



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tomi Auvinen

Teräsrakennesuunnittelu Bocadilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

10.1.2021

Tekijä Otsikko	Tomi Auvinen Teräsrakennesuunnittelu Bocadilla
Sivumäärä Aika	29 sivua + 0 liitettä 10.1.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneensuunnittelu
Ohjaajat	Yliopettaja Jyrki Kullaa Suunnittelupäällikkö Ari Sipiläinen, Eltel Networks Oy
<p>Tässä insinööriyössä koottiin ohje Eltel Networks Oy:lle, jonka tarkoituksena on toimia voimajohtopylväiden teräsrakennesuunnittelijoiden apuna. Tavoitteena oli koota ohje, joka toimii oppaana uusille teräsrakennesuunnittelijoille, kertoen heille pylväiden suunnitteluvaatimukset sekä seikat, jotka täytyy ottaa huomioon pylväitä suunniteltaessa. Tavoitteena oli myös yhdenmukaistaa teräsrakennesuunnittelun tekemistä, niin että jokainen suunnittelija tietää perusvaatimukset ja osaa noudattaa niitä.</p> <p>Työ koostuu kahdesta erillisestä osasta, joista ensimmäinen osa käsittelee yleisiä seikkoja voimajohtojen rakentamisprosessissa sekä pylväiden suunnitteluvaatimuksia. Toinen osa on Eltelin sisäiseen käyttöön jäävä Bocad-manuaali, jossa opastetaan kuinka pylväs mallinetaan ohjelmalla. Työn ensimmäinen osa toteutettiin perehtymällä voimajohtopylväiden suunnittelussa noudatettavaksi vaadittuihin standardeihin, sekä Fingridin asettamiin vaatimuksiin. Toinen osa toteutettiin opettelemalla Bocadin käyttö mallintamalla harjoituspylväitä, sekä virallinen sähköaseman pääteportaali.</p> <p>Työn tuloksena syntyi kattava ohje suunnittelijoiden tueksi sekä manuaali, jonka avulla on helppo aloittaa Bocadin käyttö.</p>	
Avainsanat	Voimajohto, pylväs, teräsrakennesuunnittelu

Author Title	Tomi Auvinen Steel Structure Design with Bocad Software
Number of Pages Date	29 pages + 0 appendices 10 January 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Design
Instructors	Jyrki Kullaa, Principal Lecturer Ari Sipiläinen, Head of Design
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by Eltel Networks Oy, and the main goal of the thesis was to compile a guide and an instruction manual for transmission tower designers. The objective was to create a guide for new steel structure designers to help them design transmission towers according to the rules and regulations. Another objective was to standardize steel structure designing so that all designers know how to follow the basic requirements.</p> <p>This thesis consists of two separate parts. The first part describes the common principles of building transmission lines and the requirements of designing transmission towers. The second part is intended for the company's internal use only and it consists of a manual for Bocad, which provides instructions for designers how to model a transmission tower using Bocad steel fabrication software. The first part was done by studying transmission line standards and requirements set by Fingrid that must be followed when designing transmission lines. The second part was carried out by studying transmission tower modeling with Bocad. This was trained by modeling a few practice towers first, and finally an actual substation terminal portal was modelled using Bocad.</p> <p>As a result, a comprehensive guide was created to support steel structure designers. In addition, a manual was created for beginners, which helps them get started with using Bocad steel fabrication software.</p>	
Keywords	Transmission line, transmission tower, steel structure design

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Eltel	1
1.2	Opinnäytetyön tarkoitus	1
2	Yleistä	3
2.1	Voimajohdon suunnitteluprosessi	3
2.2	Pylvästyypit	5
2.3	Pylväille vaaditut etäisyydet	8
2.4	Johtimet	9
2.5	Pylväiden osat ja niistä käytettävät nimitykset	10
3	Rakennesuunnittelu	14
3.1	Standardit	15
3.2	Sinkitys ja muotoilu	15
3.3	Käytettävät materiaalit ja profiilit	17
3.4	Ruuviliitokset	18
3.5	Mitat ja reunaetäisyydet	20
3.6	Revisiointi	22
3.7	Turvatikkaat ja turvavaijeri	23
3.8	Koekasaukset	24
4	Työn toteutus	26
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	30

Lyhenteet

kV Kilovoltti

MPa Megapascal

1 Johdanto

1.1 Eltel

Tämän insinöörityön tilaajana toimi Eltel Networks Oy. Eltel perustettiin vuonna 2001, kun Fortum myi IVO Transmission Engineeringin suomalaiselle pääomasijoittajalle. Vuodesta 2015 Eltel on ollut listattuna Tukholman pörssissä. Eltelillä on toimintoja kaikissa pohjoismaissa sekä Puolassa ja Saksassa. Eltelillä on myös markkinajohtajan asema Pohjois-Euroopassa. Vuonna 2019 konsernin liikevaihto oli 1,1 miljardia euroa ja koko Eltelin henkilöstön lukumäärä oli 6700 henkilöä, joista Eltel Suomessa työskenteli 1500 henkilöä.

Eltel Suomen palvelut jakautuvat neljään liiketoiminta-alueeseen, joita ovat Power-, Communication-, Build-, ja Smart Solutions -liiketoiminta. Communication-liiketoiminta tarjoaa suunnittelu-, rakentamis- ja viankorjauspalveluja teleoperaattoreille sekä televerkkojen omistajille. Power-liiketoiminta tarjoaa 0,4-20 kV:n sähköjakeluverkkojen kokonaistoimitukset, sekä 110-400 kV:n voimansiirtoverkoille tehtäviä kunnossapito ja perusparannuksia. Build-liiketoiminta tarjoaa isot kaapelointi-, tuulivoima- ja voimansiirtohankkeet, johon myös teräsrakennesuunnittelu kuuluu. Smart Solutions -liiketoiminta tarjoaa asiakkaille ulkovalaisuratkaisuja, aurinkosähköjärjestelmiä sekä sähköautojen latausjärjestelmiä. [1]

1.2 Opinnäytetyön tarkoitus

Tässä opinnäytetyössä on koottu yhteen tärkeitä seikkoja, jotka voimajohtopylväiden teräsrakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon. Opinnäytetyössä kerrotaan myös yleisesti voimajohtojen rakennusprosessista, jotta uudet työntekijät saavat kattavan kuvan mitä kaikkea pylvässuunnittelu sisältää. Näin ollen tämä opinnäytetyö toimii myös oppaana uusille teräsrakennesuunnittelijoille. Tarkoituksena oli myös koota ohje, joka yhdenmukaistaa teräsrakennesuunnittelun tekemistä, niin että jokainen suunnittelija tietää perusvaatimukset ja osaa noudattaa niitä. Tavoitteena on, että jokainen suunnittelija pääsee samanlaiseen lopputulokseen ja lopputulema on yhteismitallinen.

Vuonna 2020 Eitelissä otettiin käyttöön uusi pylväsmallinnusohjelma ja tämän opinnäytetyön toinen osa on manuaali, jossa neuvotaan, kuinka pylväs mallinnetaan Bocad Tower -ohjelmalla. Manuaalissa opastetaan uudelle käyttäjälle kuinka pylväsmallinnus toimii, sekä miten piirustukset tehdään oikeaoppisesti, jotta jokainen työntekijä pääsisi samankaltaiseen lopputulokseen ja piirustukset olisivat yhdenmukaisia.

Ennen kuin Bocad hankittiin, pylväät mallinnettiin Microstationilla, joka on 2D-mallinnusohjelma. Microstation suunnittelusta haluttiin päästä eroon, sillä se toi paljon ongelmia, virheitä ja manuaalista työtä pylvässuunnitteluun. Koska 2D-ohjelmalla voidaan piirtää vain tasossa, on paarteiden ja monimutkaisten levyosien taivutukset vaikea hahmottaa oikein, joka lisää suunnitteluvirheiden mahdollisuuksia. Ongelmia oli myös liitosten yhteensopivuudessa, koska oli vaikea ottaa huomioon kolmatta dimensiota tasossa suunniteltaessa. Materiaalilistojen ja pulttien osalta oli myöskin havaittu haasteita työn tarkkuudessa, mutta erityisesti manuaalisen työn määrä oli merkittävä. Ylipäätään monimutkaiset rakenteet tuottivat haasteita 2D:nä suunniteltaessa. Lisäksi työmäärän vuoksi suunnittelu oli erittäin aikaa vievää. Näiden seikkojen johdosta suunnittelua haluttiin kehittää ja tehostaa teräsrakennesuunnittelua päivittämällä suunnitteluohjelma nykyaikaisempaan.

Bocad Tower on Avevan tarjoama 3D-ohjelma, joka on tarkoitettu juuri mastojen ja pylväiden suunnitteluun. Bocad eroaa tyypillisistä 3D-ohjelmista siten, että sillä ei mallinneta osia itse, vaan kaikki profiilit on luotu tietokantaan jo valmiiksi, ja niistä kasataan pylväs. Koska Bocad on 3D-ohjelma, sillä voidaan sovittaa kaikki osat paikalleen ja havaita törmäykset jo suunnitteluvaiheessa, joka vähentää mahdollisten virheiden määrää huomattavasti. Suunnittelu on myös huomattavasti nopeampaa, sillä suunnittelija laatii 3D-mallin ja Bocad luo osapiirustukset, sekä materiaali- ja pulttilistat sen pohjalta automaattisesti. Kokoonpanopiirustukset suunnittelija laatii manuaalisesti, mutta se on silti nopea prosessi, sillä Bocad näyttää profiilien ja pulttien tiedot automaattisesti.

