

Sähköpölväiden mitoitusohjelman käytettävyyden parantaminen

Markku Savolainen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Markku Savolainen	
Työn nimi Sähköpylväiden mitoitusohjelman käytettävyyden parantaminen	
Päiväys 3.5.2012	Sivumäärä/Liitteet 67/4
Ohjaaja(t) lehtori Veijo Pitkänen, yliopettaja Juhani Rouvali	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Voimatel Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Voimatel Oy käyttää johtojen ja pylväiden mitoitukseen Cenelec-standardin mukaisia mitoitusohjelmia. Niiden käyttö on hankalaa ja virheille altista. Pylväiden mitoituksessa ei olisi varaa virheille, koska virheet voivat aiheuttaa pahimmillaan henkilövahinkoja sekä aineellisia vahinkoja. Opinnäytetyön aiheena oli luoda uusi sähköpylväiden mitoitusohjelma, jonka käyttäminen on helppoa ja virheiden syntyminen olisi minimoitu.</p> <p>Opinnäytetyön tekeminen alkoi aiheeseen liittyvien materiaalien keräämisellä. Tarvittiin tietoa työssä käsiteltävään mitoitukseen liittyvistä standardeista sekä Excel VBA-ohjelmoinnista. Työssä tutustuttiin myös jakeluverkon rakenteeseen ja siihen liittyviin komponentteihin. Mitoitusohjelman tekeminen alkoi käyttöliittymän suunnittelulla. Käyttöliittymän ulkoasulle ei ollut vaatimuksia, mutta työn edetessä sen sisältöön vaikuttivat Voimatelin suunnittelijoiden ja asiantuntijoiden mielipiteet ja ehdotukset.</p> <p>Ohjelman tekeminen vaati tutustumisen myös Excel VBA-ohjelmointiin. Työssä vaadittiin toimintoja ja niiden automatisointia, johon tarvittiin VBA ohjelmointia. Opinnäytetyössä käytettiin hyödyksi jo olemassa olevaa johdon mekaanisen mitoituksen Excel-työkirjaa. Tämän ansiosta ei tarvinnut perehtyä syvällisesti itse laskentaan, joka oli ratkaisevassa asemassa työn onnistumiselle aikataulullisesti.</p> <p>Tavoitteeseen päästiin automatisoimalla laskentaa, minimoimalla annettavien tietojen määrä, es-tämällä tärkeiden tietojen tahaton muuttaminen ja visualisoimalla käyttöliittymä käyttäjäystävälliseksi. Opinnäytetyön tuloksena saatiin käytännöllinen työkalu jakeluverkon pylväiden ja johtojen suunnitteluun. Ohjelmaa voidaan kehittää edelleen jatkossa lisää.</p>	
Avainsanat sähköpylväs, Excel VBA	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Markku Savolainen			
Title of Thesis Improving the Usability of the Design Program for Electricity Poles			
Date	03 May 2012	Pages/Appendices	67/4
Supervisor(s) Mr. Veijo Pitkänen, Principal Lecturer, Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer			
Client Organisation/Partners Voimatel Ltd.			
<p>Abstract</p> <p>Voimatel Ltd uses programs which follow CENELEC standards in the dimensioning of electricity poles and distribution lines. The use of the programs is often difficult and prone to mistakes. There is no room for mistakes, because at worst, dimensioning errors can lead to structural failures which can cause more material damage and even personal injuries. The purpose of this final year project was to create a new dimensioning/design program which is easy to use and less prone to mistakes.</p> <p>This final year project started from searching materials related to the topic. Information was required about applicable dimensioning standards and Microsoft® Excel VBA programming. Also distribution network structure and related components were studied. The making of the dimensioning program started from the designing of the interface. Requirements were not given for the appearance of the interface. However, the final content and functionality of the interface were affected by opinions and suggestions from designers and specialists at Voimatel Ltd during the implementation of this work.</p> <p>The making of the program required getting familiar with Microsoft® Excel VBA programming. Automation was needed in this project and VBA programming was applied in the program to carry out necessary functions automatically. The subject of this project was unfamiliar and therefore it was a great challenge. A possibility to utilize existing dimensioning programs made this project easier when very deep familiarization to the dimensioning calculations was not needed. This was crucial for the success of this work on schedule.</p> <p>The results of this final year project were achieved by automating the calculation, minimizing the input information, preventing accidental critical data modification and by more user-friendly visualized interface. The final year project objectives were achieved and the end result was a practical tool for the dimensioning of the distribution lines and electricity poles. There is still development potential left in the program.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Electricity poles, Excel VBA</p>			

ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Voimatel Oy:lle keväällä 2012.

Kiitän Voimatel Oy:tä kiinnostavan opinnäytetyön tarjoamisesta. Lisäksi kiitän Voimatelin henkilökunnasta suunnittelun projektivastaavaa Matti Räsästä sekä verkosto-suunnittelija Petri Mäkeä opinnäytetyön aikana saadusta opastuksesta ja neuvoista. Tahdon kiittää myös opinnäytetyön ohjaajaa lehtori Veijo Pitkästä ja yliopettaja Juhani Rouvalia opinnäytetyön tekemiseen liittyvästä ohjauksesta ja opastuksesta.

Kuopiossa 1.5.2012

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	VOIMATEL OY	9
3	OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖTILANNE	10
4	UUDEN OHJELMAN VAATIMUKSET	11
5	SÄHKÖNJAKELU	12
	5.1 Keskijänniteverkko	12
	5.2 Pienjänniteverkko	12
6	JAKELUVERKON PYLVÄÄT	13
7	ILMAJOHTOTARVIKKEET	14
	7.1 Standardipylväät	14
	7.2 Orret	16
	7.3 Johdot	17
	7.4 Harustus	18
8	ILMAJOHTOSTANDARDIT	19
	8.1 Vahvavirtailmajohtomääräykset (VIM)	19
	8.2 SFS-käsikirja 603	19
9	JOHDON MITOITTAMINEN	21
	9.1 Johdon mitoitukseen vaikuttavat muuttujat	21
	9.2 Standardin mukaiset tuuli- ja jääparametrit	28
	9.3 Standardin mukaiset kuormaparametrit	33
10	PYLVÄÄN MITOITTAMINEN	39
	10.1 Pylväskoot	39
	10.2 Pylväsrakenteet	41
	10.3 Pylvään mitoitukseen liittyvät muuttujat ja parametrit	45
	10.4 Harustuksessa vaikuttavat voimat	47
11	EXCEL VBA	48
	11.1 Moduuli	48
	11.2 Käyttäjälomake	48
	11.3 Aliohjelma	48
	11.4 Makro	49

12 KÄYTTÖLIITTYMÄN OHJELMOINTI	50
12.1 Visual Basic.....	50
12.2 Suoritettavat ohjelmat	52
12.3 Käyttöliittymän ohjauspainikkeet.....	54
12.4 ActiveX -ohjauspainike	56
12.5 Ehtolause.....	57
12.6 Käyttäjälomake	60
12.6.1 Käyttäjälomakkeen luonti	61
12.6.2 Käyttäjälomakkeen ohjaus.....	63
13 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS.....	64
14 YHTEENVETO.....	66
LÄHTEET	67

LIITTEET

Liite 1 Mitoitusohjelman käyttöohjeet

Liite 2 Käyttöliittymä-ikkuna

Liite 3 Yhteenveto-ikkuna

Liite 4 Asennusvoimat - ja riippumat -ikkuna

1 JOHDANTO

Työn aiheena on sähköpylväiden mitoitus ja siihen liittyvien jo olemassa olevien laskentataulukoiden käytön yksinkertaistaminen. Sähköverkon suunnittelijat käyttävät ohjelmaa linjan eri kohtiin tarvittavien pylväiden mitoituksen laskentaan. Laskennassa huomioidaan mm. maasto-olosuhteet, pylvääseen tulevien johdinten tyypit sekä erilaisten sääolosuhteiden vaikutus.

Nykyisellään ohjelman käyttö edellyttää tietojen syöttöä työkirjan jollekin sivulle sekä tämän jälkeen ohjelman laskemien välitulosten kopiointia ja liittämistä leikepöydän kautta työkirjan tietyiltä sivuilta toiselle. Näin ollen ohjelman käyttö on hankalaa ja myös virheille altista.

Tavoitteena on automatisoida laskentaa niin, että suunnittelija syöttää (ehkä valitsee valmiista poimintalistaista) tarvittavat lähtötiedot, minkä jälkeen ohjelma kokoaa tulokset ja esittää, millainen pylväs annetuilla lähtötiedoilla kyseiseen linjan kohtaa tarvitaan. Käytännössä työ edellyttää perehtymistä laskennassa tarvittavaan käsitteistöön ja VBA-ohjelmointiin Excel-ympäristössä.

2 VOIMATEL OY

Voimatel on kotimainen energia-, sähkö- ja tietoverkkojen rakentaja sekä kunnossapidon palvelutuottaja. Tuotteet ja palvelut on suunniteltu asiakaslähtöisesti, ja ne ovat laadukkaita sekä kilpailukykyisiä osa- tai kokonaistoimituksia. Energiatehokkuuteen ja ympäristön huomioonottamiseen on panostettu, ja on tärkeä osa Voimatelin arvoa ja toimintatapaa. (Voimatel Oy 2012a.)

Voimatelin asiakkaita ovat teleoperaattorit, kunnat, kaupungit, taloyhtiöt ja yksityishenkilöt, siirto- ja jakeluverkkoyhtiöt sekä teollisuus. Voimatel on voimakkaasti laajeneva valtakunnallinen toimija. Toimipaikat sijaitsevat tällä hetkellä Etelä- ja Keski-Suomessa Kymenlaaksosta Kainuuseen. Projektitoimituksia tarjotaan koko Suomen alueella. (Voimatel Oy 2012b.)

Kaikki palvelut toteutetaan suunnittelusta dokumentointiin saakka asiakaslähtöisinä kokonaisuuksina ja kaikkein vaativimmatkin tarpeet huomioiden. Asiantuntemus perustuu pitkään käytännön kokemukseen sekä palveluiden ja henkilöstön jatkuvaan kehittämiseen. (Voimatel Oy 2012b.)

Voimatel perustettiin sähkö- ja televerkonrakentamista harjoittavaksi yhtiöksi 1.5.2001. Perustajaosakkaina olivat Savon Voima Oy sekä Kuopion Puhelin Oy. Alkuvaiheessa mukaan tuli myös IVO Transmission Engineering Oy, josta tuli myöhemmin ELTEL Networks Oy. Voimatelin historia perustuu näin ollen vankkaan pohjoissavolaiseen sähkö- ja teleosaamiseen sekä vahvaan voimajohto-osaamiseen, joka on perua jo kantaverkkoyhtiö IVO:n ajoilta. (Voimatel Oy 2012c.)

Eri vaiheiden kautta nykyinen Voimatel on kasvanut liikevaihdollisesti kaksi kertaa suuremmaksi ja alueellisesti toiminta on laajentunut Pohjois-Savosta maanlaajuiseksi. Omistajia ovat nykyisin Osuuskunta KPY (78,5 %), Savon Voima Oy (17,3 %) ja Voimatelin henkilöstö (4,2 %). (Voimatel Oy 2012c.)

3 OPINNÄYTETYÖN LÄHTÖTILANNE

Opinnäytetyön tarkoituksena on helpottaa verkostosuunnittelijoiden käyttämän pylväänmitoitushjelman tai tarkalleen ottaen useamman ohjelman käyttöä. Pylväänmitoitukseen liittyy siis kaksi erillistä Excel-taulukkoa.

Ensimmäisessä taulukossa valitaan johto sekä syötetään johdon mitoitukseen liittyvät muuttujat. Muuttujia ovat esimerkiksi kiristysväli ja ekvivalenttijänne. Kun käyttäjä on syöttänyt nämä tiedot, hän kopioi taulukon pylväskuormat kohdasta oikean kuormitustyyppin kohdalta pylvääseen vaikuttavan vaakavoiman ja pystyvoiman. Tämän jälkeen kopioidut tiedot liitetään toiseen taulukkolaskentaohjelmaan.

Toisen laskentataulukon tehtävänä on näyttää millainen pylväs kyseessä olevaan tilanteeseen käy. Taulukkoon liitetään edellisen kappaleen taulukosta saadut vaakavoima ja pystyvoima (jokaiselle johdolle erikseen). Näiden lisäksi käyttäjän pitää syöttää muita parametreja, jotka vaikuttavat laskentaan. Parametreja ovat esimerkiksi haruskaltevuus ja johtojen latvaetäisyydet. Näiden tietojen syöttäminen vaatii käsin laskentaa. Taulukko antaa lopputuloksena vaihtoehdot sopivista pylväistä ja esimerkiksi harustetulla pylväällä harusten lukumäärän. Ohjelma ei kuitenkaan anna kahdesta pisteestä harustetulla pylväällä alemmalle harustuskohdalle erikseen harusten lukumäärää. Tästä syystä suunnittelijalla on oltava omassa selkäytimessä arvio harusten määrästä eri kohdissa pylvästä.

4 UUDEN OHJELMAN VAATIMUKSET

Lähtötilanteessa oli siis kaksi erillistä laskentaohjelmaa. Vaatimuksena uudelle ohjelmalle on se, että käyttäjän ei tarvitse käyttää monta eri työkirjaa, vaan kaikki tarvittavat tiedot annetaan yhdelle käyttöliittymälle. Tietoja voidaan syöttää joko kirjoittamalla tai valintalistosta.

Vaatimusten perusteella piti lähteä kokoamaan tietoja, joita käyttäjän pitää antaa mitoituksen eri tilanteissa. Valtaosa erilaisista muuttujista löytyi entisestä työkirjasta. Tarvittiin kuitenkin muitakin muuttujia, jotka vaikuttavat olennaisesti laskentaan. Lisäksi ohjelman yhtenä ominaisuutena olisi vähentää käyttäjän syöttämien tietojen määrää. Tietyillä ehdoilla määräytyvät tiedot tulisi automaattisesti muuttua ohjelman sisäisessä laskennassa. Esimerkiksi muutettaessa maastotyyppiä pitää pylvääseen vaikuttavan tuulenpaineen muuttua mitoituksessa automaattisesti, koska se on riippuvainen tietyiltä osin maastotyyppistä.

Uuden ohjelman yksi ehkä tärkeimmistä ominaisuuksista olisi sen käytettävyys. Tämä tarkoittaa siis sitä, että käyttäjän ei tarvitse miettiä, mitä tietoja hänen täytyy antaa ohjelmalle. Ohjelman käytettävyyttä saadaan parannettua värikoodilla ja ylimääräisten tietojen hävittämisellä käyttöliittymäikkunasta. Esimerkiksi johtojen lukumäärä pylväällä vaikuttaa valintalistojen näkyvyyteen. Jos on valittuna yksi johto, poistetaan kaikki muu kuten esimerkiksi johdon 2 ja 3 tiedot. Värikoodien käytöstä on hyötyä kun halutaan erotella käyttäjän antamat tiedot ja ohjelman antamat tiedot toisistaan.

Käyttöliittymään syötettävistä tiedoista osa on sellaisia, joiden muuttaminen vahingossa tai tietämättömyyttään aiheuttaisi mitoituksen epäonnistumisen ja siten voisi aiheuttaa vaaraa ihmisille. Näiden tietojen muuttamiselle pitäisi keksiä jotain, jolla voitaisiin estää niiden tahaton muuttaminen. Yhtenä vaihtoehtona on kertoa käyttäjälle, mitä on tekemässä, tai rakentaa salasanasuojaus, jolloin tietojen muuttaminen olisi varmasti tahallista.

5 SÄHKÖNJAKELU

Sähkönjakelujärjestelmän tehtävänä on siirtää voimansiirtojärjestelmän eli suurjännitelinjoiden kautta tuleva tai suoraan jakeluverkkoon liitettyjen voimalaitosten tuottama sähkö sähkökäyttäjille. Sähkönjakelujärjestelmä muodostuu alueverkosta (110 kV), sähköasemista (päämuuntajat 110/20 kV), keskijänniteverkosta (20 kV), jakelumuuntajista (20/0,4 kV) ja pienjänniteverkosta (400 V). Sähkönjakelujärjestelmä koostuu monista yksittäisistä komponenteista, pylväistä, johdoista ja kaapeleista.

5.1 Keskijänniteverkko

Keskijänniteverkko ylläpitää sähköverkon yhteyksiä muuntoasemien ja kulutuspuisteiden välillä. Keskijänniteverkko muodostaa yhdessä 110 kV johtojen ja sähköasemien kanssa yhtenä kokonaisuutena toimivan jakelujärjestelmän. Keskijänniteverkko vaikuttaa hyvin olennaisesti verkon käyttövarmuuteen. Keskijänniteverkon jännitetaso on Suomessa 20 kV, mutta kaupungeissa on edelleen käytössä myös 10 kV jännitetaso. Maaseudulla keskijänniteverkko on rakennettu valtaosin avojohtoina, taajamissa yleensä maakaapelina. (Lakervi & Partanen 2009, 125.)

5.2 Pienjänniteverkko

Jakelumuuntamoista lähteviä linjoja kutsutaan pienjännitejakelulinjoiksi. Niiden jännite on Suomessa 400 V ja niiden tehtävä on jakaa sähköä kuluttajille. Matalan jännitteen aiheuttamien suurten tehohäviöiden vuoksi pienjännitejakelun linjat ovat mahdollisimman lyhyitä, korkeintaan satoja metrejä. (Paatero 2001.)

6 JAKELUVERKON PYLVÄÄT

Keskijännite- ja pienjännitejakeluverkko on valtaosin tehty ilmajohtoilla, jotka on ripustettu pylväiden varaan. Johdot on siten helpompi sijoittaa maastoon monenlaisiin eri olosuhteisiin. Verkon rakenteeseen vaikuttaa erilaisia kulmia, korkeuseroja ja jännitteen pituuksia. Kun otetaan huomioon oikealla tavalla kaikki mitoitusliittymä- ja nimuotoisuus johdon ja pylväiden suunnittelussa, voidaan valita pylvästyypit ja koot jokaiseen tilanteeseen erikseen. Siten voidaan päästä taloudellisiin säästöihin. Suomessa ylivoimaisesti suosituin pylväsmateriaali on puu. Se on myös taloudellisesti edullisin vaihtoehto. (Iivari Mononen Oy 2012.)

Puiset standardipylväät on luokiteltu latvahalkaisijan mukaan luokkiin 1 - 5, Luokan 1 pylväitä käytetään kuitenkin harvoin sähkön siirrossa, mutta voidaan käyttää vain pienjänniteverkkoa tehtäessä. Puupylväiden käyttöikä on 40 – 80 vuotta sääolosuhteista ja pylvään yksilöllisistä ominaisuuksista riippuen. Puulla on hyvät sähköneristysominaisuudet ja se on siten turvallisempi kuin teräs ja betoni. Puupylväisiin ei tarvita maadoitusta, ja siten puu vaimentaa salamoiden aiheuttamia jännitteen läpilyöntejä ja valokaaria. (Iivari Mononen Oy 2012.)

Puupylväillä on alhaiset kuljetus- ja varastointikustannukset. Puupylväs kestää hyvin käsittelyä ja pintavaurioita, jos verrataan esimerkiksi galvanoidun metallipylvään pintaan. Galvanoidun pylvään pinnan rikkoutuessa se alkaa heti syöpyä. Puu kestää enemmän kuormitusta kuin esimerkiksi teräs tai betoni. Tämän vuoksi puupylväillä voidaan rakentaa pidemmät jännevälit ja siten niitä tarvitaan vähemmän. Puupylväät voidaan pystyttää suoraan maahan upottamalla ja siksi ne eivät tarvitse erillisiä perustuksia. Puun työstettävyys sekä johtojen ja lisätarvikkeiden kiinnittäminen on helppoa. (Iivari Mononen Oy 2012.)

