

Mika Töttö

MAAPATOPUMPPAAMON UUDISTUS

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Mika Töttö
Työn nimi	Maapatopumppaamon uudistus
Toimeksiantaja	Suptek Oy/Mari Suomalainen
Vuosi	2022
Sivut	61 sivua, liitteitä 6 sivua
Työn ohjaaja(t)	Risto Asp

TIIVISTELMÄ

Vedellä ja energialla on aina ollut yhteys toisiinsa. Virtaava vesi sisältää liike-energiaa ja vastaavasti paikallaan seisova vesi sisältää potentiaalienergiaa. Nämä energiamuodot muuttuvat helposti vesiturbiineissa sähköenergiaksi. Sähkökäyttöisellä vesipumpulla voidaan vastaavasti siirtää vettä pitkiä matkoja.

Kansainvälisen energijärjestön International Energy Agency IEA:n mukaan vuoteen 2040 mennessä veden käsittelyyn käytetyn energian ennustetaan kaksinkertaistuvan muun muassa uusiutuvia luonnonvaroja käyttävien teknologioiden myötä. Jo nykyisin maailmassa käytetystä sähköstä merkittävä osa liittyy jonkin aineen, kuten veden pumppaamiseen. Hyvällä mitoituksella voidaan energiaa säästää merkittävästi.

Opinnäytetyössä tarkastellaan mitä asioita on huomioitava suunniteltaessa prosessia pumppaamisen näkökulmasta ja mitä mitoitusparametrejä on selvitettävä, jotta pumppaamon toiminta olisi mahdollisimman energiatehokasta.

Työssä perehdytään soveltuvin osin myös prosessiputkiston mitoituksiin, jotta voidaan ymmärtää, miten putkiston aiheuttama vastus vaikuttaa pumppujen ja sähkömoottorien valintaan.

Lisäksi vielä perehdytään modernin taajuusmuuttajateknologian tuomiin hyötyihin ja säästöihin pumppaamisen näkökulmasta.

Mitoitus esimerkkinä tässä opinnäytetyössä toimii käynnissä oleva projektityö, jossa uudistetaan noin 90 vuotta käytössä ollut maapatopumppaamo vastaamaan nykypäivän tarpeita sekä ilmastonmuutoksen tuomia haasteita. Opinnäytetyössä mainitut mitoitusperiaatteet toimivat monenlaisissa pump-pausratkaisuissa, joten laskelmat ovat yleispäteviä moneen eri pumppaussovellukseen.

Asiasanat: pumppaamot, taajuusmuuttajat, energiansäästö, mitoitus

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Mika Töttö
Thesis title	Dam pumping station reform
Commissioned by	Suptek Oy/Mari Suomalainen
Time	2022
Pages	61 pages, 6 pages of appendices
Supervisor	Risto Asp

ABSTRACT

Water and energy have always had a connection with each other. Flowing water contains motion energy and, accordingly, stationary water contains potential energy. These forms of energy are readily transformed into electrical energy in water turbines. With an electric - powered water pump, respectively, can transfer water over long distances.

According to the International Energy Agency IEA, by 2040, energy used to treat water is forecast to double with technologies that use renewable resources, among other things. Already, a significant proportion of electricity used in the world is associated with the pumping of some substance, such as water. With good sizing, you can save energy significantly.

The thesis examines what issues need to be considered when designing the process from a pumping point of view and what dimension parameters need to be clarified in order to make the pumping station operation as energy efficient as possible.

The work will also familiarize themselves with the dimensions of the process piping, where appropriate, to understand how the resistance caused by piping affects the choice of pumps and electric motors.

In addition, we are still getting acquainted with the benefits and savings that modern drive technology brings from the point of view of pumping.

As a sizing example, this thesis will serve as an ongoing project work, revamping the dam pumping station that has been in use for about 90 years to meet today's needs and the challenges posed by climate change. The sizing principles mentioned in the thesis work for a wide range of pumping solutions, so calculations are universal for many different pumping applications.

Keywords: pumping stations, inverters, energy saving, sizing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	MAAPATOPUMPPAAMON NYKYTILA JA KEHITYSTARVE.....	8
2.1	Ilmastonmuutoksen vaikutus	9
2.2	Sadevesijärjestelmän mitoitus	10
3	PROSESSI- JA SÄHKÖLAITTEIDEN MITOITUS.....	12
4	PUTKISTON MITOITUSPERIAATE	13
4.1	Kitkahäviöt.....	14
4.2	Putkistossa tapahtuva painehäviö	16
4.3	Kitkatekijä	16
4.4	Putkistossa tapahtuvat kertaluontoiset häviöt.....	19
4.5	Putkiston kokonaispainehäviö	19
5	QB64 BASIC-OHJELMOINTIYMPÄRISTÖ	20
5.1	Putken virtausvastuksen laskentaohjelma	20
6	PUMPPUJEN MITOITUS PROSESSIPUTKISTOON	20
6.1	Pumppujen ominaiskäyrät	22
6.2	Pumppujen sähkökäyttöjen mitoitus	23
6.3	Sähkömoottorien valinta	24
6.4	Moottorikaapeliin mitoitus	26
7	YLIVIRTA-, OIKOSULKU-, JA LISÄSUOJAUKSET	26
7.1	Ylikuormitussuojaus.....	26
7.2	Oikosulkusuojaus.....	27
7.3	Vikasuojaus	28
7.4	Maadoitukset ja potentiaalinen tasaus.....	30
7.5	Lisäsuojaukset.....	33
8	SÄHKÖKÄYTTÖJEN KOMPONENTTIEN VALINTA.....	34
8.1	Ultra Low Harmonic-tekniikka	34
8.2	Ohituskäyttö.....	35

8.3	Loisteho ja tarvittavan kompensoinnin tarve	36
9	MAAPATOPUMPPAAMON MITOITUS	39
9.1	Putkiston mitoitus.....	40
9.2	Pumppujen sähkötehon määrittäminen.....	42
9.3	Pumppujen valinta	45
9.4	Sähkömoottorien valinta	46
9.5	Sähkökäyttöjen mitoitus ja valinta.....	47
9.6	Ylivirta ja oikosulkusuojauksien valinta	49
9.7	Moottorikaapelit	50
10	KOKOONPANON OIKOSULKUVIRTOJEN TARKISTAMINEN.....	51
10.1	Kokoonpanon oikosulkuvirta symmetrisessä oikosulussa	52
10.2	Kokoonpanon oikosulkuvirta yksivaiheisessa oikosulussa	53
11	PUMPPUJEN OHJAUS JA AUTOMAATIO	55
12	UUDISTUSPROJEKTIN TOTEUTUS	56
12.1	Projektin mahdolliset riskit	56
13	LOPPUPOHDINTA.....	57
	LÄHTEET.....	58

KUVALUETTELO

LIITTEET

Liite 1. QBASIC ohjelma kitkakertoimen laskemiseksi

Liite 2. Enso-Gutzeit osakeyhtiön tekemä virtauslaskelma vuodelta 1979

Liite 3. Pumppujen ohjauslohkon ohjelma

1 JOHDANTO

Vedellä ja energialla on aina ollut yhteys toisiinsa. Virtaava vesi sisältää liike-energiaa ja vastaavasti paikallaan seisova vesi sisältää potentiaalienergiaa. Nämä energiamuodot muuttuvat helposti vesiturbiineissa sähköenergiaksi. Sähkökäyttöisen pumpun avulla voidaan vastaavasti siirtää vettä hyvinkin pitkiä matkoja tai tuottaa nostokorkeutta. Tätä energian ja veden yhteyttä kutsutaan Energia-vesi-nexukseksi.

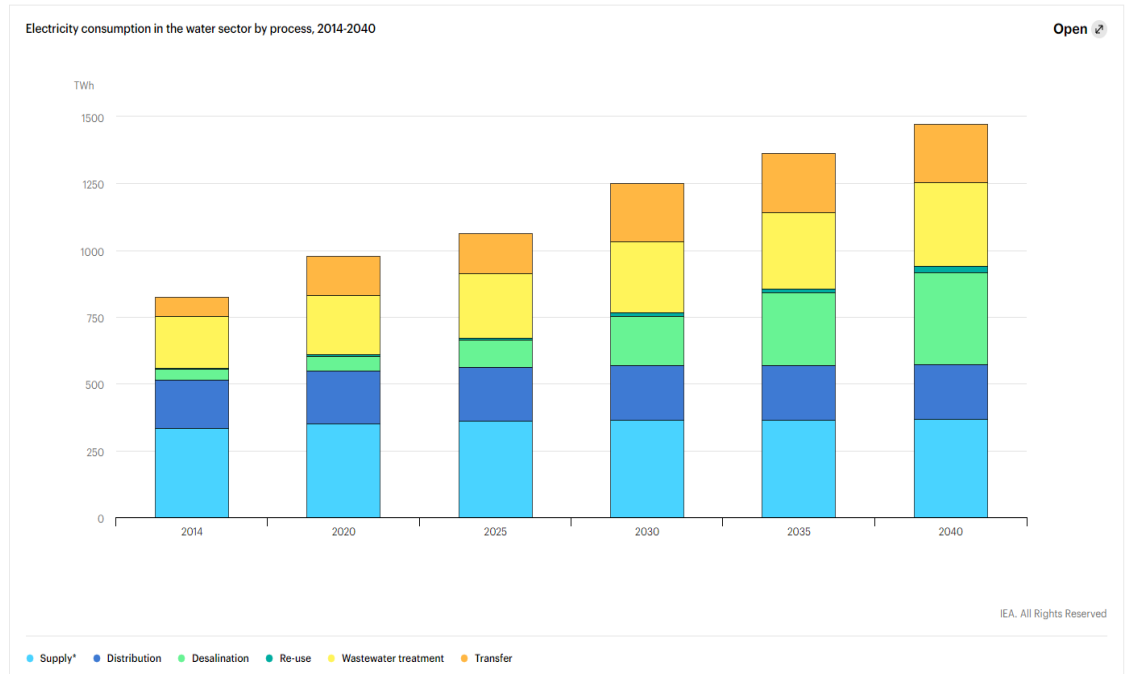
Energia-vesi-nexus tarkoittaa energian ja veden yhteyttä, joka pohjautuu energiantuotannon vedenkäyttöön sekä veden ja jäteveden energiankulutukseen. Energian tuotannon lisäksi vettä käytetään energian siirtämiseen. (Fränti 2021.)

Kansainvälisen energijärjestön International Energy Agency IEA:n mukaan vuoteen 2040 mennessä veden käsittelyyn käytetyn energian ennustetaan kaksinkertaistuvan. Tulevaisuudessa uusiutuvia luonnonvaroja käyttävät tekniikat tarvitsevat vettä eri tavoin. Tuuli- ja aurinkoenergian hyödyntäminen tarvitsee vettä verrattain vähäisiä määriä, kun taas biopolttoaineet, keskittävä aurinkovoima, hiilidioksidin talteenotto, hyödyntäminen ja varastointi tai ydinvoima ovat suhteellisen vesi-intensiivisiä. (IEA 2020.)

Monet ilmastonmuutoksen tuomat vaikutukset näkyvät kuitenkin veden kautta, jolla on vaikutuksia energiavarmuuteen. Veden vähyys vaikuttaa jo nyt energian tuotantoon useissa maissa. Toisaalta makean veden resurssien vähentyminen johtaa suurempaan energiariippuvuuteen esimerkiksi korkeaenergiainensiivisen suolanpoisto teknologian käytön lisääntymisen myötä. Esimerkiksi Lähi-idässä energiankulutus loppukäytössä lisääntyneen suolanpoiston myötä kasvaa nykyisestä 5 prosentista lähes 15 prosenttiin vuoteen 2040 mennessä. (IEA 2020.)

Suolanpoiston seurauksena kysyntä ja vesiverkostot kasvavat suuremmiksi. Samalla jäteveden käsittelyn tarve lisääntyy. Sähkön kulutus veden käsittelyssä tulee lisääntymään 80 % vuoteen 2040 mennessä. Vesialalla on kuitenkin merkittävää säästöpotentiaalia, jos hyödynnetään kaikki taloudellisesti

saatavilla olevat energiatehokkuus ja energian talteenottomahdollisuudet. Veden toimitusketjun parantaminen vähentää veden hävikkiä ja vuotoja, säästäten energiaa. (IEA 2020.)



Kuva 1. Energian kulutus veden jakelussa (IEA 2020)

On arvioitu, että maailman sähkön käytöstä noin 10 % liittyy tavalla tai toisella jonkin aineen pumppaamiseen. Hyvällä mitoituksella ja suunnittelulla voitaisiin maailman energiankulutusta vähentää noin 4 % kustannustehokkaasti. Keskimääräinen pumppausjärjestelmän takaisinmaksuaika on 1–5 vuotta. Järjestelmät suunnitellaan kuitenkin pitkäikäisiksi, joten investoinnit ovat kauaskantoisia. (Motiva 2011.)

Tämän oppinäytetyön tarkoituksena on tuoda esiin, mitä näkökohtia on huomioidava suunniteltaessa prosessia pumppaamisen näkökulmasta ja mitä mitoitusparametrejä tarvitaan, jotta pumppaamon toiminta olisi luotettavaa ja energiatehokasta.

Pumppaamon hyötysuhteeseen vaikuttaa oleellisesti valitut pumpputyypit ja niitä ohjaavan automaation toiminta. Pumppaamoon liittyy myös putkisto oheislaitteineen, joka vaikuttaa myös osaltaan lopulliseen hyötysuhteeseen ja energian kulutukseen. Suuremmalla putkikoolla saadaan nostokorkeudet ja

häviöt pienemmiksi, mutta tämä nostaa samalla investoinnin kokonaiskustannuksia. Tässä opinnäytetyössä perehdytään hieman myös putkiston mitoittamiseen, jotta on helpompi hahmottaa, mistä kaikesta syntyy energiahäviöitä.

Opinnäytetyö koostuu teoriasta, joka vaiheittain etenee saatavilla olevista lähtötiedoista, uudistuksessa käytettäviin putkiston- ja sähköisen komponenttien valintoihin. Mitoitus esimerkkinä toimii tätä opinnäytetyötä tehdessä käynnissä oleva projektityö, jossa uudistetaan 90 vuotta käytössä ollut maapatopumppaamo vastaamaan nykypäivän tarpeita ja ilmastonmuutoksen tuomia haasteita. Samat mitoitusperiaatteet toimivat monenlaisissa pumppausratkaisuissa, joten tässä opinnäytetyössä esiintyvät laskelmat ovat yleispäteviä moneen tarkoitukseen.

2 MAAPATOPUMPPAAMON NYKYTILA JA KEHITYSTARVE

Modernisoitava patopumppaamo on rakennettu 1930-luvulla ja se on lähes alkuperäisessä kunnossa. Patopumppaamo on käytetty 90 vuotta. Saneerattava pumppaamo sijaitsee Ahvenkoskella.

Kuvassa kaksi on pumppaamon sekä maapadon sijainti kartalla. Maapatopumppaamolla pidetään Kymijokeen muodostetun tekojärven pinnan alapuolella sijaitseva peltoalue sekä kartanon rakennuksien maa-alue kuivana poistamalla alueelle satavat hulevedet sekä padon mahdolliset vuotovedet.



Kuva 2. Maapatopumppaamon tarkempi sijainti (maanmittauslaitos.fi-verkkopalvelu)

Aivan viimevuosina pumppaamossa on uusittu sähköjakelun laitteet, joten tässä uudistusprojektissa niitä ei tarvitse uusida, mikäli sähköjakelulaitteiden kapasiteetti sallii pumppauskapasiteetin nostamisen.

Projektissa tullaan uudistamaan pumppaamon pumput ja niitä ohjaava automatiikka. Samalla pumppaamon kapasiteettia on tarkoitus kasvattaa mahdollisimman paljon.

Aiemmin pumppaamon kapasiteetti on ollut suuruusluokaltaan 600 l/s, mutta pumppauskapasiteettiä on tarkoitus nostaa. Uudeksi pumppauskapasiteetiksi on arvioitu 1 000 l/s. Pumppaamon geodeettinen nostokorkeus on 4,5–6,0 m. Nostokorkeuden vaihtelualue koostuu pumppaamon alapuolella olevan lammen- ja Kymijoen pinnan vaihteluista. Uusi purkupuutki tulee aiempaa ylempäs, joten nostokorkeus tulee myös nousemaan korkeammalle.

2.1 Ilmastonmuutoksen vaikutus

Maapatopumppaamon mitoitusta varten on selvitettävä, minkälainen sademäärä kertyy vuosittain alueelle, jossa on pumppaustarvetta. Ilmasto-opas.fi-verkkopalvelun (2013) mukaan Suomen rannikolla tyypillisesti vuotuinen sademäärä on hieman alle 600 mm, mutta enimmillään vettä on kertynyt yli metrin. Vuoden kuivin kuukausi on yleensä joko helmikuu tai huhtikuu. Toisinaan myös toukokuu voi olla kuivin kuukausi, etenkin rannikon tuntumassa. Vastavasti sateisin kuukausi on elokuu, jolloin sademäärä voi olla 80 mm kuukauden aikana. (Ilmasto-opas 2013.)

Ilmaston lämpenemisen myötä sademäärien arvioidaan lisääntyvän Suomessa. Vuosisadan lopussa talven sademäärän eri olomuodoissa arvioidaan lisääntyvän 5–30 % nykyistä suuremmaksi. Kesällä rankkasateet voivat olla aiempaa suurempia, jolloin kasvua voidaan olettaa olevan 10–25 %. (Ilmasto-opas, 2013.)

2.2 Sadevesijärjestelmän mitoitus

Mitoitustoistuvuuden määrittely voi perustua tapauskohtaiseen riskitarkasteluun tai järjestelmän haltijan yleiseen ohjeistukseen. Käytettävää mitoitustodennäköisyyttä ei voi määrittää yleispätevästi, joten yleispäteviä ohjearvoja ei ole erikseen annettu. Yleisesti voidaan todeta, että hulevesiviemäröinnin mitoituksessa käytettävät toistuvuudet vaihtelevat järjestelmän haltijasta ja ympäristöoloista riippuen yleensä välillä 1/2a–1/10a, jolla tarkoitetaan sadeilmion toistuvuutta 50–10 % todennäköisyydellä vuodessa. (Suomen kuntaliitto ry 2012, 205.)

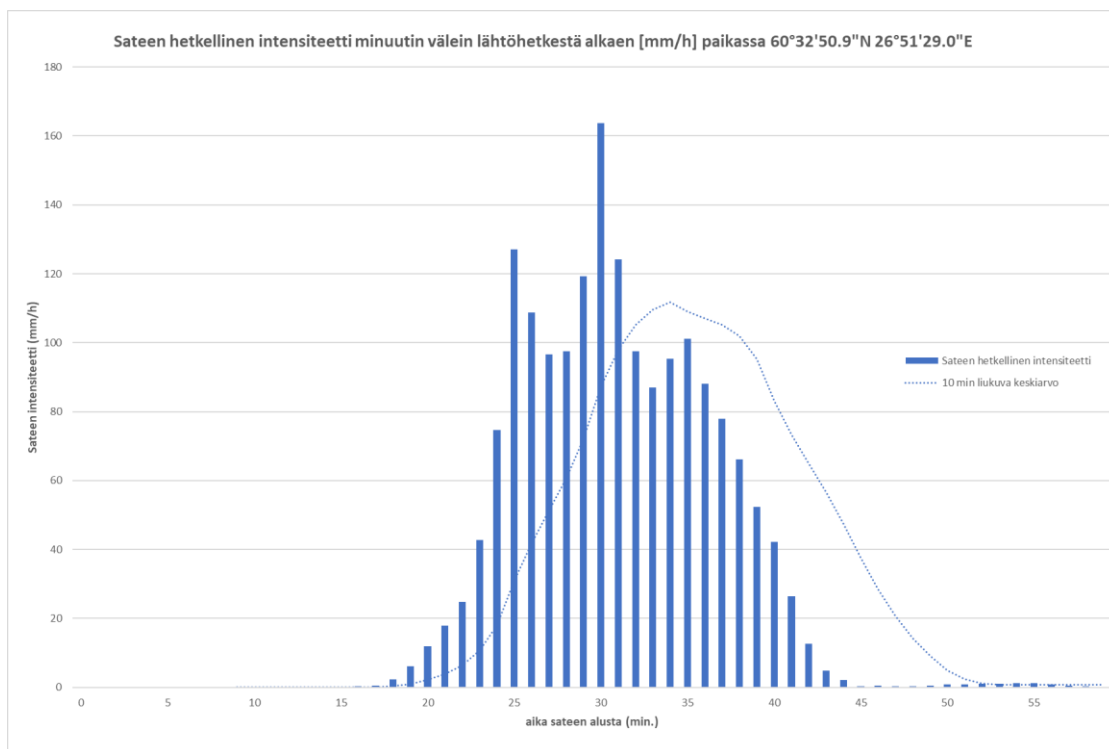
Sadevesijärjestelmien mitoituksessa on järkevää käyttää mitoitusdearvoja, joita löytyy Suomen Kuntaliitto ry:n www-sivuilla julkaistusta hulevesioppaasta. Järjestelmän mitoituksessa tarvitaan tieto sateen intensiteetistä valitulla todennäköisyydellä ja kestoajalla. Keskimääräinen intensiteetti on tilastollinen arvo, joka määräytyy sateen kestoajan ja toistuvuuden perusteella. (Suomen kuntaliitto ry 2012, 205.)