2 Yleistä

2.1 Voimajohdon suunnitteluprosessi

Voimajohdon tyypillinen suunnitteluprosessi jaetaan kolmeen eri suunnittelun vaiheeseen, joita ovat esi-, yleis- sekä rakennesuunnittelu. Esisuunnittelu on suunnitteluprosessin ensimmäinen vaihe, jossa kartoitetaan alustavia reittivaihtoehtoja sekä hankkeen reunaehtoja. Tässä vaiheessa selvitetään maankäytöllisiä edellytyksiä, esimerkiksi onko alueen käytölle tehty jo suunnitelmia, tai onko joitain muita esteitä alueen käytölle. Selvitysten ja mahdollisten esteiden perusteella suunnitellaan voimajohdon reitti. Reitti valitaan maastoa mukaillen ja reittiä valittaessa otetaan myös huomioon mahdolliset maisemaa haittaavat tekijät. Tässä vaiheessa täytyy myös ottaa huomioon alueella jo olevat rakenteet ja rakennukset, jotka voivat vaikuttaa voimalinjan reittivalintaan. Esisuunnitteluvaiheeseen kuuluu myös erilaisten lupien hakeminen, viranomaisneuvottelut sekä erilaisten selvitysten teko. [2, s. 8.]

Yleissuunnittelu on esisuunnittelua seuraava tarkempi vaihe. Tässä vaiheessa tutkimusten ja aineistojen perusteella suunnitellaan voimajohtopylväiden sijainti ja tehdään maaperätutkimukset pylväspaikoilla, jotta voidaan selvittää perustusolosuhteet. Pylväspaikojen suunnittelussa otetaan huomioon tekniset ja taloudelliset tekijät, sekä voidaanko jo mahdollisesti olemassa olevaa johtoaluetta hyödyntää uuden voimajohdon rakentamisessa. Ympäristötekijöitä jotka vaikuttavat reittiin sekä pylväspaikkoihin ovat esimerkiksi pylväiden näkyvyys maisemassa, topografia ja perustusolosuhteet. Rakennettaessa pylväs keskeiselle paikalle voidaan tapauskohtaisesti käyttää myös maisemapylväitä (kuva 1), jotka sulautuvat paremmin maisemaan ja esiintyvät eräänlaisina taideteoksina. Yleissuunnittelussa otetaan huomioon tekniset tekijät, joita ovat erilaiset säätilat ja kuormitus-tilanteet, sähköturvallisuus sekä rakenteiden lujuuDET. Nämä vaatimukset ovat esitetty standardeissa SFS-EN 50341-1 sekä SFS-EN 50341-2-7. Yleissuunnittelussa päätetään myös mitä pylvästyyppejä ja kuinka korkeita pylväitä käytetään milläkin pylväspaikalla. [2, s. 8-9.]



Kuva 1. Sinikurki maisemapylväät kehä 3 varrella Espoossa.

Viimeisessä vaiheessa eli rakennesuunnittelussa, suunnitellaan yleissuunnitteluvaiheessa päätetyt pylväät perustuksineen yksityiskohtaisesti. Tämä suunnitteluvaihe toteutetaan tyypillisesti rakentamishankkeen yhteydessä. Rakennesuunnitteluun kuuluu myös pylväiden lujuuslaskenta, sekä perustussuunnittelu. Lujuuslaskennan tuloksena saadaan rautalankamalli pylväästä, josta selviää pylvään päämitat, sekä esimerkiksi mitä profiileja tulee käyttää missäkin kohtaa pylvästä. Rakennesuunnittelussa täytyy ottaa huomioon pylvässuunnittelussa käytettävät standardit ja seikat, jotka vaikuttavat pylvään valmistamiseen sekä kasaukseen.

Suomessa voimajohto tulee rakentaa ja suunnitella voimassa olevien lakien ja säännösten mukaisesti, joka tarkoittaa 50 vuoden tehollista käyttöikää. Urakoitsijan jokaisen toimittaman osan täytyy olla rakenteeltaan ja suunnittelultaan sellainen, jotta koko voimajohtojen elinkaaren ajaksi on taattu häiriötön ja taloudellinen toiminta pienillä kunnossapitokustannuksilla. [3, s.1-3.] Voimajohtojen suunnittelu periaatteet on esitetty eurooppalaisessa standardissa SFS-EN 50341-1, sekä sen Suomalaisessa kansallisessa liitteessä SFS-EN 50341-2-7. Standardi SFS-EN 50341-1 [4, s. 76] määrittelee perusvaatimuksena ilmajohtojen suunnittelulle ja rakentamiselle, ettei johtoon synny etenevää sortumisilmiötä, mikäli johonkin osaan syntyy vaurio. Perusvaatimuksena on myös se, ettei

ilmajohto saa aiheuttaa loukkaantumisia, eikä kuolemia ihmisille ilmajohdon rakentamisen tai kunnossapidon aikana.

2.2 Pylvästyypit

Pylvästyypien ja korkeuksien nimeämisessä voimajohtolalla käytetään yleisesti lyhyttä esitystapaa jossa tyyppi, muoto ja korkeus ovat yhdistettynä, esimerkiksi ”3T16.” Ensimmäinen numero tarkoittaa pylvään tyyppiä, eli se kertoo onko kyseessä kannatus- vai kiristyspylväs ja onko se suoranpaikan pylväs vai kulmapylväs. Kirjain puolestaan kertoo pylvään mallin ja pylvään malli yleensä muistuttaa ulkomuodoltaan pylvästä käytettyä kirjainta. Kirjaimen jälkeen tuleva luku kertoo pylvään korkeuden. Korkeuden osalta on huomattavaa, että ilmoitettu korkeus on aina pylvään alaosaan alimman orren tasoon asti, joten itse pylväs voi olla huomattavasti korkeampikin, mutta sen alin orsi sijaitsee 16m korkeudella tässä esimerkki tapauksessa. Pylvästyypit menevät seuraavalla tavalla:

- numero 1 tarkoittaa suoran paikan kannatuspylvästä
- numero 2 tarkoittaa kulmakannatuspylvästä
- numero 3 tarkoittaa suoran paikan kiristyspylvästä
- numero 4 tarkoittaa kulmakiristyspylvästä
- numero 5 tarkoittaa päätepylvästä
- numero 6 tarkoittaa asemapylvästä eli sähköasemilla käytettävää portaalaa, jossa on monta kenttää
- numero 7 tarkoittaa ukkospylvästä eli sähköasemilla käytettävä pylväs, jossa on vain ukkosjohtimet.

Harustettupylväs (kuva 2) on yleisin pylvästyypin ja sitä käytetään aina kun mahdollista, sillä ne ovat kustannustehokkaimpia vaihtoehtoja. Harustettujen pylväiden käyttö vaatii tyyppillisesti paljon tilaa, koska harusvaijerit kiinnitetään maahan upotettavaan haruspilariankkuriin tai haruslaattaan ja siten ne rajaavat ison pinta-ala alueen. Harustettuja pylväitä käytettäessä johtimien kulmat eivät saa kasvaa liian jyrkiksi, sillä harustetut pylväät eivät kestä suuria kulmia. Mikäli johtimien kulma on suuri, tulee siirtyä käyttämään vapaasti seisovia pylväitä. Harustetuista pylväistä on Eltelillä laadittu tyyppikuvat, joten niitä ei tarvitse suunnitella ja piirtää joka kerta uudelleen. [5.]



Kuva 2. Harustettu putkipylväs ja sen osat.

Vapaasti seisovat pylväät ovat ristikkorakenteisia (kuva 3) ja niissä on huomattavasti enemmän osia kuin harustetuissa putkipylväissä. Lisäksi vapaasti seisovat pylväät täytyy suunnitella usein tapauskohtaisesti, joka osaltaan nostaa niiden hintaa. Vapaasti seisovat ristikkopylväät ovat huomattavasti kalliimpia kuin harustetut putkipylväät, joka johtuu suunnittelukulujen lisäksi suurimmalta osaltaan valuperustuksista sekä suuresta teräksen määrästä [6]. Vapaasti seisova pylväs vie huomattavasti vähemmän tilaa kuin harustettu pylväs, joten vapaasti seisoviin pylväisiin päädytäänkin, jos pylvään sijoituspaikka on ahdas ja tilaa on vähän käytettävissä. Ahtaita paikkoja ovat esimerkiksi kaupungit ja teiden vierukset, joissa näkeekin paljon vapaasti seisovia pylväitä. Vaikka pelloilla on paljon tilaa, nykyisin käytetään sielläkin usein vapaasti seisovia pylväitä, sillä harustettujen pylväiden harusvaijerien rajaama pinta-ala on huomattavan iso, eikä viljelytoimintaa saa harjoittaa harusvaijerien rajaamalla alueella. Myös useamman virtapiirin johdoilla käytetään vapaasti seisovia pylväitä niiden tilaa säästävän ominaisuuden ja rakenteellisen kestävyuden vuoksi. [5.]



Kuva 3. Kuvassa Eltelin suunnittelema ja rakentama vapaasti seisova kiristyspylväs.

