausvoima otetaan silloin vastaan pelkästään painetun laipan puoleisilla ruuveilla. Tässä tapauksessa liitoksen mitoitus on varmemmalla puolella.

$$V_{Rd} = \frac{\sum \min\{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\}}{\sin(\alpha+\theta)} \quad (6)$$

Päätylevyjen hitsaukset katsotaan taulukosta. Hitsauksen a-mittaan vaikuttaa hitsiin kohdistuvat voimat, materiaalin paksuus ja teräslaatu

3.3 Laskennan lopputulokset ja yhteenveto

Laskennan kuusi päävaihetta

- Määritetään pilarin ja palkin välinen kulma, josta saadaan α ja θ kuvion 11 avulla
- Pilarin ja palkin tulevien päätylevyjen hitsaukset katsotaan taulukosta materiaali vahvuuden ja laadun mukaan
- Valitaan ruuvit, joita käytetään liitoksessa ja niiden reunaetäisyydet. (katso taulukko 1 ruuvien reunaetäisyyksien huomiointi)
- Lasketaan ruuveille kohdistuva voima T-poikkileikkausperiaatetta hyödyntäen, yhtälön 3 mukaan. Tässä vaiheessa säädetään liitoslevyjen paksuus kohdalleen.
- Tarkistetaan ruuvien momenttikapasiteetti kaavan 2 mukaisesti
- Valitaan painettavan laipan vieressä olevien ruuvien määrä ja koko. Lasketaan niille kohdistuva voima yhtälön 5 tai 6 mukaan, riippuen halutaanko levyjen kitkavoima huomioida painealueen ruuvien mitoituksessa

Lopputuloksena laskennasta saadaan vastaus, kestävätkö ruuvit, hitsaukset ja päätylevyt kyseisessä liitoksessa olevat voimat. Mikäli laskennassa huomataan jonkun näistä osista pettävän, tämä kyseinen osa pitää vaihtaa kestävämpään. Laskennassa on hyvä tarkistaa kunkin kiinnitettävän osan käyttöaste. Tämä käyttöaste olisi hyvä olla alle 80 %, koska liitoksessa olisi silloin varmuuskerroin varaa. Tässä opinnäytetyössä tehtiin aiheesta Excel-laskentapohja, jota käydään seuraavassa luvuissa lävitse.

4 TULOKSET JA YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli luoda Sitowiselle yleisiin avoteräslitoksiin Excel-laskentapohjat (kuvio 13, 14). Näitä laskentapohjia käsitellään tässä luvussa.

