

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Ossi Koskimies

SIA-LABORATORION MEKAANINEN JA KONESUUNNITTELU

TURKU AMK 
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Energia- ja ympäristötekniikka

2021 | 54 sivua, 6 liitesivua

Ossi Koskimies

SIA-LABORATORION MEKAANINEN JA KONESUUNNITTELU

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Turun Seudun Vesi Oy:n uusiin toimitiloihin sähkö-, instrumentointi- ja automaatio (SIA) -laboratorio, joka toimii koealustana tekopohjavesijärjestelmän laitteille ja automaatiojärjestelmälle. Työ sisälsi laboratorion mekaanisen ja koneosuuden suunnittelun. Ohjeistuksena oli suunnitella kiertoputkisto, joka sisältää talousveden siirrossa käytettäviä laitteita. Suunnittelussa tuli hyödyntää mahdollisimman paljon Turun Seudun Vesi Oy:llä valmiina olevia laitteita ja osia.

Työssä tutustuttiin pumppauksen ja putkiston suunnitteluperiaatteisiin sekä instrumentointiin. Suunnittelussa otettiin huomioon, millainen prosessin rakenteen täytyi olla, jotta erilaiset laitteet saadaan tarkoituksenmukaisesti testattua. Lisäksi suunniteltiin, miten tärkeimmät testit voisi laboratoriossa toteuttaa. Työssä hyödynnettiin laitevalmistajien materiaaleja, alan kirjallisuutta sekä Turun Seudun Vesi Oy:ssä kesätoissa opittua tietoa.

SIA-laboratorion avulla voidaan tutkia uusia veden käsittelyyn, pumppaukseen ja siirtoon liittyviä menetelmiä, kehittää yrityksen toimintaa ja siten myös alueellista vesihuoltoa. Lopputuloksena tuotettiin yritykselle SIA-laboratorion mekaaninen ja konesuunnitelma, joka sisältää laboratorion rakentamiseen tarvittavat osa- ja laitelistat, piirustukset ja mitoitus tiedot. Suunnitelma sisältää myös toiminnan kuvauksen ja yleiset käyttöohjeet. Lisäksi toimeksiantajalle laadittiin laboratorion mekaanisen ja koneosuuden kustannusarvio.

ASIASANAT:

keskipakopumput, putkistot, instrumentointi, talousvesi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Water and Environmental Engineering

2021 | 54 pages, 6 pages in appendices

Ossi Koskimies

MECHANICAL AND MACHINERY DESIGN OF A SIA LABORATORY

The purpose of this thesis was to design an electricity, instrumentation and automation (SIA) laboratory for the new premises of Turku Region Water Ltd. The laboratory will serve as a testbench for the devices and automation system of the artificially recharged groundwater process. The work included the mechanical and machinery planning of the laboratory. The initial instruction was to design a closed loop piping system that contains devices used in the transfer of domestic water. A prerequisite was to utilize pre-existing devices and parts of Turku Region Water Ltd as much as possible.

The principles of designing the pumping, piping and instrumentation were familiarized with in the scope of the work. When designing it was taken into account what the structure of the process had to be like in order for the various devices to be appropriately tested. The way the tests could be carried out in the laboratory was also planned. Materials from device manufacturers, literature in the field and information learned at Turku Region Water Ltd. during summer jobs were utilized in the work.

The SIA laboratory can be used to study new methods related to treatment, pumping and transfer of water, and to develop the company's operations and thus also regional water supply. As a result, a mechanical and machinery design for the SIA laboratory was produced for the company. The design contains the required part and device lists as well as drawings and sizing information for the installation of the laboratory. Description of the operation and general operation instructions are also included in the plan. In addition, the client was provided with the cost estimate for the mechanical and machinery part of the laboratory.

KEYWORDS:

centrifugal pumps, piping, instrumentation, domestic water

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 SIA-LABORATORION LÄHTÖKOHDAT	9
2.1 Tekopohjavesijärjestelmä	9
2.2 Lähtökohdat	10
2.3 Laboratorion tavoitteet ja rakenne	10
2.4 Tärkeimmät SIA-laboratoriossa tehtävät testit	12
2.4.1 Grundfos-annostelupumppuun liittyvä testaus	12
2.4.2 Siirtopumppaukseen liittyvä testaus	16
2.4.3 Putkistoon liittyvä testaus	19
2.4.4 Muut testit	21
2.5 Koelaitokset maailmalla	22
3 SUUNNITTELUPERIAATTEET JA MENETELMÄT	24
3.1 Dokumentointi	24
3.2 Pumput	25
3.3 Keskipakopumppu	26
3.4 Putkisto	30
3.5 Putkistovarusteet ja osat	35
3.6 Instrumentointi	36
4 SIA-LABORATORION SUUNNITTELU	40
4.1 Pumppujen mitoitus	40
4.2 Putkiston mitoitus ja varusteet	42
4.3 AUMA-moottoriventtiili	43
4.4 Instrumentointi	44
4.5 Staattinen putkisekoitin	45
4.6 Kannakointi ja kiinnitys	46
4.7 Säiliöt ja varoaltaat	47
5 TOIMINNAN KUVAUS	48
6 KÄYTTÖÖNOTTO JA KÄYTTÖ	49

7 YHTEENVETO	51
---------------------	-----------

LÄHTEET	52
----------------	-----------

LIITTEET

- Liite 1. PI-kaavio.
- Liite 2. Moodyn käyrästä.
- Liite 3. Mitoituslaskelmat.
- Liite 4. Pumpun ja putkiston ominaiskäyrät sekä toimintapiste.
- Liite 5. SIA-laboratorion osa- ja laitelista.
- Liite 6. Putkiston 2D-piirustus.

KAAVAT

Kaava 1. Käytettävissä oleva imukorkeus (Bergius ym. 1978, 23).	28
Kaava 2. Putken sisähalkaisija (Kesti 1992, 29).	31
Kaava 3. Virtausnopeus (Kesti 1992, 69).	31
Kaava 4. Reynoldsin luku (Kesti 1992, 73).	32
Kaava 5. Kitkapainehäviö (Kesti 1992, 78).	32
Kaava 6. Kertavastusten painehäviö (Kesti 1992, 80).	33
Kaava 7. Vaadittu nostokorkeus (Wirzenius 1968, 57).	33
Kaava 8. Dynaaminen häviökorkeus (Mäkelä 2019, 15).	33
Kaava 9. k-kerroin (Bergius ym. 1978, 44).	34
Kaava 10. Putkiston ominaiskäyrä (Bergius ym. 1978, 46).	34

KUVAT

Kuva 1. Veden matka (TSV Oy 2019).....	9
Kuva 2. Virtaamaohjattu annostelupumppaus.....	14
Kuva 3. Analoginen skaalaus nousevalla asteikolla (Grundfos 2020, 320).....	15
Kuva 4. Pumpun ohjaus ja säätö.	18
Kuva 5. Esimerkki putkiston rakenteesta ja mittalaitteiden sijoituksesta.....	20
Kuva 6. Keskipakopumpun rakenne (Wikimedia Commons 2008).	26
Kuva 7. Pumppukäyrät (Grundfos 2016).....	27
Kuva 8. Pumpun (sininen) ja putkiston (punainen) ominaiskäyrät sekä pumpun toimintapiste (Grundfos 2016).....	34
Kuva 9. Erilaisia PVC-U putkiston osia ja varusteita (GF Piping Systems 2020).	35
Kuva 10. Erilaisia pinnankorkeuden mittausmenetelmiä (GF Piping Systems n. d.).	39
Kuva 11. Grundfos DDA-annostelupumppu (Grundfos 2020).....	42
Kuva 12. IMAMIX staattinen putkisekoitin (Imatex Finland Oy n. d.).	46

Kaikkiin tekijänoikeudella suojattujen kuvien käyttöön on pyydetty lupa.

TAULUKOT

Taulukko 1. KSB Comeo G I006/02 -keskipakopumpun tiedot (KSB 2016).	41
Taulukko 2. Grundfos DDA 7.5-16 AR-PV/T/C-F-31U2U2FG tiedot (Grundfos 2020).	41

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
Bar	Baari, paineen yksikkö (1 bar = 100 000 Pa)
DN	Putken nimelliskoko
Du	Muoviputken ulkohalkaisija
NPSHa	Net Positive Suction Head Available
NPSHr	Net Positive Suction Head Required
Pa	Pascal, paineen yksikkö
PE100	Polyeteeni, jonka murtolujuus vähintään 8 MPa 50 vuoden jatkuvassa kuormituksessa
PI-kaavio	Putki- ja instrumentointikaavio
PI-säätö	Proportional-Integral-säätö
PSK	Teollisuuden ja sitä palvelevien yritysten yhteinen kehitysyksikkö, joka laatii standardeja teollisuusinvestointiprojektien ja tehtaiden kunnossapidon tarpeisiin
PN	Putken nimellispaine
PVC-U	Pehmittämätön polyvinyylikloridi
SIA	Sähkö, Instrumentointi, Automaatio
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
TSV	Turun Seudun Vesi Oy

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan Turun Seudun Vesi Oy:n (TSV) uusiin toimitiloihin SIA (Sähkö, Instrumentointi, Automaatio) -laboratorio. Opinnäytetyö sisältää laboratorion mekaanisen ja konesuunnittelun.

TSV on yhdeksän Turun seudun kunnan omistama tukkuvesiyhtiö. Yhtiön tekopohjavesijärjestelmän avulla tuotetaan talousvettä 300 000 asukkaan ja elinkeinoelämän tarpeisiin. Järjestelmän avulla katetaan Kaarinan, Liedon, Maskun, Naantalin, Nousiaisten, Paimion, Paraisten, Raision ja Turun talousvesitarpeet.

TSV:llä ei ole aikaisemmin ollut mahdollisuutta testata laitteita ja tutkia veden käsittelyyn liittyviä prosesseja laboratorio-olosuhteissa. Tarve laitteiden testipenkille on ollut jo pitkään. Tavoitteena SIA-laboratoriossa on pystyä toteuttamaan ja simuloimaan pienessä mittakaavassa talousveden siirtopumppausta, kemikalointia ja muita osaprosesseja, vaarantamatta tekopohjavesijärjestelmää. Laboratorion tarkoituksena on toimia testialustana prosessinohjausohjelmille sekä uusille ja huolletuille laitteille. Lisäksi SIA-laboratoriossa voidaan tutkia erilaisia virtausteknisiä ja veden siirtoon liittyviä tekijöitä. Laboratorio toimii myös harjoittelualustana ja sillä voidaan esitellä TSV:n käyttämiä laitteita ja osaprosesseja. SIA-laboratorion avulla voidaan etsiä ratkaisuja monenlaisiin veden käsittelyprosessin haasteisiin. Laboratorio muodostaa turvallisen testialustan, jonka avulla veden käsittelyn, pumppauksen ja siirron tutkimus ja kehitystyö helpottuu.

Suunnittelu sisältää prosessinsuunnittelun, osien, instrumenttien ja laitteiden valinnan sekä pumppujen ja putkiston mitoituksen. Prosessin rakentamista varten laaditaan osaja laitelistat, PI-kaavio, mittapiirustukset sekä toiminnan kuvaus. TSV tekee sähkö- ja automaatiosuunnittelun omana työnään.

2 SIA-LABORATORION LÄHTÖKOHDAT

2.1 Tekopohjavesijärjestelmä

Tekopohjavesijärjestelmän raakavesi otetaan Huittisista Kokemäenjoesta. Huittisten esikäsittelylaitoksella raakavedestä poistetaan kiintoaine ja osa humuksesta. Kiintoaine poistetaan siivilöimällä, saostamalla ja suodattamalla. Esikäsitelty vesi johdetaan 30 km pituisella siirtolinjalla Virttaankankaalle, jossa vesi imeytetään maaperään 19 imeytysaltaan avulla. Vesi imeytyy harjun maaperään imeytysaltaiden pohjan läpi. Virttaankankaan maaperässä vesi puhdistuu ja saavuttaa optimaalisen pH:n ja kovuuden. Vesi vii-pyy harjussa noin 3-4 kuukautta, jonka jälkeen valmis tekopohjavesi pumpataan ylös 13 tuotantokaivosta puhtasvesisäiliöön. Puhtasvesisäiliöstä vesi johdetaan painovoimaisesti noin 60 km:n pituisia siirtolinjoja pitkin Saramäen ja Liedon Laakkarin kalliosäiliöihin. Kalliosäiliöissä puhtas talousvesi desinfioidaan UV-valolla ja klooriamiinikloorauksella. Desinfioinnilla varmistetaan, että veden laatu pysyy hyvänä kaukanakin oleville kuluttajille. Lopuksi talousvesi johdetaan osakaskuntien kuluttajille sopivalla paineella. (TSV Oy 2020.)



Kuva 1. Veden matka (TSV Oy 2019).

2.2 Lähtökohdat

TSV:n tekopohjavesijärjestelmä sisältää lukuisia laitteita ja osaprosesseja. Järjestelmä on lähes kokonaan automatisoitu ja sitä käytetään keskusvalvomosta käsin. Näiden laitteiden ja prosessinohjausohjelmien testaaminen on melko vaikeaa, sillä prosessi on jatkuvatoiminen. Uusien laitteiden ja menetelmien kanssa voi helposti tulla käytännön ongelmia, jotka voivat vaikuttaa prosessin toimintaan. Talousveden tuottaminen on osa yhteiskunnan kriittistä infrastruktuuria ja vesiprosessissa tehtävät testit ja kokeilut voivat vaarantaa järjestelmän toimintaa. Talousveden laatuvaatimusten pitää täytyä jatkuvasti, joten testit ja kokeilut eivät ole suotavia. Vikatilanteista ja huoltotoimenpiteistä täytyy selvittää nopeasti, ettei veden laatu tai määrä kärsi.

Lähtökohtana opinnäytetyölle oli tarve kiinteälle laboratoriolle, jossa voidaan testata turvallisessa ympäristössä TSV:n käyttämiä laitteita ja prosessinohjausta. Testausta vaativat laitteet voivat olla esimerkiksi huollettuja annostelupumppuja, jotka pitää koekäyttää ennen kuin ne palautetaan käyttöön. Lisäksi laboratoriossa on turvallista kokeilla laitteiden eri asetuksia ja tutkia uusien laitteiden ominaisuuksia ja käyttöönottoa. Kun esimerkiksi ohjausjärjestelmään tehty muutos on ensin testattu pienessä mittakaavassa, on se helpompi ja nopeampi viedä oikeaan järjestelmään. Näin oikeaan prosessiin tehdyt huoltotyöt ja muutokset vievät vähemmän aikaa ja niiden toimintavarmuus voidaan todeta luotettavammin.

2.3 Laboratorion tavoitteet ja rakenne

Suunnittelun vaatimuksena oli kehittää prosessi, joka mukailee talousveden siirtopumpusta ja kemikalointia. Laboratorion täytyy olla helppokäyttöinen ja helposti muokattavissa oleva, jotta erilaiset laitteet saadaan testattua. Lisäksi laboratoriossa täytyy olla mahdollisuus testata kemikaalin sekoittumista lyhyellä matkalla. SIA-laboratorioon pyritään valitsemaan samat tai samojen valmistajien laitteet kuin TSV:n oikeassa tekopohjavesijärjestelmässä. Tämä helpottaa laboratorion käyttöä ja palvelee laboratorion käyttötarkoitusta, sillä laitteiden ominaisuudet ovat samanlaisia kuin kentällä. Laitteiden ja osien valitsemisessa hyödynnetään pääasiassa TSV:n ylimääräisiksi jääneitä laitteita ja varaosia.

Laboratorion toiminta mukailee suurilta osin kalliosäiliöiden toimintaa, joissa vesi varastoidaan, desinfioidaan ja johdetaan kuluttajille. Laboratorioon valitut laitteet ovat myös yleisesti käytössä kaikkialla tekopohjavesijärjestelmässä vedenottamolta kalliosäiliöihin. Koska laboratorion prosessi on pienoiskoossa, se ei ole toiminnaltaan kuitenkaan täysin samanlainen kuin kalliosäiliöissä. Esimerkiksi laboratoriossa vesi johdetaan takaisin samaan säiliöön, kun taas kalliosäiliöissä vesi johdetaan kulutukseen. Samoja pääelementtejä kuitenkin löytyy: vesisäiliö, pumppaus, kemikaalisäiliö, mittaustekniikkaa, moottoriventtiili sekä kemikaalin annostelu vesilinjaan. SIA-laboratorion prosessiin liitetään kuitenkin staattinen putkisekoitin, jolla havainnollistetaan kemikaalin sekoittumista ja näin saadaan suuntaa-antavaa tietoa siitä, miten sekoittuminen tapahtuu isossa mittakavassa.

Laboratorion prosessi saa alkunsa kun vesisäiliöstä pumpataan vettä putkistoon. Pumpun tuottoa säädetään taajuusmuuttajalla halutun virtaaman tai paineen mukaan. Putkistoon liitetään TSV:llä yleisesti käytössä oleva AUMA-toimilaite, jolla ohjataan luistiventtiilin asentoa. Luistiventtiilin jälkeen testattavaa kemikaalia voi syöttää vesilinjaan kemikaalisäiliöstä annostelupumpun avulla. Kemikaalisäiliöstä syötetään kuitenkin pääasiassa vettä tai väriainetta sisältävää vettä, jolla havainnollistetaan kemikaalin sekoittumista. Sekoittumista tehostetaan staattisen putkisekoittimen avulla. Ennen kuin vesi palaa takaisin säiliöön, se kulkee paineenpitoventtiilin läpi. Säädetävän paineenpitoventtiilin avulla putkistoon saadaan luotua haluttu paine.

Putkistoon liitetään paljon käsiventtiileitä ja yhteitä, jolloin esimerkiksi paine-eron mittauslaitteen yli on mahdollista. Yhteet myös mahdollistavat erilaisten laitteiden testaamisen ja tekevät laboratorion helposti muokattavan; esimerkiksi jos putkistoon halutaan tehdä ylimääräisiä lenkkejä testausta varten.

Mittaukset ovat oleellinen osa laboratorion toiminnassa. Keskeisimmät mittaukset prosessissa liittyvät virtaukseen ja paineeseen: Halutun virtauksen tai paineen avulla ohjataan pumppua. Paineen täytyy olla riittävä voittaakseen virtausvastukset, mutta se ei saa olla liian suuri, jotta putkisto ja laitteet eivät rikkoudu. Painemittauksen avulla voidaan seurata myös pumpun toimintaa ja painehäviöitä. Virtauksen avulla taas voidaan ohjata myös kemikaalin syöttömäärää.