Kiristyspylväät ovat rakenteeltaan vahvempia kuin kannatuspylväät, sekä johtimien asentaminen niihin on hankalampaa, sillä johtimet täytyy saada oikeaan kireyteen. Koska kiristyspylväiden täytyy kestää suurempia voimia, täytyy ne suunnitella kestävämmän enemmän kuin kannatuspylväät. Tämä tarkoittaa suurempia valuperustuksia sekä isompia teräsprofiileja, joka tekee kiristyspylväistä kalliimpia kuin kannatuspylväät [6]. Lähtökohtaisesti suositaan kannatuspylväitä juuri niiden kustannusten takia, mutta on tilanteita, joissa täytyy käyttää kiristyspylväitä. Isoilla kulmilla käytetään automaattisesti kiristyspylväitä, koska kiristyspylväät kestävät isojen kulmien aiheuttamat kuormat. Hyvien suunnitteluperiaatteiden vuoksi myös merkittävässä risteämissä tulee käyttää kiristyspylväitä, kuten esimerkiksi valtateiden tai sähköistettyjen junaratojen ylityksissä. Myös johdinkonfiguraation tai johdintyyppin vaihtuessa on suotavaa käyttää kiristyspylvästä. [5]

2.3 Pylväille vaaditut etäisyydet

Pylvässuunnittelussa on huomioitava standardien asettamat vaatimukset, jotta pylväät olisivat luotettavia sekä turvallisia käyttää. Standardissa on pylväiden sisäisille etäisyyksille määritelty vähimmäisetäisyydet. Vähimmäisetäisyydet koskevat vaihe- sekä ukkosjohtimien kiinnityspisteiden välistä etäisyyttä. Vähimmäisetäisyyksien täytyy täytyä turvallisen kunnossapidon mahdollistamisen, sekä sähkötekniikan ominaisuuksien vuoksi. Kiinnityspisteiden välinen etäisyys vaihtelee voimalinjan nimellisjännitteen mukaan ja on esitetty taulukossa 1. [7, s. 2.]

Taulukko 1. Vaihe- ja ukkosjohtimien kiinnityspisteiden välinen minimi etäisyys [7, s. 2].

Nimellisjännite	Pienin vaiheväli
110 kV	4,0m
220 kV	5,5m
400 kV	8,5m

Pylväiden korkeuteen vaikuttaa oleellisesti niiden sijainti, sillä jännitteisten osien etäisyydet maahan ja esteisiin on määritelty ilmajohtojen osalta. Etäisyys vaihtelee erityyppisten esteiden, sekä voimalinjan jännitteen mukaan, jotka ovat esitetty taulukossa 2. [7, s. 3.]

Taulukko 2. Fingridin vaatimat etäisyydet maahan sekä esteisiin ilmajohtoilla [7, s. 3].

Etäisyysvaatimukset	400 kV	220 kV	110 kV
Tavallinen maaperä, metsät, polut	8,4m	7,0m	6,4m
Alueet missä ihmisiä tai koneita voi liikkua	10,4m	9,0m	8,4m
Viljelysmaat ja niille johtavat tiet	10,4m	9,0m	8,4m
Pystysuoraetäisyys pääteihin	11,3m	9,8m	9,2m
Pystysuoraetäisyys muihin teihin ja niihin rinnastettaviin alueisiin	10,4m	9,0m	8,4m
Puut (kiivettävät)	4,4m	3,0m	2,4m
Hedelmäpuut	7,4m	5,9m	5,4m
Vaakaetäisyys lämmitettäviin rakennuksiin	6,4m	5,0m	4,4m

Pylväiden korkeuteen vaikuttaa myös maaston muodot, joka karkeasti esitettynä tarkoittaa, että korkeammilla kohdilla käytetään matalampia pylväitä ja vastaavasti notkossa korkeampia pylväitä. Tällä pyritään siihen, että johtimet pylväältä pylväälle, eli jänne, pysyi mahdollisimman suorana eli summa y ($\sum y$) pyritään pitämään positiivisena tai ainakin mahdollisimman lähellä nollaa. Summa y :llä tarkoitetaan viereisten pylväiden johtimien kiinnityspisteiden korkeuksien välistä suhdetta. Varsinkin negatiivinen summa y aiheuttaa ongelmia voimajohdolla ja jos negatiivinen arvo kasvaa suureksi, täytyy pylväisiin tehdä muutoksia. Tällaisessa tapauksessa ensisijaisesti muutetaan pylväskorkeutta, mutta mikäli maasto-olosuhteet eivät tätä mahdollista, täytyy pylvästyypin vaihtaa kannatuspylvästä kiristyspylvääseen, johon pystysuuntaiset kulmat eivät vaikuta. [5; 6]

2.4 Johtimet

Voimajohtorakenteena Suomessa on tyypillisesti yhden tai kahden virtapiirin rakenne. Virtapiiri koostuu kolmesta vaihejohtimesta, joissa kussakin voi olla yhdestä kolmeen osajohtinta. Johtimina käytetään nykyisin 110 kV jännitetasolla ACSR 305-AL1/39-ST1A ”Duck”-johtinta ja yleisesti osajohtimia on nykyrakenteissa kaksi, mutta toisinaan rakennetaan myös yhden osajohtimen voimajohtoja. Kantaverkon 400 kV jännitetasolla käytetään nykyisin johtimina ACSR 565-AL1/72-ST1A ”Finch”-johtinta ja osajohtimia on nykyrakenteissa kolme. Johtimien merkintätapana käytetään muotoa 1x3x2 Duck tai 2x3x3 Finch, jossa ensimmäinen numero tarkoittaa virtapiirien lukumäärää, toinen numero tarkoittaa vaihejohtimien lukumäärää ja kolmas numero tarkoittaa osajohtinten lukumäärää. Osajohtinten lukumäärä riippuu voimajohton tehonsiirtokapasiteetin tarpeesta, lisätessä voimajohtolle toinen osajohtin saadaan tehonsiirtokapasiteetti teoreettisesti kaksinkertaistettua.

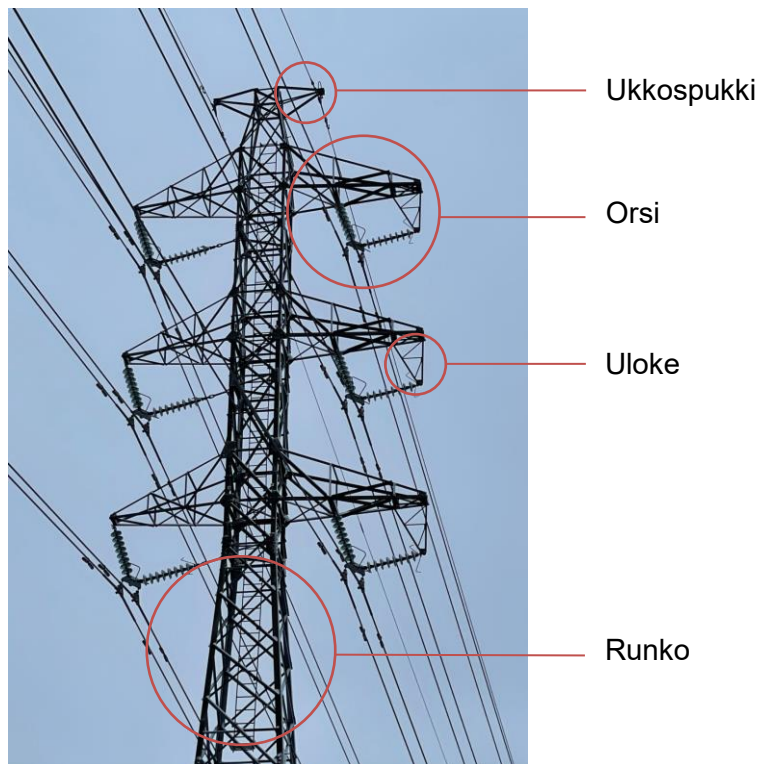
Kahden pylvään välisestä etäisyydestä puhuttaessa puhutaan jännepituudesta. Jännepituuteen vaikuttava tekijä on johtokadun leveys, sillä pitkät jänteet pääsevät heilahtelemaan enemmän tuulen vaikutuksesta. Harustetuilla pylväillä jännesuhde eli yhdeltä pylväältä kumpaakin suuntaan lähtevien johtimien suhde tulisi pitää pienenä (noin 1,2), sillä ne eivät kestä suuria toispuoleisia voimia. Mikäli jännesuhde kasvaa suureksi voidaan jännesuhdetta yrittää muuttaa lisäpylvään avulla, tämä ei ole kuitenkaan aina mahdollista maastosta tai muista rakenteista johtuen. Mikäli pylvään lisääminen välille ei ole

mahdollista, täytyy käyttää vapaastiseisovaa pylvästä, sillä ne kestävät paremmin suuria toispuoleisia voimia. [6; 8.]

Ukkosjohdin on kaikilla pylväillä pylvään kautta maahan yhdistetty johdin, joka on sijoitettu vaihejohtimien yläpuolelle antamaan suoja salamaniskuja vastaan. [4, s. 48] Tavallisesti ukkosjohtimien tyyppinä käytetään AACSR 106-AL2/25-ST1A ”Sustrong”-johdinta. Ukkosjohtimena voidaan käyttää myös OPGW-valokuitujohdinta, OPGW-johdin valitaan sen mukaan, että se vastaisi mahdollisimman paljon teknisiltä ominaisuuksiltaan Sustrong-ukkosjohdinta. OPGW-johtimet asennetaan tiukempaan kireyteen kuin Sustrong-johtimet, jotta ne vastaisivat riippuman osalta toisiaan. OPGW-johtimeen päädytään silloin, kun asiakas haluaa voimajohdolle tiedonsiirtoyhteyden. Asiakkaalla voi olla omia tiedonsiirtotarpeita johdon alku- ja loppupisteen välillä, kuten esimerkiksi johdon suojaus- ja mittausdadan siirto. Johdon omistaja voi myös esimerkiksi vuokrata johdon tiedonsiirtomahdollisuutta ulkopuolisille toimijoille. [5; 6; 8.]

2.5 Pylväiden osat ja niistä käytettävät nimitykset

Pylväät koostuvat erillisistä osista (kuva 4), jotka taas puolestaan voivat muodostaa rakennekokonaisuuksia kuten orsi tai ukkospukki. Jokaiselle osalle sekä rakenteelle on oma nimensä sekä tehtävänsä, jotka ovat tärkeä ymmärtää pylväiden ja ylipäätään voimalinjojen rakenteiden ymmärtämisen vuoksi.