SITOWISE		RAKENNELASKELMA			
		Työ nro: 101	Tekijä: Jva	Päiväys: 16.3.2022	Sivu: 1/2
Rakennuskohde: Harjoituskatu 8, Harjoittelukylä					
Sisältö: Testi laskenta					
LASKENTAPOHJA SBI-LIITOKSET, LIITOS PT3		ver 1.0			
Laskenta Eurokoodien (EN) ja niiden Suomen kansallisten liitteiden (NA) mukaisesti.					
LÄHTÖTIEDOT					
KUORMITUS		PILARIN TIEDOT			
Pysyväkuormat	$G_{ik} = 10,0$ kN/m	Palkki	HE 300 A	TERÄSLAATU (f_y)	S355J2H tfs16
Muuttuvat kuormat	$G_{ik} = 10,0$ kN/m	Pituus L	15,00 m		S355J2H tfs16
Seuraamusluokka	CC2	t_f	14 mm	f_y	355 N/mm ²
Varmuus kerroin KFI	1	t_w	8,5 mm		
Yhteensä	$G_{K,j} = 26,50$ kN/m	h	290 mm		
Yhteensä	$Q_{k1} = 13,50$ kN/m	b	300 mm		
Mitoittuskuorma	$V_{ed} = 92,8$ kN	PALKIN TIEDOT			
Mitoutuskuorma	$V_{ed} = 110$ kN	Palkki	HE 300 A	TERÄSLAATU (f_y)	S355J2H tfs16
Mitoitavakuorma	$V_{edmax} = 110$ kN	Pituus L	7,00 m		
		t_f	14 mm	f_y	355 N/mm ²
Mitoitusmomentti	$M_{ed} = 165$ kNm	t_w	8,5 mm	hw	262 mm
Mitoitavamomentti	$M_{edMAX} = 165$ kNm	h	290 mm	Wply	1383000 mm ³
		d	208 mm	uuman suora osuus	
		LIITOSLEVYN TIEDOT			
		Pituus h_p	480 mm	Leveys b_p	320 mm
		Teräslaatu (f_u)	S355J2H d≤16	Paksuus t_p	35 mm
		β_w	0,90	f_u	470 N/mm ²
				f_y	355 N/mm ²
PULTTIEN MITAT JA SIJAINNI VETOALUEELLA					
Kierre leikkaustasossa ?	Kyllä	A=	314 mm ²	α	10 °
Pultit / lujuusluokka	M20 / 8.8	A_s	245 mm ²	e=	40 mm > 26 mm
Halkaisia d	20	α_w	1	e_x	30 mm > 26 mm
lkm (n_d)	4	α_v	0,6	m_x	40 mm > 26 mm
reikäkoko \varnothing (d_0) (mm)	22	K_t	2,5	w=	80 mm > 53 mm
Ruuvien momentikestävyys > M_{edMAX}		f_{ub}	800 N/mm ²	h_p	276 mm
		$F_{t,Rd}$	147 kN	θ	0,84
				$\arctan(\theta)$	40 °
				h_{r2}	409 mm
				h_{r1}	405 mm
Käyttöaste	69 %	LASKENTA OK			
$l_{eff,cp} = \min \left\{ \begin{array}{l} 503 \text{ mm} \\ 366 \text{ mm} \\ 457 \text{ mm} \end{array} \right.$	366 mm	$l_{eff,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} 366 \text{ mm} \\ 160 \text{ mm} \end{array} \right.$		$F_{t,Rd} = 588 \text{ kN}$	
		$l_{eff,2} = 160 \text{ mm}$		$F_{c,t,Rd} = 1779 \text{ kN}$	$F_{c,f,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{(h - t_w) \cdot Y_{MO}}$
$l_{eff,rc} = \min \left\{ \begin{array}{l} 198 \text{ mm} \\ 339 \text{ mm} \\ 160 \text{ mm} \\ 220 \text{ mm} \end{array} \right.$	160 mm	$l_{eff,2} = 160 \text{ mm}$		Käyttöaste	33 % LASKENTA OK
		$M_{pl,1,Rd} = 17,395 \text{ kNm}$		Mrd=	238 kNm $M_{bd} = F_{t,Rd} \cdot h_{r2}$
$\eta = \min \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mm} \\ 50 \text{ mm} \end{array} \right.$	30 mm	$M_{pl,2,Rd} = 17,395 \text{ kNm}$		Käyttöaste	69 % LASKENTA OK
		$F_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1740 \text{ kN} \\ 749 \text{ kN} \\ 588 \text{ kN} \end{array} \right.$			

Kuvio 13. Esimerkkisivu tehdystä Excel-pohjasta, liitos PT3 löytyy kirjasta P186: Ramhörn och pelartopp

Rakennuskohde: Harjoituskatu 8, Harjoittelukylä

Sisältö: Testi laskenta

ALOITUSLASKENTAPOHJA

ver 1.0

Laskenta Eurokoodien (EN) ja niiden Suomen kansallisten liitteiden (NA) mukaisesti.

PAINEALUEEN RUUVIEN LASKENTA

Kierre leikkaustasossa ?	<input type="text" value="Kyllä"/>	A=	314 mm ²	Reunapuristuskapasiteetti	$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$
Pultit / lujuusluokka	<input type="text" value="M20 / 8.8"/>	A _s =	245 mm ²	F _{b,Rd} =	658 kN
Reunamitta C	<input type="text" value="80"/>	α _b =	1	Leikkauskapasiteetti	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$
Halkaisia d	20	α _v =	0,6	F _{v,Rd} =	94 kN
Ik _m (n _d)	<input type="text" value="2"/>	K ₁ =	2,5	pultin teräisleikkauskestävyys	$V_{Rd} = \frac{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})}{\sin(\alpha + \theta)}$
reikäkoko Ø (d ₀) (mm)	22	f _{ub} =	800 N/mm ²	V _{Rd} =	246 kN
				kokonaiskäyttöaste	45 %