Kun huollettuja laitteita testaan, paine- ja virtaustiedot kertovat, toimiiko laite oikein ja halutulla tavalla. Voidaan esimerkiksi todeta, vastaako pumpun tuottama virtaama asetusarvoa. Mittauksen avulla tiedetään, miten laitteet toimivat eri olosuhteissa. Asennetut

instrumentit antavat myös vertailuarvoja huollettujen laitteiden toiminnan varmistamiseksi.

Instrumentit ja laitteet liitetään automaatiojärjestelmään, jolla ohjataan, säädetään ja valvotaan prosessia. Automaatiojärjestelmän yhteyteen liitetään myös kenttäväylä. Väylän avulla anturit voivat kommunikoida digitaalisesti ja ohjausjärjestelmä voi vaihtaa useita tietoja laboratorion antureiden ja laitteiden kanssa. Laajennusten tekeminen prosessiin helpottuu, kun kaapelointi ja kytkennät vähenevät. Anturit ilmoittavat vikatilanteet ja aiheuttavat hälytyksiä, jos jotain poikkeavaa tapahtuu. (Juhani Pihkala 2004, 12-13.) Tämä on tärkeää etenkin kun laitteiden toimintaa testataan. Instrumentit yhdessä automaatiojärjestelmän avulla mahdollistavat siis prosessin tarkkailun, ohjauksen ja säädön sekä laitteiden kokonaisvaltaisen testaamisen pienessä mittakaavassa.

2.4 Tärkeimmät SIA-laboratoriossa tehtävät testit

2.4.1 Grundfos-annostelupumppuun liittyvä testaus

Grundfos DDA-annostelupumppu on itseimevä kalvopumppu. Sitä käytetään vedenkäsittelyssä ja prosessiteollisuudessa erilaisten kemikaalien annosteluun. Positiivisella syrjäytyksellä toimiva kalvopumppu on varustettu askelmoottorilla, älykkäällä ohjauselektronikalla sekä ohjauspaneelilla. (Grundfos 2020, 302.) Pumppua on saatavilla kolmella eri ohjausversiolla AR, FC ja FCM. Versiot ovat toiminnaltaan samanlaisia ja erot muodostuvat lisäominaisuuksista. AR on vakioversio, kun taas FC-versio sisältää "FlowControl"-ominaisuuden. FCM-versio sisältää "FlowControl" ominaisuuden lisäksi integroidun virtausmittauksen. (Grundfos 2020, 320.) Laboratorioon valittiin TSV:llä jo entuudestaan oleva AR-versio. Koska TSV:n prosessissa käyttämät pumput ovat lähinnä FCM-versiota, on senkin testausta syytä tarkastella.

Talousveden desinfioinnissa pumpun annostelumäärää ohjataan yleensä veden virtaaman mukaan. Tässä toimintatilassa pumppu annostelee ainetta ulkoisen analogisen signaalin (milliampeeritulon) perusteella ja annostelumäärä on verrannollinen tähän signaalituloon. Laboratoriossa voidaan tutkia analogisen milliampeerisäädön skaalauksen asettamista ja muuttamista sekä mitta-alueen määrittämistä. Kappaleessa 3.6 kerrotaan enemmän instrumentoinnin signaaleista.

Varsinkin natriumhypokloriitin annostelupumppauksessa esiintyy usein ilmaongelmia. Laboratorio-olosuhteissa on mahdollista esimerkiksi tutkia, voiko Grundfos DDA pumpun ”SlowMode”-hidasajo-ominaisuus vähentää järjestelmässä esiintyvää ilmamäärää. Voidaan myös tutkia, onko imuletkun pituudella, koolla ja muodolla vaikutusta ilmakuplien muodostumiseen.

Lisäksi voidaan tutkia, miten kalvon rikkoutuminen vaikuttaa pumpun toimintaan ja miten helposti rikkoutuminen havaitaan. Voidaan myös selvittää, miten imusäiliön pinnankorkeus vaikuttaa annostelupumppaukseen. Laboratoriossa myös pumpun huoltotöiden harjoittelu, kuten kalvon vaihto, onnistuu turvallisesti. Annostelupumput saattavat tukkiutua, jos pumpattava aine on helposti kiteytyvää. Tähän voidaan etsiä ratkaisua asentamalla imulinjaan suodatin. Tämä vaatii kuitenkin jonkin kideäisen aineen lisäyksen kemikaalisäiliöön, sillä laboratoriossa annostellaan vain värjättyä vettä.

Tarvittava mittaus

Virtaamaohjausta varten tulee virtausmittarin olla tarkka. Mittauksen täytyy olla analoginen jatkuvamittaus, jonka näyttämä seuraa mitattavan suureen muutoksia (Juhani Pihkala 2004, 10). Se täytyy asentaa vesipumpun painepuolelle ja mahdollisimman häiriöttömälle osuudelle. Virtausmittarit suositellaan asennettaviksi pystysuoraan, ylöspäin virtaavaan putkeen. Tämä minimoi mahdollisten ilmakuplien vaikutusta mittaustulokseen. (SFS 5059 2007, 4-8; Siemens 2019, 23.) Virtausmittarin sijoituksessa tulee ottaa huomioon myös valmistajan ohjeet. Pinnankorkeuden seuranta varten imusäiliöön tarvitaan pinnanmittaus, joka sijoitetaan niin, etteivät pinnan liike tai pumpun imuyhteen häiriöt vaikuta mittaukseen. (SFS 5059 2007, 17-18.)

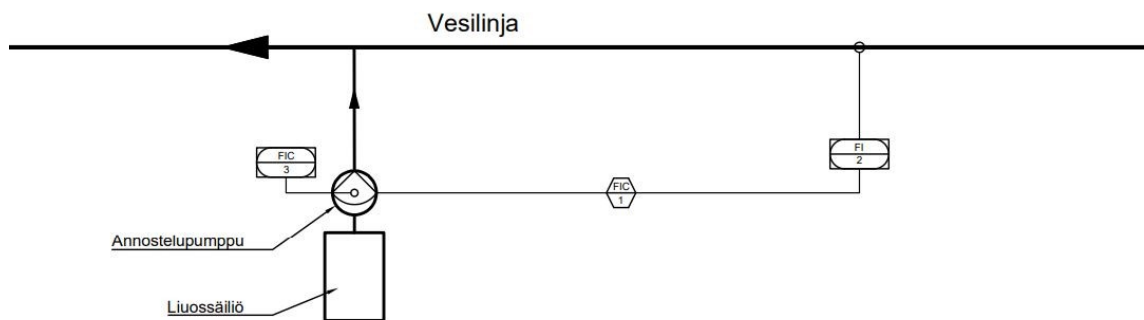
Virtaamaohjaus

Grundfos DDA -annostelupumppua on mahdollista käyttää manuaalisesti tai automaattisesti. Manuaali-asetuksella pumpun tuotto voidaan valita riippumatta vesilinjan virtauksesta. Automaatti-asetuksella pumppu on virtaamaohjattu, eli annostelupumpun tuotto muuttuu vesilinjan virtaaman mukaan. Annostelumääräksi voidaan asettaa esimerkiksi 4 ml vesikuutiota kohden ja jos tällöin vesilinjan virtausmittaus osoittaa virtaaman olevan 7 m³/h, annostelupumpun tuotto säätyy automaattisesti ja on 28 ml/h.

Jos annosteltava aine olisi esimerkiksi 10-prosenttinen natriumhypokloriitti ja annostelu olisi 4 ml vesikuutiota kohden, saavutettaisiin veden klooripitoisuudeksi 0,5 mg/l, mikä onkin tavanomainen talousveden klooripitoisuus (Vesilaitosyhdistys 2012, 22). Laboratoriossa natriumhypokloriittia ei kuitenkaan turvallisuussyistä käytetä.

Kuvassa 1 esitetään virtaamaohjaus. FI-2 on vesilinjan virtausmittaus, joka antaa reaaliaikaista tietoa säätimelle FIC-1. Tämän tiedon perusteella ohjataan annostelupumpun tuottoa. FIC-1 kuvastaa automaatiojärjestelmän ohjelmoitavaa logiikkasäädintä. Se vastaanottaa virtaustiedon analogisena signaalina, eli milliampeeritulona 4–20 mA. Ohjelma tulkitsee tiedon ja lähettää analogisen milliampeerisignaalin pumpulle. Pumppu säätää tuottoaan tulosignaalin perusteella ja lähettää virtaustiedostaan analogisen lähtösignaalin takaisin säätimelle. Usein prosesseissa ilmenee häiriöitä kuten kulkuviiveitä, mitausepä tarkkuuksia ja nopeita virtausvaihteluita. Tämän takia säädin laskee pumpun lähettämän virtaustiedon ja asetusarvon erotuksen perusteella uuden ohjaussignaalin pumpulle.

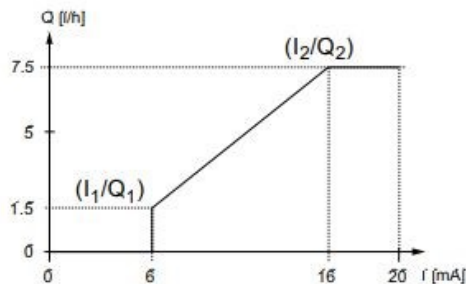
Myös pumppauksessa esiintyy häiriötekijöitä, kuten ilmakuplat tai matala vastapaine, jotka pienentävät tai suurentavat todellista virtausta. FIC-3 on annostelupumpun FCM-version oma todellinen virtausmittaus, jonka avulla pumppu pyrkii pitämään tavoitevirtauksen vakiona. (Grundfoss 2020, 327.)



Kuva 2. Virtaamaohjattu annostelupumppaus.

Analoginen skaalaus kuvaa hetkellisen tuloarvon suhdetta annosteluvirtaukseen. Analogisen skaalauksen muutokset vaikuttavat myös analogiseen lähtösignaaliin. Kuvasta 2 nähdään, miten analoginen skaalaus kulkee kahden referenssipisteen (I1/Q1 ja I2/Q2)

kautta. Nämä pisteet asetetaan pumpun valikosta ja annosteluvirtaus säätyy tämän skaalauksen mukaisesti. (Grundfoss 2020, 320.)



Kuva 3. Analoginen skaalaus nousevalla asteikolla (Grundfos 2020, 320).

Kun analogisen milliampeerisäädön skaalaus on asetettu, voidaan tarkastaa sen tarkkuus. Automaatiojärjestelmä tallentaa käyttötiedot, joita voidaan tarkastella trendikäyrästöjen avulla valvomonpääteeltä. Käyrästöistä voidaan verrata vesilinjan virtausta ja annostelupumpun tuottoa. Näin voidaan todeta, vastaako pumpun tuotto asetettua annostelumäärää, kun vesilinjan virtaus muuttuu. Virtaamaohjaus voidaan tarkastaa myös reaaliajassa: Jos esimerkiksi annostelumäärä on aikaisemmin mainittu 4 ml/vesi-m³ ja vesilinjan virtaama on 4 m³/h, tulisi annostelupumpun tavoitevirtaus olla 16 ml/h.

Muu testaus

Natriumhypokloriitin annostelupumppauksessa esiintyy usein ilmaan liittyviä ongelmia. Vedellä tehtävä testaus ei ole kovinkaan tarkkaa, sillä se eroaa ominaisuuksiltaan natriumhypokloriitista. Testaus voi kuitenkin helpottaa löytämään mahdollisia ratkaisuja. Grundfos DDA -annostelupumpun "Slowmode"-hidasajo ominaisuuksia on kaksi: 50 % ja 25 %; asetus pudottaa maksimi virtaaman 50 tai 25 prosenttiin. Hidasajossa imuiskun nopeus hidastuu. Pumpussa annostelu tapahtuu aina pisimmällä mahdollisella annosteluiskulla. Hidasajon myötä imu- ja annosteluiskut ovat tasaisia, mikä estää kavitointia, eli kaasukuplien muodostumista. (Grundfos 2020, 324.) Hidasajoa voidaan testata vertaamalla sitä ilman hidasajoa suoritettuun pumppaukseen. Tuloksia tarkastellaan jälleen trendikäyrästöistä: vastaavatko valmistajan ilmoittamat virtaama-arvot todellisuutta. Myös silmämääräisesti tarkkailemalla nähdään, muodostuuko ilmakuplia. Lisäksi imuletkun koolla, muodolla ja pituudella voi olla vaikutusta: Voidaan esimerkiksi asentaa yli-pitkä tai kiepillä oleva imujohto ja seurata, tapahtuuko tuotossa muutoksia.

Imusäiliön pinnankorkeus voi vaikuttaa pumpun imukykyyn. Jos säiliö on täynnä, on hydrostaattista painetta enemmän kuin tilanteessa, jossa säiliö on esimerkiksi puolillaan. Pinnankorkeuden vaikutusta voidaan tutkia esimerkiksi pumppaamalla täynnä olevasta, puolillaan olevasta tai lähes tyhjästä säiliöstä.

Pumpun aiheuttamia hälytyksiä tulee seurata tarkasti ja kirjata ylös tapahtumat: Millaisen hälytyksen pumppu antaa eri tilanteissa? Missä tilanteissa pumppu sammuu? Ilmoittaako pumppu kalvon rikkoutumisen ja havaitaanko se ajoissa tulevalla hälytyksellä vai kenties vasta suurella tuoton muutoksella?

Dokumentointi

Suuri osa SIA-laboratoriossa suoritetuista testeistä suoritetaan ns. epävirallisesti, esimerkiksi kun jonkin mittarin tai pumpun asetuksen muuttamista halutaan harjoitella. Kuitenkin jos halutaan tehdä tarkkaa tutkimusta esimerkiksi virtaamaohjauksen asettamisesta ja säätämisestä, tulee lähtöarvot ja mittausravot taulukoida. Tähän hyödynnetään automaatiojärjestelmän keräämää historiadataa. Testaus tulee suorittaa myös moneen otteeseen tulosten luotettavuuden kannalta ja jotta mahdolliset vaihteluvälit saadaan selville. On suositeltavaa, että kaikki testausdokumentaatio kerätään keskitetysti sähköiseen järjestelmään niin, että käy ilmi, kuka on testaaja, mitä on testattu ja miksi, mikä oli testin lopputulos ja johtiko se toimenpiteisiin.

2.4.2 Siirtopumppaukseen liittyvä testaus

TSV:llä siirtopumppauksessa käytetään lähes poikkeuksetta taajuusmuuttajia. Laboratoriossa pumpun tuottoa säädetään ABB ACS580-taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttaja ohjaa pumpun kierrosnopeutta halutun virtaaman tai paineen mukaan. Laboratoriossa on tarkoituksenaan vertailla pumpun ohjaustapoja sekä tutkia vastapaineen vaikutusta. Lisäksi voidaan harjoitella turvallisissa olosuhteissa mittalaitteiden ja taajuusmuuttajan asetusten muuttamista sekä parametointia. Taajuusmuuttajakäytöstä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 3.3.

Tarvittava mittaus

Mittauksen täytyy olla analoginen jatkuvamittaus, jolloin näyttämä seuraa jatkuvasti mitattavan suureen muutoksia (Pihkala 2004, 10). Mittauksen täytyy olla tarkka, joten mittarin tulee olla virtausta häiritsemätön. Mittarit tulee asentaa mahdollisimman häiriöttömälle osuudelle. Virtausmittarit suositellaan asennettaviksi pystysuoraan, ylöspäin virtaavaan putkeen. Tämä minimoi mahdollisten ilmakuplien vaikutusta mittaustulokseen. (SFS 5059 2007, 4-16; Siemens 2019, 23.) Mittareiden sijoittamisessa tulee ottaa huomioon myös valmistajien ohjeet.

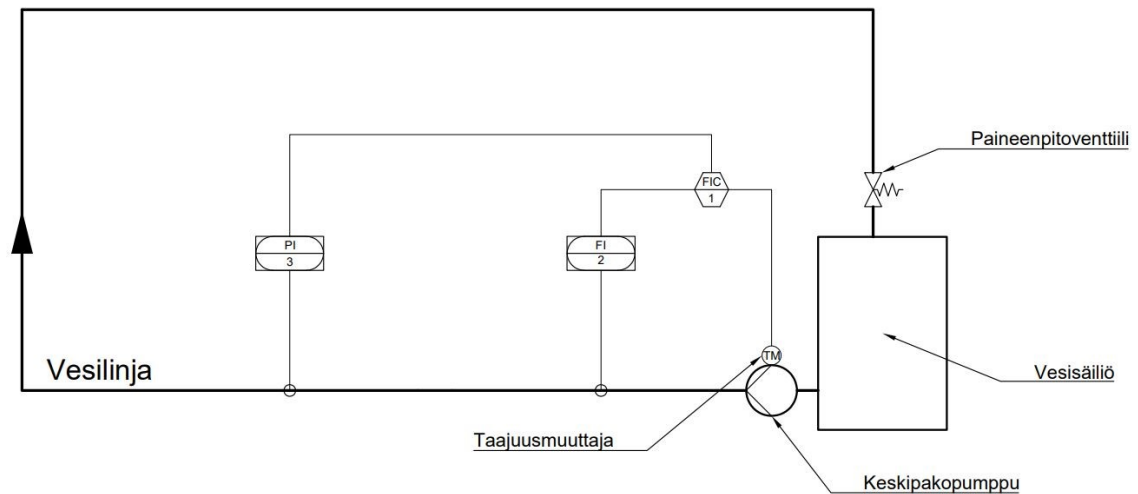
Tarvittavat paine- ja virtausmittauslaitteet sijoitetaan pumpun painepuolelle. Näin saadaan takaisinkytketty PI-säätö, joka on yleisimmin käytetty säätötapa alan automaatiokassa. P-osa on suhdetermi, jonka ulostulo riippuu asetusarvon ja mittauseron erotuksesta. I-osa on integroiva termi, joka poistaa P-osan säätöpoikkeaman. (Martti Pulli 2016, 188-191.)

Mittarin vahvistimesta määritetään mitta-alue, joka myös asetetaan automaatiojärjestelmään. Mitta-alue asetetaan esimerkiksi välille 0–100 m³/h ja sitä säädetään, kunnes oikea alue löytyy. Mittareiden, säätimen ja taajuusmuuttajan välillä käytetään sähköistä standardiviestiä 4–20 mA. Tämä virtaviesti mahdollistaa myös järjestelmän hälytysrajat, jotka voidaan määrittää ohjelmallisesti. Lisäksi 4–20 mA virtaviestin käytössä voidaan havaita viestin virheellisyys, jos signaali putoaa alle 4 mA. Tämä ei ole mahdollista, jos käytössä on 0–20 mA virtaviesti. Instrumentoinnin signaaleista kerrotaan tarkemmin kappaleessa 3.6.