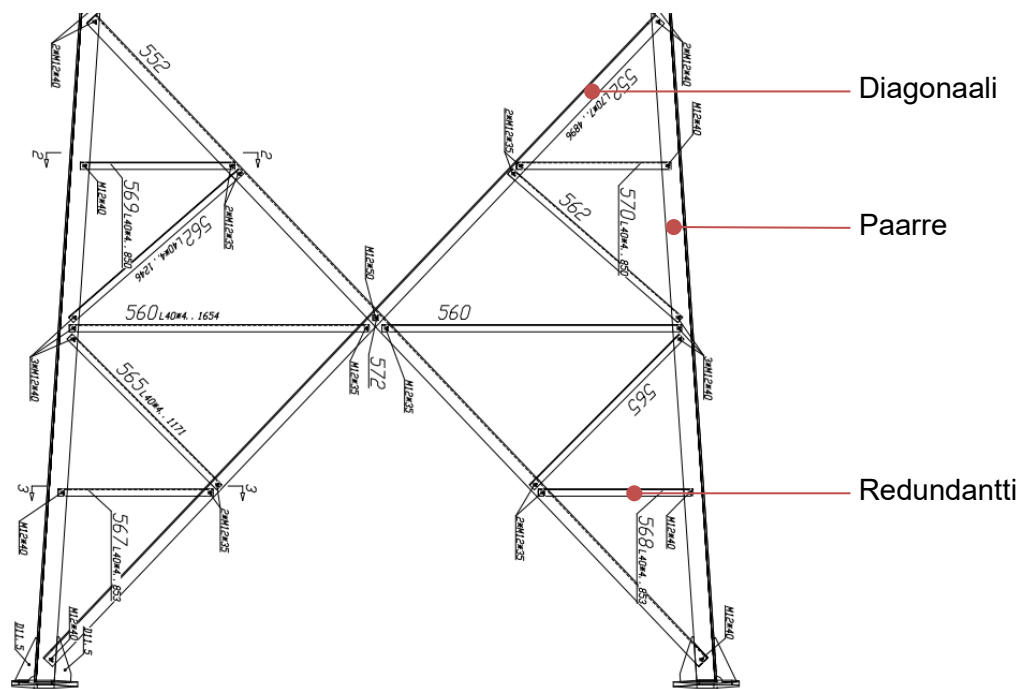


Kuva 4. Kuvassa 2T pylväs ja nimetyt pylvään osat.

Paarre tarkoittaa ristikkorakenteisen pylvään jalkaa tai esimerkiksi orren pääprofiilia.

Diagonaali eli vinoristiside on L-profiili, joka kiinnittyy kahden paarten välille. Nämä muodostavat ristikkorakenteen, joka kantaa leikkausvoimat. Leikkausvoimat jakautuu tasan paneelin kummankin diagonaalin välille, joista toiseen kohdistuu puristusta ja toiseen vetoa. Diagonaalit ovat liitetty toisiinsa risteämispisteessä, koska molemmat diagonaalit kantavat leikkausvoiman ja kriittinen pituus on suunnilleen diagonaalien puolelta välissä. [9, s. 12.4.2.]

Redundantti on tukirauta, joka kiinnitetään paarteeseen ja diagonaalin tai kahden diagonaalin välille (kuva 5). Redundantit eivät kannattele juurikaan kuormaa, vaan ne tukevat diagonaaleja ja estävät niiden nurjautumisen. Vaikkei redundanteille laskettaisikaan kuormia, täytyy niiden silti olla tarpeeksi jäykkiä, jotta ne voivat antaa tehokkaan tuen estämään nurjautumista. Tästä syystä niille määritetään hypoteettinen kuormitus, joka on tyypillisesti noin 1-2,5 % diagonaalin kuormituksesta. [9, s. 12-28.]



Kuva 5. Pylvään ristikkorakenteissa käytettävät osat.

Ukkospukki tai ukkosuloke on pylvään yläpäässä sijaitseva osa, johon ukkosjohtimet kiinnitetään.

Orsi on pylvään osa, joka kannattelee virtajohtimia eristinketjuineen. Pylvään korkeus ilmoitetaan aina mittana pylvään alaosasta alimman orren alapintaan.

Eristinketjulla tarkoitetaan eristinlautasketjua, jolla virtajohtimet eristetään pylväästä. Eristinketjuissa sijaitsevat eristinlautaset ovat valmistettu nykyisin karkaistusta lasista ja eristinketjujen pituuteen vaikuttaa voimalinjan jännitetaso [10, s. 2]. Eristinketjuna voidaan käyttää joko I-ketjua tai V-ketjua. I-ketju on yksinkertaisempi ratkaisu, koska se kiinnitetään pylvääseen vain yhdestä pisteestä. Yhden kiinnityspisteen vuoksi I-ketju pääsee heilahtelemaan tuulen vaikutuksesta noin 700 mm sivuttaissuunnassa. Mikäli johtokadun leveys on määritelty ahtaaksi, voidaan joutua johdinheilahdusten takia käyttämään V-ketjua. Johtimien heilahtamiset ovat V-ketjua käytettäessä I-ketjua huomattavasti pienemmät kahden kiinnityspisteen ansiosta. [5.]

Uloke eli niin sanottu dropperi on lisäosa, joka kiinnitetään orteen kulmakannatuspylväillä. Kun johtimet ovat kiinnitetty orteen I-ketjulla, käytetään uloketta johtimien etäisyysvaatimusten täyttämiseksi. V-ketjua käytettäessä ulokkeen avulla saadaan eristinketju

pysymään oikeassa kulmassa pylvääseen ja johtimiin nähden. Tällöin toinen eristinketjuista kiinnitetään dropperiin, jotta virtajohtimesta aiheutuvat voimat jakautuisivat eristinketjun haarojen kesken tasaisesti. [6.]

Jomppi (kuva 6) on liitinjohto, jolla yhdistetään vaihejohtimet kiristyspylväissä. Myös vaiheiden vuorottelu toteutetaan jomppien avulla.



Kuva 6. Kuvassa kiristyspylvään virtajohtimet ovat yhdistetty jompeilla, sekä virtapiirienvuorottelu toteutettuna jomppien avulla.

U-pultti on U-kirjaimen muotoinen pultti, jota käytetään vaihe- sekä ukkosjohtimien kiinnittämisessä pylvääseen. Myös turvavaijerit kiinnitetään pylvääseen U-pultin avulla.

3 Rakennesuunnittelu

Voimajohtopylväät sekä sähköaseman portaalit kuuluvat standardien SFS-EN 1090-1+A1 ja SFS-EN 1090+A2 toteutusluokkaan EXC2, joka täytyy myös mainita päämittapiirustuksessa. Valtaosalle pylvästyypeistä on jo valmiina pylvässuunnitelmat, jotka sisältävät konepajapiirustukset, yleispiirustukset, käytönrajat sekä materiaalilistat [3, s. 1]. Rakennesuunnittelija suunnittelee pylvään yksityiskohtaisesti laadittujen pylvässuunnitelmien mukaisesti, hänen vastuulla on suunnitella ja toimittaa mm. seuraavat suunnitelmat: [11, s. 5.]

- lujuuslaskelmat ja käytönrajat
- pylväiden ja telineiden yleispiirustus (general drawings)
- osapiirustukset (shop drawings)
- kokoonpanopiirustukset (assembly drawings)
- kokoonpanojen detaljipiirustukset
- pulttilistat
- rakenteiden kasaus- ja pystytysohje
- materiaalilistat.

Yleispiirustuksen täytyy sisältää: [12, s.10]

- Pylvään päämitat sekä paino, myös jokaisen korkeuden ja jatko-osan paino täytyy ilmoittaa erikseen
- Pysty- ja vaakavaihevälit sekä ukkosjohtimien suojauskulmat
- Ruuvikoot ja kiristysmomentit sekä käytettävät U-pultit
- Hitsausmerkinnät ja merkinnät tarkastettavista hitseistä
- Pääkomponenttien materiaalit ja profiilit
- Johtimien nimet sekä jännitykset
- Luettelo kokoonpano- ja osapiirustuksista sekä mahdollisista muista tärkeistä kohteista
- Sinkitys ohje
- Nostopaikat eli kohdat joista pylvästä voidaan nostaa sitä pystyttäessä.

3.1 Standardit

Pylväät suunnitellaan standardien SFS-EN 50341-1 sekä SFS-EN 50341-2-7 mukaisesti, jotka koskevat vaihtosähköilmajohtoja yli 1 kV:n jännitteillä. Nämä standardit määrittelevät ovatko ehdotetut pylvästyypit sopivia ja mitat riittäviä. Huomioitavia seikkoja ovat mm. vaiheiden välinen etäisyys, pylvään sopivuus johtokadun leveyteen nähden, etäisyyksien riittävyys esteisiin ja maahan, sekä pylvään rakenteen sisäisten etäisyyksien täytyminen. Teräsrakenteiden ja niiden yksityiskohtien suunnittelu täytyy tehdä edellä mainittujen standardien mukaisesti. [12, s. 1.]

Pylväissä käytettävät liitokset täytyy tehdä myös standardien mukaisesti. Ruuviliitokset täytyy suunnitella ja toteuttaa standardien SFS-EN 50341-1, SFS-EN 1090-2 ja SFS-EN 1993-1-1 mukaisesti. Ruuviliitoksiin liittyviä yksityiskohtaisia vaatimuksia on esitetty myös standardissa SFS-EN 1993-1-8. Hitsiliitokset täytyy suunnitella ja toteuttaa standardien SFS-EN 50341-1, SFS-EN 1993-1-1 ja SFS-EN 1990 vaatimusten mukaisesti. [12, s. 7.] Toteutettaessa suunnittelu ja valmistus edellä mainittujen vaatimusten mukaisesti pylväät ovat tällöin laatuvarmistettuja ja siten myös CE-hyväksytyjä.