7 ILMAJOHTOTARVIKKEET

7.1 Standardipylväät

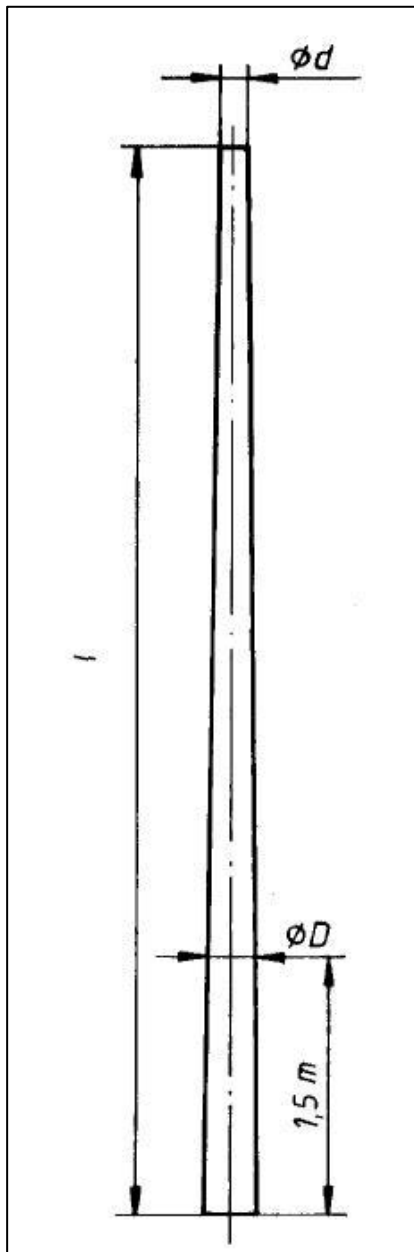
Keski- ja pienjänniteilmajohtojen sekä pienten 110 kV ilmajohtojen ripustamiseen käytetään Suomessa painekyllästettyjä puupylväitä. Puupylväät määritellään standardissa SFS 2662. Luokittelu tehdään latvahalkaisijan ja pituuden perusteella. Luokkia on viisi ja ne ovat taulukon 1 mukaiset. Kuviossa 1 on tarkemmin esitetty pylväiden luokittelussa käytetyt mitat.

TAULUKKO 1. Standardin mukaiset pylvään mitat (SFS 2662.)

Pylvään	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3	Luokka 4	Luokka 5
	$d_{min} = 130$	$d_{min} = 150$	$d_{min} = 170$	$d_{min} = 190$	$d_{min} = 210$
pituus	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
<i>l</i>	D_{min}	D_{min}	D_{min}	D_{min}	D_{min}
<i>m</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
7	160	170	185		
8	170	180	195		
9	180	195	210	225	240
10	190	205	220	240	255
11	200	215	230	250	270
12	210	225	240	260	280
13	220	235	255	270	290
14	225	250	265	280	300
15		260	280	290	310
16		270	290	300	320
17			300	315	330
18			310	325	345

Taulukossa 1 on esitetty valmiiden pylväiden vähimmäishalkaisijat. Jos tyvimitta alittaa kyseisen luokan halkaisijavaatimuksen, pylvästä pidetään seuraavan alemman luokkaan kuuluvana pylväänä. Tyvihalkaisijalla D tarkoitetaan 1,5 m päästä tyvestä mitattua halkaisijaa. Pylvään on täytettävä määräpituutensa ± 100 mm tarkkuudella. (SFS 2662.)

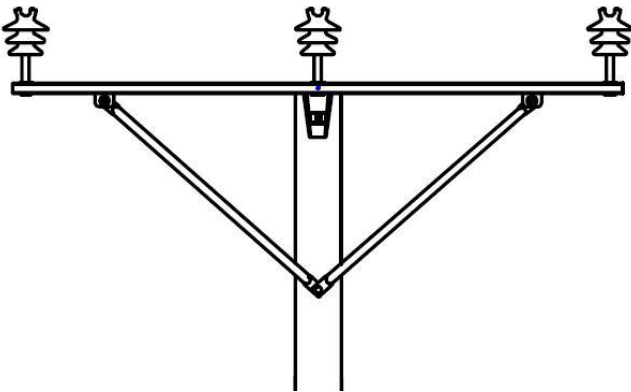
Pylvään lyhennyksen saa tehdä vain latvasta, jotta merkkauslevyke jää oikealle korkeudelle tyvestä. Merkkauslevykkeen paikasta on nähtävillä upotussyvyys. Upotussyvyyden tarkastus tulee kysymykseen, kun maaperä painuu pystytyksen jälkeisenä aikana.



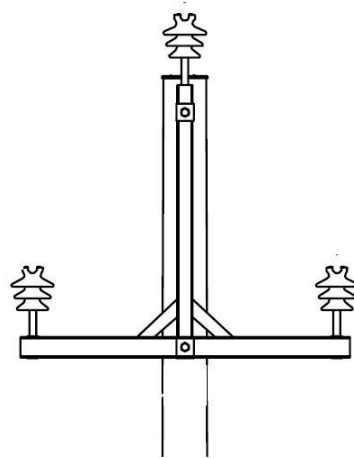
KUVIO 1. Pylvään mitat

7.2 Orret

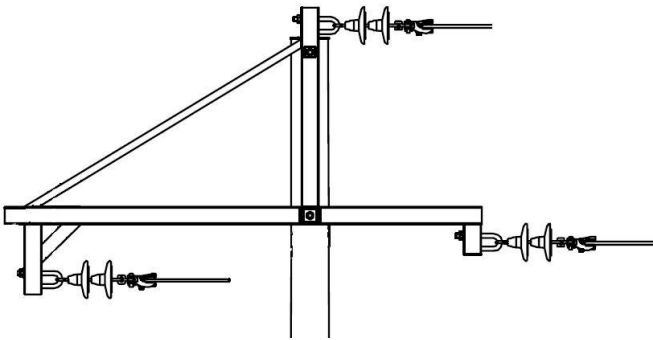
Orret ovat jakeluverkon johtojen kannattelijoita. Avojohtot ja päällystetyt PAS-johdot on kiinnitetty orsiin eristimien avulla. Orsi on kiinnitetty pylvään latvaan. Orren rakenne riippuu paikasta, jonne se on tulossa sekä johtotyypistä. Myös johtokulmalla on iso merkitys käytettävän orren rakenteeseen. Tavallisimpia orsirakenteita ovat taso-orsi, kolmio-orsi ja näiden kulmaorsivariaatiot. Kuvioissa 2, 3, 4 ja 5 on näiden tavallisimpien orsien rakennekuvat.



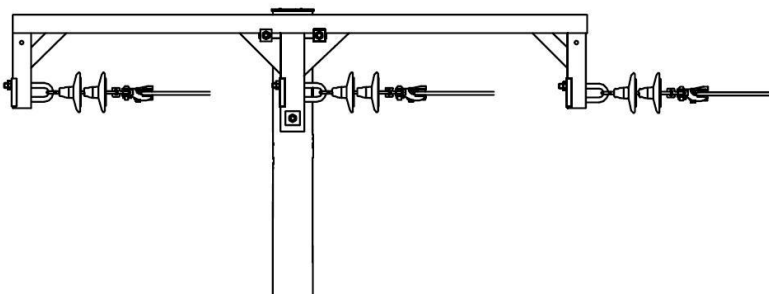
KUVIO 3. Taso-orsi



KUVIO 2. Kolmio-orsi



KUVIO 4. Kolmiokulmaorisi



KUVIO 5. Tasokulmaorisi

7.3 Johdot

Sähköenergian siirrossa ja jakelussa käytettävät johdot ovat rakenteeltaan ilmajohto- ja tai kaapeleita. Kaapeleiksi tulkitaan sellaiset johtoratkaisut, joissa jännitteellisten johtimien eristämiseen on käytetty muuta kuin ilmaa. Määräysten mukaan rakenne kuitenkin määräytyy asennustavan mukaan. (Elovaara 2011, 250.)

Ilmajohdot voidaan jakaa niiden rakenteen perusteella avojohtoihin, päällystettyihin avojohtoihin ja riippukaapeleihin. Jakeluverkossa avojohtoja käytetään nykyään pääasiassa keskijännitteellä. Pienjänniteavojohtoja ei enää rakenneta ja vanhoja avojoh- to linjoja muutetaan saneerausten yhteydessä riippukaapeleiksi. (Elovaara 2011, 287.)

Avojohtojen johtimet ovat päällystämättömiä. Avojohtojen johtimet, joissa on käytetty alumiinia, voidaan jakaa teräsvahvisteisiin alumiinijohtimiin, teräsvahvisteisiin alumii- niseosjohtimiin, alumiinijohtimiin ja alumiiniseosjohtimiin. Avojohtoilla on kolme erillis- tä johdinta, jotka on erotettu toisistaan erilaisin orsirakentein.

Päällystettyjä avojohtimia kutsutaan PAS-johtimiksi. Ne eroavat avojohtimista siten, että niiden pinnalla on ohut muovinen eristekerros. Päällyste sallii vaihejohtimien yh- teenlyönnit ja esimerkiksi puun kaatuessa linjalle se kestää jännitteisenä useita vuo- rokausia. Tämän ansiosta käyttöhäiriöt vähenevät ja johdinvauriot jäävät pieniksi. (Elovaara 2011, 287.)

Pienjänniteverkkojen riippukierrekaapeli on AMKA. Siinä on kierretty PE (polyeteeni) eristeiset vaihejohtimet kannatusköyden ympärille. Vetorasitus kohdistuu vetojohti- mena toimivaan nollajohtimeen. (Elovaara 2011, 286.)

Keskijänniteverkon riippukierrekaapeli on SAXKA. Siinä yksivaiheiset kaapelit on kier- retty teräksisen kannatusköyden ympärille, kuten AMKA:ssa. Johtimissa on erillinen johdinsuoja ja hohtosuoja. Johdineriste on silloitettua polyeteeniä PEX ja vaippa suur- tiheyksistä polyeteeniä HDPE. (Elovaara 2011, 286.)

7.4 Harustus

Harusta tarvitaan tukemaan pylväitä taipumiselta ja jopa kaatumiselta. Harusten avulla saadaan aikaiseksi vastavoima pylvästä kallistaville tai taivuttaville voimille.

Harustus muodostuu teräsköydestä ja sen kiinnittämiseen ja ankkurointiin liittyvistä tarvikkeista. Harusköysiä on eri vahvuisia, mutta keskijänniteverkon harustuksissa yleisimmin käytössä oleva köysi on tyyppiltään St 25. Tämän tyyppisen köyden maksimivetoarvo laskennassa on 17,5 kN. Taulukossa 2 on annettu SFS 5701:n mukaiset teräsköysien ominaisuudet.

TAULUKKO 2. Teräsköysien rakenteet, mitat ja ominaisuudet

Köyden nimitys	Poikkipinta mm ²	Langat		Koko köyden nimellisarvoja		
		Lukumäärä	Halkaisija mm	Halkaisija mm	Murtokuorma kN	Massa kg/km
St 25	24,7	7	2,12	6,36	32,1	194
St 33	32,7	7	2,44	7,32	42,6	257
St 40	39,5	7	2,68	8,04	51,3	310
St 52	52,2	7	3,08	9,24	67,8	410
St 67	67,1	19	2,12	10,6	87,2	530
St 107	107	19	2,68	13,4	139	850
St 142	142	19	3,08	15,4	184	1120
St 185	185	19	3,52	17,6	240	1470

Harusköysien kiinnittämiseen ja ankkurointiin on monenlaisia tarvikkeita. Köysi kiinnitetään pylväaseen harusraudan, haruskiinnikkeen tai harussinkilän avulla. Haruksen ankkuroinnissa maan alle tarvitaan haruslaattaa, johon on kiinnitetty varsinainen silmus. Silmus voidaan kiinnittää myös esimerkiksi kallioon. Harusvaijeri kiinnitetään toisesta päästään silmukseen. Haruslaatta on tarkoitettu sähkö- ym. paalujen harusten ankkurointiin, joita on saatavilla reiällisenä pyöreänä laattana sekä reiällisenä suorakaidelaattana. Yleisesti käytössä olevan laatan maksimi kuorma vastaa kahden harusvaijerin maksimi vetokuormaa. Eli laattaan voidaan kiinnittää korkeintaan kaksi köyttä. Ehtojen ylittyessä pitää haruslaattoja laittaa niin monta kuin vaaditaan, mutta eri kohtiin. Harusvaijereiden määrä voi kuitenkin kasvaa, koska harusvoima kasvaa haruskaltevuuden kasvaessa. (ks. luvut 10.3 ja 10.4).

8 ILMAJOHTOSTANDARDIT

8.1 Vahvavirtailmajohtomääräykset (VIM)

Vanha kotimainen voimajohtojen suunnitteluohje VIM/A4-93 eli vahvavirtailmajohtomääräykset on vuoden 2012 alusta lopullisesti korvautunut CENELEC- järjestön voimajohtoille laatimilla eurooppalaisilla standardeilla EN 50341 (yli 45 kV jännitteiset johdot) ja EN 50423 (alle 45 kV jännitteiset johdot). (Sähköala 1 - 2/2012.)

8.2 SFS-käsikirja 603

SFS-käsikirja 603 Ilmajohtostandardit sisältää standardit SFS-EN 50341-1, 50341-1/A1, 50423-1, 50341-3-7 ja SFS 6003. SFS-EN 50341-1 on perustandardi, jossa on suunnitteluohjeet, laskentamenetelmät ja kaavat. SFS-EN 50423 täydentää standardia 50341, ja siinä on esitetty KJ- johdoilla sovellettavat täydennykset ja poikkeamat. SFS-EN 50341-3-7 on standardi, jossa on julkaistu Suomea koskevat vaatimukset ja lisäykset em. standardien lisäksi. (Sähköala 1-2/2012.)

Standardi SFS-EN 50341-1: 2002 koskee erityisesti yli 45 kV nimellisjännitteisiä johtoja, mutta se antaa kaikkia ilmajohtoja koskevat mitoitusperiaatteet. Tässä standardissa määritellään yleiset vaatimukset, joita on noudatettava uusien ilmajohtojen suunnittelussa ja rakentamisessa, jotta varmistuttaisiin, että johto on sopiva tehtävänsä ottaen huomioon henkilöturvallisuus, kunnossapito, käyttö ja ympäristökijät. Standardi SFS-EN 50341-1/A1 täydentää standardia SFS-EN 50341-1, joka sisältää muutoksia ja täydennyksiä. (SFS. Käsikirja 603. 2010.)

Standardi SFS-EN 50423-1 antaa yleiset vaatimukset keskijännitteelle eli yli 1 kV ja enintään 45 kV johdoille. Tätä standardia sovelletaan SFS-EN 50341-1 ja SFS-EN 50341-3-7 kanssa. (SFS. Käsikirja 603. 2010.)

Ilmajohtoihin vaikuttavat voimakkaasti paikalliset olosuhteet, esimerkiksi sää, maaston korkeussuhteet, maaperän laatu ja yleisesti käytetyt rakenneratkaisut. Sen takia on käytettävä eri maiden omia kansallisia velvoittavia määrittelyjä. Suomea koskevat vaatimukset on kerrottu standardissa SFS-EN 50341-3-7: 2010, NNA/FI (= National Normative Annex for Finland). (SFS. Käsikirja 603. 2010.)

CENELECin standardit eivät koske pienjänniteilmajohtoja. Suomessa pienjänniteilmajohtojen on kuitenkin haluttu tehdä omat standardinsa. Näitä ilmajohtoja varten on tehty kansallinen standardi SFS 6003. Tämä standardi täydentää suurjännitestandardeja SFS-EN50341-1 ja SFS-EN 50423-1 ja niitä täydentävää Suomen kansallista standardia SFS-EN 50341-3-7. Standardi koskee myös telejohtoja ja mekaanisia johtoja niiltä osin kuin ne ovat sähköjohtojen kanssa samoissa pylväissä. (SFS. Käsikirja 603. 2010.)

9 JOHDON MITOITTAMINEN

9.1 Johdon mitoitukseen vaikuttavat muuttujat

Kiristysväli

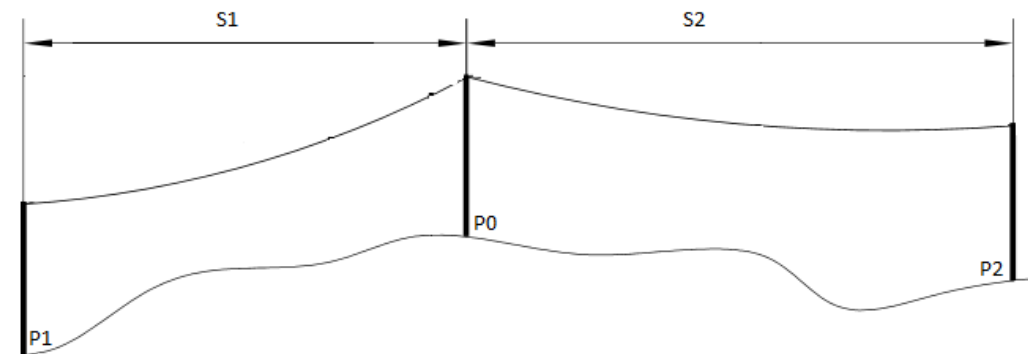
Kiristysväli on kahden kiristyspylvään (esim. johdon suunnassa kaksoisharustetun kulmapylvään) välinen matka, johon kuuluu useita jänteitä ja kannatuspylväitä.

Ekvivalenttijänne

Ekvivalenttijänne on kiristysvälin jänteistä laskettu jänne, jota käytetään köysivoimien laskentaan, kun kiristysvälissä on useampi kuin yksi jänne, kuten kuvassa 6.

Johdin voima voidaan laskea käyttämällä ekvivalenttimenetelmää edellyttäen, että johdin on ripustettu eristimillä, jotka sallivat tarvittavat siirtymät johdon suunnassa. Keskijännitejohdoilla riittävä siirtymä syntyy pylvään joustavuudesta, koska eristimet eivät salli siirtymää. Ekvivalentti menetelmä on voimassa, kun vierekkäisten jänteiden pituuksissa ei ole kovin suuria eroja.

Jänteiden välinen suhde $= \frac{S_2}{S_1} < \pm 1,5$.



KUVA 6. Ekvivalenttimenetelmän jänteet S1 ja S2

Riittävän tasaisilla maastoilla ekvivalenttijänne lasketaan yhtälön 1 mukaisesti.

$$L_R = \sqrt{\frac{\sum L_n^3}{\sum L_n}} \quad (1)$$

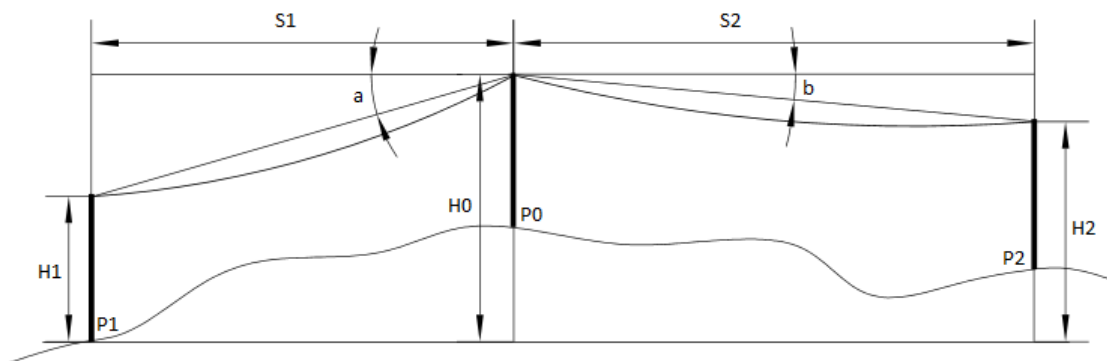
missä L_n on kunkin yksittäisen jänteen pituus kiristysvälillä.

Perustilan jännitys

Perustilan jännitys on jännityksen arvo johdolla, kun viruma on tapahtunut. Jännityksen arvo on määritetty 0- lämpötilassa. Siksi sitä kutsutaan myös nollasääjännitykseksi. Perustilan jännitys on erilainen eri johtimilla eli se on johdintyyppikohtainen. Esimerkiksi avojohdoilla jännityksen arvo on 45 N/mm^2 ja PAS- johdoilla se on 35 N/mm^2 . Perustilan jännitys otetaan huomioon jännitysanalyyseissä.

Johdon kaltevuus (Summa Y)

Summa Y tarkoittaa viereisten pylväiden nousukulmien tangenttien summaa. Nousukulma on käsiteltävän pylvään ja viereisen pylvään johtimien kiinnityskohtien kautta piirretyn suoran, ja vaakasuoran välinen kulma. Kuvassa 7 on esitetty kuinka summa Y määräytyy tarkasteltavalle pylväälle P0.



KUVA 7. Summa Y:n määräytyminen pylväälle P0.