Pumpun ohjaus

Kuvasta 1 selviää pumpun ohjaus ja säätö. Automaatiojärjestelmän valvomopäätteeltä valitaan asetusarvo, eli haluttu virtaama tai paine. Järjestelmän säädin FIC-1 antaa ohjauskäskyn taajuusmuuttajalle, joka alkaa nostaa pumpun kierroksia. Pumpun käydessä virtausmittaus FI-2 tai vaihtoehtoisesti painemittaus PI-3 antaa jatkuvaa tietoa säätimelle, joka laskee mittaustiedon ja asetusarvon erotuksen. Lasketun erotuksen perusteella säädin lähettää uuden ohjauskomennon taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttaja nostaa tai laskee pumpun kierrosnopeutta niin kauan, että tavoitevirtaama tai paine

saavutetaan. Tämänkaltaisella takaisinkytkennällä prosessissa esiintyvät häiriöt korjataan ja virtaama ja paine stabiloituvat, mikäli takaisinkytkentä toimii oikein.



Kuva 4. Pumpun ohjaus ja säätö.

Testaus

Testauksen aluksi asetetaan haluttu paine tai virtaama. Molempia tapoja käytettäessä kokeillaan, miten vastapaineen lisääminen vaikuttaa asetusarvon saavuttamiseen. Paineenpitoventtiiliä säätämällä saadaan luotua haluttu vastapaine. Asetetaan tavoite virtaamaksi esimerkiksi 6 m³/h, minkä jälkeen voidaan tarkastella, miten vastapaineen lisääminen vaikuttaa pumpun kierrosnopeuteen. Jo pienet vastapaineen lisäykset voivat vaikuttaa paljon, kun kyseessä on pienitehoinen pumppu. Voidaan myös etsiä, kuinka korkealla vastapaineella pumppu ei enää kykene tavoitevirtaamaan. Ensin asetetaan vastapaine esimerkiksi 0,2 baariin, jonka jälkeen lisätään vastapainetta 0,2 baaria kerrallaan. Vastapainetta lisätään, kunnes pumppu ei enää saavuta tavoitevirtaamaa 6 m³/h.

Dokumentointi tapahtuu automaatiojärjestelmän avulla. Trendikäyrästöistä tarkastellaan, kumpi ohjaustavoista on tarkempi ja kumpi stabilisoituu nopeammin. Testien avulla on tarkoitus selvittää, mihin tilanteeseen sopii paineohjaus ja mihin virtaamaohjaus. Eri koeajoissa käytetyt vastapaineet kirjataan ylös.

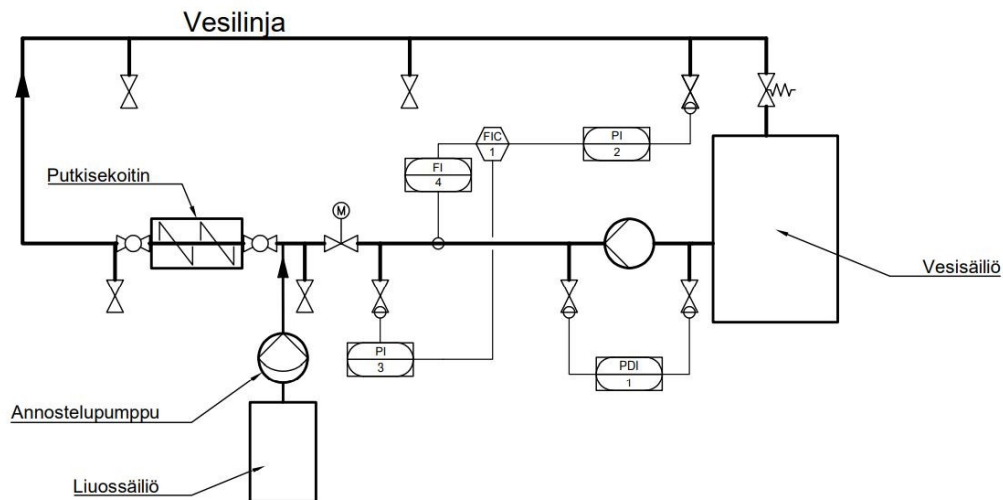
2.4.3 Putkistoon liittyvä testaus

Putkistoon liittyen voidaan tutkia esimerkiksi, miten putkisekoitin vaikuttaa nesteiden sekoittumiseen. Tämä toteutetaan annostelemalla väriainetta sisältävää vettä juuri ennen putkisekoitinta. Näin saadaan suuntaa-antavaa tietoa sekoittimen tehokkuudesta ja siitä, kuinka pitkän matkan vesi virtaa putkessa, ennen kuin aineet ovat täysin sekoittuneet. Voidaan myös kokeilla, vaikuttaako venttiileillä kuristaminen sekoittumiseen. Lisäksi voidaan tarkastella painehäviöitä eri laitteiden ja putkiosuuksien yli sekä selvittää, miten venttiilien asento vaikuttaa paineeseen.

Tarvittava rakenne ja mittalaitteiden sijoittaminen

Jotta laitteiden yli tapahtuva mittaus on mahdollista, tulee laitteiden molemmilla puolilla olla venttiilillä varustettu yhde. Yhteitä tulee olla myös paluuputkessa, jos tulevaisuudessa halutaan mitata eri suureita, eri kohdista putkistoa. Putkisekoittimen molemmille puolille asennetaan sulkuventtiilit, jotta sekoittimen tilalle on helppo vaihtaa saman mittainen osuus putkea. Testejä varten tarvitaan virtaus- ja painemittaus. Putkistoon liittyvää testausta varten voidaan käyttää samoja antureita kuin siirtopumppauksen ja annostelupumppauksen testauksessa.

Kuvassa 5 näkyy testeihin tarvittava putkiston rakenne ja mittalaitteet. Painehäviöitä voidaan tarkastella eri kohdista ja kaikkien laitteiden yli; kuvassa olevien laitteiden ja mittarien sijoittelut ovat esimerkkejä. Painehäviön mittaaminen laitteen yli voidaan toteuttaa paine-erolähettimellä PDI-1, joka mittaa painetta kahdesta eri kohdasta ja näyttää näiden välillä vallitsevan paine-eron. Vaihtoehtoisesti painehäviötä voidaan tarkastella kahdella eri painemittauksella PI-2 ja PI-3, sekä automaatiojärjestelmään FIC-1 tehdyllä ohjelmalla. Tällöin automaatiojärjestelmä näyttää mittauksien erotuksen, eli paine-eron antureiden PI-2 ja PI-3 välillä. Virtausmittaus FI-4 näyttää putkistossa esiintyvän virtaaman eri koeajoissa.



Kuva 5. Esimerkki putkiston rakenteesta ja mittalaitteiden sijoituksesta.

Testaus

Väriaineen sekoittumista vesilinjassa virtaavaan veteen testataan putkisekoittimella ja ilman sekoittajaa. Testaus tulee suorittaa eri vesilinjän virtaamilla, jotta saadaan paras kokonaiskuva sekoittimen toiminnasta. Eri koeajoissa käytetyt virtaamat kirjataan ylös. Jotta tulokset olisivat luotettavia, tulee koeajot tehdä moneen kertaan ja esimerkiksi videoita, jolloin niiden myöhempi tarkastelu on mahdollista. Voidaan myös kokeilla, vaikuttaako sekoitinta ennen tai sen jälkeen tehty venttiilin kuristus lopputulokseen. Tarkempaa testausta varten tulisi väriaineen sijasta käyttää natriumhypokloriittia ja kloorimittausta. Kuten aiemmin on mainittu, natriumhypokloriittia ei turvallisuussyistä tässä yhteydessä käytetä.

Painehäviöitä tutkittaessa venttiileillä tapahtuva kuristus suoritetaan sulkemalla asteittain käsiventtiiliä tai moottoriventtiiliä. Venttiileillä voidaan kuristaa ennen pumppauksen aloittamista tai käynnissä olevan pumppauksen aikana. Eri koeajoissa suoritettavat kuristukset tulee kirjata ylös: millä venttiilillä kuristettiin ja kuinka paljon.

Virtaama- ja painetiedot tallentuvat automaatiojärjestelmään, josta niitä on mahdollista tarkastella reaaliajassa tai jälkeenpäin trendikäyrästä.

2.4.4 Muut testit

AUMA-moottoriventtiili

Laboratorio toimii testialustana AUMA-moottoriventtiilille. Tutkittavia asioita ovat mm. ominaisuudet, asetukset, huoltotoimenpiteet ja parametointi, eli asetusten ohjelmointi. Ohjausyksikön paneelista säätämällä voidaan tutkia auki- ja kiinnirajojen asettamista, eli millaiset ovat parametroinnin vaikutukset pääteasentoon. Moottoriventtiin pysäytys pääteasennossa voi tapahtua matkan tai momenttirajan mukaan. Momenttiraja myös suojaa laitetta rikkoutumiselta. Momenttiraja voidaan muuttaa myös automaatioväylän kautta. Voidaan tutkia, miten esimerkiksi 20% muutos momentissa vaikuttaa kiinni- ja auki-asentoihin ja tuleeeko hälytys, jos momenttiraja ylittyy. Kun säädetään ja tarkkaillaan rampitusta, eli kiihdytys ja pysäytysajan parametointia, saadaan selville, miten nopeasti auki- ja kiinnirajat saavutetaan.

Bluetooth-yhteydellä toimivan AUMA Assistant -sovelluksen voi ladata Android- käyttöjärjestelmällä toimiviin älypuhelimiin ja tabletteihin (AUMA n. d.). Tarkoituksena on selvittää, mitä sovelluksella voidaan tehdä ja onko se hyödyllinen.

Lisäksi laboratoriossa voidaan selvittää, miten venttiin asentoa ilmaisevan HALL-anturin vaihto onnistuu.

Taajuusmuuttajaohjaus

Laboratorioon ollaan hankkimassa ABB ACS580 -taajuusmuuttaja. Laboratoriossa voidaan tutkia, miten taajuusmuuttajan käsiohjausta käytetään ja asetuksia muutetaan. Lisäksi voidaan selvittää, miten uusia parametreteja voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, esimerkiksi muuttamalla pumput ja taajuusmuuttajat väyläohjatuiksi. Paineenpitoventtiin avulla voidaan säätää vastapainetta, jolloin voidaan tutkia pyörimisnopeuden, hertzien, lämpötilan ja tehon muutoksia eri vastapaineella. Yksi taajuusmuuttajaohjauksen hyödyistä on pehmeä käynnistys ja pysäytys. Laboratoriossa voidaan tutkia rampitusta eli kiihdytys- ja pysäytysajan parametointia ja sen vaikutuksia ohjaukseen.

Automaatiojärjestelmä

Laboratorion yksi tärkeimmistä tarkoituksista on toimia myös koetusalueena automaatiojärjestelmälle. Laboratoriossa voidaan tutkia automaatiojärjestelmän komponenttien toimintaa, ominaisuuksia ja asennusta. Esimerkiksi prosessista poistetun tai toiminnaltaan epävarman komponentin (kuten analogiakortin) toiminta voidaan varmistaa ennen takaisinliittämistä. Lisäksi voidaan selvittää, mitä kaikkea sisältyy komponenttien vaihtoja asennustoimenpiteisiin. Uusien prosessinohjaussovellusten koekäyttö onnistuu laboratorion avulla turvallisesti. Virtaamaohjauksen ja paineohjauksen tarkkuuksia vertaamalla saadaan selville, kumpi ohjaustavoista on tarkempi ja pitää säädön tasaisena. On myös tarpeen tutkia, kumpi niistä reagoi nopeammin asetusarvon muutoksiin. Testien perusteella saadaan selville, mihin tilanteeseen sopii paineohjaus ja mihin virtaamaohjaus. Automaatiojärjestelmä tallentaa jatkuvasti dataa ja siksi on helppo vertailla myös muiden mittauksien tarkkuutta ja toimintaa.

2.5 Koelaitokset maailmalla

Maailmalla on tehty paljon erilaisia vedenkäsittelyn ja pumppauksen tutkimiseen soveltuvia koelaboratorioita ja koelaitoksia. Koelaitosten komponentit vaihtelevat tutkittavan asian mukaan. Koelaitoksia on rakennettu esimerkiksi opetuskäyttöön, tutkimukseen ja tuotekehitykseen sekä pumppujen suorituskyvyn testaamiseen. Myös uusien vedenkäsittelymenetelmien testaus tehdään usein pilot-mittakaavassa. Uudet menetelmät, materiaalit ja laitteet on helpompi testata ensin pienemmässä mittakaavassa, ettei myöhemmin ilmene suuria käytännön ongelmia.

Pumppuvalmistaja KSB:n koelaitoksissa tehtävänä on tarkistaa pumppujen käyttö- ja suorituskykytiedot, tarkistaa toiminnan luotettavuus sekä tutkia tapoja, joilla voidaan kehittää tuotteita. Testauksen yhteydessä on mahdollista mitata useita suureita ja vaihtaa pumppausolosuhteita, jotta pumpun käyttäytyminen selviää. KSB:llä on niin sanottuja "avoimia" ja "suljettuja" koelaitoksia. Avoimissa koelaitoksissa pumppu asennetaan altaan viereen, jossa on avoin vesipinta. Pumppu ottaa altaasta nesteen ja tyhjentää sen takaisin altaaseen useiden mittaus- ja säätölaitteiden läpi. Suljetuissa koelaitoksissa voidaan simuloida ja muuttaa käyttöolosuhteita. Järjestelmäpaineen voi säätää sopivaksi pumpun asennuskorkeudesta riippumatta. Tämä on erityisen tärkeää esimerkiksi kaviitaatiota tutkittaessa (Katso kappale 3.3). (KSB 2020.) Pumppausolosuhteita muuttamalla

saadaan kattavaa tietoa pumppujen toiminnasta. Olosuhteiden muuttaminen huomioidaan myös SIA-laboratoriossa säätämällä pumppausta, annostelua ja paineenpitoventtiiliä. Kun tähän yhdistetään mittausdataa, voidaan luotettavasti todeta laitteiden toimivuus.

Lijie Jiang ym. (2014, 133-147) koelaitoksessa testattiin, miten liuenneet aineet sekoittuvat talousveteen, kun käytetään erilaisia putken poikkiliitoksia. Koelaitoksessa puhdasta talousvettä ja värjättyä vettä syötettiin kahdesta erillisestä säiliöstä, jotka oli varustettu pumpuilla, mittareilla ja venttiileillä. Merkkiaine valmistettiin erillisessä sekoittajalla varustetussa säiliössä. Poikkiliitokset rakennettiin läpinäkyvästä polyvinyylidikloridiputkesta, joka mahdollisti sekoittumisen seurannan myös silmämääräisesti. Testin toisessa vaiheessa värjätty vesi vaihdettiin natriumkloridiin, jolloin saatiin eri suolapitoisuuksia erilaisia liitoksia käytettäessä. Testeissä tutkittiin kaksois-T-haarojen ja ristiYTEiden välisiä eroja eri virtausmäärillä. Näiden poikkiliitostyyppien välillä havaittiin selviä eroja aineiden sekoittumisessa. Tämä tulisi ottaa huomioon verkostomallinnuksessa ja talousveden hallinnassa jakeluverkostossa. (Jiang ym. 2014, 133-147.) Edellämainitun kaltaista sekoittumista on tarkoitus testata SIA-laboratoriossa, jossa sekoittumista voi testata putkisekoittimella tai ilman.

3 SUUNNITTELUPERIAATTEET JA MENETELMÄT

3.1 Dokumentointi

PI-kaavio

Putki- ja instrumentointikaaviossa (PI-kaavio) esitetään yksityiskohtaisesti prosessin tekninen toteutus. Kaaviossa esitetään symboleilla putkistot, laitteet, instrumentit ja ohjaukset sekä niiden tiedot ja tunnuksot. PI-kaavio laaditaan suunnittelua, asennusta, käyttöä, kunnossapitoa ja viranomaisia varten. Sen tarkoituksena on mm. olla pohjana jatkosuunnittelulle, auttaa kustannusarvioiden laatimisessa, auttaa suunnittelu-, asennus-, kunnossapito- ja käyttöhenkilöstöä perehtymään prosessiin sekä on apuna viranomaisille. Putki- ja instrumentointikaaviosta tai Prosessi- ja instrumenttikaaviosta käytetään lyhennettä PI-kaavio ja ne tarkoittavat samaa asiaa. (PSK 3602 2008; PSK 3603 2012.)

Yleiset ohjeet PI-kaavion laadintaan tulevat standardista SFS-EN ISO 10628-1. Lisäksi PI-kaavion laadintaan liittyy useita PSK- ja SFS-standardeja. Yleensä suunnittelun alku vaiheessa luodaan alustava PI-kaavio, jota täydennetään projektin edetessä. Suunnittelun loppupuolella laaditaan lopullinen PI-kaavio. (PSK 3602 2008; PSK 3603 2012; SFS-EN ISO 10628-1 2015.)

Toiminnan kuvaus

SIA-laboratoriosta tehdään toiminnan kuvaus. PI-kaavion lisäksi prosessin toimintaa tulee kuvailla kirjallisesti, jotta toiminta selviää kaikille prosessin kanssa tekemisissä oleville. Toiminnankuvaus helpottaa jatkosuunnittelua ja asennusta. Prosessin käyttö ja huolto vaatii, että toiminta ymmärretään tarkasti.

Valmistuspiirustukset

SIA-laboratorion valmistusta varten laaditaan valmistuspiirustukset putkistolle sekä yksityiskohtaiset piirustukset valmistettaville telineille. Putkistoista tehdään monenlaisia piirustuksia tarpeesta riippuen. Piirustukset voivat olla tarkkoja, suuntaa-antavia, oikeassa

mittasuhteessa, yksinkertaisin viivoin piirrettyjä ja eri kuvakulmista. Tyypillisiä putkipiirustuksia ovat mm. putkireittipiirustus, taso- ja leikkauspiirustus sekä isometrinen putkisiirustus. (PSK 2620 2009.) Nykypäivänä laitokset suunnittelevat tietokoneavusteisesti 3D-ohjelmistoja käyttäen. Laitoksen 3D-mallista voidaan luoda vaivattomasti eri kuvakulmista, erilaisia 2D-valmistuspiirustuksia. (Voonks Engineering n. d.)

3.2 Pumput

Pumppuja käytetään mm. teollisuudessa, yhdyskuntatekniikassa, asunnoissa ja kulku-
neuvoissa erilaisten nesteiden ja seosten siirtämiseen. Pumppujen tarkoituksena on ul-
koa tuodun työn avulla siirtää ainetta tai energiaa joka on sitoutunut aineeseen. Pumput
voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan kahteen pääryhmään: dynaamiset pumput ja
syrjäytyspumput. (RIL 124-2-2004, 25; Veli-Matti Mäkelä 2019, 9.)

