

SAVONIA



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN ALA

ILMAJOHTOVERKKOJEN KUSTANNUSTEHOKAS MAASTOSUUNNITTELU

TEKIJÄ Atte Kamula

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn tekijä Atte Kamula		
Työn nimi Ilmajohtoverkkojen kustannustehokas maastosuunnittelu		
Päiväys	02.06.2025	43/0
Yhteistyötaho Elvera Oy		
<p>Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin ilmajohtoverkkojen maastosuunnittelun kehittämistä keskittyen erityisesti maastosuunnittelun kustannustehokkuuteen. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Elvera, joka on erikoistunut tuottamaan infrapalveluja. Taustalla oli tarve parantaa sähkönjakeluverkkojen maastosuunnitteluprosessia ilmajohtoverkoille varsinkin haja-asutusalueilla, missä maakaapelointi ei ole aina taloudellisesti perusteltua. Tavoitteena oli tunnistaa nykyisiä käytäntöjä, ongelmakohtia ja kehitystarpeita sekä tuottaa pohja-aineistoa uutta ja päivitettyä suunnitteluohjeistusta varten. Työssä rajattiin tarkastelu koskemaan erityisesti 20 kV keskijänniteilmajohtoja Itä-Suomen alueella.</p> <p>Aineisto kerättiin laadullisella tutkimusmenetelmällä toteutetuilla teemahaastatteluilla, joihin osallistui sähköverkkoyhtiöiden edustajia, maastosuunnittelijoita, projektipäälliköitä, asentajia ja maarakentajia. Haastattelujen avulla koottiin näkemyksiä suunnittelun eri vaiheista, rakenteellisista ratkaisuista ja maastoteknisistä haasteista. Aineisto analysoitiin sisällönanalyysin keinoin ja ryhmiteltiin keskeisiin teemoihin. Työssä esitettiin myös esimerkkikohte, jossa verrataan kahden erilaisen linjausvaihtoehdon kustannuksia saman maastoreitin pohjalta.</p> <p>Tulosten perusteella havaittiin, että maastosuunnittelulla oli merkittävä vaikutus ilmajohtoverkon rakentamiskustannuksiin, huoltovarmuuteen ja toteutettavuuteen. Kustannustehokkuutta pystyttiin parantamaan erityisesti sijoitusratkaisuilla, rakenteiden optimoinnilla, ohjelmistotyökalujen hyödyntämisellä ja yhteistyön kehittämisellä eri osapuolten välillä. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää jatkokehitystyössä ja ohjeistuksen laatimisessa Elveran verkostohankkeiden tueksi. Jatkossa olisi suositeltavaa tarkastella myös muiden jännite- tasojen ja alueiden soveltuvuutta vastaavanlaiseen suunnittelumenetelmien kehittämiseen.</p>		
Avainsanat Jakeluverkko, ilmajohtoverkko, sähköverkko, maastosuunnittelu, rakennesuunnittelu, rakennuskustannukset		

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn tausta ja tarkoitus	5
1.2	Työn menetelmät ja tavoite	5
1.3	Elvera Oy.....	6
2	ILMAJOHTOVERKKOJEN SUUNNITTELUN TAUSTAT JA PERUSTA	7
2.1	Historiallinen kehitys.....	7
2.2	Standardit ja lainsäädäntö.....	7
2.3	Vakiintuneet käytännöt	9
3	ILMAJOHTOVERKKOJEN KEHITYS JA TULEVAISUUDENNÄKYMÄT.....	11
4	SÄHKÖVERKON SUUNNITTELUN VAIHEET	12
4.1	Pitkän aikavälin suunnittelu ja sähkötekniinen suunnittelu	12
4.2	Maastosuunnittelu	13
4.3	Suunnittelun tavoitteet, roolit ja järjestelmät.....	15
4.4	Suunnitteluvalintojen vaikutus kustannuksiin	16
5	HAASTATTELUMENETELMÄ JA -AINEISTO	18
6	HAASTATTELUAINEISTON ANALYYSI	19
6.1	Maastotekijät	19
6.2	Rakenteet	20
6.3	Sijoitusratkaisut	21
6.4	Maankäyttökijät	22
6.4.1	Metsäalueet	23
6.4.2	Peltoalueet	23
6.5	Aineiston luotettavuuden arviointi ja kriittinen tarkastelu	24
7	HAASTATTELUJEN JOHTOPÄÄTÖKSET	26
8	ESIMERKKIKOHDE JA VERTAILUANALYYSI.....	28
8.1	Käytettävät rakenteet	28
8.2	Vaihtoehto 1: Tavanomainen reitti	33
8.3	Vaihtoehto 2: Reitti maaston ja maankäytön ehdoilla	33
8.4	Kustannusvertailu vaihtoehtojen välillä	34
9	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	37
9.1	Johtopäätökset	37
9.2	Pohdinta	38

9.3 Jatkotutkimukset.....	39
LÄHTEET	41

KUVALUETTELO

Kuva 1. GPS-laite Trimble R8 ja Trimble TSC7 (Atte Kamula, 2025)	14
Kuva 2. Profila CENELEC	15
Kuva 3. Suora pylväs ja pylväsluokat (Headpower 2003c. Vakiorakenteet)	29
Kuva 4. Harustusmallit I-pylväälle (Headpower 2003b. Vakiorakenteet)	30
Kuva 5. Raskas tukipylväs P22 (Headpower 2023. Vakiorakenteet)	31
Kuva 6. A-pylväs P11 (Headpower 2003a. Vakiorakenteet)	32
Kuva 7. Vaihtoehto 1, kustannustehokas reitti (muokattu lähteestä Maanmittauslaitos 2025. Karttapaikka) ..	33
Kuva 8. Vaihtoehto 2, kalliimpi reitti (muokattu lähteestä Maanmittauslaitos 2025. Karttapaikka)	34

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Vaihtoehto 1: Tavanomainen reitti	35
Taulukko 2. Vaihtoehto 2: Reitti maaston ja maankäytön ehdoilla	35

1 JOHDANTO

Sähköverkon rakenteelliset ratkaisut vaihtelevat maantieteellisten ja taloudellisten olosuhteiden mukaan. Kaupunkialueilla sähkönjakelu toteutetaan lähes poikkeuksetta maakaapelilla, mutta haja-asutusalueilla ilmajohtoverkot ovat edelleen merkittävä osa verkon rakennetta. Tämä johtuu muun muassa pitkistä etäisyyksistä ja vaihtelevista maasto-olosuhteista, jossa kaivuutyöt voivat muodostua kohtuuttoman kalliiksi erityisesti kallioisilla alueilla. (Savon Voima 2020.) Jakeluverkkoyhtiöt Itä-Suomen alueella ovat julkaisseet kehittämissuunnitelmia, joissa korostetaan sähköverkon uusimista ja toimitusvarmuuden parantamista. Järvi-Suomen Energian kehittämissuunnitelmassa todetaan: ”Yli 28 500 kilometrin mittaisen jakeluverkon kehittäminen on huomattavan pitkäjänteistä tekemistä, jonka täytyy myös seurata aikaa” (Järvi Suomen Energia 2024).

1.1 Työn tausta ja tarkoitus

Ilmajohtojen suunnittelu onkin edelleen ajankohtaista useille sähköverkon rakentamisessa toimiville yrityksille. Vanhan verkon saneerauskohteissa joudutaan usein miettimään, rakennetaanko uutta ilmajohtoverkkoa vai siirrytäänkö maakaapelointiin, eikä maakaapelointi ole kaikissa tapauksissa taloudellisesti perusteltua. Näissä tilanteissa suunnittelun merkitys korostuu entisestään, sillä ratkaisut vaikuttavat rakentamisen kustannusten lisäksi myös verkon huoltovarmuuteen ja pitkäaikaiskustannuksiin.

Sähkönjakeluverkon urakointi on vahvasti kokemusperäistä työtä, jossa yli 30 vuotta toimineet ilmajohtorakentajat kantavat mukanaan arvokasta tietoa. Kun nämä rakentajat siirtyvät eläkkeelle, suuret määrät käytännön oppeja ja turvallisuuskäytäntöjä ovat vaarassa kadota. Tämä tiedon menetys heikentää uusien työntekijöiden perehdytystä ja työn laatua. Tästä syystä on hyvä kaivaa esille ja dokumentoida rakennustyömailta kertyneet kokemukset ja opit. Opinnäytetyössäni kerätään ja tutkitaan tietoa sekä kokemuksia ilmajohtoverkon rakentamisessa mukana olevilta henkilöiltä osaksi organisaation perehdytystä ja ohjeistuksia, jotta työvoiman vaihtuvuus ei heikennä alan osaamista ja turvallisuutta.

Sähkönjakeluverkon suunnittelu ja toteutus edellyttävät lainsäädännön ja teknisten standardien lisäksi tarkasti määriteltyjä suunnitteluohjeita, jotta rakennettu verkko olisi turvallista, luotettavaa ja pitkäikäistä. Ilmajohtoverkon suunnittelussa on otettava huomioon maaston haasteet, ympäristövaikutukset sekä suurimpana haasteena maankäytölliset asiat. Koska ilmajohtoverkot ovat edelleen laajasti käytössä, on tärkeää kehittää maastosuunnittelukäytäntöjä vastaamaan nykypäivän vaatimuksia. Tähän sisältyy maastosuunnittelijoiden lisäksi myös eri toimijoiden, kuten verkkoyhtiöiden, projektipäälliköiden, asentajien ja maarakentajien kokemusten ja näkökulmien huomioon ottaminen.

Tämä opinnäytetyö toteutetaan yhteistyössä verkkoyhtiöiden ja muiden alan toimijoiden kanssa. Työn toimeksiantajana toimii Elvera Oy, joka on kiinnostunut kehittämään ilmajohtoverkon suunnittelua entistä toimivammaksi.

1.2 Työn menetelmät ja tavoite

Opinnäytetyössä hyödynnetään laadullista tutkimusmenetelmää. Tutkimusaineisto kerätään haastatteleamalla alan asiantuntijoita eri yrityksistä muun muassa verkkoyhtiöiden edustajia, projektipäälliköitä, suunnittelijoita, asentajia sekä maarakentajia, joiden käytännön kokemukset tuovat arvokasta

tietoa maastosuunnittelun kehittämiseen. Työn tavoitteena on tuottaa toimeksiantajalle pohja-aineisto, jonka avulla voidaan kehittää maastosuunnittelukäytäntöjä ja tehostaa ilmajohtoverkon suunnitteluprosessia. Haastattelujen avulla pyritään tunnistamaan eri osapuolten näkemykset ja haasteet, joiden kautta on mahdollista edistää kustannustehokasta ja käytännön tarpeet huomioivaa ilmajohtosuunnittelua. Haastatteluaineisto analysoidaan laadullisen sisällönanalyysin keinoin ja ryhmitellään keskeisiin teemoihin, joiden pohjalta esitetään johtopäätöksiä ilmajohtoverkkojen maastosuunnittelun nykytilasta ja kehittämistarpeista.

Opinnäytetyön lopussa esitetään vertailuanalyysi kahdesta eri tavoin toteutetusta ilmajohtoreitistä, jotka ovat suunniteltu samalle 2,2 kilometrin reitille, mutta erilaisten maasto- ja maankäyttöhaasteiden näkökulmasta. Tarkoituksena on havainnollistaa, miten rakenteelliset valinnat vaikuttavat kokonaiskustannuksiin ja miten suunnitteluratkaisut muovautuvat käytännön vaatimusten perusteella.

1.3 Elvera Oy

Elvera Oy on vuonna 2016 perustettu suomalainen verkosto- ja infrapalveluyritys, joka toimii erityisesti Itä- ja Kaakkois-Suomen alueilla, mutta on laajentunut ympäri Suomea. Yritys syntyi kolmen kunnallisten verkostoyhtiöiden fuusion kautta ja sen pääkonttori sijaitsee Mikkelissä. Elvera tarjoaa sähkö-, lämpö-, vesi- ja tietoliikenneverkkojen rakentamis-, kunnossapito- ja huoltopalveluita sekä mittaus- ja asiantuntijapalveluja kunnille, verkkoyhtiöille ja muille infrastruktuuritoimijoille. (Elvera 2025.)

Elvera työllistää vuonna 2025 noin 800 ihmistä. Yrityksen toiminta perustuu vahvaan paikallistunteeseen, monialaisuuteen ja kriittisen infrastruktuurin turvaamiseen myös poikkeusolosuhteissa. Elvera on mukana sähkö- ja tietoliikenneverkkojen huoltovarmuuden kehittämisessä, ja se panostaa aktiivisesti uusien teknologioiden käyttöönottoon, kuten älykkääseen verkonhallintaan ja digitaalisiin työkaluihin. (Elvera 2025.)

Toiminnassaan Elvera painottaa vastuullisuutta, asiakaslähtöisyyttä ja pitkäjänteistä kehittämistä. Yhtiö hyödyntää yhteistyötä eri toimialojen ja sidosryhmien kanssa ja on mukana useissa alan kehityshankkeissa. Elveran tavoitteena on tarjota turvallisia ja tehokkaita ratkaisuja, jotka tukevat alueellista elinvoimaa ja kestävästä infrastruktuurin kehitystä. (Elvera 2025.)

2 ILMAJOHTOVERKKOJEN SUUNNITTELUN TAUSTAT JA PERUSTA

Ilmajohtoverkot muodostavat edelleen merkittävän osan Suomen sähköjakeluinfrastruktuurista varsinkin haja-asutusalueilla. Vaikka sähköverkon kehittämisessä painopiste on viime vuosina siirtynyt säävarmuuteen ja maakaapeliratkaisuihin, ilmajohtoja tarvitaan yhä haja-asutusalueiden sähköistämässä ja vanhojen ilmajohtojen saneerauksessa. Ilmajohtoverkon suunnittelu on edelleen ajankohtainen aihe verkkoyhtiöille sekä niiden kumppaneille, sillä vanhojen rakenteiden uusiminen vaatii tarkkaa harkintaa reittien ja kustannusten osalta. (Savon Voima 2020.)

Ilmajohtosuunnittelussa on tärkeää yhdistää tekniset, taloudelliset ja maankäytölliset näkökulmat, jotka ohjaavat koko toteutusprosessia. Suunnittelun perustana ovat alan standardit ja säädökset, mutta myös käytännön kokemus ja aluekohtaiset olosuhteet vaikuttavat merkittävästi valittaviin ratkaisuihin. (Lakervi & Partanen 2008, 225–227.) Tämän työn kannalta keskeistä on ymmärtää, miten historiallinen kehitys, määräykset ja käytännöt ovat muokanneet nykyisiä suunnitteluprosesseja ja miten niitä voidaan kehittää vastaamaan nykypäivän ja tulevaisuuden vaatimuksia.

2.1 Historiallinen kehitys

Ilmajohtoverkkojen rakentaminen kaupunkien ulkopuolelle Suomessa alkoi 1900-luvun alkupuolella ja verkkoja rakennettiin laajamittaisesti sähköistämään koko maata, mukaan lukien harvaan asutut ja vaikeakulkuiset alueet. Sähköistyminen jatkui 1900-luvun loppuun saakka. Tällöin suunnitteluperiaate oli rakentaa ilmajohto mahdollisimman suoraa reittiä kulkien. Usein suoraan metsäalueiden halki, koska se oli kustannustehokkain ja teknisesti yksinkertaisin ratkaisu. Maankäytön rajoitteet olivat tuohon aikaan vähäisempiä eikä maastollisia tai huoltovarmuuteen liittyviä kysymyksiä tarkasteltu nykyisten vaatimusten mukaisesti. (Caruna 2020.)

Tämä lähestymistapa johti siihen, että suuri osa maaseudun ilmajohtoverkosta sijoittuu metsien keskelle, missä linjojen ylläpito ja kunnossapito on erityisen haastavaa. Metsäalueille rakennettujen linjojen ongelmana on kaatuvan puuston ja oksien aiheuttamat sähkökatkot, erityisesti myrskyjen ja tykkylumien aikana. Tällaisilla alueilla myös viankorjausajat pitenevät merkittävästi huonojen kulkuyhteyksien ja vaikeiden sääolosuhteiden vuoksi, mikä heikentää huoltovarmuutta. (Lakervi & Partanen 2008, 143.)

2000-luvun jälkeen jakeluverkkoyhtiöt ovat pyrkineet siirtämään ilmajohtoja pois vaikeapääsuisiltä metsäalueilta teiden varsille tai korvaamaan niitä maakaapeleiksi, erityisesti taajamissa ja suuremmalla kulutuksella olevilla jakeluverkon osilla. (Lakervi & Partanen 2008, 143–144.) Tämä on osa laajempaa toimitusvarmuuden parantamiseen tähtäävää kehitystä, jota ohjaavat tekniset ja taloudelliset tekijät sekä sähköturvallisuuslaki ja Energiaviraston asettamat tavoitteet sähköntoimituksen luotettavuudelle. Näiden muutosten myötä ilmajohtojen linjaamiseen kiinnitetään nykyisin huomattavasti enemmän huomiota jo suunnitteluvaiheessa ja perinteisistä käytännöistä ollaan siirtymässä kohti huoltovarmempaa suunnittelua elinkaarikustannukset tärkeässä roolissa. (HE 265/2020 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi sähkömarkkinalain ja sähkö- ja maakaasumarkkinoiden valvonnasta annetun lain 14 §:n muuttamisesta, 10, 52–53.)