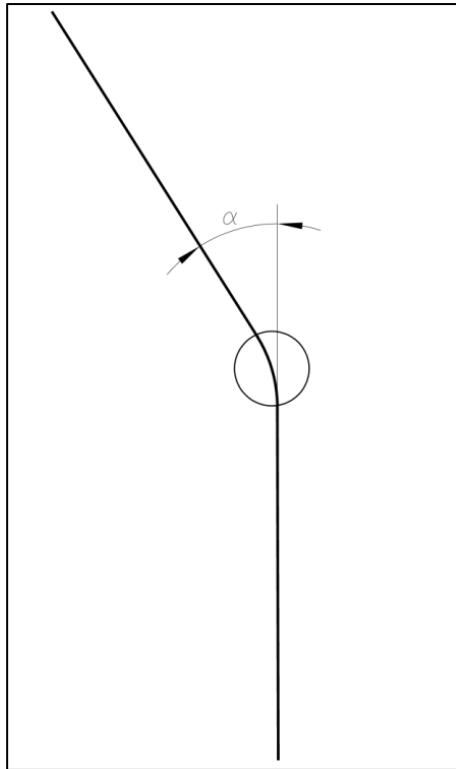
$$\text{Summa } Y = Y1 + Y2 \quad Y1 = \tan(a) = \frac{H0-H1}{S1} \quad Y2 = \tan(b) = \frac{H0-H2}{S2}$$

Positiivinen summa Y:n arvo tarkoittaa tarkasteltavalla pylväällä sitä, että pylvääseen vaikuttaa johtimien normaali pystyvoima sekä lisäksi kaltevuudesta johtuva pystyvoima. Negatiivinen summa Y:n arvo vähentää normaalia johtimista aiheutunutta pystyvoimaa. Kuvan 2 mukaisessa tilanteessa summa Y on varmasti positiivinen, koska viereiset pylväät P1 ja P2 ovat selvästi alempana kuin P0.

Käytännön suunnittelutyössä verkostosuunnittelijat saavat tiedot laskentaa varten GPS:llä maastossa mitatuista tuloksista. GPS tekniikasta on suuri apu tämän tapaisissa laskennoissa.

Johtokulma

Johtokulma on pylvälle tulevan ja lähtevän johdon välinen kokonaiskulma. Kulman määräytyminen on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Johtokulman määritelmä

Kuvassa 8 näkyvä kulma α on johtokulma. Johtokulman arvo vaihtelee välillä 0 - 90°. Laskentaohjelmassa käytetään johtokulmalle 60°:n arvoa, kun johto päättyy tarkasteltavalle pylvälle eli päätepylväälle.

Johtimen keskikorkeus

Korkeus mitataan ympäröivän maaston tasolla. Johtimen keskikorkeus vaikuttaa tuulenopeuteen johtimen korkeudella. Johtimen korkeus määritellään yli 10 m korkeudella oleville johdoille.

Paikan korkeus merenpinnasta

Korkeus vaikuttaa ilmantiheyteen, joka otetaan huomioon laskennassa.

Maastoluokka

Maastoluokka määritellään maaston ominaisuuksien mukaan. Maastoluokka kertoo, millaiseen maastoon johtoa ollaan asentamassa. Maastoluokkia on neljä (I - IV) ja ne ovat taulukon 3 mukaiset. Lisäksi on luokka V, joka pitää määritellä erikseen, mikäli mahdollista meteorologin avulla.

TAULUKKO 3. Maastoluokat (SFS-EN 50341-1.)

Maastoluokka	Maaston ominaisuudet
I	Avoin merialue, vähintään 5 km tuulen puolelle ulottuvat järvet ja tasainen esteetön maa-alue
II	Maatalousmaa-alue, jossa raja-aitoja, satunnaisia pieniä talousrakennuksia, taloja tai puita
III	Esikaupunki- tai teollisuusalue ja pysyvät metsät
IV	Asutusalueet, joiden alasta vähintään 15 % on rakennuksia, joiden keskikorkeus on > 15 m
V	Vuoristo ja rikkonainen maasto, jossa tuuli voi paikallisesti voimistua tai heiketä

Tyypillinen suomalainen sisämaan kumpuileva metsämaasto kuuluu tyyppiin III. Avoin viljelty maaseutu kuuluu tyyppiin II. Suojaiset rannikkoalueet, sisäsaaristo, suuret järvet ja laajat peltoaukeat kuuluvat maastotyyppiin I.

Luotettavuustaso (Johtoluokka)

Ilmajohdon luotettavuustaso riippuu ilmastollisten kuormien toistumisajasta. Ilmajohdon absoluuttista luotettavuutta on vaikea määrittää. Siksi luotettavuustasoa 1 voidaan pitää vertailuluotettavuutena, ja korkeammat luotettavuustasot suhteutetaan vertailutasoon.

TAULUKKO 4. Luotettavuustasot (SFS-EN 50341-1.)

Luotettavuustaso	Ilmastollisten kuormien toistumisaika T Vuotta
1	50
2	150
3	500

Suomen kansallisissa määrittelyissä luotettavuustaso määräytyy jännitetason ja johdon tärkeyden mukaisesti (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Luotettavuustason valinta (SFS-EN 50341-3-7.)

Luotettavuustaso	Jännitetaso	Johdon tärkeys
1	≤ 45 kV	tavalliset johdot
	> 45 kV	tilapäiset tai vähemmän tärkeät johdot
2	≤ 45 kV	erikoisjohdot
	> 45 kV	tavalliset johdot
3	Kaikki jännitetasot	erittäin tärkeät johdot

Tasoa 1 käytetään ensisijaisesti ≤ 45 kV johdoilla ja tasoa 2 yli 45 kV johdoilla. Projektieritelmässä voidaan määritellä kuitenkin toisin.

Vertailutuulennopeus V_R (II)

Vertailutuulennopeus V_R (II) on lähistöllä sijaitsevan luokan II mittausaseman tuulennopeus. Sitä käytetään laskettaessa vertailutuulennopeutta V_R .

Suomen kansallisissa määrittelyissä suositellaan käytettäväksi taulukossa 6 esitettyjä tuulennopeuksia.

TAULUKKO 6. Vertailutuulennopeudet V_R (II) (SFS-EN 50341-3-7.)

V_R (II)	25 m/s	merialueet ja avoimet rannikkoalueet (maastotyyppi 0)
V_R (II)	23 m/s	harva saaristo ja suojaiset rannikkoalueet (maastotyyppi I)
V_R (II)	21 m/s	tiivis saaristo, isot järviolueet ja alavat maa-alueet (maastotyyppi I)
V_R (II)	21 m/s	kaikki muut alueet (maastotyypit II ja III)

Jääkuorman perusarvo (Vertailujääkuorma)

Johtimen jääkuorma riippuu suhteellisesta korkeudesta, joka määritellään johtimen ja johtoa ympäröivän maaston (10 km säteellä tarkastelupaikasta) keskimääräisen tason korkeuserona. Taulukossa 7 on annettu johtimen jääkuorman perusarvot korkeuden mukaan.

TAULUKKO 7. Johtimen jääkuorma (SFS-EN 50341-3-7.)

Jäätymislukokka	Suhteellinen korkeus m	Vertailujääkuorma N/m
I	0...50	10
II	50...100	25
III	100..200	50
IV	> 200	75

Hellelämpötila

Hellelämpötila on johtimen maksimilämpötila käytön aikana. Lämpötilaa käytetään johtimen riippuman laskennassa.

Pakkaslämpötila

Pakkaslämpötila on johtimen minimilämpötila. Minimilämpötilat on asetettu vastaamaan asianomaista aluetta ja kyseessä olevaan luotettavuustasoon liittyvää toistumisaikaa. Pakkaslämpötilat on alueittain määritelty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Minimilämpötilat (°C) (SFS-EN 50341-3-7.)

Lämpötila-alue	Luotettavuustaso			3- vuoden arvo
	1	2	3	
Etelä-Suomi	-40	-45	-50	-30
Keski-Suomi	-45	-50	-55	-36
Pohjois-Suomi	-50	-55	-60	-42

9.2 Standardin mukaiset tuuli- ja jääparametrit

Maastokerroin

Maastokerroin määräytyy maastoluokan ja siihen liittyvän maaston rosoisuuden perusteella. Standardi SFS-EN 50341-1 antaa taulukon 9 mukaiset arvot.

TAULUKKO 9. Maastokerroin (SFS-EN 50341-1.)

Maastoluokka	Maastokerroin k_T
I	0,17
II	0,19
III	0,22
IV	0,24

Nämä kertoimet on annettu Ilmajohdostandardissa, jossa on viittaus Eurocode ENV 1991-2-4:n kohtaan 8, josta löytyvät vastaavat arvot. Eurocode ENV 1991-2-4 on kuitenkin kumottu. Standardi on kumottu jo ennen käsikirjan SFS 603 julkaisua. Tälle asialle en ole löytänyt selitystä. Tämän työn laskentataulukoissa on kuitenkin käytetty uuden julkaisun mukaisia arvoja Laskettaessa SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 mukaisesti, saadaan kertoimiksi taulukon 10 mukaiset arvot.

TAULUKKO 10. Maastokertoimet

Maastoluokka	Maastokerroin k_T
I	0,1697...
II	0,19
III	0,2153...
IV	0,2343...

Maastokerroin lasketaan yhtälön 2 mukaisesti.

$$k_T = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

jossa

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ (maastoluokka II, taulukko 11)}$$

$$z_0 = \text{Rosoisuusmitta}$$

Rosoisuusmitta z_0

Maasto vaikuttaa merkittävästi tuulisuuteen synnyttämällä kitkaa, joka hidastaa tuulen nopeutta maanpintaa lähestyttäessä. Maaston meteorologinen rosoisuus, eli maaston epätasaisuus, kasvuston ja rakennusten korkeus vaikuttavat olennaisesti tuulen turbulenttisuuteen, hidastumisnopeuteen ja muihin ominaisuuksiin. Maaston rosoisuus merkitään tuuliprofiilien matemaattisissa kuvauksissa yleensä kirjaimilla z_0 . Rosoisuuden z_0 mitta on metri (m). (Suomen Tuulivoimayhdistys ry.)

TAULUKKO 11. Rosoisuusmitta (SFS-EN 50341-1.)

Maastoluokka	Rosoisuusmitta z_0 , m
I	0,01
II	0,05
III	0,3
IV	1

Vertailutuulennopeus V_R

Vertailutuulennopeus V_R on tuulennopeus, joka vallitsee 10 m maanpinnan yläpuolella kyseessä olevalla paikalla. Suomessa käytetään tuulen keskinopeusvaihtoehtoa, joten vertailutuulennopeus lasketaan käyttämällä Vertailutuulennopeutta V_R (II). V_R lasketaan kaavasta 2.

$$V_R = k_T \cdot \ln\left(\frac{10}{z_0}\right) \cdot V_R(\text{II}) \quad (2)$$

jossa k_T = maastokerroin
 z_0 = rosoisuusmitta
 $V_R(\text{II})$ = Vertailutuulennopeus

Tuulennopeuden puuskakerroin k_g

Puuskakerroin riippuu mittausajanjaksoista, korkeudesta maanpinnasta ja maanpinnan rosoisuusmitasta. Tuulennopeuden puuskakerroin lasketaan yhtälöstä 3.

$$k_g = 1 + \frac{2,28}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \quad (3)$$

jossa h = korkeus maanpinnasta

z_0 = rosoisuusmitta

Puuskakerroin G_q

Puuskakerroin voidaan laskea, mikäli käytetään keskituulennopeusvaihtoehtoa. Se voidaan myös katsoa taulukosta käytettäessä tilastollista menetelmää. Puuskakerroin lasketaan kaavan 4 mukaisesti.

$$G_q = k_g^2 = \left(1 + \frac{2,28}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}\right)^2 \quad (4)$$

jossa h = korkeus maanpinnasta

z_0 = rosoisuusmitta

Tuulennopeus johtimen korkeudella

Tuulennopeus V_h on alle 10 m korkeudella olevilla ilmajohtoilla sama kuin vertailutuulennopeus V_R .

Yli 10 m korkeudella maanpinnasta olevilla ilmajohtoilla käytetään yhtälön 5 mukaisesti logaritmisesti kasvavan tuulennopeuden kaavaa.

$$V_h = \frac{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{10}{z_0}\right) \cdot V_R} = k_T \cdot \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) \cdot V_R \quad (\text{II}) \quad (5)$$

missä

h = korkeus maanpinnasta

z_0 = rosoisuusmitta

k_T = maastokerroin

Puuskanopeus johtimen korkeudella

Lasketaan yhtälön 6 mukaisesti.

$$\text{Puuskanopeus} = k_g \cdot V_h \quad (6)$$

Jään tiheys

Jään tiheys on määritelty Suomen kansallisissa määrittelyissä. Jään tiheydeksi on annettu 500 kg/m^3 . Yleisissä vaatimuksissa se on määrän lumen tiheyttä vastaava arvo.

Johtimen vastuskerroin C

Myös johtimen vastuskerroin on määritelty Suomen kansallisissa määrittelyissä. Vastuskertoimeksi on määrätty 1,15, kun jääkuorman on käytössä.

Jännekerroin G_c

Jännekerroin G_c on jänteenpituudesta riippuva johtimien rakenteellinen resonanssi-kerroin. Kerroin ottaa huomioon sen, että tuulenpaine johtimeen jännteessä ei saavuta maksimiarvoaan samanaikaisesti jänteen koko pituudella.

Jännekertoimen laskentaan tarvitaan jännekerroinparametri. Se on maastoluokka-kohtainen. Jännekerroin lasketaan taulukon 12 mukaisesti maastoluokittain.

TAULUKKO 12. Jännekertoimen laskenta (SFS-EN 50341-1.)

Maastoluokka	Jännekerroin G_c
I	$1,3 - 0,073 * \ln(L)$
II	$1,3 - 0,082 * \ln(L)$
III	$1,3 - 0,098 * \ln(L)$
IV	$1,3 - 0,110 * \ln(L)$

jossa L = Tuulijänne

9.3 Standardin mukaiset kuormaparametrit

Jännekertoimen reduktiokerroin

Luvussa 9.2 määritellyt jännekertoimet on kerrottava pienennyskerroimella eli jännekertoimen reduktiokerroimella 0,8, joka ottaa huomioon tekijät, jotka liittyvät tuulenpuuskan vaikutuksen syntymiseen johtimessa ja sen siirtymisestä pylvääseen (SFS-EN 50341-3-7).

Jännekerroin jännitysanalysissä

Riippuma- ja jännityslaskelmissa käytettävää jännekerrointa laskettaessa jänteen pituutena käytetään kiristysväliä. Laskelmissa kiristysväli ei saa olla yli 5 km. Eli luvun 7.2 Jännekertoimen yhtälö pätee tähän. Jänteen pituutena L käytetään kiristysväliä. Taulukossa 13 on jännekertoimen yhtälöt maastoluokittain.

TAULUKKO 13. Jännekerroin jännitysanalysissä

Maastoluokka	Jännekerroin G_c
I	$1,3 - 0,073 \cdot \ln(L)$
II	$1,3 - 0,082 \cdot \ln(L)$
III	$1,3 - 0,098 \cdot \ln(L)$
IV	$1,3 - 0,110 \cdot \ln(L)$

Ilmantiheyden lämpötilakerroin

Kerroin on ilman tiheyden suhteellisen arvon laskenta kaavasta 7.

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{288}{T'} \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H} \quad (7)$$

$$\text{Lämpötilakerroin} = \frac{288}{T'}$$

Kerointa käytetään Yhdistetyssä jää ja tuuli kuormituksessa.

Ilmantiheys

Ilman tiheys tietyllä korkeudella ja lämpötilassa voidaan ratkaista ilmantiheyden suhteellisen arvon laskentakaavasta 8.

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{288}{T'} \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H} \quad (8)$$

$$\Rightarrow \rho' = \rho \cdot \frac{288}{T'} \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H}$$

jossa

H = korkeus merenpinnasta

T' = absoluuttinen lämpötila korkeudella H

ρ = ilmantiheys (15 °C), luonnonvakio.

Puuskapaine johtimen korkeudella

Puuskapaine on tuulenpaineen ja puuskakertoimen tulo. Dynaaminen tuulenpaine lasketaan yhtälön 9 mukaisesti. Puuskakerroin on laskettu luvussa 9.2.

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h^2 \quad (9)$$

jossa

ρ = ilman tiheys korkeudella h

V_h = tuulennopeus johtimen korkeudella h.

Puuskapaineeksi saadaan

$$\text{Puuskapaine} = q_h \cdot G_q$$

jossa

q_h = dynaaminen tuulenpaine

G_q = puuskakerroin.

Kuormitus ja yhdistelmäkertoimet

Eri kuormitusten kertoimet on esitetty taulukossa 14. Yhdistelmäkertoimet ja osavarmuus luvut määräytyvät eri tilanteiden mukaan ja tuulen osalta ne ovat seuraavanlaiset:

- Huipputuuli
- Kova tuuli
- Pienennetty tuuli
- Keskinkertainen tuuli.

Jään osalta eri tilanteet ovat seuraavanlaiset:

- Huippujääkuorma
- Keskinkertainen jää.

Erikoistapauksissa voidaan yhdistelmäkertoimille käyttää pienennettyjä arvoja. Erikoistapauksia ovat luotettavuustason 1 ja Jäätymisluokan I johdot sekä päällystämättömillä johtimilla, kun jännite on ≤ 45 kV.

TAULUKKO 14. Kuormitustapaukset ja kertoimet (SFS-EN 50341-3-7.)

Kuormitustapaus	L-tila	Tuuli	Jää	Taso 1		Taso 2		Taso 3	
	°C	Ψ_w							
Huipputuulikuorma	-20	1,00		1,00		1,00		1,00	
Pienennetty tuuli	0	0,58		1,00	1,00	1,00		1,00	
Huippujääkuorma	0		1,00		1,00		1,20		1,40
Huippujää + keskinkertainen tuuli	0	0,4 (0,25)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00	1,40
Kova tuuli + keskinkertainen jää	0	0,70	0,35	1,00	1,00	1,20	1,00	1,40	1,00

Lihavoitu kohta on jää+tuuli-kuormitus, jota Voimatel Oy käyttää laskelmissa. Suluisa oleva arvo on pienennetty kerroin J+T kuormituksessa.

Standardissa on määritelty lisäksi muita eri kuormitustapauksia, joita en käsittele tämän työn yhteydessä.

Tuulenpaine, mitoitusarvo

Tuulenpaineen mitoitusarvo lasketaan puuskapaineen ja tuulen yhdistelmäkertoimen tulosta.

$$Q_d = \Psi_W \cdot q_h \cdot G_q \quad (10)$$

Orren ja eristimien pystykuorma

Orren ja eristimien pystykuorma on niiden yhteinen painovoima (Kaava 11.)

$$F_{VOR} = m \cdot g \quad (11)$$

missä m = orren ja eristimen paino

$$g = 9,80665 \frac{m}{s^2}$$

Orren ja eristimien tuulikuorma

Orren ja eristimien tuulikuorma on niiden tehollisen tuulipinta-alan ja tuulenpaineen tulo (Kaava 12.)

$$F_{TOR} = A_i \cdot Q_d \quad (12)$$

missä A_i = Orren ja eristimien tuulipinta

Q_d = Tuulenpaineen mitoitusarvo

Johtimen jääkuorma

Johtimen jääkuorma on vertailujääkuorman ja jääkuormituksen yhdistelmäkertoimen tulo (Kaava 13.)

$$I = g_i \cdot \Psi_I \quad (13)$$

missä

g_i = Vertailujääkuorma

Ψ_I = Jääkuorman yhdistelmäkerroin

Johtimen halkaisija D (sisältää jään)

Jääkerroksen muoto on epäsäännöllinen, mutta se oletetaan tässä tapauksessa muodoltaan sylinteriksi. Sen halkaisija D on (Kaava 14.) (SFS-EN 50341-1.)

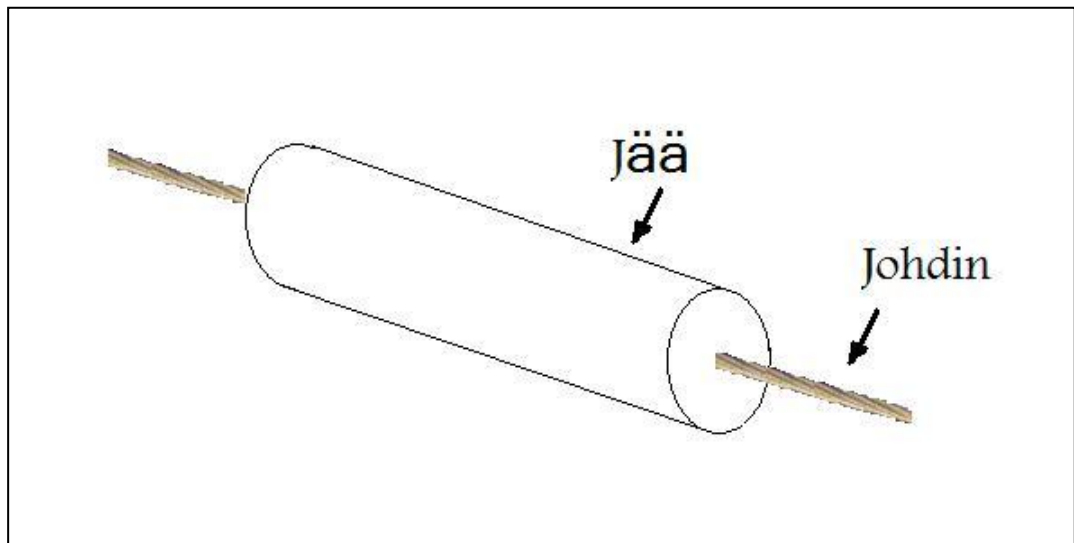
$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot I}{9,81 \cdot \pi \cdot \rho_I}} \quad (14)$$

missä

d = johtimen halkaisija, m

I = johtimen jääkuorma, N/m

ρ_I = jään tiheys, kg/m³



KUVA 9. Jääkerros johtimella

Kuvassa 9 voidaan nähdä kuinka jääkerros on kertynyt johtimen pinnalle.