Taulukossa 1 on esitettyä tyypillisiä sateiden intensiteettejä Etelä-Suomen alueella. Taulukon 1 intensiteettejä voidaan hyödyntää mitoittaessa sadevesijärjestelmiä. Vastaavasti taulukossa 2 on sateen intensiteeteissä huomioitu ilmastonmuutoksen tuoma lisäys. Maantieteellinen sijainti ja ilmaston muutoksen myötä lisääntyvä sademäärä on huomioitava sadevesijärjestelmien mitoituksia tehdessä.

Taulukko 1. Sääntökamittauksiin perustuvat sateen intensiteetit noin 1 km²:n aluesadannalle Etelä-Suomessa (Suomen kuntaliitto ry 2012, 104)

Keskimääräinen intensiteetti (l/s*ha)									
Toistuvuus	Sateen kesto								
	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1/1 a	117	80	78	50	33	18	11	6,9	4,2
1/2 a	167	120	100	61	42	21	13	8,3	5
1/3 a	183	130	111	72	47	23	14	8,8	5,2
1/5 a	217	150	122	83	53	25	16	9,7	5,8
1/10 a	233	180	156	100	64	30	19	10,9	6,9

Maantieteellinen sijainti vaikuttaa siten, että maan eteläosissa yksittäisen sateen todennäköisyys voi olla suurempi kuin pohjoisempana. Sadealueen koko vaikuttaa intensiteettiin sadealueen koon kasvaessa pienentävästi. Mitoituksissa tehdään yksinkertaistuksia, kuten esimerkiksi sateen intensiteetin ei oleteta muuttuvan kestoajan puitteissa.



Kuva 3. Sateen intensiteetti ajan funktiona (Ilmasto-opas.fi 2013)

Sateen intensiteetin vaihtelu ajan funktiona voi olla hyvin moninainen sadetapahtuman aikana. Sateen hetkellinen rankkuus voi olla selvästi suurempi kuin keskimääräinen intensiteetti, jolloin huleveden virtauksissakin on suuria vaihteluita. (Suomen kuntaliitto ry 2012, 205.)

Ilmasto-opas.fi verkkosivuilta saatavilla olevasta Excel-taulukosta löytyy varsin tarkkoja mitattuja sademääriä, joita on mahdollista hyödyntää sadeiden määrän arvioinnissa. (Ilmasto-opas.fi 2013.) Esimerkiksi kuvan 3 sateen intensiteetti on mitattu minuutin välein sadetapahtuman alkuhetkestä lähtien. Mittaus on tehty 2.6.2016 kello 11.20 ja GPS-sijainnissa 60°32'50.9"N 26°51'29.0"E

Mitoitettaessa hulevesijärjestelmiä sateen muoto voidaan ottaa huomioon, kun laskelmat tehdään tietokoneavusteisesti mallintamalla. Käsin mitoitettaessa on järkevää hyödyntää tasaisen intensiteetin mitoitussateita, joita on helpompi käsitellä. (Suomen kuntaliitto ry 2012, 208.)

Taulukko 2. Mitoitussateet, joissa on huomioitu ilmastonmuutoksen tuoma lisäys (Kuntaliitto 2012, 211)

Keskimääräinen intensiteetti (l/s*ha)									
	Sateen kesto								
Toistuvuus	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1/1 a	140	96	94	60	40	22	13	8,3	5,0
1/2 a	200	144	120	73	50	25	16	10,0	6,0
1/3 a	220	156	133	86	56,4	28	17	10,6	6,2
1/5 a	260	180	146	100	64	30	19	11,6	7,0
1/10 a	280	216	187	120	77	36	23	13,1	8,3

Taulukko 3. Tielaitoksen määrittelemiä ohjeellisia sateen kestoajoja erikokoisilla valuma-alueilla (Kuntaliitto ry 2012, 209)

Valuma-alueen pinta-ala	Mitoitussateen kesto aika
< 2 ha	5 min
2...5 ha	10 min
5...20 ha	20 min
20...100 ha	60 min

Taulukossa 3 on esitetty tyypillisiä sateen kestoajoja erikokoisilla valuma-alueilla. Todellisuudessa sateen muoto eli intensiteetti muuttuu sateen aikana, kuten kuvasta 3 voidaan havaita.

3 PROSESSI- JA SÄHKÖLAITTEIDEN MITOITUS

Tulevaisuudessa on näköpiirissä suurempia hetkellisiä sademääriä, jolloin paikalliset tulvat ovat entistä todennäköisempiä. Patopumppaamon uudistusprojektissa varaudutaan hetkellisiin suurempiin sademääriin kasvattamalla pumpupaamon siirtokapasiteettia. Kapasiteetin kasvattamiseksi pumpupaamon purkputkisto Kymijokeen päin uusitaan suuremmaksi ja aiempi kahden pumpun toteutus muutetaan kolmen pumpun ratkaisuksi, jolloin säädettävyyttä saadaan parannettua entisestään.

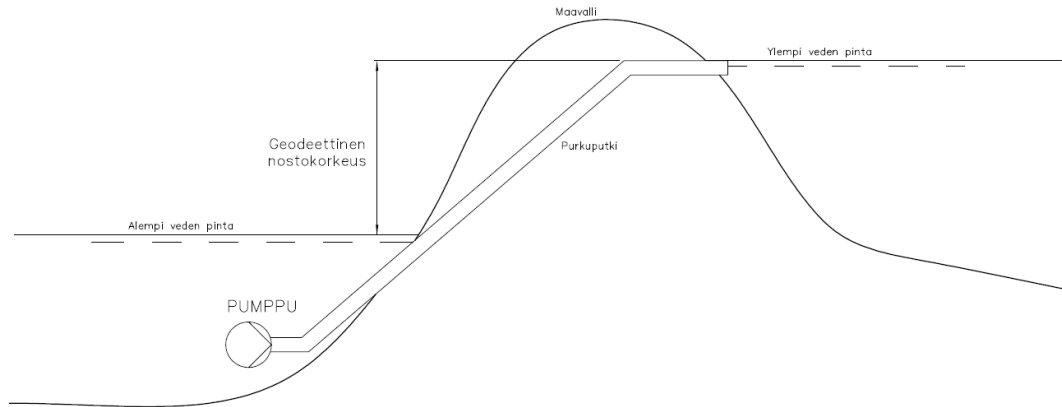
Ennen uusien prosessilaitteiden, tässä tapauksessa uusien pumppujen ja venttiilien, mitoitusta kannattaa selvittää olemassa olevien prosessi- ja sähkölaitteiden riittävyys nykytilassa ja tulevaisuudessa. Pumppaamon kapasiteetin kasvattamista voi rajoittaa esimerkiksi saatavilla oleva sähköliittymän kapasiteetti. Asiaa on hyvä tarkastella matemaattisesti, jotta päädytään hyvään ja taloudelliseen, mutta kestävään ratkaisuun.

Sähkölaitteiden mitoitusta varten pumppaamo suunniteltaessa on selvitettävä sähkötehon tarve. Siihen vaikuttaa oleellisesti useita seikkoja, joista merkittävimmät ovat virtaavan nesteen, kuten veden määrä ja tarvittava nostokorkeus. Pumppaamoissa pumpun nostokorkeuteen vaikuttaa maaston muoto, eli miten korkealle nestettä on siirrettävä ja tämän lisäksi putkiston aiheuttama virtausvastus. Luvussa neljä käsitellään pääpiirteittäin, mitkä eri seikat vaikuttavat putkiston virtausvastuksen syntymiseen.

4 PUTKISTON MITOITUSPERIAATE

Putkiston mitoituksessa aluksi on tiedettävä tulevan putkiston pituus. Tämän lisäksi tarvitaan tietoja pumpattavasta nesteestä, pumpattavasta nostokorkeudesta sekä virtausnopeudesta tai virtausmäärästä. Nostokorkeudella tarkoitetaan korkeutta, johon pumpun on kyettävä nostamaan pumpattava neste. Putkiston aiheuttama nostokorkeus koostuu putkistohäviöiden aiheuttamasta dynaamisesta virtausvastuksesta sekä putkiston korkeuserojen aiheuttamasta staattisesta nostokorkeudesta.

Yleensä nostokorkeus, jonka pumpun halutaan muodostavan, on ilmoitettu paineena bar tai KPa. Vastaavasti maastossa sijaitsevien sade- tai jätevesipumppaamoiden pumppujen muodostama nostokorkeus noudattelee usein maaston muotoa, sillä pumppaamon on vain pystyttävä siirtämään pumpattava neste seuraavaan altaaseen tai pumppaamoon. Myös näissä pumppaamoissa putkiston häviöt aiheuttavat dynaamista nostokorkeuden lisääntymistä.



Kuva 4. Havainnekuva maaston muodon mukaisesta geodeettisesta nostokorkeudesta

Staattisessa nostokorkeudessa puhutaankin usein maastoon viittaavalla termillä geodeettinen nostokorkeus. Tämän tyyppisessä tapauksessa nostokorkeus voidaan määrittellä yksinkertaisesti hydrostaattisen paineen kaavalla.

$$p = \rho gh \quad (1)$$

jossa	p	paine	[Pa]
	ρ	Nesteen ominaispaino	[kg/m ³]
	h	Hydrostaattinen korkeus	[m]
	g	Maan vetovoiman kiihtyvyyys	[m/s ²]

4.1 Kitkahäviöt

Putkisto aiheuttaa virtaavalle fluidille, joka voi olla nestettä tai kaasua, kitkahäviöitä. Kitkahäviöiden voittamiseksi putken alkupään paine on korkeampi kuin loppupään paine.

Putken halkaisija voidaan laskea helposti, jos tiedetään tarvittava tilavuusvirtaus, sekä tiedetään putkistossa etenevän nesteen virtausnopeus. Putkistoihin soveltuvat virtausnopeudet löytyvät alan kirjallisuudesta, joten niitä ei tässä käsitellä kuin soveltuvin osin.

Esimerkiksi PSK2401 standardi käsittelee virtausnopeuksia eri aineille, kuten kaasuille, vesihöyrylle ja nesteille. Taulukossa 4 on tyypillisiä virtausnopeuksia puhtaalle vedelle eri putkikokojen mukaisesti. Jos vesi sisältää kiintoaineita, on virtausnopeuksien oltava pienempiä. (PSK 4201 2009.)

Taulukko 4. PSK2401 standardin mukaisia vedelle soveltuvia virtausnopeuksia

DN	<25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
V (m/s)	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	2,0	2,5	2,8	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,5	4,7	5,0
Vmax (m/s)	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	5,0	5,0	5,5	5,5

Toisinaan putkikoko on jo valmiiksi määritelty jonkin muun suunnittelun yhteydessä. Tällöin lähtötiedoista voidaan laskea putkistossa tapahtuva virtausnopeus alla esitetyn kaavan 2 avulla, kun tiedetään esimerkiksi massavirtaus ja virtaavan aineen tiheys.

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} = Av \quad (2)$$

$$d = \sqrt{4 \frac{q_v}{\pi v}} \quad (3)$$

joissa	q_m	massavirtaus	[kg/s]
	q_v	tilavuusvirtaus	[m ³ /s]
	ρ	nesteen ominaispaino	[kg/m ³]
	d	putken sisähalkaisija	[m]
	A	putken poikkipinta-ala	[m ²]
	q_v	tilavuusvirtaus	[m ³ /s]
	v	Nesteen virtausnopeus	[m/s]

4.2 Putkistossa tapahtuva painehäviö

Putkikoon valitsemisen jälkeen on arvioitava putkistossa tapahtuva painehäviö.

$$\Delta H = \lambda \frac{Lv^2}{2gd} \quad (4)$$

jossa	ΔH	painehäviö	[m]
	λ	kitkavastuskerroin	[-]
	L	putkiston pituus	[m]
	d	putken halkaisija	[m]
	v	nesteen virtausnopeus	[m/s]
	ρ	nesteen ominaispaino	[kg/m ³]
	g	maan vetovoiman kiihtyvyys	[m/s ²]

4.3 Kitkatekijä

Virtausvastuksen kitkatekijän laskeminen ei ole aivan yksiselitteinen, sillä valittuun laskentamenetelmään vaikuttaa Reynoldsin luku Re ja putkiston karheus sekä muita kertaluontoisia häviötekijöitä.

Reynoldsin luvulla voidaan arvioida, onko virtaus laminaarista vai turbulentista. Laminaariselle ja turbulenttiselle virtaukselle ei ole selkeää raja-arvoa. Yleisesti virtaus on laminaarista, jos Re luku on <2300 . Jos Re -arvo on suurempi kuin >4000 virtaus on turbulenttista. Käytännössä vesijohtojen virtaus on yleensä turbulenttisella alueella. (Pulli 2016, 101.)

Reynoldsin luvun määrittämiseksi on selvitettävä virtaavan aineen kinemaattinen viskositeetti. Jos nesteestä tiedetään dynaaminen viskositeetti ja tiheys, voidaan kinemaattinen viskositeetti laskea helposti. Kaavat 5–7 esittävät Reynoldsin luvun määrittämisen eri lähtötietojen avulla.

$$v = \frac{\eta}{\rho} \quad (5)$$

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (6)$$

$$Re = \frac{\rho vd}{\eta} \quad (7)$$

joissa	Re	Reynoldsin luku	[-]
	d	Putken halkaisija	[m]
	ν	Nesteen keskimääräinen virtausnopeus	[m/s]
	ρ	Nesteen ominaispaino	[kg/m ³]
	ν	Nesteen kinemaattinen viskositeetti	[m ² /s]
	η	Nesteen dynaaminen viskositeetti	[Pas]

Yleisin tapa laskea putkiston kitkavastus turbulenttisella alueella on käyttää hyödyksi Colebrookin kaavaa, joka on esitetty alla. Putken halkaisija d esiintyy kaavassa kolmessa eri kohdassa. Itse painehäviön yhtälössä ja Colebrookin painehäviökertoimen λ -kaavassa kahdessa eri kohdassa, joita ovat itse kaava ja sen sisällä oleva Reynoldsin lukua esittävä osa.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k}{3,7d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (8)$$

jossa	λ	kitkavastuskerroin	[-]
	Re	Reynoldsin luku	[-]
	d	putken halkaisija	[mm]
	k	putken seinämän karheus	[mm]

Erityisesti laskettaessa halkaisijaltaan pienien putkistojen painehäviötä on ol-
tava huolellinen, koska halkaisijalla on yllättävän suuri vaikutus painehäviöön.
Pienellä putkella sama virtausnopeus aiheuttaa suuremman painehäviön kuin
vastaava nopeus suurella putkikoolla. (Pulli 2016, 102.)

Colebrookin painehäviökertoimen kaavasta voidaan huomata, että kerrointa ei
voida ratkaista suoraan, vaan sen ratkaisemiseksi on käytettävä iterointia. Ite-
rointi voidaan tehdä kohtuullisen helposti esimerkiksi BASIC-ohjelmoinnin
avulla. Opinnäytetyön edetessä olen tehnyt kätevän ohjelman kitkatekijän las-
kemiseksi, joka toimii QB64 BASIC-ohjelmalla. QB64 ohjelmointiympäristöstä
kerrotaan lisää kappaleessa viisi.

Vaihtoehtona Colebrookin yhtälölle on käyttää esimerkiksi Swamee ja Jain
luomaa laskentamallia, joka soveltuu pyöreälle putkelle. Kaavan avulla saa-
daan useimmissa tapauksissa riittävä likiarvo kitkavastuskertoimelle. (Swa-
mee & Jain 1976, 657–664.)

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (9)$$

jossa	λ	Kitkavastuskerroin	[-]
	Re	Reynoldsin luku	[-]
	d	Putken halkaisija	[mm]
	ε	Putken seinämän karheus	[mm]

Molemmissa kaavoissa 8 ja 9 kannattaa käyttää putken halkaisijana perusyksikön sijaan millimetrejä, sillä putken karheuden taulukkoarvot ε ovat usein saatavana millimetreinä. Lopputuloksen kannalta ei ole merkitystä, käytetäänkö mittoina perusyksikköä, vai millimetrejä. Oleellista on, että käytetään samoja mittayksiköitä putken karkeudessa ja halkaisijassa.

4.4 Putkistossa tapahtuvat kertaluontoiset häviöt

Putkistossa tapahtuu myös ns. kertaluonteisia painehäviöitä. Näitä painehäviöitä tapahtuu putkiston kaikissa osissa, kuten mutkissa, T-haaroissa ja venttiileissä. Näihin painehäviöihin on olemassa kokeellisesti todettuja kertoimia, jotka löytyvät alan kirjallisuudesta ja laitteiden valmistajien virtauskäyrästä.

Kertaluontoiset painehäviöt voidaan laskea alla esitetyllä kaavalla summaamalla ensin eri paikallisvastuskertoimet yhteen.

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho v^2}{2} \quad (10)$$

jossa	Δp	painehäviö	[Pa]
	ζ	Paikallisvastuskertoimien summa	[-]
	v	Nesteen virtausnopeus	[m/s]
	ρ	Nesteen ominaispaino	[kg/m ³]

Tyypillisiä paikallisvastuskertoimia:

- istukkaventtiili: 0,3
- takaisku: 0,5
- luistiventtiili: 0,5
- läppäventtiili: 0,8
- palloventtiili: 0,8
- 90° käyrä r=1,5 0,4

(Multanen 2015, 19.)

4.5 Putkiston kokonaispainehäviö

Putkiston lopullinen painehäviö on kaikkien häviöiden summa. Putkistossa tapahtuva painehäviö käyttäytyy samoilla tavoilla kuin resistanssi sähkötekniikassa, joten peräkkäin olevat painehäviöt voidaan laskea yhteen.

$$\Delta p_{kok} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_n \dots \quad (11)$$

5 QB64 BASIC-OHJELMOINTIYMPÄRISTÖ

Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code (BASIC) on helppo ohjelmointikieli aloittelijoille ja sen toimintaa on helppo tulkita. Se oli varsin suosittu ohjelmointikieli etenkin 1980-luvulla. 1990-luvulla BASIC:n seuraajana on Quick Basic. QB64 projekti on tuonut BASIC:n nykyaikaan ja sillä on oma vankka kannattajakuntansa. (QB64.org s.a) QB64 on ilmaisohjelma, jonka viimeisimmän version voi ladata netistä <https://www.qb64.org/>.

Toisin kuin perinteiset BASIC- ja QBasic, QB64 kääntää lähdekoodin automaattisesti konekoodiksi, mikä mahdollistaa poikkeuksellisen suorituskyvyn, helpon käytettävyyden ja mahdollisuuden yhdistää ulkoisiin C- ja C++ ohjelmointikirjastoihin. Useimpien QBasic 4.5 -koodien kanssa yhteensopiva QB64 sisältää useita laajennuksia, kuten OpenGL:n ja muita moderneja ominaisuuksia, jotka tarjoavat täydellisen sekoituksen klassista ja modernia ohjelmakehitystä. (QB64.org s.a.)

