



Rasmus Satta

Tuulivoimapuistojen verkkoliityntöjen teknisten ratkaisujen vertailu ja vaikutusten arviointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

13.3.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Rasmus Satta
Otsikko:	Tuulivoimapuistojen verkkoliityntöjen teknisten ratkaisujen vertailu ja vaikutusten arviointi
Sivumäärä:	45 sivua
Aika:	13.3.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Tuomo Heikkinen Projektijohtaja Jarkko Pekkanen

Opinnäytetyönä toteutettu tutkimus tehtiin yhteistyössä ABO Wind Oy:n kanssa, ja sen tavoitteena oli tutkia ilmajohtojen ja maakaapeleiden teknisiä ominaisuuksia ja arvioida niiden soveltuvuutta tuulivoimapuistojen verkkoliittymisvaihtoehtoina kustannusten ja vaikutusten näkökulmasta. Opinnäytetyössä vertailtiin suurjännitteisiä 110 ja 400 kV:n ilmajohtoja sekä 110 ja 33 kV:n maakaapelointia liittymisvaihtoehtoina.

Tutkimus toteutettiin voimajohtohankekehittäjän näkökulmasta. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada kattava ymmärrys voimajohtohankkeisiin vaikuttavista tekijöistä. Voimajohtohankkeen vaiheet käsitellään kronologisesti alkaen ilmajohtojen ja maakaapeleiden teknisten ominaisuuksien tarkastelusta ja edeten suunnitteluun ja lupamennettelyyn. Lopuksi tarkastellaan rakennusvaiheen sekä kustannuksien pohjalta syntyviä vaikutuksia ja vertaillaan niitä ilmajohtojen ja maakaapeleiden näkökulmasta keskenään.

Ilmajohdot ja maakaapelit eroavat merkittävästi ominaisuuksiltaan ja vaikutuksiltaan, minkä vuoksi niitä tarkasteltiin monipuolisesti eri näkökulmista ja niiden vaikutuksia ja kustannuksia verrattiin keskenään. Ilmajohdot ovat luonnollinen valinta sähkönsiirrossa niiden hyvän siirtokyvyn ansiosta. Maakaapelit soveltuvat hyvin lyhyisiin siirtoetäisyyksiin, ja niitä käytetään esimerkiksi tuulivoimapuiston sisäisen sähkönsiirron toteuttamiseen. Kuitenkin etäisyyden kasvaessa kustannukset kasvavat eksponentiaalisesti. Vaikutuksia vertailtaessa ilmajohdoilla on enemmän näkyviä vaikutuksia sekä luontoon että ihmisiin. Maakaapeleiden näkyvät vaikutukset luontoon ja ihmisiin ovat pienemmät kuin ilmajohdoilla, mutta teknistaloudellisista syistä tuulivoimapuistojen ulkoinen sähkönsiirto toteutetaan pääasiassa ilmajohdoilla.

Avainsanat: ilmajohto, maakaapeli, sähkönsiirto

Abstract

Author: Rasmus Satta
Title: A Comparison of Technical Grid Connection Solutions in Wind Farms and Their Impact Assessment
Number of Pages: 45 pages
Date: 13 March 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
Jarkko Pekkanen, Project Manager

This thesis study was performed in cooperation with ABO Wind Oy. The aim was to investigate the technical characteristics of overhead lines and underground cables, and to assess their suitability as a grid connection option for wind farms, from the perspective of costs and impacts. The study compared high-voltage 110 and 400 kV overhead lines as well as 110 and 33 kV underground cabling as alternatives for grid connections.

The study was carried out from the perspective of an overhead line project developer with aim of gaining a comprehensive understanding of the factors influencing overhead line projects. The phases of the overhead line project are discussed chronologically, starting from the examination of the technical characteristics of overhead lines and underground cables, and progressing to planning and permitting. Finally, the impacts arising from the construction phase and costs are examined, and a comparison is made between them from the perspectives of overhead lines and underground cables.

Overhead and underground cables differ significantly in their characteristics and impacts, so they were analysed from many different perspectives and their impacts and costs were compared. Overhead lines, with high transmission capacity, are a natural choice for electrical transmission. Underground cables are suitable for shorter transitions, for example internal power transmission within a wind farm. However, cables are a costlier alternative for external transmission. The preference for external power transmission in wind farms leans toward overhead lines due to technical and economic considerations. As a result, employing overhead lines for the external transmission of electricity from the wind farm proves to be both technically and economically more viable.

Keywords: Overhead line, underground cable, electrical transmission

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	ABO Wind Oy	2
1.2	Uusiutuvan energiantuotanto	2
2	Voimajohdot	3
2.1	400 kV:n ilmajohto	6
2.2	110 kV:n ilmajohto	8
2.3	110 ja 33 kV:n maakaapelit	9
2.4	Kapasiteetti, kestävyys ja häviöt	10
2.4.1	Ilmajohdot	13
2.4.2	Maakaapelit teknisesti	13
3	Voimajohtojen suunnittelu ja luvitus	15
3.1	Säännöt ja säädökset	16
3.2	Esisuunnittelu	18
3.3	Ympäristöselvitykset	19
3.4	Yleissuunnittelu	21
3.4.1	Hankelupa	22
3.4.2	Tutkimuslupa	23
3.4.3	Lunastus- ja korvausmenettely	23
3.4.4	Verkkoliittymissopimukset	25
3.4.5	Kantaverkkoon liittyminen	26
4	Voimajohtojen rakentaminen ja kustannukset	28
4.1	Rakentaminen	28
4.1.1	Ilmajojtojen rakenne	29
4.1.2	Maakaapelit	34
4.2	Liittyminen	35
4.3	Elinkaari, huollettavuus ja purkaminen	36
5	Vaikutusten arvioinnin vertailu	37
5.1	Luonto ja ympäristö	38

5.2	Sosiaalinen hyväksyttävyys	39
6	Yhteenveto	42
	Lähteet	43

Lyhenteet ja käsitteet

DCC: *Demand Connection Code*. Kulutuksen liittämisen verkkosääntö.

ELY: Elinkeino-, liikenne- ja viestintäkeskus.

EN: Tunnus vahvistetusta eurooppalaisesta standardista.

HVDC: *High-voltage Direct Current*. Tasasähköyhteyksien liittämisen verkkosääntö.

IEC: *International Electrotechnical Commission*, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.

RfG: *Requirements for Generators*. Voimalaitosten liittämisen verkkosääntö.

Voimajohto: Alalla yleisesti käytössä oleva termi suurjännitteiselle ilmajohdolle.

YLE2021: Fingrid Oyj:n Yleiset liittymisehdot 2021.

YVA: Ympäristövaikutusten arviointimenettely.

1 Johdanto

Tämä insinööriyö on tehty ABO Wind Oy:lle tarkoituksena verrata teknisten ratkaisujen vaihtoehtoja sekä tehdä kustannusselvityksiä tuulivoimapuistojen verkkoliitynnöistä. Työssä tutkitaan teknisten ratkaisujen vaikutuksia niiden toteutavuuteen niin teknistaloudellisesti kuin sosiaalisen ja ympäristön hyväksyttävyyden kannalta.

Tuulivoiman asema kestävän ja uusiutuvan energian tuottajana on kasvanut ja vahvistunut huomattavasti viime vuosien aikana. Tuulivoimapuistojen suunnittelussa ja toteutuksessa yksi keskeisimmistä tekijöistä on verkkoliityntäratkaisun valinta ja sen vaikutusten arviointi. Tämä vaikuttaa sekä hankkeen tekniseen toteutukseen että ympäristöön, talouteen ja energiajärjestelmän luotettavuuteen.

Taloudellisesti on välttämätöntä vertailla eri vaihtoehtojen kustannuksia ja harvita sosiaalisia ja lainsäädännöllisiä tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa päätökseen. Lisäksi kestävyys ja tulevaisuuden näkymien huomioiminen auttaa varmistamaan, että valittu verkkoliityntäratkaisu palvelee pitkällä aikavälillä. Huomioiden useat eri näkökohdat sekä arvioiden että vertaillen voidaan tehdä perusteltu päätös parhaiten soveltuvasta verkkoliityntäratkaisusta tuulivoimapuistolle. Tämä päätös vaikuttaa merkittävästi hankkeen onnistumiseen ja sen kykyyn tuottaa kestävää energiaa ympäristöä ja yhteiskuntaa hyödyttäen. Yhteistyö viranomaisten ja asiantuntijoiden, kuten sähköinsinöörien ja ympäristöasiantuntijoiden, kanssa on avainasemassa varmistettaessa, että valittu ratkaisu on teknisesti toteutettavissa ja täyttää kaikki tarvittavat vaatimukset ja säännökset.

1.1 ABO Wind Oy

ABO Wind AG on saksalainen perheomisteinen yritys, joka on erikoistunut uusiutuvan energian hankkeiden suunnitteluun, kehittämiseen ja toteuttamiseen. Yritys aloitti toimintansa vuonna 1996 ja on laajentanut toimintaansa moniin eri maihin ympäri maailmaa. Yritys keskittyy erityisesti tuulivoiman ja aurinkovoiman hankkeisiin, kuten tuulipuistoihin ja aurinkopuistoihin. Suomessa ABO Wind Oy:n pääasiallinen tarkoitus on hankekehitystyö sekä rakentaminen, jonka jälkeen valmiin tuulivoimapuiston käytönvalvonta tyypillisesti siirtyy ABO Wind Service Oy:lle ja omistajuus mahdollisille sijoittajille, eli itse yrityksellä ei ole tarkoituksena jäädä omistamaan hanketta. [1.]

ABO Wind Service Oy tarjoaa laajan valikoiman käyttöaikaisia palveluita, kuten voimalaitosten hallintaa, teknistä tukea ja kunnossapitopalveluita sekä tukea kaupalliseen hallintaan. Yritys on yksi monista toimijoista, jotka ovat omalta osaltaan edistämässä uusiutuvan energian käyttöä maailmanlaajuisesti. [1.]

Yrityksen päämääränä on edistää uusiutuvan energian käyttöä ja osallistua aktiivisesti ilmastonmuutoksen torjuntaan tarjoamalla kestäviä ja ympäristöystävällisiä energiaratkaisuja. Lisäksi ABO Wind Oy pyrkii tarvittaessa myymään hankkeitaan ja hankkimaan projektioikeuksia kehitysvaiheessa, mikä on tärkeä osa liiketoimintaa. [1.]

1.2 Uusiutuvan energiantuotanto

Suomi on yksi maailman johtavista maista, kun tarkastellaan uusiutuvan energian käyttöä, erityisesti bioenergian hyödyntämistä. Taustalla tähän pyrkimykseen liittyy vahva sitoutuminen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen ja siirtymiseen pois fossiilisista polttoaineista energiantuotannossa. Samalla uusiutuvan energian lisääminen tukee maan energiavarmuutta sekä omavaraisuutta, edistää työllisyyttä ja edistää teknologian kehittämistä tällä alalla. [2.]

Suomessa yli 40 prosenttia kokonaisenergian kulutuksesta saadaan uusiutuvista energialähteistä. Maan kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti tavoitteena on kasvattaa uusiutuvan energian osuus yli 50 prosenttiin 2020-luvulla. Suomessa tärkeimpiä uusiutuvia energialähteitä ovat bioenergiat, erityisesti metsäteollisuuden sivutuotteet ja muut puupohjaiset polttoaineet, tuulivoima, vesivoima ja maalämpö. Lisäksi bioenergiaa tuotetaan maatalouden, yhdyskuntien ja teollisuuden biohajoavista jätteistä. Tuulivoiman ja aurinkosähkön osuus on kasvanut nopeasti, erityisesti aurinkosähkön paikallinen tuotanto on lisääntynyt merkittävästi. [2.]

2 Voimajohdot

Sähköenergiaa siirretään pääasiassa Suomen kantaverkossa suurjännitteisillä ilmajohtoilla. Näitä suurjännitteisiä ilmajohtoja kutsutaan myös voimajohtoiksi. Voimajohdot on suunniteltu kuljettamaan suuria määriä sähköenergiaa korkealla jännitteellä. Sähköä siirretään voimalaitoksilta tai sähköntuotantolaitoksilta kulutuskohteisiin, kuten teollisuuslaitosten käyttöön. Voimajohtojen jännitetaso määräytyy siirtomatkan pituudesta ja siirrettävästä tehon määrästä.

Suurjännitteiset maakaapelit on suunniteltu käytettäväksi muun muassa silloin, kun ilmajohtoja ei voida ympäristön vaikutuksien vuoksi käyttää, esimerkiksi tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla. Maakaapeloinnin toteuttaminen on tällöin huomattavasti perustellumpaa kuin maaseudulla.

Suomen kantaverkko koostuu yli 14 000 kilometristä eri jännitetaso voimajohtoja ja maakaapeleita sekä sähköasemista. Kantaverkossa on 5400 kilometriä 400 kV:n voimajohtoja, 1000 kilometriä 220 kV:n voimajohtoja sekä 7600 kilometriä 110 kV:n voimajohtoja. Kantaverkon omistajana Fingrid Oyj:n vastuulla on kantaverkon valvonnan lisäksi verkon tilan seuraaminen ja mahdollisten laajempien häiriöiden ehkäiseminen ja suunnittelu, kuten jatkuva verkon vahvistaminen ja tulevaisuuden tarpeiden huomioiminen. Ylläpito on myös tärkeää, ja sen vuoksi jatkuvaa verkon kehittämistä tehdään ja verkkoa kunnossapidetään säännöllisin väliajoin. Rakentaminen, kehittäminen ja sähkömarkkinoiden

edistäminen vaativat edeltäviä toimenpiteitä. Viimeistely rakentaminen toteutuu huolellisen suunnittelun tuloksena. [3.]