Johtimen tuulikuorma (Ilman jännekerrointa)

$$Q_w = Q_d \cdot D \cdot C$$

missä

Q_d = Tuulenpaine

D = johtimen halkaisija, sisältää jään

C = johdon vastuskerroin

Johtimen tuulikuorma (Jännekerroin mukana)

$$Q_{wc} = Q_d \cdot D \cdot C \cdot G_c$$

missä

Q_d = Tuulenpaine

D = johtimen halkaisija, sisältää jään

C = johdon vastuskerroin

G_c = Jännekerroin jännitysanalyysissä

10 PYLVÄÄN MITOITTAMINEN

Tässä työssä käsitellään keskijännitteellä käytettyjä pylviäitä, jotka ovat yleensä puusta valmistettuja.

Pylvään mitoittamisessa tarkastellaan aluksi minkä tyyppinen pylväs rakenne valitaan. Valintaan vaikuttaa se, millaiseen tilanteeseen pylväs valitaan. Valintaperusteina ovat esimerkiksi johtojen lukumäärä tai millaisessa johtokulmassa (tulevan ja lähtevän johdon välinen kulma) johtimet ovat pylväällä tai pylvään vaadittu pituus.

Erityyppiset pylväs rakenteet ovat kannatuspylväs, harustettu pylväs, A-pylväs ja T-pylväs. Kannatuspylväitä käytetään yleensä suhteellisen suorilla johdoilla, jolloin pylväässä on taso- tai kolmio-orisi. Harustettuja pylviäitä käytetään kulmapylväänä ja päätepylväänä. A- ja T-pylviäitä käytetään suurilla johtokulmilla niiden hyvien tukiominaisuuksien takia.

10.1 Pylväskoot

Pylvääit määritetään latvahalkaisijan, tyvihalkaisijan ja pituuden perusteella eri luokkiin. Tätä on käsitelty tarkemmin luvussa 7.1. Standardissa 2662 pylvääiden pituudet ovat 7 - 18 metriä luokissa 1 - 5. Taulukossa 15 on esitettyä Suomessa käytettävät pylvääskoot. Siinä on pylvääit 7 - 24 m:iin saakka luokissa 1 - 5. Standardin ja kotimaan taulukon välillä on pieniä eroja latvojen ja tyvien paksuuksissa.

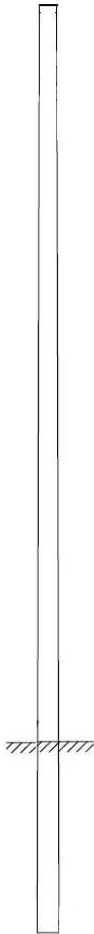
TAULUKKO 15. Kotimaan pylväskoot

Luokka	Pituus m	Latva mm	Tyvi mm	Koodi	Luokka	Pituus m	Latva mm	Tyvi mm	Koodi
1	7	130	160	107	2	7	150	170	207
1	8	130	170	108	2	8	150	180	208
1	9	130	180	109	2	9	150	195	209
1	10	130	190	110	2	10	150	205	210
1	11	130	190	111	2	11	150	215	211
1	12	130	200	112	2	12	150	225	212
Luokka	Pituus m	Latva mm	Tyvi mm	Koodi	2	13	150	235	213
3	8	170	200	308	2	14	150	250	214
3	9	170	210	309	2	15	150	260	215
3	10	170	220	310	2	16	150	270	216
3	11	170	230	311	Luokka	Pituus m	Latva mm	Tyvi mm	Koodi
3	12	170	240	312	4	9	190	230	409
3	13	170	255	313	4	10	190	240	410
3	14	170	265	314	4	11	190	250	411
3	15	170	280	315	4	12	190	260	412
3	16	170	290	316	4	13	190	270	413
3	17	170	300	317	4	14	190	280	414
3	18	170	310	318	4	15	190	290	415
3	19	170	320	319	4	16	190	300	416
3	20	170	330	320	4	17	190	315	417
3	21	170	340	321	4	18	190	325	418
3	22	170	350	322	4	19	190	335	419
Luokka	Pituus m	Latva mm	Tyvi mm	Koodi	4	20	190	345	420
5	10	210	255	510	4	21	190	355	421
5	11	210	270	511	4	22	190	360	422
5	12	210	280	512	4	23	190	375	423
5	13	210	290	513	4	24	190	390	424
5	14	210	300	514					
5	15	210	310	515					
5	16	210	320	516					
5	17	210	330	517					
5	18	210	345	518					
5	19	210	360	519					
5	20	210	375	520					
5	21	210	390	521					
5	22	210	405	522					
5	23	210	420	523					
5	24	210	435	524					

10.2 Pylväsrakenteet

Pylväitä on rakenteeltaan tai käyttötarkoitukseltaan erilaisia. Tavallisimmat pylvään käyttötarkoituksen mukaiset rakenteet ovat kannatuspylväs, harustettu pylväs, A-pylväs ja T-pylväs. Lisäksi on esimerkiksi pehmeiköille tarkoitettut rakenteet.

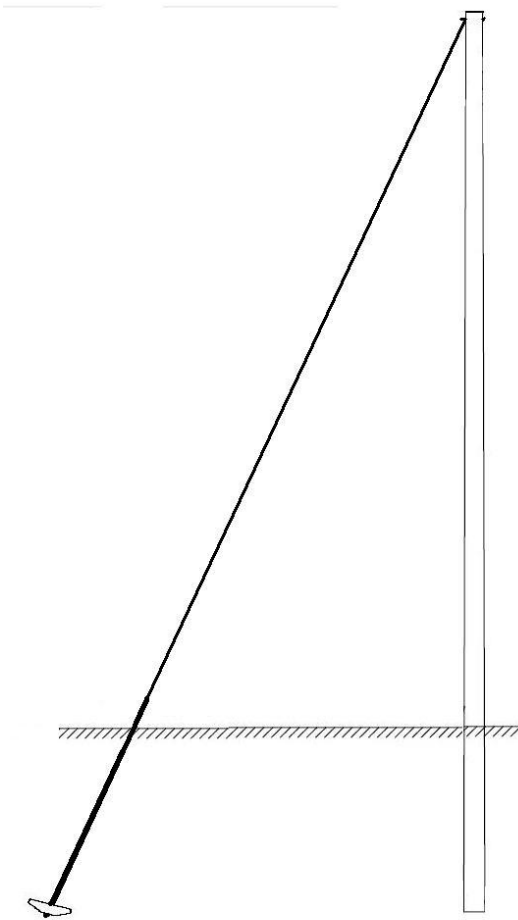
Kannatuspylväs



KUVA 10. Kannatuspylväs

Kannatuspylväitä käytetään suorilla johto-osuuksilla. Kannatuspylväs on tuettu ainoastaan upottamalla se maan alle ja mahdollisia kiviä on lisätetty tukemassa rakennetta. Silloin, kun kannatuspylväs rakennetaan kallioiselle alueelle ja jos sitä ei saa upotettua riittävästi, käytetään kalliorautoja. Kallioraudat porataan kiinni kallioon ja toinen pää kiinnitetään pylvääseen. Näin siitä tulee tukeva rakenne.

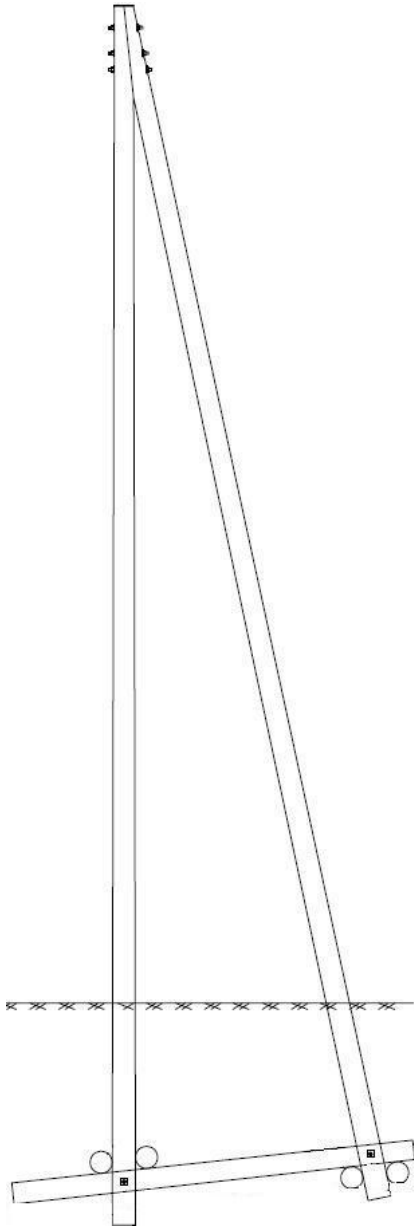
Harustettu pylväs



KUVA 11. Harustetun pylvään rakenne

Harustettu pylväs on tuettu teräsvaijerilla vetosuunnan vastapuolelta. Tämä pylväsra-
kenne kestää isojaikin johtokulmia. Harusvaijereita voidaan asentaa eri kohtiin pylväs-
tä esimerkiksi silloin, kun pylväällä on monta eri johtoa. Harustuksen kestävyyttä kas-
vatetaan lisäämällä harusvaijereiden määrää. Harusankkuri kestää kuitenkin korkein-
taan kaksi vaijeria, ja tämän määrän ylittyessä, käytetään useampaa harusankkuria.

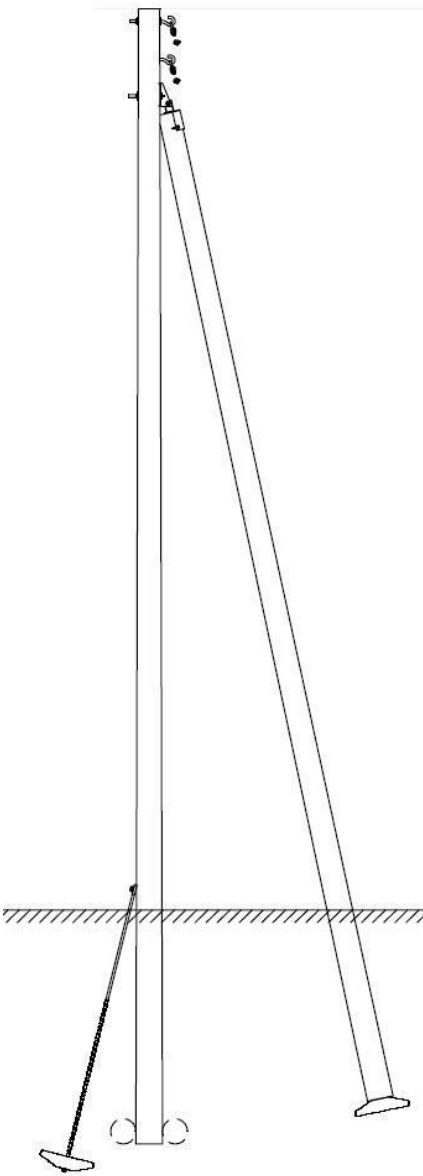
A- pylväs



KUVA 12. A- pylväs rakenne

A- pylväs koostuu pystypuusta ja latvaan kiinnitetystä tukipuusta. Tukipuu on kiinnitetty pulteilla pylvään latvaan ja kiinnityspulttien määrä riippuu liitoksen kestävydestä. Lisäksi pultteja on erikokoisia. Pystypuu ja tukipuu on kiinnitetty alaosistaan maan alle tulevaan poikkipuuhun, joka estää rakennetta kallistumasta sekä painumasta ja nousemasta.

T- pylväs



KUVA 13. Tukipylväsrakenne

T-pylväs on lähes samannäköinen kuin A-pylväs, mutta rakenteet eroavat merkittävästi. Latvaliitos tukipuun ja pystypuun välillä on tehty saranalla. Tällainen rakenne helpottaa pystytysvaiheessa, kun voidaan helposti siirtää tukipuun paikkaa. Tukipuun tyvi on ankkuroitu maan alle haruslimpulla. Myös pystypuu on ankkuroitu maan alle haruslimpun avulla.

10.3 Pylvään mitoitukseen liittyvät muuttujat ja parametrit

Johtimista pylvääseen aiheutuvat voimat

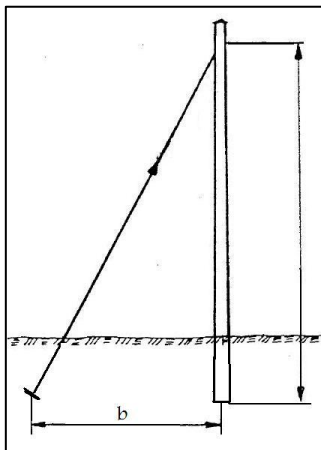
Jokainen pylvääseen ripustettu johdin ja/tai johto aiheuttaa horisontaalista ja vertikaalista kuormitusta. Näiden voimien arvot riippuvat itse johdon tyypistä ja johtoon vaikuttavista ulkoisista tekijöistä, kuten esimerkiksi jänneväli, jääkuorma ja tuulikuorma.

Pylvään pituus

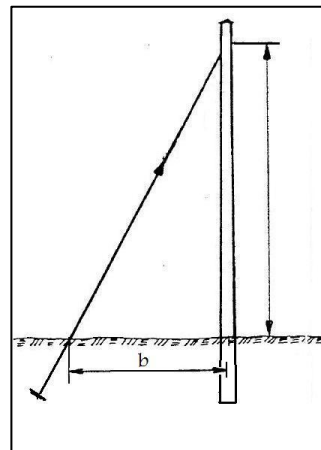
Pylväiden pituudet määritellään standardissa SFS 2662. (ks. kappale 7.1.) Pylvään pituudella on merkitystä pylvään ominaisarvoihin, joita käytetään laskennassa. Pylvään pituus vaikuttaa myös haruskaltevuuden laskentaan. Pylvään pituus voidaan haruskaltevuutta laskettaessa määritellä joko pylvään kokonaispituutena tai pylvään maanpäällisen osan pituutena.

b -mitta

Tätä pituutta käytetään määriteltäessä haruksen- tai tukipuunkaltevuutta. B -mitta voidaan määritellä kahdella tavalla, joten se on tärkeää tehdä oikein, koska väärin ymmärretty pituus vaikuttaa suuresti mitoituksen tuloksiin. Asia on yksinkertainen, mutta tietyt määritelmät on tehtävä. B -mitta voi olla etäisyys tarkasteltavan pylvään tyven maan alla olevan osan ja haruksen ankkuroinnin välinen etäisyys (Kuva 14) tai tarkasteltavan pylvään tyven maanpäällisen osan ja harusköyden maanpäällisen kiinnityspisteen välinen etäisyys. (Kuva 15.)



KUVA 14. b -mitta maan alla



KUVA 15. b-mitta maanpäällä

Harusten kaltevuus

Haruskaltevuus riippuu pylvään pituudesta, haruksen latvaetäisyydestä ja b -mitasta. Haruskaltevuus ilmoitetaan yleensä suhdelukuna esimerkiksi "1:1", jolloin pystyettäisyys ja b -mitta ovat samanmittaiset. Fysiikan lakeja ajatellen haruskaltevuutta pitää käsitellä kulmana. Se on pylvään ja harusköyden välinen kulma. Tätä on tarkemmin käsitelty kappaleessa 10.4.

Haruskaltevuus vaikuttaa harusköyteen vaikuttavaan voimaan. Kaltevuuden kasvaessa köysivoima kasvaa.

Harusten latvaetäisyys

Tätä etäisyyttä käytetään ylimmän haruksen tapauksessa. Jos pylväässä on useampi harus, alempi harus on yleensä samalla kohtaa, kuin toinen johto.

Harusta joudutaan ottamaan alemmaksi latvasta silloin, kun pylvään latvassa on orsi. Orren rakenne ja vaatimukset määrittelevät yleensä haruksen etäisyyden latvasta.

Latvaetäisyys vaikuttaa pylvään kuormitettavuuteen. Jos harus on kiinnitetty esimerkiksi 0,5 metrin päähän latvasta ja johto on pylvään latvassa, pylvään 0,5 m osaan vaikuttaa taivuttava voima. Tämä voi vaikuttaa pylväsluokan valintaan ja on määrävänä valintaperusteena.

Tukipuun kaltevuus

Tukipuunkaltevuus määritellään samoin kuin haruskaltevuus. Tätä kaltevuutta käytetään laskettaessa A- ja T-pylväsrakenteita. Tukipuun kaltevuus on suhdeluvultaan yleensä isompi kuin harustetuissa rakenteissa oleva haruskaltevuus.

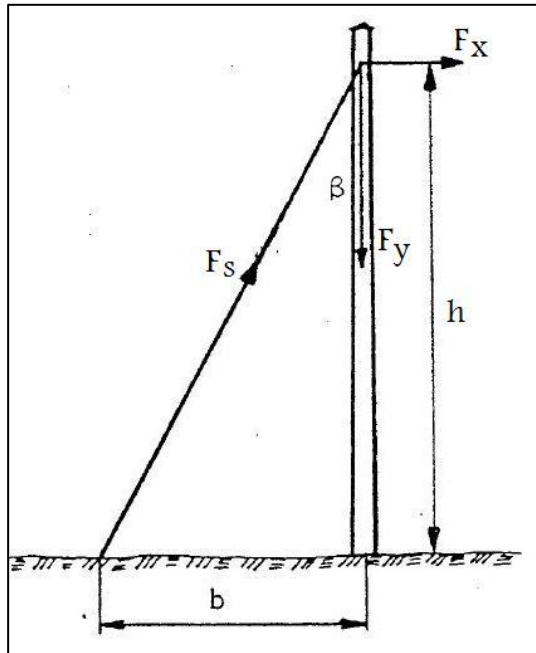
Pystyvoiman kerroin

Pystyvoiman kerroin ilmoittaa, mikä osuus pystyvoimasta kohdistuu tukipuuhun. Kerroin riippuu latvarakenteesta. Käytetään A- ja T-pylväillä

10.4 Harustuksessa vaikuttavat voimat

Harusvoima F_S riippuu harusköyden ja pylvään välisestä kulmasta β sekä pylvääseen vaikuttavasta vaakavoimasta F_X .

Johtimet, orsi, eristimet ja harustus aiheuttavat pylvääseen pystyvoiman F_Y .



KUVA 16. Pylvääseen vaikuttavat voimat

Harusvoimalle F_S saadaan yhtälöksi:

$$F_S = \frac{F_X}{\sin \beta} = F_X \cdot k \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{k^2}} \quad (17)$$

jossa

F_X = johdon vaakavoima

$k = \frac{h}{b}$ = haruskaltevuus

$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{h} \right)$

ja pystyvoimalle F_Y saadaan yhtälö:

$$F_Y = \frac{F_X}{\tan \beta} = F_X \cdot k$$

11 EXCEL VBA

Excelin käyttöä voidaan automatisoida ja laajentaa Visual Basic for Applications (VBA) - ohjelmoinnin avulla. Yksinkertaisimmillaan VBA- ohjelma voidaan luoda nauhoittamalla Excelissä suoritettava toimenpidesarja. Nauhoitettaessa Excel kirjoittaa VBA-ohjelmakoodin itse. Varsinainen hyöty VBA- ohjelmoinnista saadaan vasta kirjoittamalla ohjelmakoodia itse. VBA- ohjelmointia voidaan käyttää myös Accessin, PowerPointin ja Wordin ohjelmointiin. Käsittelen tässä työssä ainoastaan niitä asioita, joita olen tarvinnut opinnäytetyön tekemiseen. Aihe on niin laaja, että siitä saisi tehtyä monta kirjaa ja niin siitä on tehtykin. (Taanila 2011, Excel VBA- ohjelmointi.)