5.1 Putken virtausvastuksen laskentaohjelma

Putken mitoitusohjelman voi itse ottaa käyttöön liittämällä liitteessä 1 esitetty lähdekoodi QB64 editoriin ja kääntämällä se exe-tiedostoksi. Käännetty exe-tiedosto toimii hyvin esimerkiksi Windowsin komentokehoteessa, vaikka se on alun perin tarkoitettu Mikrossoftin levykäyttöjärjestelmän (Microsoft Disk Operating System, MS DOS) aikakauden tietokoneille. Exe-tiedoston käynnistyttyä ohjelma kysyy eri lähtöarvot ja laskee näiden perusteella suoralle putkelle syntyvän painehäviön. Ohjelma on alun perin esitetty ohjelmoitavalle laskimelle soveltuvana *Pullin Virtaustekniikka. Vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin.* -kirjassa (2016, 101.)

6 PUMPPUJEN MITOITUS PROSESSIPUTKISTOON

Kun pumppausprosessin putkiston aiheuttamat painehäviöt, pumppuun vaikuttavat hydrostaattiset paineet ja virtausnopeudet ovat tiedossa, voidaan mitoitaa prosessiin soveltuvat pumput.

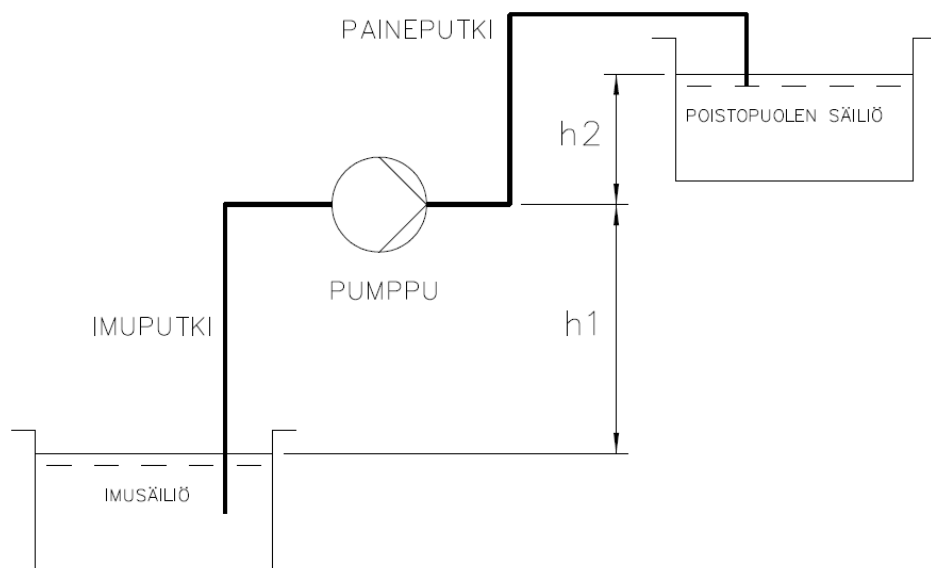
Pumppu mitoitetaan tietylle toimintapisteelle, jossa huomioidaan tarvittava nostokorkeus ja virtausmäärä. Pumppujen toimintapiste sijoittuu kohtaan,

jossa putkisto- ja pumppukäyrä leikkaavat toisensa. Putkiston nostokorkeus koostuu putkistohäviöiden aiheuttamasta dynaamisesta sekä putkiston korkeuserojen aiheuttamasta staattisesta nostokorkeudesta. Monissa tapauksissa kannattaa nostokorkeudet laskea erikseen pumpun imu- ja painepuolille. Käyttäessä kaavaa 12 on huomattava, että imupuolen nostokorkeus on negatiivinen, kun pumppu on imupuolen pinnan yläpuolella. Kuva 5 esittää tyypillistä pumpun sijaintia putkistossa.

$$H = \frac{p_{b2}}{\rho g} - \frac{p_{b1}}{\rho g} + h_2 - h_1 + h_{f1} + h_{f2} \quad (12)$$

jossa	H	Nostokorkeus	[m]
	p_{b1}	Paine imusäiliössä	[Pa]
	p_{b2}	Paine poistopuolen säiliössä	[Pa]
	ρ	Nesteen ominaispaino,	[kg/m ³]
	g	Maan vetovoiman kiihtyvyyys	[m/s ²]
	h_1	Staattinen imukorkeus	[m]
	h_2	Staattinen poistokorkeus	[m]
	h_{f1}	Imupuolen virtaushäviöt	[m]
	h_{f2}	Painepuolen virtaushäviöt	[m]

(Multanen 2015, 31.)

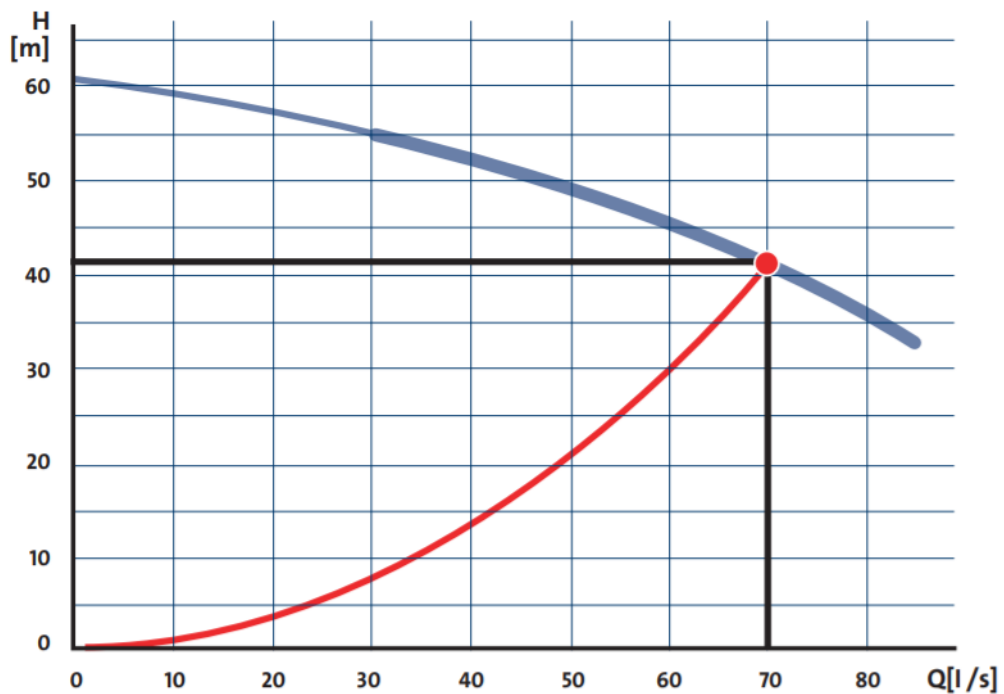


Kuva 5. Staattiset korkeudet pumpun imu- ja poistopuolella

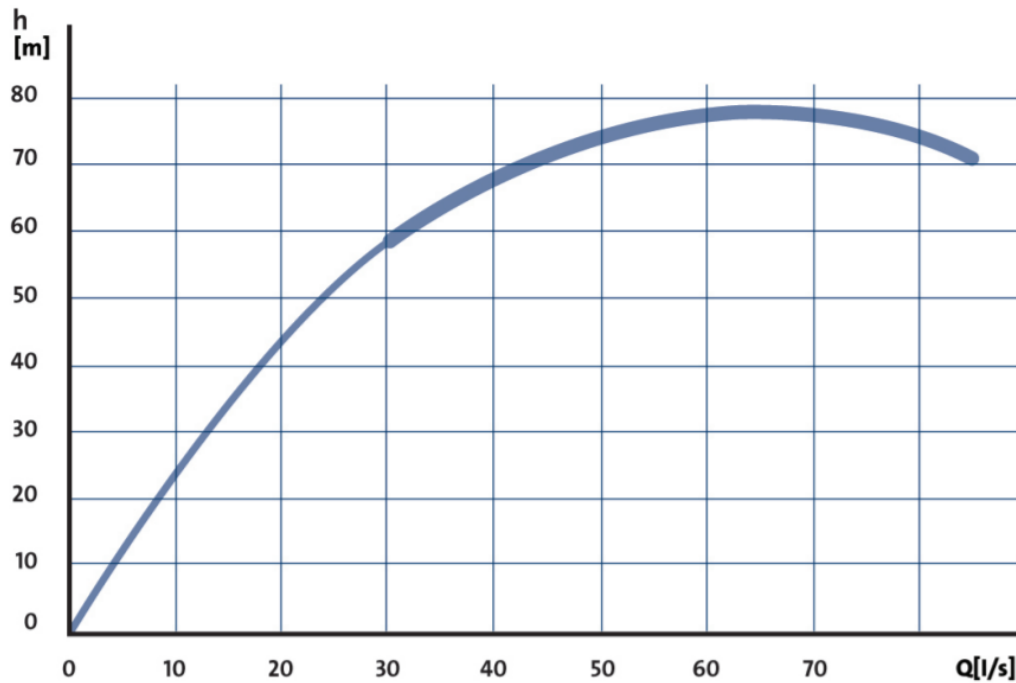
6.1 Pumppujen ominaiskäyrät

Keskipakopumpun tuottoa kuvataan ominaiskäyrillä. Pumppujen valmistajilla on kullekin pumpputyypille ominainen QH-käyrä, jossa vaaka-akselilla on pumpun tuotto yleensä litroina sekunnissa ja pystyakselilla pumpun tuottama nostokorkeus metreinä. (Oy Grundfos Pumput Ab s.a.)

Pumpun tuoton lisääntyessä paine laskee ja pumpun toimintapiste siirtyy käyrästä oikealle. Taajuusmuuttajaa käytettäessä käyrästä ilmoitetaan toimipiste eri taajuuksilla.



Kuva 6. Keskipakopumpun tyypillinen QH-tuottokäyrä (Oy Grundfos Pumput Ab s.a.)



Kuva 7. Keskipakopumpun tyypillinen hyötysuhdekäyrä. (Oy Grundfos Pumput Ab s.a.)

6.2 Pumppujen sähkökäyttöjen mitoitus

Tyypillisen pumpun tarvitsema sähköteho voidaan laskea pumppukäyttöön muokatun nostotyön tehokaavan perusteella. Seuraava Kaava 13 antaa suoraan pumpun ottaman sähköverkosta otettavan sähkötehon. Kaavaan 13 on sijoitettu pumpun ja sähkömoottorin hyötysuhteet η_1 ja η_2 yksinkertaistamisen vuoksi. Usein pumppuvalmistajat ilmoittavat tehon pumpulle ja moottorille, jolloin pumpun teho on P_2 ja pumppu sekä moottori yhdessä muodostavat tehon P_1 .

$$P_1 = \frac{q_v \rho g H}{\eta_1 \eta_2} \quad (13)$$

jossa	P_1	Pumpun ottama sähköteho	[J/s = W]
	H	Nostokorkeus	[m]
	q_v	Tilavuusvirtaus	[m ³ /s]
	ρ	Nesteen ominaispaino	[kg/m ³]
	g	Maan vetovoiman kiihtyvyyys	[9,81 m/s ²]
	η_1	Pumpun hyötysuhde %	[-]
	η_2	Pumppua pyörittävän moottorin hyötysuhde %	[-]

Kun pumppaukseen tarvittava teho on selvillä, voidaan viimeistään tässä vaiheessa arvioida pumppaamon toteutustapa. Usein voi olla tarpeellista käyttää useampaa kuin yhtä pumppua tuottamaan tarvittava virtausmäärä tai paine. Pumppuja voidaan kytkeä sarjaan tuottamaan korkeampi paine tai vastaavasti pumppuja kytketään usein rinnakkain tuottamaan riittävä virtaus.

6.3 Sähkömoottorien valinta

Pelkille keskipakopumpuille on valittava tarkoitukseen soveltuvat moottorit. Moottorit on syytä valita valmistajan ohjeiden mukaisesti, jotta mekaaninen asennus onnistuu ja moottoreiden kierrosluku tulee valittua oikein. Sähkömoottoreiden kierrosluku määräytyy napalukujen mukaan. Usein keskipakopumpussa käytetään 2-napaista moottoria, jonka synkroninen kierrosnopeus 50 Hz verkkotaajuudella 3000 r/min tai 4-napaista moottoria, jonka synkroninen kierrosnopeus 50 Hz verkkotaajuudella 1500 r/min. (Pulli 2016, 96.)

Synkroninen nopeus ei ole moottorin todellinen nopeus, vaan se on moottorissa kiertävän magneettikentän nopeus. Oikosulkumoottorissa on aina moottorille tyypillinen jättämä, joka kasvaa moottoria kuormitettaessa. Moottoria mitoitettaessa kannattaa kiinnittää huomiota siihen, että valittu moottori ei ole liian suuri, sillä pienempi jättämä kasvattaa moottorin ottamaa loistehoa. Vastaavasti liian pieni moottori voi kuumentua liikaa. Liiallinen kuumentuminen tapahtuu helposti, jos moottoria ajetaan taajuusmuuttajalla hieman suuremmilla ns. ylikierroksilla, jolloin moottorin nimellisteho voi helposti ylittyä.

Sähkökäyttöisissä pumpuissa yleisin sähkömoottorityyppi on oikosulkumoottori. Se on yksinkertainen ja kohtuullisen huoltovapaa. Kolmivaiheisen sähkömoottorin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jossa sähköverkon 3 vaihetta kytkettynä moottorin käämeihin saavat aikaiseksi pyörivän magneettikentän. (Pulli 2016, 95.)

Moottorin hyötysuhde riippuu moottorin kuormitusasteesta, joten oikosulkumoottoria ei kannata mitoittaa liian isoksi. Hyötysuhde alkaa pudota jo alle 50% teholla. Moottorivalintaa tehdessä onkin syytä kiinnittää huomiota siihen, että ei valita liian ylisuurta moottoria. Ellei erikseen päätetä, on suositeltavaa

valita moottori, jonka teho riittää koko pumpun ominaiskäyrän alueella. (Pulli 2016, 96.)

Lisäysprosentit eri tehontarpeen ollessa:

- < 1,5 kW lisäysprosentti on 50 % (Alle 0,55 kW moottoreita tulee välttää)
- > 1,5–4 kW lisäysprosentti on 30 %
- > 4–7 kW lisäysprosentti on 20 %
- > 7–15 kW lisäysprosentti on 15 %
- > 15 kW lisäysprosentti on 10 %

Lopullinen moottorivalinta tehdään lasketun tehon perusteella kertomalla laskettu teho lisäysprosentilla taulukon mukaisesti. Tuloksen perusteella moottorivalinta on ns. seuraava moottorikoko. (Pulli 2016, 98.)

Pumppujen ottaman sähkötehon perusteella voidaan arvioida tarvittavat sähkökäytöt sekä kaapelointi. Jos päädytään useamman samankokoisen pumpun ratkaisuun, tarvittava teho jakautuu tasaisesti pumppujen kesken, siinä tapauksessa, että pumput käyvät samanaikaisesti ja ovat samaa tyyppiä. Muissa tapauksissa, jos samanaikaista käyntiä ei huomioida, yhden pumpun voidaan olettaa olevan riittävän kokoinen, jolloin toinen pumppu toimii varapumppuna.

Mitoitetusta tehosta voidaan laskea sähkökäyttöjen ottamat virrat 3~ tehon kaavalla. Jos moottorityyppi on tiedossa, nimellisvirran arvo katsotaan moottorin tyyppikilvestä. Moottorin ottaman virran perusteella voidaan mitoittaa sähköiset ohjauskomponentit, kuten kontaktorit, taajuusmuuttajat ja ylivirta- sekä oikosulkusuojuukset ja varsinaiset moottorien johdotukset.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi} \quad (14)$$

jossa	P	Moottorin ottama sähköteho	[W]
	U	Sähköjärjestelmän pääjännite	[V]
	I	Moottorin ottama virta	[A]
	$\cos \varphi$	Moottorin tehokerroin	[-]

6.4 Moottorikaapelien mitoitus

Kun pumpuille on valittu sopivat moottorit, voidaan mitoittaa moottorikaapelit ja varsinainen moottorikäyttö. Moottorikaapelien mitoituksessa on huomioitava ympäristön lämpöolosuhteet ja muut mahdolliset virtapiirit samoilla kaapelihyllyillä. Moottorin kaapelien mitoituksissa voidaan käyttää moottorin nimellisvirtaa, sillä käynnistysvirta on vain hetkellinen ja moottoria ei yleensä voida kuormittaa suuremmalla virralla kuin nimellisvirta kovinkaan pitkiä aikoja.

7 YLIVIRTA-, OIKOSULKU-, JA LISÄSUOJAUKSET

7.1 Ylikuormitussuojaus

Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien on täytettävä kaksi ehtoa (SFS-käsikirja 600–1–1: 2017, 116).

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (15)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (16)$$

jossa	I_B	piirin suunniteltu virta	[A]
	I_z	johtimen jatkuva kuormitettavuus	[A]
	I_n	suojalaitteen nimellisvirta	[A]
	I_2	Virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä toiminta-ajassa	[A]

Johdon kuormitettavuuden määrittämisen jälkeen arvioidaan muut tekijät, jotka vaikuttavat kuormitettavuuteen. Näitä ovat asennustapa, kaapelin materiaali, materiaali, johon kaapeli on kiinnitetty ja ympäristön lämpötila. Olosuhteille on olemassa korjauskertoimet, joilla johdon kuormitettavuutta korjataan vastaamaan ympäristön olosuhteita. Todellinen kuormitettavuus kaapelille voidaan laskea alla esitetyllä kaavalla 17.

$$I_z = I_t \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_n \dots \quad (17)$$

jossa	I_z	johtimen jatkuva kuormitettavuus	[A]
	I_t	taulukoissa esitetty kuormitettavuus yhdelle virtapiirille standardin mukaisissa olosuhteissa	[A]
	$C_1 C_2 C_n$	korjauskertoimia, jotka huomioivat asennusolosuhteet	[-]

Kuormitettavuusarvoja valittaessa referenssilämpötiloina käytetään ilmassa oleville kaapeleille asennustavasta riippumatta +30°C ja maahan asennetuille kaapeleille +20°C. Kun asennuspaikan lämpötila poikkeaa näistä, käytetään korjauskertoimia (SFS-käsikirja 600–1–1: 2017, 246).

7.2 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojaukselle on kaksi keskeistä vaatimusta. Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta ja poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat. (Tiainen 2017, 142.)

Prospektiivisella oikosulkuvirralla tarkoitetaan virtaa, joka kulkee piirin syöttöjohtimissa, kun ne ovat oikosuljettu merkityksettömän impedanssin omaavalla johtimella niin lähellä keskuksen syöttöliittimiä kuin on mahdollista. Prospektiivista oikosulkuvirtaa käytetään suojalaitteen katkaisukykyä määrittäessä, jolloin suojalaitteen oikosulkuvirtaa rajoittavaa vaikutusta ei voida ottaa huomioon. Suojalaitteen virtaa rajoittava vaikutus voidaan kuitenkin ottaa huomioon keskuksen oikosulkukestoisuutta määriteltäessä. (Tiainen 2017, 142.)

Oikosulkusuojaukselta ei tule sekoittaa vikasuojaukseen. Oikosulkusuojauksessa on kysymys johtimien suojaamiselta lämpövaikutuksilta. Kun taas vikasuojauksessa on kysymys vian aiheuttamalta kosketusjännitteeltä suojaumiselta. (Tiainen 2017, 143.)

Oikosulun kesto aika voidaan määrittellä käyttäen alla esitettyä kaavaa 18, joka on esitetty D1 kirjassa (Tiainen 2017, 142). Kaavaa 18 voidaan hyödyntää enintään 5 sekuntia kestäville vikatilanteille. Kaavan käyttö perustuu oletukselle, että tässä ajassa oikosulun kehittämä lämpö jää kokonaisuudessaan kaapeliin ja lämmittää sitä.

$$t = \left(k \cdot \frac{A}{I}\right)^2 \quad (18)$$

jossa	t	oikosulun aiheuttama kesto aika	[s]
	k	johdinvakio	[-]
	I	oikosulkuvirran suuruus	[A]
	A	johtimen poikkipinta-ala	[mm ²]

Kaavaa tulee käyttää silloin, kun käytetään ylikuormitussuojauksesta erillistä oikosulkusuojaa. Tällöin oikosulkusuoja on usein nimellisvirraltaan suurempi kuin johtimen jatkuva kuormitettavuus. (Tiainen 2017, 143.)