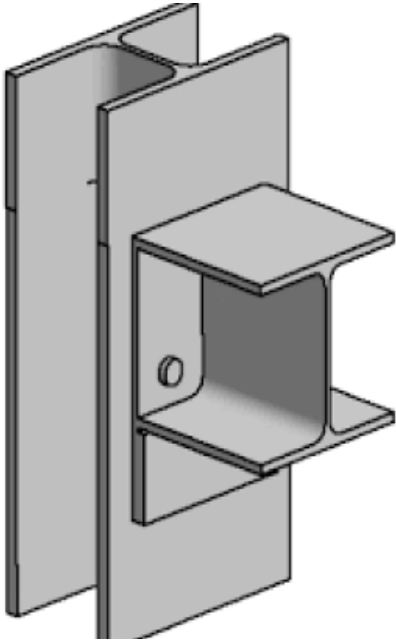
LASKENTA OK

Hitsaukset				Vetoalueella	painealueella	Levyn mitta tiedot
vetopuolen tasalujahitsi				Pultit= M20 / 8.8	Pultit= M20 / 8.8	Pituus= 480 mm Leveys= 320 mm Paksuus= 35 mm
af1=	9 mm	<input type="text" value="6"/>	6			
af2=	9 mm					
puristuspuolen tasahitsi				Puristuspuolen hitsin kestävyys	Käyttöaste	5 %
af3=	9 mm	<input type="text" value="6"/>	6			
af4=	9 mm					
uuman tasalujahitsi				vetopuolen hitsin kestävyys	Käyttöaste	5 %
aw=	9 mm	<input type="text" value="4"/>	6			
hitsauksissa oleva veto/puristus				F _{w,Rd} =		LASKENTA OK
F _{w,Ed} =	45,5 kN					LASKENTA OK

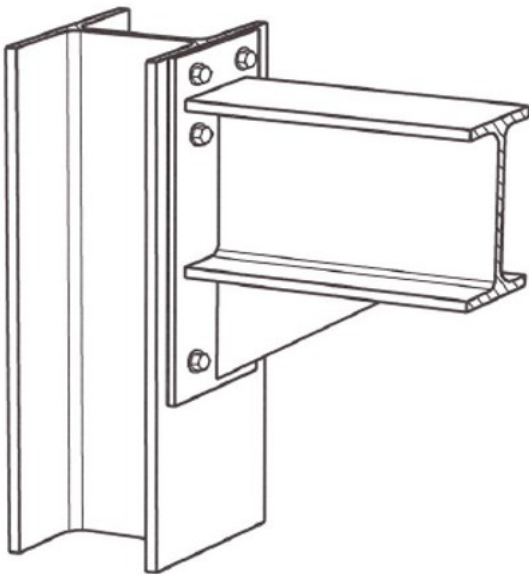
laaduille S420 ja S460 ei ole ei ole laskettu tasalujia hitsejä

Kuvio 14. Esimerkkisivu tehdystä Excel-pohjasta, liitos PT3 löytyy kirjasta P186: Ramhörn och pelartopp