11.1 Moduuli

Moduuli on yksi ohjelmointikokonaisuus. Yksi ohjelmoinnin perusajatuksista on se, että koodi jaetaan riittävän pieniin osiin. Pienen osan hahmottaminen on helpompaa kuin yhden ison kokonaisuuden hahmottaminen. Eli yhteen moduuliin kerätään samantyyppisiä aliohjelmaa. (Taanila 2011, Excel VBA- ohjelmointi)

11.2 Käyttäjälomake

Käyttäjälomake eli UserForm on osa käyttöliittymää. Lomakkeet ovat Excelissä automaattisia tai ohjelmoija on määritellyt niiden ulkoasun ja toiminnan. Lomakkeella kysytään yleensä käyttäjän mielipidettä johonkin asiaan, kuten esimerkiksi salasanaa. Käyttäjälomakkeille asetellaan erilaisia komponentteja (tekstikenttiä, valintalistoja, komentopainikkeita, jne.) ja lisäksi lomakkeelle tehdään ohjauskoodia. (Merensalmi, 2007.)

11.3 Aliohjelma

Aliohjelma tekee yhden osan isosta koodista siihen kirjoitetun koodin mukaisesti. Aliohjelma pyritään tekemään sellaiseksi, että sen tehtävien määrä on rajallinen. Eli se

tekee tehtävänsä kerralla eikä odottele muiden ohjelmien komentoja. Aliohjelmat ovat moduulin sisällä toimivia. (Taanila 2011, Excel VBA- ohjelmointi)

11.4 Makro

Makrolla tarkoitetaan yleisesti sellaista koodia, joka on nauhoitettu. Makrojen nauhoittaminen on hyvä apuväline koodin kirjoittamiselle. Nauhoitettua makroa ei koskaan saa käyttää sellaisenaan, vaan se on aina tarkistetta ennen käyttöä. Tarkistamattomissa makroissa on paljon sellaisia toimintoja, joita käyttäjä ei ole varmasti halunnut nauhoittaa. Makroa nauhoittaessa on oltava tarkkana mitä hiirellä painelee, koska nauhoitus todellakin tallentaa kaiken mitä käyttäjä tekee ja sellaista mitä ei edes tarkoituksella tee. (Merensalmi, 2007.)

Makroja nauhoittamalla voi oppia ohjelmointia. Tästä syystä nauhoittamista kannattaa käyttää, jos ei tiedä mitä koodiin pitäisi kirjoittaa.

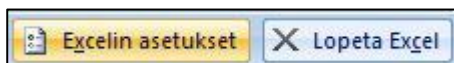


KUVA 17. Makron nauhoittaminen

12 KÄYTTÖLIITTYMÄN OHJELMOINTI

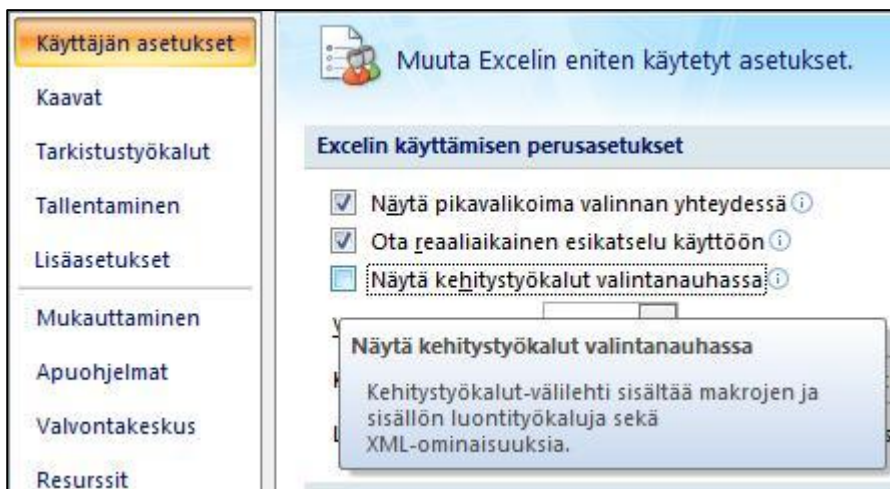
12.1 Visual Basic

Kun halutaan aloittaa ohjelmointi, Excelin valintanauhaan lisätään kehitystyökalut-valikko. Valikon lisääminen aloitetaan painamalla Office-painiketta työkirjan vasemmassa ylänurkassa. Painiketta painamalla avautuu valikko, jonka alareunassa on kuvan 18 mukaiset valinnat, josta valitaan ”Excelin asetukset”.

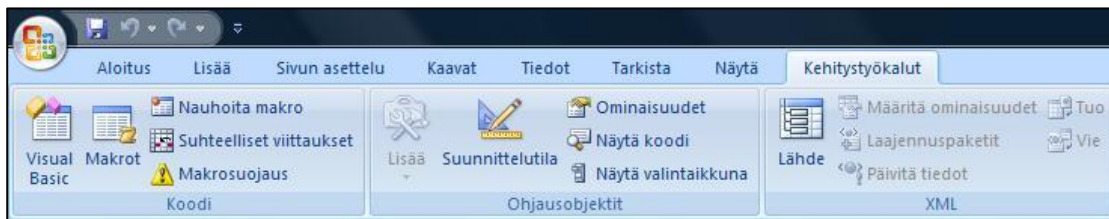


KUVA 18. Excelin asetukset

Seuraavaksi avautuu kuvan 19 mukainen ikkuna, josta pitää valita ”Näytä kehitystyökalut valintanauhassa” ja hyväksyä valinta. Nyt valintanauhassa pitäisi lukea ”Kehitystyökalut” (kuva 20).

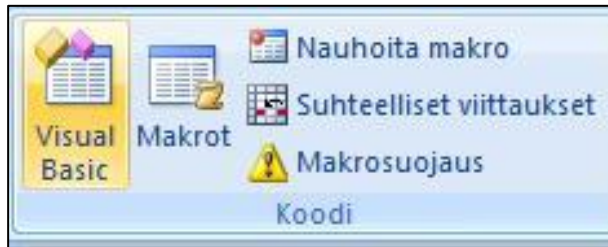


KUVA 19. Kehitystyökalujen valinta



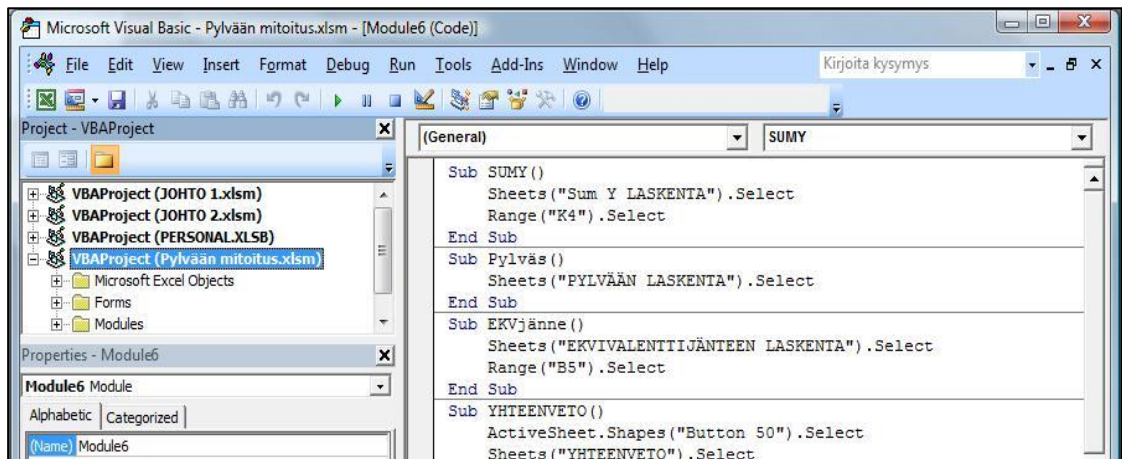
KUVA 20. Kehitystyökalut-valikko käytössä työkirjassa

Visual Basic avataan Visual Basic-kuvakkeesta. (kuva 21) Tämän jälkeen näytölle pitäisi avautua kuvan 22 mukainen editori.



KUVA 21. Kehitystyökalut-valikon koodiosa

Editori-ikkunassa (kuva 22) näkyy projektivalikko, ominaisuudet valikko ja koodiosa.



KUVA 22. Visual Basic editori

Projekti-ikkunassa on auki olevien ”makrot käytössä”-työkirjojen tiedot. Projekti on jaettu taulukoihin (Microsoft Excel Objects), lomakkeisiin (Forms) ja moduuleihin (Modules). Tämän ikkunan kautta hallitaan projekteja.

Ominaisuudet-ikkunassa voidaan asettaa esimerkiksi lomakkeen komponenttien asetuksia. Lisäksi kuvassa 22 näkyvä ominaisuus eli moduulin nimi on muutettavissa tämän ikkunan kautta.

12.2 Suoritettavat ohjelmat

Kun käyttäjä avaa työkirjan, Excel ajaa tiettyjä tapahtumia automaattisesti. Myös suljettaessa työkirjan ohjelma ajaa automaattisesti tietyt tapahtumat.

Työkirjan avaamisen yhteydessä ajettavat tapahtumat:

1. Workbook_Open
2. App_WorkbookOpen
3. Workbook_WindowDeactivate
4. App_WindowDeactivate
5. Workbook_Deactivate
6. Workbook_Activate
7. App_WorkbookActivate
8. Workbook_WindowActivate
9. App_WindowActivate
10. Auto_Open

AutoOpen

Tässä työssä on käytetty hyödyksi Auto_Open ja Workbook_Open -tapahtumaa. Kuvassa 23 on Auto_Open -tapahtumaan kirjoitettu koodi, joka suoritetaan työkirjan avautuessa.

```
Sub Auto_open()
  Dim POLKU As String
  POLKU = Application.ThisWorkbook.Path
  ChDir POLKU
  Application.ScreenUpdating = False
  Workbooks.Open Filename:=POLKU & "\JOHTO 1.xlsm"
  Workbooks.Open Filename:=POLKU & "\JOHTO 2.xlsm"
  Workbooks.Open Filename:=POLKU & "\JOHTO 3.xlsm"
  Windows("JOHTO 1.xlsm").Visible = False
  Windows("JOHTO 2.xlsm").Visible = False
  Windows("JOHTO 3.xlsm").Visible = False
  Windows("Pylvään mitoitus.xlsm").Activate
  Range("A4:cf50").Activate
  ActiveWindow.Zoom = True
  Range("o8").Select
  Application.DisplayFullScreen = True
  Application.ScreenUpdating = True
  UserForm10.Show
End Sub
```

KUVA 23. Käyttöliittymän avautuessa suoritettava aliohjelma

Ohjelman tehtävänä on avata JOHTO 1 -, JOHTO 2 - ja JOHTO 3 -työkirjat sekä muuttaa käyttöliittymän näkymä ja aktivoida käyttäjälomake. Koodissa ensimmäisellä rivillä määritellään muuttuja POLKU, joka on string-tyyppinen eli merkkijono-tyyppinen muuttuja. Rivillä 2 määritellään muuttujalle sen arvo. Käytetään Path-ominaisuutta, joka hakee avatun työkirjan tiedostopolun muuttujaan. Rivin 3 koodilla

tarkistetaan polun olemassa olo. Rivillä 4 estetään työkirjan ruudunpäivitys. Tällä ominaisuudella estetään ruudun vilkkuminen esimerkiksi, kun avataan useita työkirjoja kerralla, kuten kuvan 23 koodissa tehdään. Rivillä 5 avataan JOHTO 1-työkirja polun mukaisesta paikasta. Tämä toteutetaan myös työkirjoille JOHTO 2 ja 3.

Rivillä 8, 9 ja 10 piilotetaan avatut työkirjat Windowsin tehtäväpalkissa. Rivillä 11, 12 ja 13 koodi aktivoi käyttöliittymä työkirjan, valitsee työkirjasta tietyn solualueen ja lähentää sen oikeankokoiseksi tietokoneen näytön koosta riippuen. Rivillä 15 ohjelma suorittaa toiminnon, jolla käyttöliittymä muutetaan kokonäytön tilaan, jotta käyttäjä näkee käyttöliittymän mahdollisimman hyvin. Lopuksi hyväksytään ruudunpäivitys ja suoritetaan käyttäjälomake 10.

WorkbookOpen

Kuvassa 24 on Workbook_Open-tapahtuman koodi. Tapahtumassa syötetään käyttöliittymän valintalistoihin niiden sisältämät tiedot. Tämä toiminto suoritetaan AddItem-komennolla. Kuvassa on vain pieni osa koko koodista. Kuvan koodissa lisätään ComboBox1 -nimiseen valintalistaan johtimien nimet. Tällä tavalla on syötetty kaikki johdinvalinnat, pylväiden rakenteet, maastotyyppi jne. Eli siis kaikkien valintalistojen tiedot.

```
Private Sub Workbook_Open()
```

```
With Tau15.ComboBox1
  .AddItem "Swan"
  .AddItem "Sparrow"
  .AddItem "Raven"
  .AddItem "Pigeon"
  .AddItem "Ostrich"
  .AddItem "AAC 107"
  .AddItem "AAC 132"
  .AddItem "AAC 201"
  .AddItem "AACSR 106/25"
  .AddItem "AMKA 1x16+25"
  .AddItem "AMKA 3x16+25"
  .AddItem "AMKA 4x16+25"
  .AddItem "AMKA 3x25+35"
```

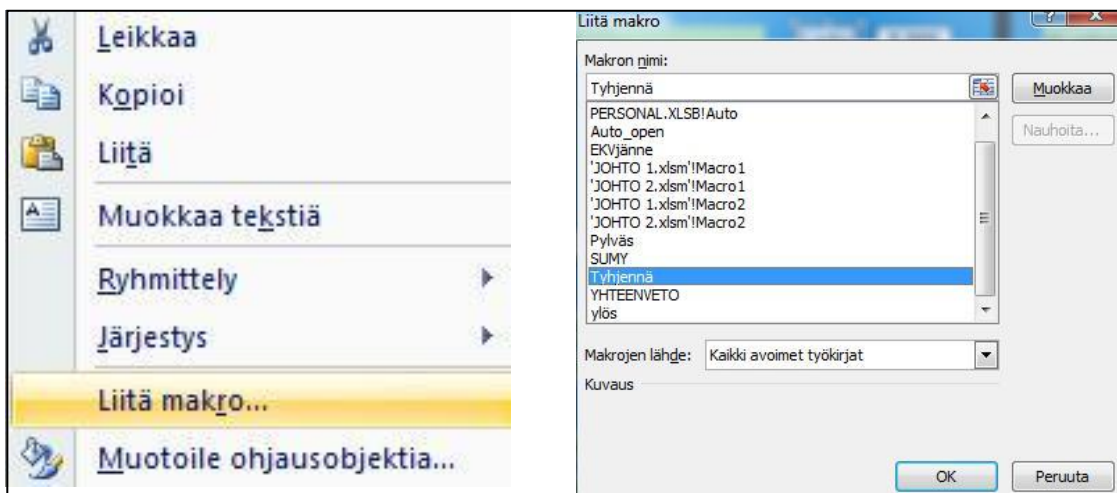
KUVA 24. Pieni osa Workbook_Open -tapahtuman koodista

12.3 Käyttöliittymän ohjauspainikkeet

Tässä työssä käytetään ohjauspainikkeita helpottamaan siirtymistä taulukosta toiseen. Eri taulukoihin on mentävä silloin, kun pitää tehdä toimintoja, jotka eivät ole samassa taulukossa kuin käyttöliittymä. Eräs tarve siirtyä eri taulukkoon on esimerkiksi ekvivalenttijänteen laskenta.

Ekvivalenttijänteen laskennassa tarvitaan usean jänteen mitta, joten niiden syöttäminen vaatii tilaa taulukossa. Senpä takia ekvivalenttijänteen laskentataulukossa on toiminto, jolla päästään nopeasti takaisin taulukon yläreunaan tai takaisin alareunaan. Lisäksi on ohjauspainike toiseen taulukkoon siirtymistä varten ja solujen tyhjennyspainike.

Nämä toiminnot vaativat pieniä aliohjelmia. Aliohjelmat on helppo tehdä nauhoittamalla ja muokkaamalla koodista ylimääräinen koodi pois. Aliohjelmat eli tässä tapauksessa makrot liitetään ohjauspainikkeisiin kuvan 25 mukaisella tavalla.



KUVA 25. Ohjausobjektin valinnat

Kuvassa 26 on tämän työn ohjauspainikkeiden koodia. Näillä makroilla suoritetaan sellainen toiminto, jolla käyttäjä pääsee siirtymään käyttöliittymä taulukosta esimerkiksi summa Y:n laskentataulukkoon. Jos käyttäjä on mennyt tähän taulukkoon, pääsee sieltä takaisin käyttöliittymään painamalla ”Takaisin pylvään mitoitus” -painiketta, jonka ohjausmakro on kuvan 26 mukaisesti Sub Pylväs().

```

Sub SUMY()
    Sheets("Sum Y LASKENTA").Select
    Range("K4").Select
End Sub

Sub Pylväs()
    Sheets("PYLVÄÄN LASKENTA").Select
End Sub

Sub EKVjänne()
    Sheets("EKVVALENTTIJÄNTEEN LASKENTA").Select
    Range("B5").Select
End Sub

Sub YHTEENVETO()
    Sheets("YHTEENVETO").Select
    Range("A1:J44").Select
    ActiveWindow.Zoom = True
    Range("k1").Select
End Sub

```

KUVA 26. Ohjauspainikkeiden aliohjelmat

Kuvassa 27 on makrot, joilla käyttäjä pääsee siirtymään taulukossa joko ylös tai alas. Tätä ominaisuutta on käytetty ekvivalenttijänteen laskentataulukossa. Taulukossa joudutaan rullaamaan alemmaksi, kun syötetään jänteiden pituuksia. Kun käyttäjä on syöttänyt tiedot, voidaan siirtyä laskentatuloksiin taulukon yläosaan painamalla ”Takaisin ylös” -painiketta

```

Sub alas()
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=105
End Sub

Sub ylös()
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=-120
End Sub

```

KUVA 27. Taulukon siirtoaliohjelmat

Ekvivalenttijänteen laskentataulukossa on toiminto, jolla saadaan tyhjennettyä kaikki solut kerralla ilman, että käyttäjä tarvitsee tyhjentää solut yksitellen. Kuvassa 28 on tähän toimintoon liittyvä koodinpätkä.

```
Sub Tyhjennä()
```

```

Union(Range( _
  "B139,B137,B135,B133,B131,B129,B127,B125,B123,B121,B119" _
), Range("B117,B115,B113,B111,B109,B107,B105,B103,B101,B99,B97" _
), Range("B95,B93,B91,B89,B87,B85,B83,B81,B79,B77,B75,B73,B71" _
), Range("B69,B67,B65,B63,B61,B59,B57,B55,B53,B51,B49,B47,B45" _
), Range("B43,B41,B39,B37,B35,B33,B31,B29,B27,B25,B23,B21,B19" _
), Range("B17,B15,B13,B11,B9,B7,B5" _
)).Select
Selection.ClearContents
Range("B5").Select

```

```
End Sub
```

KUVA 28. Aliohjelma, joka tyhjentää taulukon solut

12.4 AktiveX -ohjauspainike

Käyttöliittymässä on ohjauspainike, jolla on oma koodi. Eli tämä painike on AktiveX-komponentti, joilla on aina oma koodinsa. AktiveX-komponentteihin ei voida liittää nauhoitettua makroa, joten se on ohjelmoitava erikseen. Tämän painikkeen toimintana on sulkea työkirjat JOHTO 1, JOHTO 2, JOHTO 3 ja käyttöliittymän työkirja. Suljettaessa tällä painikkeella, työkirjojen muutosten tallentamisen kysely on estetty ja ne suljetaan tallentamatta. Kuvassa 29 on "Lopeta"-painikkeen toimintaan liittyvä koodi.

```
Private Sub LOPETA_PAINIKE_Click()
```

```

Application.ScreenUpdating = False
Windows("JOHTO 1.xlsm").Activate
Application.DisplayAlerts = False
ActiveWorkbook.Close SaveChanges:=False
Windows("JOHTO 2.xlsm").Activate
Application.DisplayAlerts = False
ActiveWorkbook.Close SaveChanges:=False
Windows("JOHTO 3.xlsm").Activate
Application.DisplayAlerts = False
ActiveWorkbook.Close SaveChanges:=False
Application.ScreenUpdating = True
Application.DisplayAlerts = False
ThisWorkbook.Close SaveChanges:=False

```

```
End Sub
```

KUVA 29. Lopeta-painikkeen koodi

Rivillä 1 työkirja JOHTO 1 aktivoidaan. Rivillä 2 aktivoidun työkirjan näytettävät varoitukset estetään. Rivillä 3 aktiivinen työkirja suljetaan ja muutoksia ei tallenneta. Tässä vaiheessa näyttöön ilmestyisi kysely tallentamisesta. Rivin 2 toiminnolla estetään kyselyn näyttäminen. Nämä edellä mainitut vaiheet toistetaan muille työkirjoille. Itse käyttöliittymän työkirjaa ei tarvitse aktivoida, koska se on jo valmiiksi aktiivinen silloin, kun painetaan LOPETA-painiketta.