2.2 Standardit ja lainsäädäntö

Ilmajohtoverkkojen suunnittelu perustuu tarkasti säädelyyn kokonaisuuteen, joka koostuu lainsäädännöstä, viranomaisvaatimuksista ja teknisistä standardeista. Tämä ohjaava kehys takaa sen, että

suunniteltavat verkot ovat turvallisia, pitkäikäisiä ja toiminnallisesti luotettavia myös poikkeuksellisissa sääolosuhteissa. Maastosuunnittelijan on hallittava keskeiset säädökset ja ohjeistukset sekä osattava soveltaa niitä käytännössä, jotta rakenteet täyttävät tekniset ja viralliset edellytykset.

Keskeisin lainsäädäntö, joka vaikuttaa ilmajohtoverkkojen suunnitteluun on sähkömarkkinalaki (588/2013). Sen tavoitteena on varmistaa toimitusvarma ja tehokas sähköjakelu sekä edistää sähköverkon kehittämistä. Lain mukaan jakeluverkonhaltijan on toteutettava verkon rakentaminen ja ylläpito siten, että sähköjakelu häiriötilanteissakin palautuu taajama-alueilla kuudessa tunnissa ja haja-asutusalueilla 36 tunnissa vuoteen 2029 mennessä, mikäli verkkoyhtiölle ei ole myönnetty lisäaikaa. Tätä tavoitetta kutsutaan toimitusvarmuusvaatimukseksi, ja se vaikuttaa keskeisesti myös verkon rakenteellisiin ja sijainnillisiin suunnitteluratkaisuihin. (Energiavirasto 2022.)

Toinen keskeinen laki on sähköturvallisuuslaki (1135/2016), joka määrittelee, että sähköasennusten tulee olla turvallisia koko niiden elinkaaren ajan. Maastosuunnitteluvaiheessa tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että rakenteet tulee mitoittaa riittäville mekaanisille kuormille ja varmistaa johtojen asianmukaiset turvaetäisyydet maahan, rakennuksiin ja muihin rakenteisiin. Näiden määräysten noudattamista valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 1–2 §.)

Sähköturvallisuuslain ja valtioneuvoston asetuksen sähkölaitteistoista (1434/2016) määrittelemien olennaisten turvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän noudattamalla sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähköturvallisuutta koskevia standardeja. Keskeisiä ilmajohtoverkkoihin sovellettavia standardeja ovat: SFS 6000 pienjännitesähköasennukset, SFS 6001 suurjännitesähköasennukset, SFS 6002 sähkötyöturvallisuus ja SFS-EN 50341-1 vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä sekä siihen liittyvä Suomen kansallinen sovellusosa SFS-EN 50341-2-7:2023. Standardit määrittelevät muun muassa pylväiden mitoituskuormat, johtimien sallittavat jännitteet ja etäisyydet sekä kuormitusyhdistelmät erilaisissa säätiloissa. SFS-EN 50341-1 ja sen kansallinen liite SFS-EN 50341-2-7:2023 huomioivat esimerkiksi tykkylumen, jääkuorman ja myrskytuulten vaikutukset pylväsrakenteisiin sekä vaadittavat turvaetäisyydet ja pylväsrakenteiden kestävyysluokat. (SFS Suomen Standardit ry.)

Kun ilmajohtoja suunnitellaan maanteiden tai rautateiden läheisyyteen, sovelletaan maantielakia (503/2005) ja ratalakia (110/2007). Maantiealueelle sijoittaminen vaatii ELY-keskuksen myöntämän luvan ja suunnittelussa on huomioitava myös Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien ohjeet riittävistä turvaetäisyyksistä, näkyvyydestä ja kunnossapidon esteettömyydestä. Rakenteiden sijoittelu ei saa haitata liikennettä tai aiheuttaa riskiä tien käyttäjille. Tämä koskee myös niitä tilanteita, joissa ilmajohto ylittää tien. (Maantielaki 503/2005, 44 §; Ratalaki 110/2007, 36 §.)

Jos ilmajohto suunnitellaan vesialueen yläpuolelle, tulee noudattaa vesilain (587/2011) määräyksiä. Rakentaminen voi edellyttää vesilupaa aluehallintovirastolta, erityisesti jos johto rajoittaa vesiliikennettä tai vaikuttaa vesialueen käyttöön. Liikenne- ja viestintävirasto antaa suosituksia alikulkukorkeuksista, joita tulee noudattaa vesiliikenteen turvallisuuden varmistamiseksi. (Vesilaki 587/2011, 5 §.)

Lisäksi suunnittelussa on huomioitava mahdolliset vaikutukset luonnonsuojelukohteisiin, kuten Natura 2000 -alueisiin. Jos johto sijoittuu tällaiselle alueelle tai sen läheisyyteen, luonnonsuojelulain (9/2023) mukaan on tehtävä Natura-arviointi, mikäli hanke saattaa merkittävästi heikentää suojeluarvoja. Arviointi toimitetaan ELY-keskukselle, joka antaa lausunnon hankkeen toteutuskelpoisuudesta.

Mikäli haitat ovat merkittäviä eikä vaihtoehtoisia ratkaisuja ole, hankkeen toteuttaminen edellyttää poikkeuslupaa ja perustelua yleisen edun näkökulmasta. (Luonnonsuojelulaki 9/2023, 35–39 §.)

Näiden lakien ja viranomaismääräysten tuntemus on keskeinen osa ilmajohtoverkkojen suunnittelutyötä. Maastosuunnittelijan vastuulla on huolehtia siitä, että tekniset, turvallisuuteen liittyvät ja ympäristölliset vaatimukset toteutuvat suunnitteluprosessin vaiheissa.

2.3 Vakiintuneet käytännöt

Ilmajohtoverkkojen suunnittelussa Suomessa noudatetaan yhteisiä teknisiä standardeja ja viranomaisvaatimuksia, joita täydennetään verkkoyhtiökohtaisilla suunnitteluohjeilla ja vakiintuneilla käytännöillä. Näiden tarkoituksena on varmistaa turvallinen, kustannustehokas ja säävarma sähkönjakeluratkaisu, joka soveltuu maasto-olosuhteisiin ja alueellisiin erityispiirteisiin. (SFS Suomen standardit ry.)

Verkkoyhtiöt soveltavat suunnittelussa kansallisia standardeja sekä sähkömarkkinalain asettamia vaatimuksia. Maastosuunnittelija saa sovituisissa puitteissa määritellä reitin ja rakenteet, mutta verkkoyhtiöt usein määrittelevät esimerkiksi asiakkaan liittymispisteen. Energiaviraston ohjeen mukaan tässä täytyy noudattaa syrjimättömyyden periaatetta ja määrittää liittymispiste tasapuolisesti. (Energiavirasto 2024b.)

Yleisissä suunnittelukäytännöissä ilmajohtoreitit pyritään sijoittamaan mahdollisuuksien mukaan teiden varsille. Tällainen sijoittelu helpottaa pääsyä huoltotöihin, parantaa turvallisuutta ja vähentää ympäristövaikutuksia. Maastoltaan vaativilla alueilla, kuten jyrkissä rinteissä ja kosteikoissa käytetään korotettuja tai vahvennettuja pylväsrakenteita. Jänneväliden optimoinnilla pyritään vähentämään kulmarakenteiden määrää ja rakenteiden monimutkaisuutta. (Lakervi & Partanen 2008, 143–144.)

Rakenteiden valinnassa korostuu elinkaarikustannusten arviointi. Esimerkiksi kantavien pylväiden ja suurempien linjausten avulla voidaan pienentää sekä rakennus- että ylläpitokustannuksia. Maastosuunnittelussa otetaan huomioon myös viankorjauksen sujuvuus ja verkon saavutettavuus, mikä vaikuttaa rakenteiden sijoitusperiaatteisiin. (Lakervi & Partanen 2008, 77–83.)

Teknistä suunnittelua tukevat ohjelmistotyökalut, kuten Profila CENELEC, jonka avulla voidaan mallintaa johtoreittejä tarkasti maaston perusteella. Tällä ohjelmalla pystytään mitoittamaan pylväsrakenteet sää- ja kuormitusolosuhteiden mukaisesti sekä optimoidaan johtojen korkeudet ja turvaetäisyydet. Paikkatietojärjestelmiä ja karttapohjaisia sovelluksia käytetään laajasti linjausten alustavaan suunnitteluun ja maastokäyntien tukena. (Pajala 2024.)

Ilmajohtoverkon suunnittelussa käytetään usein HeadPowerin vakiorakenteita. HeadPower Oy on vuonna 2001 perustettu suomalainen ohjelmisto- ja asiantuntijayritys, joka tuottaa pilvipohjaisia sovelluksia ja ohjeistuksia infraverkkoyhtiöiden käyttöön. Vakiorakenteet ovat valmiiksi määriteltäviä ja testattuja rakenneratkaisuja erilaisten maasto-olosuhteiden ja teknisten vaatimusten mukaan. Näiden vakiorakenteiden hyödyntäminen mahdollistaa suunnitteluprosessin nopeuttamisen sekä teknisen luotettavuuden varmistamisen. Vakiorakenteet kattavat erilaisia pylvästyyppejä ja niiden käyttöä koskevia mitoitusohjeita, kuten kulmapylväitä ja päätepylväitä, joita voidaan käyttää jänneväliden pituuden, kuormitusolosuhteiden tai maaperän kantavuuden perusteella. Headpowerin järjestelmä tukee rakenteiden valintaa visuaalisesti ja teknisesti, mikä auttaa suunnittelijaa tekemään perusteltuja pää-

töksiä kustannustehokkaista ja huollettavista ratkaisuista. Samalla se helpottaa kommunikointia muiden toimijoiden kanssa, koska ratkaisut perustuvat yhteisesti tunnettuihin ja hyväksytyihin rakenteisiin. (HeadPower 2025b.)

Toimivaan maastosuunnitteluun kuuluu olennaisena osana vuorovaikutus maanomistajien kanssa. Maastokäyntien aikana täsmennetään linjausta ja arvioidaan erityisrakenteiden tarvetta. Maanomistajien näkemykset pyritään huomioimaan reittivalinnoissa silloin, kun se on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista. (Lakervi & Partanen 2008, 64, 143–144.)

3 ILMAJOHTOVERKKOJEN KEHITYS JA TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Suomessa ilmajohtoverkkojen kehitys on ollut merkittävässä murroksessa viime vuosikymmeninä. Sähkömarkkinalain uudistukset ja kasvavat vaatimukset sähkön toimitusvarmuudelle ovat ohjanneet verkkoyhtiöitä investoimaan verkon säävarmuuden parantamiseen. Erityisesti keskijänniteverkoissa on siirrytty laajamittaiseen maakaapelointiin, mikä on vähentänyt ilmajohtojen määrää ja parantanut verkon kestävyyttä sääilmiöitä vastaan. (Energiavirasto 2022.)

Esimerkiksi Järvi-Suomen Energia Oy:n sähköverkko on yhteensä noin 28 500 kilometriä pitkä. Yhtiö on panostanut verkon kehittämiseen ja keskijänniteverkon kaapelointiaste keskijänniteverkon osalta oli vuoden 2023 lopussa 30 %. Tavoitteena on nostaa kaapelointiaste 40 prosenttiin vuoteen 2028 mennessä ja 55 prosenttiin vuoteen 2036 mennessä. Pienjänniteverkon kaapelointiaste oli vuoden 2023 lopussa 44 % ja sen tavoitteena on nousta 48 prosenttiin vuoteen 2028 mennessä ja 56 prosenttiin vuoteen 2036 mennessä. (Järvi-Suomen Energia Oy, 2024.)

Säävarmuuden parantamisen lisäksi verkon kehityksessä on otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset. LUT-yliopiston tutkimusraportin mukaan ilmastonmuutoksen seurauksena roudan väheneminen ja lumikuormien lisääntyminen voivat lisätä ilmajohtoverkkojen vikaantumisriskiä. Roudan väheneminen voi heikentää puiden juuriston pitoa maaperässä, mikä lisää riskiä puiden kaatumiselle ilmajohtojen päälle. Lisäksi lisääntyneet lumikuormat voivat aiheuttaa lisärasitusta ilmajohtorakenteille. Tämän vuoksi verkon maastosuunnittelussa pyritään sijoittamaan johtoreitit alueille, joilla ne ovat suojassa kaatuville puille ja käyttämään rakenteita, jotka kestävät paremmin sääolosuhteiden aiheuttamia rasituksia. (Lassila, J., Haakana, J., Saleem, A. & Räisänen, O. 2024.)

Verkon kehityksessä on myös hyödynnetty koneoppimista ennakoimaan sääilmiöiden vaikutuksia sähköjakeluun. Ilmatieteenlaitoksen ja Huoltovarmuuskeskuksen SILVA-hankkeessa koottiin kattava, yli 20 vuoden sää- ja ilmastovaikutustietokanta, jota hyödyntämällä kehitettiin koneoppimismalleja myrskyjen aiheuttamien vahinkojen tarkkaan ennustamiseen. Näiden ennusteiden avulla sähköverkkoyhtiöt voivat mitoittaa varautumistoimet ja kohdentaa resurssinsa entistä tehokkaammin myrskyjen uhatessa. (Filpus 2024.)

Sähköverkon kehittämisessä on tärkeää panostaa myös verkon älykkyyteen ja joustavuuteen. Tulevaisuuden sähköverkkojen on kyettävä vastaamaan nopeasti muuttuviin tuotanto- ja kulutustilanteisiin. Tässä keskeisessä roolissa ovat muun muassa kysyntäjousto, energian varastointi ja älykkäät verkonhallintajärjestelmät. Kysyntäjousto tarkoittaa sähkönkulutuksen hetkellistä vähentämistä tai lisäämistä sähkön tuotantotilanteen mukaisesti. Sähköä kannattaa käyttää silloin, kun sitä tuotetaan paljon ja vähäpäästöisesti sekä se on edullista. (Motiva 2024.)

Energian varastointi on toinen keskeinen keino sähköverkon joustavuuden lisäämisessä. Energian varastointikapasiteetin odotetaan kasvavan merkittävästi tulevina vuosina ja sen rooli uusiutuvan energian kasvussa on keskeinen. Energiavarastoja tarvitaan muun muassa tasaamaan tuuli- ja aurinkovoiman tuotantomäärien vaihtelua. Akkuvarastot liittyvät osaksi olemassa olevaa sähköjakeluverkkoa. (Ilmatar 2025.)

4 SÄHKÖVERKON SUUNNITTELUN VAIHEET

Sähköverkon suunnittelu on keskeinen osa sähköverkon investointiprosessia ja muodostaa perustan teknisesti, taloudellisesti ja käyttövarmuudeltaan toimivalle lopputulokselle. Suunnitteluprosessi jakautuu eri vaiheisiin, jotka kattavat sekä pitkäaikaisen kehittämissuunnittelun että tarkemmat tekniset ja maastolliset ratkaisut ennen rakentamisen aloittamista. Erityisesti jakeluverkoissa (0,4–20 kV) suunnittelu kytkeytyy kiinteästi verkkoyhtiön investointisuunnitelmaan, budjetointiin ja sidosryhmien kanssa tehtävään yhteistyöhön. (Elenia 2024.)

Suunnittelu käynnistyy pitkän aikavälin kehityssuunnittelulla, jossa määritetään verkkoyhtiön pitkän tähtäimen suunnitelma (PTS), investointiohjelmat ja verkon laajenemisen tai saneerauksen tarpeet. Kohteiden valinta tehdään esimerkiksi riskiperusteisesti tai elinkaaritarkastelujen avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 63.) Tämän pohjalta siirrytään kohdesuunnitteluun eli verkostosuunnitteluun, jossa tarkastellaan alueellisesti verkon rakennetta ja sen kehittämisvaihtoehtoja. Varsinainen tekninen suunnittelu kattaa sähköteknisen näkökulman, jossa määritetään jännitetasot, kuormitettavuudet, suojaukset ja kapasiteetti. Maastosuunnitteluvaiheessa tarkastellaan sähköverkon sijoittamista maastoon, ottaen huomioon olemassa oleva infrastruktuuri, ympäristötekijät, maanomistajien toiveet ja viranomais määräykset. Tässä vaiheessa syntyvät myös reitti- ja rakennesuunnitelmat sekä luonnokset tarvittavista luvista ja sopimuksista. (Lakervi & Partanen 2008, 64.)

Suunnittelun tavoitteena on tuottaa ratkaisu, joka on koko elinkaarensa ajan mahdollisimman kustannustehokas. Tämä tarkoittaa paitsi investointikustannusten myös käyttö-, häviö-, keskeytys- ja kunnossapitokustannusten minimointia. Suunnittelussa on huomioitava tietyt reunaehdot, kuten jännitteenalennemien sallittu taso, johtojen terminen kestoisuus, suojauksen ja sähköturvallisuuden vaatimukset. (Lakervi & Partanen 2008, 68–69.)

Suunnittelutyötä tekevät useat eri roolit, kuten yleissuunnittelija, verkostosuunnittelija ja maastosuunnittelija. Suunnittelussa hyödynnetään paikkatietojärjestelmiä ja verkkotietojärjestelmiä. Suunnittelun tueksi käytetään myös monipuolista aineistoa, kuten karttapalveluita (Paikkatietoikkuna, Maankamara, Museoverkko), infraverkkotietoja (Johtotietopankki, Kaivulupa.fi) sekä verkkoyhtiöiden omaa suunnitteluohjeistusta. (Pekkarinen 2024.) Sähköverkon suunnitteluvaiheet luovat perustan varsinaiselle rakentamiselle, verkkoyhtiön hallinnalle, kunnossapidolle ja asiakkaiden palvelulle. Hyvin tehty suunnittelu mahdollistaa sujuvan rakentamisen ja pitkäaikaisen sekä huoltovarman verkon.