Kantaverkkoa pyritään uusimaan ja kehittämään jatkuvasti ja tälläkin hetkellä olemassa olevia siirtolinjoja uudistetaan palvelemaan tulevaisuuden energiantuotannon vaatimaa siirtokapasiteettia. Esimerkiksi 220 kV:n ikääntyneitä voimajohtoja ollaan uusimassa vaiheittain 400 ja 110 kV:n voimajohdoiksi. [3.]

Voimajohtojen tärkeimpiä toimijoita ovat kantaverkkoyhtiö Fingridin lisäksi paikallisverkkoyhtiöt, esimerkiksi Helen, Elenia ja Caruna, jotka ovat vastuussa jakeluverkoista omilla vastuualueillaan. Paikallisverkkoyhtiöt vastaavat matalamman jännitetaso sähköverkoista, jotka toimittavat sähköä muun muassa kotitalouksille ja yrityksille. Erillisiä liittymisjohtojen rakennuttajia voivat olla muun muassa teollisuuslaitokset tai suuret sähköntuottajat, kuten tuulivoimahankkeita edistävät yhtiöt. Organisaatiot voivat rakennuttaa liittymisjohtoja yhdistääkseen tuotannon kanta- tai paikallisverkkoon. Kuvassa 1 on esitetty Fingridin sähkönsiirtoreittejä Suomessa.



Kuva 1. Fingrid Oyj:n sähkösiirtoverkko 2022 [3].

Voimajohtojen suunnittelua, käyttöä ja rakentamista ohjaavat tarkat lainsäädännöt ja standardit. Sähkömarkkinalaissa (588/2013) [4] on määritelty monta eri pykälää, jotka velvoittavat esimerkiksi kantaverkkoyhtiötä huolehtimaan verkon toimivuudesta. Sähköturvallisuuslaki (1135/2016) [5] asettaa veloitteen noudattaa sähkölaitteiden ja -laitteistojen turvallista käyttöä sekä varmistaa, että laitteet ovat sen vaatimusten mukaisia. Lisäksi se edellyttää, että sähkölaitteet- ja laitteistot eivät saa aiheuttaa terveydelle haittaa, esimerkiksi sähkömagneettisen säteilyn osalta [5, § 1].

CENELEC on eurooppalainen standardoimiselin, joka on laatinut yleiseurooppalaisia sähköturvallisuusstandardeja, jotka kattavat sähköasemat, sähköjohdot

ja erilaiset sähköasennukset. Yksi keskeinen standardi tällä alueella on yli 1 kV:n ilmajohtoja koskeva normi, tunnetaan nimellä EN 50341 [6], joka julkaistiin vuonna 2001. Tämä standardi asettaa tärkeitä turvallisuusvaatimuksia ja antaa teknisiä ohjeita yli 1 kV:n ilmajohtojen suunnitteluun ja rakentamiseen Euroopassa [6].

Eurooppalainen standardi EN 50341 [6] on keskeinen ohje sähkövoimansiirtoon käytettävien ilmajohtojen rakenteelle ja toiminnalle. Standardi kattaa laajan kirjjon aiheita, jotka liittyvät ilmajohtojen suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon. Näitä standardeja pidetään keskeisinä sähkövoimansiirtoverkkojen suunnittelussa ja ylläpidossa, ja ne ovat olennaisia turvallisuuden, luotettavuuden ja tehokkuuden varmistamiseksi [7, s. 250–251].

2.1 400 kV:n ilmajohto

400 kV:n voimajohto on suurjännitteinen sähköverkon osa, joka on suunniteltu ja rakennettu sähkönsiirtoon pitkiä matkoja varten esimerkiksi suurten kaupunkien välillä tai maasta toiseen. Tällaiset voimajohdot ovat olennainen osa Suomen kantaverkkoa ja laajempaa sähköverkkoinfrastruktuuria. Ne mahdollistavat sähkönsiirtämisen tehokkaasti ja taloudellisesti voimalaitoksilta, kuten tuulivoimapuistojen tuottaman tehon verkkoon siirrettäväksi. Korkea jännite on välttämättömyys pitkillä etäisyyksillä, jolloin sähkönsiirtotappiot minimoituvat ja tehoa voidaan siirtää suuria määriä. Näin varmistetaan sähkönsiirron luotettavuus ja tehokkuus koko sähköverkon alueella. [3.]

400 kV:n voimajohto voi toimia tällä hetkellä vain joko liittymisjohtona tai osana kantaverkkoa Suomessa. Kantaverkkoa osana olevilla 400 kV:n voimajohdoilla sallitaan ainoastaan rengasyhteydet. Tämä tarkoittaa, että 400 kV:n voimajohto voi olla osa Fingridin hallinnoimaa kantaverkkoa, mutta sen rakenteessa on noudatettava rengasyhteyksiperiaatetta. Rengasyhteyksiperiaate sähköverkoissa tarkoittaa sitä, että sähköverkon osat, kuten voimajohdot, ovat liitettynä siten, että ne muodostavat suljetun rengasrakenteen. Rengas voi olla fyysinen

rakenne, kuten voimajohtojen, sähköverkon fyysinen järjestely tai se voi olla toiminnallinen rakenne, joka varmistaa sähkön siirtymisen eri suuntiin. [3.]

Lisäksi Fingridin järjestelmässä on rajoitus, jonka mukaan yhdellä 400 kV:n voimajohdolla saa olla enintään 1,3 GW:n liittymisteho. Liittymisteho viittaa siihen määrään sähkötehoa, joka voidaan liittää voimajohtoon tai kantaverkkoon. Nämä säännökset ja rajoitukset ovat tärkeitä sähkönsiirron ja -jakelun hallinnassa sekä sähköverkon turvallisuuden ja vakauden varmistamisessa. [8.]

400 kV:n voimajohtojen rakenteessa käytetään tyypillisesti metallisia teräsputki- tai teräsristikkopylväitä. Tyypillinen jänneväli niillä on 350–400 metriä ja pylväs-korkeus noin 30–35 metriä riippuen voimajohdon rakenteesta ja sijainnista. Jänneväli tarkoittaa etäisyyttä kahden peräkkäisen pylvään välillä, ja se voi vaihdella riippuen sähköverkon suunnittelusta ja ympäristötekijöistä. Myös pylväiden korkeuteen vaikuttaa vahvasti vallitseva ympäristö, muun muassa kaupunkialueilla joudutaan monesti käyttämään huomattavasti korkeampia pylväitä, jotta turvallisuustekijät säilyvät ympäristöön nähden. [8.]

Kuvassa 2 esiintyvillä linjoilla tarkoitetaan voimajohtoreittejä, jotka kulkevat virtuaalisten poikkileikkausten halki ja joissa tarkastellaan sähkönsiirtoa erityisellä tarkkuudella [3].



Kuva 2. 400 kV:n pääsiirtolinjat vuonna 2022 [9].

Fingrid pyrkii jatkuvasti kehittämään verkkoaan ja aikoo investoida vahvistaakseen etelä-pohjoissuuntaista siirtoverkkoaan. Tällä hetkellä valtaosa esimerkiksi tuulivoimahankkeista on painottunut Pohjois-Pohjanmaan alueelle, jolloin tehonsiirron tarve on myös kasvanut sekä pohjoiseen että etelään päin. [8.]

2.2 110 kV:n ilmajohto

110 kV:n voimajohtot muodostavat merkittävän osan suurjännitteistä sähkösiihtoverkkoa, ja ne ovat eri sähköverkko- ja liittymisjohtoyhtiöiden omistuksessa. Kyseistä jännitetasoa hyödynnetään tehon siirtämisessä kantaverkon suuntaan sekä jakeluverkoissa edelleen matalamman jännitetason verkkoon. [3.]

Jakeluverkko koostuu myös pienjännite- ja keskijänniteverkoista, joita käytetään sähkön kuljettamiseen kuluttajien käyttöpaikoille. Kyseinen jännitetaso soveltuu tehokkaimmin keskipitkille etäisyyksille sekä alueelliseen sähkönjakeluun. [3.]

Jakeluverkot ovat yleisesti yhteydessä Fingridin omistamaan kantaverkkoon 110 kV:n siirtolinjojen avulla ja kuljettavat sähköä alueellisesti 110 kV:n

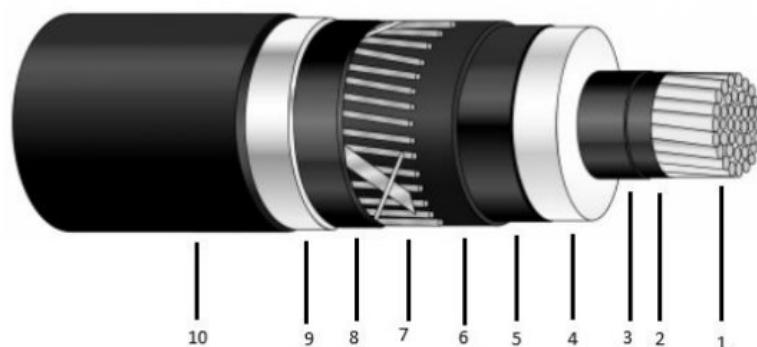
voimajohtojen kautta. Jakeluverkot toimivat verkostona, joka ulottuu jännitetasoltaan 0,4–110 kV:n alueelle. Yksittäiset kotitaloudet liitetään suoraan jakeluverkkoon pienjännitteiseen osaan, kun puolestaan tehtaat ja muut kuluttajat, kuten maatalous, voivat olla liitettynä joko kantaverkkoon tai jakeluverkkoon riippuen heidän tarpeistaan ja sijainnistaan. [3.]

Tyypillisesti käytetyt rakenteet 110 kV:n voimajohdoilla ovat nykyään metallisia teräsputki- tai teräsristikkopylväitä ja tyypillinen jänneväli on 250–300 metriä. Pylväskorkeus on noin 15–20 metriä. Rakenteeltaan 110 kV:n voimajohdot voivat olla hieman kevyempiä ja matalampia kuin 400 kV:n voimajohdot 110 kV:n jännitetasoa käytetään pääasiallisesti noin 100–250 MW:n tehon siirtämiseen [8.]

2.3 110 ja 33 kV:n maakaapelit

Maakaapeleiden käyttö on myös keskeinen osa nykyajan sähköinfrastruktuuria, erityisesti tiheästi rakennetuilla taajama-alueilla ja ympäristöalueilla, joihin ilmajohdoja ei voida rakentaa. Maakaapeleiden asentaminen edellyttää kaapeliojia tai kaupunkialueilla tunnelointia, joilla saadaan mekaanista suojausta kaapeleille. Sähkönsiirto maakaapeleilla on monesti kalliimpaa kuin ilmajohdoilla. Kustannukset koostuvat asennustöistä, maakaapelitarvikkeista, kuten päätteistä ja jatkoksista ja kunnossapitotöistä sekä huoltotöistä.

Lisäksi korkeilla käyttöjännitteillä ja pitkillä kaapelin pituuksilla kaapelin varausvirta asettaa rajoituksia kaapelin pituudelle. Tämä johtuu siitä, että varausvirta kasvaa pituuden mukana, mikä voi rajoittaa kaapelin tehokasta käyttöä [7, s. 304–305]. Kuvassa 3 on esitetty suurjännitteisen maakaapelin rakenteen poikkileikkaus.



Kuva 3. Suurjännitteisen maakaapelin poikkileikkaus [7, s. 315].

1. Johdin, 2. Johdinsuojanauhoitus, 3. Johdinsuoja, 4. Eristys, 5. Hohtosuoja, 6. Kosketussuojanauhoitus, 7. Kosketussuoja, 8. Kosketussuojanauhoitus, 9. Alumiinilaminaatti, 10. Ulkovaippa [7, s. 315].

Suurjänniteverkkojen maakaapelointia hyödynnetään Suomessa pääsääntöisesti tilanteissa, joissa ei ole mahdollista käyttää ilmajohtoja. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi kaupunkien ja taajamien sähköverkkojen jakelujärjestelmät. Maakaapelointia on kuitenkin vain 320 kilometriä kantaverkossa, ja siitäkin suurin osa on merikaapelia Ruotsiin ja Viroon. [10.]

Maakaapelointia käytetään osana jakeluverkostoa, jolloin jännitetaso on 20 kV. Kyseistä jännitetasoa käytetään teollisuusalueilla sekä taajamien ulkopuolella, missä etäisyydet kasvavat ja halutaan välttää häviöiden määrää. Tuulivoimapuistojen sähkönsiirron toteutuksessa käytetään 33 kV:n maakaapelointia. Jännitetasoa käytetään puiston sisäisessä sähköverkossa, jolla voidaan siirtää voimaloiden tuottama sähkö muuntajille ja edelleen jakelu- tai kantaverkkoon. [8.]

2.4 Kapasiteetti, kestävyys ja häviöt

Sähköverkossa on eri jännitetasoja siirtohäviöiden minimoimiseksi. Järjestelmän stabiiliuden saavuttamiseksi jännite tulisi säilyttää mahdollisimman tasaisena kaikkialla sähköverkossa. Sähköverkon jännitteen hallintaa voidaan toteuttaa erilaisilla laitteilla, jotka joko tuottavat tai kuluttavat loistehoa. Näihin

kuuluvat esimerkiksi generaattorien magnetointi sekä loistehoa tuottavat kondensaattorit ja loistehoa kuluttavat reaktorit. [8.]

Olemassa olevat sähköverkot tarkastetaan säännöllisesti huolto- ja kunnossapito-ohjelman mukaisesti sekä sähköteknisen kunnan arvioimiseksi ja mahdollisten saneeraustarpeiden tunnistamiseksi. Tarkastukset ovat keskeisiä sähköverkon turvallisuuden ja tehokkuuden varmistamisessa. Lisäksi sähköverkon toimintaa tarkkaillaan verkonvalvontajärjestelmien kautta. Tarkkailtavina osaluina ovat esimerkiksi johtimien siirtohäviöt, jännitteen alenemat, vikavirtojen suuruudet ja jakelumuuntajien kuormitukset. Tämä lähestymistapa auttaa optimoimaan sähköverkon suorituskyvyn ja vähentämään siirtohäviötä, mikä on tärkeää sähköntuotannon ja ympäristön kannalta. [8.]