12.5 Ehtolause

Ehtolause on yksi osa ohjausrakennetta. Ehtorakenteen avainsana on *If* ja siksi puhutaankin *if*-lauseesta ja *jos*-lauseesta. Ehtorakenne on haarautuva ohjelmointirakenne. Aliohjelmat vaativat useimmiten ehtolauseita, koska ohjelmoinnin yleisimpänä tarkoituksena on automatisoida toimintoja. Tässä työssä on parissa aliohjelmassa ehtorakennetta. Niiden avulla automatisoidaan käyttöliittymän tapahtumia käyttäjän tekemien valintojen mukaisesti.

Yksinkertaisin ehtolause sisältää pelkän *If*-osan. Tässä työssä ehtolauseen rakenteena on kuitenkin käytetty *If*-osaa ja lisäksi *Else*-osaa. Tätä rakennetta on käytetty, koska lausekkeessa vaaditaan tiettyjä toimintoja myös kun ehtolauseke ei toteudu. Pelkässä *If*-lausekkeessa toiminto suoritetaan, kun ehto toteutuu. Kun ehto ei toteudu, ei tapahdu mitään.

Kuvassa 30 nähdään tämän työn ehtolauseerakennetta. Koodista voidaan nähdä, että ensimmäisenä ehtona on pylvään tyyppi. Kun tämä ehto toteutuu, siirrytään toiseen ehtoon. Kun johtojen lukumäärä ehto toteutuu, tehdään tietyt toimenpiteet. Kun ehto ei toteudu, siirrytään *Else*-ehtoon. Sen sisällä on taas ehtolause, jonka toteutuessa suoritetaan tietyt toimenpiteet. Jos pylvääntyyppi ehto ei toteudu, siirrytään sen ehtolausekkeen *Else*-ehtoon, jossa kysytään uudestaan pylvään tyyppiä ja johtojen lukumäärään liittyviä ehtoja.

Kuvassa 30 näkyy vain osa koodin sisällöstä, mutta rakenteen periaate jatkuu samanlaisena siitä eteenpäin ja loppuu ehtojen loppuessa. Rakenteesta nähdään, että siinä on ehtolausekkeita ehtolausekkeiden sisällä. Ensimmäisen tason ehtolause on pylvään tyyppi, jossa on sekä *if*- ja *else*-osiot. Ensimmäisen ehtolausekkeen sisällä on toisen tason ehtolausekkeet, joissa esiintyy *if*- ja *else*-osiot. Ehtolausekkeen toteutuminen vaatii kahden erillisen ehdon toteutumisen.

```

Private Sub ComboBox4_Change()
  If ComboBox4 = "Kannatuspylväs" Then
    If JohtojenLkm = 1 Then
      ComboBox1.Visible = True
      ComboBox5.Visible = False
      ComboBox2.Visible = False
      JohdonKulma2.Visible = False
      JohdonKulma3.Visible = False
      LatvaetaisyysHarus.Visible = False
      LatvaetaisyysJohto2.Visible = False
      LatvaetaisyysJohto3.Visible = False
      bMitta.Visible = False
      bMitta2.Visible = False
      Pystykerroin.Visible = False
    Else
      If JohtojenLkm = 2 Then
        ComboBox1.Visible = True
        ComboBox5.Visible = True
        ComboBox2.Visible = False
        JohdonKulma2.Visible = True
        JohdonKulma3.Visible = False
        LatvaetaisyysHarus.Visible = False
        LatvaetaisyysJohto2.Visible = True
        LatvaetaisyysJohto3.Visible = False
        bMitta.Visible = False
        bMitta2.Visible = False
        Pystykerroin.Visible = False
      Else
        If JohtojenLkm = 3 Then
          ComboBox1.Visible = True
          ComboBox5.Visible = True
          ComboBox2.Visible = True
          JohdonKulma2.Visible = True
          JohdonKulma3.Visible = True
          LatvaetaisyysHarus.Visible = False
          LatvaetaisyysJohto2.Visible = True
          LatvaetaisyysJohto3.Visible = True
          bMitta.Visible = False
          bMitta2.Visible = False
          Pystykerroin.Visible = False
        Else
          End If
        End If
      End If
    Else
      If ComboBox4 = "Harustettu pylväs" Then
        If JohtojenLkm = 1 Then
          ComboBox1.Visible = True
          ComboBox5.Visible = False
          ComboBox2.Visible = False
          JohdonKulma2.Visible = False

```

KUVA 30. Ehtolauseke rakenne käyttöliittymälle

Käyttäjälomakkeilla, joita tarkemmin käsitellään luvussa 10.6, on oltava ohjauskoodi. Koodin rakenne on tyypiltään ehtolause, jossa on sekä If-osa, että Else-osa. Ehdon toteutuessa suoritetaan toimenpiteitä ja päätetään ohjelmansuoritus. Kun ehto ei toteudu, toteutetaan toimenpide, mutta ohjelman suoritus ei pääty, vaan annetaan käyttäjälle mahdollisuus saada ehto toteutumaan. Kuvissa 31 ja 32 on tähän liittyvät käyttäjälomakkeiden ehtolausekkeet.

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
  If TextBox1 = "112" Then  
    Taul5.Maastotyyppi.Visible = True  
    Taul5.Maastotyyppi.DropDown  
  End  
  Else  
    MsgBox "Väärä salasana"  
  End If  
End Sub
```

KUVA 31. Käyttäjälomakkeen If-Else -ohjausrakenne

Kuvan 32 rakenne on samanlainen, kuin edellisessä kuvassa. Erona niissä on toimenpiteiden määrä, joita suoritetaan.

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
  If TextBox1 = "1234" Then  
    UserForm11.Show  
  End  
  Else  
    MsgBox "Väärä salasana"  
    TextBox1.Value = ""  
    TextBox1.SetFocus  
  End If  
End Sub
```

KUVA 32. Käyttäjälomakkeen If-Else -ohjausrakenne

12.6 Käyttäjälomake

Kun tarvitaan, muunlaista kuin yksinkertaisia perusfunktioita, voidaan ottaa käyttöön Excel VBA- projektin käyttäjälomakkeet.

Käyttäjälomakkeilla on mahdollista määritellä monenlaisia käyttöliittymiä. Sen avulla voidaan tehdä valintalistoja, tekstikenttiä ja muita erilaisia kontrolleja eli toimintoja.



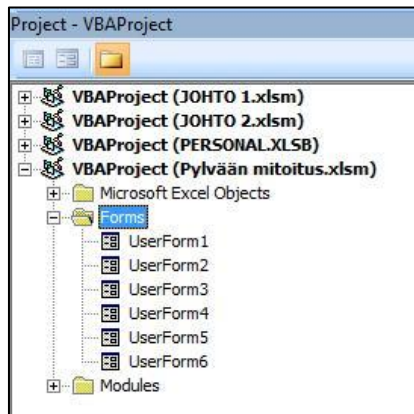
KUVA 33. Käyttäjälomake

Tässä työssä olen käyttänyt käyttäjälomakkeita tärkeiden valintojen tekemisen varmistamiseen (Kuva 33). Eli kun käyttäjä aikoo muuttaa työkirjan valintalistan arvoa, niin ohjelma kysyy salasanaa tämän muutoksen tekemiseen ja varmistetaan samalla, että käyttäjä on oikealla asialla.

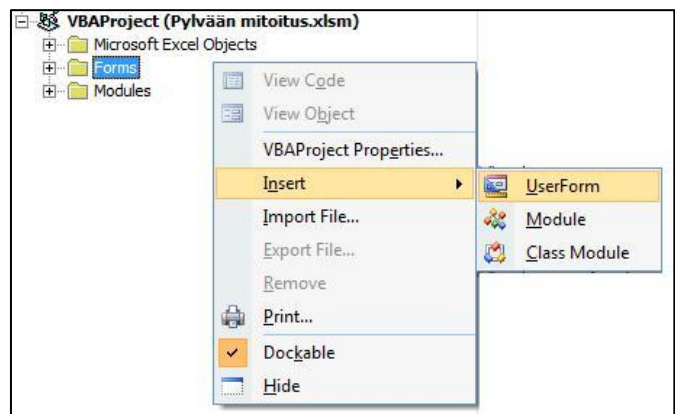
Tätä ominaisuutta ei työssä aluksi ollut, mutta testikäyttäjien toiveesta piti keksiä jotta-kin tärkeiden parametrien muuttamisen estämiseksi vahingossa. Mielestäni salasanan syöttäminen tietojen muuttamiseksi on äärimmäinen keino ja vahinkoja ei pitäisi päästä syntymään epähuomiossa.

12.6.1 Käyttäjälomakkeen luonti

Lomakkeen perustaminen aloitetaan lisäämällä Visual Basic editoriin uusi käyttäjälomake eli UserForm. Lomakepohja lisätään valikosta Insert/UserForm tai painamalla hiiren kakkospainiketta muokattavan projektin kohdalla projekti-ikkunassa ja valitsemalla Insert/UseForm (Kuva 35). Kuvasta 34 nähdään kuinka käyttäjälomakkeet ovat projektissa.

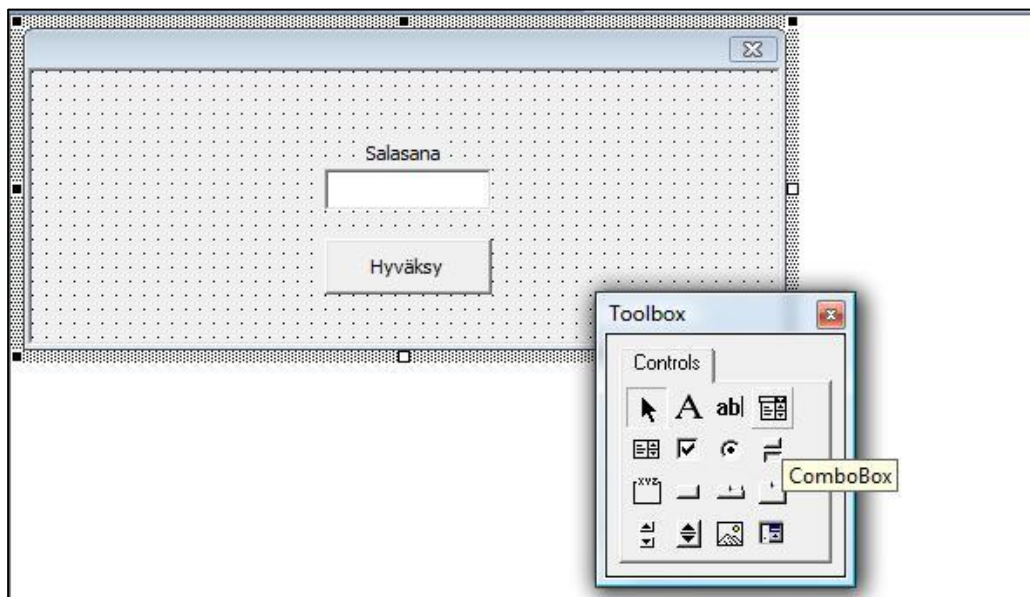


KUVA 34. Käyttäjä lomakkeet



KUVA 35. Lomakepohjan lisääminen projektiin

UserForm -kuvakkeesta hiirellä kaksois- klikkaamalla saadaan näkyviin kuvan 29 mukainen käyttäjälomakkeen luonti ikkuna, johon samalla syntyy työkalupalkki aktiivisella alueella. Työkalupalkista lisätään ohjausobjekteja ja muita komponentteja. esimerkiksi kuvassa 36 näkyvä ComboBox eli valintalista.



KUVA 36. Käyttäjälomakkeen ulkoasu ja työkalut

Tässä työssä komponentteina on käytetty tekstikenttää ja lomakkeen ohjaus painiketta (Kuva 37). Käyttäjälomakkeen luonnissa ei riitä se että siirtele komponentit sopiville paikoille, vaan niiden toimintaa tarvitaan koodia. Seuraavassa kuvassa on esitetty tämän työn koodia, jossa Hyväksy-painikkeelle on luotu sen toiminta.

Painike eli `CommandButton1` on tässä tapauksessa Hyväksy-painike. Tämän painikkeen painaminen käy läpi kuvan 37 mukaisen koodin. Koodi sisältää ehtolausekkeen, jossa ehtona on käyttäjän kirjoittama salasana tekstikentässä. Kun ehto ei toteudu eli salasana on väärä, `MsgBox` -funktio tulostaa näytölle tekstin "Väärä salasana". Kun ehto toteutuu, maastotyyppin valintalista tulee näkyviin (`Visible = True`), valintalista avautuu (`DropDown`) ja ohjelman suoritus loppuu `End` -komennolla.

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
  If TextBox1 = "1234" Then  
    Tau15.Maastotyyppi.Visible = True  
    Tau15.Maastotyyppi.DropDown  
  End  
  Else  
    MsgBox "Väärä salasana"  
  End If  
End Sub  
Private Sub UserForm_QueryClose(Cancel As Integer, CloseMode As Integer)  
  Tau15.Maastotyyppi.Visible = True  
End Sub
```

KUVA 37. Hyväksy-painikkeen koodi

12.6.2 Käyttäjälomakkeen ohjaus

Käyttäjälomake pitää saada esiintymään silloin, kun käyttäjä tekee jotain, jonka takia se pitää näyttää. Kuvassa 38 on käyttäjälomakkeiden ohjaukseen liittyvää koodia.

Kun käyttäjä painaa esimerkiksi jääkuorman valintalista käyttöliittymässä, ohjelma suorittaa kuvan 38 mukaisen koodin. Koodissa jääkuorman valintalista piilotetaan (`Visible = False`), jotta käyttäjä ei voi tehdä valintoja. Käyttäjälomakkeen tekstikenttä aktivoidaan (`SetFocus`) ja sen jälkeen vasta tulostetaan käyttäjälomake näytölle (`UserForm4.Show`). Kun lomake on näytöllä käyttäjä voi kirjoittaa salasanan tekstikenttään ja hyväksyä valinta erillisellä painikkeella (ks. luvun 12.6.1 käyttäjälomake)

Valintalistan saa tekemään vastaavan toiminnon esimerkiksi siten, että käyttäjän tarvitsee vain viedä hiiren kursori valintalista päälle. Tämän tavan nimi koodissa on `MouseMove`. Tässä työssä on kuitenkin käytetty kuvassa 38 esiintyvää `GotFocus` -toimintaa.

```
Private Sub HelleLampotila_GotFocus()  
    HelleLampotila.Visible = False  
    UserForm8.TextBox1.SetFocus  
    UserForm8.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Jaakuorma_GotFocus()  
    Jaakuorma.Visible = False  
    UserForm4.TextBox1.SetFocus  
    UserForm4.Show  
End Sub
```