Dynaamiset pumput toimivat nopeus periaatteella. Niissä on yksi tai useampi pyörivä
juoksupyörä, jonka siivekkeet muuttavat ulkoa tuodun energian paineeksi ja nopeudeksi.
Yleisin dynaamisista pumpuista on keskipakopumppu. (Bergius ym. 1978, 3–7; Mäkelä
2019, 23.)

Dynaamisia pumppuja ovat:

- keskipakopumput
- potkuripumput
- sivukanavapumput

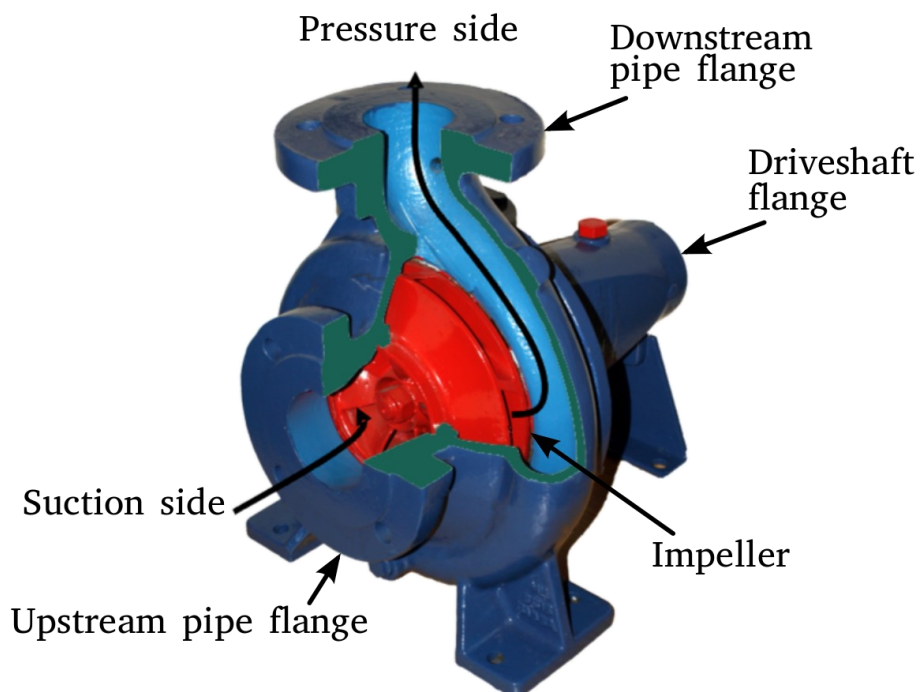
Syrjäytyspumppujen sisällä olevat nestetilat ovat toisistaan erillään, ja niissä oleva neste
pakotetaan imupuolelta eteenpäin ja ulos pumpun painepuolelta. Syrjäytyspumppu on
joko jatkuvatoiminen tai vaiheittain toimiva. Jatkuvatoimisessa pumpussa pyörivien osien
väliin jäävät rajoitetut tilat liikkuvat jatkuvasti samaan suuntaan, jolloin tilat täyttävä aine
myös liikkuu (ruuvipumppu, lohkoroottoripumppu). Vaiheittain toimivassa pumpussa liike
on edestakaista, jolloin imuvaiheessa nestetila täyttyy ja painevaiheessa neste poistuu
painepuolelle venttiilien ohjaamana (mäntäpumppu, kalvopumppu). (Bergius ym. 1978,
3–7; Mäkelä 2019, 23.)

Syrjäytyspumppuja ovat:

- mäntäpumput
- kalvopumput
- ruuvipumput
- letkupumput
- hammasrataspumput
- lohkoroottoripumput

3.3 Keskipakopumppu

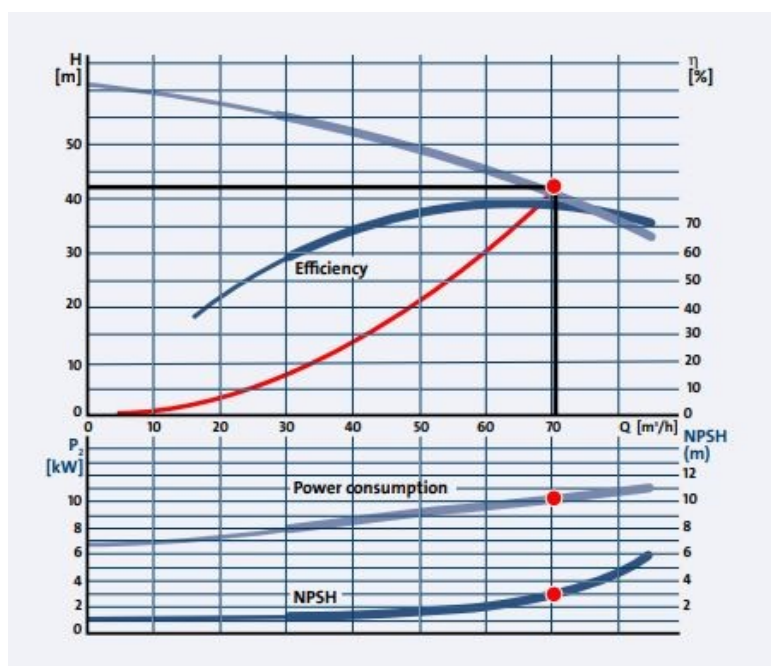
Maailmalla ylivoimaisesti yleisimmin käytetty pumpputyyppejä on keskipakopumppu. Kuvasta 6 ilmenee miten neste virtaa keskipakopumpun läpi. Neste saapuu pumpun imupuolelta pyörivän juoksupyörän keskusta, josta se ohjautuu kohti pumpun pesän ulkokehää keskipakovoiman vaikutuksesta. Ulkokehältä neste ohjautuu pumpun painepuolelle ja lopulta putkistoon. Nesteen poistuessa painepuolelta juoksupyörän keskusta virtaa jatkuvasti lisää nestettä pumpun imupuolelta. Pumpun imupuolella vallitsevan paineen vaikutuksesta juoksupyörän keskusta syntyy imutila, joka ylläpitää pumpun läpi tapahtuvaa jatkuvaa virtausta. (Allan Wirzenius 1968, 52.)



Kuva 6. Keskipakopumpun rakenne (Wikimedia Commons 2008).

Keskipakopumput ovat suosittuja yksinkertaisen rakenteen, luotettavuuden, monikäyttöisyyden ja hyvän hyötysuhteen ansiosta. Niitä on saatavilla montaa eri kokoa ja tyyppiä moniin eri käyttötarkoituksiin. Keskipakopumppuja voidaan luokitella mm. seuraavien ominaisuuksien mukaan: juoksupyörien määrä, juoksupyörän tyyppi, akselin asento, yksi- tai kaksipuoleisesti imevä, kuiva-asenteinen tai upotettava pumppu. Suosituimmat keskipakopumpputyypit ovat radiaali- ja puoliaksaalipumput. (KSB 2005, 8; Grundfos 2016, 8–22.)

Pumput mitoitetaan tarvittavan tilavuusvirran ja nostokorkeuden perusteella. Muut pumpun valintaan vaikuttavat suureet ovat hyötysuhde ja tehon tarve. Valmistajat määrittävät pumppuille ominaiskäyrät joita hyödynnetään pumpun valinnassa. Pumpun valinnassa tarkastellaan pumpun toimintapistettä, joka saadaan yhdistämällä pumpun ja putkiston ominaiskäyrät. Putkiston ominaiskäyrästä kerrotaan lisää kappaleessa 3.4. Pumpun toimintapiste on käyrien leikkauspisteessä ja se osoittaa nostokorkeuden ja virtaaman, jolla pumppu tietyssä putkistossa toimii. (Mäkelä 2019, 30–46.) Kuvassa 7 on esitetty tyypillisen keskipakopumpun pumppukäyrät ja toimintapiste.



Kuva 7. Pumppukäyrät (Grundfos 2016).

Pumpun valinnassa täytyy tarkastella myös kavitaatoriskiä. Kavitaatio tarkoittaa pumpunpauksessa syntyviä höyrykuplia, jotka luhistuvat kun pumpattavan nesteen paine ylittää höyrynpaineen. Kavitaatio aiheuttaa melua, kulumista, paineiskuja, heikentää

pumppauksen tuottoa ja painetta, alentaa hyötysuhdetta, tai voi estää pumppauksen kokonaan. Jotta kavitaatiota ei syntyisi, täytyy imupaineen olla riittävä. Imukykyä tarkasteltaessa vertaillaan kahta NPSH (Net Positive Suction Head)-arvoa. NPSHr eli pumpun vaatima imukorkeus ja NPSHa eli systeemissä käytössä oleva imukorkeus. NPSHr-arvon määrittää pumpun valmistaja ja NPSHa-arvo täytyy laskea systeemin perusteella. NPSHr-arvon tulee olla pienempi kuin NPSHa-arvo. Mukaan on vielä syytä ottaa varmuusmarginaali, joka on 0,5–2 metriä eli ehtona on: $NPSHa > NPSHr + 0,5\text{--}2 \text{ m}$. Pumpun valmistajat voivat suositella suurempaakin varmuusmarginaalia tietyille pumpulle. (Martti Pulli 2016, 31–38; Mäkelä 2019, 66–67.) NPSHa voidaan laskea kaavalla 1.

$$NPSHa = \frac{P_b - P_d}{g * \rho} \pm H_{geo} - H_{sv}$$

missä NPSHa = käytettävissä oleva imukorkeus (m)

P_b = paine imusäiliössä (Pa)

P_d = nesteen höyrystymispaine (Pa)

g = putoamiskiihtyvyys (m/s^2)

ρ = nesteen tiheys (kg/m^3)

H_{geo} = nestepinnan ja pumpun imuaukon korkeusero (m), arvo on negatiivinen, jos pumppu sijaitsee nestepinnan yläpuolella ja positiivinen, jos pumppu sijaitsee nestepinnan alapuolella.

H_{sv} = imuputken painehäviö (m)

Kaava 1. Käytettävissä oleva imukorkeus (Bergius ym. 1978, 23).

Keskipakopumpun säätötavat

Pumpun tuottoa voidaan säätää pääasiassa kolmella eri tavalla:

- juoksupyörän halkaisijaa muuttamalla tai juoksupyörää muokkaamalla
- kuristussäädöllä ja/tai
- pyörimisnopeussäädöllä

Vedenkulutusvaihteluiden tai prosessien muutosten takia voi pumpun tuoton säätö olla tarpeellista. Jos halutaan pysyvä tuoton muutos, voidaan muuttaa juoksupyörän halkaisijaa tai muokata sitä esimerkiksi sorvaamalla tai säädettävillä siivekkeillä. Toinen

perinteinen keino on kuristussäätö. Kuristussäätö toteutetaan kuristamalla eli sulkemalla pumpun paineputkessa olevaa venttiiliä. Tämä säätötapa on tarkka, mutta tuhlaa paljon energiaa. (Bergius ym. 1978, 49–51; Mäkelä 2019, 70.)

On myös säätötapoja, jotka eivät varsinaisesti vaikuta pumpun tuottoon, kuten On-off- ja ohitusvirtaussäätö. On-off-säädöllä eli jaksottaisella pumpun käynnistyksellä ja pysäytyksellä voidaan hallita esimerkiksi pinnankorkeutta. Jatkuva käynnistys ja pysäytys kuitenkin rasittaa pumppua ja vie paljon virtaa. Ohitusvirtaussäädöllä osa pumpun luomasta virtauksesta kierrätetään takaisin pumpun imupuolelle, ns. hullunkiertoon. Tämä tapa tuhlaa paljon energiaa, sillä pumppu kierrättää aina osittain jo kertaalleen pumpattua nestettä. (Motiva 2011, 8.)

Pyörimisnopeuden säädössä yleisimpänä keinona on taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttaja on erityisen kätevä silloin, kun pumpun tuottoa täytyy säädellä jatkuvasti. Pumpun sähkönsyöttö tulee taajuusmuuttajan kautta, jolla pystytään säätämään pumpun sähkömoottorille menevän jännitteen taajuutta. Taajuuden muuttuessa myös moottorin ja sitä kautta pumpun pyörimisnopeus muuttuu. Näin pumpun pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti. (ABB 2011, 16–17; Motiva 2011, 9.)

Taajuusmuuttajasäätö on taloudellisin pumpun säätötapa ja sen hyötyjä on myös pehmeä käynnistys ja pysäytys. Tämä mm. pienentää käynnistuksen virtapiikkejä sekä estää paineiskut pumppujen pysäyttämässä. Myös pumpun mekaaninen rasitus vähenee ja käyttöikä kasvaa. (ABB 2011, 16–17; Mäkelä 2019, 70.)

Taajuusmuuttajasäädöllä voidaan esimerkiksi ylläpitää vesijohtoverkoston tavoitepainetta mahdollisimman vakiona. Lisäksi pienemmän kulutuksen aikana voidaan pyörimisnopeutta vähentää, jolloin energiaa säästyy. Jos pumpulta vaadittu nostokorkeus muodostuu enimmäkseen dynaamisesta korkeudesta eli putkiston painehäviöistä, on pyörimisnopeussäätö erinomainen ratkaisu, sillä silloin pumppauksen hyötysuhde ei juurikaan muutu kierrosnopeuden muuttuessa. Jos taas vaadittu nostokorkeus muodostuu enimmäkseen staattisesta nostokorkeudesta, voi hyötysuhde muuttua huomattavasti ja säätö olla epästabiili, koska säädettävä optimialue on kapeampi. Energiankulutus riippuu siis dynaamisen ja staattisen nostokorkeuden suhteesta. (Pulli 2016, 79–80, 241–242.) Pyörimisnopeussäätö voi kuitenkin olla perusteltu ratkaisu muiden hyötyjen takia, esimerkiksi tavoitepaineen ylläpitämiseksi, vaikka se ei hyötysuhteen kannalta olisikaan paras mahdollinen keino.

Jos taajuusmuuttajaa käytetään ainoastaan pehmeään käynnistykseen ja pysäytykseen, voi parempi ratkaisu olla pehmokäynnistin, joka on halvempi ja kooltaan pienempi. Moottorin käynnistyessä pehmokäynnistin syöttää jännitettä moottorille vähitellen, jolloin käynnistyksessä ei esiinny nykäyksiä ja virtapiikit ovat pienempiä. Pehmokäynnistimellä myös pehmeä pysäytys on mahdollista. (ABB 2011, 17–18.)

3.4 Putkisto

Putkea valittaessa otetaan huomioon materiaalin-, paineen- ja lämpötilankesto, virtaava aine, ympäristön olosuhteet, vaadittu tilavuusvirta sekä hinta. Materiaalia valittaessa on lisäksi tunnettava putkiston käytön aikaiset olosuhteet, sekä asennusnäkökohdat. Putken hintaan vaikuttaa materiaali ja koko. Halkaisijaltaan pienet putket sekä niiden osat ja varusteet ovat edullisempia, mutta niistä aiheutuu suuremmat hydrauliset häviöt, kuin suuremmista putkistoista. Putkessa vallitseva keskimääräinen virtausnopeus ei saa ylittää suositeltuja arvoja eroosioriskin ja melutason ylittymisriskin vuoksi. Putkikoko ei saa olla pumpun laippojen nimelliskokoa pienempi. (Bergius ym. 1978, 135; Marko Kesti 1992, 45–83; RIL 237-2-2010, 69–70.)

Nimelliskoko DN kuvaa putkiston osien suuruutta, jonka avulla on helpompi valita soveltuvat putket, osat, venttiilit ja muut laitteet. Nimelliskoon merkitys vaihtelee materiaalin mukaan. Teräsputkissa nimelliskoko kuvaa likimain sisähalkaisijaa kun taas muoviputkissa nimelliskoko on ulkohalkaisijan suuruinen. Usein muoviputkien yhteydessä merkintä saattaa olla esimerkiksi d, de, dn, DN/OD tai DU, jotka kaikki tarkoittavat ulkohalkaisijaa. Nimelliskokoa ei tule käyttää putken mitoituslaskuissa, sillä se voi poiketa huomattavasti putken todellisesta sisähalkaisijasta, joka on eri materiaaleilla ja paineluokilla eri suuruinen. Nimellispaine PN kuvaa ylipainetta, jonka putki kestää kun lämpötila on 20 °C. Putkia on valmiiksi standardisoitu mm. SFS- ja PSK-standardeissa. Näissä standardeissa putkille ja osille on määriteltä mm. materiaali, PN-luokka ja tarkat mitat. (Kesti 1992, 26–27.)

Putkikoon määrittäminen voidaan tehdä ohjeellisen virtausnopeuden avulla, painehäviön mukaan tai optimoimalla. Yleisin ja helpoin tapa on määrittää putkikoko ohjeellisen virtausnopeuden mukaan. Kun vaadittu tilavuusvirta tiedetään, saadaan tarvittava putken sisähalkaisija kaavasta 2. Kun putkikokoa määritetään, ei virtausnopeus yleensä ole vielä tiedossa, ja tällöin laskuissa käytetään ohjeellisia virtausnopeuden arvoja, jotka löytyvät esimerkiksi PSK 2401 standardista ja alan kirjallisuudesta. Standardoidut putken

halkaisijan koot eivät yleensä täysin täsmää laskettuun sisähalkaisijaan, joten on suositeltavaa valita lähin suurempi koko. (Kesti 1992, 29.)

$$ds = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

missä ds putken sisähalkaisija = m
 Q tilavuusvirta = m³/s
 v keskimääräinen virtausnopeus = m/s

Kaava 2. Putken sisähalkaisija (Kesti 1992, 29).

Kun sisähalkaisija tiedetään voidaan laskea todellinen virtausnopeus kaavalla 3.

$$v = \frac{Q}{A}$$

missä v = nesteen keskimääräinen virtausnopeus putkessa (m/s)
 Q = putkessa esiintyvä keskimääräinen tilavuusvirta (m³/s)
 A = putken virtauspoikkipinta-ala (m²)

Kaava 3. Virtausnopeus (Kesti 1992, 69).

Putkiston painehäviöt

Putkiston painehäviöt muodostuvat suorien putkiosuuksien kitkahäviöistä ja putkiston osien kertavastushäviöistä. Painehäviöitä laskettaessa ensimmäisenä täytyy määrittää virtauslaji, eli onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. Laminaarinen virtaus on pyörteetöntä kun taas turbulenttisessa esiintyy myös poikittaisliikettä. Käytännössä esiintyvät putkivirtaukset ovat lähes aina turbulenttisia. Virtauslaji taas määrytyy Reynoldsin luvusta, joka saadaan kaavalla 4. Virtaus on laminaarinen jos $Re < 2000$ ja turbulenttinen kun $Re > 4000$. Väli 2000–4000 on kriittinen alue, jossa virtaus on laminaarisen ja turbulenttisen välillä. (Kesti 1992, 73–78.)

$$Re = \frac{v * ds}{\nu}$$

missä Re = Reynoldsin luku
 v = nesteen keskimääräinen virtausnopeus putkessa (m/s)
 d_s = putken sisähalkaisija (m)
 ν = virtaavan nesteen kinemaattinen viskositeetti (m²/s)

Kaava 4. Reynoldsin luku (Kesti 1992, 73).