400 kV:n verkossa johdon reaktanssi on noin kymmenen kertaa suurempi kuin resistanssi, ja vastaava suhde on 110 kV:n verkossa on noin neljä kertaa. Resistanssi laskee puoleen, kun käytetään kahta osajohdinta, esimerkiksi 2-Duck-johtimet, per vaihe, ja kolmannekseen, esimerkiksi 3-Finch-johtimet [10, s. 98–99]. Taulukossa 1 on esitelty ilmajohtojen ominaisarvoja sekä niiden nimityksiä.

Taulukko 1. Suurjänniteilmajohtojen nimiä ja ominaisarvoja [11, s. 98].

		Yksikköarvot/virtapiiri			
U _R /kV	Johtimen nimitys	r /Ω/km	x /Ω/km	g /μS/km	b / μS/km
110	Suursavo	0,268	0,412	0	2,810
110	Ostrich	0,188	0,410	0	2,840
110	Duck	0,096	0,409	0	2,808
110	2-Duck	0,048	0,300	0	3,788
110	2 x Duck	0,096	0,383	0	2,994
110	2x2-Duck	0,048	0,274	0	4,132
400	2-Finch	0,026	0,330	0,023	3,570
400	3-Finch	0,0171	0,291	0,020	4,040
750	4-Finch	0,0130	0,280	0,030	4,200
1100	6-Finch	0,0086	0,302	?	3,901

Kaapeleiden maakapasitanssi on merkittävästi suurempi kuin voimajohtojen kapasitanssi. Tämä johtuu kaapeleiden eristävästä vaipasta, sijainnista maanpinnan lähellä ja johdinparien läheisestä sijoittelusta. Kolmivaiheisen vaihtosähkökaapelin resistanssiin ja induktanssiin vaikuttaa metallivaipan mahdollinen maadoitus (bonding) kaapelissa. Jos vaippa maadoitetaan molemmista päistä, vaihevirta indusoi virtaa vaippaan, mikä lisää kaapelin lisähäviöitä sekä lämmittää kaapelia. Tämä tarkoittaa, että maadoitetun vaipan omaavan kaapelin tehollinen resistanssi on suurempi kuin kaapelin, jossa vaippaa ei ole maadoitettu [11, s. 99–100].

Vastaavaa kuormitettavuutta kuin ilmajohtojen johtimella voidaan saavuttaa yleensä pienemmällä määrällä rinnakkaisia kaapeleita, joiden poikkipinta-ala on suurempi. Silloin kaapeleilla voidaan sallia hetkellisesti korkeampia lämpötiloja kuin ilmajohtojilla. Tämä johtuu siitä, että kaapelissa ei ole venyttäviä voimia toisin kuin ilmajohtojissa [11, s. 99–100].

2.4.1 Ilmajohdot

Ilmajohdoissa ilmenee siirtohäviöitä, kun osa siirtyvästä tehosta muuttuu lämmöksi johtimissa ja ympäristössä. Lisäksi siirtohäviöitä voi aiheutua tietyissä sääolosuhteissa johtimien pinnalla syntyvistä koronahäviöistä. Ilmajohdot tuottavat loistehoa hyvin vähän verrattuna maakaapeleihin pääosin johtuen ilmajohdoille ominaisesta pienemmästä kapasitanssista. [12.]

Kapasitanssi vaikuttaa sähköverkon loistehon määrään, ja ilmajohdot voivat vaikuttaa sähkönsiirtoon. Lisäksi ilmajohdot ovat induktanssiltaan suhteellisen suuria, ja tämä ominaisuus voi lisätä loistehon tarvetta. Ilmajohdosten suurempi induktanssi verrattuna maakaapeleihin voi kuluttaa enemmän loistehoa ja vaikuttaa sähköverkon tehokkuuteen. [12.]

Voimajohdon konduktanssi viittaa vuotovirtahäviöihin, jotka muodostuvat eristeeseen tai sen pinnalle ja näkyvät tehohäviöinä. Ilmajohdoilla vuotovirtahäviöitä voi ilmetä, kun johdon pinta on likainen tai kun ilman sähkökestävyys ylittyy, mikä aiheuttaa koronapurkauksia johtimessa. Etenkin likaantuneen eristimen kostuttua sumun, kosteuden tai heikon sateen vaikutuksesta nämä häviöt korostuvat. 400 kV:n jännitteellä vaihejohdinten pintakenttävoimakkuus voi tietyissä epäsuotuisissa sääolosuhteissa ylittää ilman sähkökestävyyden, jolloin johtimen pinnalla voi esiintyä koronaa. Koronahäviöitä esiintyy harvemmin puolestaan 110 kV:n jännitteellä ja sitä pienemmillä [11, s. 103].

2.4.2 Maakaapelit teknisesti

Kaapelin kuormitettavuuden määrittämiseksi tarkastellaan sen kykyä siirtää sähkövirtaa ja tehoa. Kuormitettavuutta tarkastellessa otetaan huomioon kaapelin poikkipinta-ala, käytetty materiaali, kaapelin rakenne, asennustapa, asennusolosuhteet ja maadoitustapa. Maakaapeleiden kuormitettavuuteen vaikuttavat myös maaperän lämpötila, maaperän lämpöresistiivisyys ja kaapelin asennussyvyys. Myös muu infrastruktuuri kuten maalämpöputket ja muu kaapelointi voi vaikuttaa kuormitettavuuteen. [13.]

Lisäksi on otettava huomioon ympäröivän maaperän vaikutus. Kaapelin lämpötila voi vaihdella maaperän lämpötilan perusteella, mikä saattaa vaikuttaa kaapelin kykyyn siirtää tehoa. Lisäksi maahan asennetun kaapelin siirtokykyä voidaan parantaa ympäröimällä sitä maa-aineksella, joka johtaa lämpöä hyvin. Tällä pyritään optimoimaan kaapelin toimintalämpötilaa ja parantamaan siten sen kuormitettavuutta. Toisaalta liian lämpimät maakaapelit voivat kuivattaa ympäröivän maaperän, jolloin maa johtaa heikommin kaapelin lämpöä. [13.]

Kaapelireittiä suunniteltaessa ja määriteltäessä sen kuormitettavuutta on huomioitava huonoimmat olosuhteet, jolloin kaapelin kuormitettavuus on alhaisin. Tällöin voidaan varmistua siitä, että kaapeli pystyy toimimaan luotettavasti kaikissa olosuhteissa ja kaapeli pystyy siirtämään tarvittavan tehon ilman ylikuormittamista. [13.]

Kaapeleiden kapasitanssi ylittää merkittävästi ilmajohtojen vastaavan ominaisuuden. Esimerkiksi kolmivaiheinen maakaapeli tuottaa loistehoa 10 Mvar/km, kun taas ilmajohto samalla matkalla tuottaa vain 0,6 Mvar. Pitkillä sähkönsiirtoyhteyksillä maakaapelit voivat kuormittua mitoituskuormaansa pelkästään varausvirtansa vuoksi. Kaapelin loistehoa pyritään tällöin kompensoimaan reaktoreilla. Jos kompensointi ei ole mahdollista, tulisi toteutettava siirtoreitti rakentaa tasavirtayhteytenä [11, s. 99].

Maakaapeli tuottaa ja kuluttaa loistehoa yhtäaikaisesti. Käytännössä loistehon tuotanto on kaikissa tilanteissa suurempi kuin kulutus, yleisesti puhutaan kapasitiivisesta loistehosta. Kaapelin tuottaman ja kuluttavan loistehon yhtälö on kaavassa 1:

$$C_k U^2 - 3\omega L_k I^2 \quad (1)$$

ω on kulmanopeus (rad/s), ($2\pi f$, jossa f on taajuus (Hz))

C_k on kaapelin käyttökapasitanssi (F) \times kaapelin pituus (m)

U on jännite (V)

I on virta (A)

L_k on kaapelin induktanssi (H) \times kaapelin pituus (m). [8.]

Kasvattamalla jännitettä kaapelin loistehon tuotanto kasvaa ja suuremmalla teholla kaapelin loistehon kulutusosa suurenee. [8.]

3 Voimajohtojen suunnittelu ja luvitus

Prosessi alkaa voimajohdon tarpeen määrittämisellä. Tämä voi perustua sähköverkon laajenemistarpeina, uusien kuormitusten lisääntymiseen tai vanhojen johtojen korvaamiseen. Tarpeen arvioimisen perusteella suunnitellaan voimajohdon tekniset vaatimukset. Voimajohdon tarpeen toteuttamisen jälkeen voidaan sen mahdollista reittiä alkaa esisuunnittelemaan.

Voimajohtojen suunnittelu ja luvitus ovat keskeisiä askeleita sähköverkon kehittämisessä ja ylläpidossa. Suunnittelussa huomioidaan sähkönkulutuksen kasvu, ympäristövaikutukset, sähkön siirron tehokkuus ja luotettavuus. Luvitusprosessi sisältää tyypillisesti vaiheita, kuten ympäristövaikutusten arviointi, paikallisten yhteisöjen kuuleminen ja viranomaishyväksynnän saaminen. [12.]

Voimajohtojen suunnittelu ja luvittaminen ovat välttämättömiä sähköverkon luotettavuuden ja kestävyuden kehittämisen kannalta. Tulevaisuudessa näiden prosessien merkitys kasvaa entisestään, kun pyritään luomaan kestävämpää ja kustannustehokkaampaa sähköverkkoa yhteiskunnan sähkötarpeen kasvassa.

Uusien voimajohtoreittien suunnitteluun vaikuttaa valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet, jotka velvoittavat käyttämään olemassa olevia maastokäytäviä. Alueidenkäyttötavoitteiden rooli on vähentää yhdyskuntien ja liikenteen päästöjä, säilyttää luonnon monimuotoisuutta ja kulttuuriympäristön arvoja sekä tukea elinkeinojen uudistumista. Samalla ne auttavat sopeutumaan ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutuksiin. [12.]

Alueidenkäyttötavoitteiden roolina on taata valtakunnallisesti merkittävien näkökohtien huomioon ottaminen maakuntien ja kuntien kaavoituksessa sekä valtion viranomaisten toiminnassa [14]. Tavoitteet edistävät maankäyttö- ja

rakennuslain (132/1999) [15] ja alueidenkäytön suunnittelun tavoitteiden saavuttamista keskittyen erityisesti hyvän elinympäristön ja kestävän kehityksen edistämiseen

Alueidenkäyttötavoitteet edistävät ennakoivaa ja vuorovaikutteista viranomaisyhtöä merkittävässä alueidenkäytön kysymyksissä valtakunnallisesti. Ne edistävät kansainvälisten sopimusten täytäntöönpanoa Suomessa. [14.] Maankäyttö- ja rakennuslain luvun 15 §:n [15] mukaan nämä tavoitteet on otettava huomioon ja niiden toteuttamista on edistettävä maakunnan suunnittelussa, kuntien kaavoituksessa ja valtion viranomaisten toiminnassa.

Uusien voimajohtojen rakentamista suunnitellaan siten, että ne sijoittuvat joko olemassa olevien voimajohtojen paikalle tai niiden rinnalle. Tällä tavoin voimajohtoalueen laajentuminen on rajoitettu verrattuna täysin uuden maastokäytävän rakentamiseen. Suunnittelussa pyritään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan olemassa olevia maastokäytäviä, vaikka silti on mahdotonta välttää täysin asutuksia. Tällaisissa tilanteissa on erityisen tärkeää ylläpitää avointa ja toimivaa vuoropuhelua asianomaisten kanssa. Suunnitellessa voimajohtoreittiä, joka poikkeaa täysin aiemmasta reitistä, keskeisenä periaatteena on välttää asutusalueita ja muita herkkiä kohteita mahdollisimman tehokkaasti. Vaikutuksia ja niiden arviointia käsitellään kokonaisuudessaan enemmän luvussa 5.

3.1 Säännöt ja säädökset

Voimajohtohankkeita ohjaavat useat lainsäädännöt sekä ympäristön vaatimukset ja sosiaalinen hyväksyttävyyys. Hankkeet etenevät yhteistyössä monien viranomaisten kanssa sekä mukautuvat vaikuttavien lakien ja sääntöjen mukaisesti. Sähkömarkkinalaki [4] säätelee sähkömarkkinoiden toimintaa ja energiahuoltoa. Laki pyrkii mahdollistamaan kilpailua, varmistamaan sähköntuotannon ja -siirron luotettavuuden sekä edistämään uusiutuvan energian käyttöä [4].

Sähköturvallisuuslaki [5] puolestaan säätelee sähkölaitteiden ja sähköasennusten turvallista käyttöä ja turvallisuutta Suomessa. Kyseinen laki asettaa luvuissa

1 ja 3 velvollisuudet toimijoille, jotka ovat vastuussa sähköturvallisuudesta eri tasoilla sähköverkon rakentamisesta ja ylläpidosta aina sähkölaitteiden valmistukseen ja käyttöön saakka [4; 5].

Myös viranomaisten osallistaminen hankkeissa on tärkeä ohjaava tekijä. Tällaisia viranomaisia voivat olla esimerkiksi energiavirastot tai vastaavat elimet, jotka vastaavat voimajohtohankkeiden luvista ja sähkönsiirron valvonnasta.