```
Private Sub Johtimenkorkeusmaastosta_GotFocus()  
    Johtimenkorkeusmaastosta.Visible = False  
    UserForm5.TextBox1.SetFocus  
    UserForm5.Show  
End Sub
```

KUVA 38. Käyttäjälomakkeiden ohjaus

13 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUS

Työn toteutus alkoi tutustumisella aiheeseen ja siihen liittyvään aineistoon ja standardeihin. Standardit löytyivät verkkomateriaalina SFS Onlinesta ja kirjallista materiaalia löytyi Savonian kirjastosta. Lisäksi oli Voimatelin antamaa materiaalia. Perehdyttyä materiaaleihin ja aiheeseen, voitiin alkaa hahmotella ohjelman rakennetta. Rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä löytyi entisten ohjelmien avulla. Piti hakea kaikki mahdolliset asiat, jotka vaikuttavat laskentaan. Yhtenä ideana ohjelman rakenteeseen oli se, että kaikki on yhdellä ruudulla eli ei tarvitse rullata hiirellä ruutua ylös ja alas. Nykyisin näytöt ovat isokokoisia, joten niille mahtuu paljon tietoa.

Kun lähtötiedot alkoivat olla kohdallaan, voitiin alkaa miettiä miten saadaan tehtyä laskenta, jonka lopputuloksena olisi pylvään luokka. Tähän löytyi idea käyttää jo olemassa olevaa laskentataulukkoa hyödyksi. Idea helpotti työn toteuttamista ja mahdollisti täyden keskittymisen uuden käyttöliittymän suunnitteluun. Ennen ohjelmien hyödyntämistä oli kuitenkin selvitettävä tekijänoikeus asiat. Asian selvisi kysymällä asiaa sähköpostitse Finnmast Oy:n omistajalta, jonka mukaan ohjelman käytölle ei ollut mitään rajoituksia. Ohjelmille oli kuitenkin oltava lailliset Adato Oy:ltä hankitut versiot. Muussa tapauksessa kyseessä olisi lisenssirikkomus, jolla voi olla kalliit seuraukset. Voimatel Oy:llä oli lisenssioikeudet ohjelmien käyttämiselle, joten tekijänoikeusasiat olivat kunnossa työn kannalta.

Laskentataulukon hyödyntäminen saatiin aikaiseksi linkittämällä uuden taulukon ja entisen taulukon välinen kommunikointi. Tämä onnistui helposti Excelin perusominaisuuksilla. Ehtona linkittämiselle oli se, että molemmat taulukot ovat samassa kansiossa, jotta linkityksen polku on sama kuin uuden taulukon. Laskennassa tarvittiin kuitenkin yhtä aikaa saman taulukon tietoja, mutta eri parametreilla. Tähän löytyi ratkaisu luomalla hyödynnettävästä taulukosta tiedostot eri nimillä. Nämä taulukot nimettiin johdon mukaan taulukoiksi JOHTO 1, JOHTO 2 ja JOHTO 3. Kun taulukot ja uusi käyttöliittymä-tila olivat samassa kansiossa, linkitys toimi odotetulla tavalla. Linkityksen toiminta oli yksi työn etenemisen ehto. Nyt pystyttiin keskittymään käyttöliittymän toteuttamiseen.

Työn toteutus vaati Excelin käytön perusosaamista, mutta myös sen kehitystyökalujen käyttöä. Kehitystyökaluna käytettiin Excel VBA -ohjelmointia ja siihen liittyvää Visual Basic -ohjelmointityökalua. Toteutus vaati siis tutustumista VBA -ohjelmointiin.

Ohjelmoinnin avulla automatisoitiin ohjelman toiminnallisuutta. Ohjelman avaaminen vaati koodin suorittamista, jossa käyttöliittymä työkirja avaa kaikki muut tarvittavat työkirjat sekä säätää ruudun automaattisesti oikeanlaiseksi. Myös työkirjan sulkeminen vaatii oman toiminnallisuuden ohjelmoinnin. Siinä tapahtumassa suljetaan kaikki työkirjat ilman tallennusta. Käyttöliittymässä olevat valintalistat vaativat niiden sisällön ja toiminnan osalta koodin kirjoittamista. Esimerkiksi kaikki valintalistojen valinnat on kirjoitettu koodiin. Tärkeiden valintojen tekemiselle vaadittiin jonkinlaista tahattoman muuttamisen estämistä. Tämä ominaisuus ratkaistiin tekemällä näille valintalistoilta salasanasuojaus. Suojauksen toiminta vaati koodin kirjoittamista. Pylvään mitoitus-työkirjassa on käyttöliittymän lisäksi muita taulukoita. Näiden taulukoiden välillä liik- kumista helpotettiin lisäämällä painikkeet, joita painamalla päästään taulukkoon ja pois taulukosta.

Opinnäytetyötä tehtiin yhdessä Voimatelin suunnittelijoiden ja asiantuntijoiden kans- sa. Yhteistyön tekemisen ideana oli se, että saataisiin ohjelmasta sellainen mitä he haluavat ja myös ongelmien ratkaiseminen oli yhtenä tavoitteena. Yhteistyön antamat edut olivat ratkaisevassa asemassa työn toteutumiseksi määräajassa ja tavoitteiden mukaisesti.

14 YHTEENVETO

Opinnäytetyön alkuvaiheessa lähdettiin tekemään laskentaa johdon laskentaan liittyen. Tämä työvaihe lähtikin etenemään hyvin, kunnes laskenta oli edennyt tiettyyn pisteeseen Eteen tuli ongelma laskennan kanssa, jonka ymmärtämiseen olisi tarvinnut korkeampaa matemaattista osaamista. Laskennan tekeminen vei paljon aikaa, mutta se ei mennyt hukkaan. Kaikki se laskenta, joka saatiin tehtyä, antoi hyvän teoreettisen pohjan mitoitukseen liittyen. Laskennassa joutui tutustumaan aiheeseen liittyvään standardiin perusteellisesti. Ongelma olisi voitu välttää ymmärtämällä, ettei laskenta ole yksinkertainen ja aloittamalla työ siitä miten se lopulta toteutettiin.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin käyttökelpoinen sähköpylväiden mitoitukseen tarkoitettu ohjelma ja käyttöliittymä. Toteutus vaati suunnittelua loppukäyttäjien kanssa. Tästä syystä ohjelman rakenne muuttui koko työn ajan, koska loppukäyttäjien ja työn tekijän näkemyksissä oli aina jotain eroa.

Ohjelmalle jäi myös jatkokehitysmahdollisuuksia. Esimerkiksi maastosta kerättyjen GPS-tietojen avulla voitaisiin laskea tiettyjä parametreja.

LÄHTEET

- Lakervi, E. & Partanen J. 2009. *Sähkönjakelutekniikka*. Helsinki: Otatieto
- Elovaara, J. 2011. *Sähköverkot II*. Helsinki: Otatieto.
- Merensalmi, J. 2007. *Excel VBA Yrityskäytössä*. Porvoo: WSOY.
- Sähköinfo Oy. 2012. *Sähköala 1-2/2012*. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.
- SFS. 2005. *SFS-EN 50341-1*
- SFS. 2010. *SFS-EN 50423-3-7*
- SFS. 2004. *SFS 2662*.
- Voimatel Oy. 2012a. Yrityksen www-sivut. Yhtiö. Asiantuntemusta kautta linjan [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa: <http://www.voimatel.fi/>
- Voimatel Oy. 2012b. Yrityksen www-sivut. Yhtiö. Historia. [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa: <http://www.voimatel.fi/>
- Voimatel Oy. 2012c Yrityksen www-sivut. Yhtiö. Omistajat. [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa: <http://www.voimatel.fi/>
- Iivari Mononen Oy. Yrityksen www-sivut. [viitattu 27.3.2012]. Saatavissa: <http://www.iivarimononen.fi/>
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Yhdistyksen www-sivut. [viitattu 11.4.2012]. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi>
- Paatero, J. 2001. Hajautetut energiantuotantojärjestelmät. [viitattu 28.3.2012]. Saatavissa: <http://users.tkk.fi>
- Taanila, A. 2011. Excel VBA- ohjelmointi. [viitattu 27.3.2012]. Saatavissa: <http://.myy.haaga-helia.fi>

Sähköpölväiden mitoitushjelma

Käyttöohjeet

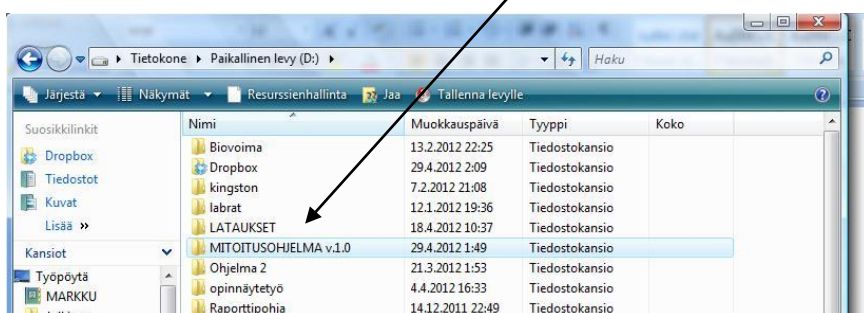
Ohjelma v.1.0

OHJELMAN KÄYTTÖNOTTO

Valitse ja avaa **verkkolevy G** (kuva ei vastaa oikeaa tilannetta).

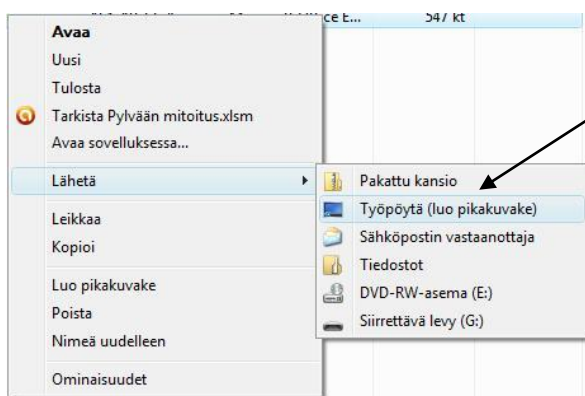


Avattuasi verkkolevyn, valitse **MITOITUSOHJELMA -kansio** ja kopio se leikepöydälle.



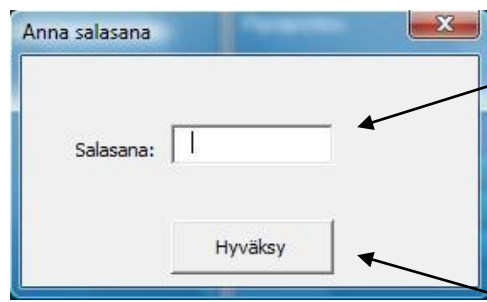
Liitä kopioitu tiedostokansio haluamaasi paikkaan esim. C-asemalle.

Avaa kansio ja luo kansiossa olevasta pikakuvakkeesta toinen pikakuvake työpöydälle alla olevan kuvan mukaisesti.



Ohjelma avataan työpöydän pikakuvakkeesta.

Kun olet käynnistänyt ohjelman, sen avautuessa näytölle ilmestyy käyttäjälomake, johon annetaan salasana.



Salasana on 1234. Salasana hyväksytään painamalla hyväksy-painiketta. Tämän jälkeen ohjelma käynnistyy lopullisesti ja sitä voidaan alkaa käyttämään.

MITOITUSOHJELMAN KÄYTTÄMINEN

OHJAUSPAINIKKEET

Johdon tietoja I

Kiristysväli m

Tuulijänne m

Ekvivalenttijänne m

Summa Y m

EKVIVALENTTIJÄNTEEN LASKENTA

Tässä taulukossa voidaan laskea ekvivalenttijänteen tarkka arvo. Taulukkoon syötetään kaikki kiristysvälin jänteet, jonka jälkeen saadaan vastaus ekvivalenttijänteelle. Taulukkoon pääsee painamalla laske-painiketta.

SUMMA Y LASKENTA

Summa Y:n taulukossa voidaan laskea tarkasteltavalle pylvälle summa Y:n arvo. Laskennassa syötetään viereisten jänteiden pituudet ja lisäksi on syötettävä korkeus tiedot pylväistä. Korkeustiedot on laskettava käsin esimerkiksi GPS tiedoista. Taulukkoon päästään painamalla laske-painiketta

ASENNUSVOIMAT -JA RIIPPUMAT

Asennusvoima ja riippuma-taulukossa voidaan tarkastella riippumaa asennuslämpötilasta riippuen. Taulukkoon siirrytään kuvan mukaisella painikkeella.

Asennusvoimat -ja riippumat

YHTEENVETO

YHTEENVETO

Yhteenveto-taulukossa on tiedot pylvästä ja siihen liittyvistä ilmajohtotarvikkeista.

OHJELMAN SULKEMINEN

Kun halutaan lopettaa mitoitusohjelman käyttäminen, tulisi se tehdä käyttämällä **SULJE OHJELMA** -painiketta käyttöliittymän oikeassa alareunassa. Painiketta käyttämällä ohjelma ei tallenna mitään käytön aikana tehdyistä muutoksista. Tällä tavoin saadaan käynnistettyä ohjelma uudestaan perusasetuksilla. Painikkeen painaminen sulkee samalla taustalle avatut työkirjat.

JOHDON TIETOJA I

Johdon tietoja I kohdassa käyttäjän pitää kirjoittaa tiedot näppäimistöltä. Tietojen syöttäminen tapahtuu painamalla kenttä aktiiviseksi ja kirjoittamalla ruutuun arvo. Arvo tulee voimaan painamalla, joko enteriä tai tabulaattoria.

Johdon tietoja I

Kirstysväli 0,0 m

Tuulijänne 0,0 m

Laske Ekvivalenttijänne 0,0 m

Laske Summa Y 0,000

Aktivoitu kenttä

JOHDON TIETOJA II

Johdon tietoja II kohdassa käyttäjä voi muuttaa lähinnä olosuhteisiin liittyviä tietoja. Näitä parametreja ei kovin usein tarvitse muuttaa. Nämä parametrit on yleensä määritelty tilaajan määritelmissä.

Tietojen muuttaminen tapahtuu klikkaamalla valintalistaa. Näyttöön ilmestyy ikkuna, johon kirjoitetaan salasana. Salasanan hyväksymisen jälkeen valintalista avautuu itsestään ja tehdään valinta.

Johdon tietoja II

Maastotyyppi 3

Luotettavuustaso 1

Perustuulennopeus 21

Jääkuorman perusarvo 20

Johtimen kesk. kork. ymp. maastosta 10

Paikan korkeus merenpinnasta 0

Yhdistelmäkerroin, tuuli Ψ_w 0,40

Yhdistelmäkerroin, jää Ψ_i 1,0

Hellelämpötila 70

Salasana: []

Hyväksy

Paina valintalistaa

Kirjoita salasana 1234

Tee valinta

Johdon tietoja II

Maastotyyppi 3

Luotettavuustaso 1

Perustuulennopeus 21

Jääkuorman perusarvo 20

Johtimen kesk. kork. ymp. maastosta 10, 20, 25, 50, 75

Paikan korkeus merenpinnasta

Yhdistelmäkerroin, tuuli Ψ_w 0,25

Yhdistelmäkerroin, jää Ψ_i 1,0

Hellelämpötila 70

PYLVÄS

PYLVÄS	
A-Pylväs	Pylvään rakenteellinen tyyppi
Pylväspituus, m: 7	Pylvään kokonaispituus (7 m - 18 m)
Johtojen lkm: 2	Johtojen lukumäärä pylväässä (1-3 kpl)
Pystyvoiman kerroin AP	A- ja T- pylvääseen vaikuttavan pystyvoiman kerroin

ORRET JA ERISTIMET

Johdon ripustamiseen käytetään ortta ja eristimiä. Orret ja eristimet kohdassa annetaan niiden tuulipinta-ala ja niiden yhteispaino. Nämä tiedot voidaan valita johdolle 1 ja johdolle 2.

ORRET ja ERISTIMET	
Johto 1	
Orsi & eristimet, tuulipinta: 0,2	Johdon 1 orren ja eristimien tuulipinta-ala
Orsi & eristimet, paino: 20	Johdon 1 orren ja eristimien paino
Johto 2	
Orsi & Eristimet, tuulipinta: 0	Johdon 2 orren ja eristimien tuulipinta-ala
Orsi & eristimet, paino: 0	Johdon 2 orren ja eristimien paino

JOHTOJEN VALINNAT

Johto 1, Johto 2 ja Johto 3 kohdassa valitaan tiedot johdosta ja sen sijoittumisesta pylvääseen. Lisäksi annetaan harustukseen liittyvät johtokohtaiset tiedot. Johdolle valittavien tietojen määrä vaihtelee riippuen pylvään rakenteesta. Alla olevat kuvat ovat harustetulle pylväälle. Seliteteksteissä on mainittu vaihtoehtoinen tilanne.

JOHTO 1

JOHTO 1	
Johdinlaji	Sparrow
Johtokulma pylväällä	0
Latvaetäisyys, Harus	0
b-mitta	10
Haruskaltevuus	1,0 : 1

- Johtolaji 1
- Johdon 1 johtokulma
- Ylemmän haruksen etäisyys latvasta
- Tukipuun etäisyys latvasta
- Ylemmän haruksen b-mitta
- Tukipuun b- mitta
- Ylemmän haruksen kaltevuus
- Tukipuun kaltevuus

JOHTO 2

JOHTO 2	
Johdinlaji	AMKA 3x35+70
Johtokulma pylväällä	0
Latvaetäisyys, Johto 2	2,0
b-mitta	8
Haruskaltevuus	1,0 : 1

- Johtolaji 2
- Johdon 2 johtokulma
- Johdon 2 etäisyys latvasta +
alemman haruksen etäisyys latvasta
- Alemman haruksen b-mitta
- Alemman haruksen kaltevuus

JOHTO 3

JOHTO 3	
Johdinlaji	VMOHBUK 10x2x0,5
Johtokulma pylväällä	0
Latvaetäisyys, Johto 3	2,30

- Johtolaji 3
- Johdon 3 johtokulma
- Johdon 3 etäisyys latvasta

KUORMAT

Ohjelma antaa johtokohtaisia voimia, joita käytetään laskennassa hyödyksi. Pylväskuormat ovat pylvään ja orren mitoitukseen. Johdinvoimia käytetään myös orren mitoitukseen kulma- ja pystyvoiman osalta. Johdinvoimat liittyvät tuulen ja jään aiheuttamia kuormia.

PYLVÄSKUORMAT

PYLVÄSKUORMAT			
	JOHTO 1		
Vaakavoima	1,67 kN		
Pystyvoima	3,40 kN		

JOHDINVOIMAT

Johdinvoimat nähdään johtokohtaisesti suhteellisena ja todellisena arvona. Kun johdinvoima ylittää johtimen tai johdon kannatusjohtimen suurimman sallitun johdinvoiman, ilmestyy ruutuun varoitus asiasta ja johdinvoiman arvo muuttuu prosenteiksi.

JOHDINVOIMA LIIAN SUURI !!!			
	91 %	HUOM !	24 %
Johdinvoima	7,4 kN	118,0 %	6,1 kN
Pystyvoima (Sum-Y)	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN
Kulmavoima	11,44 kN	0,00 kN	0,00 kN
Pystyvoima	2,88 kN	0,96 kN	1,00 kN

Varoitus

Suhteellinen arvo

Johdinvoima prosentteina

JOHDINKUORMAT

JOHDINKUORMAT			
Tuulikuorma	1,65 kN	0,60 kN	0,57 kN
Jääkuorma	3,00 kN	1,00 kN	1,00 kN
Paino	202 N	329 N	113 N

HARUKSET

HARUKSET			
	Ylempi harustus	Alempi harustus	Yhteiskuorma
Harusvoima	0,0 kN 0,3 %	0,00 kN 0,0 %	0,0 0,3 %
Harusten lukumäärä	1 kpl	0 kpl	1

Harusvajereiden lkm. ylemmälle harustukselle

Harusvajereiden lkm. alemmalle harustukselle

Harusten lkm. kuten FM-CLC:ssä

PYLVÄSLUOKKIEN RIITTÄVYYDET

Kannatuspylvään riittävyys			
lk2	105 %	2x lk2	52 %
lk3	82 %	2x lk3	41 %
lk4	62 %	2x lk4	31 %
lk5	50 %		
1x pylväs:		310	82,3 %
2x pylväs:		210	52,4 %

Pylvään luokka

Pylväsluokan riittävyys

Suhteellinen kuormitus

Pienin mahdollinen luokka ja suhteellinen kuorma

1. pisteestä Harustetun pylvään riittävyys			
lk2	26 %	2x lk2	13 %
lk3	18 %	2x lk3	9 %
lk4	12 %	2x lk4	6 %
lk5	9 %		
1x pylväs:		210	25,9 %
2x pylväs:		210	13,0 %

Pylvään rakenteellinen nimi

2. pisteestä Harustetun pylvään riittävyys			
lk2	27 %	2x lk2	14 %
lk3	19 %	2x lk3	9 %
lk4	13 %	2x lk4	6 %
lk5	9 %		
1x pylväs:		210	27,5 %
2x pylväs:		210	13,7 %

A-pylvään riittävyys			
lk2	164 %		
lk3	112 %		
lk4	76 %		
lk5	55 %		
1x pylväs:		410	75,7 %
2x pylväs:		0	

Ylemmän harustuskohdan riittävyys			
Pylväs valitaan latvan kestävyuden perusteella			
lk2	130 %	2x lk2	65 %
lk3	92 %	2x lk3	46 %
lk4	67 %	2x lk4	34 %
lk5	51 %		
1x pylväs:		310	91,7 %
2x pylväs:		210	64,8 %

YHTEENVETO-taulukko

Yhteenveto taulukossa saadaan tietoa pylvästä ja siihen liitettävistä ilmajohtotarvikkeista.

Pylvään tiedot

Paluu-painike

PYLVIÄS + TARVIKKEET

PYLVIÄS

2. pisteestä harustettu

luokka kuormitus
 1x pylväs 310 70,1 %
 2x pylväs 210 51,1 %

Takaisin pylvään
mitoitukseen

ILMAJOHTOTARVIKKEET

OK, jos käy tilanteeseen

Orret

		<i>johdon suuntainen</i>	<i>pystyvoima</i>	<i>kulma-voima</i>
Taso-orisi (SH 66, SH 66.950)		106,5 %	36,6 %	107,7 %
Taso-orisi (SH 67, SH 68, SH 69)		106,5 %	31,2 %	107,7 %
Kolmio-orisi (SH 60)		106,5 %	40,0 %	107,7 %
Tasokulmaorisi (SH 63, SH 207, SH 207.10)	OK	85,2 %	32,0 %	23,1 %
Kolmiokulmaorisi (SH 65)	OK	85,2 %	32,0 %	23,1 %
Pääteorisi 1- pylväs (SH 70 + SH 71)	OK	38,0 %		
Pääteorisi 2- pylväs (SH 70 + SH 72)	OK	19,1 %		
Kiiristysorisi (SH 178)	OK	25,7 %		

A- ja T-pylvään latvaliitostarvikkeet

Tarvikkeiden lkm.

Suhteelliset kuormat

Harukset ja tarvikkeet

	JOHTO 1	
Harusrauta, suora, M20	3	247,2 %
Harusrauta, suora, M24	2	171,9 %
Harusrauta, taivutettu, M20	3	237,6 %
Harusrauta, taivutettu, M24	2	164,8 %