Kitkahäviöiden laskentaan tarvitaan kitkakerroin, joka riippuu sisähalkaisijasta, seinämän karheudesta ja Reynoldsin luvusta. Kitkakertoimen laskemiseen on useita eri kaavoja riippuen Reynoldsin luvusta. Helpoin tapa onkin katsoa kitkakerroin Moodyn käyrästä liitteestä 2. (Kesti 1992, 78–79.)

Kun kitkakerroin on selvillä, voidaan laskea kitkapainehäviöt. Jos putkisto koostuu eri halkaisijalla tai eri materiaalista olevista putkista, tulee jokainen osuus laskea erikseen. Kitkapainehäviöt suorille putkiosuuksille saadaan kaavasta 5.

$$\Delta p = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{\rho * v^2}{2}$$

missä Δp = painehäviö (Pa)
 λ = kitkakerroin
 l = putken pituus (m)
 d = putken sisähalkaisija (m)
 ρ = nesteen tiheys (kg/m³)
 v = virtausnopeus (m/s)

Kaava 5. Kitkapainehäviö (Kesti 1992, 78).

Putkiston varusteet ja osat aiheuttavat myös painehäviöitä. Kulmille, käyrille ja supistuskartioille on kirjallisuudessa ilmoitettu kertavastuskerroin ξ . Valmistaja on usein määritellyt valmiiksi venttiilien, sihtien, mittareiden ja muiden putkistoon tulevien laitteiden aiheuttamat painehäviöt eri virtauksille. (Kesti 1992, 79–80.) Kertavastusten painehäviöt saadaan kaavasta 6.

$$\Delta p = \sum \xi * \rho * \frac{v^2}{2}$$

missä Δp = painehäviö (Pa)
 $\sum \xi$ = kertavastuskerrointen summa

ρ = nesteen tiheys (kg/m³)

v = virtausnopeus (m/s)

Kaava 6. Kertavastusten painehäviö (Kesti 1992, 80).

Kun lasketaan tietyn putkiosuuden kaikki kertahäviöt, voidaan summata kaikki putkiston osien kertavastuskertoimet yhteen. Eli kaavalla 6 voidaan laskea yhden tai useamman osan painehäviöt. Putkiston kokonaispainehäviö saadaan laskemalla laitteiden painehäviöt, kertavastushäviöt ja kitkahäviöt yhteen.

Putkiston ominaiskäyrä ja pumpun toimintapiste

Putkiston ominaiskäyrä määrää pumpulta vaadittavan nostokorkeuden. Se koostuu staattisesta osasta eli korkeuserosta ja vastapaineesta, sekä dynaamisesta osasta eli putkiston virtausvastuksista. Korkeuserosta ja vastapaineesta muodostuva staattinen osa ei muutu, vaikka virtaama putkistossa muuttuisikin. Putkiston virtausvastukset eli painehäviöt sen sijaan muuttuvat virtaaman muuttuessa. (Mäkelä 2019, 43–44.) Pumpulta vaadittu nostokorkeus esitetty kaavassa 7.

$$H = H_{\text{staat}} + H_{\text{dyn}}$$

missä H_{staat} = korkeuserosta ja vastapaineesta johtuva vastus

H_{dyn} = virtausvastukset (kitkavastus ja kertavastukset)

Kaava 7. Vaadittu nostokorkeus (Wirzenius 1968, 57).

Putkiston painehäviöt voidaan muuttaa häviökorkeudeksi kaavalla 8.

$$H_{\text{dyn}} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}$$

missä Δp = putkiston painehäviö (Pa)

ρ = nesteen tiheys (kg/m³)

g = maan vetovoiman kiihtyvyyys (9,81 m/s²)

Kaava 8. Dynaaminen häviökorkeus (Mäkelä 2019, 15).

Putkiston ominaiskäyrän piirtämistä varten täytyy olla tiedossa putkiston painehäviö ja sen laskennassa käytetty virtaama. Ensimmäiseksi lasketaan kerroin k , joka saadaan kaavasta 9.

$$k = \frac{H_{dyn}}{Q^2}$$

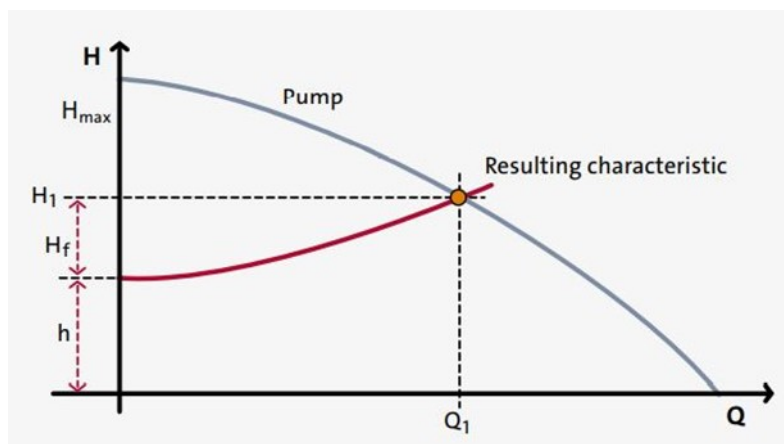
Kaava 9. k -kerroin (Bergius ym. 1978, 44).

Seuraavaksi lasketaan eri virtaamilla aiheutuvat häviökorkeudet kaavalla 10.

$$H = H_{staat} + kQ^2$$

Kaava 10. Putkiston ominaiskäyrä (Bergius ym. 1978, 46).

Kun häviökorkeudet on laskettu, voidaan näiden pisteiden avulla piirtää putkiston ominaiskäyrän kuvaaja. Kuvassa 8 on yhdistetty pumpun ja putkiston ominaiskäyrät. Välimatka h on staattinen osuus ja H_f on dynaaminen osuus. Pumpun toimintapiste sijaitsee käyrien leikkauspisteessä. Jos kyseessä on kiertoputkisto, kuten lämmitysverkosto, staattista nostokorkeutta ei huomioida. Tällöin putkiston ominaiskäyrä on suoraan origosta nouseva paraabeli. (Mäkelä 2019, 44–45.)

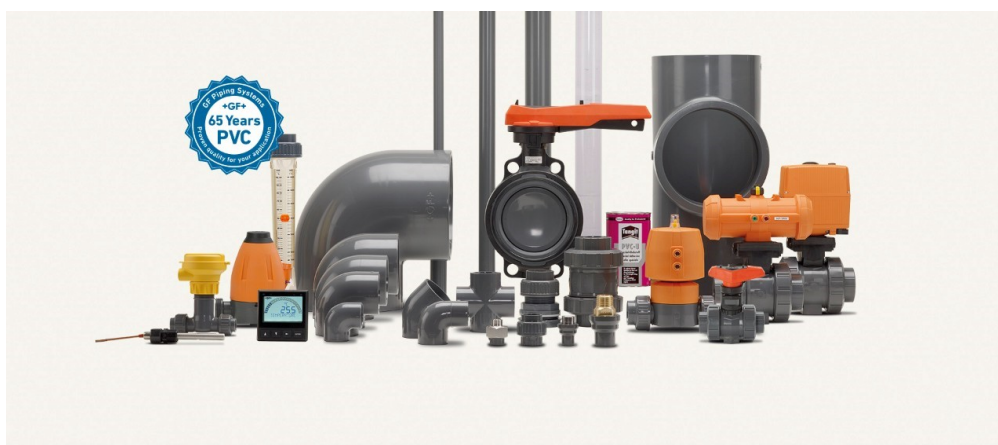


Kuva 8. Pumpun (sininen) ja putkiston (punainen) ominaiskäyrät sekä pumpun toimintapiste (Grundfos 2016).

3.5 Putkistovarusteet ja osat

Putkistovarusteita ja osia ovat mm. venttiilit, putkikäyrät ja kulmat, haaroitusosat, supistukset, lianerottimet, liittimet ja mittarit. Putkiliitoksissa käytetään yleensä erilaisia kierrelliitoksia, laippaliitoksia ja hitsiliitoksia. Muoviputkissa voidaan käyttää myös sähkö- ja puskuhitausta sekä liimaliitoksia.

Putkistot sisältävät aina erilaisia varusteita. Venttiilien tehtävänä on mm. sulku, kuristus, paineensäätö ja takaisinvirtauksen esto. Sulkuventtiileitä sijoitetaan yleensä huoltoa vaativien laitteiden molemmille puolille ja säiliöiden pohjalle tyhjennystä varten. Usein halutaan, että virtaus putkessa kulkee vain yhteen suuntaan. Tällöin käytetään takaiskuventtiiliä, jolla voidaan estää nesteen takaisinvirtaus. Takaiskuventtiileitä sijoitetaan usein välittömästi pumpun jälkeen, estämään ei-toivottuja paineiskuja ja esimerkiksi haarautuvissa putkissa, joissa nesteen halutaan liikkuvan vain tiettyyn suuntaan. Venttiileillä voidaan myös suojata laitteistoja. Usein käytetään varoventtiiliä, joka avautuu kun esimerkiksi säiliön paine kasvaa liian suureksi. Vesijohtoverkostoja suojataan ilmaongelmilta sijoittamalla korkeisiin kohtiin ilmanpoistoverkostoventtiileitä, jotka poistavat tai linjan tyhjentäessä lisäävät ilmaa. Venttiilit voivat olla käsikäyttöisiä, sähköisiä tai pneumaattisia. Sähkö- ja paineilma-venttiilit voivat olla myös kauko-ohjauksessa. Yleisimmin sulkun ja säätöön käytetään luisti-, läppä- ja palloventtiileitä. Takaisku- ja varoventtiilit toimivat usein jousen avulla. Takaiskuventtiilit voivat olla myös läppätyyppisiä tai niissä on pallo, joka tukkii putken virtauksen suunnan vaihtuessa. (Seppo Kivioja 2009, 161–162; Pulli 2016, 127.) Kuvassa 9 on esitetty erilaisia PVC-U putkiston osia ja varusteita.



Kuva 9. Erilaisia PVC-U putkiston osia ja varusteita (GF Piping Systems 2020).

3.6 Instrumentointi

Instrumentti on laite, joka käytetään prosessisuureiden mittaamiseen, tiedon muokkamiseen, tiedon välittämiseen tai prosessin ohjaus toimintoihin. Instrumentteja voidaan kutsua myös antureiksi ja osaa, johon mitattava suure vaikuttaa, kutsutaan tuntoelimeksi. Instrumentointijärjestelmä on iso kokonaisuus, jolla jokin prosessi tai osaprosessi automatisoidaan ja se muodostuu yksittäisistä instrumenteista ja niiden liittämiseen ja toimintaan tarvituista materiaaleista. Instrumentoinnin ja automaation tarkoituksena on antaa tietoa prosessin tilasta ja toiminnasta sekä ohjata prosessia optimaalisesti. (Markku Sivonen 1995, 9; Pihkala 2004, 9.)

Nykyään instrumentointi perustuu standardiviestin käyttöön. Tämä tarkoittaa, että automaatiojärjestelmään tuleva mittausviesti on aina samanlainen. Mitattavan suureen arvo muutetaan lähettimen avulla standardiviestiksi. Lähetin sijaitsee usein anturin yhteydessä. Sähköinen standardiviesti on yleensä 4–20 mA. Standardiviesti voi olla myös 0–20 mA, 1–5 V tai 0–10 V, mutta nämä ovat harvemmin käytössä. Lähettimeen määritellään mittausalue, eli millä mitattavan suureen arvolla lähettimen viesti on 4 mA ja millä arvolla 20 mA. Lähetin on lineaarinen silloin, kun muutokset mitattavan suureen arvossa ovat suoraan verrannollisia ulostulon muutoksiin. Tällä milliampeeriviestillä voidaan säätää esimerkiksi venttiilin tai pumpun toimintaa. (Pihkala 2004, 10.)

Tavallisimmin vesiprosesseissa mitattavia suureita ovat paine, lämpötila, virtaus, pinnan korkeus, sameus, pH, aineiden pitoisuus ja sähkönjohtavuus. Instrumentointi on yleensä kallis kokonaisuus, joka tulee suunnitella tarkkaan. SIA-laboratoriossa halutaan mitata ainakin painetta, pinnankorkeutta ja virtausta. Seuraavassa on esitelty SIA-laboratorioon soveltuvia mittaustekniikoita.

Paineen mittaus

Yleensä paine mitataan suhteellisena paineena eli paineena suhteessa ilmanpaineeseen, joka on noin 1 bar. Usein puhutaan ylipaineesta, kun paine on suurempi kuin ilmanpaine ja alipaineesta, kun paine on pienempi kuin ilmanpaine. Toinen tapa on mitata absoluuttista painetta eli vertailuarvo on nolla. Painetta voidaan myös mitata vertaamalla sitä toiseen paineeseen. Tätä kutsutaan paine-eron mittaukseksi. (Sivonen 1995, 38; Pihkala 2004, 19.)

Painetta voidaan mitata nestetäytteisillä antureilla, joustavilla elementeillä tai sähköisillä menetelmillä. Sähköiset anturit muuttavat paineen aiheuttaman liikkeen tai voiman sähköiseksi suureeksi. Näin mittaustuloksia voi siirtää osoitinkojeelle tai automaatiojärjestelmään. Suosituimpia painemittareita ovat sähköisiin menetelmiin kuuluvat pietsoresistiiviset ja kapasitiiviset painelähettimet. (Pihkala 2004, 28–31.)

Pietsoresistiivisessä paineanturissa on piikalvo, johon paine vaikuttaa, joko suoraan tai välittimen avulla. Paine aiheuttaa jännityksen pihin, jolloin anturin resistanssi muuttuu. Piikalvo on hyvä jousto-ominaisuuksiltaan, jolloin mittaus on tarkka sekä lineaarinen, eli muutokset ulostulossa ovat suoraan verrannollisia tulosuureen muutoksiin. (Pihkala 2004, 29–30.)

Kapasitiivisessa paineanturissa on differentiaalikonkondensaattori, jonka kiinteät levyt ovat paine-erokammion seinissä. Paine-erokammion välissä on joustava kalvo. Kammion eristää silikoniöljy, joka toimii myös paineenvälittimenä. Kalvon liikkeet ja kapasitanssin muutokset ovat hyvin pieniä, joten anturi sisältää aina lisäelektronikkaa sähköisen signaalin aikaansaamiseksi. (Pihkala 2004, 30–31.)

Uudempi menetelmä on kapasitiivinen, keraaminen paineanturi. Paine kohdistuu suoraan keraamiseen kalvoon, jonka elektodit muuttavat paineen suhteellisen muutoksen sähköiseksi signaaliksi. Anturielementti on kuiva, eikä paineenväittämiseen tarvita öljyä tai muuta täyttönestettä. Keraamisia antureita on saatavilla absoluuttiseen paineen mittaukseen, jolloin mittaus tapahtuu suhteessa sisäänrakennettuun tyhjiöön tai suhteellisen paineen mittaukseen, joka mittaa painetta suhteessa ympäristön paineeseen. (Endress+Hauser 2020; YTM n. d.)

Virtausmittaus

Magneettinen virtausmittaus on jo pitkään ollut suosittu menetelmä. Magneettisten virtausmittareiden toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Putken ulkopuolelle on sijoitettu magneetit ja johdin (eli vesi) liikkuu siten, että se leikkaa magneettikentän voimaviivoja, jolloin siihen indusoituu jännite. Putken laidoille sijoitetut elektodit mittaavat syntyneen jännitteen, joka on verrannollinen virtaukseen. Tämä jännite johdetaan vahvistimelle, joka lähettää viestin osoitinkojeelle tai automaatiojärjestelmään. Mitattavan aineen tulee olla sähköä johtavaa nestettä, jonka johtokyky on vähintään 5 $\mu\text{s/cm}$. (Pihkala 2004, 76–77.)

Ultraäänivirtausmittaus perustuu samanlaiseen ilmiöön kuin nopeustutkat. Nopeustutkan radioaaltojen sijaan virtausmittauksessa käytetään ultraääntä. Äänen kulku-aika voidaan mitata erilaisilla menetelmillä. Doppler-menetelmä perustuu siihen, että väliaineessa on partikkeleita, jotka heijastavat ultraääntä. Kulku-aikamittauksessa käytetään kahta anturia, joiden välillä lähetetään ultraäänisignaalia. Perusperiaate on, että myötävirtaan kulkevat ääniaallot liikkuvat nopeammin kuin vastavirtaan. Ultraäänisignaalin kulkuajan ero on suoraan verrannollinen nesteen virtausnopeuteen. Ultraäänianturit asennetaan putken päälle, joten asennus ja anturin tarkistus on helppoa. (Pihkala 2004, 81–82; Labkotec Oy n. d.)

Pinnankorkeuden mittaus

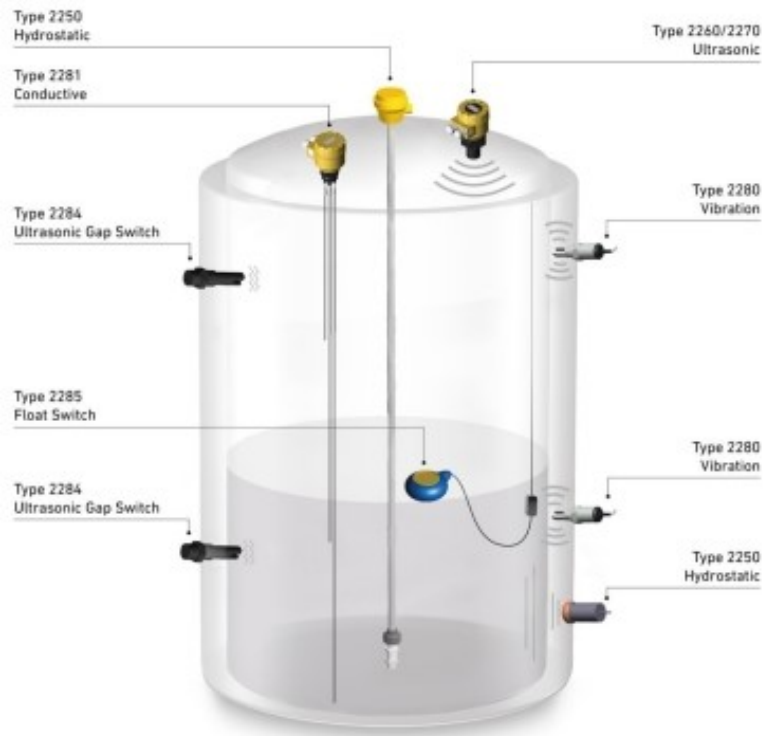
Pinnankorkeuden mittausta käytetään yleensä säiliöissä olevan aineen pinnankorkeuden mittaamiseen ja säätöön. Pinnankorkeuden mittaus voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Mekaanisia pinnankorkeuden mittausmenetelmiä ovat mm. mittatikut, näkölasit, mittaputket ja uimurimittaukset. Mekaanisia mittausmenetelmiä käytetään vieläkin modernimpien menetelmien rinnalla. (Pihkala 2004, 89.)