4.1 Pitkän aikavälin suunnittelu ja sähkötekninen suunnittelu

Sähköverkon suunnittelu käynnistyy pitkän aikavälin kehittämistavoitteiden ja investointiohjelmien laadinnalla, jotka perustuvat verkkoyhtiön käyttövarmuustavoitteisiin, asiakastarpeisiin ja lainsäädännön velvoitteisiin. Tästä käytetään nimitystä pitkän tähtäimen suunnitelma ja sen aikajänne voi olla kymmenistä kuukausista jopa vuosikymmeneen. Tämä kehittämisvaihe sisältää kohteiden valinnan ja priorisoinnin, joiden perusteella verkostosuunnittelijat laativat tarkempia alue- tai hankekohtaisia suunnitelmia. Kohteita arvioidaan tyypillisesti sähköverkon nykytilan, vikaherkkyden, ikärakenteen, sähkökulutuksen kasvun ja asiakaspalautteen perusteella. Samaan aikaan tarkastellaan myös vuosibudjetin ja investointiohjelman yhteensopivuutta yksittäisten kohteiden toteutuksen kanssa. (Lakervi & Partanen 2008, 222.)

Sähköteknisessä suunnittelussa keskitytään verkon toiminnalliseen mitoittamiseen. Tässä vaiheessa määritetään jakeluverkon jännitetasot, johdonpoikkipinnat, suojalaitteet, muuntamoiden sijoitusperiaatteet ja verkon kuormitettavuus. Suunnittelussa otetaan huomioon sähköverkon toimintaa ohjaavat tekniset reunaehdot, kuten jännitteenalenemarajat, johtojen terminen kestoisuus, suojauksen selektiivisyys ja maasulkusuojausten toimivuus. (Lakervi & Partanen 2008, 68.) Sähkötekniinen suunnittelu luo perustan maastosuunnittelulle. Sen laatu ja johdonmukaisuus vaikuttavat olennaisesti koko hankkeen toteutuskelpoisuuteen, kustannuksiin ja käyttöönoton sujuvuuteen. Tästä syystä sähkötekniinen suunnittelu tehdään usein kokeneen suunnittelijan toimesta ja se toimii alustavana pohjana viranomaislupien ja urakkalaskentojen valmistelussa.

4.2 Maastosuunnittelu

Maastosuunnittelu on keskeinen vaihe jakeluverkon suunnitteluprosessissa, jossa sähkötekniiset ratkaisut sovitetaan yhteen maaston, ympäristön ja sidosryhmien vaatimusten kanssa. Tämä vaihe varmistaa, että suunniteltu verkko on teknisesti toteuttamiskelpoinen, kustannustehokas ja ympäristövaatimukset täyttävä. (Lakervi & Partanen 2008, 42, 64, 95.) Suunnitteluprosessi käynnistyy lähtötietojen kokoamisella. Maastosuunnittelija perehtyy valmiiksi tehdyn sähkötekniisen suunnitelman lisäksi alueen maastokarttoihin, ilmakuvamateriaaliin, kiinteistörekisteriin ja muihin paikkatietoaineistoihin, joista saadaan alustava käsitys maastosta ja reittivaihtoehdoista. Erityisesti maanomistajatiedot ovat tärkeässä roolissa, sillä niiden pohjalta voidaan suunnitella viestintää ja maastokatselmuksia maanomistajien kanssa. Tässä vaiheessa keskitytään reittialueiden hahmotteluun ja mahdollisten esteiden tunnistamiseen sekä otetaan yhteyttä alueen maanomistajiin ja sovitaan mahdolliset maastokäynnit. (Pekkarinen 2024.)

Alustavan tarkastelun jälkeen suunnittelija laatii linjausvaihtoehdon, jonka soveltuvuutta arvioidaan maastokäynnillä. Maastokäynnin tarkoituksena on havaita maastossa sellaisia tekijöitä, joita ei voida päätellä pelkän karttatarkastelun perusteella, esimerkiksi kalliopaljastumat, pehmeikköalueet, suoalueet, rakennelmat tai vaikeakulkuiset kohdat (Pekkarinen 2024). Samalla voidaan arvioida kulkuyhteyksiä ja tarkennetaan mahdollisten erityisrakenteiden tarvetta, kuten kalliopylväitä.

Nykyään maastokäynneillä hyödynnetään myös eri kuvausmenetelmiä, kuten 360-kameralla kuvaaminen, jolloin maastosuunnittelija pystyy palaamaan toimistolta käsin kuva- tai videomateriaaliin, mikäli jotain on unohtunut selvittää maastosta (Heikkinen 2025, 18). GPS-laitteita hyödynnetään maastokäynneillä linjauksen ja pylväspaikkojen tarkan sijainnin tallentamisessa. Tarkan GPS:n avulla voidaan mitata pisteet, joihin tulevat rakenteet suunnitellaan, mikä mahdollistaa myöhemässä vaiheessa tarkan tiedonsiirron suunnitteluohjelmiin. GPS-tallennus auttaa myös varmistamaan, että linjaus pysyy oikean maanomistajan alueella.



Kuva 1. GPS-laite Trimble R8 ja Trimble TSC7 (Atte Kamula, 2025)

Maastokäynneillä pyritään mahdollisuuksien mukaan käymään linjaus läpi myös maanomistajien kanssa. Tämä ei ole pakollista, mutta käytännössä se parantaa suunnitteluratkaisujen hyväksyttävyyttä. Maanomistajat voivat esittää myös omia näkemyksiään, joita voidaan huomioida esimerkiksi pylväiden sijoittelussa, puuston poistossa tai kulkureittien valinnassa. Erityisesti metsätalous- ja viljelykäytössä olevilla alueilla sijoittelun optimointi on tärkeää, jotta maanomistajan työskentely ei kohuttomasti häiriinny. (Järvi-Suomen Energia 2025.)

Reitin tarkennuksessa huomioidaan kaikki edellä mainitut tekijät. Usein suunnittelijan tehtävänä on sovittaa yhteen tekniset vaatimukset, rakenteet ja maanomistajien toiveet. Yhteisymmärrys pyritään saavuttamaan neuvottelemalla ja vaihtoehtoisten ratkaisujen tarjoamisella, mikä on koettu tehokkaaksi käytännöksi. Ilmajohtoreitin valmistuttua voidaan toteuttaa puuston poisto maanomistajan kanssa sovitulta alueelta. (Oulun Energia 2024.) Pienjännitelinjalla ($U_n \leq 1$ kV) johtoaukko on 1–3 metrin levyinen ja keskijännitelinjalla (1 kV $\leq U_n \leq 36$ kV) johtoaukko on noin 10 metriä riippuen verkko-yhtiöstä. Puunpoistossa käytetään moottorisahan lisäksi raivaus- ja oksasahoja ja suuremmissa työmaissa käytetään metsäkonetta. (Elenia 2025.)

Kun maastotiedot ja tarkennettu linjaus on tehty, siirrytään varsinaiseen rakennesuunnitteluun. Tässä vaiheessa hyödynnetään ohjelmistoja kuten Profila CENELEC, jolla mallinnetaan johtorakenteet tarkasti maastoprofiilin perusteella (kuva 2). Profila auttaa mitoittamaan pylväsrakenteet, määrittämään jännevälit suorilla osilla ja arvioimaan mahdolliset rakennepoikkeamat, kuten suuremmat pylväsluokat. Rakennesuunnittelun tavoitteena on optimoida rakenteet siten, että vältetään tarpeetoman korkeat pylväät ja kulmarakenteet, jotka nostavat kustannuksia. (Pajala 2024.)

nykyisiin ja tuleviin tarpeisiin, kuten sähköautojen latausasemien lisääntymiseen ja hajautetun energiantuotannon liittämiseen verkkoon. (Energiavirasto 2024a.)

Sähköverkon suunnittelussa eri toimijoilla on selkeät roolit. Verkkoyhtiöt vastaavat kokonaisvaltaisesta suunnittelusta ja investointikohteiden valinnasta eli yleissuunnittelusta. Verkostosuunnittelijat tuottavat tekniset suunnitelmat ja tarvittavat sähkötekniset laskelmat. (Pekkarinen 2024.) Usein urakoitsijan puolelta toteutetaan maastosuunnittelu ja rakentaminen suunnitelmien mukaisesti. Lisäksi viranomaiset, kuten Energiavirasto, valvovat verkkoyhtiöiden toimintaa ja varmistavat sääntelyn noudattamisen. (Energiavirasto 2025.)

Tehokas suunnittelu edellyttää nykyaikaisten tietojärjestelmien hyödyntämistä. Verkkotietojärjestelmät mahdollistavat verkon komponenttien hallinnan ja suunnittelun sekä laskennan. Lisäksi järjestelmät, kuten Headpower IWM mahdollistavat projektien hallinnan sekä mahdollistavat yksinkertaisen viestintätavan eri toimijoiden välillä (Headpower 2025a). Sähköverkon suunnittelun tavoitteiden saavuttaminen edellyttää eri toimijoiden saumatonta yhteistyötä ja nykyaikaisten suunnittelujärjestelmien tehokasta hyödyntämistä. Tämä mahdollistaa toimitusvarman, kustannustehokkaan ja ympäristöystävällisen sähköverkon rakentamisen, joka vastaa asiakkaiden nykyisiin ja tuleviin tarpeisiin. (Lakervi & Partanen 2008, 261–264.)

4.4 Suunnitteluvalintojen vaikutus kustannuksiin

Sähköverkon suunnitteluratkaisut, kuten johtotyyppi, reittivalinnat ja komponenttien mitoitus, vaikuttavat merkittävästi sekä rakentamis- että käyttö- ja ylläpitokustannuksiin. Mauri Mäkelän diplomityössä (2022, 2) todetaan, että verkkoratkaisujen valintaan vaikuttavat monet tekijät, kuten verkon sijainti, olosuhteet ja rakenne. Työssä korostetaan, että maakaapelointi, PAS-johto ja pienjänniteilmaakaapelointi ovat kannattavimmat vaihtoehdot haja-asutusalueilla, mutta maakaapelointi on ainoa soveltuva ratkaisu asemakaava-alueilla kaikki sähköverkolle asetetut vaatimukset huomioiden. Lisäksi todetaan, että toteutuneiden kustannusten perusteella valvontamallin muutokset ovat tehneet verkkoyhtiön investoinneista haastavia, koska kustannustehokkaillakin ratkaisuilla verkon arvo jää keskimäärin kaikissa investoinneissa toteutuneita kustannuksia alhaisemmaksi. Samaan aikaan kustannustason nousu on edelleen heikentänyt kannattavuutta.

Suunnittelussa pyritään optimoimaan kokonaiskustannukset huomioimalla sekä kertaluonteiset investointikustannukset että käyttöiän aikana syntyvät kustannukset, kuten häviö-, kunnossapito- ja keskeytyskustannukset. Esimerkiksi komponenttien valinnassa suurempi poikkipinta voi vähentää häviöitä, mutta samalla kasvattaa materiaalikustannuksia. Toisaalta standardoimalla komponenttivalikoimaa voidaan vähentää varastointi- ja suunnittelukustannuksia sekä yksinkertaistaa kunnossapitoa. (Lakervi & Partanen 2008, 73.)

Maastosuunnittelulla on merkittävä rooli kustannusten hallinnassa. Reittivalinnoilla, kuten johtojen sijoittamisella maastoon tai teiden varsille, voidaan vaikuttaa rakentamisen ja kunnossapidon kustannuksiin. Esimerkiksi teiden varsille rakennettava ilmajohtoverkko voidaan kokea haitallisena maisemoinnin takia tai esteenä tien kunnossapidolle (Lakervi & Partanen 2008, 95, 143). Teiden varsiin rakentaminen mahdollistaa kaapelien, johtojen ja kulkuväylien yhdistämisen samaan maastokäytävään. Näin maankäyttö tehostuu, ja rakentamisen kokonaiskustannukset alenevat, erityisesti haja-asutusalueilla, missä yksittäiset työmaat sijaitsevat laajalla alueella ja erillisten kaapelireittien rakentaminen olisi kallista ja työlästä. (Liikennevirasto 2018, 14–15.)

Toisaalta maakaapeloinnin kustannustehokkuus riippuu maaperän ominaisuuksista. Esimerkiksi kalliainen maasto voi nostaa kaivukustannuksia merkittävästi, mikä tekee ilmajohtoratkaisusta taloudellisesti houkuttelevamman vaihtoehdon. Maastosuunnittelussa on tärkeää tunnistaa tämän kaltaiset alueet ja suunnitella reitit siten, että vältetään kalliita maaperän muokkaustöitä, kuten kallion louhimista. Lisäksi maanomistajan kanssa tehtävät sopimukset vaikuttavat kustannuksiin. (Yle 2018.) Esimerkiksi sähköverkon reittien suunnittelussa tulee ottaa huomioon maanomistajien tiedot ja mahdolliset korvaukset, jotka voivat vaihdella maaperän ja puuston raivaustarpeen mukaan. (Lakervi & Partanen 2008, 96.)

Sähköverkon suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutukset ovat monisyisiä ja riippuvat useista tekijöistä, kuten komponenttivalinnoista, maastosuunnittelusta ja maankäytöllisistä asioista. Huolellinen suunnittelu, joka ottaa huomioon sekä tekniset että taloudelliset näkökohdat ovat avainasemassa kustannustehokkaan ja toimintavarman sähköverkon rakentamisessa ja ylläpidossa.

5 HAASTATTELUMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tässä opinnäytetyössä käytetään laadullista tutkimusmenetelmää, joka mahdollistaa aiheeseen liittyvien käytäntöjen, kokemusten ja näkökulmien tarkastelun syvällisesti. Koska ilmajohtoverkon suunnittelu on monivaiheinen prosessi, johon liittyy lukuisia teknisiä ja toiminnallisia näkökulmia eri osapuolilta, laadullinen lähestymistapa mahdollistaa näiden näkökulmien esiin tuomisen. Tarkoituksena ei ole yleistettävissä oleva tilastollinen analyysi, vaan syvälinen ymmärrys suunnitteluprosessiin vaikuttavista tekijöistä.

Aineisto kerättiin puolistrukturoiduilla haastatteluilla eli teemahaastatteluilla, joissa keskustelut ohjattiin etukäteen määriteltyjen aihealueiden mukaisesti, mutta haastattelutilanteessa annettiin tilaa myös uusille näkökulmille ja haastateltavien omille havainnoille. Menetelmäksi valittiin teemahaastattelut, koska se mahdollistaa sekä vertailtavien vastausten saamisen että yksittäisten kokemusten esiin tuomisen. Haastattelurungossa käsiteltiin muun muassa ilmajohtoverkkojen suunnittelun haasteita, rakenteellisia valintoja, kustannustekijöitä, maastosuunnittelua, käytännön toteutusta ja yhteistyön sujuvuutta eri osapuolten välillä. Kysymyksiä olivat esimerkiksi ”Mitkä ovat tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat ilmajohtohankkeiden onnistumiseen?” ja ”Mitkä rakenteet ovat turvallisuuden kannalta hankalimpia asentaa?” sekä jokaiselta ammattiryhmältä kysyttiin suorat kehityskohteet ilmajohtosuunnitteluun.

Haastattelurunko laadittiin eri ammattiryhmille, jotka osallistuvat ilmajohtohankkeiden suunnitteluun ja toteutukseen. Kullekin ryhmälle muotoiltiin oma kysymyssarjansa, joka painottui vastaajien tehtäväkenttään ja asiantuntemukseen, jotta vastauksista saatiin mahdollisimman kattava ja käytännönläheinen kokonaiskuva maastosuunnittelun kehitystarpeista. Haastattelut toteutettiin etänä ja ne tallennettiin litterointia ja analysointia varten.

Haastatteluihin osallistui edustajia useista keskeisistä ryhmistä, kuten verkkoyhtiöiden edustajista, suunnittelijoista, projektipäälliköistä, asentajista sekä maarakentajista. Haastatteluissa oli mukana verkkoyhtiöistä Savon Voima Verkko Oy, Järvi-Suomen Energia Oy ja Pohjois-Karjalan Sähkö Oy. Maastosuunnittelijat, projektipäälliköt ja asentajat olivat valittu Elveralta sekä maarakentajat olivat alueelta valituilta maanrakennusyrityksiltä. Näiden ryhmien valinta perustui heidän rooliinsa ilmajohtoverkkojen suunnittelu- ja toteutusprosessissa. Jokainen ryhmä tuo suunnitteluun oman näkökulmansa. Verkkoyhtiöt ohjaavat investointien suuntaa ja teknisiä ratkaisuja, projektipäälliköt vastaavat toteutuksen hallinnasta, asentajat kohtaavat suunnitteluratkaisut käytännössä työmaalla, maarakentajat vastaavat pylväiden pystyttämisestä ja suunnittelija pyrkii yhdistämään nämä tekijät sekä hoitamaan maankäytöllisiä asioita. Haastattelut toteutettiin täysin anonyymeinä, jonka takia yksittäisten haastatteluiden tuloksia ei julkaista.

Haastatteluista koottu aineisto muodostaa tutkimuksen keskeisen pohjan. Aineisto analysoidaan teemaattisen analyysin keinoin, ryhmittelemällä vastaukset teemojen mukaan ja tunnistamalla niistä esiin nousevia toistuvia haasteita, käytäntöjä ja kehittämisehdotuksia. Tavoitteena on muodostaa kattava kokonaiskuva ilmajohtoverkon maastosuunnittelun nykytilasta ja siitä, millä tavoin eri toimijoiden kokemuksia ja näkemyksiä voidaan hyödyntää ohjeistuksen kehittämisessä.