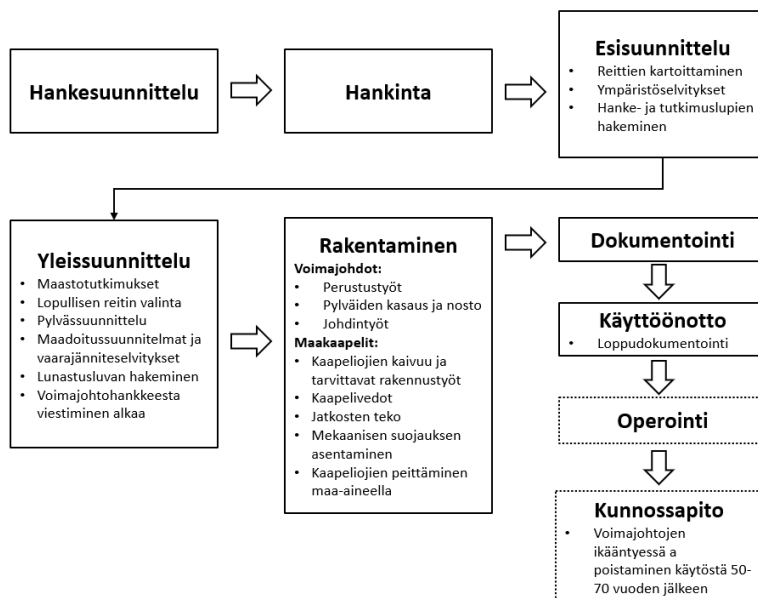
- Ympäristöviranomaiset: Ympäristöhallinto voi osallistua hankkeen ympäristövaikutusten arviointiin ja tarvittaviin lupiin.
- Alueelliset ja paikalliset viranomaiset: Maakuntien liitot ja kunnallishallinto voivat osallistua kaavoitukseen ja maankäytön suunnitteluun.
- Rakennusvalvonta: Rakennusvalvonta voi osallistua hankkeen rakentamisvaiheeseen ja varmistaa, että se toteutetaan voimassa olevien rakennusmääräysten mukaisesti.
- Museoviranomaiset: Jos hankkeen alueella on kulttuurihistoriallisesti merkittäviä kohteita, museoviranomaiset voivat osallistua hankkeen suunnitteluun ja vaatia tarvittavia arkeologisia selvityksiä.
- Liikenneviranomaiset: Voimajohtohankkeet voivat vaikuttaa liikennejärjestelyihin, ja liikenneviranomaiset voivat osallistua hankkeen vaikutusten arviointiin ja lupaprosesseihin. [12.]

Myös maanomistajia ja alueen asukkaita osallistutetaan suunnittelun aikana ja heille annetaan mahdollisuus vaikuttaa päätöksentekoon. Alueen ympäristöjärjestöt ja sidosryhmät voivat seurata hankkeen vaikutuksia ympäristöön ja tuoda heidän näkökulmiensa esille. [12.]

3.2 Esisuunnittelu

Voimajohtohankkeen esisuunnitteluvaiheessa tavoitteena on etsiä toteuttamiskelpoisia reittejä ja ratkaisuja, joilla voidaan minimoida haitalliset vaikutukset ihmisille ja luonnolle. Voimajohtoreittien suunnittelussa pyritään mahdollisuuksien mukaan hyödyntämään olemassa olevia johtokäytäviä. Tuulivoimapuiston sijainnilla on olennainen merkitys voimajohton reitille. Useimmissa tilanteissa liittymisjohto tarvitsee uutta johtokäytävää.

Kantaverkon voimajohtoja pyritään saneeraamaan tai tarvittaessa rakentamaan kokonaan uusia olemassa oleville johtoalueille tai voimajohtojen rinnalle. Tällöin voidaan välttyä täysin uuden johtoalueen rakentamiselta. Vaikka voimajohtoja rakennetaan nykyisten johtokäytävien yhteyteen, asutuksen läheisyyttä ei aina voida välttää kokonaan. Esisuunnittelussa ei pelkästään noudateta lain antamia velvoitteita, vaan huomioidaan jo kokonaisuuden hyväksyttävyyttä. Kuvassa 4 esitellään tyypillisen voimajohtohankkeen kulkua ja sen vaiheita.



Kuva 4. Voimajohtohankkeen vaiheet.

Esisuunnitteluvaiheen aikana hankitaan tarvittavia lupia hankkeen edistämiseen ja aloitetaan keskustelut viranomaisten kanssa. Sähkömarkkinalain (266/2017)

14 §:n [4] määräysten mukaisesti yli 110 kV:n sähköjohdon rakentaminen edellyttää hankeluvan saamista Energiavirastolta. Tämä lupa on haettava lain mukaan, ja siihen tulee liittää riittävät tiedot hankkeen ympäristövaikutuksista. Nykyään on myös riittävää todeta, että ympäristövaikutukset arvioidaan osana ympäristövaikutusten arviointia. [4; 16.]

3.3 Ympäristöselvitykset

Ympäristövaikutusten arviointi (YVA) on virallinen menettely, jonka tarkoituksena on arvioida hankkeen vaikutuksia ympäristöön. YVA-prosessi on laillinen vaatimus, ja sen tarkoituksena on lisäksi antaa kansalaisille mahdollisuus osallistua ja vaikuttaa hankkeiden suunnitteluun. Tietyissä hanketyypeissä, kuten tuulivoimapuistossa, YVA on aina pakollinen, ja nämä hanketyypit on määritelty valtioneuvoston asetuksessa sähkömarkkinoista (65/2009) [17]. YVA-menettelyä ohjaa ja valvoo yhteysviranomainen, jona toimii Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskukset). Lisäksi hankkeita voidaan arvioida tapauskohtaisesti, jolloin viranomainen, yksityishenkilö tai kansalaisjärjestö voi tehdä esityksen tällaisen arvioinnin aloittamisesta. [17; 18.]

YVA-menettely koostuu useista vaiheista mukaan lukien aloitusneuvottelu (vapaaehtoinen vaihe), neuvonta ja ohjaus koko prosessin aikana, kuuluttaminen arviointiohjelmasta ja arviointiselostuksesta, lausuntopyynnöt arviointiohjelmasta ja arviointiselostuksesta, yleisötilaisuudet, joita järjestetään ohjelma- ja selostusvaiheessa. Yhteysviranomainen antaa lopuksi lausunnon arviointiselostuksesta ja sen riittävydestä hankkeesta vastaavalle. Tämä lausunto lähetetään muille viranomaisille tiedoksi, joita hanke koskee. Menettelyyn voi myös sisältyä tapaamisia ja hanketietojen päivittämistä verkkosivuille. [18.]

Ympäristövaikutusten arviointi toteutetaan joko ympäristöselvityksen tai laajemman ympäristövaikutusten arviointimenettelyn avulla. Tyypillisesti 110 kV:n hankkeille riittää ympäristöselvitys, mikäli tuulivoimapuisto ei ole päähankkeena. Yleensä voimajohtohanke kulkee tuulivoimapuiston ympäristövaikutusten arvioinnin mukana. Ympäristövaikutusten arviointimenettely lain (252/2017) [19]

mukaan YVA-menettelyä tulee soveltaa vähintään 220 kV:n maanpäällisiin johdoille, joiden pituus on vähintään 15 kilometriä. Ympäristöselvityksen tarkoituksena on arvioida hankkeen sopivuutta alueen maankäyttöön ottaen huomioon kaavoitus ja asutus, ympäristön ja luonnonsuojelu sekä maisemavaikutukset. Voimajohdon toteutettavuutta arvioidaan teknistaloudellisin ja ympäristöllisin perustein ja pyritään löytämään optimaalisia reittivaihtoehtoja. Joissain tapauksissa voi olla tarpeen suorittaa muinaisjäänneinventointi Museoviraston ohjeiden mukaisesti. [18.]

Voimajohdon jännitetaso ollessa vähintään 220 kV ja voimajohtoreitin pituuden ollessa vähintään 15 kilometriä YVA-menettely on pakollinen YVA-asetuksen mukaisesti. Alueellinen ELY-keskus voi kuitenkin ehdottaa YVA-menettelyä myös muille hankkeille, jotka eivät täytä automaattisia kriteerejä. Tämä päätös tehdään yhteistyössä paikallisen ELY-keskuksen kanssa, joka toimii YVA-menettelyn yhteysviranomaisena. Jos YVA-menettely on tarpeen, hankkeen toteuttajan on laadittava ympäristöselvitykset lain ja asetuksen mukaisesti ja liitettävä YVA-selostus voimajohtohanketta koskevaan lupahakemukseen. [18.]

Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) on välttämätön vaihe hankkeen ympäristövaikutusten ja ihmisten hyvinvoinnin arvioinnissa, erityisesti silloin, kun hankkeen laajuus tai vaikutukset ympäristöön voivat olla merkittäviä. YVA-menettely sisältää tutkimuksia, jotka kattavat voimajohtohankkeeseen liittyvät näkökohdat, kuten uhanalaiset kasvi- ja eläinlajit, luonnonsuojelualueet, kaavoitus- ja maakuntakaavamerkinnot. Se edellyttää myös maastotutkimuksia, kuten arkeologisia selvityksiä ja luontoselvityksiä. Luontoselvitykset kattavat muun muassa seuraavia asioita: linnustolaskentaa, lumijälkilaskentaa, kannantarkkailua, metsästysseuran haastatteluja, seurantalaitteiden asentamista maastoon tai tutkapantaa uhanalaiselle eläimelle. Yleisöä osallistutetaan asukaskyselyillä ja yleisötilaisuuksilla. [18.]

ELY-keskukset vastaavat YVA-menettelyn seurannasta, mutta hankkeen toteuttajan on järjestettävä ja kustannettava tarvittavat tutkimukset. YVA-menettely koostuu kahdesta vaiheesta: Ensimmäisessä vaiheessa laaditaan

arviointiohjelma, joka käsittelee eri toteutusvaihtoehtoja ja suunnittelee vaikutusten arvioinnit. Toisessa vaiheessa toimitetaan arviointiselostus, joka sisältää toteutettujen selvitysten tulokset ja vaikutusten arvioinnin. Vaihetta seuraa viranomaisen perusteltu päätelmä. Mikäli YVA-prosessissa ilmenee muutoksia, joudutaan suorittamaan lisää ympäristövaikutusten arviointia. [18.]

3.4 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa toteutettava voimajohtoreitti vahvistetaan perustuen maastotutkimuksiin ja kaukokartoitusaineistoon, jota täydennetään maastokäynneillä, erityisesti silloin, kun on tarpeen huomioida risteäviä johtolinjoja, teitä ja rakennuksia. Tämä tieto ohjaa voimajohtopylväiden sijainnin määrittämistä ja vaadittavien maaperätutkimusten suorittamista perustusolosuhteiden arvioimiseksi. [12.]

Pylväspaikkojen suunnittelussa huomioidaan monenlaisia tekijöitä, kuten ympäristönäkökohdat, tekniset vaatimukset ja taloudelliset seikat. Tässä yhteydessä otetaan huomioon maaston topografia, perustusolosuhteet ja maisemavaikutukset ympäristötekijöinä. Tekniset tekijät käsittävät sähköturvallisuuden, johtimien korkeudet eri sääolosuhteissa ja kuormitusolosuhteissa samoin kuin johtimien heilahdukset ja rakenteiden kestävyys. Lisäksi kiinnitetään erityistä huomiota asutuskeskuksiin, elinkeinotoimintaan ja luonnonkohteisiin ja pyritään sisällyttämään nämä näkökohdat voimajohtohankkeen toteutussuunnitteluun. [12.]

Tavoitteena on minimoida haitalliset vaikutukset maankäyttöön, maisemaan ja luontoon pylväiden sijoittelulla ja teknisillä ratkaisuilla ottaen huomioon yleinen etu sekä tekniset ja taloudelliset rajoitukset. Esimerkkejä mahdollisista ratkaisuista haastavissa suunnittelutilanteissa voivat olla voimajohdon sijoituksen muuttaminen, johtojen sivuttaissiirto tai yhteispylväiden käyttö. Voimajohdon rakentamisessa voi myös ilmetä tarvetta ostaa tai lunastaa kiinteistöjä, ja näihin tilanteisiin etsitään aina yksilöllisiä ratkaisuja neuvottelemalla maanomistajien kanssa. [12.]

Yleissuunnitteluvaiheessa valmistellaan myös vaarajänniteselvitys ja maadoitussuunnitelma. Kaikki pylväspaikat käyvät läpi maaperätutkimuksia, joiden perusteella annetaan perustamissuosituksen. Maakaapeleita suunnitellessa arvioidaan mahdollisia haittoja ja maaperärakennetta pyrkien rajoittamaan vaikutuksia maanomistajiin ja ympäristöön sekä ottaen huomioon tekniset ja taloudelliset rajoitteet. [12.]

Yleissuunnitteluvaiheessa käynnistetään viimeistään myös viestintäprojekti ja maanomistusjärjestelyt. Maanomistajille, joiden maita voimajohtoreitti koskee, tiedotetaan säännöllisesti projektin edistymisestä. Ennakkohaltuunottosopimuksissa neuvotellaan voimajohdon johtoalueella olevien kiinteistöjen omistajien kanssa, joiden kiinteistöt jäisivät rakentamisen aikaiselle alueelle. Sopimuksen tekemisestä maksetaan kiinteistön omistajalle ylimääräinen korvaus lunastuskorvauksen lisäksi. [12.]

Näiden sopimusten tarkoituksena on helpottaa rakentamisen aloittamista ennen virallista lunastustoimitusta. Tarvittaessa, jos suunnittelu ja rakentaminen ovat erillisiä projekteja, käytetään yleissuunnittelumateriaalista johdettua kilpailutusmateriaalia. Lunastusprosessi etenee sen rakennuttajan toimesta, ellei rakennusurakoitsija ole aiheuttanut huomattavaa vahinkoa esimerkiksi tiestöön. [12.]