Tämä tilanne on varsin yleinen teollisuudessa, esimerkiksi suorissa moottorilähdöissä, joissa ovat erilliset aM-tyyppiset kahvasulakkeet oikosulkusuojana ja ylivirtasuojauksena toimii aseteltava lämpörele, joka toimii samalla moottorin ylikuormitussuojana.

Käytettäessä yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa, ei kaavaa tarvitse käyttää. Tällöin riittää, kun varmistetaan, että suojalaitteen katkaisukyky on riittävä. Kun suoja on valittu johdon kuormitettavuuden perusteella, se suojaa myös oikosulkuvirran lämpövaikutuksilta. (Tiainen 2017, 143.)

7.3 Vikasuojaus

Vikasuojauksella tarkoitetaan suojausta, jolla estetään ihmisiä tai kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteisiksi tulleita osia niin, että siitä aiheutuisi vaaraa (Tiainen 2017, 84).

Taulukko 5. Vikasuojauksen menetelmät (Tiainen 2017, 84)



Vikasuojaus automaattisen poiskytkennän avulla on yleisimmin käytetty menetelmä sähköasennuksissa. Menetelmän avulla on tarkoitus estää ihmisiä tai kotieläimiä joutumasta koskettamaan eristysvian aiheuttamaa vaarallista kosketusjännitettä niin kauan, että siitä aiheutuisi vaaraa. Toimivaan suojaukseen tarvitaan suunniteltu vikavirtapiiri ja sopiva suojauslaite. (Tiainen 2017, 84.)

Toimiakseen kunnolla suojausmenetelmän on täytettävä kaksi ehtoa:

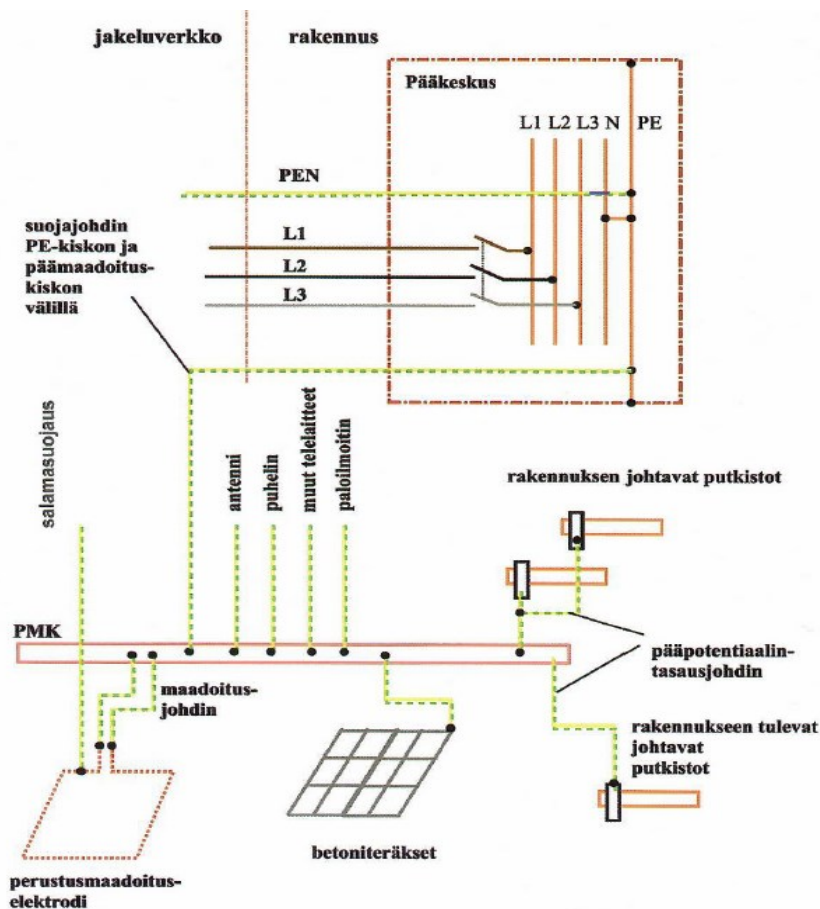
1. Virtapiirissä on oltava johtava yhteys, suunniteltu vikapiiri, joka mahdollistaa vikavirran kulkemisen. Vikavirtapiirin rakenne riippuu käytetystä maadoitusjärjestelmästä (TN, TT tai IT). Ehdon täyttymisen edellytys on, että kaikki jännitteille alttiit johtavat osat on yhdistetty suojajohtimilla maadoitusjärjestelmään siten, että syntyy vikavirtapiiri.
2. Vikavirta ja sen aiheuttama kosketusjännite on kytkettävä pois sopivalla suojalaitteella. Poiskytkentäaika riippuu eri tekijöistä, kuten itse kosketusjännitteestä, jonka alaiseksi henkilö tällöin saattaa joutua, vian todennäköisyydestä ja sen todennäköisyydestä, että henkilö koskettaa laitetta vian aikana. (Tiainen 2017, 85.)

7.4 Maadoitukset ja potentiaalintasaus

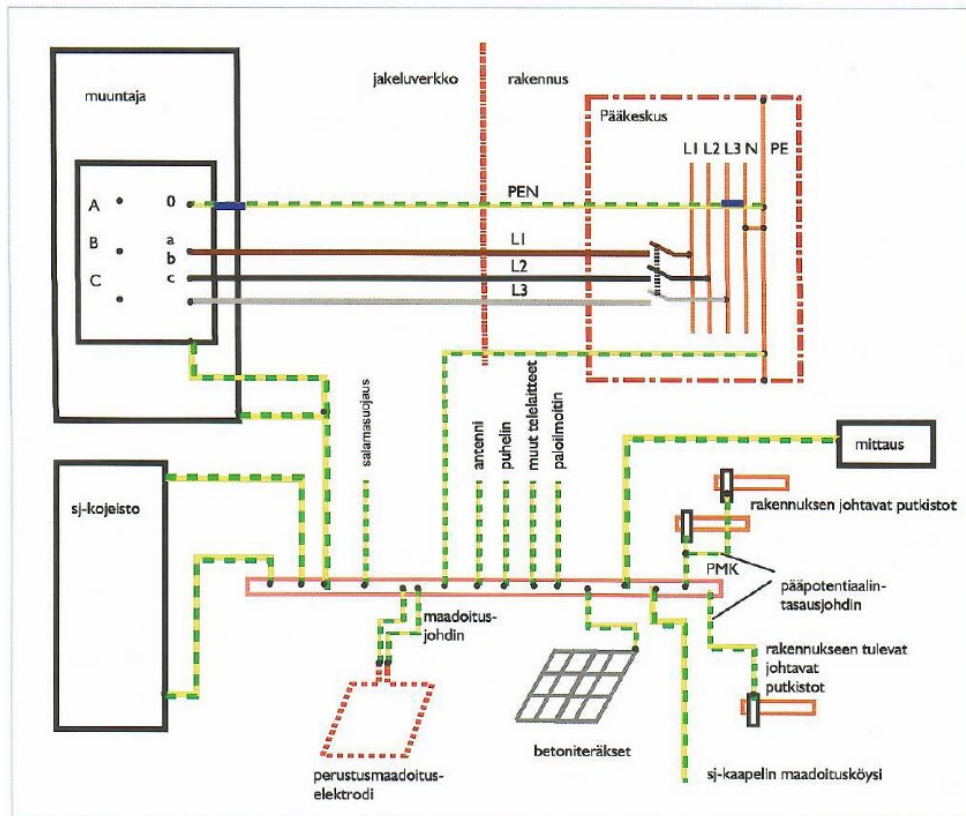
Kosketusjännitteen suuruutta voidaan rajoittaa yhdistämällä jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat samaan potentiaaliin eli tekemällä potentiaalintasaus.

Maadoitukset ja potentiaalintasaukset ovat tärkeä osa sähkölaitteistoa. Sähköturvallisuuden kannalta maadoitusten ensisijaisena tarkoituksena on rajoittaa vikatapauksissa esiintyviä kosketus- ja askeljännitteitä. (Tiainen 2017, 285.)

Kuvat 8 ja 9 havainnoivat tavanomaisia maadoitusratkaisuja. Pumppaamoissa tyypillisin ratkaisu on kuvan 8 esittämä tapa, mutta suuremmissa pumppaamoissa voi sähköliittymä olla myös keskijänniteverkosta. Tällöin pumppaamon yhteydessä on oma muuntamo.



Kuva 8. Tyypillinen potentiaalintasausten ja maadoitusrakenne PEN-johtimella varustetulla liittimisjohdolla (Tiainen 2017, 316)



Kuva 9. Maadoituksen, potentiaalintasauksen ja syötön kytkennät liittymässä, jossa on muuntaja ja pääkeskusta syötetään PEN-johtimella varustetulla johdolla (Tiainen 2017, 318)

Vikasuojauksen toimivuus tulee varmistaa sähkölaitteistoa suunniteltaessa. Standardin SFS 600 kohdan 132 mukaan sähköasennuksien suunnittelussa on varmistuttava siitä, että suojaus toteutuu luvun 131 mukaisesti. Luku 131 sisältää vaatimuksen vikasuojauksesta. (Tiainen 2017, 92.)

Suojausehtojen tarkastamiseksi on selvitettävä pienin sallittu oikosulkuvirran arvo, jolla valittu suojalaite toimisi vaaditussa ajassa, joko 0,4 tai 5,0 sekunnissa.

5 s poiskytkentäaika voidaan käyttää pääjohdoille ja yli 32 A ylivirtasuojatuille kiinteitä laitteita syöttäville ryhmäjohdoille sekä yli 63 A ylivirtasuojilla suojaetuille pistorasiaryhmille. Muissa tapauksissa on sovellettava 0,4 s poiskytkentäaika. (Tiainen 2017, 91; SFS-käsikirja 600–1–1: 2017, 75.)

Mitoitettujen oikosulkuvirtojen tulee olla 25 % suurempia kuin suojalaitteiden toimintarajavirrat (Tiainen 2017, 93).

Vaadittava oikosulkuvirta määritetään vaihe- ja suojaohjtimen välisessä oikosulussa ja se voidaan joko mitata tai laskea. Oikosulkuvirran laskentamenetelmät on esitetty standardissa IEC 909. Mikäli laskentaan on käytettävissä soveltuvia laskentaohjelmia, voi oikosulkuvirran määrittää melko tarkasti laskeamalla. Tällöin tulee ottaa huomioon myös oikosulkuvirran vaihekulma. (Tiainen 2017, 94.)

Käytännössä oikosulkuvirran laskentaa kannattaa yksinkertaistaa. Kaavalla 19 esitetty menetelmän virhe on noin 10 % ja siinä tapahtuva virhe on turvallisempaan suuntaan, joten todelliset oikosulkuvirrat ovat suurempia kuin laskennalla saadut. (Tiainen 2017, 95.)

Kaavassa 19 on huomioitu virtapiirissä syntyvät jännitteen alenemat eri komponenteissa. Virtapiirin impedanssi koostuu sekä jakelumuuntajaa edeltävän verkon impedanssista että muuntajan- ja muuntajan jälkeisien johtimien impedanssista. Yksinkertaistuksessa on tärkeintä laskea osaimpedanssit aritmeettisesti yhteen, jolloin todellinen impedanssi on aina laskettua arvoa pienempi ja vikavirta täten suurempi. (Tiainen 2017, 95.)

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (19)$$

jossa	I_k	pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta	[A]
	c	Kerroin, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne...	[0,95]
	U	pääjännite	[V]
	Z	Virtapiirin impedanssi	[Ω]

Laskennasta saatuja oikosulkuvirran arvoja verrataan suojalaiteiden automaattisen poiskytkennän vaadittaviin 0,4 ja 5,0 sekunnin arvoihin. Kun lasketut arvot ovat suurempia kuin vaaditut arvot, on vikasuojaus riittävä. (Tiainen 2017, 95.)

Taajuusmuuttajalle sopivan oikosulkusuojauksen määrittäminen kannattaa tehdä ABB Oy:n ohjeen mukaan. Lisäksi kaavassa 20 on huomioitu kaapelin ja muuntajan resistanssit ja reaktanssit. Kaava 20 määrittää kahden vaiheen välille syntyvän symmetrisen oikosulun. (ABB 2022a, 199.)

$$I_{K2-ph} = \frac{U_N}{2\sqrt{R_C^2 + (Z_k + X_C)^2}} \quad (20)$$

jossa	I_{K2-ph}	Oikosulkuvirta symmetrisessä kaksivaiheisessa oikosulussa	[A]
	U_N	Muuntajan nimellisjännite	[V]
	S_N	Muuntajan nimellinen näennäisteho	[kVA]
	R_C	Kaapelin resistanssi	[Ω]
	X_C	Kaapelin reaktanssi	[Ω]

7.5 Lisäsuojaukset

Vikasuojauksessa voidaan hyödyntää useissa tapauksissa enintään 30 mA vikavirtasuojaa lisäsuojauksena. Näitä ovat mitoitusvirraltaan enintään 32 A pistorasiat, joita todennäköisesti käyttävät maallikot. Myös teollisuudessa sovelletaan samaa periaatetta.

Joissain tilanteissa voidaan pistorasia-asennuksesta jättää vikavirtasuojaus toteuttamatta. Näitä ovat teollisuuskoneet tai vastaavat, jotka on kiinnitetty paikoilleen, mekaanisesti kiinnitetyt valaisimet, tai sähkökatkoille herkät laitteet, kuten tietoliikennelaitteet ja palvelimet. (SFS-käsikirja 600–1–1: 2017. Liite 41X, 96).

8 SÄHKÖKÄYTTÖJEN KOMPONENTTIEN VALINTA

Pumppaamon optimaalisimman hyötysuhteen saavuttamiseksi ja putkiston rasituksen keventämiseksi, pumppuja kannattaa nykypäivänä lähes poikkeuksetta ohjata taajuusmuuttajakäytöillä. Taajuusmuuttajan avulla saadaan käynnistysvirrat pysymään kohtuullisella tasolla ja parhaimmilla taajuusmuuttajilla voidaan myös loisteho kompensoida ilman erillistä kompensointilaitetta. Näillä taajuusmuuttajilla on myös alhaisempi harmonisten yliaaltojen tuotto sähköverkkoon päin.

8.1 Ultra Low Harmonic-tekniikka

Perinteisen diodisillan sijaan Ultra Low Harmonic (ULH)-taajuusmuuttajissa käytetään Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)-puolijohteita syötön tasa-suuntaajalla. ULH-taajuusmuuttaja pystyy säätämään syötön virran siniaalto-muotoon. Lisäksi ULH-taajuusmuuttajan suodatin on suunniteltu vaimentamaan korkeat jänniteharmoniat alhaiselle tasolle. Tällä tekniikalla voidaan estää virran jännitteen vääristymistä. ULH-tekniikalla voidaan kompensoida sähköverkossa esiintyvä loisteho, jolloin erillistä kompensointilaitteistoa ei välttämättä tarvita. Taulukossa 6 on esitetty eri taajuusmuuttajatekniikoiden eroja. Lisäksi taulukossa 6 on havainnollistettu eri tekniikoiden tarvitsema tila ja kokonaiskustannukset eri ratkaisuisissa.

Normaali diodi-/tyristoritasasuuntauksella varustettu taajuusmuuttajakäyttö tarvitsee noin 1,35 kertaa ylimitoitettun muuntajan näennäistehon osalta. Vastavasti ABB Ultra Low Harmonic -ratkaisun osalta kerroin on 1,1 näennäisteholle. Tämä tarkoittaa jopa 20 % kustannussäästöä syöttömuuntajissa. Lisäksi kaapelien mitoitus ja sulakekoko voidaan pienentää tavanomaiseen ratkaisuun verrattuna. Ultra Low Harmonic-tekniikalla pystytään pienentämään sähkön kulutusta, johdotuksissa ja komponenteissa tapahtuvien häviöiden pienemisen kautta. (ABB 2022b.)

Taulukko 6. Eri taajuusmuuttajatekniikoiden vertailua (ABB 2021c)

Comparison of harmonic reduction solutions							
Harmonic reduction solution	6-pulse rectifier without choke	6-pulse rectifier with large choke	6-pulse drive and passive filter	6-pulse drive and active filter	Multipulse drive	Matrix drive	Active front end drive/ low harmonic drive
Current waveform							
Typical THDI% at nominal load	>100%	40%	<10%	<5%	6 to 10% (12-pulse) <6% (18-pulse)	<5%	<5%
Drive system efficiency (excluding motor and supply), typical value at rated power	~98%	~97%	~96.5% ¹⁾	~96.5% ¹⁾	~96% ²⁾	~96.5%	~96.5% ³⁾
Motor voltage ⁴⁾	~0.96 × supply voltage	~0.95 × supply voltage	~0.95 × supply voltage	~0.95 × supply voltage	~0.95 × supply voltage	~0.92 × supply voltage ⁵⁾	Full motor voltage
True power factor	~0.7 at nominal load only	~0.98 at nominal load only	~0.98 at nominal load only	~0.99 at nominal load only	~0.98 at nominal load only	~0.98 at nominal load only	1.0 at all load conditions
Simplicity of installation	A single component	A single component or two separate components	Two separate components	Two separate components	Multiple separate components	A single component	A single component
Installation footprint ⁷⁾	100%	110%	250%	250%	300% ⁶⁾	140%	120%
Equipment cost of all required components ⁷⁾	100%	120%	190%	230%	200% ⁶⁾	190%	190%

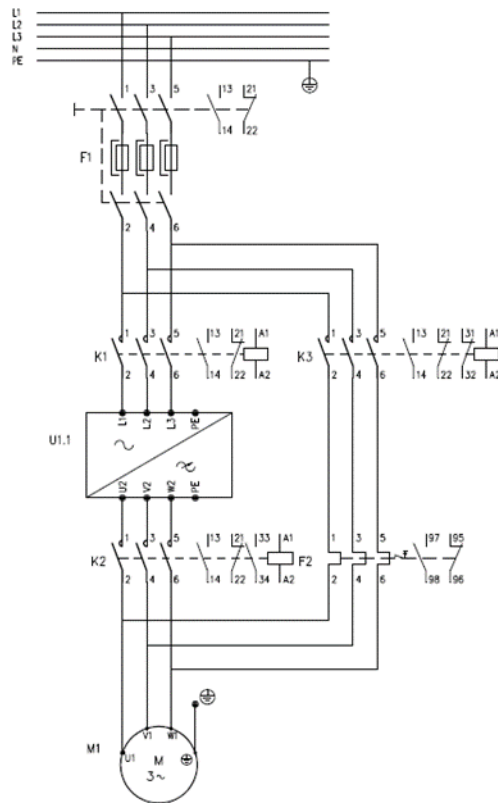
Data is based on a 100 kW installation. Results may vary depending on equipment types and their dimensioning. For an IGBT-supplied drive, evaluations are based on ABB ultra-low harmonic drives.

8.2 Ohituskäyttö

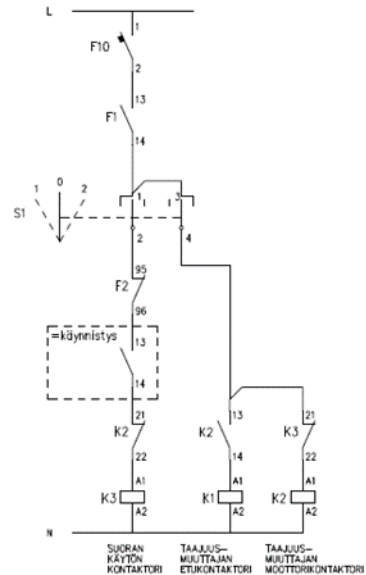
Pumppaamoissa on usein taajuusmuuttajakäytön rinnalla taajuusmuuttajan ohituskäyttö vikatilanteita varten. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi kontaktoreilla ja lämpörelesuojauksella. Ohituskäytöllä voidaan ohittaa taajuusmuuttajakäyttö tarvittaessa. Kuvassa 10 on esitetty eräs mahdollisuus ohituskäytön toteutuksesta.