6 HAASTATTELUAINEISTON ANALYYSI

Tässä luvussa tarkastellaan ilmajohtoverkon maastosuunnittelua koskevaa haastatteluaineistoa, joka on koottu viideltä eri ammattiryhmältä: verkkoyhtiöiden edustajilta, projektipäälliköiltä, maastosuunnittelijoilta, asentajilta ja maarakentajilta. Aineiston analyysi perustuu laadulliseen sisällönanalyysiin, jossa haastatteluaineistosta on tunnistettu keskeisiä teemoja, toistuvia haasteita ja kehittämisehdotuksia. Analyysin tavoitteena on nostaa esiin suunnittelua ohjaavia tekijöitä ja käytännön havaintoja, joiden pohjalta voidaan kehittää kustannustehokasta ja pitkäikäistä ilmajohtoverkon maastosuunnittelua. Luku on jaettu neljään pääosiin, jotka ovat maastotekijät, rakenteet, sijoitusratkaisut ja maankäyttökijät.

Jokainen ammattiryhmä toi keskusteluun oman käytännönläheisen näkökulmansa, joka täydentää teknistä suunnittelutietoa. Verkkoyhtiöt painottivat kokonaistaloudellisuutta ja huoltovarmuutta, projektipäälliköt korostivat aikataulujen ja kustannusten hallintaa, maastosuunnittelijat tarkastelivat fyysistä toteutuskelpoisuutta, asentajat toivat esiin turvallisuus- ja asennettavuuskysymyksiä, ja maarakentajat tarkensivat reittien saavutettavuuden ja työskentelyolosuhteiden vaikutuksia.

Luvussa nostetaan esiin toistuvia havaintoja, konkreettisia esimerkkejä ja kehittämiskohteita, jotka ovat nousseet esiin useista eri haastatteluista. Näin pyritään vastaamaan opinnäytetyön tavoitteisiin tuottaa monipuolinen ja kenttälähtöinen kokonaiskuva ilmajohtoverkkojen maastosuunnittelun nykytilasta ja haasteista sekä näiden avulla parantamaan kustannustehokkuutta.

6.1 Maastotekijät

Maastotekijöiden vaikutus suunnitteluratkaisuihin oli yksi aineiston selkeimmin esiin nousseista teemoista. Haastatteluissa kaikista ammattiryhmistä korostettiin, että maaston muotojen, maaperän kantavuuden, kasvillisuuden ja saavutettavuuden tarkka arviointi on edellytys onnistuneelle ilmajohtoverkon toteutukselle.

Eräs maastosuunnittelija kuvasi maastokäynnin merkitystä seuraavasti: "Kartta ja ilmakuvat antavat karkean kuvan, mutta vasta maastossa näkee, onko siellä esimerkiksi kiveä, tiheää vesakkoa tai ojituksia, jotka eivät näy kartalla. Nämä vaikuttavat heti pylväsvalintaan ja vetosuuntiin." Tämä havainto toistui myös asentajien ja maarakentajien puheessa, joissa peräänkuulutettiin suunnittelijan vastuuta ja kykyä arvioida käytännön työolosuhteet jo suunnitteluvaiheessa.

Pehmeikköalueet, kuten suot tai kosteat niityt, aiheuttavat erityisiä haasteita. Yksi maarakentaja toi esille, että pehmeikölle ajettaessa on mahdollisuus koneen jäädä kiinni. Silloin on käytettävä pienempää kalustoa tai muuttaa reittiä rakennettavaksi. Maastosuunnittelijan tulisi huomioida tämä jo suunnitteluvaiheessa. Maastosuunnittelun kannalta tämä tarkoittaa, että maastokäynnillä tulisi huomioida kulkuyhteyksien kantavuus ja miettiä vaihtoehtoisia reittejä.

Korkeuserojen merkitystä korostettiin erityisesti asennustyön näkökulmasta. Asentajien mukaan jyrkien mäkien tai notkojen kohdalla johtimet voivat roikkua liian matalalla tai jäädä liian kireälle. Jos vedetään johdot mäen yli, pitää laskea tarkkaan jänneväli, jotta johtokorkeus on sopiva. Myös projektipäälliköt nostivat esiin, että korkeuserot voivat edellyttää lisärakenteita tai kalliimpia pylväitä, jotka nostavat kokonaiskustannuksia.

Verkkoyhtiöiden edustajat huomauttivat, että reittisuunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota myös huoltokelpoisuuteen. ”Ei riitä, että linja saadaan vedettyä maaston läpi, sinne pitää päästä myöhemmin nosturilla tai raivauskalustolla,” totesi eräs haastateltu. Tämä näkökulma yhdistyi myös turvallisuuteen, vaikeapääsyisillä alueilla riskit korjaustilanteissa kasvavat. Lisäksi haastattelussa nousi esiin tarve huomioida nykyisen maaston lisäksi myös sinne tulevat muutokset, mikäli se on mahdollista.

Yhteenvetona voidaan todeta, että maastotekijät eivät ole ainoastaan tekninen lähtökohta, vaan ne kytkeytyvät suoraan rakentamisen kustannuksiin, työn turvallisuuteen ja verkon pitkäaikaiseen käytettävyyteen. Haastatteluaineisto osoittaa, että maastosuunnittelussa tulee panostaa entistä enemmän maaston analyysiin paikan päällä ja suunnitelmien joustavuuteen muuttuvien olosuhteiden varalta.

6.2 Rakenteet

Rakenteiden valinta ilmajohtoverkossa vaikuttaa merkittävästi niin rakentamiskustannuksiin, asennustyön sujuvuuteen kuin pitkän aikavälin huoltokustannuksiin. Haastatteluaineistossa tämä teema nousi toistuvasti esiin erityisesti projektipäälliköiden, asentajien ja verkkoyhtiöiden edustajien puheissa. Keskeisenä tavoitteena pidettiin vakioratkaisujen käyttöä aina kun mahdollista, mutta maasto-olosuhteet, sähkötekniset vaatimukset ja maanomistajien toiveet vaativat toisinaan poikkeuksia.

Useat haastateltavat korostivat, että maastosuunnittelijan tulee ymmärtää, miten rakenneratkaisu vaikuttaa toteutuksen työmäärään ja kustannuksiin. Eräs projektipäällikkö totesi: ”Jos tehdään ylimääräinen kulmarakenne, se maksaa enemmän ja hidastaa asentamista, suora linja olisi ollut halvempi ja nopeampi.” Myös maastosuunnittelijat toivat esiin, että kulmien määrää voidaan usein vähentää pienillä linjan muokkauksilla, jos reittiä tarkastellaan huolellisesti maastossa GPS-laitteen kanssa.

Asentajat toivat käytännönläheisesti esiin joidenkin rakenneratkaisujen riskit. Esimerkiksi tasokulmaorsissa langan vetosuunnasta syntyvä vääntö voi aiheuttaa ongelmia. ”Kun ulkokulma vetää ortta kallelleen, rissa voi pomputa,” kuvaili eräs asentaja. Lisäksi mainittiin, että PAS-johtimen asennuksissa, jos on useampi johdin samassa pylväässä, voivat olla hankalia kunnollisen työskentelytilan puutteen vuoksi.

Verkkoyhtiöiden edustajat tarkastelivat rakenteita erityisesti elinkaarikustannusten ja huoltovarmuuden näkökulmasta. Erityisrakenteiden, kuten A-yläväiden käyttö tulee kyseeseen vain, kun sille on selkeä perustelu. Joka kohteeseen tehtäessä erikoisratkaisu, varaosien hallinta vaikeutuu ja viankorjaus hidastuu, kuvaili yksi haastateltu. Toisaalta korostettiin, että joissakin tapauksissa järeämpi rakenne voi maksaa itsensä takaisin vähäisempänä huoltotarpeena.

Yksi haastateltava toi esiin myös suunnitteluohjelmien rajoitukset: ”Profila ehdottaa rakenteita ja pylväsluokkia sekä pituuksia automaattisesti, mutta se ei tunne maastoa. Siinä tarvitaan suunnittelijan omaa harkintaa.” Tämä havainto korostaa tarvetta yhdistää tekninen ohjelmisto-osaaminen ja käytännön ymmärrys maastosta ja työmenetelmistä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että rakenneratkaisut ovat keskeinen osa suunnittelun onnistumista ja niiden valintaan liittyy monia toisiinsa kytkeytyviä tekijöitä. Haastatteluaineisto osoittaa, että kustannustehokkuus, asennettavuus, turvallisuus ja huoltovarmuus tulisi huomioida samanaikaisesti ja

maastosuunnittelijoiden olisi hyvä tehdä tiivistä yhteistyötä toteuttavan organisaation ja verkkoyhtiön kanssa. Rakenteiden valinta ei ole pelkästään tekninen päätös, vaan siinä punnitaan myös käytännön toteutettavuutta sekä kustannustehokkuutta.

6.3 Sijoitusratkaisut

Sijoitusratkaisujen suunnittelu nähtiin haastatteluissa keskeisenä osa-alueena, jolla on suora vaikutus rakentamisen kustannuksiin, turvallisuuteen, huollettavuuteen ja hyväksyttävyyteen maanomistajien näkökulmasta. Haastatellut eri ammattiryhmistä painottivat, että reittivalinnoissa tulee huomioida maasto-olosuhteiden lisäksi työn sujuvuus ja myöhempi kunnossapito.

Yksiselitteisesti tärkeimpänä periaatteena pidettiin sijoittamista teiden varsille aina kun mahdollista. Tämä perusteltiin saavutettavuudella, huoltokelpoisuudella ja turvallisuudella. Eräs verkkoyhtiön edustaja kuvasi: ”Tienvarressa linja on näkyvässä, helposti saavutettavissa ja tarvittaessa voidaan käyttää nostokalustoa ilman raivausta. Se myös lyhentää viankorjausaikaa.”

Projektipäälliköt ja asentajat toivat esiin konkreettisia ongelmia, joita syntyy, kun linja joudutaan vetämään kauas tiestä. Asentajan mukaan linjan ollessa metsässä tai kaukana tiestä, nostokorilla sinne ei pääse ja silloin joudutaan kiipeämään, joka hidastaa työtä merkittävästi. Myös huoltojen yhteydessä metsälinjojen ongelmat korostuvat erityisesti talviolosuhteissa tai myrskytuhojen aikana.

Tienylityksiä pyritään välttämään aina kun mahdollista, sillä ne lisäävät merkittävästi asennustyön vaativuutta. Useampi haastateltu toi esiin, että useat tienylitykset lisäävät turvallisuusriskejä ja edellyttävät erityisjärjestelyjä, kuten liikenteen ohjausta. Eräs asentaja totesi: ”Jos joudutaan vetämään langat tien yli kolme kertaa, koko veto pitää pysäyttää joka kerta, se hidastaa hommaa reilusti.”

Myös tien puolen vaihtaminen suunnittelun aikana sai osakseen kritiikkiä. Eräs projektipäällikkö huomautti, että linjan puolen vaihtaminen toistuvasti tien puolelta toiselle voi osoittaa puutteita reittisuunnittelun kokonaisuuden hallinnassa. Tällaiset ratkaisut vaikeuttavat asennustyön toteutusta, lisäävät työvaiheita ja voivat merkittävästi hidastaa työmaalla etenemistä.

Saneerauskohteissa haastatteluissa korostui tarve kriittiselle tarkastelulle linjan tarkoituksenmukaisuudesta. Eräs maarakentaja toi esiin tilanteita, joissa vanha linja uusitaan sellaisenaankin, vaikka se kulkee käyttämättömän rakennuksen kautta. ”Kyllä se olisi hyvä katsoa, tarvitseeko asiakas enää sähköä. Joskus linja uusitaan vanhalle navetalle, jota ei ole käytetty vuosikymmeneen. Sama sähköliittymä puretaan samana vuonna”

Sijoitusratkaisut liittyvät kiinteästi myös rakenteiden valintaan. Esimerkiksi pitkät jännevälit vaativat tarkkoja tukipisteitä ja kulmatyypit määräytyvät reitin mukaan. Lisäksi sijoitukseen vaikuttavat näkyvyysvaatimukset ja turvallisuusetiäisyydet esimerkiksi rakennuksiin, liikenneväyliin ja muihin sähköverkkoihin.

Yhteenvetona voidaan todeta, että sijoitusratkaisut ovat monisyinen yhdistelmä teknisiä ja logistisia tekijöitä. Haastatteluaineiston perusteella onnistuneet ratkaisut edellyttävät huolellista maastoselvitystä, maanomistajien kanssa käytävää vuoropuhelua ja suunnitelman yhteensopivuutta. Parhaimmillaan sijoittelu tukee verkon käyttövarmuutta, vähentää kunnossapitotarvetta ja mahdollistaa tehokkaan rakentamisen.

6.4 Maankäyttökijät

Maanomistajat ja heidän suhtautumisensa ilmajohtohankkeisiin nousivat haastatteluissa keskeisimmäksi yksittäiseksi maastosuunnitteluun vaikuttavaksi tekijäksi. Haastatellut eri ammattiryhmistä kuvasivat toistuvasti tilanteita, joissa teknisesti hyväksi arvioitu reitti jouduttiin muuttamaan tai hylkäämään maanomistajan vastustuksen vuoksi.

Yhteistyön laatu maanomistajien kanssa vaikuttaa suoraan suunnitteluprosessin sujuvuuteen, toteutuksen aikatauluun ja mahdollisiin lisäkustannuksiin. Useat haastateltavat korostivat, että maanomistajan kanssa käytävä vuoropuhelu tulisi aloittaa riittävän aikaisin ja säilyttää avoimena koko hankkeen ajan. Eräs maastosuunnittelija totesi: ”Jos keskustelu käydään ennakkoon ja perustellaan ratkaisut, harvoin tulee suuria ongelmia. Mutta jos maanomistaja kokee, ettei häntä ole kuultu, ei allekirjoitusta tule.”

Projektipäälliköt toivat esiin tilanteita, joissa maanomistajan vastustus johti työmaan viivästymiseen jopa kuukausilla. Erityisesti metsänomistajat, joilla ei ole suoraa hyötyä sähköverkosta, voivat suhtautua kielteisesti linjojen sijoittamiseen. ”Jos omistaja ei asu alueella eikä käytä sähköä ja metsä on tärkeä tulo, hän saattaa kieltäytyä ihan periaatteesta,” kuvasi yksi haastateltu. Toisaalta yhteistyöhaluiset maanomistajat voivat jopa ehdottaa parempia reittivaihtoehtoja, jonka takia kuunteleminen on molemmiin puolin kannattavaa.

Verkkoyhtiöiden näkökulmasta luvitusprosessin hallinta on oleellinen osa projektien riskienhallintaa. Maanomistajalistan ylläpito, yhteydenpito ja sopimusten dokumentointi koettiin erityisen tärkeäksi. Yksi haastateltu totesi: ”Pahimmat ongelmat syntyvät, kun maanomistaja ei vastaa tai vastaus tulee liian myöhään. Jos tieto ei kulje suunnittelijalle tarpeeksi ajoissa, rakentaminen viivästyy.”

Maanomistajayhteistyössä merkitykselliseksi koettiin myös korvaukset ja niiden perusteiden selkeys. Korvauskäytännöt vaihtelevat verkkoyhtiöittäin, mutta erityisesti metsän puuston arvo ja peltomaiden käyttö vaikuttavat suhtautumiseen. Epäselvyys korvauksista voi johtaa kielteiseen suhtautumiseen myös muuten hyväksyttävään linjasuunnitelmaan.

Maarakentajat ja asentajat toivat esiin, että joskus suunnitelmaa joudutaan muuttamaan työmaavaiheessa, jos maanomistajan hyväksyntä on puutteellinen tai hän asettaa uusia ehtoja väärinymmärrysten takia. ”Kerran jouduttiin kiertämään koko pelto, koska omistaja ei hyväksynyt pylvästä, vaikka oli ensin luvannut. Tämä olisi pitänyt selvittää paremmin etukäteen,” kertoi eräs maarakentaja.

Myös saneerauskohteissa maanomistajayhteistyö on tärkeää. Esimerkiksi tilanteissa, joissa vanhaa linjaa uusitaan ja sen vaikutusalue on muuttunut, kuten uuden tonttijaon tai rakentamisen vuoksi, tulisi selvittää onko vanha reitti edelleen hyväksyttävä. Muutoin voidaan joutua neuvottelemaan uusista kulkureiteistä tai kompensoimaan uusia haittoja.

Yhteenvetona voidaan todeta, että maankäyttökijät ovat keskeinen osa ilmajohtosuunnittelua, jossa tekninen toteutus kytkeytyy suoraan vuorovaikutuksellisiin neuvotteluprosesseihin. Haastatelluaineiston perusteella onnistunut suunnittelu vaatii paitsi teknistä osaamista myös vuorovaikutustaitoja, pitkäjänteistä viestintää ja kykyä sovittaa yhteen tekniset, taloudelliset ja inhimilliset näkökulmat. Maanomistajan rooli ei ole vain passiivinen, vaan aktiivinen osa suunnitteluprosessia, jonka vaikutus voi ulottua koko projektin onnistumiseen.

helppous voi hämätä, sillä peltoalueet tuovat mukanaan merkittäviä maankäyttöön liittyviä haasteita maanomistajan näkökulmasta.