3.4.1 Hankelupa

Sähkömarkkinalain 14 §:n [4] mukaan 110 kV:n nimellisjännitteellä varustetun sähköjohdon rakentamiseen haetaan hankelupa Energiavirastolta. Hankeluvan tarve kiinteistöryhmän rajan ylittävien, 110 kV:n tai sitä suurempien voimajohtojen osalta, riippuu voimajohdon sijainnista kyseisellä kiinteistöryhmällä. Kiinteistöryhmään kuuluvien kiinteistöjen sisäisen sähköjohdon rakentamiseen ei puolestaan tarvitse hakea hankelupaa. [4.]

Prosessi koskee myös vähintään 110 kV:n nimellisjännitteellä varustettuja sähköjohtoja, jotka ylittävät valtakunnan rajan ja vaativat hankeluvan työ- ja elinkeinoministeriöltä. Nämä vaatimukset koskevat kaikenlaista sähköjohtojen

rakentamista mukaan lukien kantaverkkoon ja suurjännitteiseen jakeluverkkoon kuuluvat johdot, rajayhdysjohdot ja liittymisjohdot. On tärkeää huomata, että sähköaseman rakentaminen ei kuulu hankelupamenettelyn piiriin. [4; 16.]

Hakemuksessa tulee esiintyä seuraavat tiedot: hankkeen rakennuttajasta tärkeimmät tekniset tiedot sekä yleissuunnitelmakartta sähköjohdosta, kustannusarvio ja rakentamisaikataulu, selvitys sähköjohdon tarpeellisuudesta sähkönsiirron varmistamiseksi, arviointi sähköjohdon ympäristövaikutuksista ja sen soveltuvuudesta alueen maankäyttöön, verkonhaltijan lausunto, jonka sähköverkkoon korkeajännitejohto on tarkoitus liittää, jakeluverkonhaltijan lausunto sekä muita tietoja, jotka ovat tarpeellisia lupakäsittelyn kannalta. Hankelupa ottaa kantaa vain voimajohdon tarpeeseen. [16.]

3.4.2 Tutkimuslupa

Tutkimuslupa antaa luvan suorittaa maastossa tarkempia tutkimuksia ja arvioida maaperän rakennettavuutta lunastettavaksi aiotulta kohteelta. Tällä lupamenettelyllä voidaan merkitä pylväspaikkoja maastoon, tehdä tarvittavia lisäkartoituksia ja suorittaa maaperätutkimuksia alustaville pylväspaikoille sekä tehdä maaperän resistiivisyysmittauksia vaara- ja häiriöjännitteitä varten. Näiden kerättyjen tietojen perusteella on mahdollista harkita vielä suunnitellun reitin muuttamista ja mukauttaa pylväspaikkojen sijoittelua tarpeen mukaan. [20.]

Tarkemman suunnittelun edellyttämiseksi on välttämätöntä saada mahdollisuus maastotutkimuksiin jo ennen lunastuslupahakemuksen jättämistä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi on haettava tutkimuslupaa, jonka myöntävänä viranomaisena toimii Maanmittauslaitos. [20.]

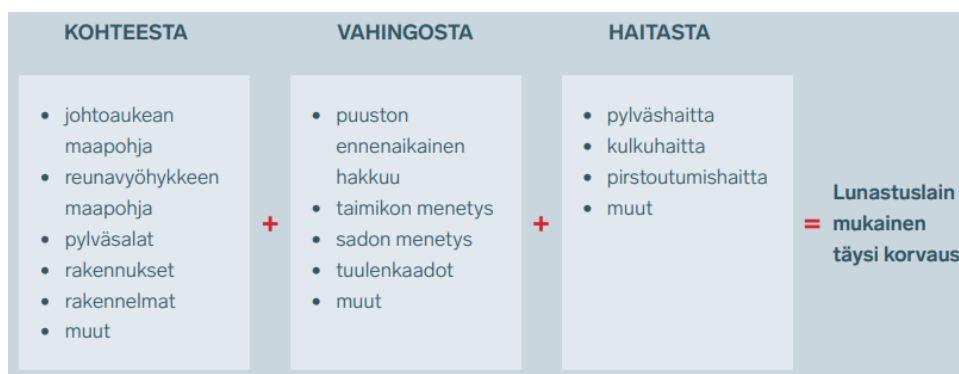
3.4.3 Lunastus- ja korvausmenettely

Voimajohtojen rakentamisessa yleisesti noudatetaan käytäntöä, jossa hakija pyrkii saamaan ennakkohyväksynnän maanomistajilta voimajohtoreitin ja rakentamisen suhteen. Mikäli ennakkohaltuunottosopimukset saadaan solmittua

kaikkien maanomistajien kanssa, Maanmittauslaitos käsittelee lunastuslupahakemuksen. Jos kaikkien maanomistajien kanssa ei päästä sopimukseen, lunastuslupahakemuksen käsittely siirtyy valtioneuvoston vastuulle. [12; 20.]

Hakemuksen ollessa valtioneuvoston käsittelyssä viranomaisilta, kunnilta ja niiltä osapuolilta, joilta voimajohdon rakentaja ei ole saanut suostumusta, pyydetään lausuntoja. Tarvittaessa nämä tahot kutsutaan lunastuslain mukaisesti järjestettyyn kuulemiskokoukseen. Kun asianomaisten lausunnot on saatu, voimajohdon rakentajalta pyydetään vastine. [12; 20.]

Lopulta valtioneuvosto myöntää tai hylkää lunastusluvan sekä ennakkohaltuunotto-oikeuden, sillä voimajohto rakennetaan ennakkohaltuunottopäätöksen nojalla ja varsinainen käyttöoikeuden lunastus johtoalueelle tehdään vasta lunastustoimituksen päätöskokouksessa. Päätöksestä on mahdollista valittaa korkeimpaan hallinto-oikeuteen. Lunastuslupa myöntää voimajohdon rakentajalle käyttöoikeuden johtoalueeseen mahdollistaen voimajohdon rakentamisen, käytön ja kunnossapidon. Kuitenkin voimajohdon alle jäävät maa-alueet ja muu omaisuus säilyvät maanomistajan omistuksessa. Lain kiinteän omaisuuden ja erityisten oikeuksien lunastuksesta (29.7.1977/603) 29 §:n [21] mukaan maanomistajille maksetaan korvauksia kuvassa 5 esitetyistä osa-alueista. [21.]



Kuva 5. Korvauksien osa-alueet [12].

Lunastus- ja ennakkohaltuunottoluvan käsittely ministeriössä kestää yleensä 18–24 kuukautta, ja päätöksestä on mahdollista valittaa edelleen korkeimpaan

hallinto-oikeuteen. Maanmittauslaitoksen prosessissa olevan luvan käsittely kestää noin 4–8 kuukautta, ja siitä voi valittaa hallinto-oikeuteen ja edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen. Voimajohto voidaan rakentaa, vaikka lunastuslupapäätöksestä olisi valitettu. [20.]

Rakennuttajan on korvattava lain kiinteän omaisuuden ja erityisten oikeuksien lunastuksesta 30 §:n [21] mukaan maanomistajalle täysi korvaus taloudellisista menetyksistä perustuen käypään hintatasoon, mikä vastaa markkinahintaa. Lisäksi maanomistajalle tulee maksaa kuuden prosentin vuosittainen korko korvaukseen ennakkohaltuunottopäätöksestä päätöskokoukseen asti. Korvaus voi perustua myös omaisuuden tuottoon tai kustannuksiin. Tämä korko on korvaus siitä, että varsinainen korvaus maksetaan vasta rakentamisen jälkeen. Laki kiinteän omaisuuden ja erityisten oikeuksien lunastuksesta mukaan korvaus on maksettava kertakorvauksena. [12; 20; 21.]

3.4.4 Verkkoliittymissopimukset

Verkkoliittymissopimus on sopimus, joka määrittelee ehdot ja velvoitteet osapuolille, jotka liittyvät tai ovat liittymässä tiettyyn verkkoon. Sopimuksessa voidaan määritellä liittymismaksut, tekniset vaatimukset, oikeudet ja velvollisuudet sekä muut liittymiseen liittyvät asiat. Sopimuksen tarkoituksena on varmistaa selkeys ja oikeudellinen kehys verkkoon liittymiselle ja sen käytölle.

Sähkömarkkinalain 4 §:n [4] mukaisen sähköverkkoluvan varaisella toimijalla on velvollisuus liittää kaikki halukkaat verkon käyttäjät toiminta-alueellaan sähköverkkoon pyynnöstä, mikäli verkon tila ja kapasiteetti mahdollistaisi liittymisen. Tämä liittämisvelvollisuus kattaa sekä uusien sähkönkäyttöpaikkojen tai voimalaitosten liittämisen että sovitun siirtotehon muutoksen olemassa olevissa liittymissä [4; 22].

Toiminta-alue määritellään kanta- ja jakeluverkossa sähköverkonhaltijan vastualueena. Suurjännitteisessä jakeluverkossa verkonhaltijan liittämisvelvollisuus koskee aluetta, jolla sijaitsevien verkon käyttäjien on teknisesti,

taloudellisesti tai maankäytöllisesti edullisempaa liittyä kyseisen verkonhaltijan verkkoon kuin toisen verkonhaltijan verkkoon.

Sähköverkkoliitännöiden sääntely asettaa vaatimuksia verkkoliitännöille. Euroopan komissio on esittänyt kolme erillistä verkkoliitännävaatimuksia koskevaa sääntösarjaa: tuotannolle (RfG), kulutukselle (DCC) ja suurjännitteisille tasasähköjärjestelmille (HVDC). Nämä vaatimukset koskevat sähköntuotantoa, kulu- tusta ja suurjännitteisiä tasasähköjärjestelmien verkkoliitännöitä. [23.]

Näiden yhtenäisten sääntöjen tavoitteena on luoda selkeä oikeudellinen kehys verkkoliitännöille. Ne pyrkivät helpottamaan sähkökauppaa koko unionin laajuisesti, takaamaan sähköjärjestelmän luotettavuuden, edistämään uusiutuvien energialähteiden verkkoon liittämistä, lisäämään kilpailua ja mahdollistamaan sähköverkon ja resurssien tehokkaamman hyödyntämisen kuluttajien hyväksi. [23.]

3.4.5 Kantaverkkoon liittyminen

Liittyessä kantaverkkoon Fingrid määrittelee liittymistavan noudattaen yleisiä liittymisehtojaan (YLE2021) [24]. Kantaverkkoon liittyminen edellyttää liittymis- sopimuksen solmimista liittyjän ja Fingridin välillä. Sopimuksessa tarkennetaan osapuolten omistusoikeudet, oikeudet, velvollisuudet, liittymismaksu ja mahdol- liset ehdot liittymisen sopimuksen irtisanomiseen tai muutoksiin. Liittymisehdot määrittelevät, miten, millä teholla ja missä kantaverkkoon liittyminen toteute- taan. [24.]

Suomen lainsäädännön [4] mukaan yli 2 MW:n tuotantolaitosten on itse vastat- tava verkon vahvistamisen kustannuksista, mikäli vahvistaminen on tarpeen pelkästään uuden tuotantolaitoksen rakentamiseksi. Mikäli liittyjällä tulee tarve lisälaitteistoihin tai uusii rakenteisiin, on niiden kustannuksista sovittava erik- seen. Lisärakenteet, esimerkiksi erottimet voimajohtoihin, jäävät Fingridin omis- tukseen, ja kantaverkkoyhtiö jää vastaamaan niiden käytöstä ja huollosta.

Kantaverkon liittymismaksut tulevat päivittymään vuoden vaihteessa 2023–2024, ja päivitetty hinnat on esitetty taulukossa 2. [24.]

Taulukko 2. Liittymismaksut kantaverkkoon [25].

Jännitetaso [kV]	Liittymismaksu [€] 2023	Liittymismaksu [€] 2024
110	600 000	800 000
220	1 200 000	1 400 000
400	2 000 000	2 200 000

Kantaverkkoyhtiön tavoitteena on ylläpitää sähköjärjestelmän korkeaa käyttövarmuutta ja tukea uusiutuvaan sähköntuotantoon perustuvan sähköjärjestelmän kasvua. Tämä varmistaa kohtuuhintaisen sähkön siirron. Fingrid pyrkii uuden investointiohjelmansa myötä kasvattamaan uusiutuvien energioiden liitettävyyttä sekä tukemaan ilmastotavoitteita. [24.]

Verkkoliittymäsopimus jakeluverkkoyhtiön kanssa on vastaavanlainen sopimus, joka määrittelee ehdot ja velvoitteet, kun halutaan liittyä jakeluverkkoyhtiön verkkoon. Jakeluverkkoyhtiön tulee varmistaa liitettävyyttä ja verkon kestävyys kantaverkkoyhtiö Fingridiltä. [24.]

Verkkoyhtiön tulee tarjota seuraavat tiedot julkisesti saataviksi: liittämistä koskevat tekniset edellytykset, myyntiehdot, hinnastot ja liittymismaksut määräytymisperusteineen sekä aikarajat, jonka puitteissa verkkoyhtiö käsittelee liittymishakemukset. Sopimuksessa määritellään yleensä liittymismaksut, tekniset vaatimukset, oikeudet ja velvollisuudet, käyttöehdot ja muut liittymiseen liittyvät asiat. Jakeluverkkoyhtiöiden liittymismaksut voivat vaihdella yhtiön ja alueen sijainnin mukaan. [24.]

4 Voimajohtojen rakentaminen ja kustannukset

Voimajohtohankkeiden varsinainen rakentaminen vaatii mainitut luvat sekä ennakkohaltuunotto-oikeuden ja oikeuden lunastaa käyttöoikeus rakennettavalle maa-alueelle. Voimajohto rakennetaan tuulivoimapuiston rakentamisen yhteydessä samanaikaisesti. Voimajohtojen rakennuskustannukset voivat vaihdella eri tekijöiden takia, esimerkiksi jännitetason, pituuden, maaston ja ympäristövaikutusten mukaan. [26.]