Yksi yleisimmistä pinnankorkeuden mittaustavoista on käyttää apuna hydrostaattista painetta. Nestepinnan alapuolella vallitsee aina hydrostaattinen paine, joka riippuu pinnankorkeudesta. Anturit ovat yleensä paine- tai paine-erolähettämiä. (Pihkala 2004, 92–93.)

Toinen yleinen pinnanmittaus menetelmä on ultraääni. Ultraäänietäisyystutkan toiminta perustuu lähetetyn äänipulssin ja vastaanotetun kaikupulssin heijastusaikaan. Äänipulssin lähettämisestä kaikupulssin vastaanottamiseen kulunut aika on verrannollinen vedenpinnan etäisyyteen tutkasta. (Pihkala 2004, 100.)

Usein tarvitaan myös pintakytkimiä, joita käytetään ylä- ja alarajahälytyksiin, lattiavesihälytyksiin sekä kytkintoimintoihin. Pintakytkimillä ei varsinaista mittaustietoa saada.

Kapasitiivisessä pintakytkimessä on kaksi levyä tai sauvaa. Levyjen kapasitanssi on pieni ilmassa, mutta osuessaan veteen kapasitanssi kasvaa ja aiheuttaa hälytyksen tai muun asetetun toiminnon. Konduktiivisen pintakytkimen toiminta perustuu materiaalien konduktanssiero. Anturisauvat asennetaan säiliöön ja pieni jännite luodaan seinien ja antureiden välillä. Virtapiiri sulkeutuu kun vesi saavuttaa ylä- tai alarajan ja aiheuttaa näin asetetun toiminnon, kuten venttiilin sulkeutumisen. (Pihkala 2004, 97–99.) Erilaisia pinnankorkeuden mittausmenetelmiä on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Eilaisia pinnankorkeuden mittausmenetelmiä (GF Piping Systems n. d.).

4 SIA-LABORATORION SUUNNITTELU

Iso osa laitteista saadaan TSV:n varaosista sekä ylimääräisiksi jääneistä laitteista. Suunnittelussa tuli huomioida nämä valmiina olevat laitteet ja valita niiden kanssa yhteensopivat ja oikean kokoiset putket, pumpun ja osat. Lisäksi laitteiden mitoitus täsmennettiin tarvittavilla laskelmilla. Laitteiden sijoittamisessa tuli ottaa huomioon luoksepääsy sekä laitteiden tuentatarve. SIA-laboratorion putkisto-osuus rakennetaan viisi metriä leveälle seinäosuudelle rakennuksen toiseen kerrokseen.

Laboratorion toiminnan kannalta oleellista oli valita keskipakopumppu, sillä taajuusmuuttajaan liittyvä testaus on isossa roolissa. Taajuusmuuttajaohjaus on myös TSV:n siirtopumppauksessa käytössä oleva keino. SIA-laboratorion pumpun valinnassa oli lisäksi vaatimuksena kolmi-vaiheinen sähkön syöttö ja 50 hertzin käyttötaajuus, jotta sähkösuunnittelussa valittu ABB ACS580-taajuusmuuttaja soveltuu pumpun käyttöön. Pumpun tuoton tuli olla realistinen muun laitteiston kokoon nähden ja testeihin muutenkin soveltuva. Pumpun valinnassa tuli huomioida myös hinta, ettei kokonaisbudjetti kasvaisi liian suureksi.

Sulkuventtiileitä tulee sijoittaa useaan kohtaan, jotta huoltotoimenpiteet, laitteiden testaus ja putkiston muokattavuus on helppoa. Erilaisten putkikyhteiden lisääminen jälkikäteen on kallista ja aikaa vievää. Tämän takia laboratorioon tulee sijoittaa useita T-haaroja sulkuventtiilillä varustettuna, jotta erilaisten mittauksen liittäminen onnistuu tulevaisuudessa helposti ja kustannustehokkaasti. Instrumenttien valinnassa ja sijoituksessa otettiin huomioon testien vaatimukset. Antureiden tuli olla sähköisellä signaalilla toimivia ja solveltua automaatiojärjestelmään.

4.1 Pumppujen mitoitus

Siirtopumppu

Pumpuksi valittiin KSB:n Comeo G I006/02 -keskipakopumppu. Pumppu on tarkoitettu puhdasvesi sovelluksiin sekä kevyisiin teollisuudenprosesseihin. Se on vaaka-asenteinen ja monivaiheinen, eli siinä on kaksi juoksupyörää. Pumpun koko on 6, jolloin parhaan hyötysuhteen piste on virtaamalla 6 m³/h. (KSB 2016, 4.) Pumpun tiedot esitetään kootuna taulukossa 1.

Taulukko 1. KSB Comeo G I006/02 -keskipakopumpun tiedot (KSB 2016).

Nostokorkeus (Q = 0 m ³ /h)	18 m
Nostokorkeus (Q = 9 m ³ /h)	8 m
Suurin virtaama	9 m ³ /h
Verkköjännite	230 V
Pyörimisnopeus	2750 rpm
Teho	0,37 kW
Syöttöjännitteen taajuus	50 Hz
Moottorin virran muoto	3-vaiheinen vaihtovirta
Max hyötysuhde	74,20 %

Annostelupumppu

SIA-laboratorioon valittiin kalvoannostelupumppu Grundfos DDA 7.5-16 AR-PV/T/C-F-31U2U2FG. Grundfos DDA -annostelupumppuja käytetään kemikaalien tarkkaan annosteluun erilaisten vesien käsittelyssä ja teollisuuden prosesseissa. Pumppua käyttää hiiliharjaton askelmoottori, joka liikuttaa kalvoa edestakaisin. Pumppu imee pesän täyteen nopealla imuiskulla ja työntää nesteen ulos pumpun tuotosta riippuvalla, yleensä hitaamalla pumppausiskulla. Imu- ja pumppausiskut ovat aina täysimittaisia, jolloin annostelu on aina tasaista. Jos prosessin tekniikka tai ominaisuudet, kuten pitkät imujohdot tai herkästi kaasuuntuva aine, aiheuttavat kavitointiriskiä tai ilmakuplia, voidaan pumppua käyttää "SlowMode" -tilassa, jolloin myös imuisku on hitaampi. Pumppua voidaan käyttää erilaisilla käyttömuodoilla, kuten käsiohjauksella, analogisella säädöllä 0/4-20 mA, pulsiohjauksella, annosteluajastuksella ja myös kenttäväyläohjauksella. Digitaalisen näytön ja ohjauspaneelin avulla voidaan seurata pumpun toimintaa ja muuttaa asetuksia. Pumpun useat laskurit tallentavat muistiin mm. annostelun kokonaismäärän ja käyttötunnit. Muistiin jäävät myös vikatiedot. (Grundfos 2020, 300–339.) Taulukossa 2 pumpun tiedot ja kuvassa 11 Grundfos DDA-annostelupumppu.

Taulukko 2. Grundfos DDA 7.5-16 AR-PV/T/C-F-31U2U2FG tiedot (Grundfos 2020).

Suurin nostokorkeus	16 bar
Suurin virtaama	7.5 l/h
Nimellisjännite	100-240 V

Teho	24 W
Syöttötaajuus	50/60 Hz



Kuva 11. Grundfos DDA-annostelupumppu (Grundfos 2020).

4.2 Putkiston mitoitus ja varusteet

Putkiston materiaaleiksi valittiin SFS-EN 12201 mukainen PE100-muoviputki sekä SFS 5820-standardin mukainen läpinäkyvä PVC-U-muoviputki. Läpinäkyväputki mahdollistaa testattavan väriaineen sekoittumisen visuaalisen seurannan. Muoviputkien etuihin kuuluu mm. edullinen hinta, keveys, helppo käsiteltävyys ja hyvä kemiallinen kestävyys. Valintaan vaikutti myös se, että PE100- ja PVC-U-muoviputket ovat yleisesti TSV:llä käytössä, joten niiden käsittely on tuttua ja varaosia on paljon. Lisäksi PVC-U putkistot ovat osittain modulaarisia, joten putkiston muokkaus jatkossa on helppoa. Putkisto mitoitettiin kappaleessa 3 esitetyllä tavalla. Putkiston mitoituslaskelmat ovat liitteessä 3.

Molempien putkien kooksi valittiin ulkohalkaisijaltaan 50 mm putki. PVC-U-putkien sisähalkaisija on 45,2 mm ja paineenkesto 10 bar. PE100-putkien sisähalkaisija on 40,8 mm ja paineenkesto 16 bar. Pumpun painelinja moottoriventtiilille asti tehdään PE100-putkesta. Pumpun imupuolen lyhyt osuus ja moottoriventtiilin jälkeinen osa tehdään PVC-U-putkesta. Mitoituksessa otettiin huomioon myös, ettei pumppua aina käytetä täydellä nopeudella.

Osat ja putket liitetään pääasiassa liimaamalla sekä sähköhitsaamalla. Käsiventtiileiksi valittiin GF:n PVC-U-palloventtiilit. Laboratorioon löydettiin GF V 786-paineenpitoventtiili, joka oli ylimääräisenä varastossa. Paineenpitoventtiileitä käytetään jatkuvan vastapaineen luomiseen, mutta yleisemmin kuitenkin turvalaitteena, jos paine kasvaa liian suureksi. Venttiili aukeaa, kun asetettu paine saavutetaan ja sulkeutuu, jos paine laskee alle tämän paineen. Kyseinen paineenpitoventtiili on jousikuormitteinen ja sen aukeamiseen vaadittua painetta voidaan säätää venttiilin päällä olevasta mutterista. Venttiilissä virtauksen voimaa vastaan vaikuttaa tasainen jousivoima, joka pitää vastapaineen staattisena. (GF Piping Systems 2019.)

Muoviputkista ja niiden osista tehtiin lista. Lista tehtiin Vink Finland Oy:n valikoimasta, josta tuotteet mahdollisesti tilataan tarjouspyynnön jälkeen. Liitteessä 5 on SIA-laboratorion osa- ja laitelista.

Putkiston ominaiskäyrä määritettiin niin, että paineenpitoventtiin avulla luotu vastapaine on säädettyinä noin 1,2 baariin, koska tällä asetuksella pumpun hyötysuhde on käyrästön mukaan parhaimmillaan. Liitteessä 4 on pumpun ominaiskäyrät, johon on määritetty putkiston ominaiskäyrä ja pumpun toimintapiste. Liitteestä 3 käy ilmi putkiston ominaiskäyrän määrittämiseen lasketut pisteet.

Lisäksi putkistosta tehtiin 3D-malli, josta luotiin 2D-piirustus (liite 6).

4.3 AUMA-moottoriventtiili

Moottoriventtiilit koostuvat venttiilistä, toimilaitteesta ja toimilaitteen ohjausyksiköstä. AUMA-toimilaitteiden avulla ohjataan erilaisia venttiileitä vesihuollossa ja teollisuudessa. Toimilaite ohjaa venttiiliä automaation tai käyttäjän komentojen perusteella sekä antaa tietoa antureidensa seuraamasta venttiilin asennosta ja vääntömomentista. AUMA:n tuotteet ovat modulaarisia, mikä mahdollistaa sen, että eri käyttökohteisiin ja venttiilityyppeihin löytyy sopiva ratkaisu. Jos kyseessä on esimerkiksi luistiventtiili, AUMA-monikierrostoimilaitteella voidaan pyörittää venttiilin karaa useampi kierros. Osakierrostoimilaitteella siirretään venttiilin momentti alle yhdellä kierroksella. Osakierrostoimilaitteita käytetään esimerkiksi palloventtiileissä, sillä niissä venttiilin liikealue on yleensä vain 90°. Toimilaitteen moottorin pysäytystapoja on kaksi: 1) Rajapysäytys, jolloin toimilaite pysähtyy, kun tietty asento on saavutettu. 2) Momenttipysäytys, jolloin toimilaite pysähtyy, kun tietty vääntömomentti on saavutettu. Erilaisiin virtauksen

rajoitustehtäviin on kuhunkin omat toimilaitetyypit: Moottoriventtiin tehtävä voi olla auki-kiinni-, paikoitus- tai säätötehtävä. (AUMA n. d., 6–20.) SIA-laboratorioon valittiin varastossa ylimääräisinä olevat sähkötoimilaite Auma SA 07.5-F10 ja siihen sopiva ohjausyksikkö Aumatic AC 01.1 sekä AVK laippaventtiili toimilaitteelle DN65.

4.4 Instrumentointi

Virtausmittaus

SIA-laboratoriossa virtausmittaus toteutetaan magneettisella Siemens SITRANS F M MAG 1100 -mittarilla. Samaa virtausmittaria käytetään virtauksen seuraamisen lisäksi pumppujen ohjaukseen.

Paineenmittaus

Paineenmittaus toteutetaan Endress + Hauser CERABAR T PMC131 painelähettimellä. Anturissa on keraaminen kalvo, johon kohdistuva paine voidaan mitata absoluuttisena tai suhteellisenä. Paineanturin mitta-alue on 0–6 bar, johon normaali vesijohtoverkoston paine lukeutuu. Mitta-alue riittää mainiosti SIA-laboratorion tarkoitukseen. Laboratoriossa painemittausta käytetään paineen seuraamisen lisäksi keskipakopumpun ohjaukseen.

Pinnankorkeuden mittaus

Pinnankorkeuden mittaukseen käytetään hydrostaattiseen paineeseen perustuvia, kaapelin varassa riippuvia STS-pintalähtimiä. STS-PTM/N -pintalähtimen mitta-alue voidaan ohjelmoida välille 0–25 bar.

Pintakytkin

Pintakytkimeksi valittiin Endress + Hauser LIQUIPOINT T FTW31, joka toimii järjestelmän vuotovesianturina. Kun altaassa oleva neste nousee anturin kahden sauvan tasolle,

virtapiiri kytkeytyy, mikä aiheuttaa hälytyksen. Vuotovesianturille tehdään oma teline, johon on helppo asentaa myös testattavat anturit.

Virtauskytkin

Laboratoriossa virtauskytkimen tehtävänä on ilmoittaa, onko putkistossa virtausta. Usein virtauskytkimiä käytetään myös antamaan hälytys, jos virtausmäärä joko ylittää tai alittaa ennalta asetetun asetusarvon. Laboratorioon valittiin ylimääräiseksi jäänyt IFM efector 300 SF3200-virtauskytkin.

4.5 Staattinen putkisekoitin

Kemikaalia simuloiva värjätty vesi syötetään putkistoon juuri ennen staattista putkisekoitinta. Siinä on yleensä yhdestä kuuteen siivekettä, joiden avulla nesteiden sekoittuminen tehostuu. Staattinen putkisekoitin toimii virtauksen avulla ja on nimensä mukaisesti staattinen, eli siinä ei ole liikkuvia osia. Putkisekoittimia on saatavilla eri kokoisia ja eri materiaaleista. Putkisekoittimet voidaan räätälöidä asiakkaan tarpeiden mukaan esimerkiksi erilaisilla liittimillä ja annosteluyhteillä. (Imatex Finland Oy n. d.) SIA-laboratorioon valittiin läpinäkyvä, muovista valmistettu putkisekoitin, jonka painehäviö on noin 0,15 baaria. Sekoittimen molemmille puolille asennetaan sulkuventtiilit, jolloin tilalle voidaan helposti vaihtaa pätkä putkea. Näin voidaan vertailla väriaineen liukenemistä sekoittimella ja ilman. Kuvassa 12 läpinäkyvä putkisekoitin.



Kuva 12. IMAMIX staattinen putkisekoitin (Imatex Finland Oy n. d.).

4.6 Kannakointi ja kiinnitys

Putkistoon kohdistuu sen oman painon lisäksi käytöstä aiheutuvia voimia kuten paineiskut, värähtely ja lämpölaajeneminen. Laboratoriossa vesi on aina huoneenlämpöistä, joten lämpölaajeneminen on melko vähäistä. Putkisto tuetaan useasta kohtaa kannakkeilla. Kannakointi tehdään suorille osuuksille, sillä käyrät osuudet ja kulmat ovat suuren kuormituksen alaisina ja tarvitsevat joustoa. Lisäksi kannakkeet sijoitetaan mahdollisimman lähelle kuormituskeskittymiä eli venttiileitä ja laitteita. (Kesti 1992, 108–109.) Kannatusvälit määräytyvät putken materiaalin, koon ja käyttölämpötilan mukaan. Laboratorioon valittujen Du 50 kokoisten PE100-putkien suositeltu kannatusväli on 1050 mm ja Du 50 kokoisten PVC-U-putkien 1600 mm. (GF Piping Systems 2019, 207–210.) Kannakointiin käytetään muovisia klip-it putkipidikkeitä sekä metallisia riippukannakkeita, joissa on kumieriste.

AUMA-moottoriventtiilille suunniteltiin oma jalusta ja seinäkiinnitys. Moottoriventtiilin suuren painon takia se täytyy tukea erikseen myös lattiaan jalustan avulla. Jotta putkiston asennusseinä pysyy mahdollisimman ehjänä, siihen asennetaan puurimasta tehty kehikko ja maalatut vanerilevyt.

4.7 Säiliöt ja varoaltaat

Vesisäiliön pitää olla järkevän kokoinen suhteessa muuhun laitteistoon. Säiliön koko vaikuttaa mm. veden värjäytymiseen kemikaalien sekoittumista tutkittaessa. Prosessiin annosteltava väriaine tulee paluuputkessa vesisäiliöön, ja mitä pienempi säiliö on, sitä nopeammin kaikki vesi on värjäytynyt. Koska laboratorio tulee toiseen kerrokseen, valinnassa tuli ottaa huomioon myös lattiaan kohdistuva pistekuormitus. Vesisäiliöksi valittiin Hyxo Oy:n PEHD muovista valmistettu 200-litrainen liuossäiliö. Säiliön kyljessä on litraasteikko, jolloin pinnankorkeudesta ollaan aina tietoisia. Kemikaalisäiliönä käytetään TSV:n desinfiointi yksikköä, jossa on 60-litrainen säiliö ja annostelupumppu säiliön kanteen valmiiksi asennettuna. Putkiston varoallas rakennetaan akryylilevyistä. Vaadittava tilavuus varoaltaalle on noin 360 litraa. Varoaltaan suunnittelussa huomioitiin laitteiden ja putkiston vaatima luoksepääsy niin, ettei varoaltaan sisälle tarvitse astua. Näin saatiin 4000 mm leveä, 300 mm syvä ja 300 mm korkea allas.