Ohituskäyttö on järkevä ratkaisu varsinkin, jos on epäilystä, että esimerkiksi ukkosen aiheuttama ylijännitepiikki tuhoaa taajuusmuuttajan. Usein ukkoskuoron aikana vettä voi kertyä lyhyessä ajassa huomattavia määriä, jolloin pumppaamo on saatava toimimaan ohituskäytöllä niin pitkään kuin on tarvetta.

Ohituskäytön kontaktorit kannattaa yleensä mitoittaa hieman suuremmiksi kuin nimellisvirta. Kontaktori K1 on taajuusmuuttajan etukontaktori. Se ei ole välttämätön kytkennän toiminnan kannalta, mutta sen pois jäädessä taajuusmuuttajalle pitäisi olla erillinen sähkön syöttö.



F1 etukoje/sulakesuojaus
 F10 ohjauspiirin automaattisulake
 F2 ohituskäytön lämpörele
 K1 taajuusmuuttajan etukontaktori
 K2 taajuusmuuttajan moottorikontaktori
 K3 ohituskäytön moottorikontaktori
 M1 moottori



Kuva 10. Esimerkki taajuusmuuttajan ohituskytkenästä

K1:n avulla taajuusmuuttaja saadaan vikatilanteessa helposti kytkettyä irti valintakytkimen S1 avulla. Ohituskytkenässä on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että taajuusmuuttaja ja ohituskäyttö eivät ole missään tilanteessa käytössä yhtäaikaaisesti. Kuvan ohituskytkenässä on esimerkki toteutuksesta, joka estää yhtäaikaisen käytön mahdollisuuden.

8.3 Loisteho ja tarvittavan kompensoinnin tarve

Pumpussa tyypillisesti käytettävä oikosulkumoottori tarvitsee loistehoa moottorissa olevan vaihtuvan magneettikentän ylläpitämiseksi. Kuitenkin varsinaisen työn tekee pätöteho P . Pätöteho ja perustaajuinen loisteho Q muodostavat yhdessä näennäistehon S (ST 52.15: 2016.)

Verkossa oleva loisteho kasvattaa virtapiireissä kulkevia virtoja ja aiheuttaa turhaa lämpenemistä sähköverkon eri osissa (ST 52.15: 2016).

Kompensoinnin lisäämisellä saadaan pienennettyä kokonaisvirtaa ja täten verkon pätötehohäviöitä (ST 52.15: 2016). Joissain tapauksissa liiallinen loistehon aiheuttama virta voi jopa estää käytettävissä olevan sähköverkon tai muuntamon täyden kapasiteetin hyödyntämisen.

Tavanomaisin kompensointitapa on keskitetty estokeloilla varustettu säätyvä rinnakkaiskompensointi, mutta on olemassa myös muitakin kompensointitratkaisuja, kuten laite- tai moottorikohtainen kompensointi. (ST 52.15: 2016.) Myös taajuusmuuttajalla voidaan kompensoida ohjattavan moottorin loistehoa ja pienentää loistehon tarvetta. (ST 52.15: 2016.) Tästä aiheesta on kerrottu aiemmin alaluvussa 5.1 Ultra Low Harmonic (ULH)-tekniikan yhteydessä.

Estokeloilla varustettua kompensointia on käytettävä etenkin yliaaltopitoisissa sähköjakeluverkoissa. Tyypillisin viritystaajuus estokelakompensointilaitteella on 189 Hz, mutta se on tarkistettava paikalliselta verkkoyhtiöltä (ST 52.15: 2016).

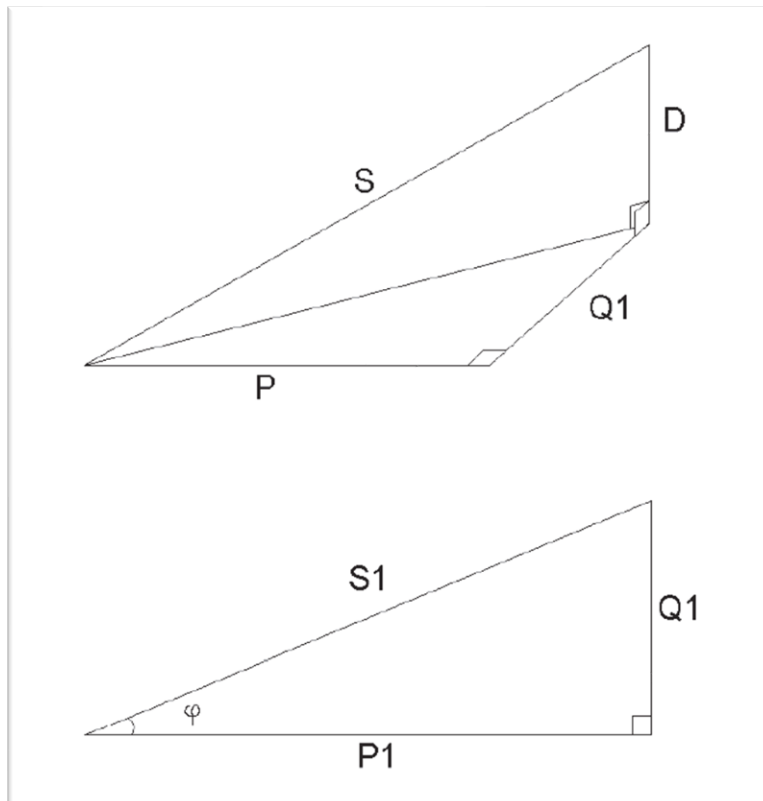
Pätötehon P ja $\cos \varphi$:n perusteella saadaan määriteltyä kuormituksen tarvitsema näennäisteho S , kuten kaava 21 osoittaa. Kuormituksen tarvitsema loisteho Q määritellään näennäistehon ja pätötehon avulla kaavan 22 mukaisesti. (ST 52.15: 2016.)

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (21)$$

jossa	P	Moottorin ottama sähköteho	[W]
	S	Näennäisteho	[VA]
	$\cos \varphi$	Moottorin tehokerroin	[-]

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (22)$$

jossa	Q	Loisteho	[VA _r]
	S	Näennäisteho	[VA]
	P	Pätöteho	[W]



Kuva 11. Perustaajuinen tehokolmio (ST 52.15: 2016.)

Lasketusta loistehontarpeesta vähennetään vielä sähköverkon ilmaisosuus, jonka määrä on tarkistettava alueen sähköyhtiöltä. Loistehon hinnoittelupolitiikka on sähköyhtiökohtaisesti määritelty. (ST 52.15: 2016.)

9 MAAPATOPUMPPAAMON MITOITUS

Maapatopumppaamo sijaitsee Ahvenkoskella ja maasto on peltoa sekä metsää. Tässä mitoituksessa voidaan käyttää hyödyksi Enso-Guzeit osakeyhtiön, nykyisin Stora Enso Oyj, vuonna 1979 määrittelemiä arvoja liitteen 2 mukaisesti. Lisäksi voidaan hyödyntää ilmasto-opas.fi-verkkopalvelusta saatavaa mittausarvoa, joka on tehty 2.6.2016 kello 11.20 GPS-sijainnissa 60°32'50.9"N 26°51'29.0"E, joka on riittävän lähellä pumppaamon sadanta-aluetta.

60 minuutin mittauksessa on taltioitu kokonaissademäärä mm/h ja hetkelliset intensiteetit minuutin välein. Suurin hetkellinen intensiteetti on ollut 160 mm ja mittauksessa kertynyt vesimäärä on 29,7 mm 10 % toistuvuudella.

Maa-alue, jolta vettä kertyy sateen aikana pumppaamolle, on aiemmin tehdyn selvityksen perusteella 195 ha. Tunnissa alueelle voi sataa vettä ilmasto-opas.fi-verkkopalvelun tiedon perusteella keskimäärin:

$$195\,000\,m^2 * 0,0297\,m = 5\,791\,m^3 \quad (23)$$

Mitoitusvirtaaman määrittämisessä käytetään tässä laskelmassa vakioituja mitoitusasteita, joissa huomioidaan myös sateen toistuvuus laskelmien yksinkertaistamiseksi. Tavanomaiset hulevesiviemärit mitoitetaan yleensä sadetapah-tumille, joiden tilastollinen todennäköisyys on 50–10 %. Mitoitusasteen kesto-aika valitaan valuma-alueen pinta-alan mukaan.

Valumakertoimena C voidaan alueella käyttää vuonna 1979 määriteltyä arvoa 0,15 sillä valumisalue ei ole muuttunut juurikaan ajansaatossa. Maa-alueen pinta-ala A on 195 ha. Alue on suurempi kuin 100 hehtaaria, joten mitoitusasteen kestoajaksi taulukon 3 mukaan valitaan 60 minuuttia. 20 % todennäköisyydellä mitoitusasteen intensiteetti i on taulukon 2 mukaan tällöin 64 l/s*ha. Kaavan 24 perusteella virtaaman q_v arvoksi saadaan 1 872 l/s.

$$q_v = C \cdot i \cdot A \quad (24)$$

$$q_v = 0,15 \cdot 64 \frac{l}{s} ha \cdot 195 ha = 1\,872 l/s$$

Pumppaamoa ei kannata kuitenkaan mitoittaa suoraan tälle virtaamalle, joten sen edessä on puskuriksi tehty lammikko, joka on kooltaan noin 15 m x 30 m ja noin 2 m syvä. Lammikko pystyy täten varastoimaan 900 m³ vettä. Tämän lisäksi maaston muodot jarruttavat veden tuloa vieläkin pienemmäksi kuin las-kettu 1 872 l/s.

9.1 Putkiston mitoitus

Pumppaamon staattinen nostokorkeus on 1,5 m vaihteluvälillä 4,6–6,1 m, mutta saneerauksen yhteydessä nostokorkeus lisääntyy noin yhdellä metrillä, jolloin nostokorkeus on vastaavasti 5,6–7,1 m. Aiemmin on päätelty 1 000 l/s virtaustarpeen riittävän tulevaisuudessa, mikä on noin 30 % suurempi kuin nykyinen virtaama.

Virtausmäärä on erittäin suuri, joten on selvää, että maavallin yli oleva putki-kokokin tulee olemaan suuri. Taulukon 4 mukaisesti virtausnopeus putkistossa suurilla halkaisijoilla > DN 300–800 voi olla 3,4–5 m/s. Putkikokoa voidaan arvioida kaavan 25 perusteella seuraavasti.

$$d = \sqrt{4 \frac{q_v}{\pi v}} = \sqrt{4 \frac{1\,872\, m^3/s}{\pi \cdot 3,5\, m/s}} = 0,6\, m \quad (25)$$

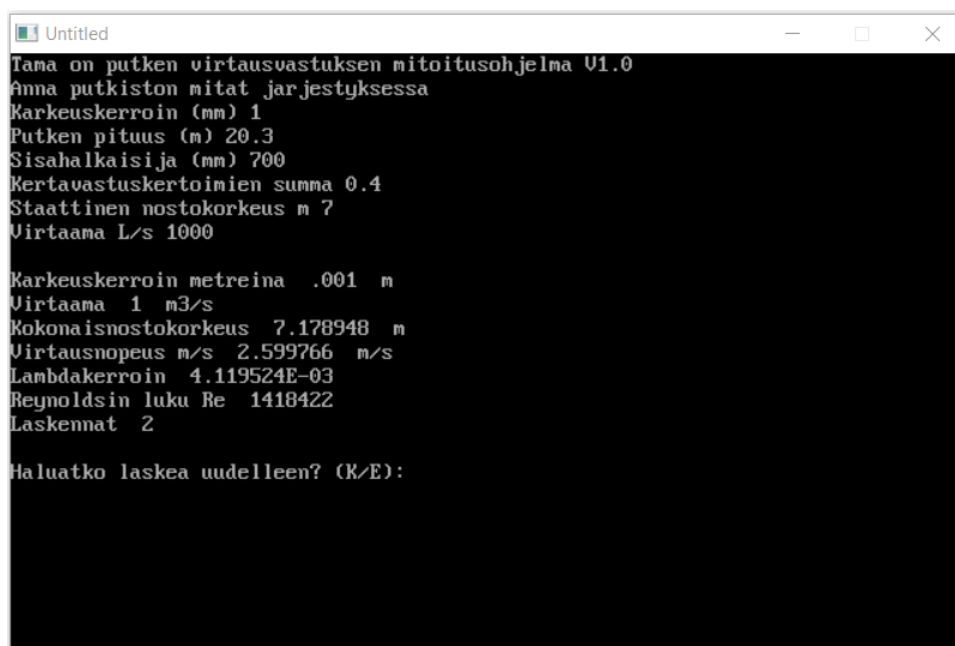
Putken halkaisijan ollessa 600 mm, virtausnopeus olisi 3,5 m/s, mikä on PSKE2401 standardin mukaisesti sopiva virtausnopeus. Purkuputki voi olla suurempikin, jolloin putken seinämän likaantuminen myöhemmin ei estä vir-tausta liiaksi. Aikaisemmin tehdyssä alustavassa suunnitelmassa putken kooksi on arvioitu DN 700.

Seuraavaksi on selvitettävä pumppuun vaikuttava, putkiston aiheuttama dy-naaminen nostokorkeus. Dynaaminen nostokorkeus on helpoin selvittää aiem-

min esitetyn BASIC-ohjelman avulla. Karkeuskertoimena kannattaa muoviputkilla käyttää yhtä millimetriä Suomen kuntaliitto ry:n julkaiseman hulevesioppaan mukaisesti (Suomen kuntaliitto ry 2012, 211). Tällöin huomioidaan putken pinnan likaantuminen ajansaatossa. Putkistossa on 2 kpl 55° mutkia. Kertavastuskertoimet voidaan laskea yhteen aiemmin esitetyn kaavan mukaisesti, joten kaksi loivaa mutkaa voidaan ajatella muodostavan yhden 90° mutkan, jonka kertavastuskerroin on 0,4.

Laskentaohjelman mukaan DN 700 putkisto ei aiheuta juurikaan dynaamista vastusta. Vastaavasti halkaisijaltaan 100 mm pienempi putki aiheuttaa 20 cm lisää dynaamista nostokorkeutta.

Tässä tapauksessa putkisto on varsin lyhyt ja rakentamiskustannuksissa ei ole suurtakaan eroa, joten on järkevää valita suurempi putkikoko, sillä ylimääräinen dynaaminen nostokorkeus lisää pumppujen tehon tarvetta.



```
Untitled
Tama on putken virtausvastuksen mitoitushjelma U1.0
Anna putkiston mitat jarjestyksessa
Karkeuskerroin (mm) 1
Putken pituus (m) 20.3
Sisahalkaisija (mm) 700
Kertavastuskertoimien summa 0.4
Staattinen nostokorkeus m 7
Virtaama L/s 1000

Karkeuskerroin metreina .001 m
Virtaama 1 m3/s
Kokonaisnostokorkeus 7.178948 m
Virtausnopeus m/s 2.599766 m/s
Lambdakerroin 4.119524E-03
Reynoldsin luku Re 1418422
Laskennat 2

Haluatko laskea uudelleen? (K/E):
```

Kuva 12. Kuvakaappaus putkiston mitoituskalkulaattorista

```

Untitled
Tama on putken virtausvastuksen mitoitusohjelma V1.0
Anna putkiston mitat jarjestyksessa
Karkeuskerroin (mm) 1
Putken pituus (m) 20.3
Sisahalkaisija (mm) 600
Kertavastuskertoimien summa 0.4
Staatallinen nostokorkeus m 7
Virtaama L/s 1000

Karkeuskerroin metreina .001 m
Virtaama 1 m3/s
Kokonaisnostokorkeus 7.347403 m
Virtausnopeus m/s 3.53857 m/s
Lambdakerroin 4.266453E-03
Reynoldsin luku Re 1654826
Laskemat 2

Haluatko laskea uudelleen? (K/E):

```

Kuva 13. Laskentaohjelman tulos DN 600 putkella

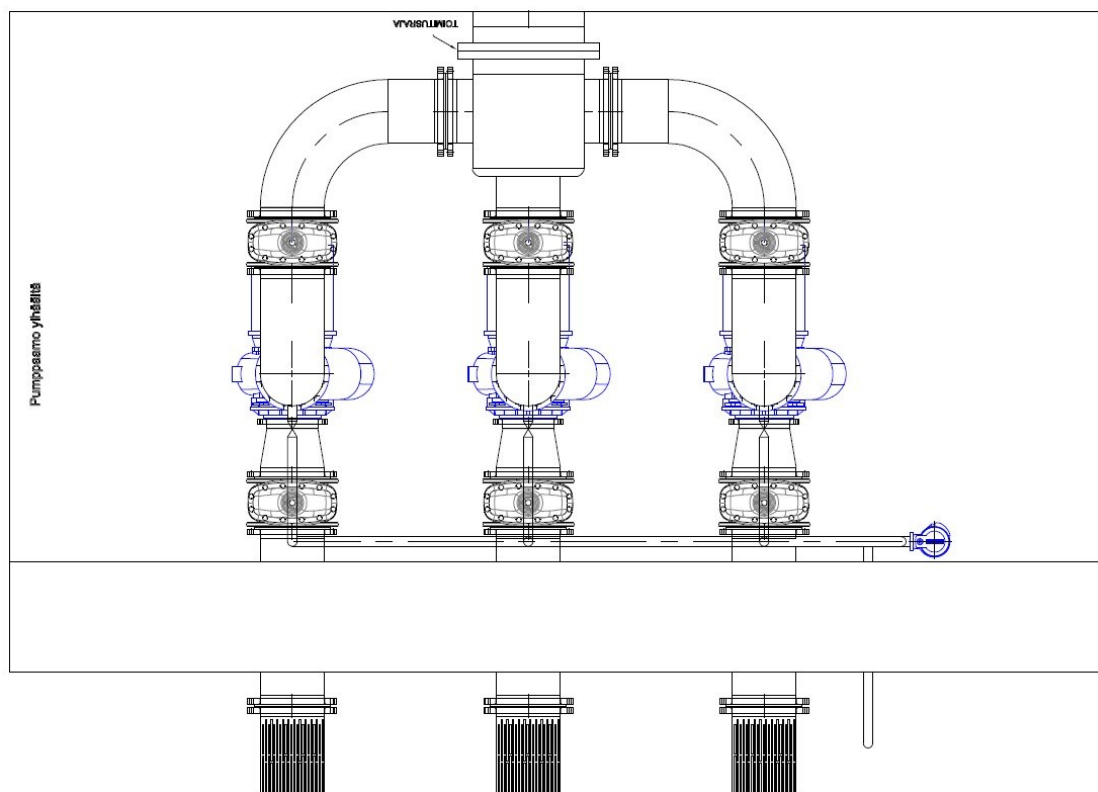
9.2 Pumppujen sähkötehon määrittäminen

Kokonaistehon P tarpeen karkeassa arvioinnissa pumpun ja moottorin yhteisen hyötysuhteen η_{kok} voidaan arvioida olevan esimerkiksi 0,8. Lopullinen hyötysuhde määräytyy kuitenkin valitun pumpputyypin ja valitun pumppaamoratkaisun mukaan, joten se on tarkistettava erikseen.

$$P = \frac{q_v \rho g H}{\eta_{kok}} \quad (26)$$

$$P = \frac{1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 7 \text{ m}}{0,8} = 86 \text{ kW}$$

Pumppaamon rakenteen ja toimintavarmuuden vuoksi päädytään lopulta kolmen rinnakkaisen pumpun ratkaisuun yhden sijaan, kuten kuvasta 14 selviää. Pumput kytketään rinnakkain ja ne toimivat on/off -säädöllä taajuusmuuttajaohjattuina. Kolmen pumpun ratkaisulla saadaan pumppaamon säädettävyys varsin hyväksi, kun pumput käynnistyvät portaittain veden pinnan noustessa. Lisäksi tulevaisuudessa yhden pumpun ollessa huollossa, pumppaamon kapasiteettiä on vielä jäljellä 2/3 osaa, mikä vastaa nykytilanteen kapasiteettia.