Voimajohtojen rakennuskustannukset koostuvat teräsvahvisteisista alumiinijohdista, jotka ripustetaan pylväisiin, maaston muokkaamisesta, maanrakennustöistä ja pylväspaikoille vaihdettavasta maa-aineksesta sekä pylväiden pystyttämisestä, joka on yksi suurimmista kustannuksista. Mitä haastavammassa maastossa rakennustöitä suoritetaan, sitä korkeammaksi kustannukset yleisesti ottaen nousevat. [26.]

Kustannuksiin tulee ottaa huomioon myös sähkötekniset ja -mekaaniset laitteet, sillä voimajohdot vaativat jännitetasonsa mukaan eristimiä ja muita verkon rakenteen kannalta tärkeitä komponentteja toimiakseen turvallisesti. Kun uudet voimajohdot liitetään jo olemassa olevaan verkkoon, vaaditaan siihen kytkinlaitos, muuntoasema tai johdonvarsiliityntä, jolla liittyminen mahdollistetaan. Liittymistapoja käsitellään luvussa 4.2 enemmän. [26.]

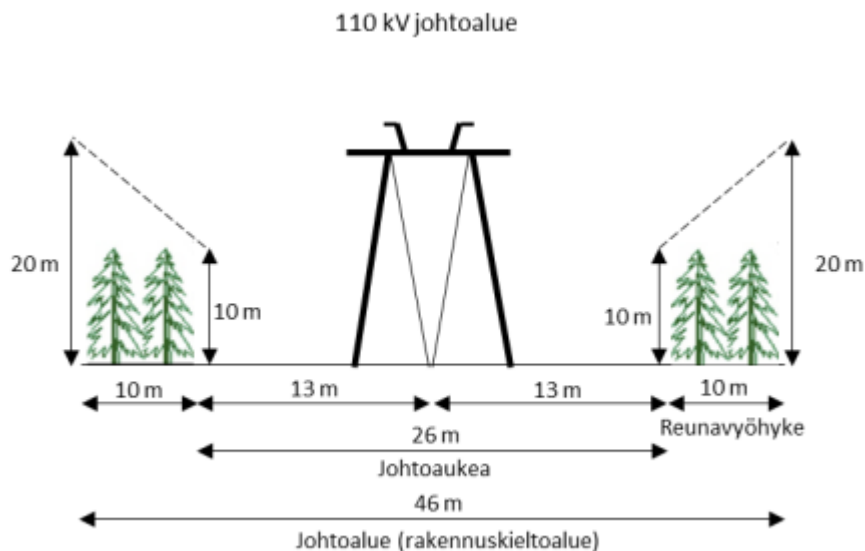
4.1 Rakentaminen

Voimajohto rakennetaan tuulivoimapuistojen yhteyteen, jotta tuotettu teho saadaan liitettyä jakelu- tai kantaverkkoon. Tuulivoimapuiston teho määrittelee, toteutetaanko liittyminen ilmajohdoilla vai maakaapeleilla. Lähtökohtaisesti yli 10 voimalan tuulivoimapuistojen ulkoinen sähkönsiirto toteutetaan ilmajohdoilla siirtohäviöiden minimoimiseksi. [26.]

Tuulivoimapuistojen sisäinen sähkönsiirto ja tehon kerääminen toteutetaan 33 kV:n maakaapeliverkostolla puiston omalle sähköasemalle, jossa jännitettä nostetaan liittymisjohdon vaatimalle jännitetasolle 110 tai 400 kV. [26.]

4.1.1 Ilmajohtojen rakenne

Ilmajohtojen rakentaminen alkaa yleensä puuston poistolla johtoalueelta. Johtoalue kattaa alueen, jolle voimajohdon vaikutukset ulottuvat. Johtoaukealla kasvusto on poistettu täysin tai rajoitettu niin, ettei se tule vaikuttamaan millään tasolla voimajohdoin. Reunavyöhykkeillä puuston kasvu on rajoitettu ja kyseinen alue on myös rakennuskieltoaluetta. Johtoalueen leveys on riippuvainen rakennettavan liittymisjohdon jännitetasosta. Kuvassa 6 on esitelty 110 kV:n johtoalueen leveys, joka on 46 metriä, ja johtoaukea itsessään on 26 metriä leveä. [26.]

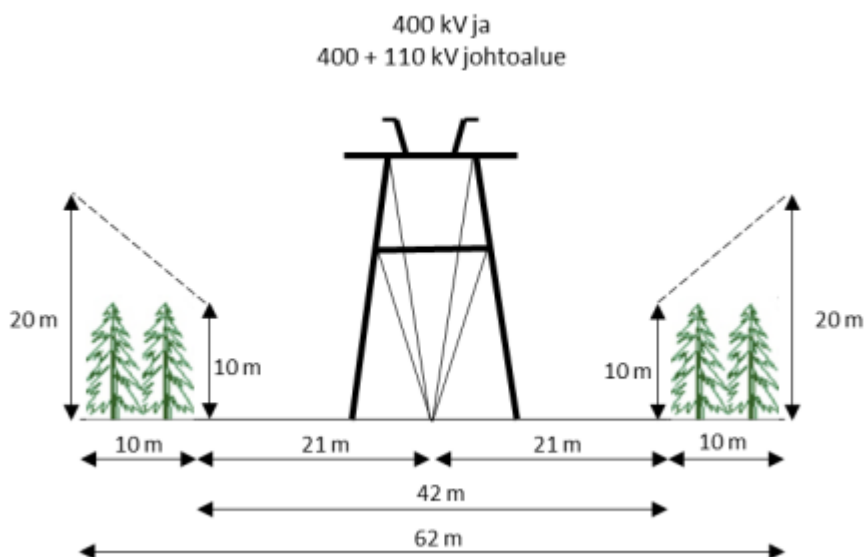


Kuva 6. 110 kV:n johtoalueen havainnekuva [26].

400 kV:n voimajohdon rakenteelle johtoalueen leveys kasvaa 62 metriin, sillä rakenteet ovat hieman jyrkemmät ja isommat kuin 110 kV:lla. Yhteispylväsraenteella voimajohdon johtoalue rakennetaan suurimman vaikutuksen mukaisesti, jolloin vaikutusalue mukailee 400 kV:n määräyksiä.

Yhteispylväs rakenne tarkoittaa, että samassa pylväs rakenteessa kulkee kaksi virtapiiriä esimerkiksi 400 + 110 kV. Voimajohtot kulkevat siis samoissa pylväissä, mutta eri orsilla. Tällöin samaa johtoaluetta pystytään hyödyntämään kahdelle virtapiirille, jolloin sen leveys on maksimissaan 62 metriä. Mikäli edellä mainittu ratkaisu rakennettaisiin vierekkäin johtoalueen leveydeksi, tulisi yhteensä 75 metriä. [26.] Kuvassa 7 on esitelty kyseisen jännitetaso johtoalueen kokoa.

Mikäli rakennettaisiin kaksi 110 kV:n virtapiiriä rinnakkain, johtoalueen leveys olisi yhtä leveä kuin yhdellä 400 kV:n rakenteella. Puolestaan kahden rinnakkaisen 400 kV:n rakennelman johtoalueeksi tulisi 103 metriä. [26.] Kuvassa 7 on havainnollistettu yhteispylväs rakenteen johtoalueen leveys.



Kuva 7. Yhteispylväs rakenteen poikkileikkaus [26].

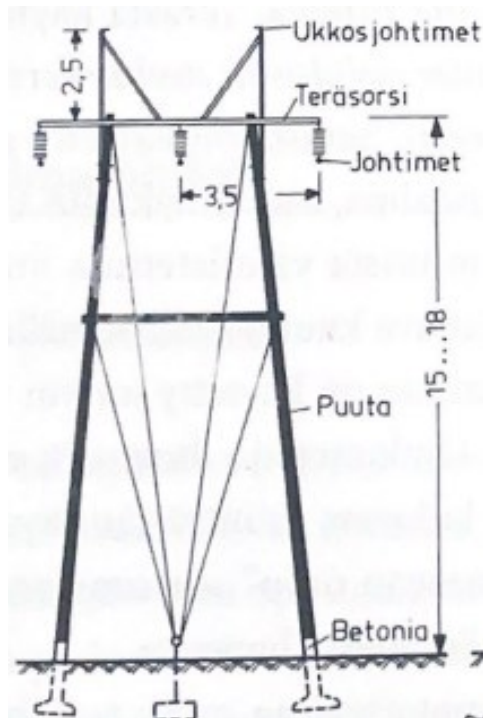
Voimajohtojen pylväs rakenteiden tarkoitus on pitää johtimet ilmassa. Pylväiden pää rakenneosia ovat runko, ukkosjohtimet, orret, harukset, eristimet ja perustukset sekä maadoitusjohtimet. Rakenteet ovat riippuvaisia pylvästyypistä ja jännitetasosta. [26.] Voimajohtopylvään osat on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Voimajohtopylvään osat [27].

Voimajohtoihin käytetyt pylvästyypit on karkeasti rajattu kahtia vapaasti seisoviin ja harustettuihin pylväisiin. Kummankin tyyppisiä pylväitä käytetään 110 ja 400 kV:n jännitetasoilla. Nykyään rakenteet ovat teräksisiä suurjännitteisillä ilmajohdoilla ja puisia pylväitä käytetään lähtökohtaisesti pienemmillä jännitetasoilla, kuitenkin poikkeuksiakin on. Iältään vanhemmat 110 kV:n pylväät saattavat olla edelleen puisia, sillä vasta johtimien saneerauksen myötä puiset pylväät tullaan korvamaan teräksisillä. [26.]

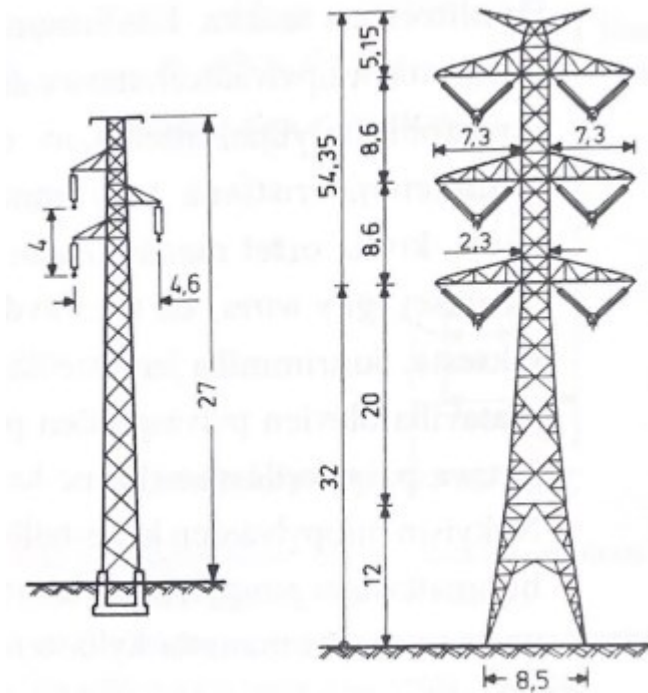
Portaalipylväs eli harustettu pylväs on yleinen valinta voimajohtojen rakentamisessa erityisesti korkeajännitteisten voimajohtojen, kuten 110 kV:n voimajohtojen osalta. Tämä pylvästyyppe koostuu yleensä kahdesta pystysuorasta osasta, jotka yhdistyvät vaakasuoralla tukirakenteella luoden portaalimaisen muodon. Harukset eli vinot tukikaapelit tukevat ja vakauttavat portaalipylvästä, ja ne voivat olla tärkeitä erityisesti voimakkaissa tuulissa tai vaikeissa maasto-olosuhteissa. [26.] Kuvassa 9 on esitetty harustettu voimajohtopylväs.



Kuva 9. Harustettu pylväs ja rakenne [7, s. 266].

Portaalipylväs on huomattavasti kevytrakenteisempi sekä maisemaystävällisempi. Kyseinen pylväs rakenne sopii hyvin tasaisempaan maastoon, minkä takia se on hyvin yleinen vaihtoehto Suomessa. Harustettujen pylväiden etu on matalampi rakenne kuin vapaasti seisovilla, eivätkä täten ole niin alttiita salamiskuille ja sulatuvat metsäiseen maisemaan paremmin [7, s. 266–267].

Vapaasti seisovat teräsrakenteiset pylväät ovat toinen vaihtoehto voimajohtojen rakenteissa. Nämä pylväät eivät sisällä haruksia tai muita ulkoisia tukia, vaan ne seisovat itsenäisesti pystyssä. Ne voivat olla hyödyllisiä tietyissä ympäristöissä tai rakennusolosuhteissa, joissa harukset eivät ole tarpeellisia tai mahdollisia. Rakenteeltaan vapaasti seisovat pylväät ovat raskaampia, vaikka ne tarvitsevat teoreettisesti melkein puolet pienemmän johtoalueen kuin harustetut pylväät. Käytännössä molemmille pylvästyypeille varataan ja lunastetaan samanlainen johtoalue. [26.] Kuvassa 10 on esitetty vapaasti seisova teräspylväs 110 ja 400 kV:n jännitetasoilla.



Kuva 10. Vapaasti seisova teräspylväs vasen 110 ja oikea 400 kV:lla [7, s. 266].

Vapaasti seisovat pylvääät ovat huomattavasti korkeampia ja alttiimpia sääilmiöille. Kyseisiä pylvääitä nähdään taajama-alueilla useammin. Aiemmin mainittujen pylvääsrakenteiden lisäksi on olemassa kiristyspylvääitä, jotka nimensä mukaisesti kiristävät voimajohtoa sen reitillä. Erilaisten pylväästyypin käyttö mahdollistaa, että voimajohdon suunnittelussa ja rakentamisessa voidaan huomioida paikalliset olosuhteet ja tarpeet [7, s. 266–267].