3.2 Sinkitys ja muotoilu

Kaikki pylväs- ja telinerakenteissa käytettävät osat tulee olla kuumasinkittyjä standardin SFS-EN 1461 mukaisesti. Voimajohtopylväiden osien kuumasinkitys tehdään kuitenkin soveltamalla standardia SFS-EN 1461 käyttäen suurempia kuumasinkityksen kerrospaksuuksia kuin standardissa vaaditaan. Pylväille on määritelty kuumasinkityksen vähimmäis- ja keskimääräinen pinnoitteen paksuus, joka on esitetty taulukossa 3. Rakenteiden sinkityspaksuudet tulee myös ilmoittaa aina päämittapiirustuksessa. [11, s. 23.]

Taulukko 3. Fingridin kuumasinkityspinnan vaaditut kerrospaksuudet pylväsrakenteissa soveltamalla standardin SFS-EN 4161 vaatimuksia [11, s. 23].

Rakenteen paksuus	Paikallinen vähimmäis-kerrospaksuus μm	Keskimääräinen pinnoitteen paksuus μm
Teräs, yli 6 mm	100	115
Teräs 3 – 6 mm	85	95
Teräs 1 – 3 mm	60	70
Pikkuesineet	ei sovelleta	ei sovelleta
Valurautaesineet	ei sovelleta	ei sovelleta

Rakenteisiin on tehtävä kuumasinkitysreiät, jotta voidaan varmistua sinkin pääseminen joka paikkaan, sekä varmistaa ylimääräisen sinkin poistuminen. Suunnittelussa on otettava myös huomioon jääkö rakenteeseen ilmataskuja johon sinkki ei pääse. Näihin kohtiin täytyy tehdä myös reikä, jotta ilma pääsee poistumaan ja sinkki kulkemaan. Sinkitysreikien tulee olla tarpeeksi isoja ja minimikoko reiälle on halkaisijaltaan 10 mm. Reiän ollessa liian pieni, valuu ylimääräinen sinkki reiästä pois todella hitaasti vaikuttaen sinkityksen lopputulokseen huonontavasti. Avointen putkirakenteiden päät tulee sulkea laipoilla siten, että kulmiin jää tuuletusaukot. Näitä aukkoja voidaan hyödyntää myös sinkitysauskoina. Aukkojen ansiosta rakenteen sisään ei pääse kertymään painetta, joka muuten kertyisi johtuen sinkityksessä olevan korkean lämpötilan vuoksi. [11; 13.]

Rakenteet täytyy suunnitella siten, että sade ja kondenssivesi eivät pääse jäämään rakenteiden sisään. Tämän voi toteuttaa suunnittelemalla rakenne niin, että vesi pääsee valumaan pois tai varmistamalla veden poistumisen lisärei'ityksellä. Näitä reikiä voidaan hyödyntää samalla myös sinkitysreikinä. Lisäreikiä joudutaan tekemään myös sähköisiä liitännöjien varten, sillä rakenteissa täytyy olla maadoitusliitospaikat, jotka tulee esittää kokoonpano piirustuksissa. Maadoitusliitospaikat sijaitsevat tyypillisesti ukkospukissa sekä pohjalevyn jäykisteissä. [11, s. 15.]

3.3 Käytettävät materiaalit ja profiilit

Pylväiden valmistukseen käytettävillä materiaaleilla on asetettu erityisvaatimuksia. Käytettävät teräsmateriaalit on määritelty profiilien ja osien mukaan taulukossa 4. Kaikkien pylväissä käytettävien materiaalien täytyy olla kaupallisesti valmistettavia, sekä yleisesti saatavissa olevia SFS-EN standardien mukaisia materiaaleja. Pylväissä käytetään yleisesti S355 rakenneterästä, jonka myötölujuus on 355 MPa joka on myös vähimmäisvaatimus pylväsrakenteissa. Käytettäessä jotain muuta teräslaatua on huomioitava, että korkein myötölujuus saa olla enintään 490 MPa. Teräksen kuumasinkittävyden onnistumisen kannalta tulee teräksen piipitoisuuden olla alueella $Si=0.15-0.25\%$ (keskipiiteräs). [11, s.12.] Tällöin saavutetaan pinnoitteen riittävä tarttuminen, paksuus sekä vältetään tumman harmaa ja liian paksu pinnoite, joka lisää pinnoitteen vahingoittumisriskiä [4, s.216].

Taulukko 4. Fingridin pylväissä käyttämät teräkset, lujuudet ja ainetodistukset [11, s.14].

	Materiaali	Standardi
HEA-profiilit	S355J0	SFS-EN 10025
U-profiilit	S355J0	SFS-EN 10025
L-profiilit	S355J0	SFS-EN 10025
Latta, pyörötanko	S355J0	SFS-EN 10025
Suorakaideputket	S355K2H	SFS-EN 10219
Pyöreät putket	S355K2H	SFS-EN 10219
Varustelevyt	S355J2+N	SFS-EN 10025

Kirjaimet J ja K kuvaavat materiaalin murtumiseen vaadittavan energian määrää, eli kertovat materiaalin pitkittäisen iskutheyden. Kirjain J tarkoittaa 27:n joulen iskutheyttä, kun taas kirjain K tarkoittaa 40:n joulen iskutheyttä. Seuraava numero kertoo missä lämpötilassa iskutheys on testattu, 0 tarkoittaa että testaus on tapahtunut 0°C lämpötilassa ja numero 2 puolestaan tarkoittaa -20°C testauslämpötilaa. Merkintä +N tarkoittaa että teräs on lopuksi normalisoitu. Normalisoimalla teräkselle annetaan yhtenäinen ja hienorakeinen rakenne mekaanisten ominaisuuksien varmistamiseksi. [14]

3.4 Ruuviliitokset

Pylväsrakenteiden pääasiallinen liitostyyppi on ruuviliitos. Ruuviliitokset täytyy suunnitella ja toteuttaa standardien SFS-EN ISO 1090-2 ja SFS-EN ISO 50341-1 vaatimusten mukaisesti. Standardissa SFS-EN ISO 1993-1-8 on esitetty muita yksityiskohtaisia vaatimuksia. Pylväät kasataan ruuviliitoksilla vasta pylväiden pystytyspaikoilla, eikä työmaahitsauksia sallita, joten liitokset täytyy suunnitella sopimaan pylvään pystytysmenetelmien kanssa. [11, s.19.] Pylväät voivat sisältää myös hitsattuja kokoonpanoja, kuten portaalin orsi ja ukkospuikki. Nämä toimitetaan kasausta paikalle tyypillisesti valmiina kokoonpanoina. Liitoksissa käytettävät ruuvit ja mutterit ovat kuusioruuveja ja -muttereita. Jokaisen ruuvin täytyy olla samaa lujuutta ja teräslaatua lukuun ottamatta u-pultteja, jotka mainitaan suunnitelmissa erikseen. Kriteerit ruuviliitoksille ovat: [11, s. 20]

- Ruuveina käytetään osakierrettyjä standardin SFS-EN ISO 4014 mukaisia kuusioruuveja, jotka siirtävät liitoksen leikkausvoiman ruuvin kierteettömän osan avulla.
- Kuusioruuvit ovat lujuusluokkaa 8.8 ja kierteen tarkkuusluokka on B standardin SFS-EN ISO 898-1 mukaan.
- Ruuvin pituus valitaan varren kierteettömän osan mukaan. Leikkausliitoksissa ruuvin kierre saa ulottua perusaineen puolelle korkeintaan $t/3$ verran. Mutterin kiristyksen jälkeen on ruuvin kierrettä oltava näkyvissä vähintään kaksi täyttä kierrosta, jotta ruuviliitos voidaan varmistaa rikkomalla kierre mutterin juuresta. Ruuveja ja muttereita ei saa hitsata.
- Rakenteellisten ruuvien nimellishalkaisijan on oltava vähintään M12 sellaisissa rakenteissa joihin suurempi ruuvi ei sovi. M12 ruuveina käytetään täyskierrettyjä SFS-EN ISO 4017 mukaisia ruuveja. Muuten käytetään minimimitaltaan M16 ruuveja.
- Kuusiomuttereina käytetään standardin SFS-EN ISO 4032 mukaisia muttereita. Kuusiomuttereiden lujuusluokka on 8 ja kierteen tarkkuusluokka on B standardin SFS-EN ISO 898-2 mukaan.
- Lukitukseen vedetyissä liitoksissa kuten esimerkiksi perustusten ankkuripultit, U-pultit, ja maadoitusliittimien pultit, käytetään kahta mutteria päällekkäin lukitukseen liitos.
- Muttereiden alla tulee käyttää vähintään yhtä aluslevyä ja ruuvin pituuden säätämisessä voidaan käyttää yhtä ylimääräistä aluslevyä joko mutterin tai ruuvin kannan alla. Aluslevyt tulee olla standardin SFS-EN ISO 7091 tai DIN 7989 mukaisia ja paksuudeltaan 8mm. Liitoksissa ei sallita jousialuslevyjä.
- Ruuvien, muttereiden ja aluslevyjen tulee olla kuumasinkittyjä standardin SFS-EN ISO 10684+AC mukaan. Liitoksissa ei saa käyttää sähkösinkittyjä tuotteita.

Ruuviliitoksissa käytettävien reikien tulee täyttää taulukossa 5 esitettyjen reikien vaatimukset standardin [15, s.36] SFS-EN ISO 1090-2 mukaan.

Taulukko 5. Taulukossa on esitetty käytettäville ruuvikoille vaaditut reikäkoot [15, s.36].