Useat maastosuunnittelijat ja projektipäälliköt mainitsivat, että pylvään sijoittaminen keskelle pelto-alueita aiheuttaa todennäköisesti vastustusta. Viljelykoneet tarvitsevat esteettömän liikkumatilan ja yksikin pylväs voi estää tehokkaan työn. Eräs projektipäällikkö totesi: ”Viljelijälle se ei ole vain pylväs – se on este, joka voi pilata koko pellon tehokkaan koneellisen viljelyn.” Ajoissa käyty keskustelu ja mahdollisuus vaikuttaa linjauksen kulkuun parantavat hyväksyttävyyttä ja voivat ehkäistä ristiriitoja myöhemmässä vaiheessa.

Sijoitusreittien suunnittelussa pyritään sijoittamaan pylvää peltojen reunoille, ojien varsille tai kulmiin. Tämä kuitenkin edellyttää maastotarkastelua ja suunnittelijan kykyä ymmärtää maanomistajan toiveita. Yksi maarakentaja kertoi tapauksesta, jossa pylväs vietiin pellon ojan reunaan, koska tiedettiin, että isäntä ajaa koneella aina samaa reittiä. Tämä säästi vaivaa molemmilta.

Erityisesti maarakentajat mainitsivat myös ongelmatilanteista, joissa peltoalueelle sijoitettu pylväs oli suunniteltu ilman tarkkaa tietoa maanlaisista rakenteista, kuten salaojista tai vesijohtoputkista. Tämä aiheuttaa lisätyötä tai muutostarvetta työmaalla.

Yhteenvetona peltoalueet ovat alueita, joissa tekninen toteutus on suoraviivaista, mutta sosiaaliset ja käytännölliset tekijät vaativat tietynlaista herkkyyttä. Haastatteluaineiston perusteella onnistunut suunnittelu peltoalueilla edellyttää vuorovaikutusta viljelijän kanssa, tarkkaa maastotutkimusta ja valmiutta etsiä kompromissiratkaisuja, jotka turvaavat sekä verkon toimivuuden että maatalouden sujuvuuden. Tämän vuoksi peltoalueille sijoittaminen voi olla perusteltua silloin, kun reititys voidaan toteuttaa viljelytoimintaa kunnioittaen.

6.5 Aineiston luotettavuuden arviointi ja kriittinen tarkastelu

Tutkimusaineiston luotettavuus perustuu ensisijaisesti haastattelujen toteutustapaan, teemojen johdonmukaisuuteen ja analyysin läpinäkyvyyteen. Haastattelut suoritettiin puolistrukturoidulla haastattelumenetelmällä, mikä mahdollisti vertailevan tarkastelun, mutta jätti tilaa myös yksilöllisille näkemyksille. Aineiston analyysissä noudatettiin laadullista sisällönanalyysin menetelmää, jonka avulla aineisto ryhmiteltiin teemoihin. Näin varmistettiin, että toistuvat näkökulmat nousivat esiin luotettavasti.

Luotettavuutta tukee myös aineiston monipuolisuus. Haastateltavat edustivat viittä eri ammattiryhmää (verkkoyhtiö, projektipäälliköt, maastosuunnittelijat, asentajat ja maarakentajat), mikä mahdollistaa ilmiön tarkastelun eri näkökulmista. Useamman osapuolen näkemykset vahvistavat johtopäätösten perustaa.

Aineistossa voi kuitenkin havaita tiettyjä vinoumia. Esimerkiksi verkkoyhtiöiden edustajien näkökulmat painottuvat kokonaistaloudellisuuteen ja huoltovarmuuteen, kun taas asentajat ja maarakentajat nostavat esiin enemmän käytännön työn sujuvuuteen ja turvallisuuteen liittyviä havaintoja. Tämä epäsymmetria saattaa heijastua erilaisiin painotuksiin analyysissä. Myös haastattelujen anonymiteetti vaikeuttaa tulosten tarkempaa kontekstointia esimerkiksi alueellisten käytäntöjen tai organisaatiokohtaisten erojen suhteen, vaikka se on perusteltu tutkimuseettisesti.

Kriittisesti arvioiden aineisto heijastaa voimakkaasti kenttätöiden näkökulmia, mutta esimerkiksi suunnitteluprosessin isomman kuvan tarkastelu, kuten budjetoinnin ja investointisuunnittelun vaikutukset

reittiratkaisuihin jäävät vähemmälle huomiolle. Tämä rajoittaa osittain tulosten yleistettävyyttä muihin toimintaympäristöihin. Toisaalta juuri tämä käytännönläheisyys on työssä vahvuus, sillä se paljastaa konkreettisia kehityskohteita, joita suunnitteluohjeistuksen päivittäminen voi hyödyntää.

Aineiston analyysissä on pyritty objektiivisuuteen, mutta tutkijan rooli laadullisen aineiston tulkitsijana vaikuttaa väistämättä siihen, miten teemat jäsentyvät. Tulkintaa on pyritty tasapainottamaan tuomalla nostoja esiin haastatteluista kuvaamalla eri osapuolten näkemyksiä. Vaikka analyysi kattaa keskeiset suunnitteluun vaikuttavat ulottuvuudet, sen painopiste on vahvasti käytännön kokemuksissa. Suunnittelun strateginen konteksti, kuten investointiohjelmat, toimitusvarmuuslainsäädännön ohjaus ja yhtiökohtaiset kehitystavoitteet jäävät vähemmälle. Tämä osin johtuu siitä, että haastateltavat eivät toimineet tällä päätöksentekotasolla. Tällöin olisi myös perusteltua täydentää analyysiä dokumenttiaineistolla tai asiantuntijahaastatteluilla sopivista rooleista, jotka valottavat suunnittelua ohjaavaa kehitystä.

7 HAASTATTELUJEN JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa esitetään haastatteluaineistoon perustuvat keskeiset johtopäätökset ilmajohtoverkkojen suunnittelun kehittämisestä. Johtopäätökset pohjautuvat edellisessä luvussa esiteltyihin teemoihin ja nostavat esiin suunnittelutyön kriittisiä osa-alueita, joita kehittämällä voidaan parantaa ilmajohtoverkkojen teknistä, taloudellista ja käytännöllistä toteutusta. Haastatteluaineistosta nousi selkeästi esiin, että suunnittelun onnistuminen edellyttää teknisen osaamisen lisäksi maastotuntemusta, vuorovaikutustaitoja ja kokonaisuuksien hallintaa.

Ensimmäinen keskeinen havainto liittyy maastokäynnin merkitykseen. Kaikki ammattiryhmät painottivat, että maastokäynti on ratkaiseva vaihe suunnittelun laadun kannalta. Ilman paikan päällä tehtävää havainnointia jää helposti huomaamatta maastollisia yksityiskohtia, kuten kalliopaljastumat, pehmeikköalueet, suoalueet, rakennelmat tai vaikeakulkuiset kohdat, jotka vaikuttavat linjan toteuttavuuteen, huoltoon ja turvallisuuteen. Suunnitteluprosessissa tulisi varmistaa, että maastokäynti tehdään kattavasti ja riittävän ajoissa, ja että sen havainnot dokumentoidaan tarkasti.

Toinen keskeinen johtopäätös koskee rakenteiden valintaa. Rakenteiden tulee olla sekä teknisesti että taloudellisesti perusteltuja. Haastatteluissa toistui näkökulma, että suunnittelijan tulisi ymmärtää, miten eri rakenneratkaisut vaikuttavat työmaavaiheeseen, asentamisen turvallisuuteen ja kunnossapidon tarpeisiin. Erityisesti kulmarakenteiden, pitkien jänneväliden ja erikoispylväiden käytön osalta tulisi varmistaa, että ne ovat aidosti tarpeellisia ja perusteltuja maastollisesti.

Kolmantena voidaan nostaa sijoitusratkaisujen laaja-alainen tarkastelu. Tienvarsisijoittelun suosiminen on yleisesti perusteltua, mutta reitin valintaan vaikuttavat myös maanomistajien toiveet, tuleva maankäyttö ja huollon vaatimukset. Suunnittelijan tulisi pyrkiä yhdistämään nämä näkökulmat siten, että lopputulos on sekä teknisesti toimiva että sosiaalisesti hyväksyttävä.

Neljäs keskeinen johtopäätös liittyy maanomistajayhteistyöhön. Haastatteluissa kävi ilmi, että maanomistajien kanssa käytävä vuorovaikutus on kriittinen onnistumistekijä. Suunnittelijan tulee pystyä perustelemaan ratkaisut ymmärrettävästi ja kuunnella maanomistajien näkemyksiä. Avoin ja aktiivinen viestintä voi ehkäistä ristiriitoja ja nopeuttaa luvituksen etenemistä. Maanomistajien hyväksyntä ei ole itsestäänselvyys, vaan se ansaitaan vuoropuhelulla ja luottamuksella.

Lopuksi on syytä korostaa kokonaisuuden hallintaa. Ilmajohtoverkkojen suunnittelu ei ole irrallinen tekninen tehtävä, vaan se on osa laajempaa toteutusketjua, jossa jokaisella ratkaisulla on vaikutus työmaan, huollon ja verkon käytettävyyden kannalta. Suunnittelijan tulisi tuntea verkon elinkaari ja tehdä ratkaisuja, jotka kestävät aikaa ja muuttuvia olosuhteita.

Haastatteluaineisto osoittaa, että suunnittelutyötä voidaan kehittää vahvistamalla kenttälähtöistä näkökulmaa, lisäämällä yhteistyötä eri ammattiryhmien välillä ja panostamalla käytännön olosuhteiden ymmärtämiseen. Ilmajohtoverkkojen kustannustehokas ja käytännön tarpeet huomioiva suunnittelu edellyttää systemaattista, paikallisiin olosuhteisiin mukautuvaa toimintamallia.

Lisäksi suunnittelutyössä tulisi ottaa entistä tarkemmin huomioon erityyppisten maastojen vaatimukset: pehmeikköalueilla maaperän kantavuuden arviointi on kriittinen, kun taas kallioalueilla perustamisratkaisut ja reitin toteutus vaativat suunnittelijalta teknistä sopeutumista. Rakenteiden osalta on olennaista löytää tasapaino rakentamiskustannusten, asennettavuuden ja huoltovarmuuden välillä koko verkon elinkaaren ajaksi. Erikoisrakenteiden käyttö tulisi perustua tarkkaan harkintaan.

Sijoitusratkaisujen kohdalla haastatteluaineisto toi esiin tarpeen huomioida myös liikenteeseen liittyvät riskit ja erityisjärjestelyt etenkin, kun linja sijoitetaan vilkkaasti liikennöityjen teiden varsille tai ne ylitetään. Maanomistajayhteistyön rooli korostui myös tässä: hyvin perustellut ja yhdessä suunnitellut reitit vähentävät hankkeiden viivästymisiä ja parantavat hyväksyttävyyttä.

Eryteisesti maankäyttökijöissä nousi esiin metsien vaikeakulkuisuuden sekä peltoalueiden viljelyyn liittyvien reunaehtojen huomiointi. Haastatteluissa esitettiin, että metsälinjojen kohdalla riittävän suuret johtoaukeat sekä sijoitus tien varteen silloin kun se on mahdollista, vähentävät huoltohaasteita. Pelloilla pylväiden sijoittaminen lohkojen reunoille ja ojien varteen auttaa säilyttämään viljelytoiminnan jatkuvuuden.

Tällaisilla tarkemmilla toimintatavoilla voidaan vähentää rakentamisen aikaisia riskejä, parantaa suunnittelun laatua ja optimoida ilmajohtoverkon kokonaiskustannuksia koko elinkaaren ajalta. vahvistamalla kenttälähtöistä näkökulmaa, lisäämällä yhteistyötä eri ammattiryhmien välillä ja panostamalla käytännön olosuhteiden ymmärtämiseen. Tällöin voidaan saavuttaa verkon suunnittelussa parempaa laatua, tehokkuutta ja asiakastytyväsyyttä.

8 ESIMERKKIKOHDE JA VERTAILUANALYYSI

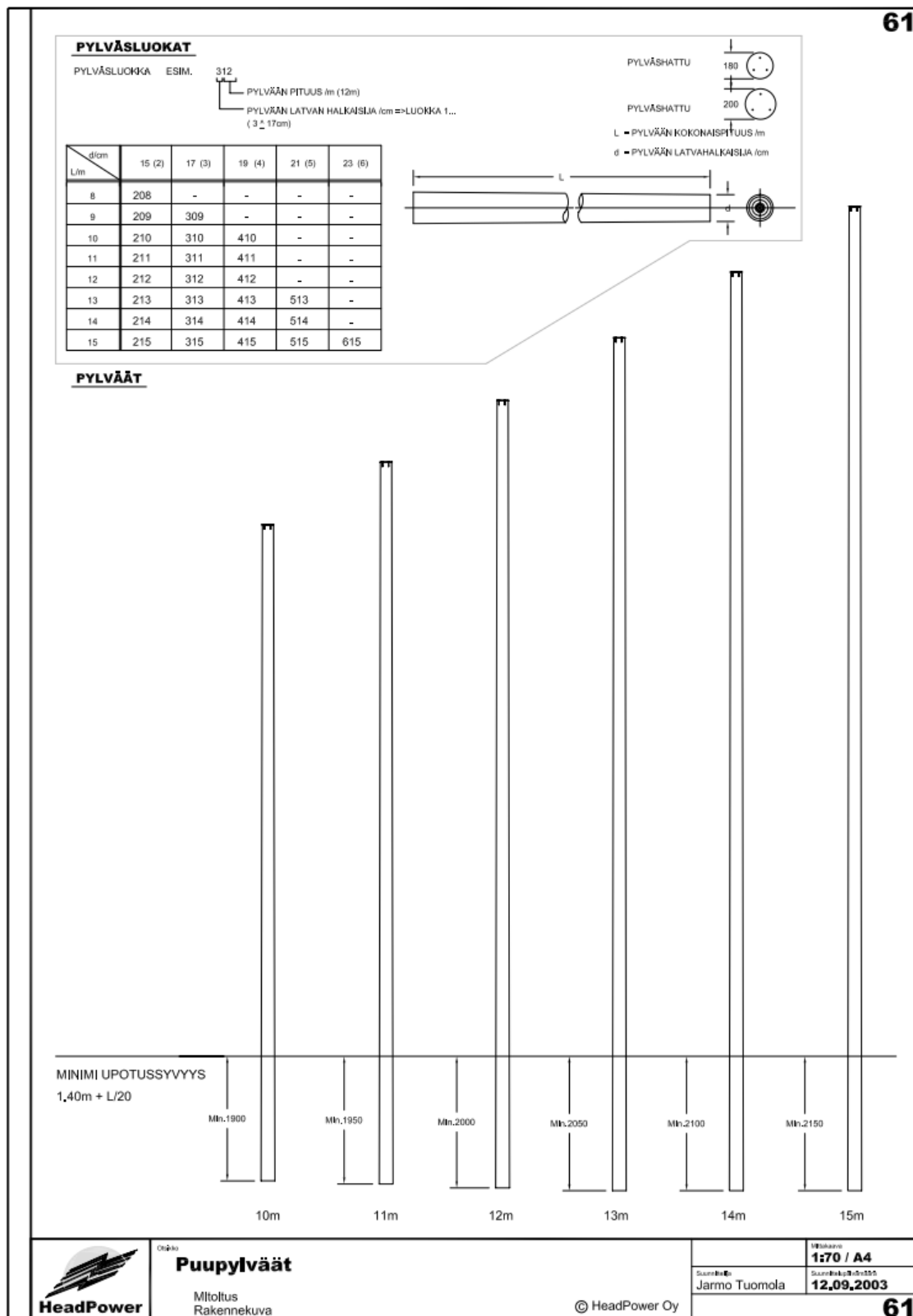
Tässä luvussa esitetään hyvin yksinkertainen vertailuanalyysi kahdesta erilaisesta ilmajohtoverkon reittivaihtoehdosta, jotka ovat laadittu samalle noin 2,2 kilometrin pituiselle matkalle. Vaikka reitin sijainti on sama, vaihtoehdot ovat suunniteltu erilaisten maasto- ja maankäyttöhaasteiden näkökulmasta. Tavoitteena ei ole vertailla yhtä oikeaa tai toteutettavaa suunnitelmaa, vaan havainnollistaa, miten erilaiset maastolliset lähtökohdat tai maanomistajan mielipiteet vaikuttavat valittaviin rakenteisiin ja reitteihin sekä niiden kautta kustannuksiin. Samalla tarkastelu osoittaa, miten suunnittelijan valinnoilla voidaan joko säästää kustannuksissa tai parantaa rakennettavuutta vaativissa olosuhteissa.

Esimerkkivertailun tarkoituksena on havainnollistaa rakenteellisten ja maastosijoitteluun liittyvien valintojen vaikutusta kokonaiskustannuksiin yksittäisen reitin osalta. Vertailussa ei oteta huomioon esimerkiksi perustamistapojen, kaluston käytön, kuljetusmatkojen tai työmaan logistiikan vaikutuksia, vaikka niillä voi olla merkittäväkin rooli todellisissa kokonaiskustannuksissa. Näiden tekijöiden huomioiminen vaatisi laajempaa tapauskohtaista tietoa ja tarkkaa työmaasuunnittelua, minkä vuoksi ne ovat rajattu tämän vertailun ulkopuolelle.