Kuva 14. Kolmen pumpun sijoittaminen rinnakkain putkistoon

Aiemmin laskettu kokonaisteho voi vielä muuttua, kun tarkastellaan putkiston aiheuttamaa dynaamista vastusta yhden pumpun näkökulmasta. Kuvassa 15 on esitetty laskentaohjelmalla, miten pumppaamon sisäinen putkisto vaikuttaa pelkästään dynaamiseen nostoon yhdellä pumpulla. Kertavastuksien kertoimet koostuvat pumpun yhteydessä olevasta kahdesta läppäventtiilistä ja takaiskuventtiilistä. Lisäksi ahtaaseen tilaan tulee peräkkäin kaksi käyrää ja T-haarayhde, joka yhdistää kaikki pumput purkuputkeen. Näiden yhteinen kertavastussumma on 2,9. Nämä lisäävät yhdessä dynaamista vastusta huomattavasti, vaikka virtaus jakautuisi tasaisesti kaikkien pumppujen kesken.

```

Untitled
Tama on putken virtausvastuksen mitoitusohjelma V1.0
Anna putkiston mitat jarjestyksessa
Karkeuskerroin (mm) 1
Putken pituus (m) 3.5
Sisahalkaisija (mm) 400
Kertavastuskertoimien summa 2.9
Staattinen nostokorkeus m 0
Virtaama L/s 340

Karkeuskerroin metreina .001 m
Virtaama .34 m3/s
Kokonaisnostokorkeus 1.098718 m
Virtausnopeus m/s 2.707006 m/s
Lambdakerroin 4.77228E-03
Reynoldsin luku Re 843961
Laskennat 2

Haluatko laskea uudelleen? (K/E):

```

Kuva 15. Yhden pumpun aiheuttama dynaaminen nostokorkeus

Kuten aiemmin on todettu, putkiston aiheuttamat vastukset voidaan laskea yhteen, samoin kuin resistanssit sähköpiireissä. Kaavassa 27 on tehty yksinkertaistuksia nostokorkeuden laskentaa varten. Kokonaisnostokorkeus H yhdelle pumpulle olisi kaikkien pumppujen käydessä yhtäaikaisesti 8,27 m.

$$\begin{aligned}
 H &= H_{\text{Staattinen}} + H_{\text{Dynaaminen}} \\
 H &= 7,0 \text{ m} + 1,27 \text{ m} = 8,27 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Vastaavasti pumpun tehontarve P_2 on kaavan 28 mukaisesti 36 kW, mikäli pumpun hyötysuhde η_1 jää arvoon 0,8. Tehon tarve ja hyötysuhde riippuu oleellisesti valitun pumpputyypin toimintapisteen sijoittumisesta tuottokäyrällä.

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \frac{q_v \rho g H}{\eta_1} \\
 P_2 &= \frac{0,340 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 8,27 \text{ m}}{0,8} = 36 \text{ kW}
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

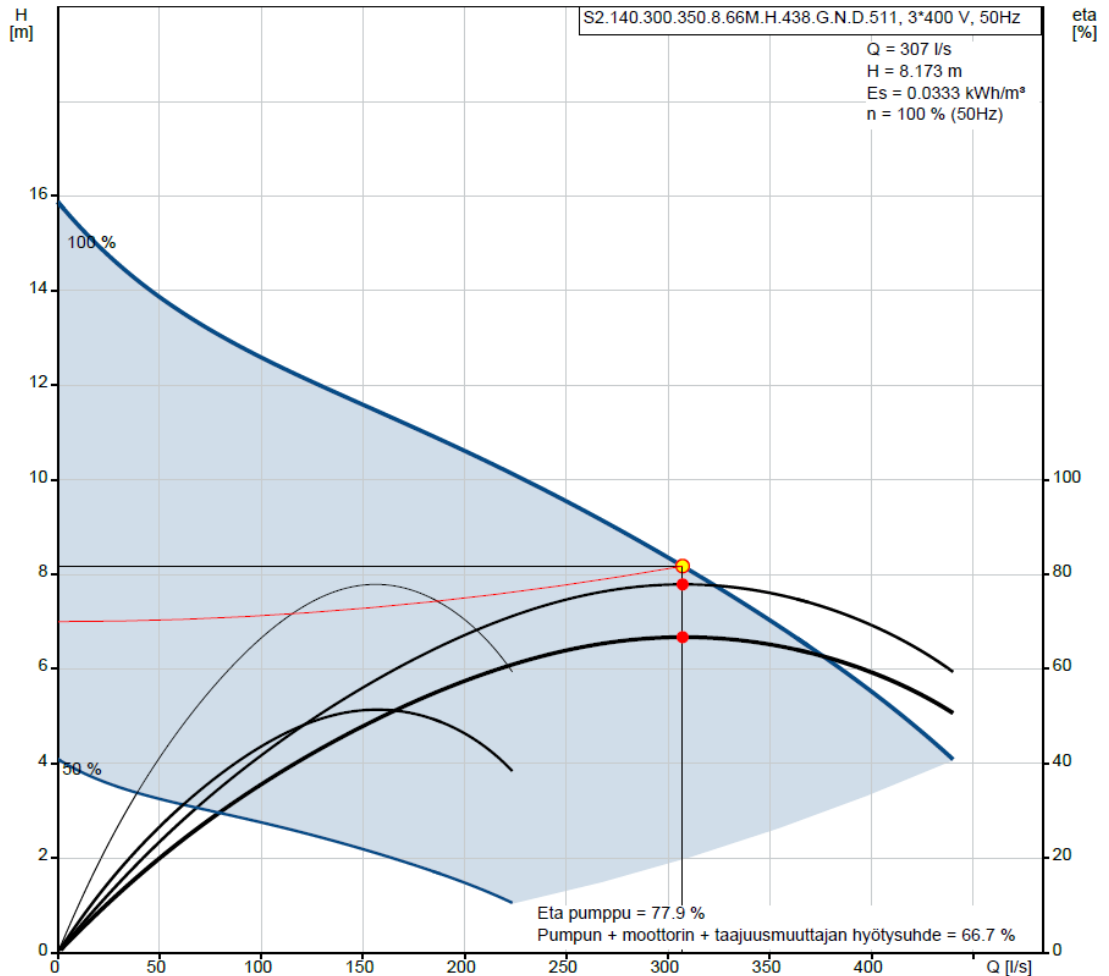
9.3 Pumppujen valinta

Edellä mainituilla laskentatiedoilla voidaan valita kohteeseen soveltuva pumpputyyppi. Grundfosin oman mitoitusohjelman mukaan kohteeseen soveltuisi annettujen lähtötietojen perusteella normaalisti imevä yksijaksoinen uppopumppu Grundfos tuote No: 96785336, joka voidaan asentaa myös kuiva-asenteisesti putkistoon.

Pumpun tuottokäyrästä voidaan havaita, että aiemmin esitetyt laskutoimitukset pitävät hyvin paikkansa. Pumpun hyötysuhde jää kuitenkin alhaisemmaksi kuin aiemmin on arvioitu, hieman alle 80 %. Hyötysuhde on kuitenkin parhaimmalla mahdollisella alueella määritellyssä toimipisteessä, kuten kuvassa 15 mustalla värillä oleva viiva esittää.

Tuotossa ei päästä myöskään aivan haluttuun 340 l/s, vaan tuotto jää hieman alhaiseksi n. 307 l/s Tästä ei kuitenkaan ole haittaa, sillä pumppuja ei kannata ylimitoitaa. Lopulliseen tuottoon vaikuttaa oleellisesti dynaaminen nostokorkeus, joka sekin vaihtelee jonkin verran käytön aikana, riippuen pumppujen yhtäaikaisesta käynnistä.

Käyrästä on esitetty lisäksi sinisellä värjätty alue, jonka sisällä pumpun nopeutta voidaan säätää taajuusmuuttajan avulla. Keskipakopumpuissa säätöalue on 50–100 %, joka tarkoittaa sitä, että sähkömoottorin taajuus on oltava 25–50 Hz sisällä.



Kuva 16. Valitun pumpputyypin tuottokäyrä ja määritelty toimipiste (Oy Grundfos Pumput Ab s.a)

9.4 Sähkömoottorien valinta

Uppopumpuissa on moottorit integroituna pumppuun, joten moottorivalintaa ei tarvitse erikseen tehdä, mutta jos pumpputyypin olisi erillisellä moottorilla oleva keskipakopumppu, moottori valittaisiin aiemmin esitettyjen tehon lisäysprosenttien avulla. Tässä tapauksessa tarvittava teho on suurempi kuin 15 kW, joten lisäysprosentti on 10 %. Tarvittava sähköteho on kaavan 29 mukaisesti 39,6 kW.

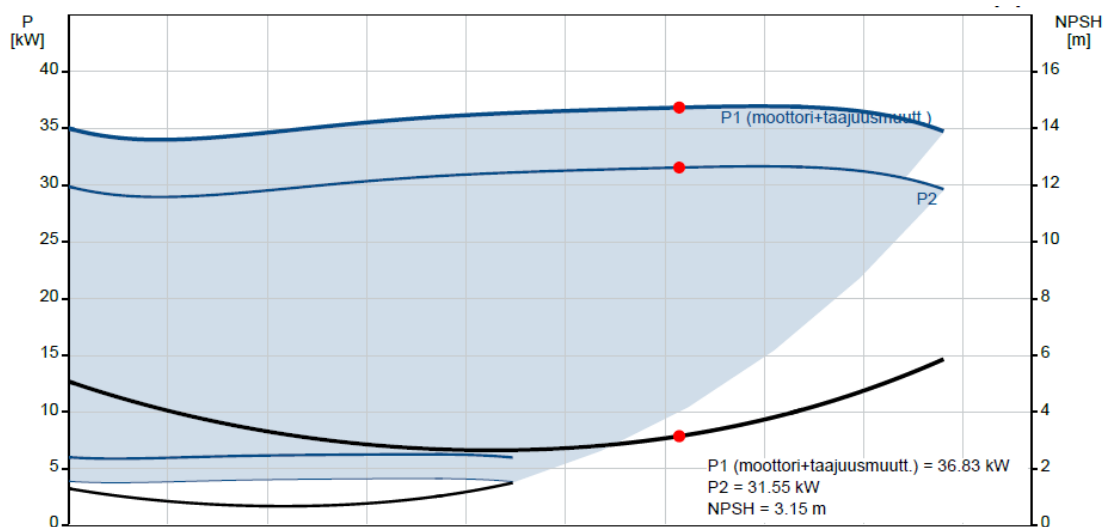
$$P_1 = P_2 \cdot 1,1 \quad (29)$$

$$P_1 = 36 \text{ kW} \cdot 1,1 = 39,6 \text{ kW}$$

Moottoriksi valikoituisi tässä tapauksessa ABB:n Pienjännitteiset IEC-oikosulkumoottorit tuoteluettelon mukaisesti ulostuloteholtaan seuraava kokoluokka, esimerkiksi 45 kW moottori olisi sopiva. Moottorin pyörimisnopeus on tarkistettava pumpun valmistajalta.

Maapatopumppaamoon asennetaan Grundfos:n valmistamat uppopumpput, joten valittu uppopumpputyyppi sisältää nimellisteholtaan 40 kW moottorin, jonka kilpiarvot sähkökomponenttien mitoittamista varten ovat:

- syöttöteho - P_1 , 40 kW
- syöttötaajuus: 50 Hz
- nimellisjännite: 3 x 400/690 V
- nimellisvirta: 76/44 A
- käynnistysvirta: 376 A
- nimellinopeus: 732 rpm
- $\cos \varphi$ 1/1: 0.76, 3/4: 0.70, ja 1/2: 0.59
- moottorin hyötysuhde täydellä kuormalla 88 %



Kuva 17. Pumpun tehon tarve määritellyssä toimipisteessä. (Oy Grundfos Pumput Ab s.a)

Valitut uppopumpput asennetaan kuiva-asenteisesti erilliseen tilaan kuvan 14 osoittamalla tavalla.

9.5 Sähkökäyttöjen mitoitus ja valinta

Pumppujen sähkökäytöt mitoitetaan nimellisvirran mukaan. Pumppaamon sähkönjakelu koostuu 200 kVA 20/0,4 kV jakelumuuntajasta ja tämän perässä olevasta moottorikeskuksesta. 400 V pääjännitteellä moottoreiden nimellisvirrat ovat siis kilpiarvon mukaisesti 76 A.

Sähkömoottorien näennäisteho S lasketaan kaavan 30 mukaisesti huomioiden tehokerrointa. Kolmen pumpun yhteinen näennäisteho S_{kok} on kolmen sähkömoottorin yhteenlaskettu teho.

$$S = \sqrt{3}UI \quad (30)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 76 \text{ A} = 52,6 \text{ kVA}$$

$$S_{kok} = 3\sqrt{3}UI = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 76 \text{ A} = 158 \text{ kVA}$$

Kokonaisvirta täydellä kuormituksella on kilpiarvojen perusteella 228 A. Moottorikeskuksen nimellisvirta I_n on 250 A, mutta muuntajalta keskukselle tuleva syöttö on rajattu 200 A pääsulakkeilla. Laskelmien perusteella pääsulakkeiden kokoa joudutaan muuttamaan isommaksi eli 250 gG sulakkeiksi.

Laskelman perusteella muuntajan ja sähkökeskuksen kapasiteetti on riittävä pumppaamon tehon nostamiselle, kun pumppuja ajetaan suoralla kontaktori-lähdöllä, mutta taajuusmuuttajien tuottamat harmoniset yliaallot voivat rajoittaa täyttä kapasiteettia.

Aiemmin esitetyn mukaisesti perinteisellä taajuusmuuttajatekniikalla muuntajan näennäistehon tarve olisi $1,35 \times S_{kok}$ eli tässä tapauksessa 213,3 kVA. Tehon tarve tulisi harmonisien yliaaltojen vuoksi ylittämään muuntajan kapasiteetin.

ULH-tekniikalla saadaan yliaaltojen osuutta pienemmäksi ja ULH-taajuusmuuttaja pystyy lisäksi toimimaan yliaaltosuodattimena. ULH-tekniikalla tarvittava näennäisteho on $1,1 \times S_{kok}$ eli 173,8 kVA, mikä on riittävä kuormitustaso muuntajalle.

Näennäistehon tarve pienenee vielä tästäkin, kun taajuusmuuttaja pystyy korjaamaan moottorien $\cos \varphi$ arvon lähemmäs ykköstä, jolloin ULH-tekniikan an-

siosta muuntajalta otetaan teoriassa vain puhdasta pätötehoa. Asian paikkansapitävyys voidaan todeta projektin valmistuttua, tekemällä pumppaamossa sähkönlaatumittaus sopivalla ajan jaksolla.

Taajuusmuuttajan tyyppi ja koko voidaan valita helposti esimerkiksi saatavilla olevien ABB:n valintaoppaiden mukaisesti. Pumppu on taajuusmuuttajalle tavanomainen kuormitus, joten taajuusmuuttajan koko voidaan valita mahdollisimman lähelle moottorin nimellistehoa.

Taulukko 7. ABB ACS880 taajuusmuuttajien valintaopas

U _N = 400 V (jännitealue 380–415 V) Tehoavot pätevät, kun nimellisjännite on 400 V (0,55–250 kW).											
Nimellisarvot			Normaali käyttö		Raskas käyttö		Melutaso	Häviöteho	Ilmavirta	Tyyppikoodi	Runko-koko
I _N A	I _{max} A	P _N kW	I _{Ld} A	P _{Ld} kW	I _{Hd} A	P _{Hd} kW	dBA	W	m ³ /h		
2,4	3,1	0,75	2,3	0,75	1,8	0,55	46	30	44	ACS880-01-02A4-3	R1
3,3	4,1	1,1	3,1	1,1	2,4	0,75	46	40	44	ACS880-01-03A3-3	R1
4,0	5,6	1,5	3,8	1,5	3,3	1,1	46	52	44	ACS880-01-04A0-3	R1
5,6	6,8	2,2	5,3	2,2	4,0	1,5	46	73	44	ACS880-01-05A6-3	R1
8	9,5	3,0	7,6	3,0	5,6	2,2	46	94	44	ACS880-01-07A2-3	R1
10	12,2	4,0	9,5	4,0	8	3	46	122	44	ACS880-01-09A4-3	R1
12,9	16,0	5,5	12,0	5,5	10	4	46	172	44	ACS880-01-12A6-3	R1
17	21	7,5	16	7,5	12,6	5,5	51	232	88	ACS880-01-017A-3	R2
25	29	11	24	11	17	7,5	51	337	88	ACS880-01-025A-3	R2
32	42	15	30	15	25	11	57	457	134	ACS880-01-032A-3	R3
38	54	18,5	36	18,5	32	15	57	562	134	ACS880-01-038A-3	R3
45	64	22	43	22	38	18,5	62	667	200	ACS880-01-045A-3	R4
61	76	30	58	30	45	22	62	907	200	ACS880-01-061A-3	R4
72	104	37	68	37	61	30	62	1117	280	ACS880-01-072A-3	R5
87	122	45	83	45	72	37	62	1120	280	ACS880-01-087A-3	R5
105	148	55	100	55	87	45	67	1295	435	ACS880-01-105A-3	R6
145	178	75	138	75	105	55	67	1440	435	ACS880-01-145A-3	R6
169	247	90	161	90	145	75	67	1940	450	ACS880-01-169A-3	R7
206	287	110	196	110	169	90	67	2310	450	ACS880-01-206A-3	R7
246	350	132	234	132	206	110	65	3300	550	ACS880-01-246A-3	R8
293	418	160	278	160	246 ¹⁾	132	65	3900	550	ACS880-01-293A-3	R8 ³⁾
363	498	200	345	200	293	160	68	4800	1150	ACS880-01-363A-3	R9 ⁶⁾
430	545	250	400	200	363 ²⁾	200	68	6000	1150	ACS880-01-430A-3	R9 ⁹⁾

Pumppujen ohituskäyttöä varten taajuusmuuttajan tulo- ja lähtöpuolelle sijoitetaan kontaktorit ja näiden rinnalle ohituskontaktori sekä moottorin ylivirtasuojaukseksi lämpörele. Kontaktorien koko kannattaa valita nimellisen moottoritehon mukaan hieman yläkanttiin. Pienellä ylimitoituksella voidaan estää mahdollinen kontaktorin kärkien kiinnihitsautuminen ajan saatossa. Lämpörele valitaan kontaktoreille sopivaksi moottorin nimellisvirran mukaan.

9.6 Ylivirta ja oikosulkusuojauksien valinta

Moottorilähtöjen sulakekoon valinnassa voidaan hyödyntää myös ABB:n suosituksia, mutta lisäksi on huomioitava pumppaamoon tehtävän ohituskäytön mahdollisuus. Ohituskäyttö toteutetaan kustannussyistä saman keskuslähden yhteyteen kontaktorien avulla. Yhdistetyn lähtöratkaisun vuoksi on turvallisinta käyttää gG-typin sulakkeita. ABB:n kahvasulakesarjan gG-typin yleissulakkeet sopivat johtimien ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen, puolijohteiden ja

muiden laitteiden oikosulkusuojaukseen. Sama sulaketyyppi suojaa johdon ylikuormituksen lisäksi taajuusmuuttajan ja ohituskäytön komponentit. (ABB s.a.)

Ongelmaksi muodostuu sopivan sulakekoon määrittäminen, kun valitulle taajuusmuuttajalle ABB taulukon mukaisesti suositellaan sulakekooksi gG 100 A, mutta tämä sulakekoko on liian pieni suoralle käytölle. Sulakekooksi tulisi valita hieman suurempi sulakekoko, jolloin sopivampi sulakekoko on gG 125 A. Sopivan sulakekoon valinta vaikuttaa oleellisesti sopivan kaapelikoon määrittämisessä, joten varmistamisessa on hyvä käyttää oikosulkuvirtatarkastelua.