Ruuvi	Ruuvin halkaisija mm	Ruuvin reiän nimelliskoko mm
M12	12	13.5
M16	16	17.5
M20	20	21.5
M22	22	23.5
M24	24	25.5
M27	27	29.5
M30	30	32.5

Jotta ruuviliitos olisi luotettava, täytyy ruuvit kiristää oikeaan esikireyteen. Esikiristuksen täytyy olla riittävä, olematta kuitenkaan liian suuri. Oikealla esikiristysasteella ruuviliitoksesta saadaan luotettava ja se säilyttää riittävän kireyden koko elinikänsä ajan. [16.] Pylväiden ruuviliitoksissa käytettävät vääntömomentit on esitetty taulukossa 6. Ruuvien esikiristys vääntömomentit tulee esittää pylväiden päämittapiirustuksissa käytettävien ruuvikokojen kanssa. [17, s. 11.]

Taulukko 6. Fingridin käyttämät ruuvien kiristysmomentit [17, s. 11].

Ruuvi	Veto- ja leikkausvoimaa siirtävä ruuviliitos, 50% kiristysaste. (Nm)	Toleranssi
M12	55	± 10
M16	135	± 20
M20	260	±30
M22	350	± 30
M24	440	± 40
M27	645	± 40
M30	880	± 50

3.5 Mitat ja reunaetäisyydet

Ruuviliitokset täytyy suunnitella siten, että ne täyttävät standardin 50341-1 asettamat vaatimukset. Ruuviliitoksia suunniteltaessa tulee huomioida myös niiden toteutettavuus kasaustilanteessa, esimerkiksi että ruuvi päästään kiristämään kunnolla. Pylvästä suunniteltaessa täytyy ruuvit asettaa suoriin keskeisiin linjoihin, jotta osien valmistaminen olisi helpompaa. Keskeiset ruuvilinjat vähentävät myös virheiden mahdollisuuksia. Standardissa [18, s. 24] SFS-EN 1993-1-8 on esitetty ruuvien pienin ja suurin keskiöväli sekä pääty- ja reunaetäisyydet (kuva 7).

Taulukko 3.3: Pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo ¹⁾²⁾³⁾		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräkset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai 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 $8t$ or 125 mm
Etäisyys e_3 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Etäisyys e_4 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Keskiöväli p_1	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja 400 mm		
Keskiöväli p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm

1) Keskiöväleillä, pääty- ja reunaetäisyyksillä ei ole ylärajaa paitsi seuraavissa tapauksissa:
- puristetussa rakenneosissa paikallisen lommahduksen ja korroosion välttämiseksi korroosiorasituksen alaisena ja;
- korroosiorasitukselle alttiit vedetyt rakenneosat korroosion välttämiseksi.

2) Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus lasketaan standardin EN 1993-1-1 mukaan olettamalla levy pilariksi ja käyttämällä nurjahduspituutena arvoa $0,6p_1$. Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallista lommahdusta ei tarvitse tarkistaa, jos p_1/t on pienempi kuin $9e$. Reunaetäisyys saa olla enintään ulokkeelliselle puristetulle taso-osalle esitetyn arvon suuruinen paikallisen lommahduksen estämiseksi, ks. standardi EN 1993-1-1. Tämä vaatimus ei koske päätyetäisyyttä.

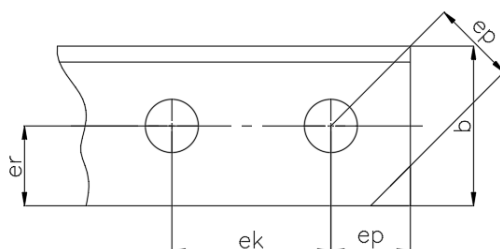
3) t on uloimman liitettävän osan pienempi paksuus.

4) Pidennettyjen reikien raja-arvot esitetään kohdan 1.2.7 mukaisessa viitestandardiryhmässä 7.

5) Limitetyille kiinnitinriveille voidaan käyttää minimiarvoa $p_2 = 1,2d_0$, jos kahden limityksessä olevan kiinnittimen välinen minimietäisyys $L \geq 2,4d_0$, ks. kuva 3.1b).

Kuva 7. Kuvassa on esitetty ruuviliitosten etäisyydet [18, s. 24].

Kuvassa 7 on siis esitetty standardin EN-SFS 1993-1-8 vaatimat minimi päätyetäisyydet sekä keskiövälit. Eltelillä käytetään kuitenkin suurempia ruuviliitosten päätyetäisyyksiä ja keskiövälejä kuin standardin minimivaatimukset (kuva 8).



M	b min	ek	ep	er	Päärrejatkos	
					ek	ep
M12	35	30	18	18	36	18
M16	50	40	24	24	48	24
M20	60	50	30	30	60	30
(M22)	70	55	33	33	66	33
M24	80	60	36	36	72	36
(M27)	90	70	41	41	81	41
(M30)	100	75	45	45	90	45
(M33)	100	85	50	50	99	50

Kuva 8. Kuvassa Eltelin käyttämät etäisyydet käytettäville ruuveille.

Ruuviliitoksia suunniteltaessa tulee huomioida myös L-profiileissa oleva sisäsäde (kuva 9). Osa diagonaaleista kiinnitetään paarteisiin kahdella tai kolmella ruuvilla, jonka seurauksena diagonaalin pää saattaa ulottua paarteen sisäsäteen alueelle. Näissä tapauksissa diagonaalin pääty täytyy viistää, jotta liitos istuu hyvin. Viisteet tulee toteuttaa Eltelin viisteohjeistuksen mukaisesti, jotta viisteet ovat samanlaisia edesauttaen osien valmistettavuutta. Ruuviliitokset täytyy suunnitella myös siten, että diagonaalit eivät kiinnity siihen kohtaan, josta paarre on lämmön avulla taivutettu. Päärrejatkoksien kohdalla paarteet menevät päällekkäin tai sisäpuolelle asetetaan vastaava L-profiili tueksi. Tässä tilanteessa täytyy myös huomioida sisäsäde, sillä profiilit eivät istu toisiinsa, ellei sisemmän profiilin ulkoreunaa viistetä ulomman profiilin sisäsäteen verran.

PROFILE TABLE (All Tower and Mast Programs)

Profile dimensions

Nr	Profile name	Ty	M	B1	B2	T	R	Gap	A	i-n	i-z	i-y	e-z	e-y	Ltot	Wtot
1	L 40x4	4	1	40	0	4.0	6.0		308	7.8	12.1	12.1	28.8	28.8	25.3	60
2	L 45x5	4	1	45	0	5.0	7.0		430	8.7	13.5	13.5	32.2	32.2	1187.2	3934
3	L 50x5	4	1	50	0	5.0	7.0		480	9.7	15.1	15.1	36.0	36.0		
4	L 60x6	4	1	60	0	6.0	8.0		691	11.7	18.2	18.2	43.1	43.1	242.0	1287
5	L 70x7	4	1	70	0	7.0	9.0		940	13.6	21.2	21.2	50.3	50.3	176.1	1274
6	L 80x8	4	1	80	0	8.0	10.0		1227	15.6	24.3	24.3	57.4	57.4	72.0	680
7	L 90x9	4	1	90	0	9.0	11.0		1552	17.6	27.3	27.3	64.6	64.6		
8	L 100x10	4	2	100	0	10.0	12.0		1915	19.5	30.4	30.4	71.8	71.8		
9	L 110x10	4	2	110	0	10.0	12.0		2115	21.6	33.6	33.6	79.3	79.3		
10	L 120x11	4	2	120	0	11.0	13.0		2537	23.5	36.6	36.6	86.4	86.4		
11	L 130x12	4	2	130	0	12.0	14.0		2997	25.5	39.7	39.7	93.6	93.6		
12	L 140x13	4	2	140	0	13.0	15.0		3495	27.4	42.7	42.7	100.8	100.8		
13	L 150x14	4	2	150	0	14.0	16.0		4031	29.4	45.8	45.8	107.9	107.9		
14	L 160x15	4	2	160	0	15.0	17.0		4606	31.3	48.8	48.8	115.1	115.1		
15	L 180x16	4	2	180	0	16.0	18.0		5539	35.3	55.1	55.1	129.8	129.8		
16	L 200x16	4	2	200	0	16.0	18.0		6179	39.4	61.6	61.6	144.8	144.8		

Active profile properties

Profile type: (4) L-angle, hot Material: (1) S235

11.2 Ey, location of centroid due y-axis
 11.2 Ez, location of centroid due z-axis
 15.8 Eo, location of centroid due n-axis
 45.0 Ang, angle of neutral axis (L-angles only)
 0.0 Ev, edge distance of torsional center
 15.8 En, edge distance due to n-n axis

162 Circ, circumference (mm)
 1.00 Reff, reduction factor for Aeff
 308 Aeff, effective area in buckling
 2.4 Weig, unit weight (kg/m)

Automatic naming
 Use spaces
 Add "cold"
 Add standard for hots
 DIN
 Set names

Kuva 9. Keltaisessa sarakkeessa ilmoitettu käytettävien profiilien sisäsäde.

3.6 Revisiointi

Piirustusten ja materiaalilistojen revisiointi on tärkeää, jotta tiedetään mikä on uusin ja voimassa oleva revisio dokumentista. Revisiointi aloitetaan revisiosta R0 ja revisionumeroa kasvatetaan aina yhdellä numerolla, kun dokumentteihin tehdään muutoksia. Suunnitteluvaiheessa piirustuksiin voidaan joutua tekemään monia muutoksia. Näitä muutoksia ei kuitenkaan revisioida niin pitkään, kun dokumentit ovat vielä suunnitteluvaiheessa. Valmiit asiakkaalle toimitettavat piirustukset ovat R0 ja revisiointinumeron kasvattaminen aloitetaan vasta kun dokumentit ovat toimitettu asiakkaalle, mikäli niihin tehdään vielä muutoksia tämän jälkeen. Tehdyt muutokset täytyy myös kertoa piirustuksen yhteydessä sille varatussa kentässä ja esittää tarvittaessa kuvassa revisionuolella tai laajemmat muutokset revisiopilvellä. Tämän avulla on helppo löytää heti mitä muu-

toksia piirustuksiin on tehty. Mikäli esimerkiksi yhdestä kokoonpanopiirustuksesta tehdään uusi revisio, täytyy revisionumeroa kasvattaa myös yleispiirustuksessa, jotta voidaan helposti selvittää mikä on pylväskuvapaketin uusin ja voimassa oleva revisio.