8.1 Käytettävät rakenteet

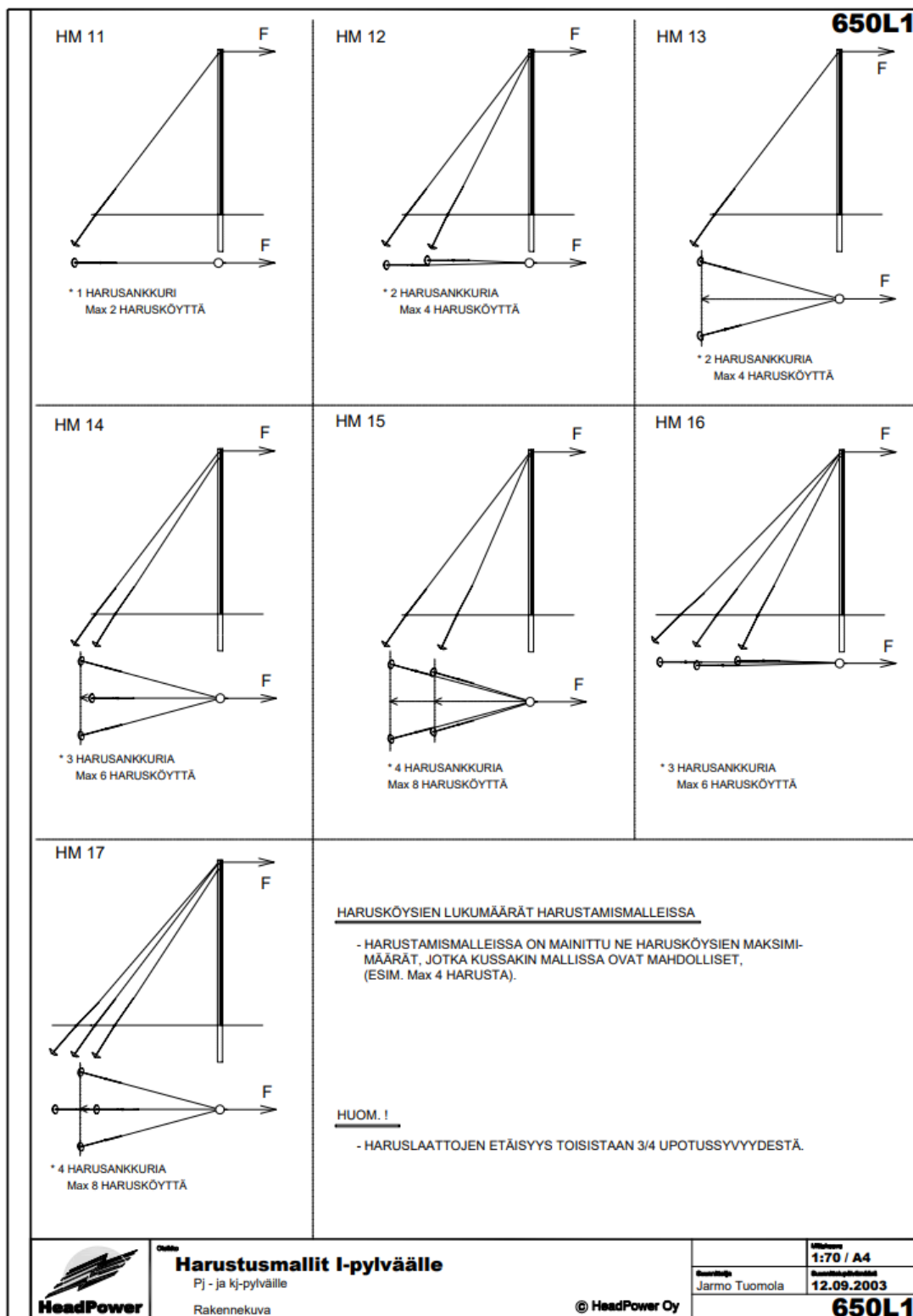
Ilmajohtoverkon kustannustehokkuuteen vaikuttavat keskeisesti valitut pylväsrakenteet. Tässä vertailussa käytetään neljää yleisesti sovellettavaa vakiorakennetta, jotka ovat suora pylväs, harustettu pylväs, tukipylväs ja A-pylväs. Rakenteet ovat valittu Headpowerin vakiorakenteista ja ne edustavat tyypillisiä vaihtoehtoja, joita käytetään eri maasto-olosuhteissa ja teknisissä ratkaisuissa.

Suora pylväs on yleisin ja kustannuksiltaan edullisin ratkaisu, jota käytetään aina kun linja kulkee suoraviivaisesti ilman suunnanmuutoksia tai erityisiä kuormituksia johonkin suuntaan. Tällöin rakenteeseen kohdistuvat voimat ovat pääosin pystysuuntaisia ja rakenne voidaan toteuttaa yksittäisellä pylväällä ilman lisätukia. (Kuva 3.)



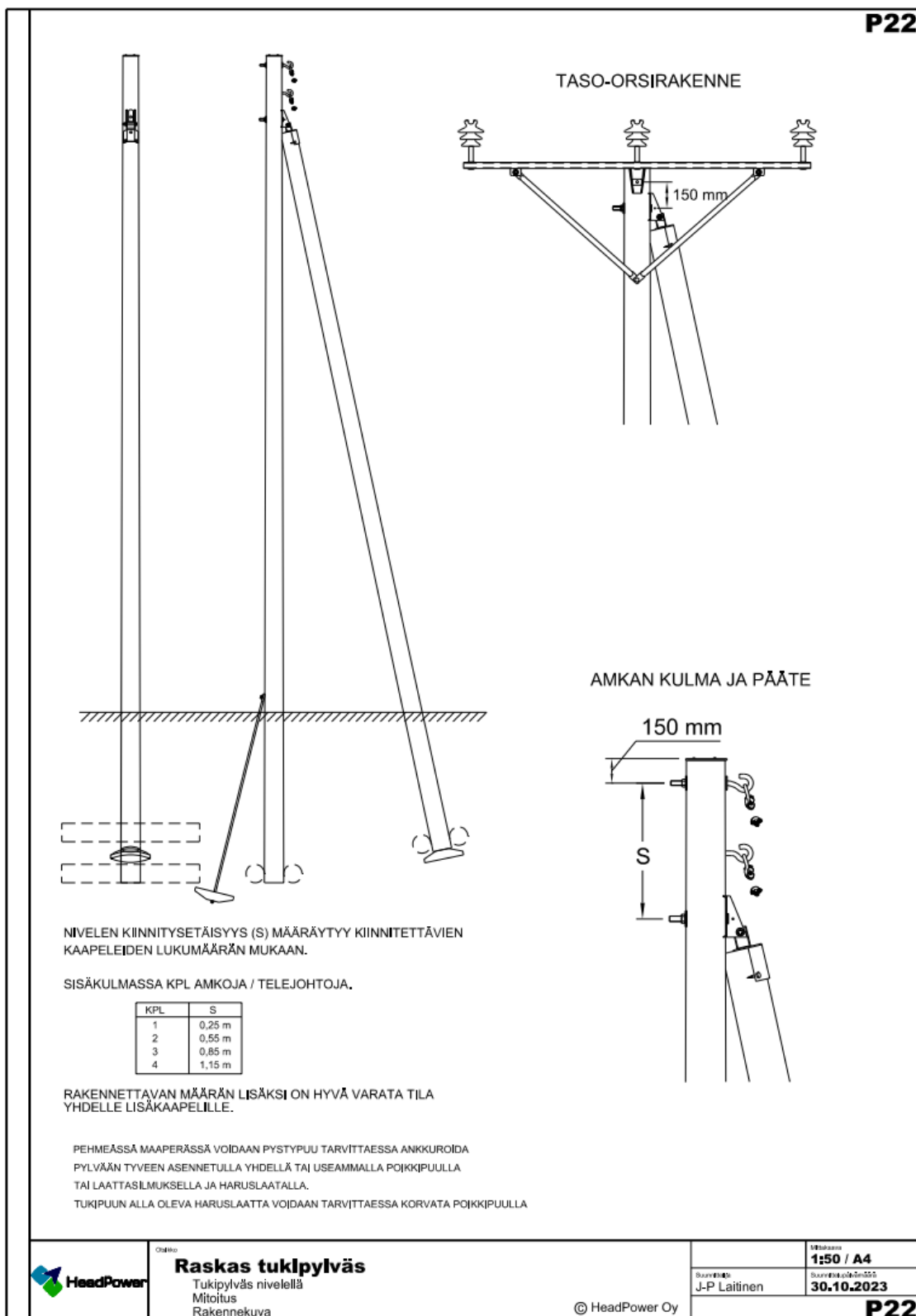
Kuva 3. Suora pylväs ja pylväsluokat (Headpower 2003c. Vakiorakenteet)

Harustettu pylväs soveltuu tilanteisiin, joissa johtimen vetosuunta muuttuu tai linjan alkaessa tai päättyessä ja pylväsrakenteeseen kohdistuu vetovoima johdon takia. Näissä kohdissa pylväs harustetaan maahan kiinnitetyillä teräsköysillä (haruksilla) johtojen ulkokulmaan keskelle, jotka siirtävät osan kuormasta maaperään. Harustettu pylväs on yleinen kulmapisteissä, mutta sen käyttö vaatii riittävästi tilaa. (Kuva 4.)



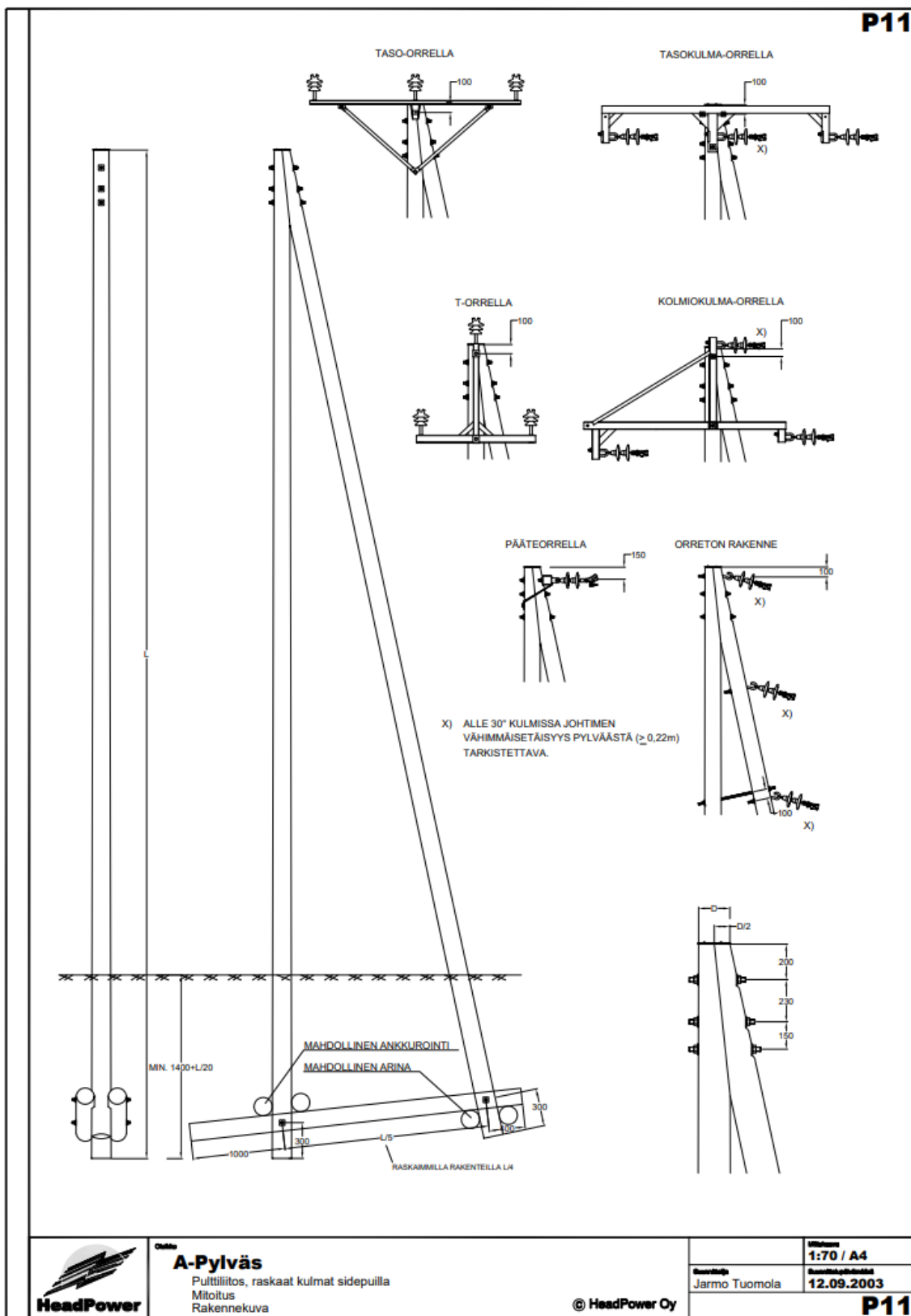
Kuva 4. Harustusmallit I-pylväälle (Headpower 2003b. Vakiorakenteet)

Tukipylväs muodostaa rakenteellisen kokonaisuuden yhdessä suoran pylvään kanssa ja sitä käytetään tilanteissa, joissa harustaminen ei ole mahdollista tilanpuutteen vuoksi. Esimerkiksi haruksen asettuessa liikenneväylälle tai rakennuksen kohdalle. Tukipylväs sijoitetaan tukemaan pylvästä joihtojen sisäkulmaan keskelle. Rakenteena se korvaa harustetun pylvään ja mahdollistaa pylvään tukemisen pienemmässä tilassa ja teiden sisäkurveissa. (Kuva 5.)



Kuva 5. Raskas tukipylväs P22 (Headpower 2023. Vakiorakenteet)

A-pylväs on raskas pylväs rakenne, jossa kaksi pylvästä on yhdistetty alapäästä poikki puulla yhteen muodostaen A-kirjaimen muotoisen rakenteen. Se toimii kuten tukipylväs, mutta on suunniteltu suuremmille vetorasituksille. Esimerkiksi pienet kulmat. (Kuva 6.)

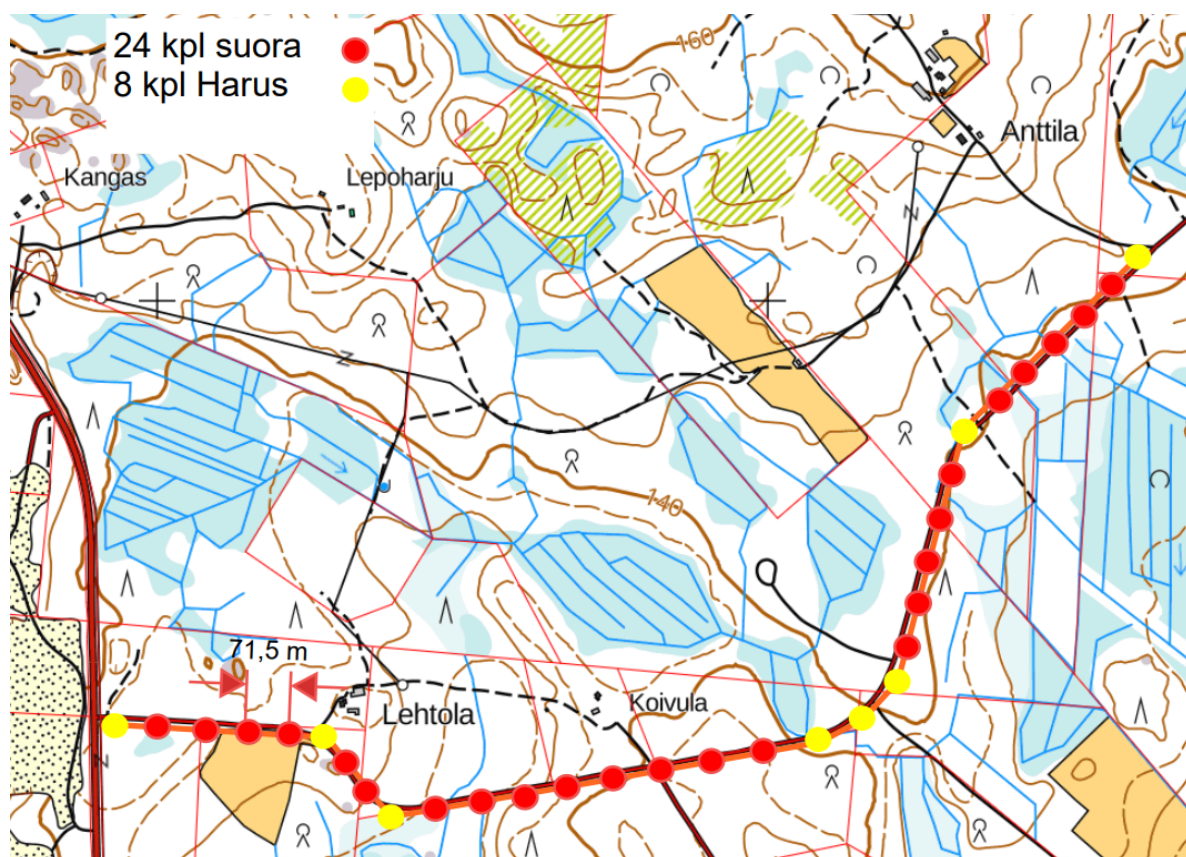


Kuva 6. A-pylväs P11 (Headpower 2003a. Vakiorakenteet)

8.2 Vaihtoehto 1: Tavanomainen reitti

Ensimmäinen vaihtoehto edustaa tilannetta, jossa maasto on suhteellisen yksinkertaista ja linjaukselle ei kohdistu erityisiä maankäytöllisiä rajoitteita. Tässä skenaariossa käytetty ratkaisu perustuu 24 suoralla pylväällä ja 8 harustetulla pylväällä toteutettavaan reittiin. Reitissä hyödynnetään tien ylityksiä sisäkaarteissa, jotta päästään tien ulkokulmaan rakentamaan harustettu pylväs. Harustetun pylvään jälkeen on helppo jatkaa suoralla linjalla. Suorat pylväät sijoittuvat suoriin osuuksiin ja harustetut pylväät tukevat kulmapisteitä sekä mahdollisia jännevälien muutoksia.