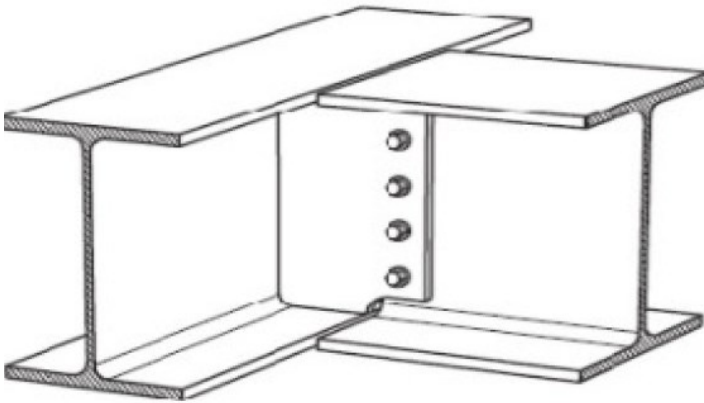
Tässä esimerkissä on käytetty Sitowisen Excel-pohjaa niin kuin kaikissa laskentapohjissa. Sinisellä merkityt ruudut on suunnittelijan täytettävä suunniteltavan liitoksen mukaan. Muut arvot Excel laskee itse sille annettujen laskentakaavojen myötä. Laskentapohjaan on upotettu alaspäinvalikoita silloin kun se on ollut mahdollista. Esimerkiksi palkin ja pilarin voi valita alaspäinvalikosta. Laskentapohjia tehtiin yhteensä neljä kappaletta yleisistä avoteräslitoksista, joista ei ollut kyseistä pohjaa olemassa, tai suunnittelijaa helpottavaa tekijää, kuten taukukkoa. Loput kolme laskentapohjaa tehtiin kuvioiden 15, 16 ja 17 mukaisista liitoksista.



Kuvio 15. Esimerkki pilaripalkkiliitoksesta, josta on tehty laskentapohja. Pilariin on kiinnitetty tukipala, BP1 löytyy kirjasta P185: Balk-pelarfästning (Stålbyggnadsinstitutet, 2004)



Kuvio 16. Esimerkki pilaripalkkiliitoksesta, josta on tehty laskentapohja, PT5 löytyy kirjasta P186: Ramhörn och pelartopp (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 39)



Kuvio 17. Esimerkki palkki-, palkkiliitoksesta liitoslevyllä, BB3, josta on tehty laskentapohja. P188: Balk-balkinfästning (Stålbyggnadsinstitutet, 2004, s. 33)

Kaikki Excel-laskentapohjat toimivat samalla periaatteella: vaaleansinisellä merkityt ruudut on suunnittelija täytettävä suunnitteilla olevan liitoksen mukaan. Exceliin on upotettu myös kaikki laskentakaavat. Tärkeimmät kaavat on asetettu laskentapohjan tulostusalueeseen, jolloin tulosteestakin saa kiinni, mistä kyseinen tulos on tullut, ja miksi kyseiseen liitokseen on päädytty. Kaikki laskentapohjat toimivat samalla periaatteella kuin laskennassa esitelty liitos. Ensimmäisenä suunnittelija määrittää liitokseen tulevat voimat ja liitokseen tulevat kiinnikkeet. Laskentapohja hoitaa tämän jälkeen laskennan ja lopuksi suunnittelija tarkastaa laskennan antaman tulostuksen ja sen jälkeen tekee mahdollisesti tarvittavia muutoksia kiinnitykseen. Viimeisenä vaiheena, kun suunnittelija on hyväksynyt laskennan tuloksen, hän voi ottaa tästä laskentasarjasta PDF-tulosteen ja toteuttaa liitoksen tulosteen mukaan suunnitelmiin.

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli laatia Sitowiselle toimivat laskentapohjat neljään yleiseen avoteräsliitokseen suunnittelun tueksi. Kirjallisessa osuudessa tavoitteena oli tutustuttaa lukija teräsrakentamisen historiaan, nykytilanteeseen ja tulevaisuudennäkymiin, sekä teräsrakentamisen mahdollisuuksiin ja käydä yksi avoteräsrakenneliitoksen laskentateoria lävitse.

Käytännön kokemusta laskentapohjien käytöstä ei ole vielä. Kuitenkin uskotaan, että laskentapohjat sujuvoittavat Sitowisen insinöörien työtä ja tekevät prosessista sujuvamman. Sitten kun laskentapohjat ovat olleet pitempään käytössä, osataan sanoa laskentapohjien tuoma ajallinen hyöty.