3.7 Turvatikkaat ja turvavaijeri

Osana pylvässuunnittelua jokaiselle pylväälle tehdään turvatikassuunnittelu ja se liitetään pylväspiirustuksiin, jotta jokaisessa pylväässä olisi turvallista liikkua ja niitä olisi turvallista huoltaa. Turvatikassuunnitelma liitetään viimeiseksi osaksi pylväskuvapakettia ja siinä määritellään mitä turvatikasosia pylväaseen tarvitaan sekä niiden lukumäärä.

Pylväisiin asennetaan turvatikkaat (kuva 10), jotka täytyy olla varustettu putoamisenestolaitteella. Tikkaat alkavat yhden metrin korkeudelta maan pinnan tasosta ja niiden täytyy yltää korkeimman vaakaorren tasolle asti mukaan lukien ukkospuikki vapaasti seisovissa pylväissä. Kaksoisvirtapiirin pylväillä on pääsy järjestettävä siten, ettei tarvitse kulkea toisen virtapiirin jännitteisten virtajohtimien yläpuolella. Tämän takia joihinkin pylväisiin joudutaan asentamaan useammat kuin yhdet tikkaat. Harustetuissa pylväissä käytetään pystysuuntaisilla tai vinoilla ukkosulokkeilla porraskuolia ilman putoamisenestolaitteita, joten porraskuolien tulee olla sellaisia, että niissä voidaan käyttää samoja kiinnitysvälineitä kuin muualla pylväessä liikuttaessa turvallisesti. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi hitsaamalla puolan päähän levy, jottei kiinnitysvälineet pääse putoamaan puolan päästä pois. Ukkosulokkeen yläpäässä on oltava U-pultti turvalinjaan kiinnittämistä varten. Pylväissä ja portaaleissa täytyy olla myös turvavaijeri, mikäli pylvään tai portaalin orrella joudutaan liikkumaan. Esimerkiksi sähköasemilla pääteportaalien kahden tornin välillä täytyy olla turvavaijeri, jotta siihen voi kiinnittyä orren päällä liikuttaessa. [19.]



Kuva 10. Kuvassa pylvääseen asennetut turvatikkaat, joihin asentaja kiinnittää itsensä kiivettäessä pylvääseen.

3.8 Koekasaukset

Koekasaukset suoritetaan jokaiselle suunnitellulle uudelle pylväälle (kuva 11), ennen kuin pylvään massatuotannolle voidaan antaa lupa. Suoritettaessa koekasausta osia ei saa pakottaa paikoilleen, niin että sen seurauksena rakenteeseen syntyisi pysyviä muodonmuutoksia. Koekasaus täytyy suorittaa suunnitelmien mukaisilla oikean kokoisilla ja pituisilla ruuveilla. [11, s.26.] Suunnittelija itse käy usein tekemässä tarkastuksen koekasatulle pylväälle. Tarkastaja tekee ennakkoon suunnitelman mitä hän haluaa rakenteesta tarkastaa. Jokaisesta pylväästä tulee tarkastaa vähintään pylvään päämitat ja pohjalevyjen ankkuripulttien reikätäisyydet. Lisäksi tarkastetaan myös etukäteen satunnaisesti valitut osat ja ruuvit. Osien profiilien tulee olla piirustusten mukaisia ja pulttien suunnitelman mukaisia. Pylvästä on myös hyvä tarkastella yleisesti, siltä varalta, että

sieltä löytyisi suunnitelman vastaisia virheitä. Tarkastettaessa täytyy jokainen tarkastettu osa kuvata siten että sen osanumero näkyy, jotta mahdolliset puutteet on helppoa osoittaa jälkikäteenkin. Koekasauksen tarkastuksen yhteydessä tehdään koekasausraportti, jonka perusteella tehdään päätös, täytyykö pylvääseen tehdä muutoksia ennen massa-tuotannon luvan myöntämistä. Mikäli koekasauksessa ilmenee puutteita tai virheitä, täytyy pylvään valmistajan tehdä vaadittavat korjaukset ja osoittaa ne tehdyiksi ennen kuin lupa myönnetään.

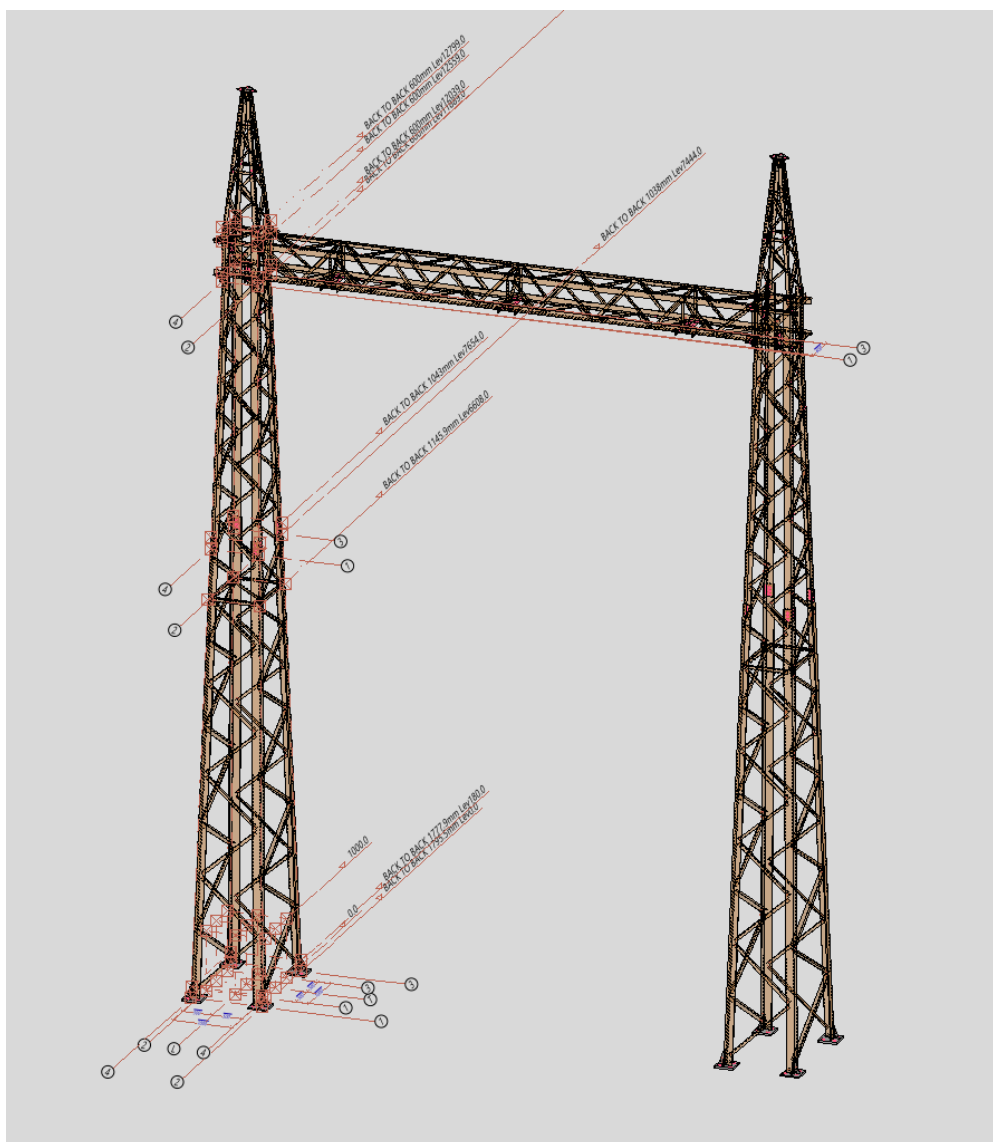


Kuva 11. 2Z21 pylväs koekasattuna.

4 Työn toteutus

Tämä insinööriyö koostuu kahdesta erillisestä osasta. Tämän osan lisäksi työ käsittää toisen osion, joka on Bocad-manuaali. Bocad-manuaali on erillinen dokumentti, sillä sen halutaan jäävän vain Eltelin sisäiseen käyttöön. Teräsrakennesuunnittelu ohjetta tehtäessä päätettiin, että ohje toteutetaan Fingridin vaatimuksia mukaillen. Fingrid omistaa Suomen sähkönsiirron kantaverkon ja heidän vaatimuksensa sähköverkon rakentamisen suhteen ovat kaikista tiukimmat. Koska Fingridin vaatimukset ovat kaikista tiukimmat, voidaan tässä insinööriyössä esitetyjä vaatimuksia käyttää myös muille yhtiöille pylväitä suunniteltaessa.