Rakenteellisesti vaihtoehto on yksinkertainen ja sen suunnittelussa on pyritty minimoimaan erikoisrakenteiden tarvetta. Tällainen rakennekokonaisuus on tyypillinen silloin, kun rakentaminen voidaan toteuttaa teknisesti suotuisassa maastossa, jossa maaperä on kantavaa, korkeuserot maltillisia ja reititys voidaan viedä läpi ilman merkittäviä kompromisseja maanomistajien osalta. Tämän kaltaisessa tilanteessa kustannustehokkuus nousee vahvasti.

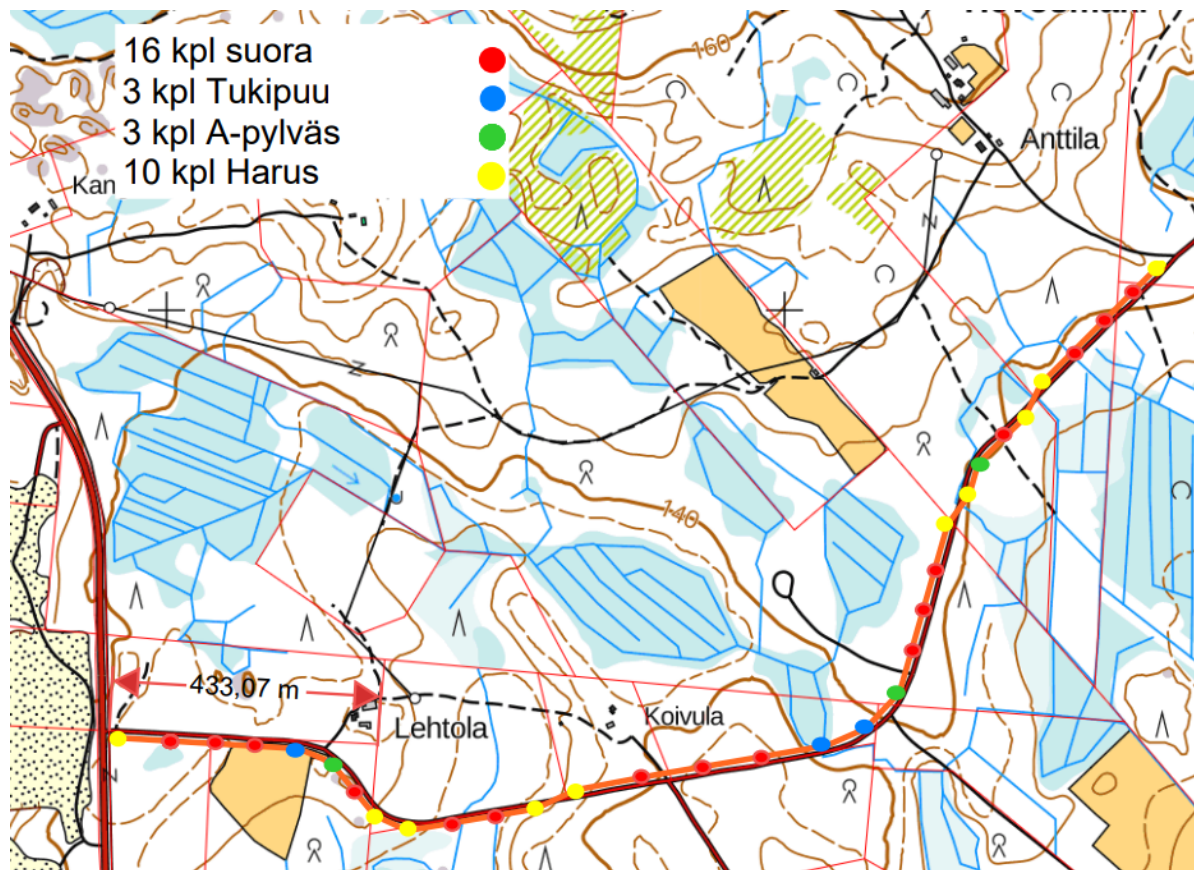


Kuva 7. Vaihtoehto 1, kustannustehokas reitti (muokattu lähteestä Maanmittauslaitos 2025. Kartta-
paikka)

8.3 Vaihtoehto 2: Reitti maaston ja maankäytön ehdoilla

Toinen vaihtoehto on suunniteltu tilanteeseen, jossa reitti kulkee vaativamman maaston halki tai joudutaan ottamaan huomioon erilaisia maanomistajien mielipiteitä, kuten viljelysalueiden kiertämistä. Suunnitteluratkaisussa on käytetty yhteensä 16 suoraa pylvästä, 10 harustettua pylvästä, 3 tukipylvästä ja 3 A-pylvästä. Tässä vaihtoehdossa ei pystytä hyödyntämään tien ulkokulmia, joten

joudutaan sisäkurviin rakentamaan joko tukipylväs tai A-pylväs. Tukipuupylväät ovat valittu kohteisiin, joissa harusta ei pystytä laittamaan ja linjan kulma vaatii sen. A-pylväät tukevat jyrkempiä kulmia ja pidempiä jännevälejä. Tällaiset rakenteet lisäävät toteutettavuutta ja turvallisuutta, mutta ovat huomattavasti kalliimpia. Maastosuunnittelija joutuu usein tasapainoilemaan teknisten vaatimusten ja käytännön toteutuksen välillä, mikä tekee erikoisrakenteiden käytöstä perusteltua.



Kuva 8. Vaihtoehto 2, kalliimpi reitti (muokattu lähteestä Maanmittauslaitos 2025. Karttapaikka)

8.4 Kustannusvertailu vaihtoehtojen välillä

Kustannustarkastelussa käytettiin yksinkertaistettua, suhteellisiin kustannuskertoimiin perustuvaa lähestymistapaa. Pylvästyypin kustannusarviot ovat suhteutettu suoran pylvään kustannukseen ja arvot pohjautuvat Elvera Oy:n asiantuntijoiden antamaan arvioon vakiorakenteiden tyypillisistä hankinta- ja asennuskustannuksista. Tämä lähestymistapa mahdollistaa rakenteiden välisen kustannusvertailun ilman tarkkoja euromääräisiä hintoja, mutta tarjoaa realistisen vertailupohjan. Kustannusvertailussa käytettiin yksinkertaistettua kustannustasolaskelmaa pylvästyypeittäin. Pylvästyypin kustannukset ovat suhteellisia suoran pylvään kustannusarvoon, jotka ovat:

- Suora pylväs: 1
- Harustettu pylväs: 1,7
- Tukipylväs: 2,4
- A-pylväs: 4,0

Seuraavissa taulukoissa esitetään vaihtoehtojen 1 ja 2 rakenteet sekä niihin perustuvat kustannusarviot.

Vaihtoehto 1

Taulukko 1. Vaihtoehto 1: Tavanomainen reitti

Rakennetyyppi	Kustannustaso	Määrä (kpl)	Kustannus yhteensä
Suora pylväs	1,0	24	24,0
Harustettu pylväs	1,7	8	13,6
Yhteensä			37,6

Vaihtoehto 2

Taulukko 2. Vaihtoehto 2: Reitti maaston ja maankäytön ehdoilla

Rakennetyyppi	Kustannustaso	Määrä (kpl)	Kustannus yhteensä
Suora pylväs	1,0	16	16,0
Harustettu pylväs	1,7	10	17,0
Tukipylväs	2,4	3	7,2
A-ylväs	4,0	3	12,0
Yhteensä			52,2

$$\frac{\text{Vaihtoehto 2} - \text{Vaihtoehto 1}}{\text{Vaihtoehto 1}} * 100 = \frac{52,2 - 37,6}{37,6} * 100 = 38,8 \% \quad (1)$$

Kustannusero vaihtoehtojen välillä oli noin 39 % (kaava 1). Ensimmäinen vaihtoehto oli selvästi kustannustehokkaampi, koska se mahdollisti yksinkertaisemmat rakenteet ja suoraviivaisemman rakentamisen. Toisessa vaihtoehdossa kustannuksia kasvattivat maastolliset rajoitteet ja tämän takia järeämpien komponenttien käyttö.

Analyysin perusteella voidaan todeta, että suunnitteluratkaisut, jotka mahdollistavat suorien, yksinkertaisten rakenteiden käytön ja rajoittavat harusten sekä erikoispylväiden määrää, tuottavat usein huomattavia kustannusetuja. Rakennuskustannukset nousevat jopa muutaman pylvään lisäämisellä merkittävästi. Kuitenkin suunnittelijan vaikutusmahdollisuudet eivät ulotu kaikkiin tekijöihin. Esimerkiksi maaston korkeuserot ja jänneväljen pituudet voivat edellyttää pidempiä pylväitä tai erikoisrakenteita, vaikka yksinkertaisempi vaihtoehto olisi kustannuksiltaan edullisempi. Samoin pylvään pituus vaikuttaa suoraan sekä materiaalikustannuksiin että asennuksen vaativuuteen. Pitkät pylväät ovat kalliimpia ja ovat hitaampia asentaa, mikä lisää työmaakustannuksia.

Lisäksi maankäyttöön liittyvät tekijät, kuten rakennusten etäisyydet, luonnonsuojelualueet, vesistöt tai suojaviheralueet, voivat rajoittaa optimaalisten linjausreittien käyttöä. Suunnittelussa joudutaan tällöin hakemaan kompromisseja, jotka voivat nostaa kustannuksia esimerkiksi jyrkemmillä kulmilla tai lisääntyneellä pylväs- ja harustarpeella. Maanomistajien vaatimukset vaikuttavat myös ratkaisevasti reitin lopulliseen sijoitteluun. Pylväiden sijoittaminen toivottuihin kohtiin voivat edellyttää muun muassa laanipaikan korvauksia, koska ilmajohtoverkon alla ei saa varastoida esimerkiksi puutavaraa. Puustokorvaukset ja raivaustarpeet ovat taloudellisesti merkittäviä, sillä korvaukset määräytyvät yleensä johtoalueen pituuden mukaan. Suunnittelussa tämä tarkoittaa, että pidemmät tai vaihtoehdot reitit, jotka kulkevat metsien halki, voivat kasvattaa kustannuksia silloin, kun linjaus ei seura olemassa olevia kulku- tai tieuria.

Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta suunnittelijan tehtävä onkin jatkuvaa tasapainottelua teknisten, taloudellisten ja sosiaalisten reunaehtojen välillä. Parhaimmillaan syntyy ratkaisu, joka optimoi investoinnin elinkaarikustannukset, turvaa verkon toiminnalliset vaatimukset ja mahdollistaa sujuvan toteutuksen eri osapuolten näkökulmista.

9 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella ilmajohtoverkkojen suunnitteluprosessia ja tunnistaa kehittämismahdollisuuksia erityisesti maastosuunnittelun näkökulmasta. Työ lähti tarpeesta ymmärtää, millaisia tekijöitä suunnittelussa tulisi huomioida, jotta verkon rakentaminen olisi teknisesti toimivaa, kustannustehokasta ja käytännön olosuhteissa toteuttamiskelpoista. Työ kohdistui erityisesti sellaisiin tilanteisiin, joissa maastosuunnittelija toimii ratkaisevassa roolissa maastossa tapahtuvien päätösten, rakenteiden valinnan ja sijoitusratkaisujen tekemisessä.

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Elvera Oy:n kanssa, ja se nojasi laadulliseen tutkimusotteeseen. Aineisto kerättiin teemahaastatteluilta, joihin osallistui ilmajohtojen suunnitteluun ja toteutukseen liittyviä asiantuntijoita: verkko-yhtiöiden edustajia, maastosuunnittelijoita, projektipäälliköitä, asentajia ja maarakennustyötä tekeviä henkilöitä. Haastattelut litteroitiin ja analysoitiin laadullisen sisällönanalyysin keinoin, mikä mahdollisti keskeisten ilmiöiden esiin nostamisen suunnitteluprosessin eri vaiheista.

Analyysin perusteella yksi keskeisistä havainnoista oli se, että maastosuunnittelijan työ vaikuttaa merkittävästi paitsi projektin etenemiseen ja kustannuksiin, myös verkon elinkaaren aikaisiin ominaisuuksiin, kuten huollettavuuteen ja luotettavuuteen. Suunnittelijan kyky tehdä perusteltuja valintoja esimerkiksi rakenteiden soveltuvuudesta erilaisiin maastoihin, linjauksen kulusta ja vaihtoehtoisten reittien arvioinnista nähtiin ratkaisevana tekijänä onnistuneessa toteutuksessa.

Lisäksi työ toi esiin tilanteita, joissa suunnitteluratkaisujen taustalla vaikuttavat ympäristötekijät, maankäyttörajoitteet ja paikalliset olosuhteet, joita ei voida tunnistaa pelkästään karttatarkastelun perusteella. Maastotyön huolellisuus, kokemusperäinen arviointikyky ja kyky kommunikoida tekniset ratkaisut eri sidosryhmille olivat kaikki tekijöitä, jotka erottivat onnistuneen suunnittelun haastavammista tapauksista.

Opinnäytetyön tulokset osoittavat, että maastosuunnittelun merkitys korostuu erityisesti siellä, missä tekniset, taloudelliset ja sosiaaliset reunaehdot risteävät. Tutkimus toi esiin konkreettisia kehityskohteita ja esimerkkejä ratkaisuista, joita voidaan hyödyntää suunnittelun tueksi. Tavoitteet toteutuivat siten sekä sisällöllisesti että käytännöllisesti: työ tarjosi uutta ymmärrystä suunnittelijan roolista ja mahdollisti kehitysehdotusten esittämisen käytännön työtä tukevalla tavalla.

9.1 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön perusteella voidaan tehdä useita johtopäätöksiä, jotka liittyvät maastosuunnittelun vaikutuksiin, suunnittelijan rooliin ja alan käytäntöjen kehittämistarpeisiin. Vaikka työ ei pyrkinyt yleistettävyyteen koko sähköverkkotoimialalle, sen tuottamat havainnot ovat luonteeltaan suuntaa antavia ja rakentuvat käytännön kokemuksiin, joita jaettiin eri toimijoiden näkökulmista.

Ensimmäinen johtopäätös on, että maastosuunnittelu on kriittinen vaihe sähköverkon suunnitteluprosessissa. Maastosuunnittelijan tekemät valinnat vaikuttavat suoraan paitsi rakentamisen kustannuksiin ja aikatauluihin, myös verkon tekniseen toimivuuteen ja kunnossapidon sujuvuuteen. Esimerkiksi rakenteiden valinta maaston mukaan, linjan suoruuksien tai jännevälien pituus voivat vaikuttaa ratkaisevasti työn toteutettavuuteen. Nämä päätökset eivät perustu pelkästään teknisiin lähtötietoihin vaan edellyttävät suunnittelijalta kykyä yhdistää kokemuksellinen tieto, maastohavainnot ja verkon pitkän aikavälin käyttöedellytykset.

Toinen johtopäätös koskee suunnitteluratkaisujen perustelutarvetta suhteessa maanomistajiin ja muihin sidosryhmiin. Haastattelujen perusteella ilmeni, että hyvin perustellut ja ajoissa kommunikoidut ratkaisut lisäävät suunnitelman hyväksyttävyyttä ja ehkäisevät ristiriitoja projektin edetessä. Maastosuunnittelijan vuorovaikutustaidot, tilannetaju ja kyky selittää tekniset valinnat selkeästi ovat keskeisiä edellytyksiä sujuvalle toteutukselle. Tämä ei ole pelkästään viestinnällinen haaste, vaan osa ammattitaitoa, jota maastosuunnittelijalta vaaditaan yhä enemmän erityisesti yksityisten maiden osalta.

Kolmas johtopäätös liittyy kokonaiskustannusten tarkasteluun. Haastattelujen perusteella selvisi, että taloudellisesti kannattavimmat ratkaisut eivät aina ole investointikustannuksiltaan edullisimpia, vaan elinkaarikustannusten näkökulmasta optimoituja. Esimerkiksi yksittäisen kalliin rakenteen käyttö voi osoittautua kokonaistaloudellisesti järkeväksi, jos se vähentää työvaiheita tai helpottaa kunnossapitoa vuosikymmeniksi eteenpäin. Tällainen kokonaisvaltainen kustannusajattelu vaatii suunnittelijalta kykyä nähdä ratkaisujen pitkän aikavälin vaikutukset jo varhaisessa vaiheessa.

Neljäs johtopäätös koskee ympäristö- ja maankäyttökäyttäjien roolia teknisessä suunnittelussa. Suunnittelussa tulee huomioida paitsi maaston tekniset reunaehdot, myös maisemalliset, ympäristölliset ja maankäytölliset vaatimukset. Näiden yhteensovittaminen vaatii suunnittelijalta paitsi teknistä asiantuntemusta, myös herkkyyttä ja ymmärrystä paikallisista olosuhteista ja sääntelystä. Tämä korostaa tarvetta vahvalle suunnittelijan kenttäosaamiselle, jota ei voida täysin korvata ohjelmistoilla tai mallipohjaisilla ratkaisuilla.

Lopuksi voidaan todeta, että ilmajohtoverkkojen maastosuunnittelu on monitahoinen prosessi, jossa tekniset, taloudelliset ja inhimilliset näkökulmat kietoutuvat toisiinsa. Suunnittelijan rooli ei rajoitu pelkästään teknisten ratkaisujen tuottamiseen, vaan kattaa myös vuorovaikutuksen, arvioinnin ja projektin kokonaisuuden ymmärtämisen. Tämän työn perusteella voidaan suositella, että suunnittelijoiden koulutuksessa ja käytännön perehdytyksessä kiinnitetään entistä enemmän huomiota kenttätöiden merkitykseen, vuorovaikutustaitoihin sekä elinkaarikustannusten ymmärtämiseen.