9.7 Moottorikaapelit

Moottorikaapeleita suojaa ylivirralla taajuusmuuttajan elektroniikka sekä ohituskäytöllä asetettava lämpörele. Moottorikaapelien mitoituksessa lähtöarvona voidaan käyttää moottorin nimellisvirtaa, joka on 76 A. Taajuusmuuttajat sijoitetaan erilliseen kaappiin, johon tulevat syöttökaapelit moottorikeskukselta. Moottorikeskuksen lähtöihin on valittu gG 125 A sulakesuojaukset.

Kaapelien kuormitettavuuden määrittämisen kannalta oleellista tietoa on, että moottorikaapelit asennetaan kaapelihyllylle ja ne kulkevat osan matkaa vierekkäin. Pumppaamon laiteteila sijaitsee osittain maan alla veden ympäröimänä, joten asennusympäristön lämpötila ei todennäköisesti ylitä 30° C. Kertoimet voidaan tietojen perusteella määrittää referenssiasennustapa F mukaisesti (SFS-käsikirja 600–1–1: 2017, 247).

Kolme kuormitettua virtapiiriä vierekkäin koskettavat toisiaan tikashyllyllä SFS-käsikirja 600–1–1: 2017 taulukon A.52.3 mukaisella asennustavalla, korjauskerroin on 0,82. Ympäristön 30° C lämpötilalla kerroin on yksi, joten sitä ei tarvitse huomioida. Kaapelin kuormitettavuus I_t olisi kaavan 31 mukaisesti oltava vähintään 93 A.

$$I_t = \frac{I_z}{C} \tag{31}$$

$$I_t = \frac{76 \text{ A}}{0,82} = 93 \text{ A}$$

Taajuusmuuttajakaapin syöttökaapeleissa voidaan käyttää samoja korjausker-toimia asennustavan ollessa samankaltainen. Syöttökaapeleita ylivirralla suo-jaavat sulakkeet ovat gG 125 A, joten kaapelin kuormitettavuus I_t on oltava vä-hintään 152 A kaavan 31 mukaisesti laskemalla.

$$I_t = \frac{125 \text{ A}}{0,82} = 152 \text{ A}$$

Edellä laskettujen arvojen perusteella sopivat kaapeloinnit valitaan SFS käsi-kirja 600-1-1 taulukon B.52.10 mukaisesti. Moottorikaapeliksi riittäisi taulukon mukaisesti PVC-eristetty 25 mm² poikkipinta-alainen kuparikaapeli.

Taajuusmuuttajakaapille tulevalle syöttökaapelille on valittava kuormituksen perusteella 50 mm² poikkipinta-alainen kuparikaapeli. Tästä voidaan kuitenkin poiketa. SFS käsikirja 600–1–1 mukaisesti luvun 433.2 mukaan ylikuormitus-suoja voidaan sijoittaa mihin kohtaan tahansa kaapelia, kun johtoa ei haaroiteta tai siinä ei ole pistorasioita. Lisäksi johdon tulee olla oikosulkusuojattu lu-vun 434 mukaisesti. (SFS-käsikirja 600–1–1: 2017, 116.)

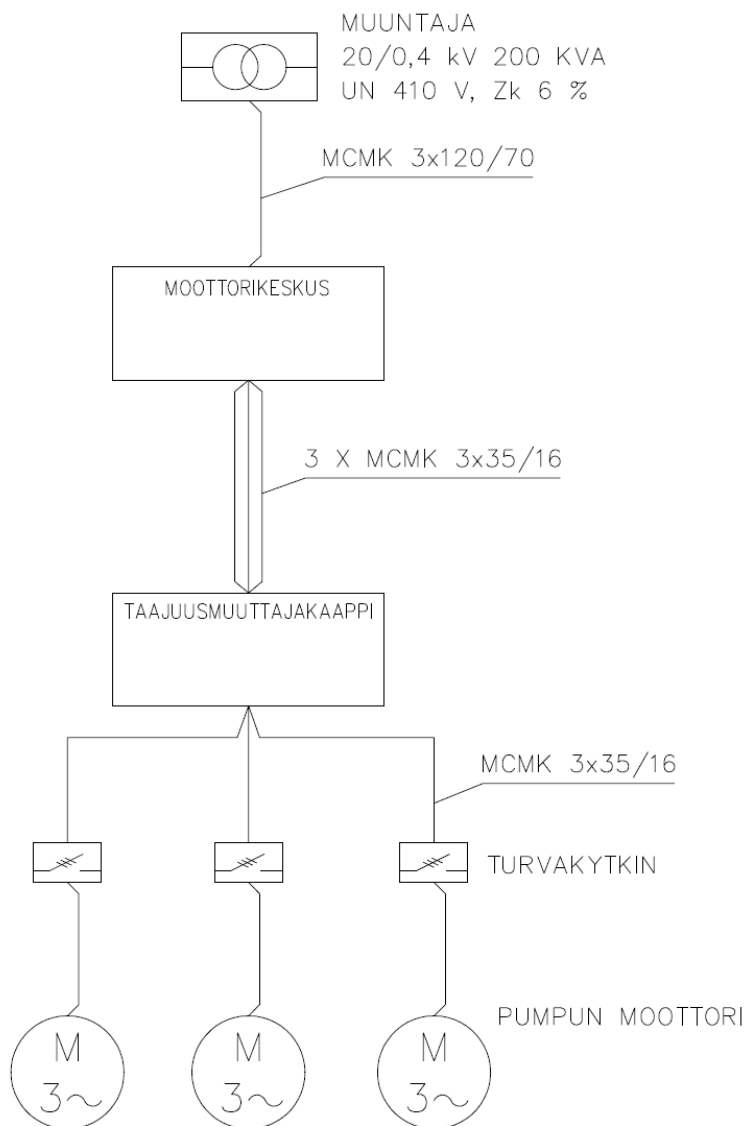
Edellä todetun seikan mukaisesti, taloudellisesti ja käytännön kannalta järke-vin tapa kaapeloinnissa on käyttää poikkipinnaltaan samankokoista kaapelia asennuksien kaikissa kohdissa. Kaapeliksi voidaan valita täten poikkipinnal-taan 35 mm² kuparivoimakaapeli. Kaapelivalinnassa on lisäksi huomioitava EMC-vaatimuksien täyttyminen.

10 KOKOONPANON OIKOSULKUVIRTOJEN TARKISTAMINEN

Kokoonpanon oikosulkuvirrat voidaan joko mitata tai laskea. Vaadittavat oiko-sulkuvirrat mitataan vaiheen ja suojajohtimen välistä käyttöönottotarkastuksien yhteydessä. Suunnittelun aikana ei mittausta voida suorittaa, joten oikosuku-virrat on laskettava. Laskelmissa on oletuksena, että muuntajaa voidaan kuor-mittaa täydellä kuormituksella. Todellisuudessa oikosulkuvirrat voivat olla pie-nempiä, sillä oikosulkuvirta redusoituu muuntajalla myös jakeluverkkoon.

10.1 Kokoonpanon oikosulkuvirta symmetrisessä oikosulussa

ABB taajuusmuuttajakäsikirjan mukaisesti kokoonpanon oikosulkuvirta symmetrisessä oikosulussa kahden vaiheen välillä kannattaa varmistaa laskukäytävällä 35, joka huomioi myös kaapelin reaktanssin. Oikosulkuvirrat ovat laskettu pumpun moottoreille asti, jolloin johdotuksen välillä olevassa taajuusmuuttajakaapissa oikosulkuvirrat ovat luonnollisesti suurempia.



Kuva 18. Yksinkertaistettu esitys pumppaamon tulevasta kaapeloinnista

Oikosulkuvirtojen laskennassa tarvittavat tiedot ovat: muuntajan näennäisteho S_N 200 kVA, nimellisjännite U_N 410V ja suhteellinen oikosulkuimpedanssi Z_k 6 %. Kaapelin pituus moottorikeskuksesta taajuusmuuttajalle ja tästä pumpun moottorille on 20 m. Kaapelointi toteutetaan MCMK 3x35+16 mm² kaapelilla,

jonka resistanssi on $0,652 \Omega/\text{km}$ ja reaktanssi $0,083 \Omega/\text{km}$. Arvot löytyvät D1-2017 Käsikirjasta. Kaapelin resistanssi ja reaktanssi määritellään kaavoilla 33 ja 34. Muuntajan oikosulkuimpedanssi Z_K määritellään kaavan 32 mukaisesti muuntajan kilpiarvojen U_N ja suhteellisen oikosulkuimpedanssin perusteella Z_k perusteella.

$$Z_K = z_k \frac{U_N^2}{S_N} \quad (32)$$

$$Z_K = 0,06 \cdot \frac{410 \text{ V}^2}{200 \text{ kVA}} = 50,43 \text{ m}\Omega$$

$$R_C = 20 \text{ m} \cdot 0,652 \frac{\Omega}{\text{km}} = 13,04 \text{ m}\Omega \quad (33)$$

$$X_C = 20 \text{ m} \cdot 0,083 \frac{\Omega}{\text{km}} = 1,66 \text{ m}\Omega \quad (34)$$

$$I_{K2-ph} = \frac{U_N}{2\sqrt{R_C^2 + (Z_K + X_C)^2}} \quad (35)$$

$$I_{K2-ph} = \frac{410}{2\sqrt{13,04^2 + (50,43 \text{ m}\Omega + 1,66 \text{ m}\Omega)^2}} = 3,8 \text{ kA}$$

Laskelmista voidaan huomata kaapelin mitoituksen ja suojausten toteutuksen gG 125 A sulakkeilla olevan riittävä, kun gG 125 A sulakkeen pienin vaadittu arvo on 715 A 5 s toiminta-ajalla.

10.2 Kokoonpanon oikosulkuvirta yksivaiheisessa oikosulussa

Muuntajan toisiopuoli on tehollisesti maadoitettu, joten yksivaiheisia vikatilanteita varten kannattaa ensin määrittää muuntajan vaiheen ja maan välinen oikosulkuvirta.

Muuntajalta moottorikeskukselle tuleva syöttö on toteutettu MCMK 3x120+70 kaapelilla, jonka pituus on arviolta 8 m. Lisäksi erillinen potentiaalintasausjohdin 50 mm², jolloin PE-johdinten pinta-ala on samansuuruinen kuin vaihejohtimilla. Moottorikeskuksella oleva oikosulkuvirta on kaavojen 36 ja 37 mukaisesti 4,18 kA ja ohituskäytöllä oikosulkuvirta I_k olisi moottorin kohdalla kaavojen 38 ja 39 mukaisesti laskettuna 3,2 kA.

$$Z_V = 2 \cdot 8 \text{ m} \cdot 0,211 \frac{\Omega}{\text{km}} = 3,376 \text{ m}\Omega \quad (36)$$

$$I_K = \frac{C \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot (Z_K + Z_V)} \quad (37)$$

$$I_K = \frac{0,95 \cdot 410}{\sqrt{3} \cdot (50,43 \text{ m}\Omega + 3,376 \text{ m}\Omega)} = 4,18 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} Z_V &= 20 \text{ m} \cdot 0,657 \frac{\Omega}{\text{km}} + 20 \text{ m} \cdot 1,418 \frac{\Omega}{\text{km}} \\ &= 16,6 \text{ m}\Omega \end{aligned} \quad (38)$$

$$I_{K \text{ moottori}} = \frac{C \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_V} \quad (39)$$

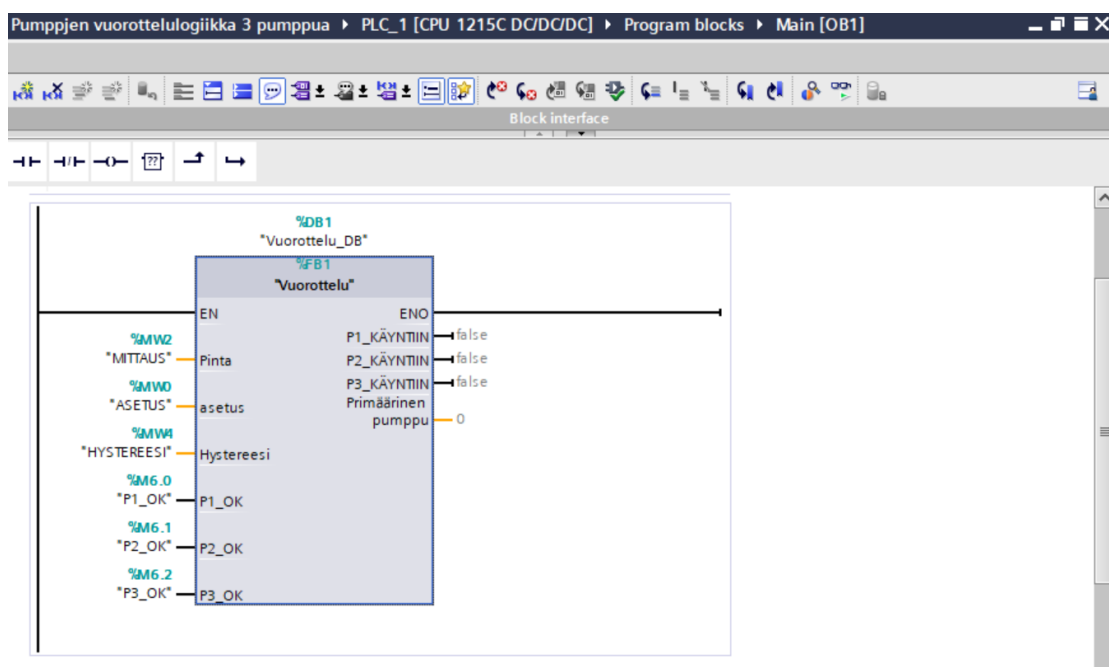
$$I_{K \text{ moottori}} = \frac{0,95 \cdot 410}{\sqrt{3} \cdot (53,376 \text{ m}\Omega + 16,6 \text{ m}\Omega)} = 3,2 \text{ kA}$$

Laskelmien perusteella oikosulkuvirrat ovat riittäviä ja pelivaraa on huomattavasti heikompaan suuntaan.

11 PUMPPUJEN OHJAUS JA AUTOMAATIO

Pumppujen ohjauksen automaatio toteutetaan Siemens S71200 CPU 1215C logiikalla. Pumppaamon logiikka on uusi, joten tässä projektissa logiikkaa ei vaihdeta, mutta yhden pumpun lisäyksen ja taajuusmuuttajaohjauksen vuoksi logiikkaan lisätään DI I/O-moduuli (tulomoduli) lisääntyvien digitaalitulojen vuoksi. Aiemmassa logiikan kokoonpanossa on riittävästi digitaalilähtöjä, joten niitä ei tarvitse lisätä.

Alla olevassa kuvassa 19 on Totally Integrated Automation (TIA) portal ohjelmointiohjelmalla toteutettu logiikan ohjelmalohko, jolla pumppujen ajojärjestys toteutetaan. Tässä opinnäytetyössä ei ole esitettyä pumppaamon koko ohjelmaa, mutta liitteessä 3 on esimerkin omaisesti kuvassa 19 esitetyn ohjelmalohkon sisältö nähtävissä.



Kuva 19. Kuvankaappaus TIA-portaalilla toteutetusta ohjaussekvenssistä

Pumppaamon automaatio toteutetaan niin, että pinnan noustessa ennalta määrätyn asetusarvon yli, käynnistyy ensimmäinen pumppu, Jos pinta jatkaa edelleen nousua hystereesin verran, käynnistyy seuraava pumppu. Edelleen pinnan noustessa käynnistyy vielä kolmas pumppu.

Veden pinnan laskiessa pumpput pysähtyvät käänteisessä järjestyksessä, eli viimeiseksi käynnistynyt pysähtyy ensin. Kun pinta on laskenut alle asetusarvon, pysähtyy ensimmäisenä käyntiin lähtenyt pumppu ja pumppujen käynnistysjärjestys vaihtuu. Käynnistysjärjestyksen muuttumisen avulla pumppuille kertyy käytännössä tasainen käyntimäärä, jolloin pumppujen kuluminenkin ajansaatossa voidaan olettaa olevan tasaista.

Jos joku pumppu on epäkunnossa tai muuten poissa käytöstä, käynnistysjärjestys jäljellä olevien kanssa ei muutu, vaan se noudattaa ennalta määrättyä käynnistysjärjestystä.

12 UUDISTUSPROJEKTIN TOTEUTUS

Pumppaamon uudistusprojektin vaiheet ovat alustava suunnittelu tarjousta varten, projektin sopimuksen luonti osapuolien kesken, varsinainen tarkempi suunnittelu, työn aloitus, ohipumppauksen järjestäminen uudistusprojektin aikana, pumppaamon väliaikainen patoaminen työn ajaksi sekä varsinainen uudistusurakka, jossa vaihdetaan kaikki pumppaamon osat. Uudistusurakan lopuksi suoritetaan vielä patojen ja ohipumppauksen purkaminen. Tämän jälkeen uudistettu pumppaamo otetaan käyttöön.

12.1 Projektin mahdolliset riskit

Tässä uudistusprojektissa on useita riskejä, jotka voivat johtaa suurempiin ongelmiin. Suurin ja myös mahdollinen riski on pumppaamon uudistusvaiheessa tehtävien kaivuutöiden yhteydessä tapahtuva maapatovallin sortuminen. Maapato on tehty 1930-luvulla ja siitä ei ole olemassa mittatarkkoja piirustuksia. Myös yli 90 vuoden ikä on voinut tehdä padolle vaurioita.

13 LOPPUPOHDINTA

Opinnäytetyötä tehdessä alun perin oli tarkoitus mitoittaa ja myös toteuttaa maapatopumppaamon kokonaisvaltainen uudistusprojekti. Valitettavasti uudistustyön aikana havaittiin maapadossa olevan pieni vuoto, joka esti projektityön varsinaisen toteutusvaiheen. Tämä tilanne oli jo alkuperäisen projektin riskeissä määriteltynä.

Padon yllättävän vuodon seurauksena työmaa keskeytyi pitkäksi aikaa ja opinnäytetyn palauttamiseen mennessä ei projektin onnistumisesta ole saata- vassa mittaustuloksia. Työmaa kuitenkin tulee jatkumaan kesään mennessä ja sen on tarkoitus olla valmiina kesän aikana.

Opinnäytetyön aikana karttui tietoa, miten useat eri seikat vaikuttavat pump- paamon mitoitukseen. Erityisen tärkeä havainto on huomata, miten jo pienikin pumpun nostokorkeuden pienentäminen eri ratkaisuilla vähentää tehon tar- vettä ja täten tuo ison säästön energian käytössä. Nostokorkeuden pienentä- misen merkitys korostuu erityisesti, kun pumpattava vesimäärä on huomatta- van suuri ja samanaikaisesti nostokorkeudet ovat pieniä.

Laskelmat osoittavat myös, että pumppaamoiden pumppujen käyttöjen toteu- tuksessa on järkevää hyödyntää modernia taajuusmuuttajateknologiaa, sillä sen avulla monissa tapauksissa voidaan välttyä jopa ylisuurelta sähköliitty- mältä. Modernilla taajuusmuuttajatekniikalla voidaan myös pienentää sähkö- verkossa esiintyvien yliaaltojen määrää ja loisvirtaa. Tällä tekniikalla saataisiin säästettyä energian kulutusta verkoston pienemmän loistehon ja yliaaltokuor- mituksen myötä.

LÄHTEET

ABB. 2022a. ACS880-01-taajuusmuuttajat Laiteopas. PDF-dokumentti. Päivitetty 22.9.2021. Saatavissa: https://library.e.abb.com/public/6c87bd130c284011975e5844fe4f4c1c/FI_ACS880-01_HW_R.pdf [viitattu 8.1.2022].

ABB. 2022b. ABB:n uuden ACH580-31-sarjan taajuusmuuttajat parantavat Oulun Energia Areenan kylmäkoneen kompressorien ja moottorien energiatehokkuutta. WWW-sivu. Päivitetty 22.11.2021. Saatavissa: <https://new.abb.com/news/fi/detail/84852/abbn-uuden-ach580-31-sarjan-taajuusmuuttajat-parantavat-oulun-energia-areenan-kylmakoneen-kompressorien-ja-moottorien-energiatehokkuutta> [viitattu 8.1.2022].

ABB. 2021. ACS880 ultra-low harmonic and regenerative drives. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AXD50000826889&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> [viitattu 6.2.2022].