Voimajohtojen kustannukset riippuvat rakennettavasta jännitetasosta. Karkeat arviot rakennuskustannuksista sisältävät kaikki rakennustyöt, pylvääät sekä varsinaiset voimajohdot. Johtotyypin mukaan 110 kV:n voimajohdon rakentamisen hinta-arvio on 200–300 000 €/km ja puolestaan 400 kV:n voimajohdon rakentaminen 400 000 €/km. Lisäksi oman osuutensa rakentamiskustannuksiin tuo verkkoliittymismaksut [26.]

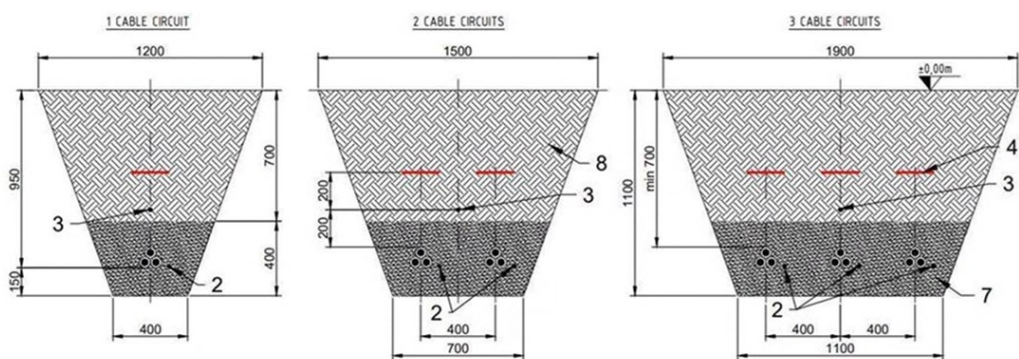
Voimajohtoa rakennettaessa tuleekin huomioida käytettävä jännitetaso, sillä ero 110 ja 400 kV:n välillä on melko suuri. Käytettävän jännitetaso päätös tulee tehdä jo suunnitteluvaiheessa, jotta voidaan optimoida johdon kyky siirtää tehoa

kustannustehokkaasti. Korkeampi jännitetaso mahdollistaa suuremman siirrettävän tehon ja pienentää siirtohäviöitä, mutta on rakentamiskustannuksiltaan kalliimpi kuin esimerkiksi 110 kV:lla, sekä ympäristövaikutuksiltaan suurempi. Optimoinnin tarkoituksena on tarkastella, millä jännitetasolla tuotettu teho on kannattavinta siirtää verkkoon. [26.]

4.1.2 Maakaapelit

Maakaapeleiden rakentaminen alkaa yhtä lailla puuston poistolla kaapelialueelta, mutta kaapelit pyritään lähtökohtaisesti sijoittamaan teiden yhteyteen, jolloin välttyttäisiin ylimääräiseltä puuston poistolta kaapelialueelta. Kaapelialue on huomattavasti pienempi kuin vastaavalla jännitetasolla oleva ilmajohtolla. Kaapelialueella tarkoitetaan kaapelin asennukseen vaadittavaa tilaa, jolta alueelta poistetaan myös mahdollinen puusto. [26.]

Yhden virtapiirin 110 kV:n maakaapelille lunastetaan kuuden metrin käyttöalue ja sen molemmille puolille varataan neljä metriä, joka kattaa työskentelyalueen sekä tien mahdollistamaan liikenteen. Kaivannon leveydet riippuvat kaivannon sijoitettavien kaapeleiden määrästä sekä poikkipinta-alasta. [26.] Kaivannoista on esitetty esimerkkimalli kuvassa 11.



Kuva 11. Kaapelikaivannot 33 kV:n maakaapeleilla [26].

Maakaapelit suojataan mekaanisesti yleensä betonielementillä, jolla pyritään tuomaan kaapeleille parempaa käyttövarmuutta. Kaapelit laitetaan elementin

sisälle, ja hiekalla täytetään kaapeleiden ympärille jäävä tyhjä tila. Kyseistä suojausmekanismia käytetään vilkkaasti liikennöityjen väylien varsilla sekä alueilla, joilla on mahdollisesti myös paljon muuta kunnossapitoa. Teiden varsilla, joilla liikennettä tai muuta toimintaa ei ole niin paljon, voidaan kaapelit asentaa suoja-putkella suoraan kaivantoon ja peittämällä maa-aineksella. [26.]

Maakaapeleiden karkeat rakennuskustannukset koostuvat kaapeliojan kaivuusta ja maastotyyppistä, itse kaapelista ja sen komponenteista, esimerkiksi jatkoista ja päätteistä. Esimerkiksi pelkkien kaapeliojien kaivuiden hinnat vaihtelevat 60–600 000 €/km maaston haasteellisuuden mukaan ja 110 kV:n kolmivaiheisten kaapelien hinnat vaihtelevat kokonsa mukaan noin 100–150 000 €/km. [26.]

4.2 Liittyminen

Tuulivoimapuistot liitetään kantaverkkoon tai jakeluverkkoyhtiöiden verkkoon. Liittäminen tehdään verkkoyhtiöiden osoittamalle muuntoasemalle, kytkinlaitokselle tai johdonvarteen. Verkkoyhtiöt määrittelevät varhaisessa suunnitteluvaiheessa liittyjälle mahdollisen liittymispisteen, jossa halutulle tehonsiirrolle on mahdollisesti vapaata kapasiteettia.

Fingrid on tuonut omissa yleisissä liittymisehdoissa [24] esille vaatimukset heidän verkkoonsa liittymiselle. Kytkinlaitokselle liiyyttäessä tulee huomioida liitettävä tehonmäärä, jolloin määräytyy myös, millaiselle kytkinlaitokselle voidaan liittyä. 250 MW on tuotu esille rajana: sen alle jäävät liitynnät ohjataan jännitetasoltaan 110 tai 220 kV:n kytkinlaitokselle ja yli 250 MW menevät liitetään 400 kV:n laitokselle. Tällöin koko järjestelmän vakautta on helpompi ylläpitää, kun suuremmat tehot liitetään suuremmalla jännitteellä. Muuntoasemilla on noudatettu vastaavia reunaehtoja. Voimajohdon varteen liiyyttäessä Fingrid on sallinut ainoastaan liittymiset 110 kV:n jännitetasolla johdonvarteen. Jakeluverkkoyhtiöt ovat osaltaan noudattaneet vastaavia ehtoja liittymiselle. [24.]

Liittymiset tuovat myös osaltaan kustannuksia, jotka on otettava huomioon kokonaisuudessa. Fingridin 110 kV:n kytkinlaitosliityntä kustantaa 800 000 euroa ja 400 kV:n liityntä 2,2 miljoonaa euroa. Puolestaan 110 kV:n voimajohdon varteen liittyminen on samanhintaista kuin vastaavan jännitetason kytkinlaitokselle. Jakeluverkkoyhtiöillä on tehoperusteinen hinnoittelu, ja esimerkiksi Elenian 110 kV:n liityntämaksu on 12 000 €/MVA ja Caruna Oy:llä vastaavaan jännitetasoon 24 000 €/MVA. [26.]

4.3 Elinkaari, huollettavuus ja purkaminen

Voimajohtojen suunnitteluvaiheessa on huomioitava niiden mahdollinen käyttöikä sekä sen pidentäminen riittävillä huolto- ja kunnossapitotoimilla. Lähtökohteisesti voimajohdot kestävät käyttökunnossa kymmeniä vuosia, jopa 60–80 vuotta. Ilmajohdoilla johtoaukean raivaaminen ja reunavyöhykkeillä liian korkeaksi kasvaneen puuston käsittely ja puolestaan maakaapeleilla jo rakennusvaiheessa riittävän mekaanisen suojauksen asentaminen edesauttavat liittymisjohdojen ja -kaapelien toimivuutta ja käyttöikää. [26.]

Voimajohtojen huollettavuus on luonnollisesti helpompaa ilmajohdoille, joiden mahdolliset vikakohtat ovat paikannettavissa helpommin kuin maakaapeleilla, sekä kunnossapitotyöt voidaan aloittaa nopeammin, esimerkiksi ilman kaivuu- töitä. Voimajohdon kunnossapito pitää sisällään säännöllisiä tarkastuksia maastosta tai ilmasta käsin. Raivauksia toteutetaan noin kuuden vuoden välein johto- alueella. Reunavyöhykkeen puustoa raivataan huomattavasti harvemmin. Rai- vauksien tiheys riippuu johdon sijainnista, esimerkiksi etelässä raivataan ti- heämmin kuin pohjoisessa. [26.]

Huollettavuutta voidaan parantaa ja ylläpitää jo suunnitteluvaiheessa huomioi- malla ilmajojtojen varteen riittävän tieverkoston tekeminen, jolloin voidaan suo- rittaa ennaltaehkäisevää tarkastelua mahdollisesti ilmeneviin vikakohtiin. Maa- kaapelit sijoitetaan lähtökohtaisesti teiden varsille, jolloin pääseminen mahdolli- selle vikapaikalle on helpompaa.

Huoltokustannukset koostuvat lähtökohtaisesti vian paikantamisesta, korjaustöiden kestosta sekä itse viasta. Ilmajohdojen vian korjaaminen kestää yleisesti joidakin päiviä, kun puolestaan maakaapelivian korjaaminen vie viikkoja tai kuukausia.

Mikäli voimajohtojen käyttöikä on tullut loppusuoralle tai olemassa olevia vanhempia rakenteita on tarve uusida, joudutaan niitä purkamaan. Purkukustannukset ovat usein edullisemmat, sillä voimajohtojen purkua suorittava yritys saa itselleen käyttöön tai myytäväksi purettavat komponentit muun muassa pylväiden raudoitukset. Ilmajohdojen purkaminen voidaan toteutettu nopeasti, kun maakaapeleilla kaivuutyöt vievät suurimman ajan. [26.]

Purkaminen pyritään tekemään mahdollisimman ympäristöystävällisesti ja purettavat materiaalit kierrättämään ja uudelleenkäyttämään parhaan mukaan. Vanhemmat ilmajohdopylväät ovat kyllästettyä puuta, joka on luokiteltu ongelmajätteenä ja nostaa purkukustannuksia omalta osaltaan. Maakaapeleiden mekaanista betonielementtisuojauksia voidaan käyttää uudestaan, vaikka kaapelit sen sisällä vaihtuisivat.

5 Vaikutusten arvioinnin vertailu

Tuulivoimapuistojen voimat aiheuttavat suurimmat näkyvät vaikutukset, mutta voimajohdot muokkaavat maisemaa myös omilla rakenteillaan. On tärkeää arvioida vaikutuksia ja kokonaisuudessaan pyrkiä minimoimaan mahdollisuuksien mukaan vaikutukset ympäristöön ja ihmisiin. Viranomaisten rooli vaikutusten arvioinnissa on keskeisessä osassa, ja he ovat velvollisia toimimaan puolueettomana elimenä.

ELY-keskus toimii keskeisenä viranomaisena voimajohtohankkeiden vaikutusten arvioinnissa. Sen vastuulla on arvioida suunniteltujen voimajohtoreittien vaikutukset monipuolisesti ottaen huomioon vaikutukset alueeseen kokonaisvaltaisesti. ELY-keskuksen tarkoituksena on tarkastella suunniteltuja voimajohtoreittejä ja niiden mahdollisia vaikutuksia ihmisten terveyteen, elinolosuhteisiin,

maisemaan, kulttuuriympäristöön, alueen arkeologiaan, luontoon, eläimiin sekä liikenteeseen. [18.]

ELY-keskuksen rooli on varmistaa lausunnossaan, että voimajohtohankkeet ovat yhteensopivia alueelle sen käyttötarkoitusten ja tarpeiden kanssa. Arvioinnin perusteella voidaan myös tehdä suosituksia tai muutosehdotuksia voimajohtoreiteistä, joilla voitaisiin minimoida vaikutukset alueelle. Kokonaisvaltainen tarkastelu ilmajohtojen ja maakaapeleiden vaikutuksista edistää kestävä kehityksen luomista alueella ottamalla ympärillä vaikuttavan yhteisön tarpeet ja arvot huomioon. [18.]

Ihmisten terveyteen ja elinolosuhteisiin liittyvät vaikutukset voivat kattaa esimerkiksi meluhaitat, sähkömagneettiselle säteilylle altistumisen ja mahdolliset muutokset alueen vesistöissä ja ilmanlaadussa esimerkiksi rakennusvaiheen aikana. Maiseman muuttuminen, erityisesti maisemakuvaltaan arvokkailla alueilla, voi vaikuttaa paikallisten asukkaiden elämänlaatuun ja alueen vetovoimaan. Kulttuuriympäristö ja arkeologiset kohteet voivat olla herkkiä voimajohtoprojektien vaikutuksille, ja niiden säilyminen on huomioitava arvioinnissa.

Luonnon monimuotoisuuden ja eläimiin kohdistuvat vaikutukset ovat myös tärkeitä osa-alueita. Voimajohtoreittien rakentaminen voi vaikuttaa eläinten liikkumiseen ja elinympäristöihin. Vaikutukset ovat suurimmillaan rakennusvaiheen aikana, mutta luonnon sopeutuvuuden myötä alueet palautuvat normaalimpaan rakentamisen jälkeen.