9.2 Pohdinta

Työn keskeiset tavoitteet, kuten maastosuunnittelun nykykäytäntöjen ja haasteiden tunnistaminen sekä kehittämisehdotusten esittäminen saavutettiin hyvin. Haastatteluaineiston pohjalta muodostettiin monipuolinen kokonaiskuva suunnittelun keskeisistä kipupisteistä ja niiden vaikutuksista kustannuksiin. Työn tulokset vastaavat toimeksiantajan toivetta pohja-aineistosta ilmajohtoverkon maastosuunnitteluohjeistuksen kehittämiseen.

Opinnäytetyön tekeminen tarjosi mahdollisuuden syventyä ilmajohtoverkkojen suunnittelun arkeen ja siihen liittyviin käytännön haasteisiin sellaisella tavalla, jota ei koulutuksen aikaisemmissa opinnoissa ollut mahdollista saavuttaa. Erityisesti maastosuunnittelun näkökulman kautta hahmottui, kuinka suuri vaikutus suunnittelijan kenttätöillä on sähköverkon rakentamiseen ja elinkaaren hallintaan. Työn aikana kirkastui myös ymmärrys siitä, että suunnittelutyö on paljon muutakin kuin teknisten piirustusten laatimista. Se on harkintaa, vastuunkantoa, viestintää ja jatkuvaa yhteensovittamista.

Omassa työskentelyssäni onnistuin erityisesti haastatteluaineiston analysoinnissa ja teemojen jäsentämisessä. Litteroinnin ja systemaattisen tarkastelun avulla aineistosta oli mahdollista tunnistaa

keskeisiä ilmiöitä, jotka toistuivat eri asiantuntijoiden puheessa. Tämä vahvisti laadullisen tutkimusotteen soveltuvuutta tämänkaltaiseen aiheeseen. Lisäksi koen, että onnistuin muotoilemaan löydöksistä konkreettisia ja perusteltuja johtopäätöksiä, jotka tukevat käytännön suunnittelutyön kehittämistä.

Työn aikana ilmeni myös haasteita. Aineiston laajuus suhteessa työn laajuuteen pakotti rajaamaan joitakin aihealueita ja syventämään toisia. Kaikkia haastatteluissa esiin nousseita näkökulmia ei ollut mahdollista käsitellä yhtä perusteellisesti. Lisäksi koin haasteita siinä, miten yhdistää suunnittelijoiden arjen käytännöt kirjalliseen tietoperustaan niin, että lopputulos olisi sekä perusteltu että yleistettävissä soveltuvien osin. Tämä vaati kriittistä pohdintaa siitä, mikä aineistosta on olennaista ja mitkä ilmiöt liittyvät yksittäistapauksiin.

Ammatillisesti työ syvensi ymmärrystäni paitsi sähköverkkosuunnittelun sisällöistä, myös eri toimijoiden välisestä rooleista ja vastuista. Haastattelujen kautta oli mahdollista tarkastella verkonrakentamista verkostomaisena toimintana, jossa suunnittelija toimii yhtenä solmukohtana muiden ammattilaisten joukossa. Tämä lisäsi arvostustani kokeneita suunnittelijoita, asentajia ja projektipäälliköitä kohtaan ja auttoi hahmottamaan omaa tulevaa rooliani osana kokonaisuutta.

Tutkimustulokset ovat hyvin linjassa teoriassa esitettyjen näkökulmien kanssa. Esimerkiksi kirjallisuudessa korostettu maastosuunnittelun merkitys kokonaiskustannuksiin sai vahvistusta projektipäälliköiden kommentteista. Lisäksi Profila-ohjelman ja Headpowerin vakiorakenteiden käyttö osoitautui keskeiseksi työkaluksi kustannustehokkuuden parantamisessa, kuten myös teoriaosuudessa esitettiin. Sen sijaan maanomistajayhteistyön painoarvo näyttäytyi käytännössä paljon suurempana kuin teoriassa usein kuvataan erityisesti kustannusten osalta.

Eettisesti työ toteutui hyvän tutkimustavan mukaisesti: kaikki haastateltavat osallistuivat vapaaehtoisesti ja anonymisti, ja heidän näkemyksensä esitettiin kunnioittavasti ja asiasisältöön keskittyen. Työssä ei pyritty yksittäisten henkilöiden tai organisaatioiden arviointiin, vaan ilmiöiden ja käytäntöjen tunnistamiseen laajemmassa kontekstissa.

Jatkossa tällaisen työn voisi toteuttaa myös osallistavammin, esimerkiksi työpajojen tai palautekeskustelujen muodossa, jolloin suunnittelukäytäntöjen kehittämisestä tulisi aidosti vuorovaikutteinen prosessi. Lisäksi suunnittelun ja toteutuksen välistä jatkuvaa oppimista voitaisiin vahvistaa esimerkiksi rakentamisen aikaiseen palautetietoon perustuvilla käytännöillä.

Tutkimuksen luotettavuutta vahvistaa se, että haastatteluihin osallistui viiden eri ammattiryhmän edustajia eri verkkoyhtiöistä ja Elveralta sekä maanrakennusyrityksiltä. Haastatteluaineisto analysoitiin laadullisen sisällönanalyysin keinoin ja ryhmiteltiin teemoihin systemaattisesti. Mahdollisina rajoitteina voidaan pitää haastattelujen laadullista luonnetta ja sitä, että osa havainnoista voi heijastaa yksittäisten toimijoiden kokemuksiin eikä välttämättä ole yleistettävissä kaikkiin tilanteisiin.

9.3 Jatkotutkimukset

Opinnäytetyön aikana nousi esiin kaksi selkeästi erottuvaa jatkotutkimustarvetta, joiden tarkempi tarkastelu voisi merkittävästi edistää sähköverkkosuunnittelun laatua, yhdenmukaisuutta ja kustannustietoisuutta. Nämä aiheet liittyvät toisaalta suunnittelijan työn tueksi laadittavaan ohjeistukseen ja toisaalta suunnitteluratkaisujen vaikutusten laaja-alaisempaan taloudelliseen tarkasteluun.

1. Maastosuunnittelijan ilmajohtoverkon suunnitteluohjeistus

Haastatteluissa nousi toistuvasti esiin tarve selkeälle, käytännönläheiselle ja kattavalle maastosuunnittelun ohjeistukselle. Tällä hetkellä suunnittelukäytännöt vaihtelevat paitsi yhtiöittäin, myös suunnittelijakohtaisesti, mikä saattaa aiheuttaa epäyhtenäisyyttä suunnitteluratkaisuissa ja toteutuksen tulokinnassa. Jatkotutkimuksen tavoitteena voisi olla maastosuunnittelijan työprosessin jäsentäminen: mitä vaiheita suunnittelu sisältää, millaisia tietoja ja havaintoja tarvitaan eri vaiheissa ja millaisia rakenteellisia tai reittiratkaisuja eri tilanteissa suositaan.

Tutkimus voisi perustua kokeneiden suunnittelijoiden työskentelytapojen systemaattiseen havainnointiin, dokumenttien ja suunnitelmien analyysiin sekä rakentamisen jälkeiseen palautteeseen. Ohjeistus ei korvaisi ammatillista harkintaa, mutta loisi yhteisen perustan, jonka varaan uusi suunnittelija voi rakentaa osaamistaan ja jonka avulla verkkoyhtiöt voivat varmistaa suunnittelun laatua ja yhtenäisyyttä. Tällainen ohjeistus voisi olla myös osa perehdytys- ja koulutuskäytäntöjen kehittämistä.

2. Laajennettu kustannusvertailututkimus, mukaan lukien maakaapelointi

Toinen merkittävä jatkotutkimuksen aihe on kattava ja määrällisesti perusteltu kustannusvertailu ilmajohtoratkaisujen eri vaihtoehtojen välillä mukaan lukien vertailu maakaapelointiin. Tässä tutkimuksessa olisi tärkeää tarkastella sekä investointikustannuksia että koko elinkaaren aikaisia kustannuksia, kuten kunnossapito-, vianhoito-, lupamenettely- ja ympäristövaikutuksia. Lisäksi olisi hyödyllistä arvioida riskitekijöitä, kuten myrskytuhojen alttius, korjausnopeus ja maisemavaikutukset, ja mallintaa näiden taloudellisia seuraamuksia.

Vertailun tulisi kattaa erilaisia maasto-olosuhteita (esim. metsä-, pelto- ja kallioalueet), ympäristövaatimuksia (suojelualueet, pohjavesialueet) ja infrastruktuurien läheisyyttä (teiden ja rakennusten läheisyys). Tutkimuksen tuloksena voisi syntyä työkalu tai malli, jonka avulla suunnittelijat ja verkkoyhtiöt voivat vertailla vaihtoehtoja paitsi investointihintojen, myös elinkaaren ja riskien perusteella. Tämä tukisi päätöksentekoa tilanteissa, joissa vaihtoehtoja joudutaan arvioimaan paitsi teknisesti, myös taloudellisesti ja yhteiskunnallisesti kestäväällä tavalla.

LÄHTEET

- Caruna Oy 2020. Miten Sähkö tuli Suomeen? Pikakertaus historiasta nykypäivään. <https://caruna.fi/ajankohtaista/miten-sahko-tuli-suomeen-pikakertaus-historiasta-nykypaivaan>. Viitattu 22.4.2025.
- ChatGPT 2025. OpenAI. GPT-4o. Käytetty kielentarkistukseen, toukokuu 2025. <https://chatgpt.com>
- Elenia Verkko Oyj 2024. Sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelma. <https://www.elenia.fi/files/7de6352466519085b01903cc8d352d1f0a954444/elenia-avoin-2024-kehittamissuunnitelma.pdf>. Viitattu 11.5.2025.
- Elenia Verkko Oyj 2025. Puuston käsittely. <https://www.elenia.fi/sahkoverkko/sahkoverkon-rakentaminen-ja-yllapito/puustonkasittely>. Viitattu 10.5.2025.
- ELY-keskus. Kaapelit, johdot ja putket tiealueella. Verkkajulkaisu. Päivitetty 08.04.2025. <https://www.ely-keskus.fi/kaapelit-johdot-ja-putket-tiealueella>. Viitattu 26.4.2025
- Energiavirasto 2022. Sähköverkkoliiketoiminnan kehitys, sähköverkon toimitusvarmuus ja valvonnan vaikuttavuus 2022. Raportit ja selvitykset. <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/160912074/Vaikuttavuusraportti+2022.pdf/41fec096-38e9-cf39-550c-bda74289ba7f/Vaikuttavuusraportti+2022.pdf?t=1686308327503>. Viitattu 12.5.2025.
- Energiavirasto 2024a. Energiaviraston kestävyysraportti. Raportit ja selvitykset. <https://energiavirasto.fi/kestavyysraportti-2024>. Viitattu 9.5.2025.
- Energiavirasto 2024b. Sähköverkonhaltijan syrjimättömyyden varmentamista koskevasta toimenpideohjelmasta ja raportoinnista. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/09/Energiaviraston-ohje-syrjimattomytta-koskevasta-toimenpideohjelmasta.pdf>. Viitattu 12.5.2025.
- Filpus, L. 2022. Sään aiheuttamien vahinkojen ennakointi paranee. Varmuuden vuoksi. Viitattu 28.4.2025
- Headpower 2003a. Vakiorakenteet: rakennekuvat. A-pylväs. Sisäinen ohjeistus. Viitattu 06.05.2025.
- Headpower 2003b. Vakiorakenteet: rakennekuvat. Harustusmallit 1-pylväälle. Sisäinen ohjeistus. Viitattu 06.05.2025.
- Headpower 2003c. Vakiorakenteet: rakennekuvat. Puupylväät. Sisäinen ohjeistus. Viitattu 06.05.2025.
- Headpower 2023. Vakiorakenteet: rakennekuvat. Raskas tukipylväs. Sisäinen ohjeistus. Viitattu 06.05.2025.
- Headpower 2025a. Infra Work Manager. <https://headpower.fi/infra-work-manager/>. Viitattu 10.5.2025.
- Headpower 2025b. Vakiorakenteet. Sisäinen ohjeistus. Viitattu 7.5.2025.
- Heikkinen, A. 2025. 360-kameran käyttö sähkönjakeluverkon maastosuunnittelussa. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202505059165>. Viitattu 23.5.2025.

HE 265/2020 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi sähkömarkkinalain ja sähkö- ja maakaasu markkinoiden valvonnasta annetun lain 14 §:n muuttamisesta. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/HE_265+2020.pdf. Viitattu 12.5.2025.

Ilmatar Energy Oy, n.d. Energian varastointi. <https://ilmatar.com/fi/mita-teemme/energian-varastointi>. Viitattu 28.4.2025

Järvi-Suomen Energia Oy 2024. Jakeluverkon kehittämissuunnitelma. Päivitetty 24.6.2024. https://www.jseoy.fi/wp-content/uploads/2024/06/jakeluverkon-kehittamissuunnitelma_jarvi-suomen-energia-oy_2024_julkinen.pdf. Viitattu 28.4.2025

Järvi-Suomen Energia Oy 2025. Sähköverkon suunnittelu ja yksityiset maanomistajat. <https://www.jseoy.fi/tietoa-meista/sahkoverkko/sahkoverkon-suunnittelu-ja-yksityiset-maanomistajat/>. Viitattu 13.5.2025.

KSS Energia Oy 2025. Maastosuunnittelu. <https://www.kssenergia.fi/rakennuttajalle/maastosuunnittelu>. Viitattu 13.5.2025.

Liikennevirasto 2018. Sähkö- ja telejohdot ja maantiet. Verkkojulkaisu. Päivitetty 23.10.2018. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-03_sahko_telejohdot_web.pdf. Viitattu 14.5.2025.

Lakervi, E & Partanen, J. 2008. Sähköjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto. <https://savonia.finna.fi/Record/savonia.995065962506248?sid=5013351350>. Viitattu 02.05.2025.

Lassila, J., Haakana, J., Saleem, A. & Räisänen, O. 2024. Roudan vaikutus sähköjakelun ilmajohtoverkkojen vikaantumiseen ja sähköverkkoliiketoimintaan, Lappeenranta: Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Viitattu 28.4.2025.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Ilmajohtojen sekä kaapeleiden ja putkijohtojen asettaminen vesialueella. Verkkojulkaisu. Julkaistu 14.06.2021. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Ilmajohtojen%20sek%C3%A4%20kaapeleiden%20ja%20putkijohtojen%20asettaminen%20vesialueella_lopullinen.pdf. Viitattu 26.4.2025.

Liikennevirasto 2018. Sähkö- ja telejohdot ja maantiet. Verkkojulkaisu. Päivitetty 23.10.2018. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-03_sahko_telejohdot_web.pdf. Viitattu 14.5.2025.

Luonnonsuojelulaki 9/2023. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2023/9>. Viitattu 2.5.2025

Maanmittauslaitos 2025. Karttapaikka. <https://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/karttapaikka>. Viitattu 27.3.2025.

Maantielaki 503/2005. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2005/503>. Viitattu 26.4.2025.

Motiva Oy 2024. Sähkön kulutusjousto - Joustavaa ja älykästä sähkönkäyttöä. Päivitetty 22.11.2024. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/sahkon_kulutusjousto. Viitattu 28.4.2025.

Mäkelä, M. 2022. Kustannustehokkaan sähköverkon kehittämissuunnitelma Lahti Energia Sähköverkko Oy:n jakelualueella. Diplomityö. LUT-yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022061346027>. Viitattu 23.5.2025.

Oulun Energia Sähköverkko Oy 2025. Tietoa maanomistajalle sähköverkon rakentamisesta. <https://www.ouluenergia.fi/sahkoverkko/ohjepankki/tietoa-maanomistajalle/>. Viitattu 14.5.2025.

Pajala, H. 2024. Profila Cenelec – Ilmajohtosuunnittelu. Koulutusmateriaali. Profila Cenelec Oy 23.04.2024.

Pekkarinen, J. 2024. Suunnittelu, maastosuunnittelu, luvitus. PowerPoint-diat. Sähköverkon rakentaminen. Savonia-ammattikorkeakoulu 17.09.2024.

Ratalaki 110/2007. <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/2007/110>. Viitattu 26.4.2025.

Savon Voima 2020. Miksi säävarmaan sähköverkkoon voi tulla sähkökatko? Verkkojulkaisu. Julkaistu 4.5.2020. <https://savonvoima.fi/miksi-saavarmaan-sahkoverkkoon-voi-tulla-sahkokatko/>. Viitattu 12.5.2025.

SFS-EN 50341-1. 2014. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt. Helsinki: SFS Suomen standardit ry.

SFS-EN 50341-2-7:2023. 2023. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteellä. Osa 2–7. Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt. Helsinki: SFS Suomen standardit ry.

SFS 6001 2025. Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: SFS Suomen standardit ry.

SFS 6000 2022. Pienjännitesähköasennukset. Helsinki: SFS Suomen standardit ry.

STT 2018. Kilometri maakaapelia voi maksaa hankalassa paikassa jopa 100 000 euroa. YLE Uutiset. <https://yle.fi/a/3-10021646>. Viitattu 15.5.2025.

Sähkömarkkinalaki 588/2013. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2013/588>. Viitattu 26.5.2025.

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2016/1135>. Viitattu 26.4.2025.

Vesilaki 587/2011. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2011/587>. Viitattu 26.4.2025