Harusrauta, taivutettu, raskas, M20	2	142,0 %
Laattasilmus LS.20		114,4 %
Kalliosilmus ja kalliojatkosilmus Ø 20mm		228,8 %
Harusköysi St25, 7x2, 12	3	228,8 %

	JOHTO 2	
	1	16,1 %
	1	11,2 %
	1	15,5 %
	1	10,7 %
	1	9,2 %
	OK	7,4 %
		14,9 %
	1	14,9 %

ASENNUSVOIMAT –JA RIIPPUMAT-taulukko

JOHTO 1		Sparrow		Takaisin pylvään mitoitukseen		Yhteenveto- ikkunaan		Asennuslämpötila		Riippuma			
Ekvivalenttijänne	60	m											
Perustilan jännitys (0-sää)	45	MPa											
Poikkipinta-ala	39,5	mm ²											
Paino	1,344	N/m											
Kimmomoduli, alku	64000	MPa											
Lämpöpiteneumiskerroin	0,000019												
Virumakompensoatiolämpötila	10	°C											
Johimen asennuslämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Kompensoidut laskentalämpötilat	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
Johdinjännitys (MPa)	90,0	84,1	78,2	72,4	66,6	60,9	55,4	50,1	45,0	40,2	35,5	32,0	28,6
Johdinvoima (kN)	3,56	3,32	3,09	2,86	2,63	2,41	2,19	1,98	1,78	1,59	1,42	1,26	1,13
Pystyriippuma jänteen keskellä (m)	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,43	0,48	0,54

JOHTO 2		AMKA 3x35+70		Takaisin pylvään mitoitukseen		Yhteenveto- ikkunaan		Asennuslämpötila		Riippuma			
Ekvivalenttijänne	60	m											
Perustilan jännitys (0-sää)	45	MPa											
Poikkipinta-ala	70	mm ²											
Paino	6,5727	N/m											
Kimmomoduli, alku	55000	MPa											
Lämpöpiteneumiskerroin	0,000023												
Virumakompensoatiolämpötila	10	°C											
Johimen asennuslämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Kompensoidut laskentalämpötilat	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
Johdinjännitys (MPa)	73,2	68,7	64,5	60,5	56,9	53,5	50,4	47,6	45,0	42,7	40,6	38,7	37,0
Johdinvoima (kN)	5,13	4,81	4,52	4,24	3,98	3,74	3,53	3,33	3,15	2,99	2,84	2,71	2,59
Pystyriippuma jänteen keskellä (m)	0,58	0,61	0,65	0,70	0,74	0,79	0,84	0,89	0,94	0,99	1,04	1,09	1,14

JOHTO 3		VMOHBUK 10x2x0,5		Takaisin pylvään mitoitukseen		Yhteenveto- ikkunaan		Asennuslämpötila		Riippuma			
Ekvivalenttijänne	60	m											
Perustilan jännitys (0-sää)	177	MPa											
Poikkipinta-ala	7,91	mm ²											
Paino	2,26	N/m											
Kimmomoduli, alku	189000	MPa											
Lämpöpiteneumiskerroin	0,000012												
Virumakompensoatiolämpötila	10	°C											
Johimen asennuslämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Kompensoidut laskentalämpötilat	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
Johdinjännitys (MPa)	232,8	224,9	217,3	210,0	202,8	196,0	189,4	183,1	177,0	171,2	165,7	160,4	155,4
Johdinvoima (kN)	1,84	1,78	1,72	1,66	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,35	1,31	1,27	1,23
Pystyriippuma jänteen keskellä (m)	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,73	0,75	0,78	0,80	0,83

KÄSITTEISTÖÄ

Kiristysväli

Kiristysväli on kahden kiristyspylvään (esim. johdon suunnassa kaksoisharustetun kulmapylvään) välinen matka, johon kuuluu useita jänteitä ja kannatuspylväitä.

Tuulijänne

Tuulijännettä käytetään jännekertoimen laskentaan. Jännekerroin on jänteen pituudesta riippuva johtimien rakenteellinen resonanssikerroin. Kerroin ottaa huomioon sen, että tuulenpaine ei vaikuta johtimeen samanaikaisesti jänteen koko pituudella.

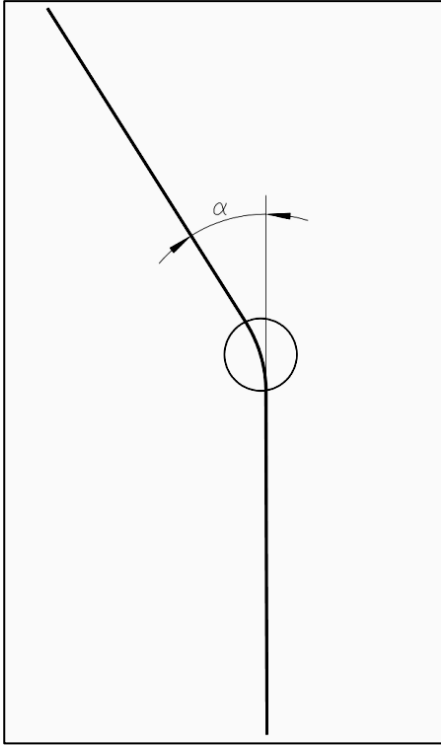
Ekvivalenttijänne

Ekvivalenttijänne on kiristysvälin jänteistä laskettu jänne, jota käytetään köysivoimien laskentaan, kun kiristysväli on useampi kuin yksi jänne. Johdin voima voidaan laskea käyttämällä ekvivalenttimenetelmää edellyttäen, että johdin on ripustettu eristimillä, jotka sallivat tarvittavat siirtymät johdon suunnassa. Keski-jännitejohdoilla riittävä siirtymä syntyy pylvään joustavuudesta, koska eristimet eivät salli siirtymää. Ekvivalentti menetelmä on voimassa, kun vierekkäisten jänteiden pituuksissa ei ole kovin suuria eroja.

Jänteiden välinen suhde = $\frac{S_2}{S_1} < \pm 1,5$.

Johtokulma

Johtokulma on pylvääle tulevan ja lähtevän johdon välinen kokonaiskulma. Kulman määräytyminen on esitetty kuvassa 3.



KUVA 1. Johtokulman määritelmä

Kuvassa 3 näkyvä kulma α on johtokulma. Johtokulman arvo on välillä $0^\circ - 90^\circ$. Laskentaohjelmassa käytetään johtokulmalle 60° arvoa, kun johto päättyy tarkasteltavalle pylvääle eli päätepylvääle.

Johtimen keskikorkeus

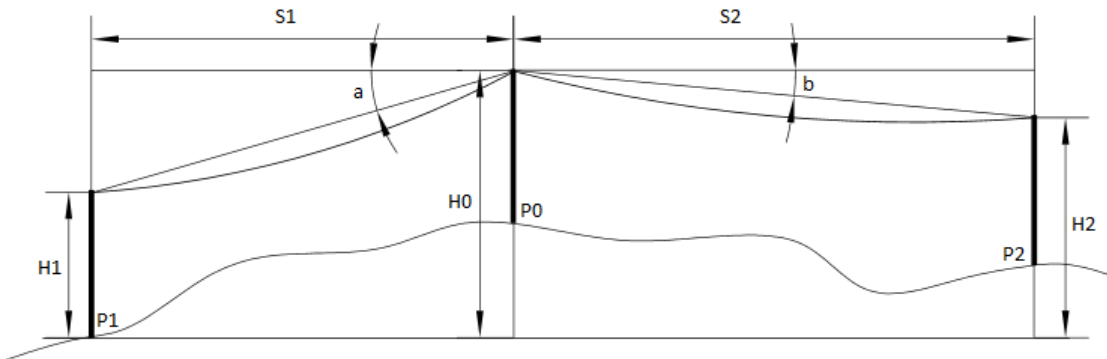
Korkeus mitataan ympäröivän maaston tasolla. Johtimen keskikorkeus vaikuttaa tuulennopeuteen johtimen korkeudella. Johtimen korkeus määritellään yli 10 m korkeudella oleville johdoille.

Paikan korkeus merenpinnasta

Korkeus vaikuttaa ilmantiheyteen, joka otetaan huomioon laskennassa.

Summa Y

Summa Y tarkoittaa viereisten pylväiden nousukulmien tangenttien summaa. Nousukulma on käsiteltävän pylvään ja viereisen pylvään johtimien kiinnityskohtien kautta piirretyn suoran, ja vaakasuoran välinen kulma. Kuvassa 2 on esitetty kuinka summa Y määräytyy tarkasteltavalle pylvälle P0.



KUVA 1. Summa Y:n määräytyminen pylvälle P0.

$$\text{Summa Y} = \mathbf{Y1} + \mathbf{Y2} \quad \mathbf{Y1} = \tan(a) = \frac{H0-H1}{S1} \quad \mathbf{Y2} = \tan(b) = \frac{H0-H2}{S2}$$

Positiivinen summa Y:n arvo tarkoittaa tarkasteltavalla pylvällä sitä, että pylvääseen vaikuttaa johtimien normaali pystyvoima sekä lisäksi kaltevuudesta johtuva pystyvoima. Negatiivinen summa Y:n arvo vähentää normaalia johtimista aiheutunutta pystyvoimaa.

Maastotyyppi

Maastoluokka määritellään maaston ominaisuuksien mukaan. Maastoluokka kertoo millaiseen maastoon jotta ollaan asentamassa. Maastoluokkia on neljä (I-IV) erilaista ja ne ovat taulukon 1 mukaiset. Lisäksi on luokka V, joka pitää määrittellä erikseen

TAULUKKO 1. Maastoluokat (SFS-EN 50341-1.)

Maastoluokka	Maaston ominaisuudet
I	Avoin merialue, vähintään 5 km tuulen puolelle ulottuvat järvet ja tasainen esteetön maa-alue
II	Maatalousmaa-alue, jossa raja-aitoja, satunnaisia pieniä talousrakennuksia, taloja tai puita
III	Esikaupunki- tai teollisuusalue ja pysyvät metsät
IV	Asutusalueet, joiden alasta vähintään 15 % on rakennuksia, joiden keskikorkeus on > 15 m
V	Vuoristo ja rikkonainen maasto, jossa tuuli voi paikallisesti voimistua tai heikentä

Tyypillinen Suomalainen sisämaan kumpuileva metsämaasto kuuluu **tyyppiin III**. Avoin viljelty maaseutu kuuluu **tyyppiin II**. Suojaiset rannikkoalueet, sisäsaaristo, suuret järvet ja laajat peltoaukeat kuuluvat maastotyyppiin I.

Luotettavuustaso

Luotettavuustaso eli johtoluokka riippuu ilmastollisten kuormien toistumisajasta. Ilmajohdon absoluuttista luotettavuutta on vaikea määrittää. Siksi luotettavuustasoa 1 voidaan pitää vertailuluotettavuutena, jolloin korkeammat luotettavuustasot suhteutetaan vertailutasoon.

TAULUKKO 2. Luotettavuustasot (SFS-EN 50341-1.)

Luotettavuustaso	Ilmastollisten kuormien toistumisaika T Vuotta
1	50
2	150
3	500

Suomen kansallisissa määrittelyissä luotettavuustaso määräytyy jännitetason ja johdon tärkeyden mukaisesti (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Luotettavuustason valinta (SFS-EN 50341-3-7.)

Luotettavuustaso	Jännitetaso	Johdon tärkeys
1	≤ 45 kV	tavalliset johdot
	> 45 kV	tilapäiset tai vähemmän tärkeät johdot
2	≤ 45 kV	erikoisjohdot
	> 45 kV	tavalliset johdot
3	Kaikki jännitetasot	erittäin tärkeät johdot

Tasoa 1 käytetään ensisijaisesti ≤ 45 kV johdoilla ja tasoa 2 yli 45 kV johdoilla. Projektieritelmässä voidaan määrittellä kuitenkin toisin.

Perustuulennopeus

Suomen kansallisissa määrittelyissä suositellaan käytettäväksi taulukossa 5 esitettyjä tuulennopeuksia.

TAULUKKO 4. Vertailutuulennopeudet V_R (II) (SFS-EN 50341-3-7.)

V_R (II)	25 m/s	merialueet ja avoimet rannikkoalueet (maastotyyppi 0)
V_R (II)	23 m/s	harva saaristo ja suojaiset rannikkoalueet (maastotyyppi I)
V_R (II)	21 m/s	tiivis saaristo, isot järviolueet ja alavat maa-alueet (maastotyyppi I)
V_R (II)	21 m/s	kaikki muut alueet (maastotyypit II ja III)

Jääkuorman perusarvo

Johtimen jääkuorma riippuu suhteellisesta korkeudesta, joka määritellään johtimen ja johtoa ympäröivän maaston (10 km säteellä tarkastelupaikasta) keskimääräisen tason korkeuserona. Taulukossa 6 on annettu johtimen jääkuorman perusarvot korkeuden mukaan.

TAULUKKO 5. Johtimen jääkuorma (SFS-EN 50341-3-7.)

Jäätymislukokka	Suhteellinen korkeus m	Vertailu-jääkuorma N/m
I	0...50	10
II	50...100	25
III	100..200	50
IV	> 200	75

Jääkuormalle voidaan määritellä muitakin arvoja. Työn tilaaja voi määritellä omat arvonsa, kuten Savon Voiman verkkoalueella tulisi käyttää jääkuorman perusarvona **20 N/m**.

Yhdistelmäkerroin, tuuli Ψ_w ja jää Ψ_I

Yhdistelmäkerroimet ja osavarmuus luvut määräytyvät eri tilanteiden mukaan. Erikoistapauksissa voidaan yhdistelmäkerroimille käyttää pienennettyjä arvoja. Erikoistapauksia ovat Luotettavuustason 1 ja Jäätymisluokan I johdot sekä Päälylystämättömillä johtimilla, kun jännite on ≤ 45 kV

TAULUKKO 1. Kuormitustapaukset ja kertoimet (SFS-EN 50341-3-7.)

Kuormitustapaus	L-tila	Tuuli	Jää	Taso 1		Taso 2		Taso 3	
	°C	Ψ_w							
Huipputuulikuorma	-20	1,00		1,00		1,00		1,00	
Pienennetty tuuli	0	0,58		1,00	1,00	1,00		1,00	
Huippujääkuorma	0		1,00		1,00		1,20		1,40
Huippujää + keskinkertainen tuuli	0	0,4 (0,25)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00	1,40
Kova tuuli + keskinkertainen jää	0	0,70	0,35	1,00	1,00	1,20	1,00	1,40	1,00

Suluissa oleva arvo on pienennetty kerroin J+T kuormituksessa.

Hellelämpötila

Hellelämpötila on johtimen maksimilämpötila käytön aikana. Lämpötilaa käytetään johtimen riippuman laskennassa.

Haruksen latvaetäisyys

Haruksen latvaetäisyys on mitta metreinä pylvään latvasta. Mitat on annettu valintalistassa 10 cm välein.

b-mitta

Tämä pituus määritellään pylvään kokonaispituuteen verraten. Esim. 12 m pylväk ja kaltevuus 1:1, saadaan b-mitaksi 12 m. 1:2 = 6 m jne. Pituus on siis maan alla oleva pylvään tyven ja ankkuroinnin väliltä.

Harus/Tukipuun-kaltevuus

Ohjelma laskee haruskaltevuuden ylemmälle harukselle 1 b-mitan ja haruksen latvaetäisyyden perusteella. Alemman haruksen kaltevuus määräytyy b-mitan ja johdon 2 latvaetäisyydestä.

Johdon latvaetäisyys

Johdon latvaetäisyys on pituus pylvään latvasta johdon 2 tai 3 kiinnityspisteeseen.

© Markku Savolainen 1.5.2012

Microsoft Excel ei-haupallinen käyttö - PVLÄÄN MITOITUSOHJELMA v1.0

Suunnittelija: MARKKU SAVOLAINEN

Johdon tietoja I

Kirstysväli 450,0 m
 Tuulijänne 50,0 m
 Laske Ekvivalenttijänne 50,0 m
 Laske Summa Y 0,000

Johdon tietoja II

Mastotyypit 3
 Luotettavuusaste 1
 Perustulennopeus 21
 Jääkuorman peruaarvo 20
 Johtimen kesk. kork. ymp. maastosta 10
 Paikan korkeus merenpinnasta 0
 Yhdistelmäkerroin, tuuli ψ_w 0,25
 Yhdistelmäkerroin, jää ψ_i 1,0
 Vuurmakompensatiolämpötila 0

PVLÄS

Harustettu pylväs
 Pylväspituus, m 7
 Johtojen lkm: 3

JOHTO 1

Johdinlaji Sparrow
 Johtokulma pylvästä 0
 Latvaetäisyys, Harus 0
 b-mitta 6,5
 Haruskaltevuus 1,08 : 1

JOHTO 2

Johdinlaji AMKA 3x35+70
 Johtokulma pylvästä 0
 Latvaetäisyys, Johto 2 2,0
 b-mitta 5,5
 Haruskaltevuus 0,81 : 1

JOHTO 3

Johdinlaji VMOHUK 20x20x0,5
 Johtokulma pylvästä 0
 Latvaetäisyys, Johto 3 2,30

PYLVÄSKUORMAT

JOHTO 1	JOHTO 2	JOHTO 3
Vaakavoima 1,65 kN	0,60 kN	0,58 kN
Pystyvoima 3,20 kN	1,33 kN	1,15 kN

JOHDINVOIMAT

68 %	52 %	20 %
Johdinvoima 5,6 kN	7,2 kN	5,0 kN
Pystyvoima (Sum-Y) 0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN
Kulmaavoima 0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN
Pystyvoima 3,20 kN	1,33 kN	1,15 kN

JOHDINKUORMAT

Tuulikuorma 1,65 kN	0,60 kN	0,58 kN
Jääkuorma 3,00 kN	1,00 kN	1,00 kN
Paino 202 N	329 N	147 N

HARUKSET

Ylempi harustus	Alempi harustus	Yhteiskuorma
Harusvoima 2,4 kN	1,6 kN	4,2 kN
13,9 %	8,9 %	23,7 %
Harusten lukumäärä 1 kpl	1 kpl	1 kpl

2. pisteestä harustetun pylvään riittävyys

lk2 OK 11 %	2x lk2 OK 5 %
lk3 OK 7 %	2x lk3 OK 3 %
lk4 0 %	2x lk4 0 %
lk5 0 %	

1x pylväs: 207 10,5 %
 2x pylväs: 207 5,3 %

Aseennusvoimat ja riippumat
 YHTEENWETO
 SUJJE OHJELMA

YHTEENVETO-ikkuna

PYLVÄS + TARVIKKEET				
PYLVÄS				
2. pisteestä harustettu				
	<i>luokka</i>	<i>kuormitus</i>	Takaisin pylvään	
1x pylväs	207	10,5 %		
2x pylväs	207	5,3 %		
ILMAJOHTOTARVIKKEET				
Orret				
		<i>johdon suuntainen</i>	<i>pystyvoima</i>	<i>kulma-voima</i>
Taso-orisi (SH 66, SH 66.950)	OK	15,3 %	30,5 %	0,0 %
Taso-orisi (SH 67, SH 68, SH 69)	OK	15,3 %	26,0 %	0,0 %
Kolmio-orisi (SH 60)	OK	15,3 %	33,3 %	0,0 %
Tasokulmaorsi (SH 63, SH 207, SH 207.10)	OK	12,2 %	26,7 %	0,0 %
Kolmiokulmaorsi (SH 65)	OK	12,2 %	26,7 %	0,0 %
Pääteorsi 1- pylväs (SH 70 + SH 71)	OK	5,5 %		
Pääteorsi 2- pylväs (SH 70 + SH 72)	OK	2,7 %		
Kristysorsi (SH 178)	OK	3,7 %		
A- ja T-tylvään latvaliitostarvikkeet				
Harukset ja tarvikkeet				
		JOHTO 1		JOHTO 2
Harusrauta, suora, M20	1	15,0 %	1	9,7 %
Harusrauta, suora, M24	1	10,4 %	1	6,7 %
Harusrauta, taivutettu, M20	1	11,0 %	1	7,1 %
Harusrauta, taivutettu, M24	1	7,6 %	1	4,9 %
Harusrauta, taivutettu, raskas, M20	1	6,6 %	1	4,2 %
Laattasilmus LS20	OK	6,9 %	OK	4,5 %
Kalliosilmus ja kalliojatkosilmus Ø 20mm	OK	13,9 %	OK	8,9 %
Harusköysi St25, 7x2, 12	1	13,9 %	1	8,9 %

ASENNUSVOIMAT- ja RIIPPUMAT -ikkuna

JOHTO 1		Sparrow		Takaisin pylvään mitoitukseen										
Jänne	50	m		Yhteenvedo- ikkunaan										
Ekvivalenttijänne	50	m												
Perustilan jännitys (0-sää)	45	MPa												
Poikkipinta-ala	39,5	mm ²												
Paino	1,344	N/m												
Kimmomoduli, alku	64000	MPa												
Lämpöpiteneiskerroin	0,000019													
Virumakompensaatiolämpötila	0	°C												
Johtimen asennuslämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
Kompensoidut laskentalämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
Johdinjännitys (MPa)	79,3	73,3	67,5	61,7	55,9	50,4	45,0	39,9	35,1	30,9	27,1	23,9	21,3	
Johdinvoima (kN)	3,13	2,90	2,66	2,44	2,21	1,99	1,78	1,58	1,39	1,22	1,07	0,95	0,84	
Pystyriippuma jänteen keskellä (m)	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,24	0,27	0,30	0,34	0,39	0,44	0,50	

JOHTO 2		AMKA 3x35+70		Takaisin pylvään mitoitukseen										
Jänne	50	m		Yhteenvedo- ikkunaan										
Ekvivalenttijänne	50	m												
Perustilan jännitys (0-sää)	45	MPa												
Poikkipinta-ala	70	mm ²												
Paino	6,5727	N/m												
Kimmomoduli, alku	55000	MPa												
Lämpöpiteneiskerroin	0,000023													
Virumakompensaatiolämpötila	0	°C												
Johtimen asennuslämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
Kompensoidut laskentalämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
Johdinjännitys (MPa)	68,7	64,0	59,6	55,5	51,6	48,2	45,0	42,2	39,6	37,3	35,3	33,5	31,9	
Johdinvoima (kN)	4,81	4,48	4,17	3,88	3,62	3,37	3,15	2,95	2,77	2,61	2,47	2,34	2,23	
Pystyriippuma jänteen keskellä (m)	0,43	0,46	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65	0,70	0,74	0,79	0,83	0,88	0,92	

JOHTO 3		VMOHBUK 20x2x0,5		Takaisin pylvään mitoitukseen										
Jänne	50	m		Yhteenvedo- ikkunaan										
Ekvivalenttijänne	50	m												
Perustilan jännitys (0-sää)	232	MPa												
Poikkipinta-ala	7,91	mm ²												
Paino	2,94	N/m												
Kimmomoduli, alku	189000	MPa												
Lämpöpiteneiskerroin	0,000012													
Virumakompensaatiolämpötila	0	°C												
Johtimen asennuslämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
Kompensoidut laskentalämpötilat	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	
Johdinjännitys (MPa)	281,1	272,4	264,0	255,7	247,6	239,7	232,0	224,5	217,3	210,3	203,6	197,1	190,9	
Johdinvoima (kN)	2,22	2,16	2,09	2,02	1,96	1,90	1,84	1,78	1,72	1,66	1,61	1,56	1,51	
Pystyriippuma jänteen keskellä (m)	0,41	0,43	0,44	0,45	0,47	0,48	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	