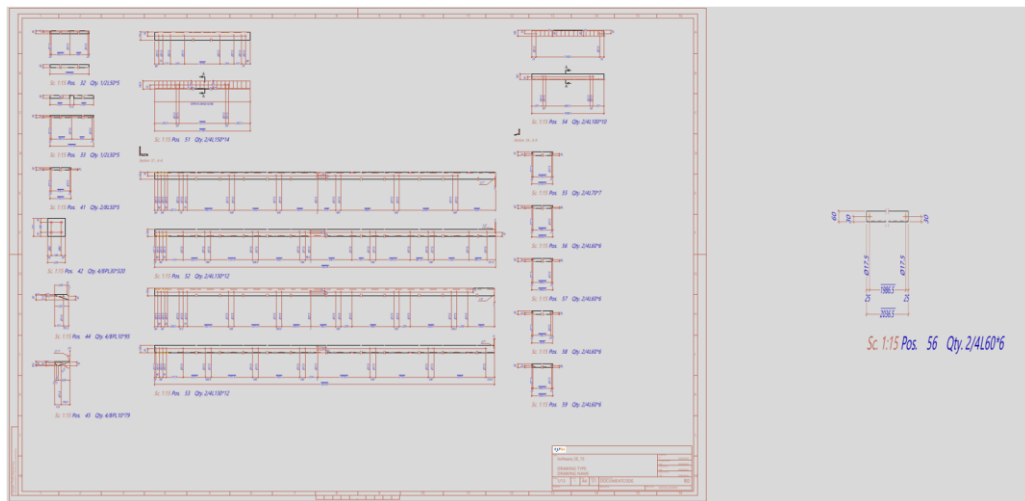
Insinööriyön teräsrakennesuunnittelua tehtäessä täytyi ensin kehittää tietämystä pylväistä ja muista perusasioista, jotka liittyvät pylvässuunnitteluun. Tietämystä kehitettiin tutustumalla vanhoihin pylväspiirustuksiin, kyselemällä tietoa kokeneemilta suunnittelijoilta sekä tekemällä muutama harjoituspylväs Bocadilla (kuva 12). Harjoituspylväitä tehdessä eteen tuli paljon uudenlaisia tilanteita, jotka kehittivät osaamista ja tietämystä siitä, mitä kaikkea tulee ottaa huomioon suunniteltaessa voimajohtopylväitä. Teräsrakennesuunnittelua tehtäessä täytyi tutustua huolellisesti Fingridin laatimiin spesifikaatioihin, joissa oli esitetty vaatimukset pylväiden suunnittelulle ja rakentamiselle. Spesifikaatioista poimittiin tärkeimmät tiedot, joita teräsrakennesuunnittelijan täytyy huomioida omassa työssään. Koska pylväiden suunnittelu ja rakentamisen vaatimukset ovat määritelty tarkkaan, täytyi myös perehtyä moniin eri standardeihin, jotta kaikki vaaditut vaatimukset saatiin selville. Käytännön kokemuksen ja pylväistä paremman käsityksen saamiseksi käytiin tarkastamassa 2Z21 pylvään koekasaus. Tällöin päästiin näkemään valmiiksi kasattu pylväs lähietäisyydeltä ja konkreettisesti näkemään mitä kaikkea suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon.



Kuva 12. Kuvassa Bocadilla harjoituksena mallinnettu 5E12 portaali.

Bocad-manuaalia varten täytyi ensin perehtyä ohjelman käyttölogiikkaan, sekä opetella peruskomennot, joilla pylväs saadaan mallinnettua. Bocadin perustoiminnoista hyvän käsityksen antoivat tehdyt harjoituspylväät. Näiden pylväiden avulla harjoiteltiin lähinnä 3D-mallin rakentamista, jonka pohjalta luodaan osa- sekä kokoonpanopiirustukset ja materiaalilistat. 3D-mallia tehtäessä määritetään käytettävät profiilit ja pisteet, joiden välille profiilit sekä pulttien paikat asetetaan. Näiden tietojen perusteella Bocad luo piirustukset automaattisesti, sekä asettaa oikean pituiset pultit valittuihin kiinnityskohtiin. Osaamisen kehittyttyä aloitettiin 6E12 portaalin mallintaminen tuotantoprojektia varten. 3D-mallin val-

mistuttua ja piirustusten tekoa aloittaessa kuitenkin huomattiin monia virheitä sekä puutteita, joita täytyi korjata. Tässä vaiheessa täytyi olla useasti yhteydessä Avevan tukihenkilöön, sillä asetusten muuttaminen halutun lopputuloksen saavuttamiseksi osoittautui hyvin haasteelliseksi. Suurimmat ongelmat olivat ohjelmaan valmiiksi koodattujen pulttien kanssa, sillä pulttipituudet sekä reikäkoot olivat väärin, vaikka koodatut pultit olivat luotu Eltelin vaatimusten mukaisesti. Toinen kohdattu ongelma oli Bocadin automaattisesti luomien osapiirustusten kanssa, sillä aluksi piirustukset olivat todella epäselviä liiallisen informaation vuoksi. Lisäksi jokainen yksittäinen osa oli sijoitettu erilliselle arkille, (kuva 13), joka kasvatti piirustusten määrää sadoilla sivuilla. Ongelmat saatiin ratkaistua muuttamalla ohjelman asetuksia.



Kuva 13. Kuvassa vasemmalla oikein tehty piirustus, jossa monta osaa on sijoitettu samalle arkille. Oikealla kuvassa yksittäinen osa yhdellä arkilla.

5 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tavoitteena oli koota ohje uusille teräsrakennesuunnittelijoille, jota uudet työntekijät voivat käyttää hyödyksi perehtymisen yhteydessä, sekä tietävät asetetut vaatimukset. Ohjeen oli tarkoitus toimia myös vanhojen työntekijöiden apuna, sillä työhön koottiin kaikki oleelliset vaatimukset, jotka täytyy huomioida teräsrakennesuunnittelussa. Työssä myös kerrotaan mitä kaikkia standardeja suunniteltaessa täytyy noudattaa, joten jokaisen suunnittelijan on helppo tarvittaessa käydä lukemassa lisätietoa kyseisistä standardeista.

Työn tavoitteet saavutettiin hyvin, sillä lopputuloksena saatiin kattava ohje teräsrakennesuunnittelussa vaadituista seikoista. Työ antaa myös hyvän yleiskuvan voimalinjojen suunnittelusta sekä yleisistä pylväisiin liittyvistä asioista, kuten pylvästyypeistä ja milloin päädytään käyttämään mitäänkin pylvästyyppeä. Bocad manuaalin osalta päästiin myös halluttuun lopputulokseen, sillä kaikki ilmenneet virheet saatiin korjattua ja ohjelmisto on nykyisin normaalissa tuotantokäytössä. Kaikki tehdyt asetukset voitiin tallentaa kansioon, josta Bocad hakee tiedot. Kansio voidaan myös jakaa edelleen muille suunnittelijoille. Näin jokainen suunnittelija saa suoraan oikeat asetukset omaan koneeseensa, eikä jokaisen tarvitse uudelleen luoda asetuksia. Samoja asetuksia käytettäessä suunnittelijat pääsevät samanlaiseen lopputulokseen, joten toisten tekemiä suunnitelmia on helppo tarkastaa. Valmiiden asetusten käyttäminen uusissa projekteissa nopeuttaa suunnittelutyötä huomattavasti, sillä kaikkien asetusten löytäminen ja muuttaminen on hidasta sekä monimutkaista.

Bocadin käytön tehostamisen osalta kehitystyötä voitaisiin jatkaa mallintamalla usein käytettäviä tyyppiosia kuten ukkospukin ja luomalla kirjaston, johon tyyppiosat tallennettaisiin. Tämä nopeuttaisi suunnittelutyötä entisestään, kun suunnittelijoiden ei tarvitsisi mallintaa samoja osia eri projekteissa aina uudelleen, vaan voisivat hyödyntää myös jo valmiiksi mallinnettuja osia.

Lähteet

- 1 Eltelin yleisesitys 2020 final. Yrityksen sisäinen dokumentti. Eltel networks Oy.
- 2 Voimajohtojen huomioon ottaminen yleis- ja asemakaavoituksessa sekä maankäytön suunnittelussa. 2016. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/fingrid_kaavaohje_2016-id-20288.pdf>. Luettu 11.10.2020.
- 3 Fingrid S23101E1 - Yleiset vaatimukset voimajohtoprojekteille. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Fingrid Oyj.
- 4 SFS-EN 50341-1:2014. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt. Helsinki: Suomen standarditoimistoliitto SFS Ry.
- 5 Aalto, Toni 2020. Pääsuunnittelija, Eltel networks Oy, Espoo. Keskustelu 4.11.2020
- 6 Sipiläinen, Ari 2021. Suunnittelupäällikkö, Eltel networks Oy, Espoo. Keskustelu 7.1.2021
- 7 Fingrid S23103E1 - Etäisyysvaatimukset ilmajohtorakenteissa ja esteisiin. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Fingrid Oyj.
- 8 Fingrid S23401E1 – Johtimet. 2012. Yrityksen sisäinen dokumentti. Fingrid Oyj.
- 9 Papailiou. CIGRE Green Book on Overhead lines. Cigre, Paris, 2014.
- 10 Fingrid S23501E1 – Eristimet. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Fingrid Oyj.
- 11 Fingrid S23203E1 Toteutuseritelmä – teräsrakenteet. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Fingrid Oyj.
- 12 Fingrid S23201E1 – Pylväiden suunnittelu. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Fingrid Oyj.
- 13 Reiitys kuumasinkittäviin kappaleisiin. Verkkoaineisto. Vihdin kuumasinkitys. <<https://www.vihdinkuumasinkitys.fi/wp-content/uploads/2019/07/Reiitysohje.pdf>>. julkaistu 7.2019. Luettu 13.11.2020
- 14 SSAB Multisteel SN. Verkkoaineisto. SSAB <<https://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/ssab-multisteel/ssab-multisteel-sn>>. Luettu 20.11.2020

- 15 SFS-EN 1090-2 + A1:2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen standarditoimistoliitto SFS Ry.
- 16 Ruuviliitokset. Verkkoaineisto. Ferrometal Oy. <http://www.imatranpultti.fi/images/pdfs/tietoa_ruuviliitoksista.pdf>. Luettu 20.11.2020
- 17 Fingrid S23204E1 Asennuseritelmä – teräsrakenteet. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Fingrid Oyj.
- 18 SFS-EN 1993-1-8:2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standarditoimistoliitto SFS Ry.
- 19 Fingrid S23202E1 – Pylväiden varusteet. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Fingrid Oyj.