5 TOIMINNAN KUVAUS

Tässä toiminnan kuvauksessa kerrotaan SIA-laboratorion yleinen toimintaperiaate. Prosessin rakenne selviää liitteen 1 PI-kaaviosta, josta käy myös ilmi tässä kappaleessa käytetyt positio tunnuksat. Laboratorio koostuu pumppaussysteemistä, joka sisältää vesisäiliön, pumpun, kemikaalisäiliön, annostelupumpun, instrumentoinnin, moottoriventtiilin sekä putkiston osineen. Laboratorio on kiertopiiri, eli sama vesi kiertää säiliöstä putkiston kautta takaisin lähtösäiliöön. Laboratoriota käytetään ja valvotaan automaatiojärjestelmällä, johon myös automaation tekemät hälytykset tulevat. Lisäksi automaatiojärjestelmä tallentaa käyttödataa jokaisesta siihen kytketystä laitteesta.

Prosessi saa alkunsa, kun pumppu RA_LA-PU01 käynnistetään. Pumpun käynnistyessä moottoriventtiili RA_LA-MV01 aukeaa. Pumppua käytetään valitsemalla joko haluttu virtaama tai paine. Virtaus- ja painemittauksien avulla valvotaan pumpun tuottoa eri tilanteissa. Virtaustieto saadaan virtausmittarista RA_LA-04 ja painetieto paineanturista RA_LA-05. Pumppauksen alkaessa on 200 litran vesisäiliön pinnankorkeus noin 60 cm eli siinä on vettä noin 158 litraa. Vesisäiliön pinnankorkeutta seurataan pinnanmittausanturilla RA_LA-01.

Pumppauksen alkaessa on kemikaalisäiliössä nestettä noin 40–50 litraa. Kemikaalisäiliön pinnankorkeutta seurataan pinnanmittausanturilla RA_LA-02. Kemikaalisäiliöstä pumpataan vettä pääputkilinjaan annostelupumpulla RA_LA-PU02. Kun kemikaalisäiliön pinta laskee 15 litraan, saa säiliöiden yhdysputkessa oleva magneettiventtiili RA_LA-MG01 käskyn RA_LA-02-pinnanmittausanturilta. Tällöin magneettiventtiili RA_LA-MG01 avautuu ja kemikaalisäiliön täyttö vesisäiliöstä alkaa. Kun kemikaalisäiliön pinta saavuttaa asetun tason 40–50 litraa, magneettiventtiili sulkeutuu.

Annosteluyhde on juuri ennen staattista putkisekoitinta. Putkisekoittimen jälkeen vesi kiertää takaisin kohti vesisäiliötä. Ennen kuin vesi palaa vesisäiliöön, se kulkee paineenpitoventtiilin RA_LA-VV01 läpi.

6 KÄYTTÖÖNOTTO JA KÄYTTÖ

Laboratorion käyttöönotto alkaa säiliöiden täyttämällä. Ennen vesisäiliön täyttämistä tulee varmistaa, että tyhjennysventtiili on kiinni. Vettä lisätään noin 158 litraa, joka nostaa veden pinnan kyseisessä säiliössä noin 60 cm:iin. Vesisäiliötä ei saa täyttää kokonaan, sillä annostelupumppauksessa vesilinjan virtaa lisää vettä, joka saapuu vesisäiliöön. Kemikaalisäiliöön lisätään noin 50 litraa vettä ja mahdollisesti väriainetta testauksen vaatima määrä.

Aina ennen pumppauksen aloittamista tulee varmistaa, että imuputki ja pumpun pesä ovat täynnä vettä. Lisäksi varmistetaan, että kaikki vesilinjan venttiilit ovat auki ja haarojen venttiilit, joita ei käytetä, ovat kiinni.

Ensimmäisellä käyttökerralla pumppu täytetään seuraavalla tavalla:

- Suljetaan imu ja paineputken venttiilit.
- Irrotetaan pumpun täyttötulppa ja avataan imuputken sulkuventtiili asteittain, kunnes nestettä alkaa poistua täyttötulpasta. Tällöin suljetaan imuputken sulkuventtiili.
- Suljetaan täyttötulppa ja avataan imuputken venttiili, minkä jälkeen pumppu on valmis käytettäväksi.
- Paineputkenventtiili pidetään kiinni ja avataan hitaasti vasta, kun pumppu on käynnistynyt. Imuputken venttiiliä ei saa sulkea tai kuristaa pumppauksen aikana, sillä se muuttaa pumpun imuolosuhteita. (KSB 2017, 24–25.)

Pumppauksen alkaessa paineenpitoventtiili asetetaan auki-asentoon, jotta mahdollisilta paineiskuilta vältytään. Kun pumppaus on käynnissä, voidaan asettaa paineenpitoventtiilin vastapaine halutun suuruiseksi. Vesisäiliö ei ole paineistettu, joten ilmausta ei välttämättä tarvita. Ilmauksen voi kuitenkin tarvittaessa tehdä asentamalla letku viimeisen T-haaran venttiiliin. Letkun purkupää laitetaan esimerkiksi vesisäiliöön.

Ennen ensimmäistä käyttökertaa, annostelupumppu ilmataan seuraavalla tavalla:

- Avataan ilmausventtiiliä puoli kierrosta.
- Käytetään pumppua 100%-tilassa niin kauan, että nestettä virtaa tasaisesti ilmanpoistoletkusta ilman kuplimista, jonka jälkeen suljetaan ilmanpoistovenntiili. (Grundfos 2020, 314.)

Annostelupumppu voidaan ilmata käytön aikana myös monitoimiventtiin avulla. Putkisto ja vesisäiliö voidaan tyhjentää säiliön tyhjennysventtiilistä tai imuputken venttiilistä. Tyhjennys voidaan tehdä myös esimerkiksi pienellä uppopumpulla. Tyhjennysletku vedetään joko yläkerran tai alakerran viemäriin. Vesisäiliön vesi vaihdetaan tilanteen mukaan. Yleensä vesi vaihdetaan, kun sekoittumistesteissä käytetty variaine on värjänyt veden liian tummaksi. Putkisto voidaan myös tarvittaessa huuhdella liittämällä vesiletku johonkin yhteistä.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä suunniteltiin SIA-laboratorion mekaaninen ja konetekninen osuus. Prosessin tuli simuloida talousveden siirtopumppausta sekä desinfiointia pienessä mittakavassa. Laboratorion tarkoituksena on toimia koelustana prosessinohjausohjelmille, erilaisille laitteille sekä toimia turvallisena alustana myös vedenpumppaukseen ja käsittelyyn liittyvässä tutkimuksessa. Suunnittelutyö sisälsi prosessin suunnittelun, putkiston ja pumpun mitoituksen, laitteiden ja materiaalien valitsemisen, laskentataulukoiden, kustannusarvion ja piirustusten tekemisen. Tärkeimmät testit mittaus- ja säätötoimintoineen kuvailtiin Grundfoss DDA -annostelupumpulle, siirtopumppaukselle ja putkistolle. Enemmän sähkö- ja automaatioalaan kuuluvat muut mahdolliset testit kuvailtiin myös lyhyesti.

SIA-laboratorioon valittiin yleisimmät TSV:n käyttämät laitteet ja materiaalit, jotta asennus, käyttö ja testien tekeminen olisi mahdollisimman helppoa ja tarkoituksenmukaista. Laboratorio simuloi hyvin myös TSV:n osaprosesseja ja sen avulla käy ilmi yleisesti käytössä olevien laitteiden toiminta, joten se toimii myös hyvänä alustana esimerkiksi uusien työntekijöiden opastamisessa.

Erilaisten koelaboratorioiden ja laitteistojen suunnittelu on aina tapauskohtaista, joten mitään yleisiä ohjeita niihin ei ole. Koelaboratoriot tuleekin suunnitella niin, että ne ajavat asiansa kyseiseen tai kyseisiin tarkoituksiin. Laboratorion suunnittelussa huomioitiin tulevaisuutta silmällä pitäen myös laajennusmahdollisuudet. Useat venttiilit ja PVC-U-putken modulaarinen rakenne mahdollistavat putkiston muokkauksen, jos esimerkiksi mittauksia tai kemikaalinsyöttöyhteitä halutaan lisätä.

Opinnäytetyöstä yritys sai SIA-laboratorion suunnitelman ja myös kuvailua siitä, miten testausta on mahdollista suorittaa. Tätä suunnitelmaa voidaan myöhemmin myös jatkojalostaa, sillä tämänkaltaisen laboratorion mahdollisuudet ovat laajat ja kehitysideoita varmasti riittää. Laboratorion avulla voidaan tutkia uusia menetelmiä sekä kehittää yrityksen toimintaa.

LÄHTEET

ABB 2011. Pehmökäynnistinopas. Viitattu: 28.2.2021. https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%201FI12_01.pdf

AUMA n. d. Sähkötoimilaitteet teollisuusventtiilien automaatioon. Viitattu 5.3.2021. Saatavilla osoitteesta: https://www.auma.com/fi/dokumentit/?no_cache=1

AUMA n. d. AUMA Assistant-sovellus. Viitattu 20.12.2020. <https://www.auma.com/fi/service-support/ladattava-ohjelmisto/auma-assistant-sovellus/?folder=3&cHash=c4979cd3e62fa90b95e513a60e52a2b7>

Bergius, O.; Blomsten, B.; Hedenfalk, L.; Jonsson, A.; Kempe, S.; Nilsson, E.; Pegert, G.; Ullgren, S. & Wennström, L. 1978. Pumpputekniikka, Nesteiden pumppaus. Kääntänyt: Ahti, L. Helsinki: Insinööritieto Oy.

Endress+Hauser 2017. Cerabar T PMC131, PMP131, PMP135 Technical Information. Viitattu 5.11.2020. https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/7706/000/08/TI00415PEN_2017.pdf

GF Piping Systems 2019. Instruction manual. Pressure Retaining Valve Type V86 / V186 / V786. Viitattu 27.2.2021. Saatavilla osoitteesta: https://www.gfps.com/appgate/ecat/common_flow/10002S/UK/en/109392/109474/109478/109480/P104024/product.html

GF Piping Systems 2019. Planning Fundamentals. Industrial Piping Systems. Design and Installation. Viitattu 17.1.2021. <https://www.gfps.com/content/dam/gfps/planning-fundamentals/gfps-planning-fundamentals-industry-design-installation-en.pdf>

GF Piping Systems 2020. PVC-U System. Viitattu 12.2.2021. <https://www.gfps.com/fi/en-fi/products-solutions/systems/pvc-u.html>

GF Piping Systems n. d. When the level matters. Viitattu 12.2.2021. https://www.gfps.com/int/en/products_and_solutions/innovation-technology/when-the-level-matters.html

Grundfos 2020. DDA. Viitattu 3.1.2021. <https://product-selection.grundfos.com/fi/products/dosing-pumps-digital/dda/dda-75-16-97722031?tab=variant-specifications&pumpsystemid=1178416789>

Grundfos 2020. SMART Digital S - DDA up to 30 l/h. Installation and operating instructions. Viitattu 20.12.2020. Saatavilla osoitteesta: <https://product-selection.grundfos.com/fi/products/dosing-pumps-digital/dda/dda-75-16-97722031?tab=documentation&pumpsystemid=1170576015>

Grundfos 2016. PUMP HANDBOOK. Viitattu 23.2.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.grundfos.com/fi/learn/research-and-insights/get-the-pump-handbook>

Imatex Finland Oy n. d. Technical data. IMAMIX Static Mixers. Viitattu 23.2.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://imatex.fi/esitteet/>

Jiang, L.; Shao, Yu.; Shen, C.; Yang, J. & Yu, T. 2014. Experimental testing and modeling analysis of solute mixing at water distribution pipe junctions. Water research, volume 56, 1 June 2014, 133-147. Viitattu 26.10.2020. <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.turkuamk.fi/science/article/pii/S004313541400181X>

Kesti, M. 1992. Teollisuusputkistot. Helsinki: VAPK-kustannus, opetushallitus.

KSB 2020. Pump test facility. Viitattu 26.10.2020. <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/pump-test-facility/191216/>

KSB 2017. Multistage Horizontal Centrifugal Pump. Comeo. Installation/Operating Manual. Viitattu 3.3.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.ksb.com/fi-fi/lc/products/pumppu/kuiva-asenteinen-pumppu/comeo/C11A>

KSB 2016. Multistage Horizontal Centrifugal Pump. Comeo. Type Series Booklet. Viitattu 3.3.2021. Saatavilla osoitteesta: <https://www.ksb.com/fi-fi/lc/products/pumppu/kuiva-asenteinen-pumppu/comeo/C11A>

KSB 2005. Selecting Centrifugal Pumps. Viitattu 23.2.2021. <https://www.ksb.com/blob/52818/2f87b1fd260f81ed17fc6731e173b886/auslegung-en-data.pdf>

Labkotec Oy n. d. Virtausmittausmenetelmät. Viitattu 5.11.2020. <https://www.labkotec.fi/fi/tuotteet/virtausmittaus/virtausmittausmenetelmat>

Motiva 2011. Energiatehokkaat pumput. Viitattu 28.2.2021. https://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf

Mäkelä, V. 2019. Pumpaustekniikka. Opintomateriaalia osa 1, pumput. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu Oy.

Pihkala, J. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. Vantaa: Opetushallitus.

PSK 2620. TEOLLISUUDEN KONE- JA LAITOSHANKINNAT. TEKNISET ASIAKIRJAT. RYHMITTELY. KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT. Helsinki: PSK Standardisointi.

PSK 3602. PI-KAAVION TIETOSISÄLTÖ. Helsinki: PSK Standardisointi.

PSK 3603. PI-KAAVION ESITYSTAPA JA MERKITSEMISOHJE. Helsinki: PSK Standardisointi.

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

RIL 124-2-2004. Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 237-2-2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. Mitoitus ja suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Siemens 2019. SITRANS F. Electromagnetic flowmeters SITRANS FM MAG 1100/1100 F. Operating Instructions. Viitattu 20.12.2020. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109778048/sitrans-fm-mag-1100-1100-f?dti=0&pnid=17318&lc=en-WW>

Sivonen, M. 1995. Teollisuuden instrumentointi. Helsinki: Painatuskeskus.

SFS 5059. Instrumentointi. Instrumenttien sijoittaminen prosessiin. Helsinki: Suomen standardisointiliitto.

SFS-EN ISO 10628-1 2015. Diagrams for the chemical and petrochemical industry. Part 1: specification of diagrams. Helsinki: Suomen standardisointiliitto.

Turun Seudun Vesi Oy. Toiminta. Viitattu 4.10.2020 <https://turunseudunvesi.fi/fi>

Vesilaitosyhdistys 2012. Vesilaitostekniikka ja hygienia. Vesilaitoksen julkaisusarja nro 51. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Voonks Engineering n. d. Palvelut. Viitattu 7.3.2021. <http://www.voonks.com/palvelut/>

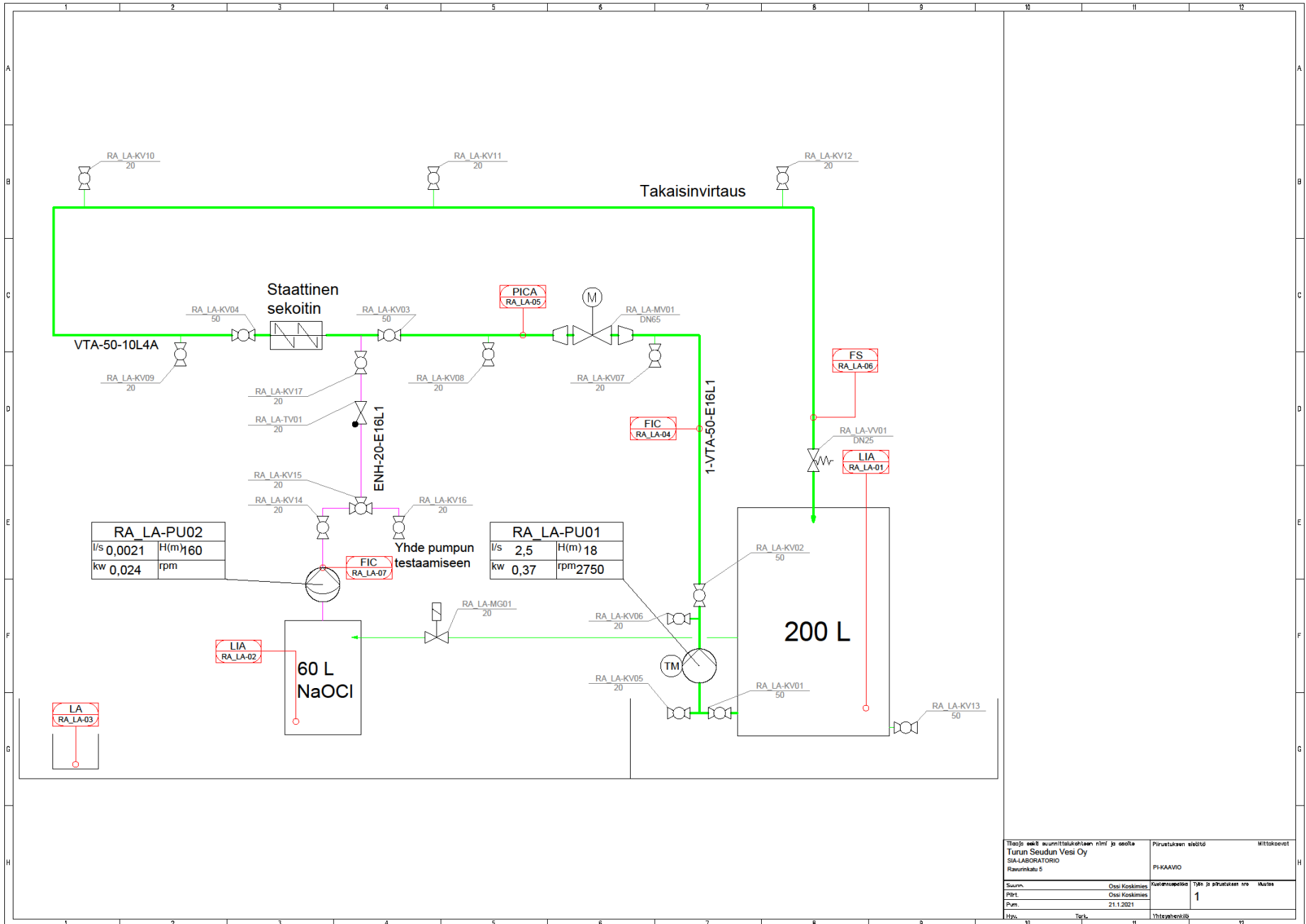
Wikimedia Commons 2008. File: Centrifugal pump en.svg. Viitattu 12.2.2021. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centrifugal_Pump_en.svg

Wikimedia Commons 2017. File: Moody EN.svg. Viitattu 12.2.2021. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moody_EN.svg?uselang=fi

Wirzenius, A. 1969. Keskipakopumput. Tampere: Kustannusyhtymä.