Opinnäytetyö auttoi minua oppimaan Excel-ohjelman käyttöä ja ymmärtämään Excelin toimintaperiaatetta. Tämä auttaa tulevaisuudessa tekemään mahdollisia uusia laskentapohjia. Opinnäytetyö auttoi minua ymmärtämään yleisesti teräsrakeinteiden suunnitteluperiaatteita ja niiden soveltamista erilaisiin tapauksiin. Tässä työssä oleviin yleisiin avoteräsliitoksiin paneuduin tarkemmin ja opin näiden teräsavoliitoksien erityispiirteitä ja laskentateoriaa. Tätä laskentateoriaa on muissakin teräsliitoksissa ja sitä on helpompi soveltaa, kun siitä on ymmärrys.

LÄHTEET

- Aaericks. (18.6.2014). *hot dip galvanized HDG steel frame fabric building*. [valokuva].
Wikimedia commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wiki_hot-dip-galvanized-HDG-steel-frame-fabric-building.jpg
- Burdette Dwight. (15.9.1013). *Steel Frame Commercial Building Under Construction, Ann Arbor Township, Michigan*. [valokuva]. Wikipedia commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steel_Frame_Commercial_Building_Under_Construction,_Ann_Arbor_Township,_Michigan.JPG
- Hiro36. (19.8.2005). *Katakou*. [valokuva]. Wikipedia commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:H_Katakou.png
- Intera partners. (1.3.2017). *Suomalaiset infran ja talonrakennuksen suunnitteluyritykset Sito ja Wise Group yhdistyvät*. Haettu 28.9.2021. <https://interapartners.fi/fi/ajankohtaista/suomalaiset-infran-ja-talonrakennuksen-suunnitteluyritykset-sito-ja-wise-group-yhdistyvat>
- Kalamies U. (i.a.). *Hitsausmerkinnät rakentamisessa*. Teräsrakenneyhdistys. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030301.pdf>
- Kouhi J. (1993). *EN 1993-1-8: Teräsrakenteiden suunnittelu, Liitosten mitoitus*.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK060103.pdf>
- Rapko. (i.a.). *Rapko runkojärjestelmä*. <https://rapko.fi/runko/>
- Sipola T. (18.8.2021). *Maailman ensimmäinen erä fossiilivapaata terästä on valmiina – uusi teknologia vähentää pian Suomen hiilidioksidipäästöjä seitsemän prosenttia*. YLE uutiset.
<https://yle.fi/uutiset/3-12062634>
- Sitowise. (i.a.). *Älykkyyys + vastuullisuus = The Smart City Company*. Haettu 28.9.2021,
<https://www.sitowise.com/fi/smart-city-company>
- Smarko. (27.5.2016). *Dubai*. [valokuva]. pixabay. <https://pixabay.com/fi/photos/dubai-torni-arabi-khalifa-burj-1420494/>
- SSAB. (i.a.). *Teräksen elinkaari*. <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestava-tuotevalikoima/terakseen-elinkaari>
- Stålbyggnadsinstitutet. (2004). *Ramhörn och pelartopp*. <https://www.sbi.se/produkt/ramhorn-och-pelartopp/>

Stålbyggnadsinstitutet. (2004). *Stålbyggnad*. <https://www.sbi.se/produkt/stalbyggnad-larobok/>

Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2006). Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten suunnittelu Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1–8: Design of joints (SFS-EN 1993-1-11)

Teräsrakenneyhdistys. (2020). *Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus: Eurocode 3 -oppikirja*. Teräsrakenneyhdistys. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/toiminta-julkaisut/kirjat-julkaisut-terasrakenne-lehti/myytavat-julkaisut/>

Väisänen P. (2007). *Teräs: Perustietoa arkkitehtipiskelijalle*. TTK Arkkitehtiosasto. https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf

Whales Seth. (12.3.2020). *Iron Bridge east side in February 2019*. [valokuva]. Wikipedia commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iron_Bridge_east_side_in_February_2019.jpg

Ympäristöministeriö. (1988). *Teräsrakenteet: ohjeet 1998*. Ympäristöministeriö. https://www.ouka.fi/documents/486338/20585871/B7_1988_Terasrakenteet.pdf/21e62dd3-d276-440d-b484-df988be4a76f

Zephylwer0. (4.3.2015). *industry*. [valokuva]. pixabay. <https://pixabay.com/fi/photos/ala-varastanut-rauta-masuuni-647399/>