5.1 Luonto ja ympäristö

Vaikutuksia luontoa ja eläimiä kohtaan on mahdotonta välttää kokonaan, vaan niitä pyritään minimoimaan mahdollisimman paljon. Suurimmat vaikutukset ilmenevät voimajohtojen rakennusvaiheessa, jolloin puustoa joudutaan poistamaan luvuissa 4.1.1 ja 4.1.2 esitetyin jännitetason määrittämien kriteereiden mukaisesti. Puuston poisto ja rakennustyöt muokkaavat väistämättä luontoa ja

sen ekosysteemiä. Myös maansiirtotyöt pylväiden perustuksia varten muokkaavat alueen kasvillisuutta omalta osaltaan.

Ilmajohdoista sekä maakaapeleista muodostuu niiden vaikutusalueelle pysyvää haittaa. Johtoaukea pidetään puustosta paljaana sekä reunapuuston kasvua rajoitetaan. Maakaapeleiden asennusalue pidetään myös puuttomana, sillä puiden juuret voisivat mahdollisesti aiheuttaa vahinkoa kaapeleille, mikäli niitä ei ole mekaanisesti suojattu. Ilmajohdot muodostavat myös linnuille mahdollisesti törmäysuhkan. Linjoihin voidaan asentaa lintupalloja varoittamaan voimajohdoista. Lintupalloja on asennettu yleensä muuttolintujen reittien varrelle sekä pesimäalueille. [3.]

Mikäli suunnitellulla alueella luontoselvityksien yhteydessä havaitaan uhanalaisia tai suojeltuja lajeja, joudutaan reittejä muuttamaan ja kiertämään alueet. Esimerkiksi liito-oravan elinympäristön alueelta ei saa kaataa puita ilman suojelupäätöksen poikkeuslupaa, vaan sen elinympäristö joudutaan kiertämään tietyllä turvaetäisyydellä. Myös muiden lajien elinympäristöihin kohdistuvat vaikutukset tulee ottaa huomioon ja tarvittavilla rajoituksilla sekä suojatoimenpiteillä säilyttää ekosysteemin tasapaino. [3.]

Luonto sopeutuu vuosien aikana tapahtuneisiin muutoksiin ja hakkuualueille saattaa kehittyä uudenlaista kasvillisuutta, esimerkiksi tiheän metsän muuttuessa niittyalueeksi. Osa kasveista saattaa hyötyä hakkuista, sillä tämä muutos mahdollistaa matalakasvillisuudelle muun muassa paremman valon saannin. Näin ollen, vaikka hakkuut voivat aluksi aiheuttaa muutoksia, luonto sopeutuu ja löytää uusia keinoja kasvillisuuden monimuotoisuuden ylläpitämiseksi. [3.]

5.2 Sosiaalinen hyväksyttävyys

Kun ilmajohdot on rakennettu, muodostavat ne esteettistä haittaa tuulivoimapuiston tavoin, ja muuttuva maisema vaikuttaa ympärillä elävien ihmisiin. Maisemalliset arvokkaat kohteet voivat esiintyä luonnonpiirteinä, historiallisina teki-jöinä ja rakennettuna ympäristönä. Ilmajohdojen sijoittelussa pyritään välttämään

lähtökohtaisesti arvokkaita kohteita. Ilmajohdojen maisemavaikutusta pyritään tarkastelemaan ja arvioimaan kolmella eri etäisyydellä, jolloin saadaan kattavampi käsitys niiden vaikutuksesta. [28.]

Ihmisiin kohdistuvat vaikutukset on jaettu fyysisiin ja niin sanottuihin psykologisiin vaikutuksiin. Kuten luontoon ja ympäristöön kohdistuvissa vaikutuksissa, on tässäkin näkökulmassa otettava vaikutukset huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Fyysiset vaikutukset voidaan kuvata maiseman muutoksen, turvallisuuden ja sähkömagneettisen kentän vaikutuksina. Maiseman muuttuminen on välttämätön ilmajohdoilla, ja maakaapeleiden maisemahaitta on vähäisempi, sillä hakkuualue ja puustosta puhtaana pidetty alue on huomattavasti pienempi eikä maakaapeleilla tule maanpäällisiä rakennelmia. Maisemahaittoja pyritään minimoimaan hyvällä suunnittelulla ja jättämällä asutuksiin riittävää etäisyyttä, jolloin ilmajohdot jäävät puuston peittoon. [3; 28.]

Mahdolliset melusta aiheutuvat häiriöt, kuten koronapurkaukset ja niiden säri-sevä ääni sekä tuulen aiheuttama johtimien sekä muiden komponenttien esimerkiksi eristimien ja orsien heiluminen saattaa aiheuttaa melua. Koronapurkauksia havaitaan lähinnä vain 400 kV:n jännitetasolla. Mainitut vaikutukset ilmenevät vain ilmajohdoilla ja ovat melko vähäisiä. [3.]

Psykologisiin vaikutuksia kuvaillaan muun muassa terveysriskeinä, kuten sähkömagneettisina vaikutuksina. Ilmajohdot sekä maakaapelit aiheuttavat sähkömagneettista säteilyä, mutta hyvin vähäisissä määrin, ja tutkimusten [29] mukaan voimajohdot eivät aiheuta terveyttä riskeeraavaa määrää säteilyä. Vain harvoissa tapauksissa esimerkiksi sydämentahdistimet ovat häiriintyneet voimajohdoista aiheutuvasta säteilystä. Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 200 mikrotieslan raja-arvon magneettikenttäaltistukselle, ja tämä arvo ei ylitä voimajohtojen välittömässä läheisyydessä. Magneettikenttä on suurimmillaan suoraan voimajohtojen alapuolella, jossa arvo on noin 20 mikrotieslaa. Etäisyyden kasvaessa voimajohdoista myös magneettikentän vaikutus pienenee hyvin nopeasti. [29.]

Useimmiten ilmajohtojen pylvääät peittyvät metsän sekaan, jolloin niiden maisemavaikutus on ainoastaan linjan välittömässä läheisyydessä. Ennen ilmajohtojen rakentamista niiden reitille luodaan havainnekuvat, jotta voidaan tarkastella oletettuja vaikutuksia tarkemmin sekä esittää vaikutusalueelle joutuville konkreettista muutosta. Maakaapeleilla ei täysin vastaavaa maisemahaittaa ilmene, sillä niiden vaatima puuton alue on huomattavasti pienempi ja sijoittelu pyritään tekemään teiden varsille, jolloin tie itsessään on ainoa näkyvä elementti. [28.]

Lähtökohtana voimajohtojen rakentamiselle on luoda ympäristöön mahdollisimman vähän haittaa, niin luonnolle kuin ihmisille. Arvokkaat luontokohteet pyritään väistämään riittävällä etäisyydellä, ja rakennustyöt tehdään suotuisampana ajankohtana eikä esimerkiksi lintujen pesimän aikaan. Lisäksi voimajohtojen suunnittelussa ja sijoittelussa huomioidaan paikalliset asukkaat ja yhteisöt. Vuorovaikuttamisella ja tiedottamisella voidaan huomioida vaikutusalueen asukkaiden huolenaiheet sekä tarpeet ja niihin voidaan löytää tarvittavat keinot minimoida vaikutukset. [3.]

6 Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ilmajohtojen ja maakaapeleiden tekniset ominaisuudet sekä arvioida kustannusten ja vaikutusten pohjalta niiden sopivuutta tuulivoimapuiston verkkoliittymisvaihtoehtona. Työssä suoritettiin vertailu suurjännitteisten 110 ja 400 kV:n ilmajohtojen sekä 110 ja 33 kV:n maakaapeleiden välillä liittymisvaihtoehtoina.

Työn eteneminen alkoi voimajohtojen ja maakaapeleiden esittelyllä, jonka jälkeen syvennyttiin voimajohtojen teknisiin ominaisuuksiin. Suunnittelu- ja luvitusosiossa tutkittiin voimajohtoihin vaikuttavia lainsäädäntöjä, jotka ohjaavat suunnitteluprosessia. Tässä yhteydessä tarkasteltiin myös lupaprosesseja ja niitä myöntäviä viranomaisia.

Suunnittelun ja luvitusten pohjalta käsiteltiin ja vertailtiin ilmajohtojen ja maakaapeleiden rakentamiseen liittyviä eroavaisuuksia. Kerätyn tiedon ja vertailujen perusteella luotiin arvioita kustannuksiin sekä niiden pohjalta kannattavuuteen ottaen huomioon sekä tekniset ominaisuudet että kokonaiskustannukset. Rakentamisen vaikutukset tutkittiin aiemman tiedon ja perustelujen pohjalta arvioiden niiden merkitystä niin luontoon kuin ihmisiinkin.

Vaikutusten arvioinnissa huomioitiin konkreettiset vaikutusten muodot, miten vaikutuksia voitaisiin mahdollisimman tehokkaasti välttää. Tämä kokonaisvaltainen lähestymistapa mahdollisti kattavan arvioinnin voimajohtojen ja maakaapeleiden toteutettavuudesta sekä niiden vaikutuksista ympäristöön ja yhteisöön.

Tutkimuksen tuloksena ilmajohtot osoittautuivat teknistaloudellisesti edullisimmaksi vaihtoehdoksi tuulivoimapuiston ulkoisessa sähkönsiirrossa huolimatta niiden vaikutuksista ympäristöön ja yhteisöön. Vaikka maakaapelit tarjoavat vähemmän vaikutuksia sähkönsiirtoreiteille, niiden kustannukset nousevat merkittävästi etenkin pitkillä siirtomatkoilla. Tulevaisuudessa liittymisjohtojen suunnittelussa olisi hyvä huomioida niiden yhtenäistäminen, jotta negatiiviset vaikutukset vältettäisiin luontoa, ympäristöä ja ihmisiä kohtaan entistä paremmin.

Lähteet

- 1 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. ABO Wind Oy. <<https://www.abo-wind.com/fi/yritys/tietoa-meista.html>>. Luettu 19.9.2023.
- 2 Aarni, Milja. 2022. Uusiutuva energia Suomessa. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa>. Päivitetty 14.2.2024. Luettu 21.9.2023.
- 3 Kantaverkko. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko>>. Luettu 25.9.2023.
- 4 Sähkömarkkinalaki. 2013. 558/2013.8.2013.
- 5 Sähköturvallisuuslaki. 2016. 1135/2016.12.2016.
- 6 SFS-EN 50341. 2014. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt. Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto.
- 8 Voimajohdot. 2023. Yrityksen sisäinen materiaali. ABO Wind Oy.
- 9 Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2022–2031. 2022. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon-kehittämissuunnitelma-2022-2031.pdf>>. 22.11.2021. Luettu 27.9.2023.
- 10 Brink, Päivi. 2016. Miksi Fingrid ei kaapeloï. Verkkoaineisto. Fingridlehti. <<https://www.fingridlehti.fi/miksi-fingrid-ei-kaapeloï/>>. 23.11.2016. Luettu 9.10.2023.
- 11 Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot I. Järjestelmäteknikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto.
- 12 Näin etenee voimajohtohanke. 2020. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/fingrid_nain_eteenee_voimajohtohanke_2020.pdf>. 16.10.2020. Luettu 8.10.2023.
- 13 Ala-Kokko, Janne. 2018. Suurjänniteverkon maakaapelointi. Insinööriyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 14 Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. 132/1999.5.1999.
- 15 Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet. 2023. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/kaavoitus-ja-alueidenkaytto/valtakunnalliset-alueidenkayttotavoitteet>>. Päivitetty 3.7.2023. Luettu 15.11.2023.
- 16 Hae sähköjohdon rakentamiseen lupaa. 2023. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <https://energiavirasto.fi/asiointi#hae_sahkojohdon_rakentamiseen_hankelupaa>. 4.1.2023. Luettu 15.11.2023.
- 17 Valtioneuvoston asetus sähkömarkkinoista. 2009. 65/2009.2.2009.
- 18 Ympäristövaikutusten arviointi. 2024 Verkkoaineisto. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. <<https://www.ely-keskus.fi/ymparistovaikutusten-arviointi>>. Päivitetty 8.1.2024. Luettu 8.1.2024.
- 19 Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. 2017. 252/2017.5.2017.
- 20 Lunastus- ja korvaustoimitukset. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/14_lunastus_ja_korvaustoimitukset.pdf>. Luettu 22.11.2023.
- 21 Laki kiinteän omaisuuden ja erityisten oikeuksien lunastuksesta. 1977. 1977/603.7.1977.
- 22 Sähköverkkoon liittyminen. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/sahkoverkkoon-liittyminen>>. Luettu 16.11.2023.
- 23 Kantaverkkoon liittyjän opas. 2022. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/kantaverkkoon-liittyjan-opas.pdf>>. 11.10.2022. Luettu 4.10.2023.
- 24 Fingrid Oyj:n yleiset liittymisehdot. 2021. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/yle2021-fingrid-oyj-yleiset-liittymisehdot.pdf>>. 25.10.2022. Luettu 12.12.2023.
- 25 Fingrid jättää perimättä kantaverkkomaksuja ja tarkistaa kantaverkon liittymismaksujen tasoa. 2023. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2023/fingrid-jattaa-perimatta-kantaverkkomaksuja-ja-tarkistaa-kantaverkon-liittymismaksujen-tasoa/>>. 21.9.2023. Luettu 22.9.2023.

- 26 Suurjännite maakaapelit ja ilmajohdot. 2023. Yrityksen sisäinen materiaali. ABO Wind Oy.
- 27 Pylvään osat. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/kanta-verkko/kunnossapito/voimajohdot/pylvaan-osat/>>. Luettu 23.11.2023.
- 28 Brink, Päivi. 2019. Voimajohtoreitti vaikuttaa maisemaan. Fingridlehti. Verkkoaineisto. <<https://www.fingridlehti.fi/voimajohtoreitti-vaikuttaa-maisemaan/>>. 20.3.2019. Luettu 4.12.2023.
- 29 Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/fingrid-voimajohtojen_sahko_ja_magneettikentat_web.pdf>. Luettu 15.12.2023.