YTM-INDUSTRIAL Oy n. d. Paineanturi PCM-1. Viitattu 5.11.2020. <https://www.ytm.fi/tuotteet/prosessiteknikka/paine-ja-lampotila-anturit-sens4/paineanturi-pcm-1/>

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

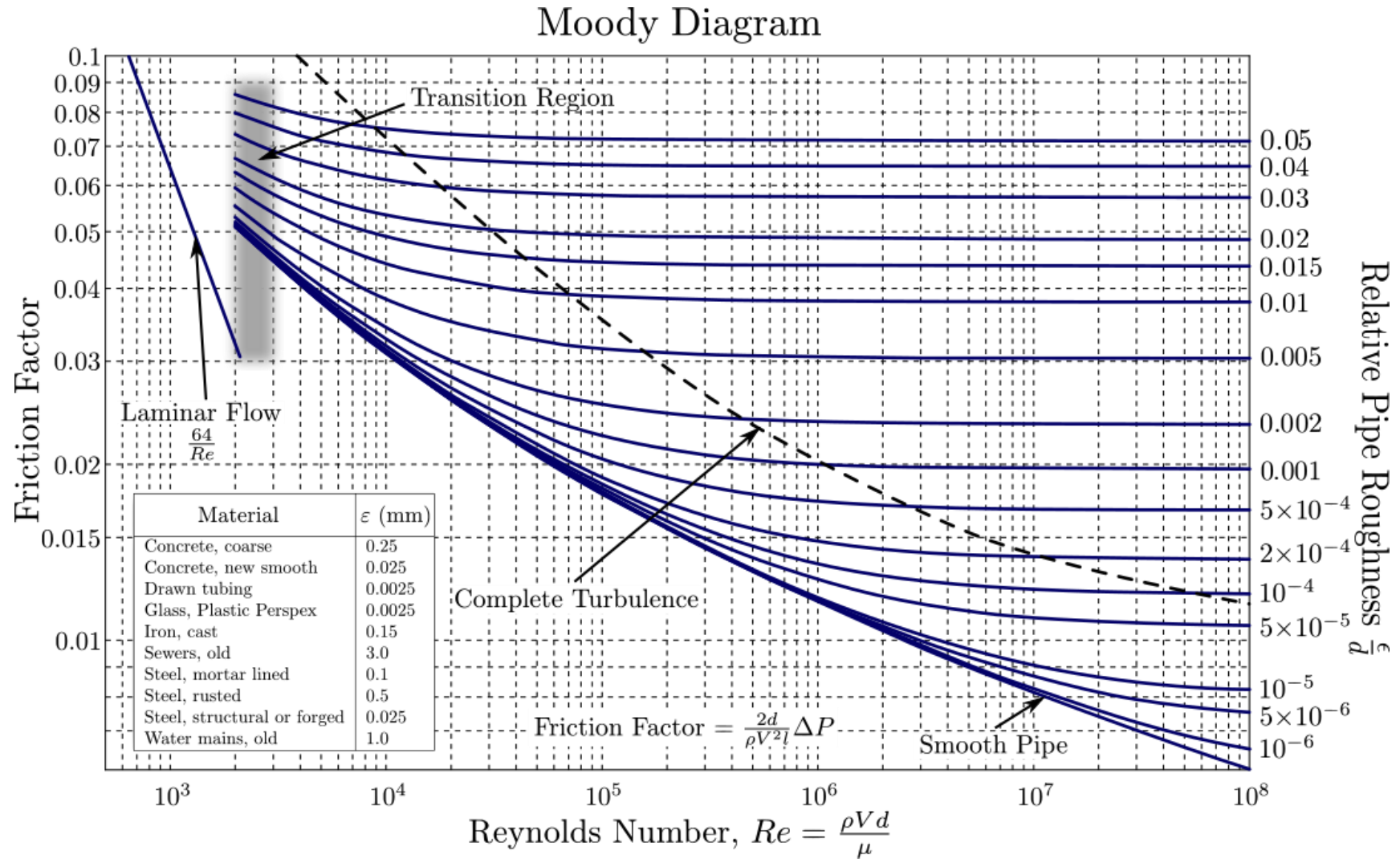


PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Tilaaja: Oulun seuran vesi- ja jätevesi- ja viemäri- ja saneeraus osasto Turun Seudun Vesi Oy SALISÄÄTIÖTIE Ravunkatu 5		Piirustuksen sisältö PI-KAAVIO	Mittakaava 1:1
Suunn. Ossi Koskimies	Tarkentanut Ossi Koskimies	Työn tilaajan nimi	Muutos
Päiv. 21.1.2021		1	
Hv.	Tekj.	Yhteystietojen	



Mitoitustietoja	
Selite	Arvo
Suurin tilavuusvirta, Q (m ³ /h)	9
Suurin tilavuusvirta, Q (m ³ /s)	0,0025
Suurin tilavuusvirta, Q (l/s)	2,5
Veden kinemaattinen viskositeetti +20°C lämpötilassa, ν (m ² /s)	0,000001
Veden tiheys, ρ (kg/m ³)	998
Veden höyrystymispaine +20°C, Pd (Pa)	2 337
Paine imusäiliössä = ilmanpaine, Pb (Pa)	100000
Vaadittu sisähalkaisija paineputki (m)	0,038
Vaadittu sisähalkaisija imuputki (m)	0,045
PE100 d50 PN16 putken sisähalkaisija (m)	0,0408
PVC-U d50 PN 10 putken sisähalkaisija (m)	0,0452
Virtausnopeus PE100 putkessa kun Q=max (m/s)	1,91218
Virtausnopeus PVC-U putkessa kun Q=max (m/s)	1,55802
Uuden muoviputken karheus, k (mm)	0,01
Reynoldsin luku PE100	77 520
Reynoldsin luku PVC-U	70 512
Kitkakerroin λ	0,019

Kertavastuskertoimet	
Osa	ξ
Kulma 90°	1
Kulma 45°	0,3
Supistus 50 - 32	0,4
Supistus 75-50	0,4
Supistus 50 - 40	0,35
Laajennus 32-50	0,6
Laajennus 50-75	0,6
Kumiluistiventtiili	0,4
T-haara	0,5
Putkeen tulo	0,5
Putkesta tulo	1
Liitos	0,4

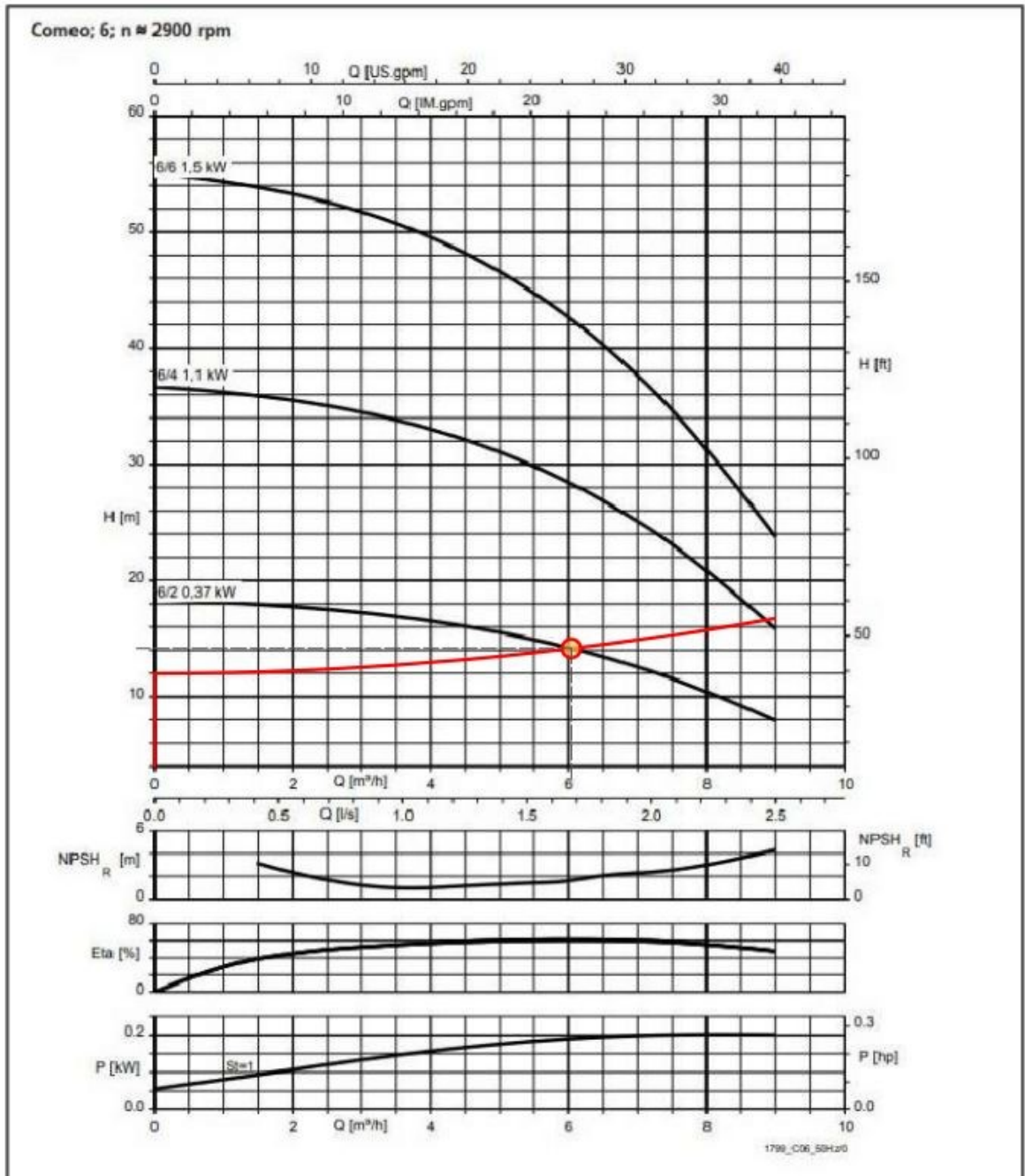
Valmistajien ilmoittamat painehäviöt	
Varuste	Pa
GF palloventtiili	900
Siemens virtausanturi	320
Putkisekoitin	15000

Suorat putkiosuudet	m
Imuputki PVC-U	0,5
Paineputki PE100	1,2
Paineputki PVC-U	4

Putkiston painehäviöt	
Imuputki PVC-U	
Kertavastusten painehäviö (Pa)	2397,7
Kitkapainehäviöt (Pa)	252
Varusteet (Pa)	900
Imuputki PVC-U yht. (Pa)	3550
Paineputki PE100	
Kertavastusten painehäviö (Pa)	8646,7
Kitkapainehäviöt (Pa)	1007
Varusteet (Pa)	1220
Paineputki PE100 yht. (Pa)	10873,7
Paineputki PVC-U	
Kertavastusten painehäviö (Pa)	12468
Kitkapainehäviöt (Pa)	2015,8
Varusteet (Pa)	16800
Paineputki PVC-U yht. (Pa)	31283,8
Painehäviöt yht. (Pa)	45707,2
Painehäviöt yht. korkeutena (m)	4,67

NPSH	
Lähtötiedot	
Pb (Pa)	100000
Pd (Pa)	2337
g (m/s ²)	9,81
ρ (kg/m ³)	998
Hgeo (m)	0,5
Hsv (m)	0,362
NPSHr (m)	4,2
Varmuuskerroin (m)	1
Tulos	
NPSHa (m)	10,1
Ei kavitoitiriskiä: 10,1 m > 5,2 m	

Putkiston ominaiskäyrän pisteet				
k-kerroin	0,7472			
m ³ /h	m ³ /s	l/s	l/s ^2	H (m)
9	0,0025	2,50	6,25	4,67
8,5	0,0024	2,36	5,57	4,17
8	0,0022	2,22	4,94	3,69
7,5	0,0021	2,08	4,34	3,24
7	0,0019	1,94	3,78	2,83
6,5	0,0018	1,81	3,26	2,44
6	0,0017	1,67	2,78	2,08
5,5	0,0015	1,53	2,33	1,74
5	0,0014	1,39	1,93	1,44
4,5	0,0013	1,25	1,56	1,17
4	0,0011	1,11	1,23	0,92
3,5	0,0010	0,97	0,95	0,71
3	0,0008	0,83	0,69	0,52
2,5	0,0007	0,69	0,48	0,36
2	0,0006	0,56	0,31	0,23
1,5	0,0004	0,42	0,17	0,13
1	0,0003	0,28	0,08	0,06
0,5	0,0001	0,14	0,02	0,01
0	0,0000	0,00	0,00	0,00



SIA-laboratorion osat ja laitteet
Putkisto
PE100 PUTKI MUSTA d50X4,6MMX6M SDR11
PE100 PUTKI MUSTA d20X2MMX6M SDR11
GF PVC-U PUTKI TRANSPARENT d50X2,4MMX5M PN10
GF PVC-U PUTKI HARMAA RAL7011 d40X1,9MMX5M PN10
GF PVC-U PUTKI HARMAA RAL7011 d50X2,4MMX5M PN10
GF PE100 VENTTIILIN KAULUS 546 d50 -DN40 SDR11 PITKÄ NIPPA
TP PVC-U KULMA 90° d50 PN16
AGRU PE100 KULMA 90° d50 SDR11 SÄHKÖHITS.
AGRU PE100 KULMA 90° d20 SDR11 SÄHKÖHITS.
AGRU PE100 MUHVI d50 SDR11 SÄHKÖHITS.
AGRU PE100 T-YHDE 90° d50 SDR11 SÄHKÖHITS.
GF PVC-U SUP.T-YHDE 90° d50 -d20 -d50 PN16
GF PVC-U SUPISTUS LYHYT d50 -d40 PN16
AGRU PE100 KULMA 45° d50 SDR11 SÄHKÖHITS.
GF PE100 VENTTIILIN KAULUS 546 d20 -DN15 SDR11 PITKÄ NIPPA
GF PVC-U 3-TIE VAAKA T 543 d20 -DN15 EPDM PN10 MUHVI
GF PVC-U PUTKI HARMAA RAL7011 d20X1,5MMX5M PN16
GF PVC-U PALLOVENTTIILI 541 d20 -DN15 EPDM PN16 MUHVI
GF PVC-U PALLOVENTTIILI 541 d50 -DN40 EPDM PN16 MUHVI
GF PVC-U TAKAISKUVENTTIILI 561 d20 - DN15 EPDM PN16 EI JOUSTA MUHVI
GF PVC-U SÄILIÖLIITIN 050 d50 -d63 EPDM
GF PVC-U /SS 1.4404 YHDISTÄJÄ d40 -11/4" UK EPDM PN16
AGRU PE100 MUHVI d20 SDR11 SÄHKÖHITS.
GF PVC-U PUTKI HARMAA RAL7011 d32X2,4MMX5M PN16
TP PVC-U SUPISTUS LYHYT d50 -d32 PN16
TP PVC-U KULMA 45° d50 PN16
TP PVC-U KULMA 45° d40 PN16
PRO-FIT PVC-U SUPISTUS d50 -d63 -d32 -d40 PN16
AGRU PE100 RC SUPISTUS d50 -d32 SDR11 SÄHKÖHITS.
AGRU PE100 RC SUPISTUS d75 -d50 SDR11 SÄHKÖHITS.
PRO-FIT PVC-U SUPISTUS d50 -d63 -d40 -d50 PN16
AGRU PE100 RC KAULUS PITKÄ d75 SDR11
AGRU PE100 RC KAULUS PITKÄ d32 SDR11
GF PVC-U LAIPPA d75-DN65 -21/2" PN10
GF PVC-U LAIPPA d32-DN25 -1" PN10
TP PVC-U JATKOSMUHVINIPPA d32 -d40 -1" UK PN16
GF PVC-U /MESS. YHDISTÄJÄ d50 -11/2" SK EPDM O-R. PN16
TP PVC-U SUPISTUS LYHYT d50 -d40 PN16
AGRU PE100 RC /MESS. MUUNNOSLIITIN PITKÄ d50 -11/2" UK
AGRU PE100 RC SUPISTUS d50 -d25 SDR11 SÄHKÖHITS.
GF PVC-U PALLOVENTTIILI 541 d25 -DN20 EPDM PN16 MUHVI
GF PE100 VENTTIILIN KAULUS 546 d25 -DN20 SDR11 PITKÄ NIPPA
GF PVC-U KAULUS d75 URITETTU/SILEÄ PN16
PRO-FIT PVC-U SUPISTUS d63 -d75 -d40 -d50 PN16
GF EPDM TASOTIIVISTE A d75 -DN65 PN10
Kannakkeet
Paineenpitoventtiili GF V 786 DN 25 Liimanipat de 32 mm
Staatinen putkisekoitin Imamix DN40/d50 PN10 type K4 PVC
Pumput
Pumppu: KSB Comeo G 1006/02-A4A31FS071E5OW
Annostelupumppu: Grundfos DDA 7.5-16 FCM-PV/T/C-F-31U2U2FG
Instrumentit
Virtausanturi: SIEMENS SITRANS F M MAG 1100 7ME61102DA202AA1 DN 25
Paineanturi: Endress + Hauser CERABAR T PMC131-A12F1A1R
Pinta-anturi: Hyxo Oy STS PTM/N
Pinta-anturi: HAENNI ED 550/311.271/126
Pintakytkin: Endress + Hauser LIQUIPOINT T FTW31-A1A2AA4A
Virtauskytkin: efactor 300 SF3200 SFR12ABB
Asennuslevy ja kehikko
K-Rauta RIMA PROF 48X48 MITALLISTETTU
K-Rauta LANKKU PROF 47X100 VS/VL VAJAASÄRMÄ
K-Rauta HAVUVANERI TUONTI C+/C 9X2400X1200MM CE2+
Säiliöt ja varoaltaat
Hyxo Oy Umpinainen säiliö kierrekorkki Ø 150 mm 200L
Säiliö 60 L
Akryyllilevy Keraplast 1x1 m 3,0 mm kirkas
VESISAAVI ORTHOX 65L TUMMANHARMAA
SADEVESISÄILIÖ 500 L
Moottoriventtiili
Sähkötoimilaitte Auma SA 07.5-F10
Sähkötoimilaitteen ohjausyksikkö Aumatic AC 01.1
AVK laippaventtiili toimilaitteelle DN65