ABB. s.a. ACS880 ultra-low harmonic and regenerative drives. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://library.e.abb.com/public/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/1SCC317002C1801.pdf> [viitattu 5.3.2022].

Fränti, H. 2021. Vesi on energian ehto. Blogi. Päivitetty 25.11.2021. Saatavissa: <https://www.taitotalo.fi/artikkelit/vesi-energian-ehto> [viitattu 8.1.2022].

Oy Grundfos Pumput Ab s.a. WWW-sivu. Päivitetty 1.11.2019. Saatavissa: <https://www.grundfos.com/fi/learn/ecademy/all-courses/basic-principles-and-pump-types/about-pump-curves> [viitattu 18.1.2022].

IEA. 2020. Introduction to the water-energy nexus. WWW-sivu. Päivitetty 23.3.2020. Saatavissa: <https://www.iea.org/articles/introduction-to-the-water-energy-nexus> [viitattu 8.1.2022].

Ilmasto-opas.fi-verkkopalvelu. 2013. Kymenlaakso-Salpausselkä ilmaston jakajana. 2013. WWW-sivu. Päivitetty 7.6.2013. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/3debdecd-939e-4f9c-a768-589c69e0389d/kymenlaakso-salpausselka-ilmaston-jakajana.html> [viitattu 8.1.2022].

Motiva. 2011. Energiatehokkaat pumput. PDF-dokumentti. Päivitetty 28.12.2021. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/energiatehokkaat_pumput.9236.shtml [viitattu 8.1.2022].

Multanen, M. 2015. PUTKISTOSUUNNITTELU STANDARDI Eräälle suunnittelutoimistolle. Lahden ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505259958> [viitattu 2.3.2022].

PSK 4201. 2009. Putkiston virtausnopeudet. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.

Pulli, M. 2016. Virtaustekniikka. Vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Tampere: Tammertekniikka.

QB64.org. 2022. WWW-sivu. s.a. Saatavissa: www.qb64.org [viitattu 17.1.2022].

SFS-käsikirja 600–1–1. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1–1: Yleisvaatimukset (SFS 6000 osat 1–6). 2017. Suomen Standardisointiliitto SFS ry.

ST 52.15. 2016. Sähkötieto ry. Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa.

Suomen kuntaliitto. 2012. Hulevesiopus. PDF-dokumentti. Päivitetty 2021. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopus> [viitattu 8.1.2022].

Swamee, P.K. & Jain, A.K. 1976. Explicit equations for pipe-flow problems. *Journal of the Hydraulics Division*. 102 5: 657–664. doi:[10.1061/JYCEAJ.0004542](https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0004542) [viitattu 18.1.2022].

Tiainen, E. 2017 D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 27. painos. Helsinki: Sähköinfo Oy.

KUVALUETTELO

Kuva 1. Energian kulutus veden jakelussa. IEA. 2020. Introduction to the water-energy nexus. WWW-sivu. Päivitetty 23.3.2020. Saatavissa: <https://www.iea.org/articles/introduction-to-the-water-energy-nexus> [viitattu 8.1.2022].

Kuva 2. Maapatopumppaamon tarkempi sijainti. Maanmittauslaitos. 2022. verkkopalvelu. Saatavissa: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/> [viitattu 8.1.2022].

Kuva 3. Sateen intensiteetti ajan funktiona. Ilmasto-opas.fi-verkkopalvelu. 2017. Mitoitussateiden muotokirjasto. WWW-sivu. Päivitetty 9.5.2017. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/datat/mitoitussateiden-muotokirjasto/-/artikkeli/38c4e5fc-14e8-487d-a1ba-f06147dda7c3/mitoitussateiden-muotokirjasto.html> [viitattu 8.1.2022].

Kuva 4. Havainnekuva maaston muodon mukaisesta geodeettisesta nostokorkeudesta. Mika Töttö

Kuva 5. Staattiset korkeudet pumpun imu- ja poistopuolella. Mika Töttö

Kuva 6. Keskipakopumpun tyypillinen QH-tuottokäyrä. Oy Grundfos Pumput Ab s.a. WWW-sivu. Päivitetty 1.11.2019. Saatavissa: <https://www.grundfos.com/fi/learn/ecademy/all-courses/basic-principles-and-pump-types/about-pump-curves> [viitattu 18.1.2022].

Kuva 7. Keskipakopumpun tyypillinen hyötysuhdekäyrä. Oy Grundfos Pumput Ab s.a. WWW-sivu. Päivitetty 1.11.2019. Saatavissa: <https://www.grundfos.com/fi/learn/ecademy/all-courses/basic-principles-and-pump-types/about-pump-curves> [viitattu 18.1.2022].

Kuva 8. Tyypillinen potentiaalintasauksen ja maadoitusrakenne PEN-johtimella varustetulla liittymisjohdolla. Tiainen, E. 2017 D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 27. painos. Helsinki: Sähköinfo Oy.

Kuva 9. Maadoituksen, potentiaalintasauksen ja syötön kytkennät liittymässä, jossa on muuntaja ja pääkeskusta syötetään PEN-johtimella varustetulla johdolla. Tiainen, E. 2017 D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 27. painos. Helsinki: Sähköinfo Oy.

Kuva 10. Esimerkki taajuusmuuttajan ohituskytkennästä. Suptek Oy/Mika Töttö.

Kuva 11. Perustaajuinen tehokolmio. ST 52.15. 2016. Sähkötieto ry. Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa.

Kuva 12. Kuvakaappaus putkiston mitoituslaskentaohjelmasta. Mika Töttö.

Kuva 13. Laskentaohjelman tulos DN 600 putkella. Kuvakaappaus putkiston mitoituslaskentaohjelmasta. Mika Töttö.

Kuva 14. Kolmen pumpun sijoittaminen rinnakkain putkistoon. Suptek Oy/Mari Suomalainen.

Kuva 15. Yhden pumpun aiheuttama dynaaminen nostokorkeus. Kuvakaappaus putkiston mitoituslaskentaohjelmasta. Mika Töttö.

Kuva 16. Valitun pumpputyypin tuottokäyrä ja määritelty toimipiste. Oy Grundfos Pumput Ab s.a. WWW-sivu. Päivitetty 1.11.2019. Saatavissa: <https://product-selection.grundfos.com/fi> [viitattu 18.1.2022].

Kuva 17. Pumpun tehon tarve määritellyssä toimipisteessä. Oy Grundfos Pumput Ab s.a. WWW-sivu. Päivitetty 1.11.2019. Saatavissa: <https://product-selection.grundfos.com/fi> [viitattu 18.1.2022].

Kuva 18. Yksinkertaistettu esitys pumppaamon tulevasta kaapeloinnista. Suptek Oy/Mika Töttö.

QB46 BASIC-ohjelma, jolla voidaan laskea putkessa tapahtuva häviö.

Dim j, K, D, Q, E, M, Y, Z, A, B, C, I, viskositeetti As _Float

Dim L, F, R, g As Integer

j = 0

K = 0

D = 0

Q = 0

E = 0

Y = 0

Z = 0

A = 0

B = 0

C = 0

L = 0

F = 0

g = 0

R = 0

I = 0

viskositeetti = 1.283

0 Cls

M = 0.015

Print "Tama on putken virtausvastuksen mitoitusohjelma V1.0"

Print "Anna putkiston mitat järjestyksessa"

1 Input "Karkeuskerroin (mm) ", j

K = j / 1000

If Abs(K >= 0.01) Then K = 0.01

2 Input "Putken pituus (m) ", L

3 Input "Sisähalkaisija (mm) ", F

4 D = F / 1000

5 Input "Kertavastuskertoimien summa ", E

6 Input "Staattinen nostokorkeus m ", I

7 Input "Virtaama L/s ", g

```

8 Q = g / 1000
9 v = Q / 0.785 / (D * D)
11 R = (v * D) / viskositeetti * 1000000
12 A = 1 / (Sqr(M))
13 B = -2 * Log(K / (3.7 * D) + 2.51 / (R * (Sqr(M))))
14 C = (A - B) / A
15 If Abs(C) <= 0.001 Then GoTo 20
16 Y = A - (C * A)
17 Z = Z + 1
18 M = 1 / (Y * Y)
19 GoTo 12

20 H = (M * L * (v * v)) / (19.62 * D) + E * (v * v) / 19.62 + I
Print
119 Print "Karkeuskerroin metreina "; K; " m"
120 Print "Virtaama "; Q; " m3/s"
121 Print "Kokonaisnostokorkeus "; (H); " m"
122 Print "Virtausnopeus m/s "; v; " m/s"
123 Print "Lambdakerroin "; M
124 Print "Reynoldsin luku Re "; _Round(R)
125 Print "Iteroinnit "; Z
A = B = C = 0
Z = 0
126 Print ""
Do
    Print "Haluatko laskea uudelleen? (K/E): "; 'semicolon saves position for
user entry
    Do: K$ = UCase$(InKey$) 'change any user key press to uppercase
    Loop Until K$ = "K" Or K$ = "E"
    If K$ = "K" Then GoTo 0
    If K$ = "E" Then End
Loop

```

ENSU-GUZZETTI OSAREIHILU
Rakennusosasto

LASKELMA

P Ikonen/sh

1979-11-29

1 (2)

AHVENKOSKEN VOIMALAITOS/
AHVENKOSKEN KARTANON PUMPPU-
ASEMAN LISÄPUMPPUJEN TARVE-
LASKELMA

1.
Sadealue

Kartalta 1:10000 mitattuna saadaan pumppaamon
sadealueen pinta-alaksi n. 195 ha.

Sadealueesta arvioidaan n. puolet avo-ojitetuksi
(metsäalueet) ja loput on salaojitettuna peltona.
Peltoalueen salaojat laskevat pumppaamolle johtavaan
avoviemäriin.

2.
Laskelmat

2.1
Pumppaamolle virtaava vesimäärä

$$Q = q \cdot \psi \cdot \varphi \cdot A$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{virtaama (l/s)} \\ q = \text{mitoitussade (l/s \cdot ha)} \\ \psi = \text{valumiskerroin} \\ \varphi = \text{hidastumiskerroin} \\ A = \text{alueen pinta-ala (ha)} \end{array} \right.$$

2.2
Laskenta-arvot

$$\begin{aligned} A &= 195 \text{ ha} \\ q &= 100 \text{ l/s} \cdot \text{ha} \\ \psi &= 0,15 \\ \varphi &= 0,35 \end{aligned}$$

$$Q = 100 \cdot 0,15 \cdot 0,35 \cdot 195 = 1024 \text{ l/s} \hat{=} 61425 \text{ l/min.}$$

3.
Pumppaamon tehontarve

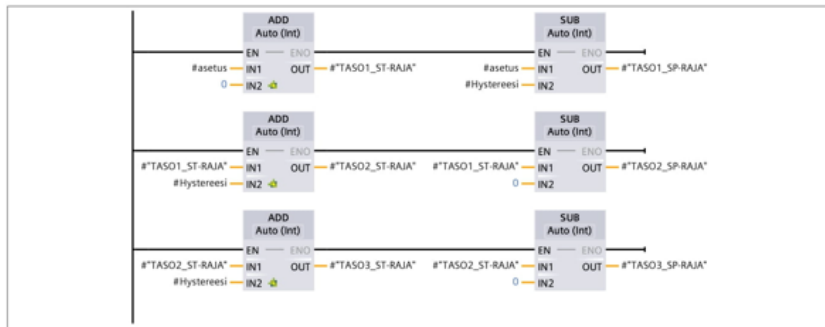
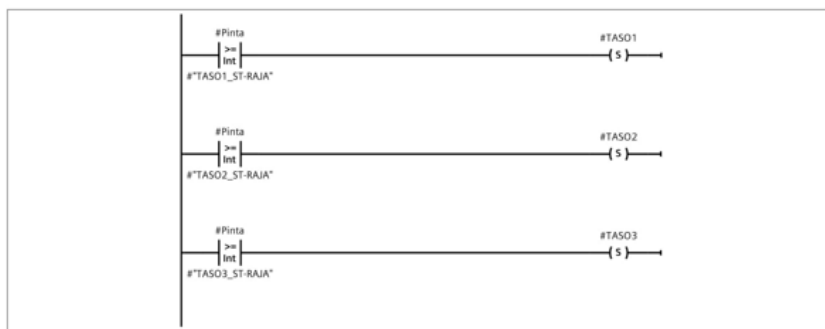
3.1
Vanha pumppuasema

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ kpl pumppu} & \hat{=} 30\ 000 \text{ l/min.} \\ 1 \text{ kpl " } & \hat{=} 20\ 000 \text{ l/min.} \\ 1 \text{ kpl " } & \hat{=} 3\ 000 \text{ l/min.} \end{array}$$

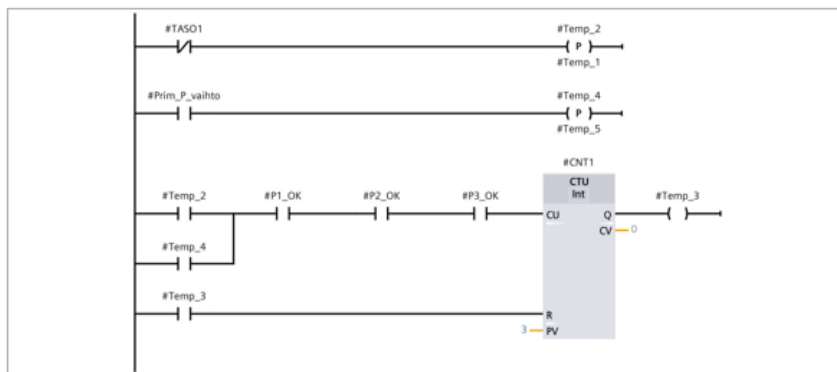
Kapasiteetti yht. 53 000 l/min.

Network 1:

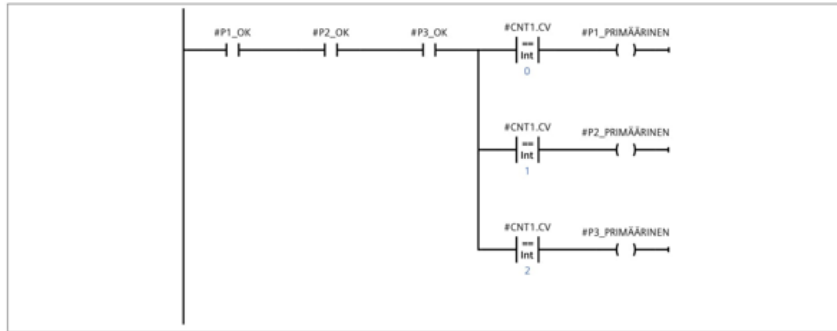
Asetusarvon ja hystereesin perusteella määriteltävät käynnistys ja pysäytysrajat

**Network 2:****Network 3:****Network 4:**

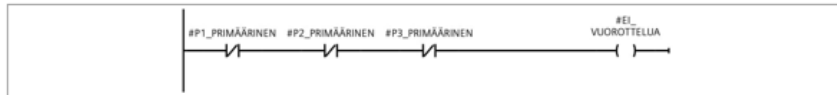
Primäärinen pumppu vaihtuu pintatason 1 allitessa, jos kaikki pumput ovat ok tilassa tai pakottamalla esim. ajastimella

**Network 5:**

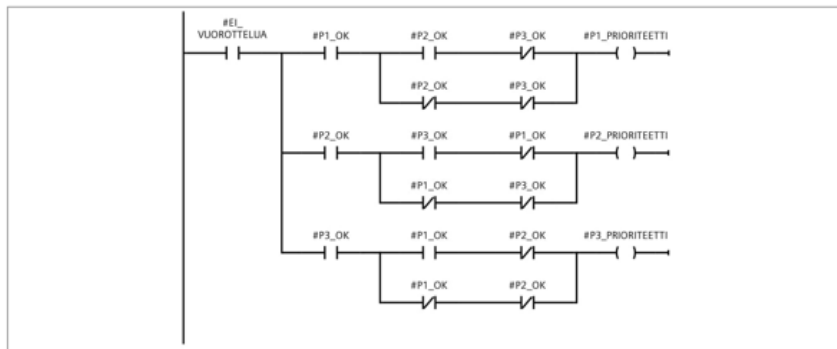
Pumpun primäärisyys valitaan laskurin arvon perusteella, kun kaikki pumput ovat käytettävissä

**Network 6:**

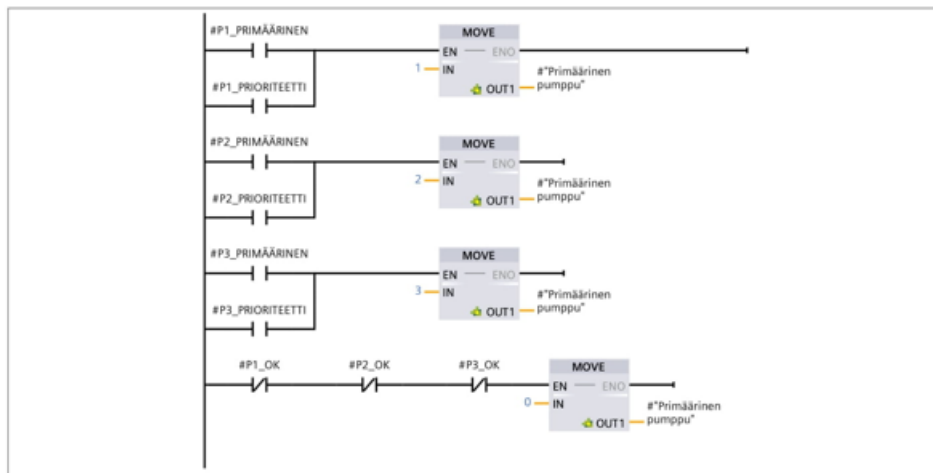
Jos joku pumppu ei ole käytettävissä, automaattinen vuorottelu ei ole voimassa

**Network 7:**

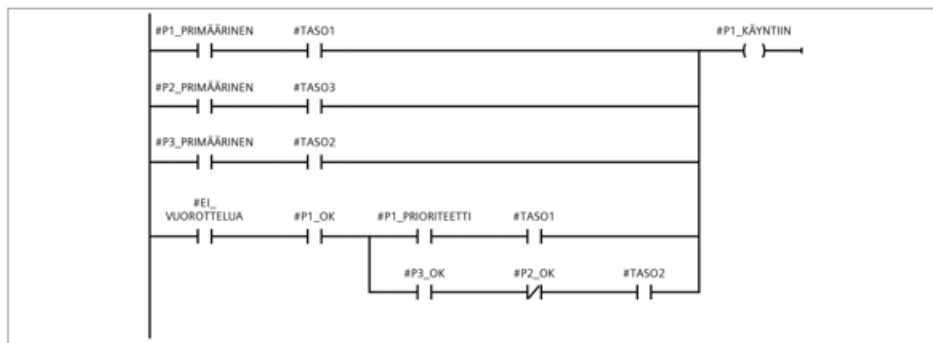
Pakkoprioriteetit, jos kaikki pumput eivät ole käytössä

**Network 8:**

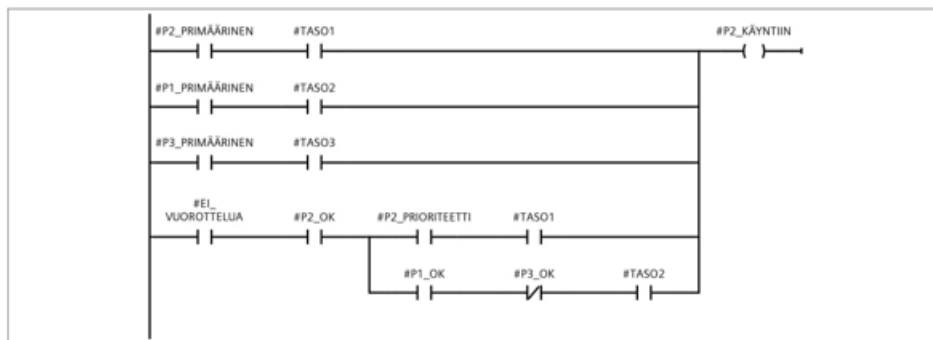
Prioriteetivuorossa olevan pumpun ilmaisu



Network 9:



Network 10:



Network 11:

