

Juha Jyrkkä

TULVAPUMPPAAMON SANEERAUSSUUNNITTELU

Etelä-Pohjanmaan ELY

Opinnäytetyö

CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2016

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Kokkola-Pietarsaari	Aika Toukokuu 2016	Tekijä/tekijät Juha Jyrkkä
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi TULVAPUMPPAAMON SANEERAUSSUUNNITTELU		
Työn ohjaaja Ilkka Rasehorn	Sivumäärä 71+6	
Työelämäohjaaja Tommi Mäki		
<p>Tämän työn tarkoituksena oli tutkia Etelä-Pohjanmaan ELY:lle Kyrönjoen tulvapumppaamojen saneerauksien suunnittelussa tarvittavia mitoituksien, ominaisuuksiin ja valintaan liittyviä asioita. Työssä tarkasteltiin keskisuuria tulvapumppaamoita, joiden pumput ovat laskennallisen elinkaaren puolessa välissä. Pumppaamoiden lukumäärästä johtuen saneeraushankkeiden kustannuksien kokonaisvaikutus sekä hankkeiden läpimenoaika on merkittävä ja siten saneeraussuunnittelu on aloitettava ajoissa.</p> <p>Työssä selvitettiin käytössä olevien Sarlin tulvapumppujen toimintapistettä Kyrönjoen vaihtelevilla pinnankorkeuksilla. Selvityksen tuloksena huomattiin toimintapisteen sijaitsevan muulloin kuin tulvakorkeuksilla pumpun toiminnan kannalta epäedullisella alueella tuotto/nostokorkeus-käyrällä, jossa värinä ja kavitaation riski lisääntyvät ja pumppujen hyötysuhteet laskevat.</p> <p>Kyrönjoen tulvapumppaamoita on saneerattu aikaisemmin kolme kappaletta, ja työssä tutkittiin näillä pumppaamoilla olevien uusien pumppujen soveltuvuutta korvaaviksi pumpuiksi keskisuuriin pumppaamoihin. Työssä suunniteltiin periaatteellinen ratkaisumalli, jonka mukaan saneeraus olisi mahdollista toteuttaa ja toimintapisteen epäedullinen sijainti normaalikäytössä ratkaistua. Olosuhteet pumppaamoilla vaihtelevat ja lopullinen mitoitus on tehtävä pumppaamokohtaisesti ja tämä työ toimii lähtökohtana mitoitukselle. Tässä työssä esille tulevia asioita ja periaatteita voidaan soveltaa myös Kyrönjoen pienien tulvapumppaamoiden saneeraussuunnittelussa.</p>		

Asiasanat

mitoitus, pumput, saneeraus, toimintapiste

ABSTRACT

Unit Kokkola-Pietarsaari	Date May 2016	Author/s Juha Jyrkkä
Degree programme Mechanical Engineering and Production Technology		
Name of thesis Reorganisation planning of the flood pumping station		
Instructor Ilkka Rasehorn		Pages 71+6
Supervisor Tommi Mäki		
<p>The purpose of this thesis was to study matters needed in the planning of the reorganisations of the flood pumping stations of Kyrönjoki which are related to dimensioning, properties and choice for the ELY of South Ostrobothnia. Medium-sized flood pumping stations who are in the middle of the lifecycle were examined for the work. Due to the number of pumping stations the general effect of the costs of reorganisation projects and the turnaround time of projects is significant and the reorganisation planning must be begun in time.</p> <p>The thesis investigated the operating point of the flood pumps in use at the different levels of Kyrönjoki. It was noticed as a result that the operating point was located in a disadvantageous area for the functioning of the pump on a Q/H curve in which the shivering and the risk of the cavitation increase and the efficiency rate of the pumps is decreased.</p> <p>Three of the flood pumping stations of Kyrönjoki have been renovated earlier and the thesis work examined the pumps which will replace the new pumps of these pumping stations to medium-sized pumping stations. A theoretical solution for the reorganisation and the disadvantageous location of the pump was designed during the thesis work. Conditions vary at the pumping stations and the dimensioning must be specific to pumping station and this thesis work serves as the starting point to the dimensioning. Matters and principles which have emerged in this thesis work can be applied also in the reorganisation planning of the small flood pumping stations of Kyrönjoki.</p>		

<p>Key words Dimensioning, pumps, reorganisations, operating point</p>

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 VESISTÖRAKENTEET	3
2.1 Etelä-Pohjanmaan ELY	3
2.2 Vesistörakenteet	4
2.3 Kyrönjoen vesistöjärjestelyt	4
2.4 Kyrönjoen yläosan järjestelyt	6
3 TULVAPUMPPAAMOT	7
4 PUMPUT JA PUTKISTOT	10
4.1 Pääyhtälö	10
4.2 Nostokorkeus	10
4.3 Ominaiskäyrät	11
4.3.1 Q/H-käyrä	12
4.3.2 Tehontarve ja hyötysuhde	13
4.4 Häviöt	14
4.4.1 Siipikerroin k	14
4.4.2 Kitkahäviöt H_f	14
4.4.3 Sysäyshäviöt H_s	14
4.4.4 Vuotohäviöt	15
4.4.5 Muuthäviöt	15
4.5 Affiniteettisäännöt	15
4.6 Putkistot	16
4.6.1 Putkistohäviöt	16
4.6.2 Kitkahäviöt	17
4.6.3 Paikallisvastukset	18
4.6.4 Putkiston ominaiskäyrä	19
4.7 Toimintapiste	20
4.8 Kavitaatio ja NPSH	21
4.8.1 Kavitaatio	21
4.8.2 NPSH	22
5 PUMPPUTEKNIikka	23
5.1 Pumpputyypit	23
5.1.1 Aksiaalipumput	24
5.1.2 Keskipakopumput	26
5.2 Pumppujen säätömenetelmät	28
5.2.1 Kuristussäätö	28
5.2.2 On-Off-säätö	29
5.2.3 Ohivirtaussäätö	29
5.2.4 Kierroslukusäätö	29
5.2.5 Pumppujen rinnan- ja sarjakytkentä	30
6 PUMPPAAMON SANEERAUSSUUNNITTELU	32

7 PUMPPAAMON ELINKAARI	33
8 PUMPPAAMON KÄYTTÖ	35
8.1 Lähtötiedot	35
8.2 Keski suurien pumppaamoiden käyttö	36
9 NYKYINEN TOIMINTAPISTE	39
9.1 Geodeettinen nostokorkeus	39
9.2 Käytössä olevien pumppujen Q/H-käyrä	42
9.3 Putkiston ominaiskäyrä	43
9.4 Pumppujen ominaiskäyrä	47
10 SANEERAUSRATKAISUT	51
10.1 Pumpputyypit	51
10.2 Purkuputkisto	51
10.3 Taajuusmuuttajakäyttö	53
10.4 Anturointi ja kunnonvalvonta	54
10.5 Saneerausmalli	56
11 PUMPPUVERTAILU	58
11.1 KSB-Pumput	58
11.2 Kuiluputken ominaiskäyrä	59
11.3 Toimintapistet	63
11.4 Energiatarkastelu	65
12 YHTEENVETO	69
LÄHTEET	71
LIITTEET	
Liite 1. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, päävesistöt ja säännöstellyt järvet	
Liite 2. Kyrönjoen vesistöalue	
Liite 3. Kyrönjoen yläosan vesistörakenteet ja pengerrysalueet	
Liite 4. Kyrönjoen yläosan pumppaamot	
Liite 5. Moodyn käyrästä	
Liite 6. KSB kuiluputkiston asennustavat	
KUVIOT	
KUVIO 1. Pumppaamon yleispiirustus	7
KUVIO 2. Sarlin SA 658potkuripumppu	8
KUVIO 3. Pumppujen sijoittelu, Munakan pumppaamo	9
KUVIO 4. Keskipakopumpun ominaiskäyrästä	12
KUVIO 5. Häviöiden vaikutus nostokorkeuteen	13
KUVIO 6. Pinnankarheuksia eri putkimateriaaleille	18
KUVIO 7. Putkiston ominaiskäyrä	20
KUVIO 8. Pumpun toimintapiste	20
KUVIO 9. Keskipakopumpun toimintapisteen vaikutus	21
KUVIO 10. Pumpputyypien toiminta-alueet	24
KUVIO 11. Aksiaalipumpun juoksupyöriä	25

KUVIO 12. Potkuriuppopumppu	26
KUVIO 13. Keskipakopumpun juoksupyöriä	27
KUVIO 14. Keskipakouppopumppu	28
KUVIO 15. Toimintapiste pumppujen rinnankytkennässä	30
KUVIO 16. Toimintapiste pumppujen sarjakytkennässä	31
KUVIO 17. Saneeraussuunnittelun osatekijät	32
KUVIO 18. Kyrönjoen pinnankorkeudet mitta-aseilla	40
KUVIO 19. Kyrönjoen pinnankorkeudet pysyvyyskäyrä	40
KUVIO 20. Seinänsuun pumppaamon pinnankorkeudet pysyvyyskäyrä	41
KUVIO 21. Kitinojan pumppaamon pinnankorkeudet pysyvyyskäyrä	41
KUVIO 22. Sarlin SA 658 Q/H-käyrä ja hyötysuhdekäyrä	42
KUVIO 23. Sarlin SA 4510 Q/H-käyrä ja hyötysuhdekäyrä	43
KUVIO 24. Sarlin SA 658 ominaiskäyrät	48
KUVIO 25. Sarlin SA 4510 ominaiskäyrät	49
KUVIO 26. Kuiluputkiasennuksen periaate, avoin imukammio	53
KUVIO 27. Nostokorkeuden vaikutus kierroslukusäädön hyötysuhteeseen	54
KUVIO 28. Anturien sijainti aksiaaliuppopumpussa	56
KUVIO 29. Pumppaamon kuiluputkisaneerausperiaate	57
KUVIO 30. KSB-pumppujen ominaiskäyrät $Q_{nim}=1,0m^3/s$	64
KUVIO 31. KSB-pumppujen ominaiskäyrät $Q_{nim}=0,6m^3/s$	64
KUVIO 32. KSB Amacan 600-350/604 käyrät	66
KUVIO 33. KSB Amacan 700-470/476 käyrät	66
KUVIO 34. KSB Amacan 800-540/806 käyrät	67
KUVIO 35. KSB Amacan 700-470/1006 käyrät	67

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Aksiaalipumpun juoksupyörien tilavuusvirta/nostokorkeus-alueet	25
TAULUKKO 2. Keskipakopumpun juoksupyörien tilavuusvirta/nostokorkeus-alueet	27
TAULUKKO 3. Pumppujen keskimääräinen käyttöaste 2010-2014	37
TAULUKKO 4. Pumppujen käyttötunnit 2010-2014	38
TAULUKKO 5. Pumppujen käytön keskimääräiset tunnusluvut	38
TAULUKKO 6. Putkiston dynaamiset nostokorkeudet	47
TAULUKKO 7. Sarlin SA 658 toimintapisteiden arvot	48
TAULUKKO 8. Sarlin SA 4510 toimintapisteiden arvot	49
TAULUKKO 9. Uppopumpun kunnonvalvonta-anturit	55
TAULUKKO 10. KSB Amacan-pumput	58
TAULUKKO 11. Kuiluputken rakenneosien paikallisvastukset	59
TAULUKKO 12. Kuiluputkistojen dynaamiset korkeudet	63
TAULUKKO 13. KSB Amacan-pumppujen toimintapisteiden arvot	65
TAULUKKO 14. Nimellistuotoltaan $1,0m^3/s$ pumppujen energiavertailu	68
TAULUKKO 15. Nimellistuotoltaan $0,6m^3/s$ pumppujen energiavertailu	68

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen ympäristö ja luonnonvarat vastuualueelle. Etelä-Pohjanmaan ELY toimialueella on 1960-luvulta lähtien rakennettu paljon valtion ylläpitämiä vesistö rakenteita. Vesistö rakenteiden tarkoituksena on alueen vesistöjen säännöstely ja tulvasuojelu. Alueen vesistöistä Kyrönjoki on erityisen tulvaherkkä, ja tulvien hallitsemiseksi joen vesistöihin on toteutettu useita järjestelyhankkeita. Yksi isoimmista hankkeista on ollut Ilmajoen ja Vähänkyrön välillä olevan Kyrönjoen yläosan pengertäminen joen molemmin puolin ja pengerrysalueiden toteuttaminen tulvavesien varastoimiseksi. Penkereisiin on tehty luokkuja tulvavesien päästämiseksi pengerrysalueelle sekä pumppaamoita tulvavesien pumppaamiseksi takaisin Kyrönjokeen.

Tulvapumppaamoita on Kyrönjoen yläosalle rakennettu 22 kappaletta, jotka ovat perusrakenteeltaan samanlaisia, mutta eroavat pumppauskapasiteetiltaan ja pumppujen lukumäärältään. Pumppaamot voidaan ryhmitellä isoihin, keskisuuriin ja pieniin pumppaamoihin. Pumput ovat olleet toiminnassa yli 20-vuotta ja elinkaaren hallitsemiseksi on saneeraussuunnittelu aloitettava ajoissa, jotta saneeraushankkeiden rahoitus saadaan järjestettyä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli muodostaa lähtökohta saneeraussuunnittelulle ja luoda näkemys siitä, miten saneeraukset voidaan toteuttaa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää saneerauksessa huomioon otettavia asioita. Vanhimmat pumppaamot, kolme kappaletta on saneerattu yksittäisinä hankkeina aikaisemmin, johtuen niiden erilaisista rakenteista ja nämä hankkeet toimivat myös lähtökohtana työn tekemiselle. Työssä suunnittelun lähtökohdaksi muodostui nykyisten pumppujen toimintapisteiden selvittäminen Kyrönjoen vaihtelevilla pinnankorkeuksilla. Jatkoselvityksenä tuli korvaavien pumppujen selvitys ja soveltuvuuden tutkiminen. Koska pumppujen lopullinen mitoitus ja valinta jää hankkeissa käytävien tarjouskilpailuissa valitun toimittajan tehtäväksi, tutkittiin työssä aikaisemmissa saneerauksissa käytettyjen pumppujen soveltuvuutta.

Työn rajaamiseksi tarkastelun kohteeksi otettiin Kyrönjoen keskisuuret pumppaamot, joita on 10 kappaletta ja yksi suuri pumppaamo, jonka pumput ovat samanlaisia kuin keskisuurien

pumppaamoiden pumput, lukumäärän ollessa suurempi. Työn alussa on käyty pumppujen ja putkistojen mitoittamiseen liittyvää teoriaa sekä tulvakäyttöön soveltuvien pumppujen rakennetta ja ominaisuuksia. Nykyisten käytössä olevien pumppujen toimintapistettä ja käyttöä tutkittiin käymällä läpi pumppaamojen ja mitta-asemien kaukovalvontajärjestelmän tietokantoja. Käyttöselvityksen ja geodeettisen nostokorkeuden vaihtelun tutkimisen jälkeen tutkittiin Kyrönjoen saneeratuilla pumppaamoilla käytössä olevien aksiaalipumppujen soveltuvuutta keskisuuriin pumppaamoihin ja laadittiin periaatteellinen saneerausmalli näillä pumpuilla. Viimeisenä vaiheena tehtiin suuntaa-antava energiavertailu vanhojen ja uusien pumppujen välillä, jossa myös tarkasteltiin kierroslukusäädön vaikutusta uusilla pumpuilla.

2 VESISTÖRAKENTEET

Pohjanmaan maakuntien tasainen maaperä ja alueen vähäjärvisyys, joka on 4 % ja on pieni suhteessa maakunnan pinta-alaan, nostavat tulvariskejä Etelä-Pohjanmaan ELY alueella. Lumien sulamisvesille sekä rankkasateiden vesimassoille ei löydy luonnollista varastointitilaa. Tulvariskien ja -vahinkojen pienentämiseksi Etelä-Pohjanmaan ELY-alueella on toteutettu lukuisia vesistöjärjestelyhankkeita, jotka pääosin on toteutettu 60-luvulla. Osassa hankkeita on saatu myös hyötyä vesivoimantuotannon kautta. Tänä päivänä myös hankkeiden merkitys vesistöjen virkistyskäyttömahdollisuuksille on merkittävä. (Saari 2013, 3.)

2.1 Etelä-Pohjanmaan ELY

Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus perustettiin 2010, kun valtion eri alueellisten virastojen toimintoja yhdistettiin. Tällöin siitä tuli yksi 13 alueellisesta ELY-keskuksesta. Etelä-Pohjanmaan ELY toiminta-alue muodostuu Etelä-Pohjanmaan, Keski-Pohjanmaan sekä Pohjanmaan maakuntien alueesta ja käsittää maantieteellisesti vanhan Vaasan-läänin alueen ja on pinta-alaltaan 26214km². ELY-toimialueella asuu 443388 asukasta, joista Ruotsinkielisiä on 21 %. (Tilastokeskus 2014)

Ympäristö ja luonnonvarat vastuualueelle kuuluvia tehtäviä ovat:

- Kuntien maankäytön ja rakentamisen ohjaus
- Kulttuuriympäristön hoito
- Luonnon monimuotoisuuden suojelu ja kestävä käyttö
- Ympäristönsuojelu (maa, ilma, vesi)
- Vesivarojen käyttö ja hoito
- Ympäristötiedon tuottaminen ja ympäristötietoisuuden edistäminen.

2.2 Vesistörakenteet

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen alueen säännöstellyt vesistöt käsittävät seitsemän päävesistöaluetta, jotka muodostuvat mereen laskevien jokien vesistöalueista ja niihin liittyvistä valuma-alueista ja tekojärvistä sekä luonnonjärvistä. Alueen suurimmat vesistöt ovat Kyrönjoki ja Lapuanjoki Etelä-Pohjanmaalla sekä Perhonjoki Keski-Pohjanmaalla. Alueen suurimmat säännöstellyt järvet ovat Lappajärvi, Ähtärinjärvi, Patanan tekojärvi, Hirvijärven tekojärvi, Kuortaneenjärvi, Venetjoen tekojärvi ja Luodon-Öjanjärvi. Liitteessä 1 esitetään alueen päävesistöt ja säännöstellyt järvet, joissa valtio on säännöstelyluvan haltijana. (Saari 2013, 8.)

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksella on valtion vesioikeudellisia lupia 120kpl ja niihin liittyviä kunnossapidettäviä rakenteita huomattava määrä. Rakenteiden taloudellinen merkitys on suuri, sillä valtion vesirakennusomaisuudesta Etelä-Pohjanmaan alueella olevat rakenteet käsittävät 50 %. (Saari 2013, 3.)

Alueelle on rakennettu vesistö rakenteita:

- tekojärvet 13kpl
- säännöstellyt luonnonjärvet 20kpl
- patoturvallisuuslain mukaisesti luokiteltuja patoja 21kpl
- säännöstelypatoja 51kpl
- tulva- ja kuivatuspumppaamoja 42kpl
- penkereitä, uomia ja eristysojia satoja kilometrejä
- muut kunnossapidettävät rakenteet kuten pohjapadot, sillat, tiet yms.

2.3 Kyrönjoen vesistöjärjestelyt

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen alueen merkittävin vesistöalue on Kyrönjoen vesistöalue (LIITE 2). Vesistöalue on pinta-alaltaan 4923km² ja sillä sijaitsee 16 kpl yli 100 ha:n suuruista järveä. Järvistä kuusi on säännöstelty ja säännöstelytilavuus on yhteensä 75,6milj m³. Kyrönjoen pituus Seinäjoen latvoilta mereen mitaten on 200 km, josta Kyrönjoen pääuoman pituus on 127 km. (Leiviskä & Syvänen 2007,8.)

Kyrönjoen vesistöalueelle ovat tyypillisiä suuret vuodenaikaiset virtaamavaihtelut. Keväällä ja useiden päivien rankkasateiden seurauksena virtaamat saattavat nousta hyvinkin suuriksi ja pienenevät alhaisesta järvisyysprosentista johtuen vastaavasti hyvin nopeasti. Ylivirtaamien ja alivirtaamien ero voi olla yli 500-kertainen. Jäiden lähtö ja muodostuvat jääpadot aiheuttavat vielä oman riskinsä vesistön käyttöön. Jokivarressa, joka on lähes koko matkaltaan asuttua, veden äkillinen nousu jääpadon seurauksena saattaa aiheuttaa merkittäviä paikallisia vahinkoja. Kyrönjoen vesistön tulvat ovat tunnettuja vuosisatojen ajalta, vanhimmat tiedot vesistön tulvaongelmista ovat 1700-luvulta. Ensimmäiset tulvaperkaukset alueella toteutettiin jo 1800-luvulla. Suuria tulvia 1900-luvulla ollut esimerkiksi vuosina 1953 ja 1966, jolloin vesi peitti laajat alueet, noin 17 000 ha peltoa. Viimeisin hyvin vaikea tulvatilanne on ollut vuonna 1984.

Kyrönjoen vesistön tulvasuojelussa toteutetuilla vesistöhankeilla on yläosalle rakennettu neljä tekojärveä ja pengerrysalueet ja suojattu peltoa yli 10000 ha. Tekojärvien ja Seinäjoen oikaisu-uoman avulla on vähennetty alajuoksun tulvahaittoja sekä kompensoitu tulvien siirtymistä alajuoksulle. Tekojärvien varastotilavuuden avulla jokeen on myös varmistettu vähimmäisvirtaaman taso ja parannettu veden laatua alivirtaama-ajankohtina. (Leiviskä & Syvänen 2007,7.)

Kyrönjoella toteutetut vesistötyöt vuosina 1966–2005. (Leiviskä & Syvänen 2007,12–14.)

- Liikapuron tekojärvi 1966–68
- Pitkämön tekojärvi 1968–71
- Kalajärven tekojärvi 1970–77
- Kyrkösjärven tekojärvi 1977–83
- Seinäjoen suuosan oikaisu 1968–70 ja 1975–82
- Kyrönjoen yläosan vesistötyöt
- Seinäjoen keskiosan perkaus ja pengerrys
- Kyrönjoen alaosan vesistötyö 1968–80 ja 1991–98
- Maapatoja ja jokipenkereitä yhteensä 130 km
- Pumppaamot 27 kappaletta 1980–2001
- Malkakosken tekokoski Ylistarossa 1997–2003.

2.4 Kyrönjoen yläosan järjestelyt

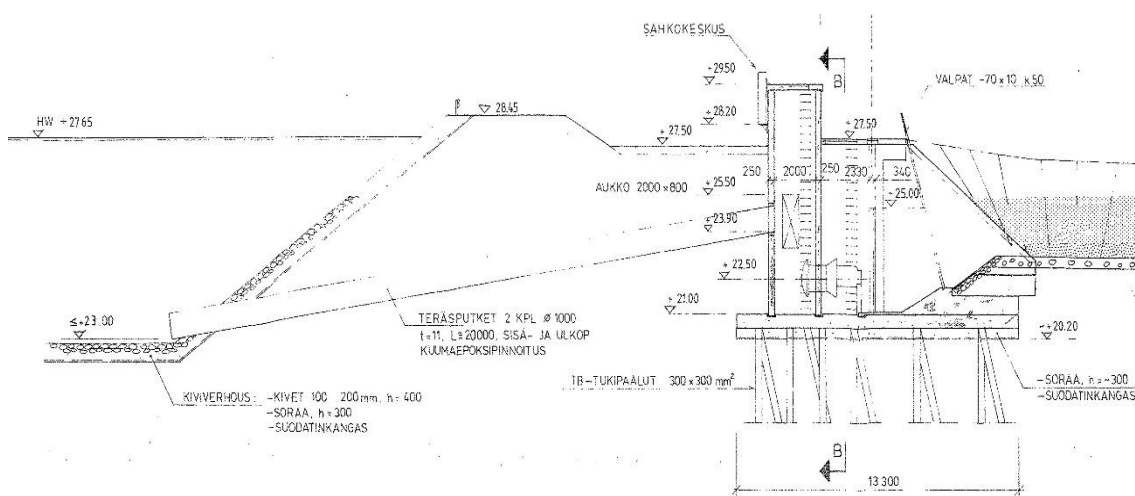
Kyrönjoen yläosan vesistötyöt käsittävät Ilmajoen ja Ylistaron välisellä alueella olevat pengerrykset ja pengerrysalueet, säännöstelyluukut ja tulvapumppaamot sekä Seinäjoen suuosan oikaisu-uoma pengeralueineen (LIITE 3). Kyrönjoki on pengerretty joen molemmilta puolilta alkaen Ilmajoen Nikkolasta ja päättyen Ylistaron Hanhikoskelle n.25km matkalta. Jokipenkereiden yhteyteen on tehty pengerrysalueita, jotka normaalisti ovat viljelyskäytössä, mutta toimivat tulvatilanteessa vesivarastona. Kyrönjoen pengerrysalueita on kuusi kappaletta ja joiden pinta-ala on yhteensä 6310ha.

Pengerrysalueet on rajattu penkereillä ja eristysojilla siten, että alueen kuivatus- ja tulvavedet pumpataan pengerpumppaamoiden avulla Kyrönjokeen, jonka vedenkorkeus on korkeammalla tasolla, kuin pengerrysalueen ojien vedenpinta. Kyrönjoen yläosalle on rakennettu 21kpl pumppaamoja ja Seinäjoen suuosan oikaisu-uomalle yksi pumppaamo. Pumppauskapasiteetti on määritelty pumppaamokohtaisesti vesioikeuden myöntämässä vesiluvassa ja mitoitusvirtaamat ovat välillä 0,2-8m³/s.

Penkereet ovat korkeudeltaan sellaiset, että normaali tulvavirtaama pysyy penkereiden sisäpuolella ja on hallittavissa oikea-aikaisella säännöstelyllä, jolloin veden peittämät alueet ja tulvavahingot jäävät vähäisiksi. Kun virtaamat ovat suuremmat kuin 1/20-vuodessa esiintyvät ja joen vedenkorkeus saavuttaa ennakolta määrätyn tulvakorkeuden, pääsee vesi juoksemaan tulvakynnyksien yli pengerrysalueille. Avaamalla penkereissä olevat tulvaluukut voidaan juoksutusta pengerrysalueille tehostaa ja leikata joen virtaamahuippua. Näin vedet saadaan hallitusti ohjattua ja tulvavahinkoja voidaan vähentää. Tulvavirtaaman pienenemyessä ja joen vedenkorkeuden alkaessa laskemaan pumpataan pengerrysalueilta vedet takaisin Kyrönjokeen. (Leiviskä & Syvänen 2007,7.)

3 TULVAPUMPPAAMOT

Kyrönjoen pengerryspumppaamot ovat rakenteeltaan samankaltaisia, käsittäen betonisen kuilun, joka on jaettu väliseinällä imukammioon ja purkukammioon. Isot pumput ovat toimintaperiaatteeltaan pysty- tai vaaka-akselisia potkuripumppuja ja pienet pumput keskipakopumppuja. Pumput ovat imukammiossa uppoasenteisina valmistajasta ja pumpputyypistä riippuen joko johteilla ja uppoliittimellä tai kiinteästi pulttiliitoksella. Vesi pumpataan väliseinän läpi purkukammioon, jossa sijaitsee takaiskuläppä tai luukku, joka estää veden virtaamisen takaisin imukammioon. Purkukammioista johtaa putki penkereen läpi jokeen. Siten purkukammiossa vaikuttaa joen vesikorkeus ja imukammiossa tulokanavan vesikorkeus. Muutaman vanhemman pumppaamon rakenteessa on betonikuilu johon pumppu on asennettu ja jonka takaiskuläppä sijaitsee purkuputken päässä joen pohjalla. Kuviossa 1 on poikkileikkaus keskisuuresta pumppaamosta.



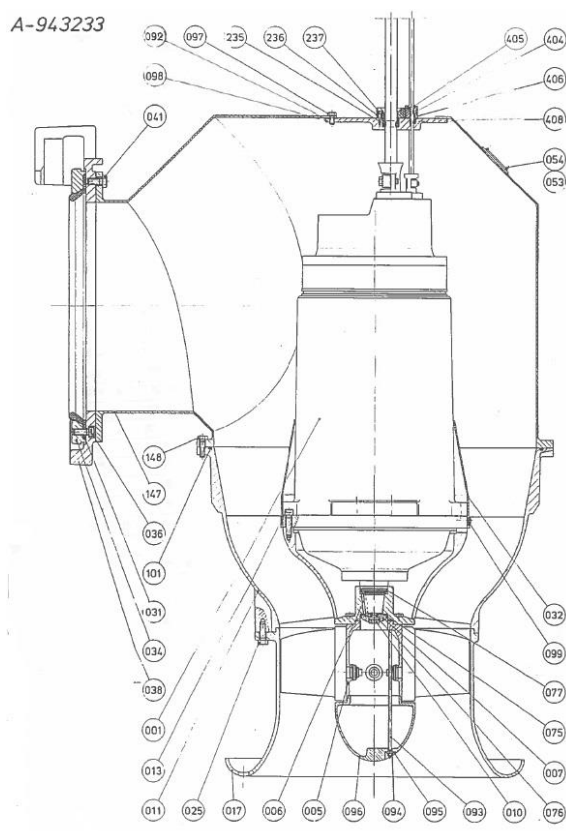
KUVIO 1. Pumppaamon yleispiirustus

Halkosaaren pumppaamossa on kuilun väliseinässä teräsrakenteiset tulvaluukut ja Seinänsuun pumppaamolla kuilussa on nostettavat betonielementit. Luukkujen kautta voidaan tarvittaessa juoksuttaa tulvavettä pengerrysalueelle tai pois pengerrysalueelta.

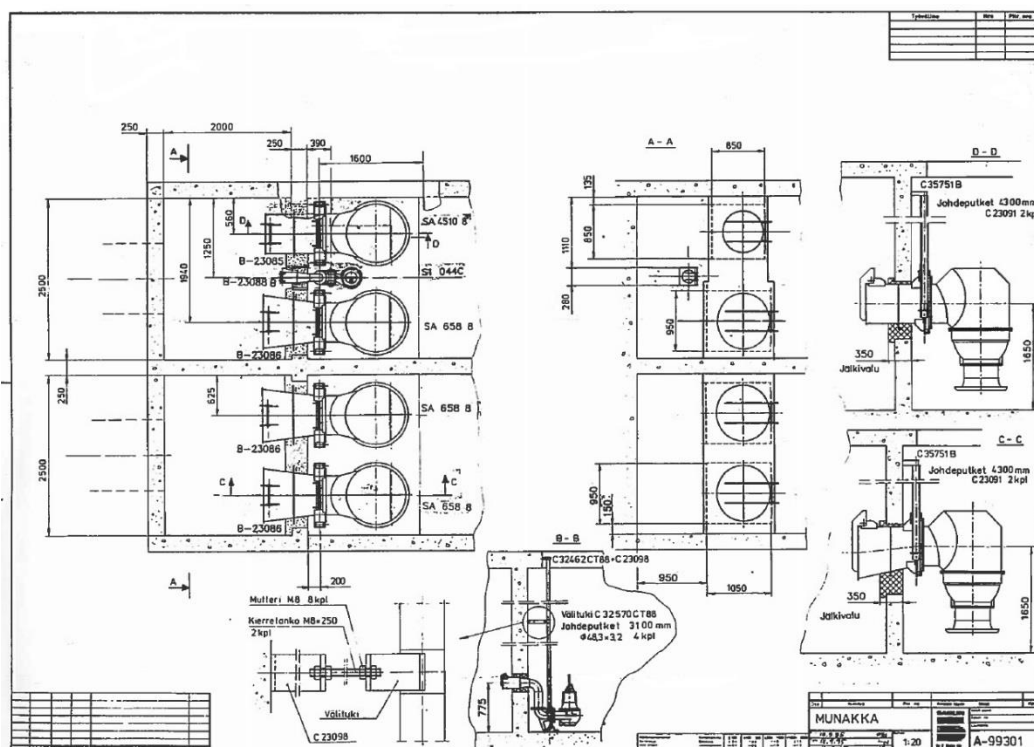
Tulvapumppujen määrä vaihtelee 2-6 kpl/pumppaamo, ja lisäksi on kuivatuspumppu, jonka kapasiteetti on mitoitettu kesäajalle sekä muina ajankohtina esiintyville pienille virtaamille.

Pumppaamot voidaan jakaa pumppauskapasiteetin mukaan suuriin 5-8m³/s (2 kpl), keskisuuriin 1,2-3,6m³/s (10 kpl) ja pieniin 0,2-0,6 m³/s (10 kpl) pumppaamoihin (LIITE 4).

Keskisuurissa pumppaamoissa käytössä olevien tulvapumppujen nimellistuotto on 1,0m³/s tai 0,6 m³/s mitoitusnostokorkeuden ollessa molemmissa 4,6m. Potkuripumput ovat sijoitettu valmistajan toimesta erikoisrakenteisen ruostumattomasta teräksestä valmistetun vaippayhteen sisälle (KUVIO 2). Rakenne kääntää potkurista tulevan pystysuuntaisen virtauksen välittömästi vaakasuuntaiseksi. Vaippayhteeseen on asennettu uppoliittimen luistiosa tiivisteineen, jonka avulla pumppu voidaan nostaa ja laskea johdeputkia pitkin ilman, että tarvitaan irrotus- tai kiinnitystoimenpiteitä. Sähkö- ja anturikaapelit tulevat vaipan yläosan läpi erillisestä läpivientiosasta. Pumppaamokuilun väliseinässä on levyrakenteinen istukkayhde, jossa on vastakappale luistiosalle ja purkukammion puoleisessa päässä takaiskuläppä. Istukkayhteen osien materiaali on ruostumaton teräs. Pumput on sijoitettu kuiluihin kuvion 3 mukaisesti lukumäärän vaihdellessa pumppaamon kapasiteetin mukaan.



KUVIO 2. Sarlin SA 658 potkuripumppu



KUVIO 3. Pumppujen sijoittelu, Munakan pumppaamo

Pumppaamorakenteisiin kuuluvat myös tulokanavassa oleva laskeutusallas sekä imukammiossa olevat välpät. Laskeutusaltaan tarkoituksena on vähentää pumpattavan veden kiintoainepitoisuutta ja tasata veden virtausta sekä pyörteilyä. Laskeutusallas toimii myös vähänveden aikana vesivarastona tasaten pumppausta. Välpillä estetään ylimääräisten esineiden kuten kivien tai puunoksien joutuminen pumppuun ja sitä kautta pumpun vaurioituminen. Yläkannella sijaitsee sähkökeskus joko erillisessä rakennuksessa tai katujakokaapissa. Keskuksessa sijaitsee logiikkaohjattu pinnansäätö- ja kaukokäyttöautomaattikka. Pumppujen ohjaus tapahtuu pehmoikäynnistimillä tai taajuusmuuttajilla.

4 PUMPUT JA PUTKISTOT

4.1 Pääyhtälö

Pumppu on hydrodynaaminen virtauskone, jonka juoksupyörän virtausominaisuuksiin ja siten pumppausominaisuuksiin vaikuttavat monet tekijät. Euler kehitti v.1765 pumpputeorian pääyhtälön, jossa edellytetään virtauksen olevan häviötöntä ja siipiluvun äärettömäksi. Todellisuudessa häviötöntä virtausta ei ole sekä siipien lukumäärä on rajallinen. Virtaushäviöt otetaan huomioon lisäämällä kaavaan hydraulinen hyötysuhde η_h . Hyötysuhteeseen vaikuttaa mm. virtauksen kitkahäviöt ja hyötysuhde on suuruudeltaan 80–90 %. Siipien lukumäärän aiheuttama puutteellinen virtaus juoksupyörässä huomioidaan siipikertoimella k . (Borg & Sarvanne 1973, 11.) Pumpputeorian pääyhtälön mukainen nostokorkeus lasketaan kaavalla 1.

$$H = k\eta_h \left(\frac{u_2 v_{u2}}{g} \right) \quad (1)$$

Jossa H = nostokorkeus [m]

k = siipilukukerroin [-]

η_h = hydraulinen hyötysuhde [%]

u_2 = juoksupyörän kehänopeus ulkoreunalla [m/s]

v_{u2} = nesteen ulostulonopeuden komponentti kehänopeuden suuntaan [m/s]

4.2 Nostokorkeus

Pumpun tuottama nostokorkeus on pumpun nesteeseen siirtämä mekaaninen työ nesteen painoyksikköä kohti. Nostokorkeus H on hydraulinen nostokorkeus, joka muodostuu Bernoulin yhtälön mukaisesti painekorkeudesta, nopeuskorkeudesta ja asemakorkeudesta. Pumppukäytössä putkiston aiheuttama kitka muuttaa virtauksen liike-energiaa lämmöksi, tätä häviötä kutsutaan vastuskorkeudeksi, joka on otettava huomioon. (Wirzenius 1978, 32–34.) Nostokorkeuden yhtälö on seuraava.

$$H = h + \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + H_r \quad (2)$$

Jossa

- H= kokonaisnostokorkeus
- h= asemakorkeus
- Δp = painehäviö
- ρ = nesteen tiheys
- g= maanvetovoiman kiihtyvyys
- v= virtausnopeus
- H_r = vastuskorkeus.

Pumpun nostokorkeuden yhtälöstä voidaan erottaa staattinen osa (KAAVA 3), joka ei riipu tilavuusvirrasta ja dynaaminen osa (KAAVA 4). Nostokorkeus lasketaan siten kaavan 5 mukaisesti. (Wirzenius 1978, 5.)

$$H_{st} = h + \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (3)$$

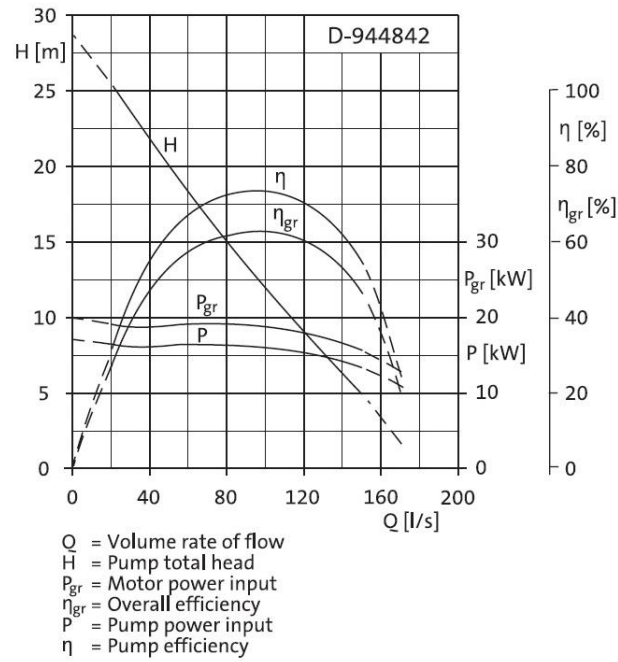
$$H_d = \frac{v_2^2}{2g} + H_r \quad (4)$$

Pumpun nostokorkeus:

$$H = H_{st} + H_d. \quad (5)$$

4.3 Ominaiskäyrät

Pumpun toimintaa voidaan kuvata erilaisten suureiden avulla, joista tärkeimmät ovat tilavuusvirta, nostokorkeus, tehon tarve ja hydraulinen hyötysuhde. Näiden suureiden keskinäinen riippuvuus esitetään ominaiskäyrästössä (KUVIO 4). Pumppuvalmistajat tekevät ominaiskäyrät jokaiselle pumpulle omansa ja varmistavat niiden paikkansapitävyyden koeajoilla. (Grundfos 2014, 39.)

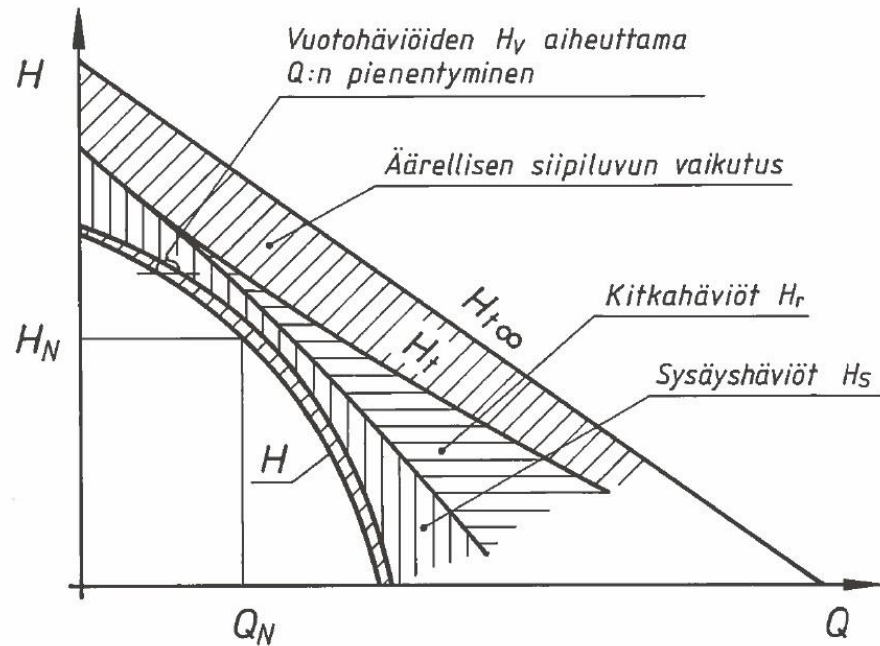


KUVIO 4. Keskipakopumpun ominaiskäyrästä (Grundfos 2014, 39.)

4.3.1 Q/H-käyrä

Tilavuusvirta Q ilmoittaa nestetilavuuden, jonka pumppu siirtää tietyssä ajassa. Yksikkönä käytetään yleisesti l/s tai m³/h. Nostokorkeudella H tarkoitetaan pumpun nesteelle aiheuttamaa korkeusaseman lisäystä, sisältäen imu- ja painekorkeuden ja sen yksikkönä käytetään metriä m. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 137.)

Nostokorkeuden riippuvuus tilavuusvirrasta ilmoitetaan Q/H-käyrän avulla. Eulerin teorian mukainen häviötön nostokorkeus H olisi suora, pumpun häviöt vaikuttavat käyrän muotoon, jolloin muodostuu parabeli kuvion 5 mukaisesti.



KUVIO 5. Häviöiden vaikutus nostokorkeuteen (Borg & Sarvanne, 12)

4.3.2 Tehontarve ja hyötysuhde

Pumpulla on toimiessaan tehontarve, jonka se ottaa käyttävältä moottorilta. Siinä ei ole mukana moottorin ja käyttölaitteiden tehohäviöitä. Tehoa laskettaessa (KAAVA 6) pumpun tuottamat häviöt otetaan huomioon hyötysuhteen avulla, joka ilmoittaa kuinka suuren osan otetusta tehosta pumpu käyttää nesteen siirtämiseen. (Huhtinen ym. 2008, 138.)

$$P = \frac{\rho g H Q}{\eta} \quad (6)$$

Jossa

- P= pumpun ottama teho [W]
- ρ = nesteen tiheys [kg/m^3]
- g= painovoiman kiihtyvyys [$9,81\text{m/s}^2$]
- H= nostokorkeus [m]
- Q= tilavuusvirta [m^3/s]
- η = pumpun hyötysuhde [%]

Uppopumppujen ominaiskäyrästössä esitetään myös kokonaishyötysuhde, joka ottaa huomioon moottorin hyötysuhteen (KAAVA 7). Kokonaishyötysuhteen avulla voidaan arvioida pumpun suorituskykyä. (Grundfos 2014, 40.)

$$\eta_{gr} = \eta_{mot} \eta \quad (7)$$

Jossa η_{gr} = kokonaishyötysuhde
 η_{mot} = moottorin hyötysuhde
 η = pumpun hyötysuhde

4.4 Häviöt

4.4.1 Siipikerroin k

Pumpun aikaansaama nostokorkeutta laskee juoksupyörän siipien lukumäärän rajallisuus, yleensä 3-10 kpl. Rajallinen lukumäärä aikaansaa puutteellisen virtauksen ohjauksen, jolloin virtaus juoksupyörässä ei tapahdu täysin siipien suunnassa. Kyseessä ei ole hyötysuhdetta alentava virtaushäviö. Siipilukukerroin muodostuu juoksupyörän siipien lukumäärän, kulmien sekä juoksupyörän sisä- ja ulkohalkaisijan mukaan. Keskipakopumpuilla siipilukukerroin on noin 0,7–0,8. (Huhtinen ym. 2008, 149.)

4.4.2 Kitkahäviöt H_f

Nesteen virratessa juoksupyörän ja pumpun pesän muodostamissa solissa syntyy kitkan vaikutuksesta häviöitä. Niiden suuruus lisääntyy likimain tilavuusvirran neliössä. (Borg & Sarvanne 1973, 12.)

4.4.3 Sysäyshäviöt H_s

Sysäyshäviöitä muodostuu juoksupyörän siipien tulo- ja poistoreunassa sekä pumppupesässä. Sysäyshäviöt muodostuvat nesteen kohdatessa juoksupyörän siiven ja

kohtauskulman muuttuessa aiheuttaa pyörteilyä sekä virtausnopeuksien muutoksia. (Borg & Sarvanne 1973, 12.)

4.4.4 Vuotohäviöt H_v

Juoksupyörän ja pumpun pesän välisestä raosta tapahtuu jatkuvasti pientä vuotoa. Näin syntyy virtaushäviötä, koska juoksupyörän läpi virtaa suurempi tilavuusvirta kuin poistoaukosta saadaan. (Borg & Sarvanne 1973, 13.)

4.4.5 Muut häviöt

Keskipakopumpussa esiintyy myös muita häviöitä, jotka eivät vaikuta Q/H-käyrään, vaan ne lisäävät tarvittavan akselitehon määrää. Näitä häviöitä ovat juoksupyörän ulkopuolisten sivuseinien kitkahäviöt, akselitiivisteiden hankaushäviöt ja laakereiden kitkahäviöt. (Borg & Sarvanne 1973, 12.)

4.5 Affiniteettisäännöt

Kun pumpun pyörimisnopeutta muutetaan, muuttuvat Q/H-käyrä ja P-käyrä suhteessa pyörimisnopeuden muutokseen edellyttäen, että hyötysuhde pysyy lähes muuttumattomana. Näitä riippuvuussuhteita kutsutaan affiniteettisäännöiksi. (Borg & Sarvanne 1973, 14.)

Tilavuusvirta muuttuu suoraan verrannollisesti pyörimisnopeuden muutokseen (KAAVA 7). Nostokorkeus muuttuu pyörimisnopeuden neliössä (KAAVA 8). Koska nesteeseen siirretty teho saadaan tilavuusvirran ja nostokorkeuden tulona, on teho verrannollinen pyörimisnopeuden kuutioon (KAAVA 9). (Bergius, Blomsten, Hedenfalk, Jonsson, Kempe, Nilsson, Pegert, Ullgren & Wenström 1978, 51–52.) Riippuvuussuhteista voidaan muodostaa affiniteettilausekkeet, joita voidaan hyödyntää pumpun toimintapisteen tarkasteluun pyörimisnopeutta muutettaessa.

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1} \quad (7)$$

$$\frac{H}{H_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2 \quad (8)$$

$$\frac{P}{P_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3 \quad (9)$$

Yhdistämällä tilavuusvirran ja nostokorkeuden yhtälöt, saadaan nostokorkeudelle yhtälö (KAAVA 10), jonka avulla voidaan laskea affiniteettiparaabeli. Se ilmoittaa ominaiskäyrän vastin pisteiden sijainnin kierroslukua muutettaessa.

$$H_1 = \frac{H}{Q^2} Q_1^2 \quad (10)$$

4.6 Putkistot

4.6.1 Putkistohäviöt

Pumppaamon putkistossa syntyviin häviöihin vaikuttaa putken kitkavastukset ja paikallisvastukset. Kokonaishäviö on näiden vastuksien summa (KAAVA 11). Imuputkelle ja paineputkelle lasketaan omat kitkavastukset, mutta uoppopumppuja käytettäessä ei imuputken kitkavastusta huomioida.

$$H_j = H_{jp} + H_{jn} \quad (11)$$

Jossa H_j = putkiston häviö [m]
 H_{jp} = paineputkiston kitkahäviö [m]
 H_{jn} = paikallisvastuksien häviöt [m]

4.6.2 Kitkahäviöt

Putkiston kitkavastukseen vaikuttavat useat tekijät, kuten putken pituus ja halkaisija, nesteen virtausnopeus ja kinemaattinen viskositeetti sekä putken materiaalista johtuva seinämän karheus (KAAVA 12).

$$H_{jp} = \lambda * \frac{l v^2}{D 2g} \quad (12)$$

Jossa H_{jp} = paineputkiston kitkahäviö [m]
 λ = kitkavastuskerroin [-]
 l = putken pituus [m]
 v = virtausnopeus [m/s]
 D = putken sisämitta [m]
 g = painovoiman kiihtyvyys [9,81m/s²]

Laskennan avuksi on kehitetty Reynoldsin luku, joka on dimensioton suhdeluku ja kuvaa virtauksen muotoa putkessa. (Borg & Sarvanne 1973, 38.)

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (13)$$

Jossa Re = Reynoldsin luku [-]
 v = virtausnopeus [m/s]
 D = putken sisähalkaisija [m]
 ν = kinemaattinen viskositeetti [m²/s]

Veden kinemaattinen viskositeetti vaihtelee lämpötilan mukaan ollen +20°C 1,0*10⁻⁶m²/s. Reynoldsin luvun kriittinen arvo on $Re_{krit}=2320$, sen alapuolella virtaus laminaarista ja yläpuolella turbulanttista. Kuitenkin kriittisen alueen ympärillä on seka-alue, jossa virtaus vaihtelee, joten virtaus on laminaarista kun $Re < 2000$ ja turbulanttista kun $Re > 3000$.

Kitkakerroin saadaan Moodyn käyrästä (LIITE 5), kun tiedetään Reynoldsin luku ja putken suhteellinen karheus. Suhteellinen karheus on sisäpinnan ekvivalenttisen karheuden, joka ilmoittaa putken sisäpinnan epätasaisuuden ja putken sisähalkaisijan suhde (KAAVA

14). Kuviossa 6 on karheuden lukuarvoja eri putkimateriaaleille, jotka ovat erisuuruisia uusille ja vanhoille pinnoille, johtuen pinnan syöpmisestä tai virtausaineen kuluttavasta vaikutuksesta. (Borg & Sarvanne 1973, 38.)

$$\frac{k}{D} \quad (14)$$

Jossa k = ekvivalenttinen karheus [mm]

D = putken sisähalkaisija

Kaavoissa käytettävässä putkensisähalkaisijassa on huomioitava, että käytetään putken todellista sisähalkaisijaa. Putkikoot ilmoitetaan ns. nimellishalkaisijan DN mukaan ja todellinen sisähalkaisija voi poiketa merkittävästi johtuen putken paineluokasta, materiaalista ja nimelliskoosta. (Pulli 2009, 86.) Tällä voi olla suuri vaikutus kitkahäviöön, varsinkin pieniä putkikokoja käytettäessä, esimerkiksi ISO teräsputkella 108mm ja 100mm välinen kitkavastuksen ero on 30%. (Borg & Sarvanne 1973, 39.)

Putkiaine	Uusi putki k (mm)	Vanha putki k (mm)
— muovi	0,01	0,25
— vedetty teräs	0,05	1,0
— hitsattu teräs	0,10	1,0
— vedetty haponkestävä teräs	0,05	0,25
— hitsattu haponkestävä teräs	0,1	0,25
— asfaltoitu valurauta	0,12	
— sinkitty teräs	0,15	
— asbestisementti	0,025	0,25
— valurauta	0,25	1,0
— asfaltoitu valurauta	0,12	
— betoni	0,3—2,0	

KUVIO 6. Pinnan karheuksia eri putkimateriaaleille (Borg & Sarvanne 1973, 39.)

4.6.3 Paikallisvastukset

Putkistossa tapahtuvat suuruuden ja muodon muutokset ja putken osat kuten venttiilit, käyrät, T-haarat jne. aiheuttavat virtaukseen häviöitä. Niitä kutsutaan paikallisvastukseksi ja ne muodostuvat kitka- ja pyörrehäviöistä. Putkiston paikallisvastuksien aiheuttama häviö

voidaan laskea summana (KAAVA 15), mikäli virtausnopeus pysyy vakiona. (Borg & Sarvanne 1973, 39.)

$$H_{jn} = \sum \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (15)$$

Jossa H_{jn} = paikallisvastus [m]
 ζ = paikallisvastuskerroin [-]
 v = virtausnopeus [m/s]
 g = painovoiman kiihtyvyyys [9,81m/s²]

Paikallisvastuskertoimia löytyy kirjallisuudesta ja teknisistä taulukoista. Putkiosien valmistajat, esimerkiksi venttiilivalmistajat, ilmoittavat tarkat vastuskertoimet valmistamilleen komponenteille.

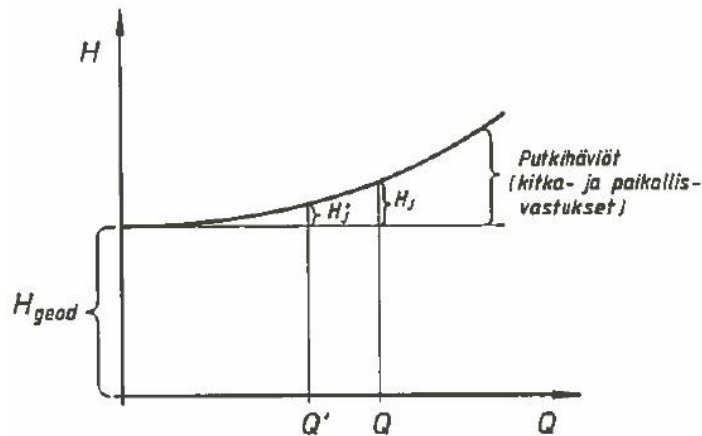
4.6.4 Putkiston ominaiskäyrä

Putkiston ominaiskäyrä muodostuu geodeettisesta nostokorkeudesta ja putkistohäviöistä (KUVIO 7). Kun ala- ja yläaltaan nestepintoihin vaikuttaa sama ilmanpaine, on geodeettinen nostokorkeus näiden nestepintojen välinen erotus. Pumpun tuottama virtaus on käytännössä aina turbulენტista ja putkistohäviöt muuttuvat tilavuusvirran Q neliössä. Ottamalla huomioon putkiston kitkahäviöt ja paikallisvastukset vakiokertoimella k , voidaan putkistohäviöt laskea kaavalla 16, joka on samalla nostokorkeuden dynaaminen osa. (Bergius ym. 1978, 46.)

$$H_j = k * Q^2 \quad (16)$$

Putkiston ominaiskäyrän vastinpisteet tilavuusvirran eri arvoilla voidaan laskea kaavalla 17.

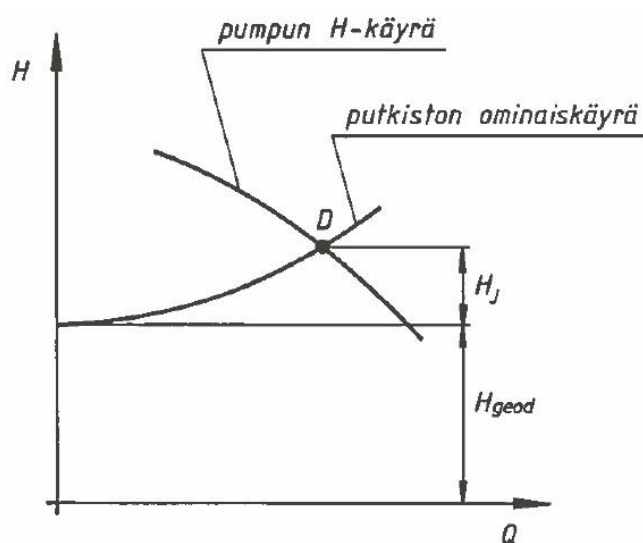
$$H = H_{geod} + k * Q^2 \quad (17)$$



KUVIO 7. Putkiston ominaiskäyrä (Borg & Sarvanne 1973, 39)

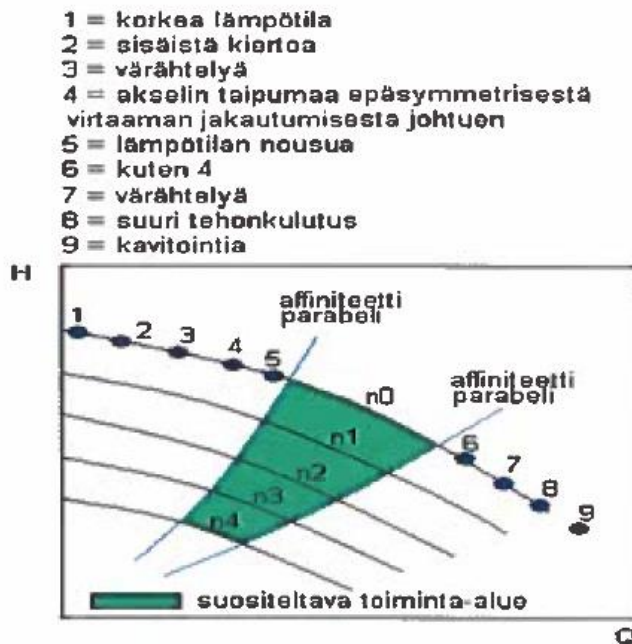
4.7 Toimintapiste

Kun yhdistetään pumpun Q/H-käyrä ja putkiston ominaiskäyrä, saadaan selville pumpun toimintapiste, joka on käyrien leikkauspisteessä D (KUVIO 8). Toimintapisteessä on pumppu siirtänyt nesteeseen energiaa yhtä paljon kuin putkijohdon virtauksen ylläpitämiseen tarvitaan. Kyseessä on tasapainotila, johon pumppu hakeutuu itsestään ulkoisten tekijöiden määräämänä. Jotta voidaan varmistaa pumppauksen taloudellisuus, on toimintapiste mitoitettava mahdollisimman lähelle pumpun parasta hyötysuhdetta. (Bergius ym. 1978, 46.)



KUVIO 8. Pumpun toimintapiste (Borg & Sarvanne 1973, 39)

Keskipakopumpuilla on Q/H-käyrällä eri kierrosluvuilla optimaalinen alue, jonka sisällä toimintapisteen tulisi olla (KUVIO 9). Mikäli toimintapiste ajautuu käyrällä vasemmalle tai oikealle, aiheutuu siitä pumpulle häviöiden lisääntymistä, lämpenemistä, värinää tai kavitaatiota, jotka vaikuttavat pumpun kestävyys- ja vaurioherkkyyteen. (Pulli 2009, 68.)



KUVIO 9. Keskipakopumpun toimintapisteen vaikutus (Pulli 2009, 68)

4.8 Kavitaatio ja NPSH

4.8.1 Kavitaatio

Kun pumpun imuaukossa vaikuttava paine laskee alle pumpattavan nesteen höyrystymispaineen, muodostuu siihen höyrykuplia. Höyrykuplien siirtyessä virtauksen mukana paikkaan jossa vaikuttava paine on suurempi kuin höyrystymispaine, romahtaa höyrykupla räjähdysnomaisesti aiheuttaen paineiskuja. Ilmiötä kutsutaan kavitaatioksi. Mikäli kavitaatiota tapahtuu juoksupyörän pinnan lähellä, aiheuttavat paineiskut materiaalin irtoamista siiven pinnasta. Kavitaatio aiheuttaa myös kovaa ääntä ja värähtelyjä pumpun rakenteisiin, joiden perusteella se voidaan havaita ajoissa. Pitkään jatkuessa kavitaatio on erittäin haitallinen, joten sen eliminoiminen on otettava huomioon pumppuja ja pumppauslaitoksia suunniteltaessa. (Borg & Sarvanne 1973, 15.)

Tärkein keino kavitaation estämiseksi on suunnitella nestevirtausreitti siten, että nesteen paine ei pääse alittamaan höyrystymispainetta missään vaiheessa (Bergius ym. 1978, 23).

4.8.2 NPSH

Pumpuissa kavitaatiota esiintyy imupuolella, jolloin imuputkiston mitoituksen yhteydessä esiintyy käsite NPSH. Se muodostuu englanninkielisistä sanoista Net Positive Suction Head ja tiivistetyksi se ilmoittaa paineen, joka pumpun imuaukossa on oltava nesteen höyrystymispaineen lisäksi. Sen yksikkönä käytetään metriä, m. (Huhtinen ym. 2008, 145.)

NPSH:sta on olemassa kaksi käsitettä, $NPSH_{\text{tarvittava}}$ on pumppuvalmistajan ilmoittama ja se muodostuu pumpun aiheuttamista paineen alentumista. Toinen käsite on $NPSH_{\text{käyt.oleva}}$, jonka pumppuaseman suunnittelija määrittää ja se ilmoittaa pumpun käytettäväksi jäävän paineen olosuhteiden mukaan ja se lasketaan kaavalla 18. (Grundfos 2014, 12-14.)

$$NPSH_{\text{käyt.oleva}} = \frac{p_b}{\rho g} - H_{rt} - H_t - \frac{p_v}{\rho g} \quad (18)$$

Jossa

- p_b = ilmanpaine nestepinnassa [Pa]
- g = painovoiman kiihtyvyys [9,81m/s²]
- ρ = nesteen tiheys [kg/m³]
- H_{rt} = imuputken häviöt [m]
- H_t = pumpun imuaukon geodeettinen korkeus [m]
- p_v = nesteen höyrystymispaine [Pa].

Kavitaation estämiseksi on oltava voimassa ehto $NPSH_{\text{käyt.oleva}} > NPSH_{\text{tarvittava}}$ ja NPSH marginaalin on oltava riittävän suuri, jotta tilanteissa jolloin todelliset olosuhteet poikkeavat lasketuista varmistetaan pumpun toiminta. Poikkeavuuksia voivat aiheuttaa mitoitusvirheet imuputken painehäviöiden arvioinnissa, pumpun toimintapisteen arvioinnissa tai paineputken vastuksen laskennassa. Pumppuvalmistajat suosittelevat käytettäväksi turvamarginaalia NPSH:ta määritettäessä, joka lisätään $NPSH_{\text{tarvittava}}$. Turvamarginaalin suuruusluokka pumpun asennustavasta riippuen 1,5-2,5m. (Grundfos 2014, 15.)

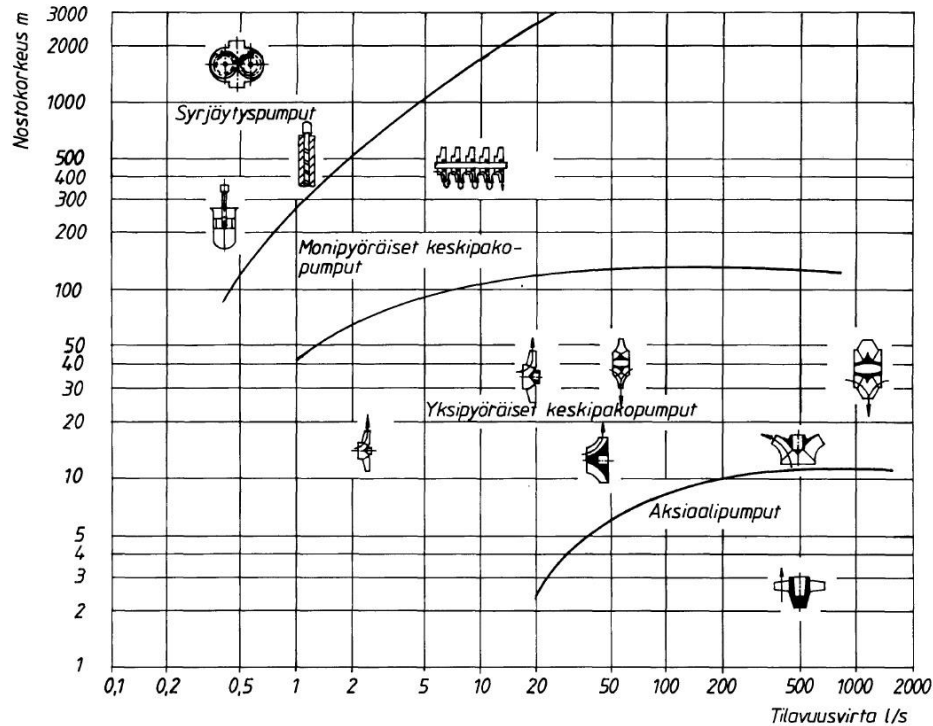
5 PUMPPUTEKNIikka

Pumppuja käytetään teollisuudessa yleisesti, ja nesteiden siirtoon käytetyt pumput voidaan jakaa toimintaperiaatteeltaan hydrostaattisiin eli syrjäytuspumppuihin ja hydrodynaamisiin pumppuihin. Näiden lisäksi ryhmitellään muut pumput, jotka eivät kuulu toiminnaltaan kahteen pääryhmään, kuten esimerkiksi nostepumppu. (SFS 4878 1982,1.)

Käyttökohteen vaatimuksien mukaan valitaan parhaiten soveltuva pumppu eri toimintaperiaatteella toimivista pumpuista, joilla on toisistaan eroavat tilavuusvirta/nostokorkeussuhteet. Prosessien toiminnan ja pumpun käytön optimoimiseksi on pumppua pystyttävä säätämään. Säätoimenetelmiä on erilaisia, ne perustuvat tilavuusvirran rajoittamiseen tai kytkemällä pumppuja rinnan sekä sarjaan.

5.1 Pumpputyypit

Pumpputyypit on jaoteltu kuviossa 10 pumpulle ominaisen nostokorkeus ja tilavuusvirta-alueen mukaan. Syrjäytuspumput toimivat siten, että syrjäytyselin syrjäyttää pesässä olevan nesteen paineputkeen. Tilavuusvirta Q pysyy vakiona nostokorkeuden H muuttuessa. Ryhmään kuuluvia pumppuja on mäntä-, hammaspyörä-, kalvopumput, ruuvi-, letku- ja siipipumput. Dynaamiset pumput toimivat siten, että mekaaninen energia muutetaan liike-energiaksi ja paine-energiaksi. Pumpun tilavuusvirta Q pienenee nostokorkeuden H kasvaessa. Ryhmään kuuluvia pumppuja on keskipako, aksiaali-, sivukanava-, suihku- ja sysäyspumput. (SFS 4878 1982,1-2.)

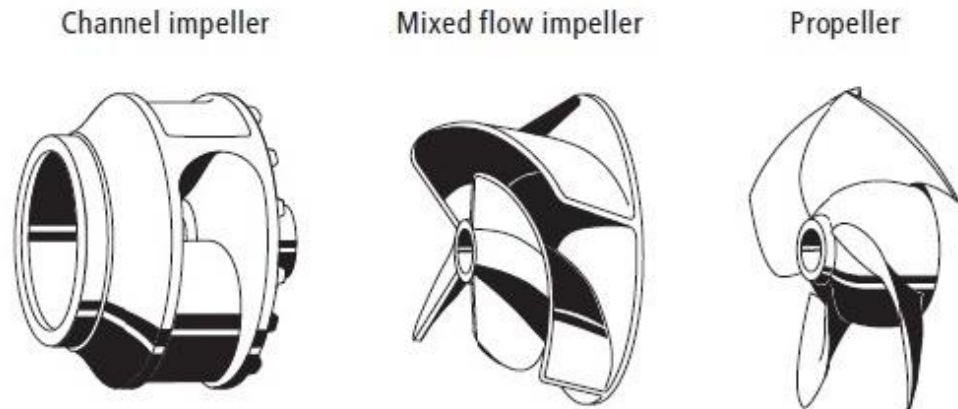


KUVIO 10. Pumpputyypin toiminta-alue (SFS 4878 1982,3)

5.1.1 Aksiaalipumput

Aksiaalipumpussa juoksupyörä voi olla potkuri, kanavilla varustettu tai näiden yhdistelmä (KUVIO 11). Käytettävä juoksupyörätyyppi valitaan käyttökohteen mukaan, potkurin soveltuessa puhtaalle vedelle ja kanavajuoksupyörä jätevesien pumppaamiseen, kun tarvitaan kiintoaineiden läpäisykykyä. (KSB 2014, 4.)

Juoksupyörä on muotoiltu siten, että se antaa sisään imeytyvälle nesteelle aksiaalisen kiihtyvyyden. Juoksupyörän jälkeen laajeneva pesä muuntaa ohjaussiipien avulla liikenopeuden paineeksi. (Huhtinen ym. 2008, 136.)



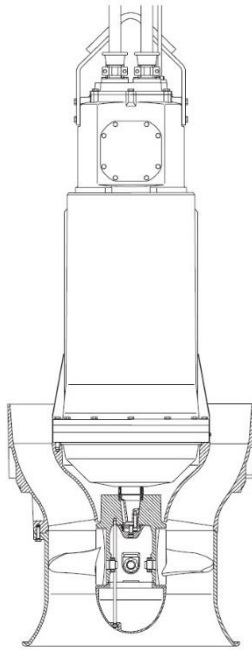
KUVIO 11. Aksiaalipumpun juoksupyöriä (KSB 2014, 4)

Käytettävän juoksupyörän tyyppi vaikuttaa pumpun antamaan tilavuusvirta/nostokorkeuskäyrän muotoon. Erityyppisten juoksupyörien ominaiset tilavuusvirta/nostokorkeusalueet on taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Aksiaalipumpun juoksupyörien tilavuusvirta/nostokorkeus-alueet (KSB 2014, 5-7)

juoksupyörän tyyppi	tilavuusvirta Q m ³ /s	nostokorkeus H m
potkuri	0,1 – 10,0	1-10
kanava	0,3 - 8,0	3-50
potkuri/kanava-yhdistelmä	0,1-1,0	2-30

Tyypillisesti valmistettavat aksiaalipumput ovat pysty akselisiä pumppuja, jotka asennetaan kuiluputken sisään (KUVIO 12).

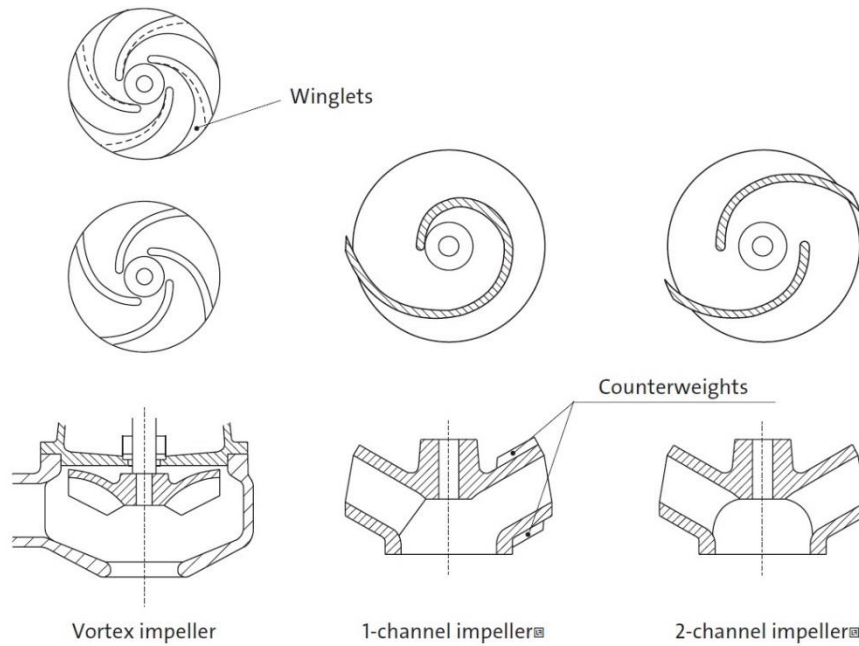


KUVIO 12. Potkuripumppu (KSB 2014, 22)

5.1.2 Keskipakopumput

Keskipakopumpun juoksupyörä muodostuu yhdestä tai useammasta spiraalimaisesti kiertyvästä kanavasta, jota kutsutaan solaksi (KUVIO 13). Neste imeytyy juoksupyörän keskeltä sisään ja juoksupyörän pyörivä liike aikaansaa nesteeseen juoksupyörän tangentin suuntaisen liike-energian lisäyksen, joka muuntuu paineeksi tasaisesti laajenevassa diffuusoriputkessa (KUVIO 14). (Huhtinen ym. 2008, 136.)

Jätevesi ja liete sisältävät kiintoaineita ja keskipakopumppujen juoksupyörien avarammat kanavat mahdollistavat jopa 80mm halkaisijaltaan olevien partikkeleiden läpimenon ilman juoksupyörän vaurioitumista tai tukkeutumista. (Grundfos 2014,19)



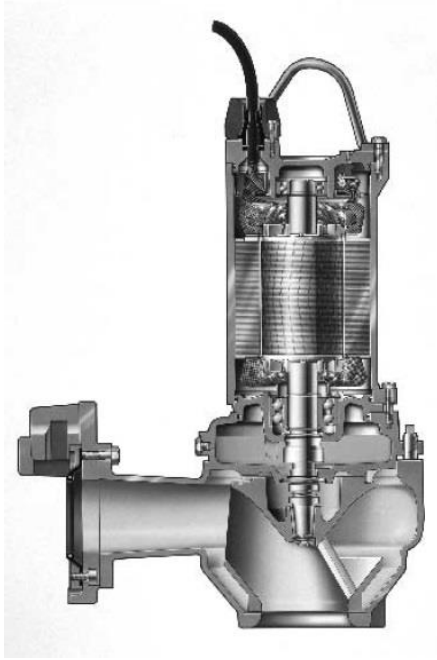
KUVIO 13. Keskipakouppumpun juoksupyöriä (Grundfos 2014,18)

Kanavien lukumäärää muuttamalla ja kanavia muotoilemalla juoksupyörässä saadaan muodostettua erilaisia tilavuusvirta/nostokorkeus-käyrästäjä (TAULUKKO 2).

TAULUKKO 2. Keskipakopumpun juoksupyörien tilavuusvirta/nostokorkeus-alue (Grundfos 2014,18)

juoksupyörän tyyppi	tilavuusvirta Q l/s	nostokorkeus H m
vortex	0-30	5-70
1-kanava	30-150	5-70
2-kanava	150-500	10-120
3-kanava	500-1500	10-85
4-kanava	1500-2000	5-35

Tyypillisesti valmistettavat keskipakouppumput ovat kuvion 14 mukaisia pumppuja, jotka asennetaan kuiluun uppoliittimellä ja johteilla.



KUVIO 14. Keskipakouppopumppu (Grundfos 2014, 16)

5.2 Pumppujen säätömenetelmät

Pumppausprosesseissa tulee tilanteita, joissa pumpun tilavuusvirtaa tai toimintapistettä pitää muuttaa. Tyypillisimmät keinot pumpun toiminnan muuttamiseksi ovat kuristus-, on-off-, ohivirtaus- ja kierrosnopeussäätö. Myös kytkemällä pumppuja rinnan tai sarjaan voidaan toimipistettä säätää. Muita säätömenetelmiä on juoksupyörän halkaisijan muuttaminen tai säädettävillä siivillä olevan juoksupyörän käyttäminen.

5.2.1 Kuristussäätö

Kuristussäädössä virtausta rajoitetaan säädettävällä venttiilillä, jolloin putkiston ominaiskäyrä muuttuu kasvattaen painehäviötä. Kuristussäätö on helppo toteuttaa ja se on edullinen menetelmä, mutta se ei ole energiatehokas. Soveltuu pienille pumpuille ja pienille tilavuusvirran muutoksille. (Bergius ym. 1978, 51.)

5.2.2 On-off säätö

On-off-säädössä käytetään pumppua jaksottain, kunnes haluttu keskivirtaama on saavutettu. Menetelmä sopii järjestelmiin joissa ei tarvita portaatonta säätöä, esimerkiksi kun halutaan pitää yläsäiliön pinta tai järjestelmän paine tiettyjen rajojen sisällä. Huonona puolena on toistuvien käynnistysten aiheuttamat kuormitukset ja niiden moottoria kuumentava vaikutus. On-off-käyttöä suunniteltaessa on käynnistystiheys otettava huomioon käyttömoottorin mitoituksessa. (BPMA 2003, 15.)

5.2.3 Ohivirtaussäätö

Ohivirtaussäädössä pumppu käy täydellä tuotolla, ja haluttaessa pienempää tilavuusvirtaa, ohjataan osa nesteestä painepuolelta takaisin imupuolelle putkeen tai säiliöön ohivirtausventtiilin kautta. Menetelmä on epätaloudellinen, koska samaa nestettä kierrätetään edestakaisin, jolloin pumpun tehoa muuttuu häviöiksi pyrkien lämmittämään pumpattavaa nestettä. (BPMA 2003, 16.)

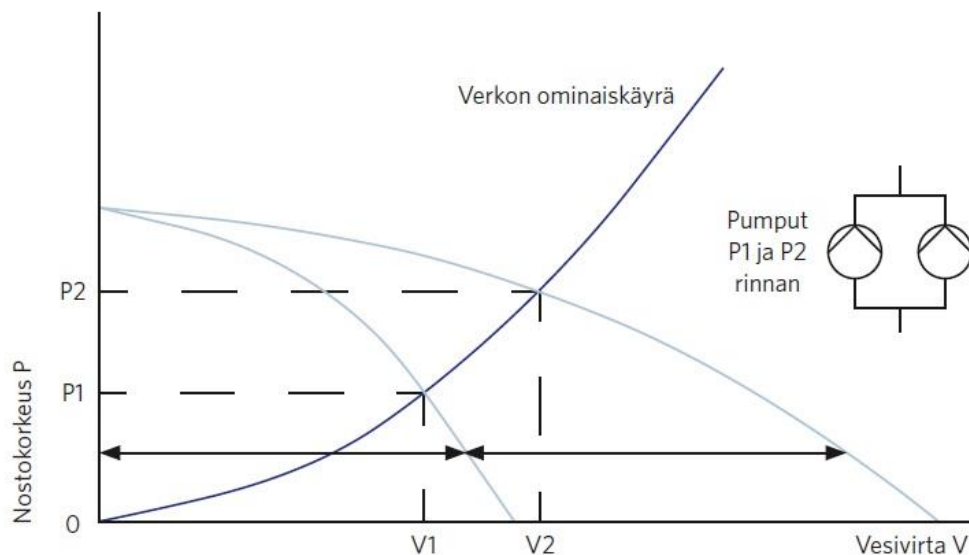
5.2.4 Kierroslukusäätö

Kierroslukusäädössä säädetään pumpun pyörimisnopeutta, jolloin pumpun tilavuusvirta, nostokorkeus ja teho muuttuvat affiniteettisääntöjen mukaisesti. Kierroslukusäätö on energiatehokas säätömenetelmä, sillä hyötysuhde pysyy muuttumattomana mikäli kierrokset pysyvät lähellä toimintapisteen kierroslukua. Taajuusmuuttaja on nykyisin ensisijaisin keino kierroslukusäätöön, myös nestekytkeä voidaan käyttää. Nestekytke on käytössä isojen pumppujen käytöissä teollisuudessa, koska sen rakenne on monimutkaisempi ja vaatii kunnossapitoa enemmän kuin taajuusmuuttaja. Nestekytkeimen toimintavarmuus ja häiriönsietokyky on parempi kuin taajuusmuuttajan. (Motiva 2011, 8–9.)

5.2.5 Pumppujen rinnan ja sarjakytkentä

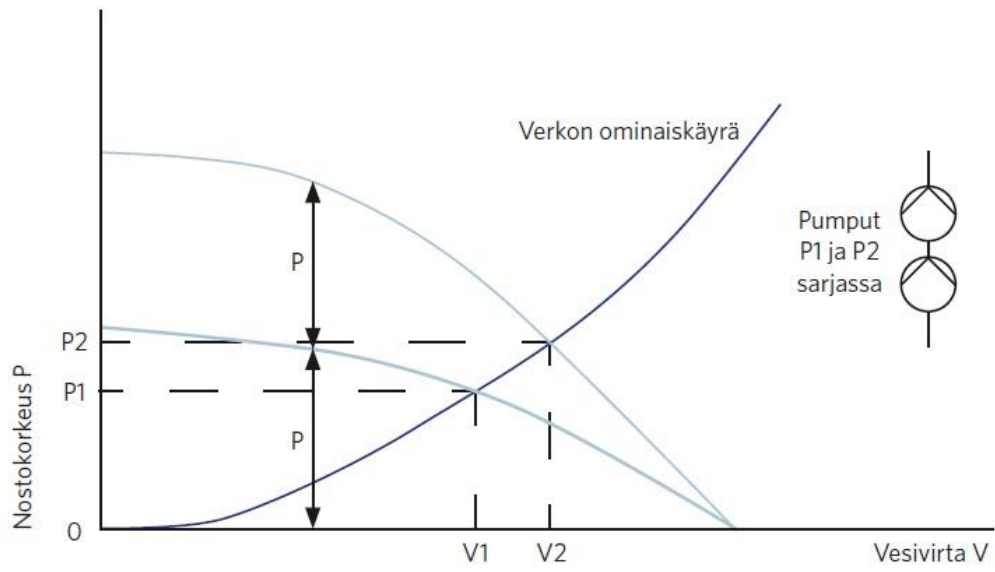
Pumppujen käyttötilanteisiin, joissa tarvittava tilavuusvirta tai nostokorkeus vaihtelee, voidaan käyttää säätömenetelmänä pumppujen rinnan- tai sarjakytkentää.

Rinnankytkennässä molemmille pumpuille on oma syöttö imupuolelle, virtaukset yhtyvät painepuolella samaan putkeen. Tilavuusvirta kasvaa ja nostokorkeus pysyy samalla tasolla (KUVIO 15.) Kytkenästä ei saada kovin suurta hyötyä, mikäli paineputkisto on ahdas ja se sisältää suuria virtausvastuksia. Rinnankytkennässä käytettävät pumput ovat yleensä samanlaisia. (Motiva 2011, 11.)



KUVIO 15. Toimintapiste pumppujen rinnankytkennässä (Motiva 2011, 11)

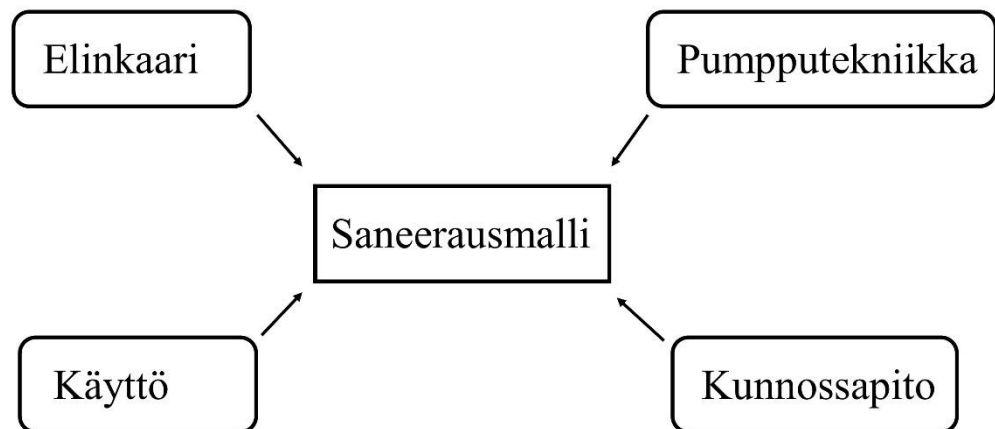
Sarjakytkennässä pumput ovat peräkkäin eli neste virtaa pumpun paineaukosta toisen pumpun imuaukkoon. Tuottoa vastaavat nostokorkeudet lasketaan yhteen (KUVIO 16).



KUVIO 16. Toimintapiste pumppujen sarjaankytkennässä (Motiva 2011, 12)

6 PUMPPAAMON SANEERAUSSUUNNITTELU

Tulvapumppaamo on periaatteeltaan suhteellisen yksinkertainen rakenne, muodostuen kuilurakennelmasta ja pumpuista. Siihen ei kuulu ohjaustekniikan, takaiskun ja sulkulaitteiston lisäksi muita toimilaitteita. Suunnittelussa täytyy kuitenkin ottaa huomioon eri tekijöitä, jotka vaikuttavat toisiinsa. Saneeraussuunnitelman voidaan katsoa olevan kokonaisuus, joka koostuu pumppaamon käytöstä, elinkaaresta, pumpputekniikasta ja kunnossapidosta (KUVIO 17). Näillä saneerauksen osatekijöillä on myös keskinäisiä vuorovaikutuksia.



KUVIO 17. Saneeraussuunnittelun osatekijät

Pumpun tärkein toiminnallinen ominaisuus on toimintapiste ja sen sijainti Q/H-käyrällä sekä toimintapisteestä riippuva hyötysuhde, jotka vaikuttavat pumppaamon käyttöön, elinkaareen ja kunnossapitoon. Pumppaamon teknisillä ratkaisuilla taas vaikutetaan pumpun toimintapisteen muodostumiseen. Suunnittelun lähtökohtana voidaan pitää nykyistä käyttöä ja siinä olevien toimintapisteen tunnistaminen ja uusien pumppukäyttöjen optimointi toimintapisteille. Yleensä pumput mitoitetaan tulvakäytössä maksimi tulvakorkeuden mukaan, käytännössä pumppaus tapahtuu suurimmaksi osaksi matalalla geodeettisella nostokorkeudella, jossa pumppu toimii huonommalla hyötysuhteella.

7 PUMPPAAMON ELINKAARI

Tulvapumppaamon elinkaari alkaa rakentamisesta ja käyttöönotosta, ja sen tulisi kestää vähintään 30–40 vuoden käyttöjakso ennen uudelleen saneerausta. Siten suunnittelussa tehtävillä ratkaisulla on merkittävä vaikutus elinkaaren pituuteen ja elinkaarikustannuksiin. Yleisesti pumppaamoiden rakennus ja saneeraushankkeissa kiinnitetään huomio vain investointivaiheeseen ja sen aikaisiin kustannuksiin. Pitkäaikainen seuranta on osoittanut, että pumpun pääomakustannus on vain 5-15 % käyttöiän kustannuksista ja 85–95 % kustannuksista muodostuu käyttöenergiasta ja kunnossapidosta. Näin ollen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon pumpun hyötysuhde eri toimipisteissä, huonolla hyötysuhteella toimiva pumpu syö investoinnissa säästyneet kustannukset vuosien kuluessa. (Motiva 2011, 17.)

Suunnitteluvaiheessa voidaan elinkaaren aikana muodostuvia kustannuksia laskea eri elinkaarilaskennan menetelmillä, joita yleisesti kutsutaan LCC-menetelmiksi (Life Cycle Costing). Pumppauksen elinkaarikustannukset lasketaan kaavalla 19. (Europump & Hydraulic Institute 2001,4.)

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d \quad (19)$$

Jossa

- LCC= elinkaarikustannus
- C_{ic} = aloitus- ja hankintakustannukset
- C_{in} = asennus ja käyttöönotokustannukset
- C_e = energiakustannukset
- C_o = käyttökustannukset
- C_m = kunnossapito ja korjauskustannukset
- C_s = käyntikatkosten aiheuttamat kustannukset
- C_{env} = ympäristökustannukset
- C_d = käytöstäpoisto ja jätekustannukset.

Pumppujen tekninen kehitys on edennyt vuosien aikana, ja esimerkiksi hyötysuhteet ovat parantuneet, materiaalit kehittyneet, ohjauselektroniikka kehittynyt jne. Pumppaamoiden

elinkaarta voidaan jatkaa uusimalla jokin osakokonaisuus, esimerkiksi ohjauselektronikka ja -automaatio. Kyrönjoen pumppaamoilla on tehty tämän tyyppisiä uudistuksia, kuten kaukovalvonta-laitteiston asennus 1997 ja tähti-kolmio-käynnistimien korvaaminen pehmokäynnistimillä 2008. Keskisuurien pumppaamoiden tulvapumput ovat olleet käytössä 20-vuotta ja niiden elinkaari alkaa kääntymään loppupuolelle, jolloin vikaantumistodennäköisyys ja kunnossapitokustannukset kasvavat. Valtion myöntämät peruskunnostus ja kunnossapitomäärärahat vaikuttavat siihen, että pumppaamoja voidaan uusia 1-2 kappaletta vuodessa määrärahojen ja hankintalain puitteissa. Saneeraussuunnittelu ja -hankkeiden toteutus on aloitettava ajoissa, jotta pumppujen elinkaaren venyminen voidaan välttää.

8 PUMPPAAMON KÄYTTÖ

Kyrönjoen pumppaamoilla on ollut käytössä kaukovalvontajärjestelmä vuosista 1997–98 lähtien, ja järjestelmän keräämää tietoa on tallennettu tietokantoihin. Järjestelmä tallentaa tietokantaan pumppujen käyntikerrat, käyntiajat ja nimellistuottoon perustuvan laskennallisen pumppausmäärän tunnin aikana. Myös muita pumppaamokohtaisia anturitietoja tallennetaan. Pumppaamoiden käyttöastetta on vaikea määrittää erityisen tarkasti, sillä siihen vaikuttavat vuotuiset tulvat ja sateet, joiden määrissä voi olla isoja eroja vuosien välillä. Kuitenkin saneerausratkaisuja mietittäessä on esitietoina oltava käsitys siitä miten pumppaamoita käytetään. Käyttöhenkilökunnalla on siitä oma näkemys, joka on muodostunut vuosien aikana jokapäiväisessä työssä pumppaamoiden parissa. Tämän lähtökohdan muodostamiseksi käytiin pumppaamoiden tietokannat läpi vuosien 2010–2014 ajalta. Kyseinen ajanjakso on ollut säiden osalta vaihteleva, ja se sisältää kuivia jaksoja kuin myös poikkeuksellisia sateita ja normaalia suurempia tulvavirtaamia, antaen näin kattavan näkemyksen pumppaamoiden käytöstä.

8.1 Lähtötiedot

Tietokannoista tarkasteltiin pumppujen käyttötunteja, joista muodostettiin tunnuslukuja pumppujen käyttöasteesta. Pumppaamon käyttöasteella kuvataan käytössä olleen pumppauskapasiteetin suhteellista osuutta kalenterijaksosta. Jos pumppaamon käyttöaste on esimerkiksi 30 %, on ajanjaksolla ollut käytössä 30 % pumppauskapasiteetista.

Tietokantojen sisältämän suuren datamäärän vuoksi tarkastelussa käytettiin aikajaksona 3kk. Käyttöaste määritettiin kuivatuspumppulle ja tulvapumppujen käyttöaste käsittää kaikki isot pumput, joiden lukumäärä vaihtelee pumppaamokohtaisesti 2–6 kpl pumppuja. Kaikkia tietokantoja ei käyty läpi, aikaisemmin saneeratut Kuokkajärven, Pajuluoman ja Seinänsuon pumppaamot jätettiin pois tarkastelusta. Lisäksi Saarakkalan pumppaamon käyttö on pääosin tulvien aikaista, ja vähäisestä käyttötuntimäärästä johtuen se jätettiin pois tarkastelusta.

Pysyvyyskäyrästä nähdään, kuinka paljon ajallisesti pinnankorkeudet vaihtelevat eli pinnankorkeuden suhde kalenteriaikaan. Pysyvyyskäyrässä tiedot esitetään prosenttiasteikolla 0-100 % prosenttiosuutena. Havaintoarvot lajitellaan suurimmasta pienimpään ja jokaiselle havaintoarvolle lasketaan prosenttiosuuden ylittymisen kasvu jakamalla 100 % havaintoarvojen lukumäärällä.

8.2 Keskisuurien pumppaamoiden käyttö

Suuret ja keskisuuret pumppaamot sijaitsevat Kyrönjoen yläosan järjestelyiden alkuosalla Rintalan, Tieksin, Iskalan ja Halkosaaren pengerrysalueilla. Pengerrysalueet ovat pinta-alaltaan erisuuruisia ja pumppaamot ovat jakautuneet alueille siten, että Rintalan alueella on neljä pumppaamoja, Tieksin ja Halkosaaren alueilla kolme pumppaamoja aluetta kohti ja Iskalan alueella yksi pumppaamo. Pengerrysalueiden maanmuodot, pellot ja ojastot ohjaavat valumavesiä pumppaamoille eritavoin aiheuttaen niiden välillä käyttötuntien ja virtaamien määrissä suuriakin eroja. Vuodenajoista ja niille tyypillisistä sääolosuhteista muodostuvat ajanjaksot, joille käyttötunnit painottuvat.

Esimerkkinä käyttöasteen vaihteluista voidaan tarkastella Tieksin pumppaamoja 2012 loppuvuoden ja 2013 alkuvuoden osalta, jolloin loka- ja marraskuussa 2012 oli runsaat syyssateet ja huhtikuussa 2013 normaalia kevättä suuremmat tulvavirtaamat. Tulvapumppujen käytössä tämä näkyy siten, että lokakuussa 2012 käyttöasteeksi muodostui 41,4 %, marraskuun käyttöasteen ollessa 7,9 %. Talviaikana joulukuussa 2012 ja tammi-, helmi- ja maaliskuussa 2013 käyttöaste oli 0 %. Keväällä tulvan aikaan käyttöaste on ollut huhtikuussa 26,9 %, kun tulvan jälkeen toukokuussa kevään vesien ollessa vielä liikkeellä käyttöaste oli 21,4 %. Kesällä ja alkusyksystä käyttöaste on ollut 0 %.

Ensimmäinen tarkastelujakso käsittää tammi-, helmi- ja maaliskuun. Tässä jaksossa tammi- ja helmikuu ovat selkeitä talvikuukausia, jolloin vettä ei ole paljoa. Maaliskuussa on vielä talviset olosuhteet, jos on aikainen kevät voi sulamisvedet lähteä liikkeelle. Toinen jakso huhti-, touko- ja kesäkuu on selkeä tulva-ajanjakso, tulvien painopisteen ollessa huhtikuussa, tulva- ja sulamisvesiä on liikkeellä myös toukokuussa. Kesäkuussa vesimäärät vähenevät, mutta tulvavesien määrä ja ajankohta vaikuttavat, että vesiä voi olla runsaasti vielä kesäkuussakin. Kolmas jakso heinä-, elo- ja syyskuu on kuiva ajanjakso, jolloin

pumppaamot toimivat yleensä kuivatuspumpulla runsaiden sadekuurojen tuodessa käyttöpiikkejä kesäaikaan. Neljäs jakso loka-, marras- ja joulukuu on ajanjakso jolloin suuret säävaihtelut voivat tuoda suuria eroavaisuuksia käyttöasteeseen. Viime vuosina runsaat syysateet ja viivästynyt talven tulo ovat lisänneet pumppausmääriä ajanjaksolla.

Keskimääräiset käyttöasteet 3kk jaksoille 2010–2014 on esitetty taulukossa3 ja pumppujen käyttötuntien keskiarvo ja vaihteluväli 2010–2014 taulukossa 4.

TAULUKKO 3. Pumppujen keskimääräinen käyttöaste 2010–2014

Pengerrysalue	Pumppaamo	Pumput	1-3	4-6	7-9	10-12	Keskiarvo %
Tieksi	Tieksi	P1-6	0,7	7,1	1,1	5,7	3,6
		KP	20,2	37,5	24,4	26,6	27,2
Seittu	Seittu	P1-3	0,7	4,1	1,2	2,0	2,0
		KP	4,1	28,3	13,3	23,3	17,2
Rintala	Tuomiluoma	P1-2	1,2	9,8	1,1	4,6	4,2
		KP	3,7	15,4	8,6	15,2	10,7
Kiikku	Kiikku	P1-2	0,7	4,1	1,1	2,9	2,2
		KP	8,6	29,0	14,9	24,2	19,2
Iskala	Iskala	P1-3	0,7	4,4	1,2	5,1	2,8
		KP	28,1	44,2	30,4	39,7	35,6
Halkosaari	Kitinoja	P1-2	0,6	3,6	1,7	2,0	2,0
		KP	24,1	42,3	36,4	33,1	34,0
	Halkosaari	P1-4	0,8	5,2	1,4	3,8	2,8
		KP	22,8	28,9	25,7	19,1	24,1
Munakka	Munakka	P1-4	0,4	4,0	1,0	3,4	2,2
		KP	2,7	18,0	5,7	15,5	10,5

Tuloksista voidaan havaita käyttöasteessa vuodenaikojen mukainen vaihtelu ja käytön painottuminen huhti-, touko- ja kesäkuuhun.

TAULUKKO 4. Pumppujen käyttötunnit 2010–2014

Pengerrysalue	Pumppaamo	Pumput	keskiarvo h/a	min h/a	max h/a	h/a/pumppu
Tieksi	Tieksi	P1-6	1886	552	2995	314
		KP	2350	1873	3082	
Rintala	Seittu	P1-3	583	203	811	194
		KP	2155	725	2759	
Rintala	Tuomiluoma	P1-2	1097	454	1987	549
		KP	1328	829	2022	
Rintala	Kiikku	P1-2	405	182	502	203
		KP	1869	1283	3319	
Iskala	Iskala	P1-3	765	354	1425	255
		KP	3075	1731	4079	
Halkosaari	Kitinoja	P1-2	360	103	500	180
		KP	2936	1041	5206	
	Halkosaari	P1-4	969	593	1376	242
		KP	2310	668	3109	
Halkosaari	Munakka	P1-4	890	304	1228	223
		KP	1509	311	1645	

Pumppaamokohtaisista käyttötunneista ja käyttöasteesta muodostetaan käytön tunnusluvut (TAULUKKO 5), joita voidaan käyttää suunniteltaessa pumppujen mitoitusta ja kunnossapitoa. Kuivatuspumppujen käyttöasteeksi muodostuu 25,0 % ja käyttötuntimäärä vuoden aikana 2192 h. Yhden tulvapumpun käyttötuntimäärän keskiarvo on 271,5h/a ja käyttöaste on 3,1 %.

TAULUKKO 5. Pumppujen käytön keskimääräiset tunnusluvut

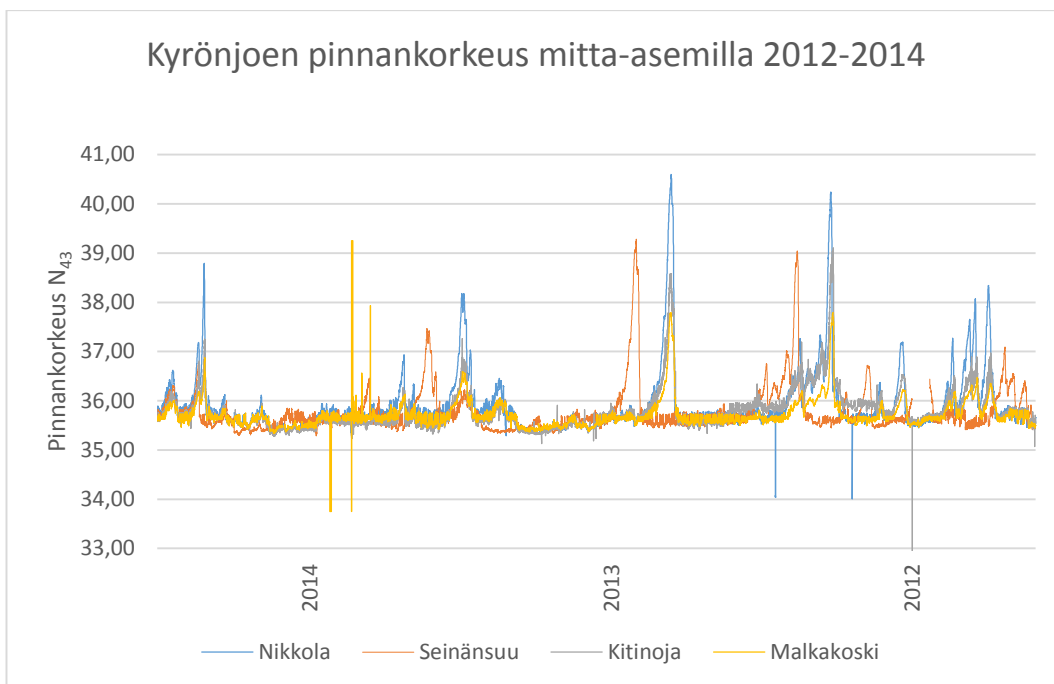
	Kuivatuspumppu	Tulvapumppu
h/a	2192	271,5
käyttöaste %	25,0	3,1

9 NYKYINEN TOIMINTAPISTE

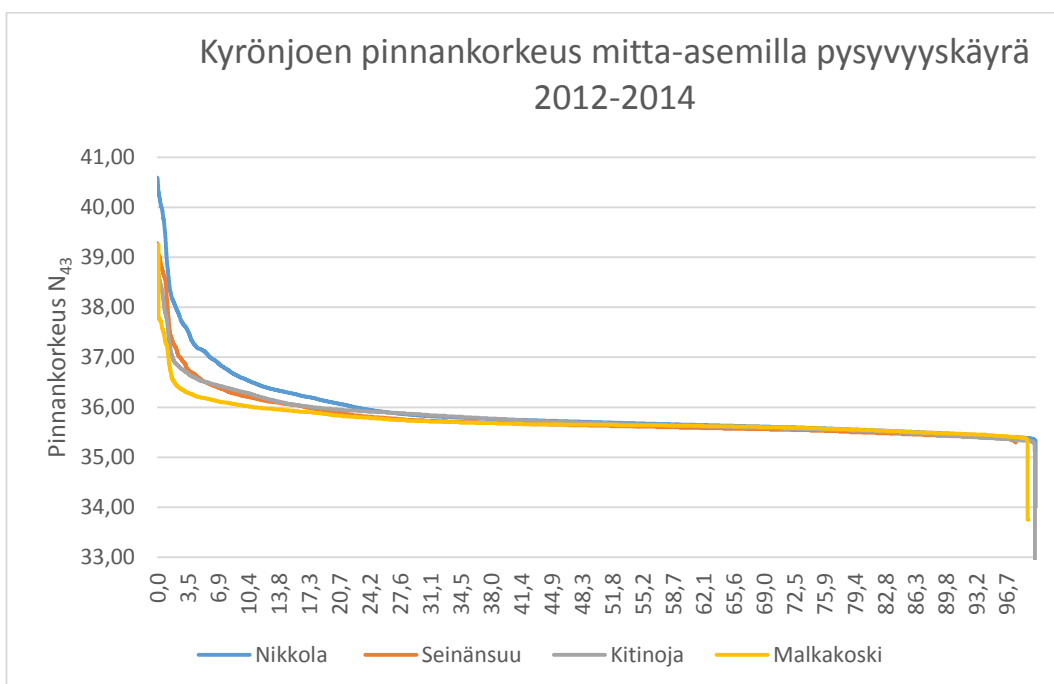
Tulvapumput on mitoitettu tulva-aikoina esiintyvien pinnankorkeuksien mukaan ja kesä sekä muina kuivina aikoina pumppaamoille tulevat vedet pumpataan kuivatuspumpuilla. Sadeaikoina kuivatuspumppujen kapasiteetti ei riitä ja sadevedet pumpataan tulvapumpuilla, jotta pengerrysalueilla olevat pellot eivät jää veden alle aiheuttaen vahinkoa maanviljelykselle. Tämä pumppaus tapahtuu matalalla nostokorkeudella, joten saneeraussuunnittelussa on tiedettävä nykyisten pumppujen toimintapiste tai toimintapisteet, jotta uuden pumpun toimintapiste ja hyötysuhde voidaan optimoida.

9.1 Geodeettinen nostokorkeus

Kyrönjoen yläosan pumppaamoilla pinnankorkeuden maksimi vaihtelee +39,00-40,00 tasojen välillä pengerrysten korkeuden mukaan. Tämän asetetun H_w -korkeuden ylittymisen jälkeen jokeen ei voida ottaa vettä, koska pengerrysten kestävyys vaarantuu ja pumppaaminen lopetetaan. Käytännössä teoreettinen maksimi geodeettinen nostokorkeus on 4,5m ja nykyisten käytössä olevien Sarlin-pumppujen mitoitusunostokorkeus on 4,6m. Pumppujen käytön kannalta ongelmaksi muodostuu, että pinnankorkeudet ovat mitoitusunostokorkeudessa ja sen lähellä vain lyhyitä ajanjaksoja, tulvajaksojen pituudet ovat viikosta kolmeen viikkoon ja maksiminostokorkeudet pysyvät vain muutamia päiviä (KUVIO 18). Pinnankorkeuksien pysyvyyskäyrästä (KUVIO 19) havaitaan, että 75% ajasta Kyrönjoen pinnankorkeus on alle +36,00-tasolla ja noin 3% ajasta on pinnankorkeus yli +37,00-tasolla.

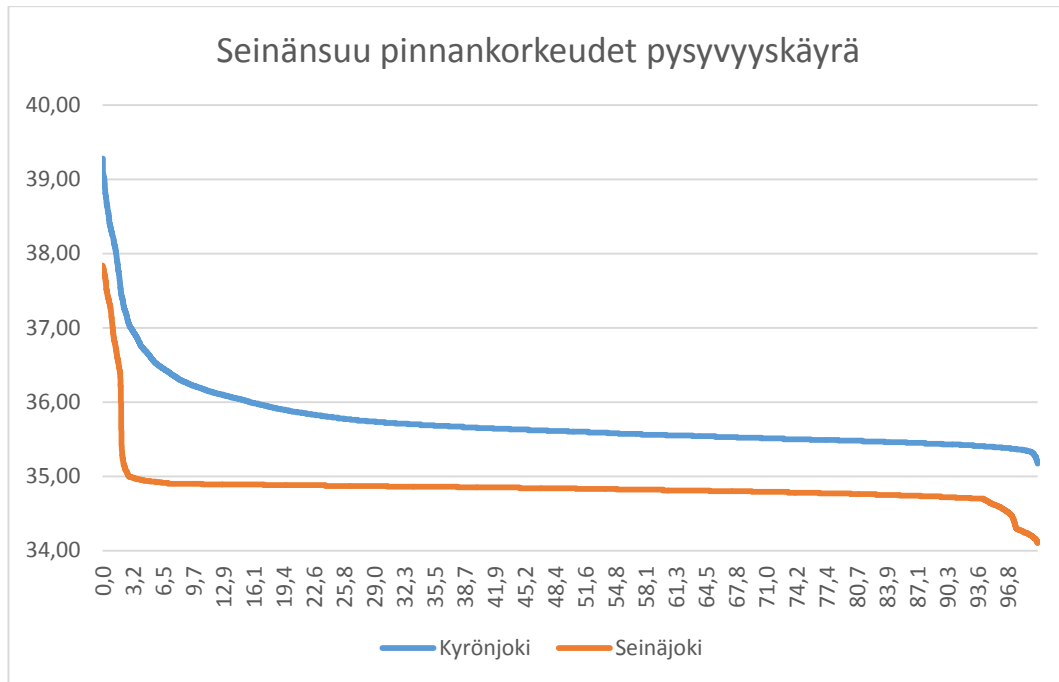


KUVIO 18. Kyrönjoen pinnankorkeudet mitta-aseilla

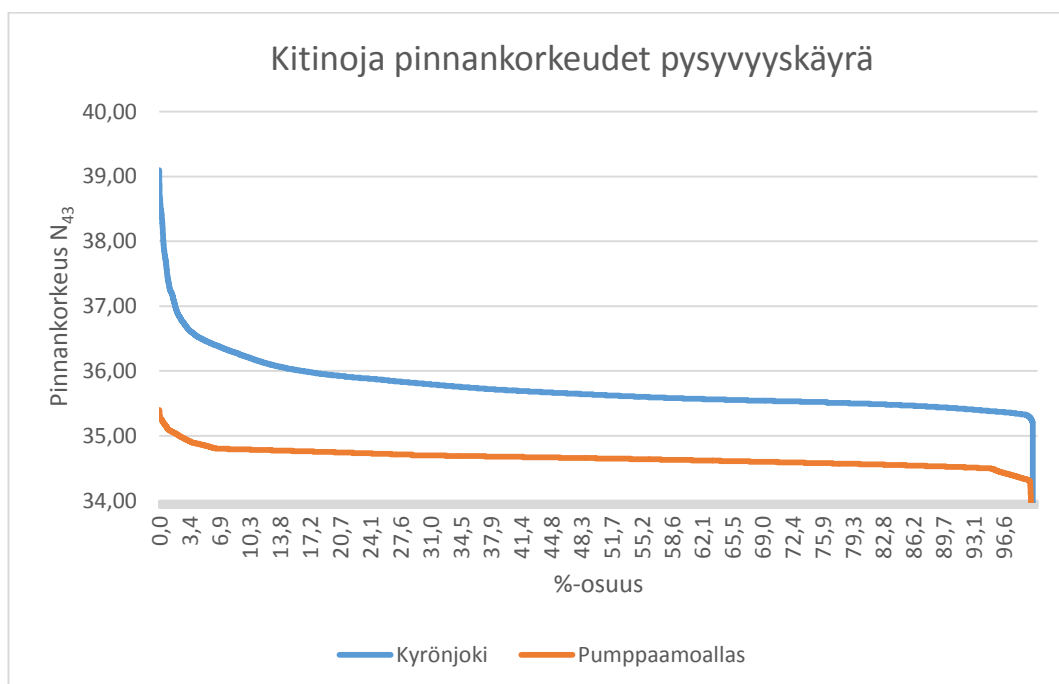


KUVIO 19. Kyrönjoen pinnankorkeudet pysyvyyskäyrä

Pumppujen pysäytysrajat ovat keskimäärin +34,60-tasolla ja keskimääräinen käynnistysraja kesäaikaan +34,80 sekä talviaikaan +35,10. Geodeettisen nostokorkeuden vaihtelua pumppaamoilla tarkastellaan Seinänsuun (KUVIO 20) ja Kitinojan (KUVIO 21) pumppaamon pysyvyyskäyristä.



KUVIO 20. Seinänsuun pumppaamon pinnankorkeudet pysyvyyskäyrä



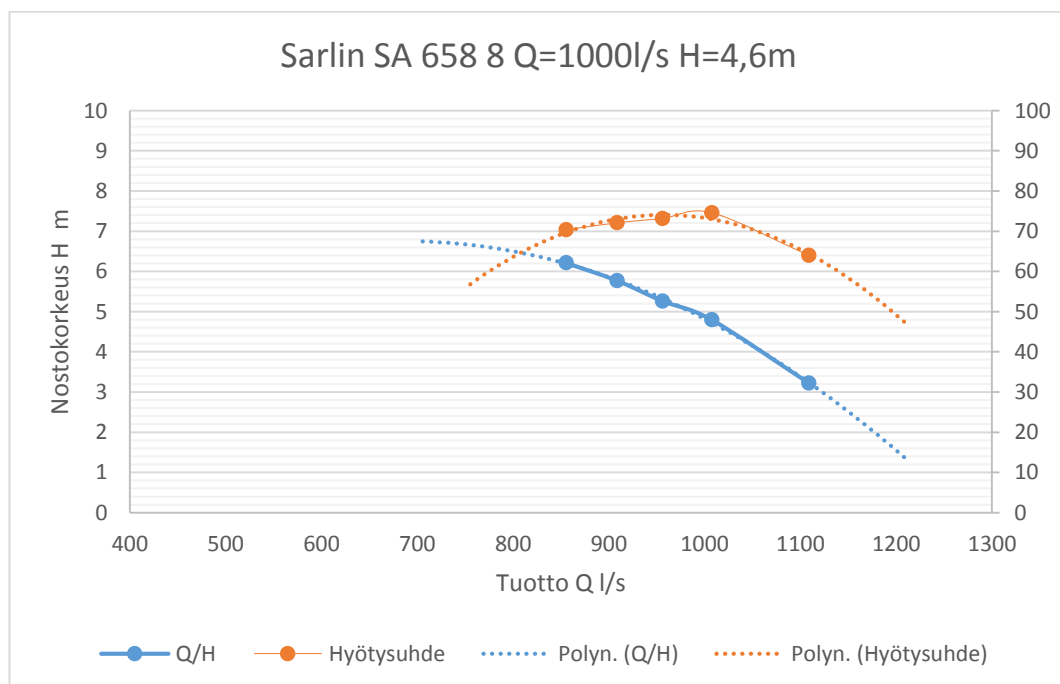
KUVIO 21. Kitinojan pumppaamon pinnankorkeudet pysyvyyskäyrä

Pysyvyyskäyristä havaitaan, että molemmilla pumppaamoilla joen pinnankorkeus on ollut +35,30 ja +36,00-tason välillä 85 % ajasta. Seinänsuun pumppaamolla pengerrysalueen pinnankorkeus on ollut +34,70 ja +34,90 tasojen välillä 85 % ajasta. Kitinojan pumppaamolla pengerrysalueen pinnankorkeus on ollut +34,50 ja +34,80 tasojen välillä 87

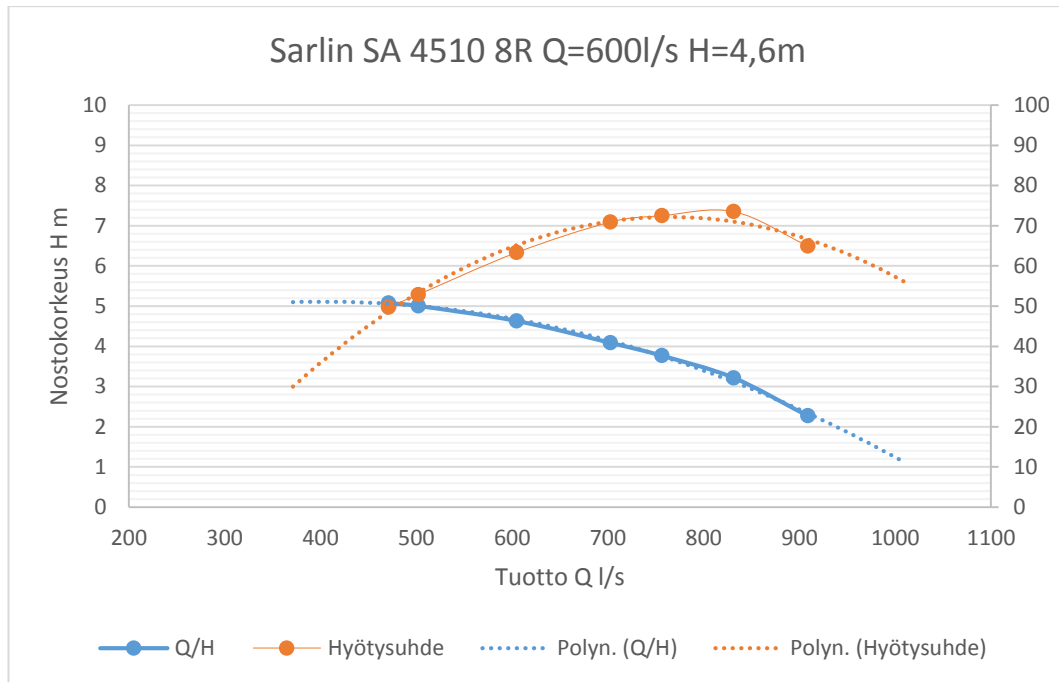
% ajasta. Vertailtaessa Kyrönjoen pinnankorkeuksia ja pumppaamoiden keskimääräisiä käynnistys- ja pysäytysrajoja havaitaan, että pumput toimivat 85 % ajasta alueella, jossa geodeettinen nostokorkeus voi vaihdella 0,2m ja 1,4m välillä. Toimintapisteen vertailutasoina voidaan käyttää Kyrönjoen keskimääräisen pinnankorkeuden +35,6 ja pumppaamoiden käynnistys- ja pysäytysrajojen keskiarvoa +34,80.

9.2 Käytössä olevien pumppujen Q/H-käyrä

Tulvapumppuina pumppaamoilla käytetään Sarlin valmistamia SA 658 8 ja SA 4510 8R pumppuja, joiden mitoitusarvot on esitetty kuviossa 22 ja 23. Pumpuille ei ole saatavissa Q/H-käyrästä, joten käyrät laadittiin valmistajan pumpputoimituksen yhteydessä antamien koeajoraporttien perusteella. Koeajoraporteista valittiin satunnaisesti kolme kappaletta molemmista pumpputyypeistä, ja tuloksien keskiarvosta muodostettiin Q/H-käyrä ja pumpun hyötysuhdekäyrä.



KUVIO 22. Sarlin SA 658 Q/H- ja hyötysuhdekäyrä



KUVIO 23. Sarlin SA 4510 Q/H-käyrä ja hyötysuhdekäyrä

9.3 Putkiston ominaiskäyrä

Toimintapisteen selvittämiseksi matalalla geodeettisellä nostokorkeudella on tunnettava pumppaamon purkuputkiston aiheuttamat virtaushäviöt eli putkiston ominaiskäyrä. Ominaiskäyrän piirtämiseksi on ensin laskettava putkistossa tapahtuva painehäviö (KAAVA 20) ja muunnettava se korkeudeksi (KAAVA 21), tämän jälkeen voidaan ratkaista putkiston vakiokerroin k kaavasta 22.

$$\Delta p = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (20)$$

Jossa

- Δp = painehäviö [Pa]
- λ = kitkavastuskerroin [-]
- l = putken pituus [m]
- d = putken sisähalkaisija [m]
- ζ = paikallisvastukset [-]
- ρ = tiheys [kg/m^3]
- v = virtausnopeus [m/s]

Painehäviö muunnetaan korkeudeksi ja tuloksena saatava korkeus on nostokorkeuden dynaminen osa H_d .

$$H_d = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (21)$$

Putkiston vakiokerroin k ratkaistaan.

$$H_d = k * Q^2 \rightarrow k = \frac{H_d}{Q^2} \quad (22)$$

Purkuputkiston rakenne on esitetty kuviossa 3 ja putkiston nimelliskoko $1,0\text{m}^3/\text{s}$ pumpulle on DN800 ja $0,6\text{m}^3/\text{s}$ pumpulle DN600. Purkuputkistolle suoritetun virtausmallinnuksen tuloksena on saatu paikallisvastuskertoimen arvoksi DN800 1,33 ja DN600 0,62.

Purkuputkistojen DN800 ja DN600 virtausnopeudet $1,0\text{m}^3/\text{s}$ ja $0,6\text{m}^3/\text{s}$ tuotolla.

DN800:

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_1}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{1,0\text{m}^3/\text{s}}{\frac{\pi(0,813\text{m})^2}{4}} = 1,926 \text{ m/s}$$

DN600:

$$v_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Q_2}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,6\text{m}^3/\text{s}}{\frac{\pi(0,61\text{m})^2}{4}} = 2,053 \text{ m/s}$$

Seuraavaksi lasketaan virtauksien Reynoldsin luvut. Laskennassa käytetään $+10\text{C}^\circ$ veden kinemaattista viskositeettia.

DN800:

$$Re_1 = \frac{v_1 D_1}{\nu} = \frac{1,926\text{m/s} \cdot 0,813\text{m}}{1,306 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}} = 1199518$$

DN600:

$$Re_2 = \frac{v_2 D_2}{\nu} = \frac{2,053 \text{ m/s} \cdot 0,611 \text{ m}}{1,306 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 958933$$

Molempien putkistojen virtaus on turbulenttista. Seuraavaksi lasketaan putkistojen suhteellinen pinnankarheus molemmille putkistoille. Putkistot on tehty haponkestävästä teräksestä ja laskennassa käytetään vanhan pinnan karheusarvoa.

$$\text{DN800: } \frac{k}{d_1} = \frac{0,25 \text{ mm}}{813 \text{ mm}} = 0,00031$$

$$\text{DN600: } \frac{k}{d_2} = \frac{0,25 \text{ mm}}{611 \text{ mm}} = 0,00041$$

Reynoldsin luvun ja suhteellisen karheuden arvoilla määritetään Moodyn käyrästä (LIITE 5) putkistojen kitkavastuskerroin.

$$\text{DN800: } \lambda = 0,015$$

$$\text{DN600: } \lambda = 0,017$$

Seuraavana lasketaan putkistoissa aiheutuva painehäviö.

DN800:

$$\begin{aligned} \Delta p_1 &= \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_1} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \left(0,015 \cdot \frac{1,0 \text{ m}}{0,813 \text{ m}} + 2,33 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(1,926 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \\ &= 4303 \text{ Pa} \end{aligned}$$

DN600:

$$\begin{aligned} \Delta p_2 &= \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_2} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{1}{2} \rho v_2^2 = \left(0,017 \cdot \frac{1,0 \text{ m}}{0,611 \text{ m}} + 1,62 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(2,053 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \\ &= 3431 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Muunnetaan painehäviö putkiston dynaamiseksi nostokorkeudeksi H_d .

DN800:

$$H_d = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{4303 Pa}{988 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,44 m$$

DN600:

$$H_d = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{3431 Pa}{988 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,35 m$$

Putkiston vakiokerroin k .

DN800:

$$k = \frac{H_d}{Q^2} = \frac{0,44 m}{(1,0 m/s)^2} = 0,44$$

DN600:

$$k = \frac{H_d}{Q^2} = \frac{0,35 m}{(0,6 m/s)^2} = 0,97$$

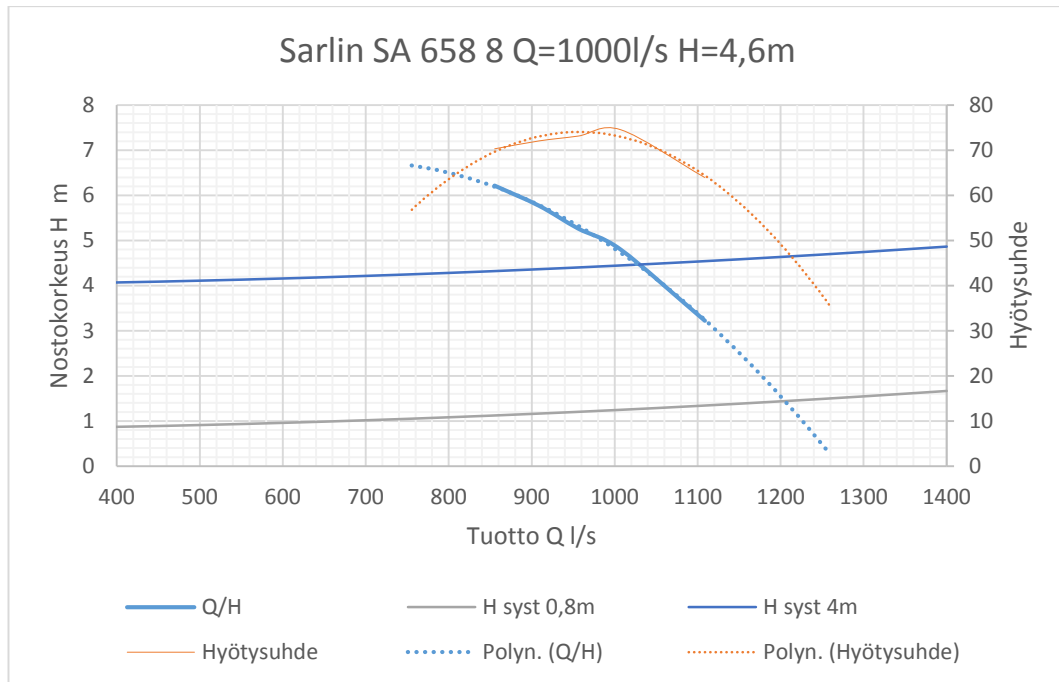
Taulukkoon 6 on laskettu dynaamisen nostokorkeuden H_d arvoja putkistoille DN800 ja DN600 eri virtaamilla ominaiskäyrän piirtämiseksi.

TAULUKKO 6. Putkistojen dynaamiset nostokorkeudet H_d .

Q m ³ /s	DN800, k=0,44	DN600, k=0,97
0,1	0,00	0,01
0,2	0,02	0,04
0,3	0,04	0,09
0,4	0,07	0,16
0,5	0,11	0,24
0,6	0,16	0,35
0,7	0,22	0,48
0,8	0,28	0,62
0,9	0,36	0,79
1	0,44	0,97
1,1	0,53	1,17
1,2	0,63	1,40
1,3	0,74	1,64
1,4	0,86	1,90
1,5	0,99	2,18

9.4 Pumppujen ominaiskäyrä

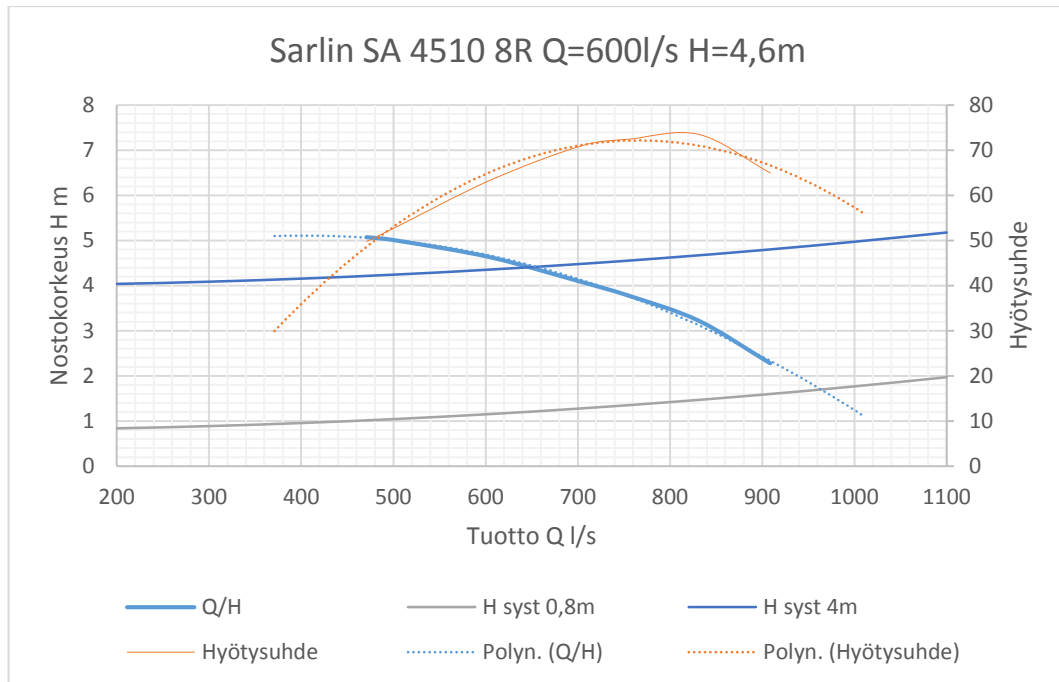
Sarlin SA 658-pumpun (KUVIO 24) ja Sarlin SA 4510-pumpun (KUVIO 25) Q/H-käyrästään piirretty putkiston ominaiskäyrät ja taulukossa 7 ja 8 on toimintapisteen arvot 4m geodeettisella nostokorkeudella, joka on tulvakorkeutta vastaava ja 0,8m geodeettisella nostokorkeudella, joka on keskimääräinen nostokorkeus n.85 % ajasta.



KUVIO 24. Sarlin SA 658 ominaiskäyrät

TAULUKKO 7. Sarlin SA 658 toimintapisteiden arvot ($H_{\text{geod}} = 0,8\text{m}$ ja $4,0\text{m}$)

SA 658	$H_{\text{geod}} = 0,8\text{m}$	$H_{\text{geod}} = 4\text{m}$
nostokorkeus H	1,4	4,5
tuotto Q l/s	1210	1030
hyötysuhde %	48	72



KUVIO 25. Sarlin SA 4510 ominaiskäyrät

TAULUKKO 8. Sarlin SA 4510 toimintapisteiden arvot ($H_{\text{geod}} = 0,8\text{m}$ ja $4,0\text{m}$)

SA 4510	$H_{\text{geod}} = 0,8\text{m}$	$H_{\text{geod}} = 4\text{m}$
nostokorkeus H	1,7	4,4
tuotto Q l/s	960	640
hyötysuhde %	62	68

Vertailtaessa käytössä olevien pumppujen ominaiskäyriä ja toimintapisteen arvoja kahdella geodeettisella nostokorkeudella havaitaan pumppujen Q/H-käyrien olevan muodoltaan erityyppisiä. SA658-pumpun Q/H-käyrä ja hyötysuhdekäyrä on muodoltaan jyrkempi kuin SA4510-pumpun käyrät. SA658-pumpun toimintapiste on optimialueella käyrän keskivaiheilla tulvakorkeudella ja hyötysuhdekäyrän jyrkkyydestä johtuen hyötysuhde laskee voimakkaasti nostokorkeuden ollessa normaalikäytön alueella. SA4510-pumpun toimintapiste on tulvakorkeudella käyrän vasemmassa reunassa ja hyötysuhde on huonompi kuin SA658-pumpulla. Hyötysuhdekäyrä on muodoltaan loivempi, ja matalalla nostokorkeudella normaalikäytössä ei hyötysuhteessa tapahdu suuria muutoksia, vaan pumppu toimii Kyrönjoen pinnankorkeuden vaihtelun mukaisissa toimintapisteissä Q/H-käyrän alueella kohtuullisen hyvällä hyötysuhteella.

Molemmilla pumpuilla toimintapiste on normaalikäyttötilanteessa voimakkaasti käyrän oikeassa reunassa, joka voi johtaa pumpun värinään ja kavitaatioon, jotka lisäävät vaurioitumisriskiä.

Tällä hetkellä pumppaamoilla pumppuja käytetään siten, että tulvapumppuja vuorotellaan kuormituksen ja käyttötuntien tasaamiseksi. Mikäli pumppujen käyttöä halutaan optimoida ennen saneerauksia, on toimintapistetarkastelun perusteella muutettava pumppujen käyttöä siten, että SA658-pumppuja käytetään tulvatilanteissa ja SA4510-pumppuja esimerkiksi rankkasateiden vesien pumppaamiseen.

10 SANEERAUSRATKAISUT

Kun tiedetään nykyisien pumppujen toimintapisteet, voidaan valita pumpputyypeistä parhaiten soveltuva pumppu. Valittu pumpputyyppe ja sen mitoitusperusteet ja asennustavat vaikuttavat siihen, mitä muutoksia pumppaamalla on tehtävä, jotta pumppua voidaan soveltaa.

10.1 Pumpputyyppe

Tulvakäyttöön, jossa on yleensä matalat nostokorkeudet ja tarvitaan mahdollisimman suurta tuottoa, soveltuvat aksiaali- ja keskipakopumput. Keskipakopumpun mitoittaminen tulvakäyttöön on hankalaa, pumpuilla jolla toimintapiste ulottuu matalille nostokorkeuksille, jää tuotto yleensä pieneksi. Suurituottoiset pumput vaativat nostokorkeutta yleensä enemmän kuin tulvakäytössä tarvitaan, jotta pumpun toimintapiste olisi optimaalialueella. Keskipakouppopumppuja käytetään yleisesti jätevesikäytöissä, joissa tarvitaan korkeampia nostokorkeuksia. Kuivatuskäytössä keskipakopumppu soveltuu käytettäväksi pienten pengerrysalueiden kuivatuspumppuksi, kun tuottoalue on n. 100–500 l/s.

Parhaiten tulvakäyttöön soveltuva pumpputyyppe on aksiaali- tai puoliaksaalipumppu, joiden tuottoalueet ovat 200–10000 l/s välillä nostokorkeuden ollessa 2–8 m. Pumppuvalmistajat suunnittelevat pumppusarjat siten, että samasta pumppurungosta ja pesästä saadaan potkurin lapakulmaa ja sähkömoottorin tehoa tai napalukua muuttamalla erilaisilla Q/H-käyrillä toimivia pumppuja. Pumppua mitoittaessa valitaan halutun nimellistuoton antavan pumpun Q/H-käyristä se, joka halutulla nostokorkeudella toimii mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella.

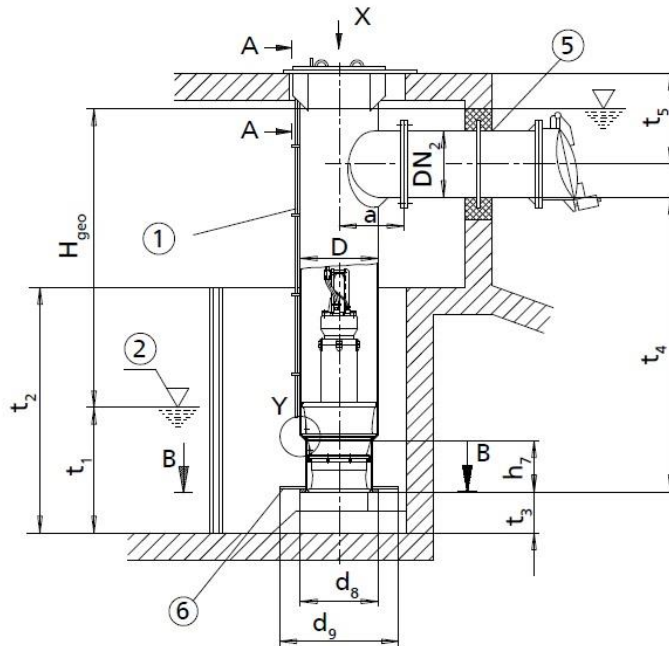
10.2 Purkuputkisto

Pystyakselinen potkuriuppumpu asennetaan kuiluputkeen, jossa on putken pohjalla istukkakartio. Pumppu lasketaan kartiota vasten ja se pysyy paikoillaan painovoiman sekä pumppauskuormituksen avulla. Putken halkaisija määräytyy valitun pumpun mukaan. Pumppuvalmistajilla on kuiluputkikäyttöön erilaisia asennustapoja (LIITE 6), joissa on eroja sen mukaan tapahtuuko imu avoimesta tai suljetusta kammioista ja tapahtuuko purku

kuiluputkesta ylivuotona tai vastapaineeseen T-yhteen kautta. Pumppuvalmistajilla on eri asennustavoille mitoitusohjeet, jotka on laadittu virtausmallinnusten ja koeajojen tuloksena, jotta voidaan varmistaa imupuolella pyörteetön ja stabiili virtaus ja virtausnopeus max $0,5\text{m/s}^2$. Noudattamalla näitä mitoitusohjeita varmistetaan riittävä paine pumpun imuaukossa ja estetään kavitaatio pumpussa. Saneerattaessa vanhoja pumppaamoja voi olemassa olevat rakenteet tuottaa hankaluuksia noudattaen mitoitusohjeita, esimerkiksi pumppukuilun leveyden tulisi olla kaksi kertaa paineputken halkaisija ja suuria tuottoja tavoiteltaessa vanhojen kuilujen kapeus muodostuu rajoitteeksi.

Kyrönjoen pumppaamoilla kuiluputkimuutos soveltuu parhaiten kuvion 26 periaatteen mukaisesti toteutettavaksi, jossa kuiluputken yläpää johdetaan pumppaamon välikannelle ja vesi pumpataan väliseinän läpi purkukammioon. Purkuputkeen asennetaan takaiskuventtiili tai -läppä putken päähän. Takaiskuventtiili tulisi olla läppäventtiili varustettuna vastapainolla. Molemmilla takaiskutyypeillä on riski korkeille paineiskuille ja liian pienestä virtausnopeudesta johtuvaan läpän vajaaseen aukeamisasteeseen, joka johtaa läpän värinään. Nämä molemmat lisäävät takaiskun vaurioitumisriskiä ja siten takaisku tulisi toteuttaa niin, että sen kunnossapito voidaan suorittaa helposti. Mikäli pumppaamossa ei ole sulkurakenteita, purkuputki on varustettava sulkuventtiilillä, jotta putki voidaan sulkea takaiskun vaurioituessa tai huoltotoimenpiteitä varten. Sulkuventtiiliksi soveltuu parhaiten luistiventtiili, koska sitä käytetään joko auki tai kiinni. Luistiventtiilin etuja on pieni painehäviö, rakenteen tiiviys, pieni koko virtaussuunnassa ja edullisuus. Kuiluputken suunnittelussa on huomioitava materiaalia valittaessa ja putken tuennassa, että sen sisällä virtaa useiden kuutioiden vesimäärä, josta aiheutuu suuria staattisia ja dynaamisia kuormituksia putkistolle. Suunnittelussa on huomioitava myös Kyrönjoen happamasta maaperästä johtuva veden alhainen pH-pitoisuus, joka asettaa vaatimuksia kuiluputken ja sen osien korroosionkestävyydelle.

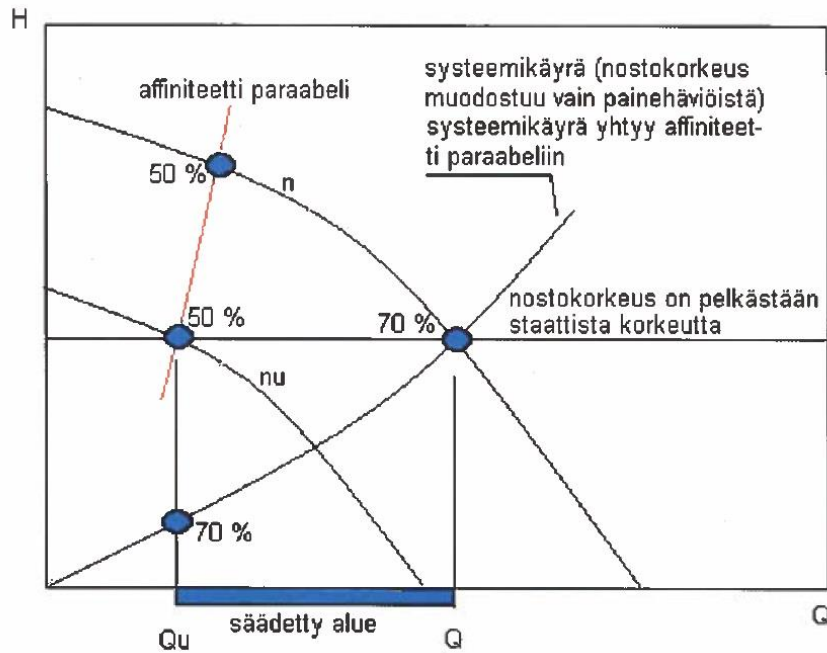
Mikäli kuiluputkisto suunnitellaan purkavaksi kiinteän kynnyksen yli ilman putkeen asennettavaa takaiskua, on takaisinpäin tapahtuva lappovirtaus mahdollinen. Tällöin on otettava huomioon kuiluputken varustaminen ilmanpoistovenktiilillä lappovirtauksen estämiseksi.



KUVIO 26. Kuiluputkiasennuksen periaate, avoin imukammio (KSB 2014)

10.3 Taajuusmuuttajakäyttö

Käytettäessä aksiaalipotkuripumpuja soveltuu taajuusmuuttaja pumppujen käynnistämiseen ja pysäyttämiseen paremmin kuin pehmokäynnistin, esimerkiksi käynnistys ja pysäytysramppia voidaan säätää monipuolisemmin. Taajuusmuuttajalla voidaan kierroksia pudottamalla pienentää pumppauksen käytettävää energiaa affiniteettisääntöjen mukaisesti. Säädettävää käyttöä suunniteltaessa on otettava huomioon nostokorkeuden ja affiniteettiparabelin vaikutus hyötysuhteeseen (KUVIO 28). Kun nostokorkeus muodostuu pelkästään staattisesta nostokorkeudesta, ei kierroslukusäätö ole kannattavaa hyötysuhteen huononemisen kannalta. Mikäli nostokorkeus muodotuu dynaamisesta nostokorkeudesta, on systeemikäyrä affiniteettiparabelin muotoinen ja hyötysuhde ei muutu. Todellisuudessa nostokorkeus muodostuu staattisesta ja dynaamisesta nostokorkeudesta, jolloin nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että jos nostokorkeus muodostuu yli 50 % staattisesta nostokorkeudesta, ei kierroslukusäätö ole energiataloudellisesti kannattavaa. (Pulli 2009, 86–87.)



KUVIO 27. Nostokorkeuden vaikutus kierroslukusäädön hyötysuhteeseen (Pulli 2009, 86)

10.4 Anturointi ja kunnonvalvonta

Uppopumpussa pumppu ja moottori sijaitsevat kokonaan veden alla, joka tekee pumpun kunnonvalvonnan haasteelliseksi. Anturitekniikka on kehittynyt ja uusien pumppujen mukana on mahdollista saada erilaisia antureita pumppujen suojaamiseksi ja kunnonvalvontaan.

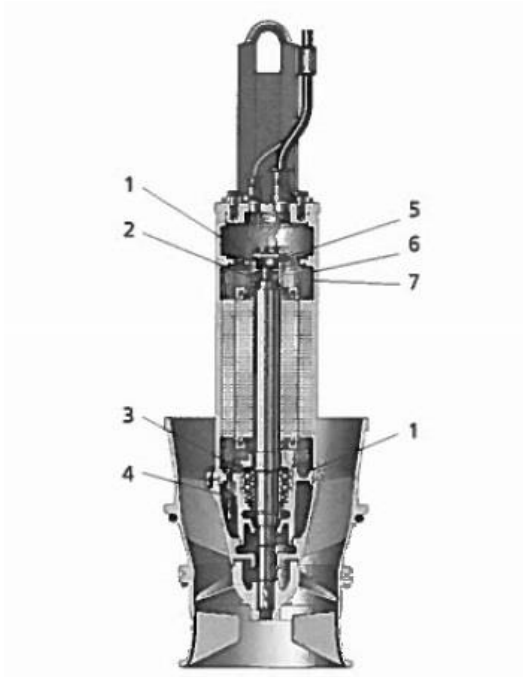
Aksiaalisessa ja keskipakouppopumpussa juoksupyörä ja moottori sijaitsevat samalla akselilla mekaanisesti kiinteästi kytkettyinä. Juoksupyörän ja moottorin välissä olevassa öljyllä täytetty tilassa on liukurengastiiviste ja alalaakerointi. Mikäli juoksupyörässä esiintyy värinää esimerkiksi siipien vaurioitumisen takia tai väärästä toimintapisteestä johtuen, alkaa liukurengastiiviste vuotamaan tai vaurioituu, ja vesi pääsee vuotamaan öljytilaan. Liukurengastiiviste voi vaurioitua myös kuumenemisen tai eroosion vaikutuksesta. Pitkään jatkuttuaan öljyn vesipitoisuus nousee liian suureksi ja sen voiteluominaisuudet huononevat ja laakerien kuumeneminen tai vaurioitumisen riski kasvaa. Myös akselitiivisteet voivat vaurioitua ja vesi/öljy vuotaa käämitilaan, johtaen pahimmillaan moottorin käämien palamiseen ja pumpun täyskunnostukseen.

Värinän tai lämpenemisen aiheuttaman etenevän vaurioitumismekanismin havaitsemiseksi ja estämiseksi sekä pumppujen suojaamiseksi muiden vaurioiden, esimerkiksi O-rengastiivisteiden vuotamisen aiheuttamalta vikaantumiselta, tulisi uudet pumput varustaa (TAULUKKO 9) kunnonvalvonta-antureilla, jotka sijaitsevat kuvan 28 mukaisesti pumpussa.

TAULUKKO 9. Uppopumpun kunnonvalvonta-anturit, KSB

Sijainti	Anturi
1.	liitin- ja käämitilan vuoto
2.	laakerilämpötila, ylempi laakeri
3.	laakerilämpötila, alempi laakeri
4.	liukurengastiivisteiden vuoto
5.	värinä
6.	moottorilämpötila, PTC
7.	moottorilämpötila, PT100

Liitin- ja käämitilan vuotoanturi on kosteuskytkin, jonka toiminta perustuu anturin kapasitanssin muutokseen suhteessa ilman kosteuteen. Kapasitanssin saavuttaessa raja-arvon estetään pumpun toiminta. Moottorin käämin lämpötilaa voidaan mitata kolmella sarjaan kytketyllä PTC-termistorilla tai PT100-vastuselementillä. PTC-termistori avautuu ja katkaisee virtapiirinsä ja estää pumpun toiminnan, kun se lämpiää nimellislämpötilaansa. PT100-vastuselementin resistanssi muuttuu lineaarisesti lämpötilan funktiona, jolloin lämpötilaa voidaan seurata. Myös laakerilämpötilojen mittaus perustuu PT100-vastuselementtiin. Liukurengastiivisteiden vuoto havaitaan mittaamalla öljyn vesipitoisuutta ja anturin toiminta perustuu öljyn sähkönjohtavuuden muutokseen vesipitoisuuden lisääntyessä. Värinän mittauksen anturit voivat olla toiminnaltaan kiihtyvyys tai nopeusantureita. (Salenius 2012, 32–38.)



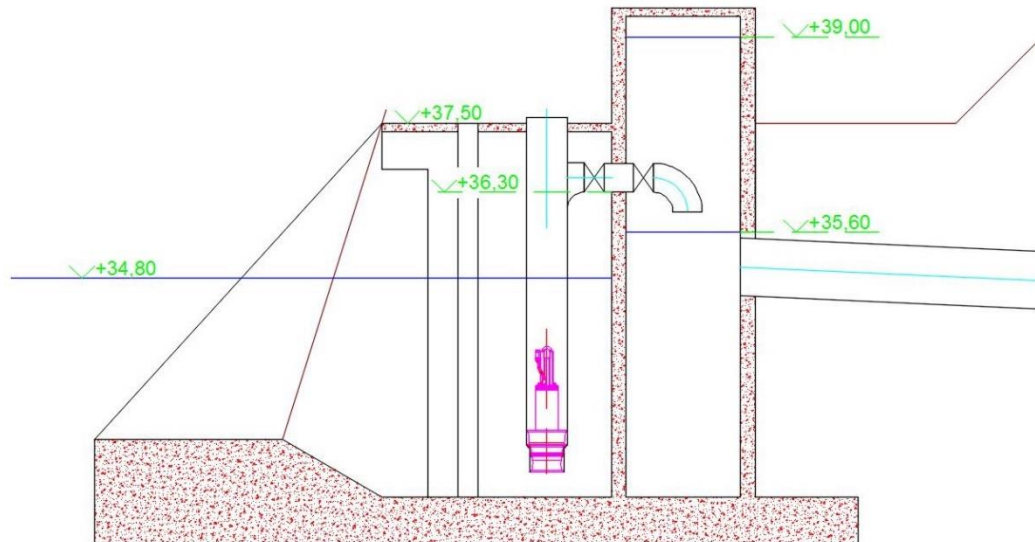
KUVIO 28. Anturien sijainti aksiaaliuoppopumpussa. (KSB 2014)

10.5 Saneerausmalli

Kuokkajärven, Pajuluoman ja Seinänsuun pumppaamot on saneerattu vuosien 2013–2015 aikana jokainen omana hankkeena. Pumppaamot on rakennettu aikaisemmin, ja niissä on ollut käytössä vaaka-akseliset potkuripumput, joka on pumpannut veden imukammioista suoraan purkputkeen. Nämä pumput on korvattu saneerauksien yhteydessä pystyakselisella potkuripumpulla ja kuiluputkella, joka on toteutettu erilaisista rakenteista johtuen pumppaamokohtaisesti mitoittaen. Hankekohtaisten tarjouskilpailujen tuloksena kolmelle pumppaamolle on tullut valituksi KSB Amacan-sarjan pumppuja erikokoisilla rungoilla. Kunnossapidon kannalta olisi merkittävää, mikäli kaikilla pumppaamoilla olisi samankaltaiset pumput. Tämän perusteella tutkittiin ja vertailtiin näiden pumppujen soveltuvuutta Sarlin-pumppujen tilalle.

Kyrönjoen keskisuurien pumppaamoiden saneraaminen kuiluputkitoimiseksi voidaan toteuttaa kuvion 30 mallin mukaisesti. Imukammiossa voidaan noudattaa pumppuvalmistajien kuiluputken mitoitusohjeita ja kiinteällä purkaus kynnyksellä rajoitetaan geodeettisen nostokorkeuden lasku 1,5 m, jolloin toimintapiste ei pääse epäedulliselle alueelle.

Vaihtoehtoisesti kuiluputkirakenne voitaisiin toteuttaa siten, että kiinteä purkauskyynnys sijoitettaisiin maksimitulvakorkeuden yläpuolelle. Rakenteen etuna olisi toimintapisteen pysyminen paikallaan, jolloin mitoittaminen ja hyötysuhteen optimoiminen olisi helpompaa. Energiataloudellisesti ratkaisu ei ole kannattava, koska joen pinta on suurimman osan ajasta alempana ja kierroslukusäädöllä ei saavutettaisi hyötyä nostokorkeuden muodostuessa pääosin staattisesta nostokorkeudesta.



KUVIO 29. Pumppaamon kuiluputki saneerausperiaate

11 PUMPPUVERTAILU

Uusia KSB Amacan-pumppuja on käytössä kaksi nimellistuotoltaan 0,6m³/s pumppua ja kaksi kaksi nimellistuotoltaan 1,0m³/s pumppua. Pumput ovat kolmella eri runkokoolla, joista yksi on kahdella eritehoisella sähkömoottorilla varustettu ja juoksupyörien lapakulma eroavat toisistaan. Samalla nimellistuotolla olevien pumppujen toimintapistettä vertailtiin keskenään ja energiatarkastelussa näitä pumppuja verrattiin vanhoihin pumppuihin.

11.1 KSB-pumput

Kyrönjoella käytössä olevat KSB Amacan-sarjan pumppujen tärkeimmät tekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. KSB Amacan pumput

	PA4 800- 540/806UTG1	PA4 700- 470/1006UTG1	PA4 600- 350/604UAG1	PA4 700- 470/476UTG1
nimellistuotto m ³ /s	1,0	1,1	0,6	0,6
rungon nimelliskoko mm	800	700	600	700
juoksupyörän halkaisija	540	470	350	470
siipien lkm	4	4	4	4
siipien kulma	9°	23°	19°	9°
teho kW	80	100	60	47
pyörimisnopeus r/min	970	970	1455	970

11.2 Kuiluputkien ominaiskäyrä

Saneerausmallissa esitetyn kuiluputkirakenteen arvioidut paikallisvastukset ovat taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Kuiluputken rakenneosien paikallisvastukset

rakenneosa	vastuskerroin ζ
90° T-liitos ylhäällä	1,3
90° käyrä	0,3
takaisku	0,5
ulosvirtaus putkesta	1
yhteensä	3,1

Kuiluputkistojen DN800, DN700 ja DN600 virtausnopeudet $1,0\text{m}^3/\text{s}$, $1,1\text{m}^3/\text{s}$ ja $0,6\text{m}^3/\text{s}$ tuotolla.

DN800:

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_1}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{1,0\text{m}^3/\text{s}}{\frac{\pi(0,813\text{m})^2}{4}} = 1,926\text{ m/s}$$

DN700:

$$v_2 = \frac{Q_2}{A_2} = \frac{Q_2}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{1,1\text{m}^3/\text{s}}{\frac{\pi(0,711\text{m})^2}{4}} = 2,771\text{ m/s}$$

DN600:

$$v_3 = \frac{Q_3}{A_3} = \frac{Q_3}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,6\text{m}^3/\text{s}}{\frac{\pi(0,61\text{m})^2}{4}} = 2,053\text{ m/s}$$

Seuraavaksi lasketaan virtauksien Reynoldsin luvut. Laskennassa käytetään $+10\text{C}^\circ$ veden kinemaattista viskositeettiä.

DN800:

$$Re_1 = \frac{v_1 D_1}{\nu} = \frac{1,926\text{m/s} \cdot 0,813\text{m}}{1,306 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}} = 1199518$$

DN700:

$$Re_2 = \frac{v_2 D_2}{\nu} = \frac{2,771\text{m/s} \cdot 0,711\text{m}}{1,306 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}} = 1508308$$

DN600:

$$Re_3 = \frac{v_3 D_3}{\nu} = \frac{2,053\text{m/s} \cdot 0,611\text{m}}{1,306 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}} = 958933$$

Kuiluputkistojen virtaus on turbulenti. Seuraavaksi lasketaan putkistojen suhteellinen pinnankarheus putkistoille. Kuiluputkistojen materiaali haponkestävästä teräksestä ja laskennassa käytetään uuden pinnan karheusarvoa.

$$DN800: \frac{k}{d_1} = \frac{0,05\text{mm}}{813\text{mm}} = 0,000062$$

$$DN700: \frac{k}{d_2} = \frac{0,05\text{mm}}{713\text{mm}} = 0,000070$$

$$DN600: \frac{k}{d_3} = \frac{0,05\text{mm}}{611\text{mm}} = 0,000082$$

Reynoldsin luvun ja suhteellisen karheuden arvoilla määritetään Moodyn käyrästä (LIITE 5) putkistojen kitkavastuskerroin.

$$DN800: \lambda = 0,013$$

$$DN700: \lambda = 0,013$$

$$DN600: \lambda = 0,014$$

Seuraavana lasketaan kuiluputkistossa aiheutuva painehäviö.

DN800:

$$\begin{aligned} \Delta p_1 &= \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_1} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \left(0,013 \cdot \frac{7,5m}{0,813m} + 3,1 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 988 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(1,926 \frac{m}{s} \right)^2 \\ &= 5900Pa \end{aligned}$$

DN700:

$$\begin{aligned} \Delta p_2 &= \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_2} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{1}{2} \rho v_2^2 = \left(0,013 \cdot \frac{7,5m}{0,711m} + 3,1 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 988 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(2,771 \frac{m}{s} \right)^2 \\ &= 12279Pa \end{aligned}$$

DN600:

$$\begin{aligned} \Delta p_3 &= \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{1}{2} \rho v_3^2 = \left(0,014 \cdot \frac{7,5m}{0,611m} + 3,1 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 988 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(2,053 \frac{m}{s} \right)^2 \\ &= 6812Pa \end{aligned}$$

Muunnetaan painehäviö putkiston dynaamiseksi nostokorkeudeksi H_d .

DN800:

$$H_d = \frac{\Delta p_1}{\rho g} = \frac{5900Pa}{988 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,61m$$

DN700:

$$H_d = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{12279 Pa}{988 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 1,27 m$$

DN600:

$$H_d = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{6812 Pa}{988 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,70 m$$

Kuiluputkiston vakiokerroin k voidaan laskea.

DN800:

$$k = \frac{H_d}{Q^2} = \frac{0,61 m}{(1,0 m/s)^2} = 0,61$$

DN700:

$$k = \frac{H_d}{Q^2} = \frac{1,27 m}{(1,1 m/s)^2} = 1,05$$

DN600:

$$k = \frac{H_d}{Q^2} = \frac{0,92 m}{(0,6 m/s)^2} = 1,94$$

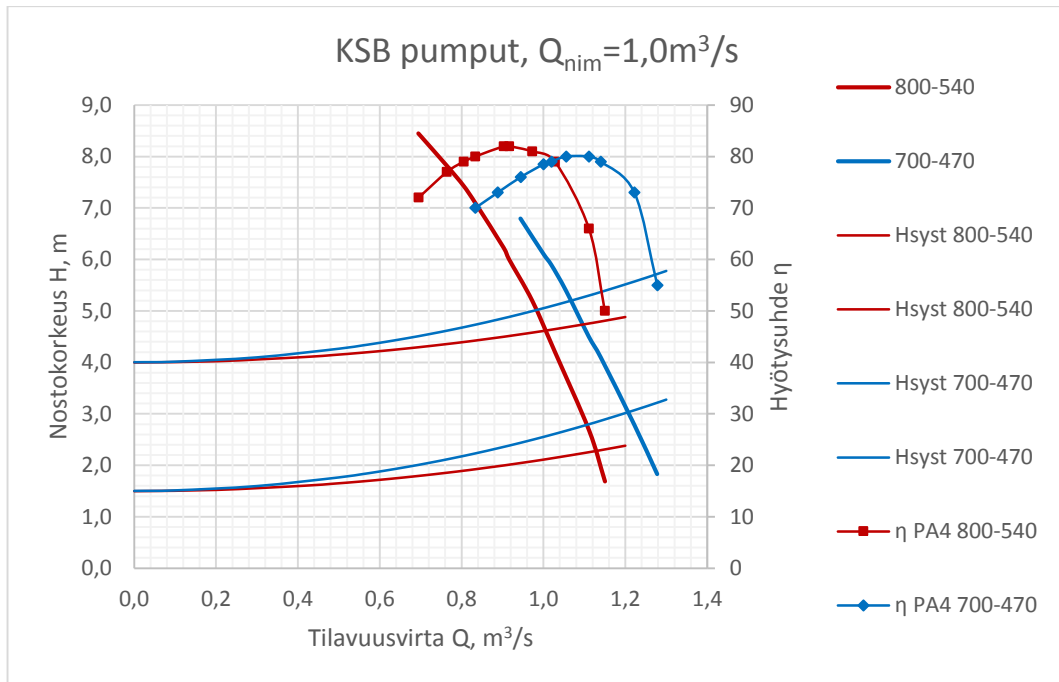
Taulukkoon 12 on laskettu dynaamisen nostokorkeuden H_d arvoja kuiluputkille DN800, DN700 ja DN600 eri virtaamilla ominaiskäyrän piirtämiseksi.

TAULUKKO 12. Kuiluputkistojen dynaamiset nostokorkeudet H_d .

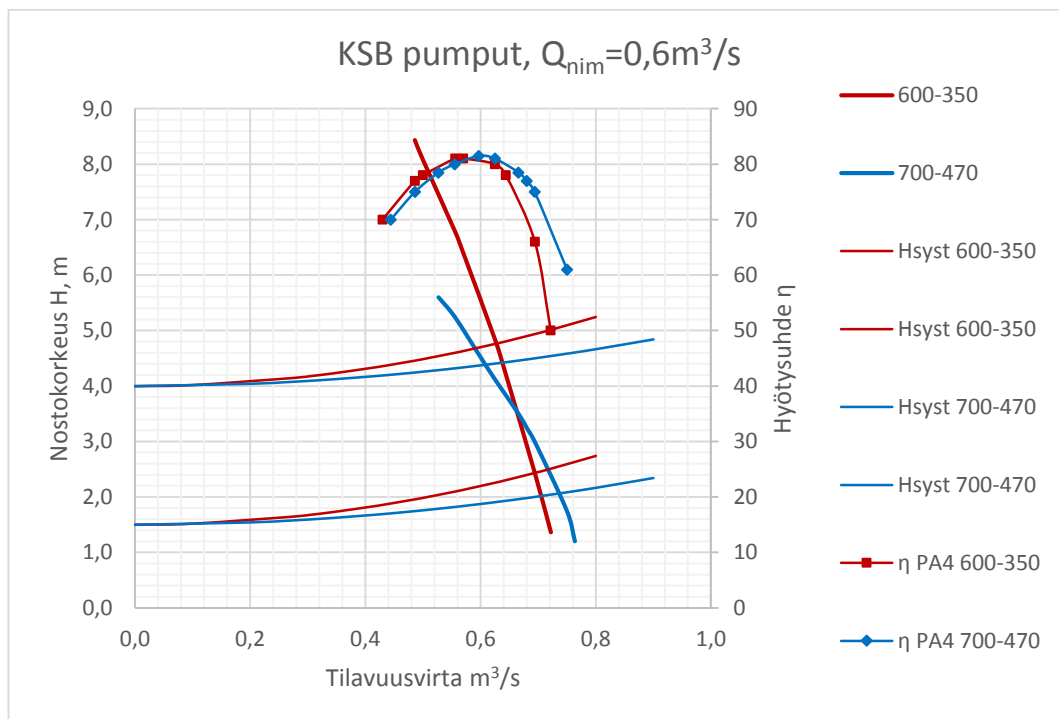
Q m ³ /s	DN800, k=0,61	DN700, k=1,05	DN600, k=1,94
0,1	0,01	0,01	0,02
0,2	0,02	0,04	0,08
0,3	0,05	0,09	0,17
0,4	0,10	0,17	0,31
0,5	0,15	0,26	0,49
0,6	0,22	0,38	0,70
0,7	0,30	0,51	0,95
0,8	0,39	0,67	1,24
0,9	0,49	0,85	1,57
1	0,61	1,05	1,94
1,1	0,74	1,27	2,35
1,2	0,88	1,51	2,79
1,3	1,03	1,77	3,28
1,4	1,20	2,06	3,80
1,5	1,37	2,36	4,37

11.3 Toimintapisteet

Nimellistuotoltaan 1,0m³/s pumppujen PA800-540/604 ja PA4 700-470/1006 ominaiskäyrät ovat kuviossa 30 ja nimellistuotoltaan 0,6m³/s pumppujen 06 PA4 600-350/804 ja PA4 700-470/476 ominaiskäyrät kuviossa 31. Kuvioissa on myös kuiluputkistojen ominaiskäyrät 1,5 m:n ja 4 m:n geodeettisella nostokorkeudella. Taulukossa 13 on KSB Amacan-pumppujen toimintapisteiden arvot.



KUVIO 30. KSB-pumppujen ominaiskäyrät, $Q_{nim}=1,0m^3/s$



KUVIO 31. KSB-pumppujen ominaiskäyrät, $Q_{nim}=0,6m^3/s$

TAULUKKO 13. KSB Amacan-pumppujen toimintapisteiden arvot ($H_{\text{geod}}=1,5\text{m}$ ja $4,0\text{m}$)

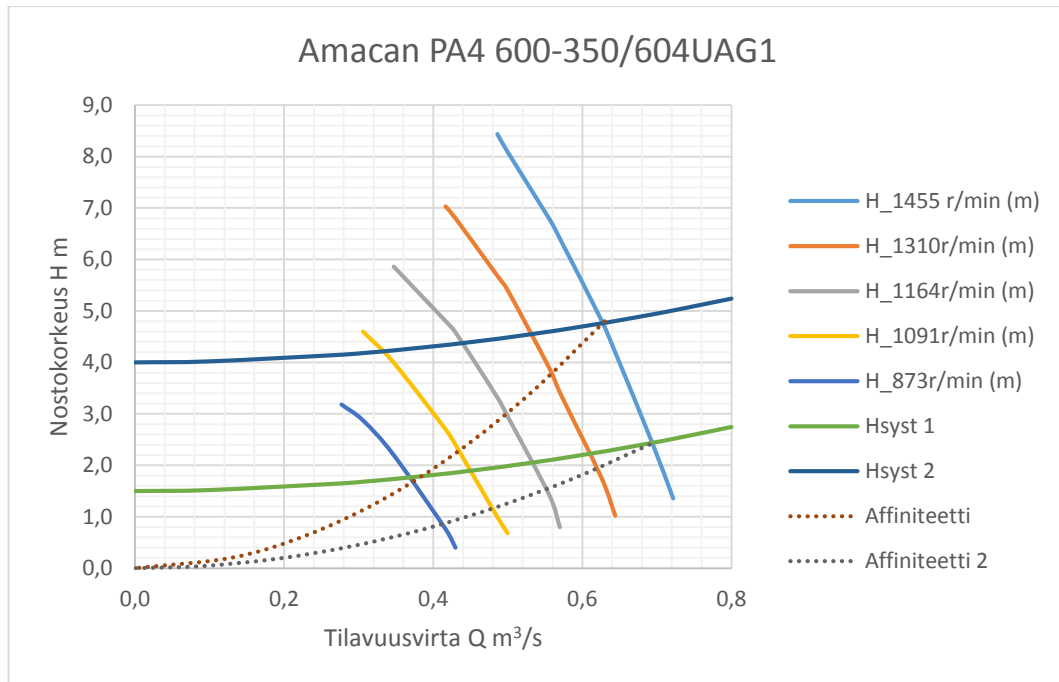
	600-350/604		700-470/476		800-540/806		700-470/1006	
	1,5m	4m	1,5m	4m	1,5m	4m	1,5m	4m
tuotto m ³ /s	0,69	0,63	0,735	0,61	1,13	1,0	1,21	1,07
nostokorkeus m	2,40	4,80	2,1	4,4	2,3	4,6	3,1	5,2
hyötysuhde %	66	80	65	81,5	64	81	75	80

Kaikki neljä pumppua toimivat 4m geodeettisella nostokorkeudella hyvällä hyötysuhteella, mutta 1,5m geodeettisella nostokorkeudella hyötysuhteet laskevat ja toimintapisteet sijaitsevat Q/H-käyrän oikeassa reunassa. Pumppujen toimintapisteet ovat kuitenkin hyväksyttävällä alueella ja mikäli geodeettinen nostokorkeus on matalampi kuin 1,5m, siirtyy toimintapiste alueelle, jossa värinän ja kavitaation riskit kasvavat.

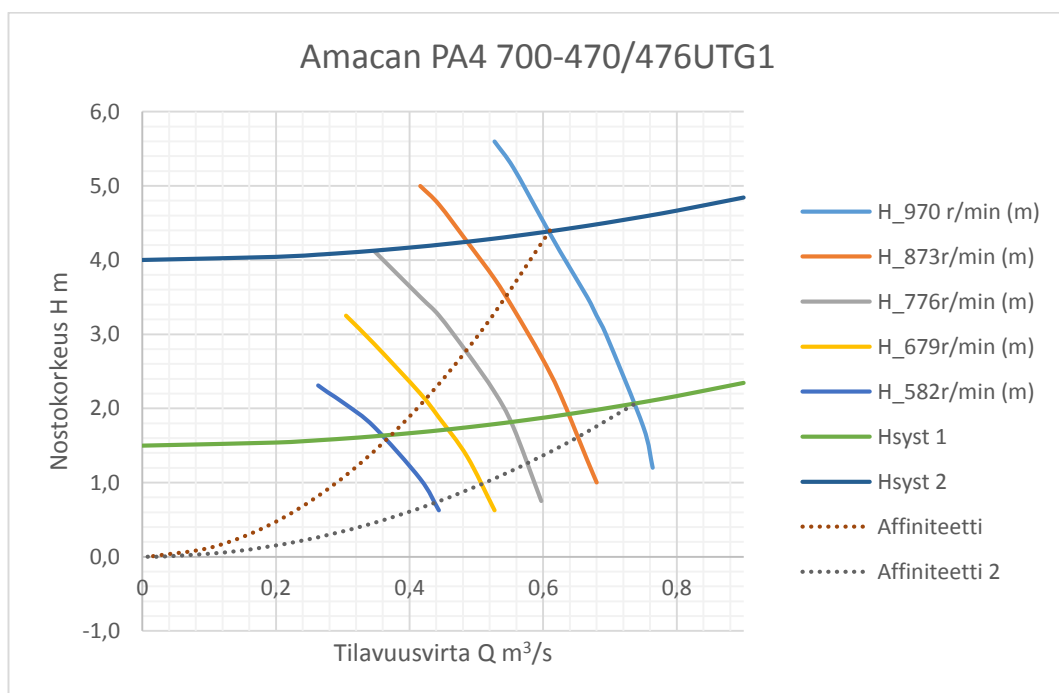
11.4 Energiatarkastelu

Pystyakselisia potkuripumppuja käytettäessä voidaan ratkaisuna matalan nostokorkeuden ongelmaan käyttää kuiluputkistoa, jossa T-haara on sijoitettu sellaiseen korkeuteen, että geodeettinen nostokorkeus ei pääse laskemaan korkeuteen, missä toimintapiste asettuu epäedulliseen asemaan. Kiinteän kynnyksen vaikutusta pumpun energiankulutukseen tutkittiin yksinkertaistetulla vertailulla, jossa vertailureferenssiksi otettiin nykyisten Sarlin-pumppujen pumpaama vesimäärä keskimääräisellä käyttötuntimäärällä 270 h ja verrattiin KSB-pumppujen saman vesimäärän pumpaamiseen käyttämää aikaa ja energiaa.

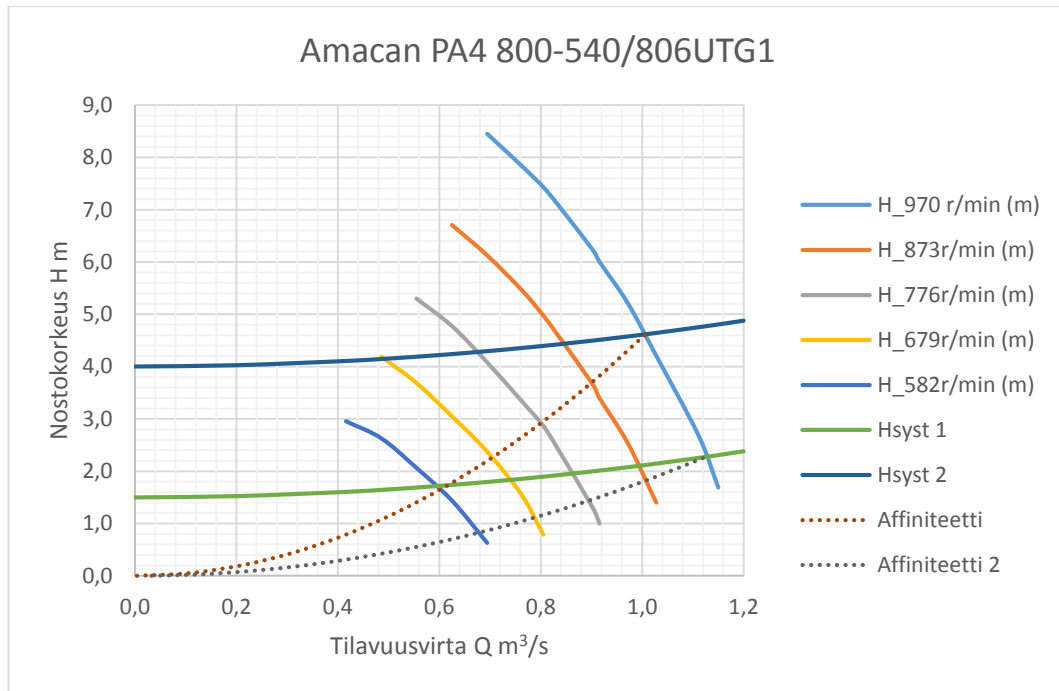
Vertailun tuloksena on jokaiselle pumpulle laskettu ominaisenergia, joka on käytetty energia suhteessa pumpattuun vesimäärään. Vertailussa tutkittiin myös kierroslukusäädön vaikutusta, vertailutaajuuksien ollessa 30Hz ja 40Hz. Sarlin-pumpuilla geodeettisena nostokorkeutena käytettiin 0,8m ja KSB-pumpuilla 1.5m. Yksinkertaistuksena hyötysuhteen muutosta ei huomioitu. Laskennassa käytetty hyötysuhde on pumpun hyötysuhde, moottorin ja taajuusmuuttajan hyötysuhteen vaikutusta ei huomioitu. KSB Amacan-pumppujen Q/H-käyrät, systeemikäyrät ja affiniteettiparabelit on esitetty kuvioissa 32, 33, 34 ja 35.



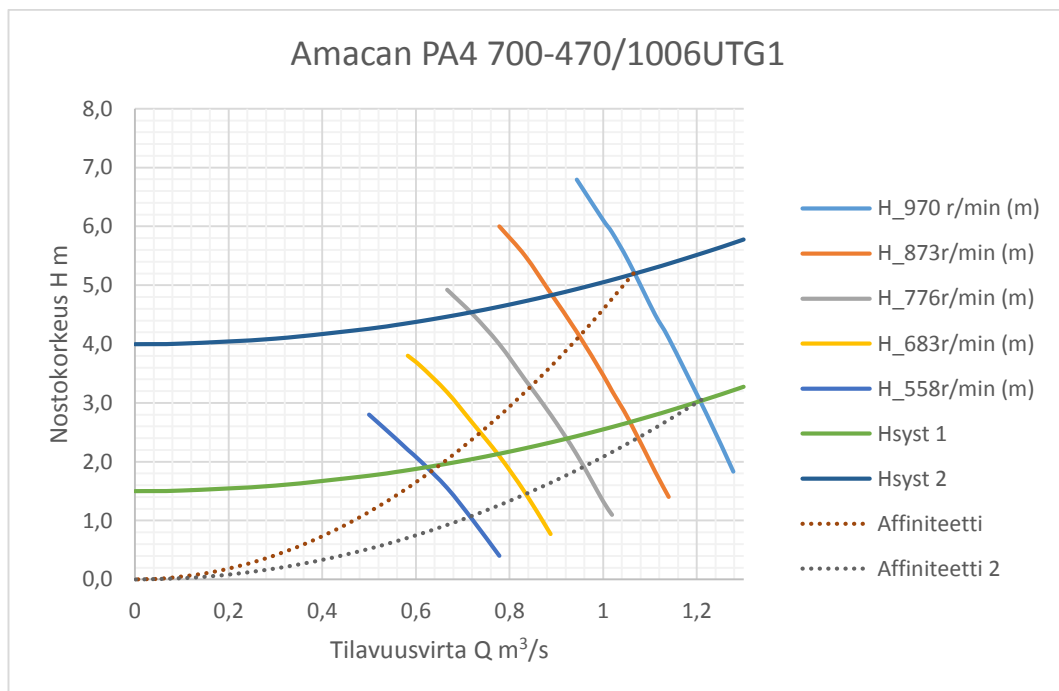
KUVIO 32. KSB Amacan 600-350/604 käyrät



KUVIO 33. KSB Amacan 700-470/476 käyrät



KUVIO 34. KSB Amacan 800-540/806 käyrästöt



KUVIO 35. KSB Amacan 700-470/1006 käyrästöt

Sarlin ja KSB Amacan pumppujen ominaisenergiälaskennan tulokset ovat taulukossa 14 ja taulukossa 15.

TAULUKKO 14. Nimellistuotoltaan 1,0m³/s pumppujen energiavertailu

h vertailu=270	SA 658	800-540			700-470		
		50hz	40hz	30hz	50hz	40hz	30hz
Q m ³ /s	1,21	1,13	0,86	0,6	1,21	0,92	0,62
H m	1,4	2,3	2	1,7	3,1	2,4	1,9
n	48	64	64	64	75	75	75
P kW	31,8	39,4	26,0	15,4	48,5	28,5	15,2
Q m ³ /h	4356	4068	3096	2160	4356	3312	2232
Q _{vertailu} m ³	1176120						
h		289	380	545	270	355	527
P kWh	8576	11379	9895	8411	13088	10133	8022
Ominaisenergia kWh/m ³	0,0073	0,0097	0,0084	0,0072	0,0111	0,0086	0,0068

TAULUKKO 15. Nimellistuotoltaan 0,6m³/s pumppujen energiavertailu

h vertailu=270	SA 4510	600-350			700-470		
		50hz	40hz	30hz	50hz	40hz	30hz
Q m ³ /s	0,96	0,7	0,55	0,37	0,735	0,55	0,36
H m	1,7	2,4	2,05	1,8	2,1	1,8	1,65
n	62	66	66	66	65	65	65
P kW	27,0	24,7	16,6	9,8	23,0	14,8	8,9
Q m ³ /h	3456	2520	1980	1332	2646	1980	1296
Q _{vertailu} m ³	933120						
h		370	471	701	353	471	720
P kWh	7294	9135	7803	6852	8116	6957	6377
Ominaisenergia kWh/ m ³	0,0062	0,0078	0,0066	0,0058	0,0069	0,0059	0,0054

Tarkastelemalla vertailun tuloksia havaitaan, että vaikka pystyaksiaalipumpuilla käytetään korkeampaa geodeettista nostokorkeutta ja vesikuution pumppaamiseen käytetty energia on suurempi kuin nykyisellä pumppurakenteella, voidaan sitä pienentää kierroslukusäädöllä. Käyttämällä pienempiä pumppauskierroslukua saadaan pumpun toimintapistettä nostettua Q/H-käyrällä lähemmäksi optimaalista toiminta-aluetta.

12 YHTEENVETO

Kyrönjoen yläosan tulvapumppaamoista pääosa on otettu käyttöön 1990-luvun puolivälissä ja niiden käyttöikä on 30–40 vuotta. Pumppaamot ovat elinkaaren vaiheessa, jossa saneerauksien suunnittelu olisi hyvä aloittaa. Pumppaamoita on paljon ja saneerauksien kustannuksiin varauduttava ajoissa hankesuunnittelulla. Vanhimmat pumppaamot on saneerattu pumppaamo kerrallaan omina hankkeina johtuen erityyppisistä rakenteista. Saneerauksien kohteeksi tulevat keskisuuret ja pienet pumppaamot ovat samankaltaisia rakenteeltaan, mahdollistaen peruskonseptin luomisen saneeraukselle.

Tämän työn tarkoituksena oli löytää lähtökohta suunnittelulle ja luoda näkemys siitä, mihin suuntaan pumppaamoita aikanaan saneerataan. Yleensä tulvapumppukäytön suunnittelussa valitaan pumpputyyppi ja mitoitetaan pumppu tulva-ajan maksimi nostokorkeuden mukaan. Kuitenkin pumppuja käytetään pääasiallisesti matalammilla nostokorkeuksilla, joten suunnittelun lähtökohdaksi on otettava nykyiset pumppujen toimintapisteet ja etsittävä ratkaisu, jossa pumppaamo toimii mahdollisimman hyvin kaikissa toimintapisteissä. Suunnittelussa on huomioitava myös toimintapisteiden vaikutukset pumpun elinkaareen, käyttöön ja kunnossapitoon.

Käyttö ja toimintapistetarkastelun tuloksena nähdään, että keskisuurien pumppaamoiden tulvapumput toimivat normaalikäytössä erittäin matalalla geodeettisella nostokorkeudella. Pumput on sijoitettu vaippayhteen sisälle, jonka virtaushäviöt ovat suhteellisen pieniä. Tällöin normaalikäytössä toimintapiste sijoittuu Q/H-käyrällä oikeaan reunaan alueelle, jossa pumpun kavitoinnin riski kasvaa. Nykyisistä pumpuista pienemmän tulvapumpun mitoitus toimii paremmin nykyisessä käytössä, isomman pumpun hyötysuhteen romahtaessa normaalikäyttötilanteessa.

Aksiaaliuppumpu on käyttökelpoisin pumpputyyppi tulvakäyttöön. Niitä valmistetaan pystyakselimallisina, jolloin niiden asennus tapahtuu kuiluputkistoon. Kuiluputkisto-muutos on mahdollista toteuttaa Kyrönjoen keskisuurissa pumppaamoissa. Pumppauskapasiteetti vaihtelee pumppaamokohtaisesti ja suunnittelun yhteydessä on jokainen pumppaamo tarkasteltava omana tapauksenaan ja sovitettava pumppujen tuotto ja lukumäärä siten, että pumppuvalmistajien mitoitusohjeita voidaan noudattaa. Pumppujen kapasiteetin

mitoituksessa on huomioitava myös kuivatuskäyttö ja pumppaamoilla, joissa kuivatuspumppua käytetään paljon, on tarkasteltava kuivatusvesien pumppausta tulvapumpuilla.

Tarkasteltaessa KSB Amacan-sarjan pumppuja, joita on asennettu Kyrönjoen pumppaamoille saneerauksissa, havaitaan niissä myös toimintapisteen sijoittuminen Q/H-käyrän oikeaan reunaan. Ratkaisuna voidaan käyttää kuiluputkea, jonka purkauskynnys on sijoitettu siten, että geodeettinen nostokorkeus ei pääse laskemaan liian matalaksi. Suoritettua suuntaa-antavan energiatarkastelun mukaisesti pumpun käyttämä ominaisenergia kasvaa, kun nostokorkeus lisääntyy. Käyttämällä taajuusmuuttajaa pumpun kierroslukusäätöön voidaan energiakulutusta vähentää. Samalla toimintapistettä saadaan siirrettyä lähemmäksi optimaalista käyttöaluetta. Koska kuiluputkikäytössä nostokorkeus muodostuu pääosin staattisesta nostokorkeudesta, on otettava huomioon hyötysuhteen huononemisen vaikutus kierroslukusäätöä suunniteltaessa. Käyttötarkastelussa tuli esille tulvapumppujen vähäinen keskimääräinen käyttöaste. Vähäisestä käyttöasteesta ja käytön luonteesta sekä rakenteista johtuen ovat energiansäästömahdollisuudet vähäiset yhden pumpun osalta. Pumppaamoiden ja pumppujen suuren määrän takia on kokonaisvaikutus tarkasteltava. Kierroslukusäätö lisää myös pumppujen käyttöastetta, ja sen kokonaisvaikutus kunnossapitoon on otettava huomioon suunnittelussa.

LÄHTEET

Bergius, Blomsten, Hedenfalk, Jonsson, Kempe, Nilsson, Pegert, Ullgren, Wenström. 1978. Pumpputekniikka, nesteiden pumppaus. Helsinki: Insinööri-lehde.

Borg H. Sarvanne H. 1973. Sarlin uppoppumppukirja. Sarlin.

BPMA 2003. Variable speed driven pumps, best practice guides. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.gambica.org.uk/resourceLibrary/variable-speed-driven-pumps---best-practice-guide.html>. Luettu: 10.11.2015.

Europump. Hydraulic Institute. 2001. Pump life cycle cost: A Guide to LCC analysis for pumping systems. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://europump.net/uploads/order%20forms/LCC_Executive_Summary.pdf. Luettu: 8.1.2016

Grundfos. 2014. The sewage pumping handbook, Grundfos. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <https://dk.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20&%20solutions/waterutility/pdf/sewage-handbook.pdf>. Luettu: 12.11.2015.

Huhtinen M. Korhonen R. Pimiä T. Urpalainen S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Opetushallitus.

Jokilaakso A. 1987. Virtaustekniikan, lämmönsiirron ja aineensiirron perusteet. Hämeenlinna: Otakustantamo.

KSB. 2014. Planning information Amacan submersible pumps in discharge tubes.

Leiviskä P. Syvänen K. 2007. Kyrönjoen vesistön tulvatorjunnan toimintasuunnitelma. Länsi-Suomen ympäristökeskus.

Motiva 2011. Energiatehokkaat pumput.

Pulli M. 2009. Virtaustekniikka, Vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Tampere: Tammertekniikka.

Saari T. 2013. Tietoa tulvista Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen alueella. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sppl.fi/files/1921/LuentoSaari.pdf>. Luettu 25.9.2015.

Salenius, V. 2012. Sähkökoneiden vikaantumisen havainnointi. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39580/Salenius_Vili.pdf?sequence=1. luettu 18.1.2016.

SFS 4874. 1982. Pumput, Nesteiden siirtoon käytettyjen pumppujen ryhmittely ja toimintaperiaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

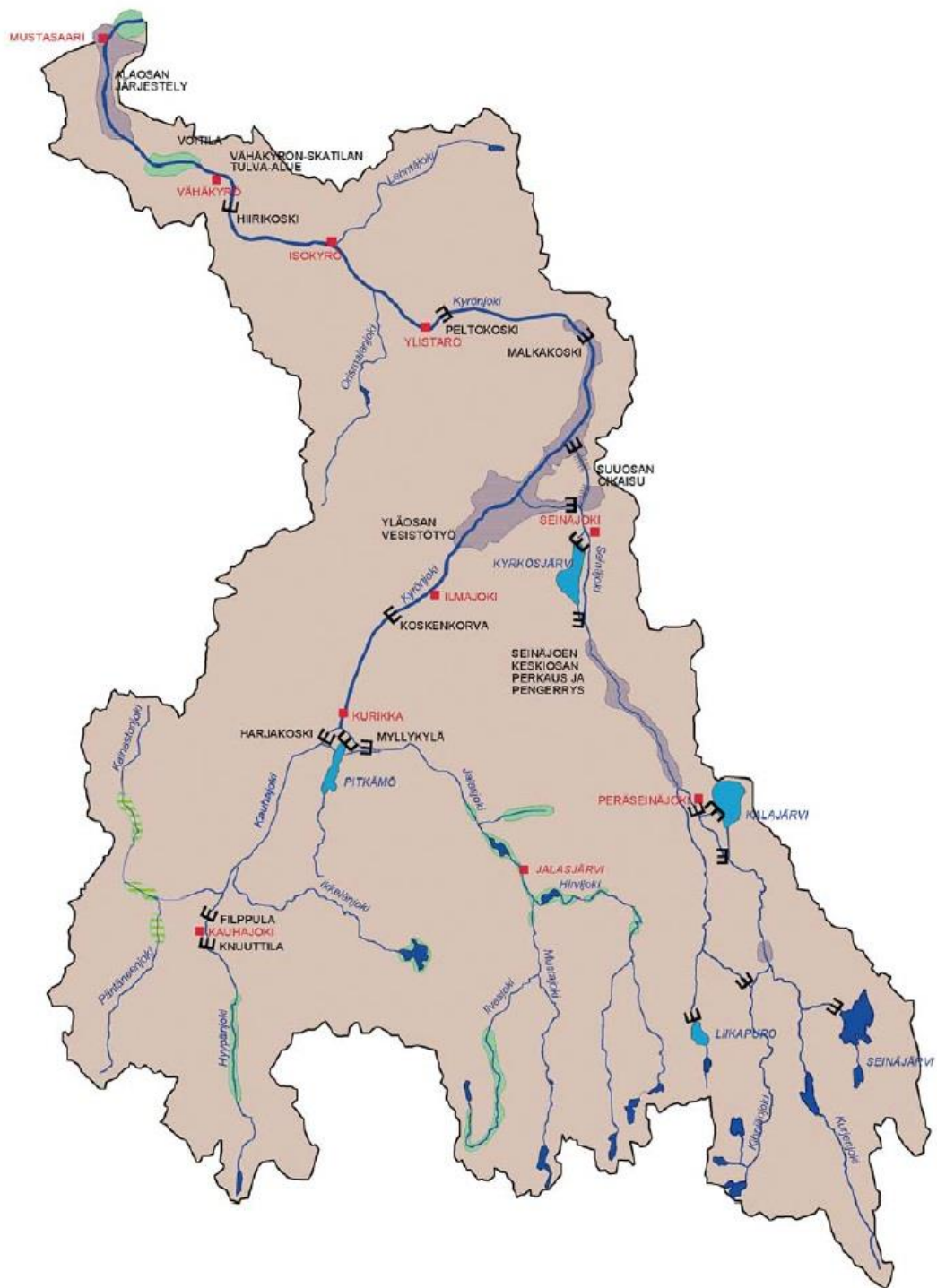
Tilastokeskus. 2014. Vuositalastot.

Wirzenius A. 1978. Keskipakopumput. kolmas painos. Tampere: Kustannusyhtymä

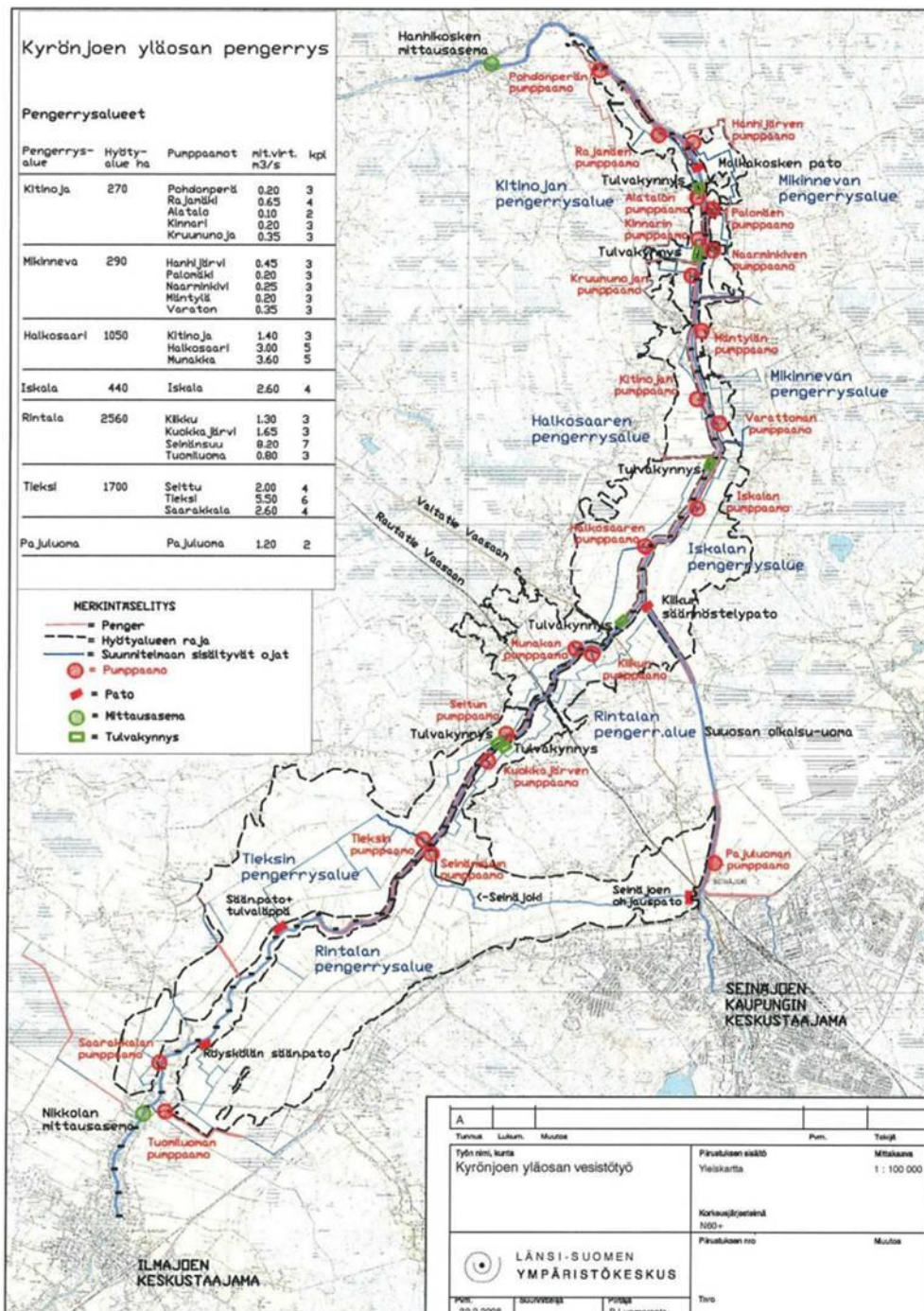
Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, päävesistöt ja säännöstellyt järvet

päävesistöalue	järven nimi
39 Närpiönjoki	Säläisjärvi Kivi- ja Levalammen tekojärvi Västerfjärden
42 Kyrönjoki	Kotilampi Pitkämön tekojärvi Kyrkösjärven tekojärvi Kalajärven tekojärvi Seinäjärvi Liikapuron tekojärvi
43 Oravaistenjoki	Röukas träsk Keskis träsk
44 Lapuanjoki	Seurus Kuortaneenjärvi Ranta-Töysän järvi Kätkänjärvi Ponnenjärvi Hirvijärven tekojärvi Tiisijärvi Varpulan tekojärvi Kuorasjärvi Saukkojärvi Iso Allasjärvi Kuotesjärvi Putulanjärvi Vähä Allasjärvi Jääskänjärvi Saarijärvi
46 Purmojoki	Purmojärvi Kerttuanjärvi
47 Ähtävänjoki	Evijärvi Lappajärvi Alajärvi
49 Perhonjoki	Halsuanjärvi Venetjoen tekojärvi Vissaveden tekojärvi Patanan tekojärvi

Kyrönjoen vesistöalue



Kyrönjoen yläosan vesistö rakenteet ja pengerrysalueet



Kyrönjoen yläosan pumppaamot

Suuret pumppaamot

	Pumppujen lkm	Pumppu	Tuotto Q_{nim} m ³ /s	Teho kW	Kokonaistuotto m ³ /s
Seinänsuu	6	KSB Amacan PA 700-470/1006	1,2	100	7,2
Tieksi	6	Sarlin SA 658	1	70	6,0

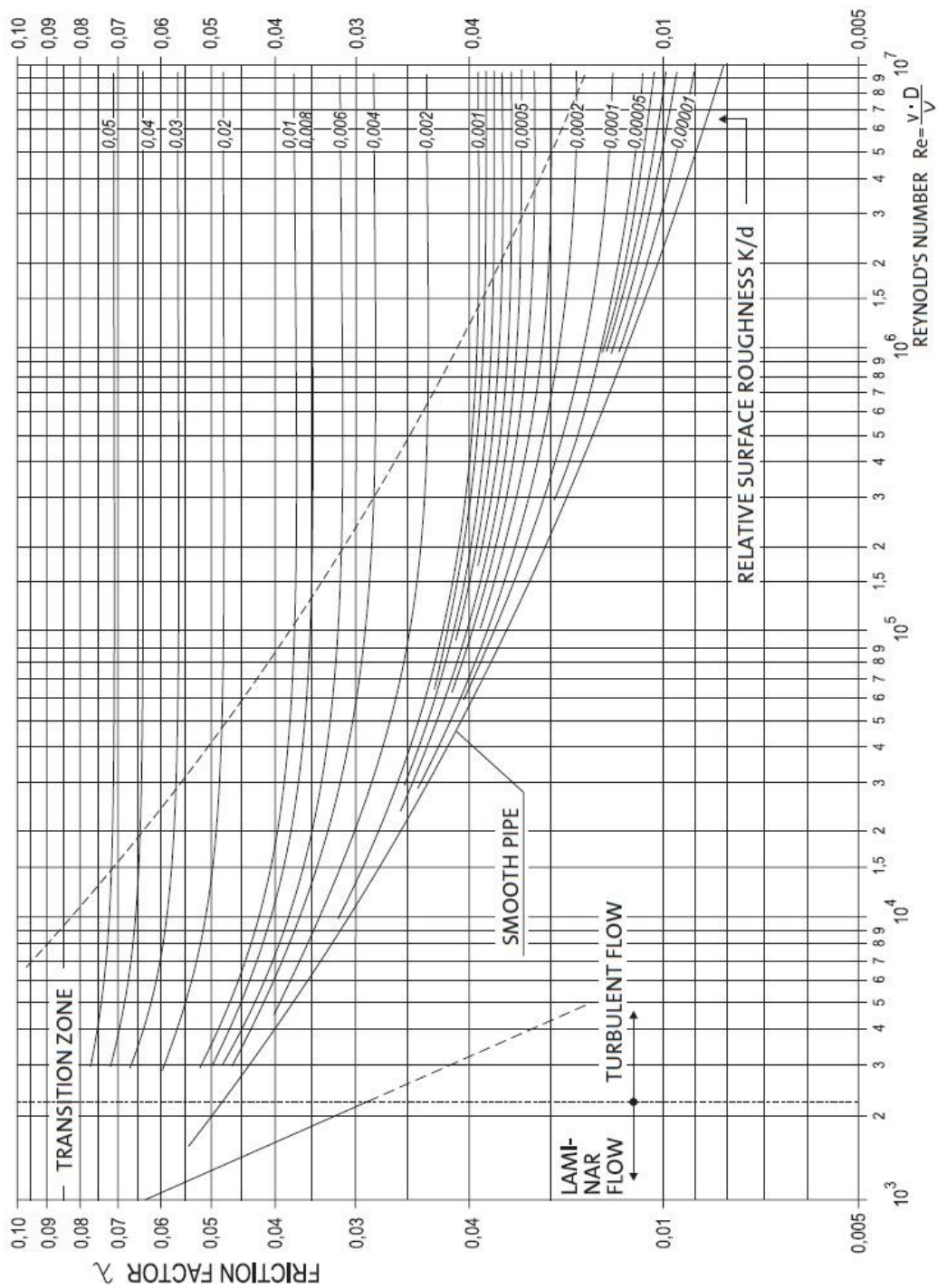
Keskisuuret pumppaamot

	Pumppujen lkm	Pumppu	Tuotto Q_{nim} m ³ /s	Teho kW	Kokonaistuotto Q m ³ /s
Tuomiluoma	1	Sarli SA 4510	0,6	47	0,82
	1	Sarlin SA 184	0,2	18,5	
	1	Sarlin S1 026	0,02	1,7	
Saarakkala	2	Sarlin SA 658	1	70	2,6
	1	Sarlin SA4510	0,6	47	
	1	Sarlin S1044	0,05	4,2	
Kuokkajärvi	1	KSB Amacan PA 800-540/806	1	80	1,6
	1	KSB Amacan PA 600-350/604	0,6	60	
Seittu	2	Sarlin SA4510	0,6	47	2,25
	1	Sarli SA 658	1	70	
	1	Grundfos SL1	0,05	4,8	
Munakka	3	Sarli SA 658	1	70	3,65
	1	Sarlin SA4510	0,6	47	
	1	Grundfos SL1	0,05	3,7	
Kiikku	2	Sarlin SA4510	0,6	47	1,22
	1	Grundfos SL1	0,02	1,8	
Halkosaari	2	Sarlin SA 658	1	70	3,25
	2	Sarlin SA4510	0,6	47	
	1	Grundfos SL1	0,05	3,7	
Iskala	2	Sarlin SA 658	1	70	2,6
	1	Sarlin SA4510	0,6	47	
	1	Grundfos SL1	0,02	3,7	
Kitinoja	1	Sarlin SA 658	1	70	1,62
	1	Sarlin SA4510	0,6	47	
	1	Grundfos SL1	0,02	3,7	
Pajuluoma	2	KSB Amacan PA 700-540/806	0,6	47	1,2

Pienet pumppaamot

	Pumppujen lkm	Pumppu	Tuotto Q_{nim} m ³ /s	Teho kW	Kokonaistuotto Q m ³ /s
Varaton	2	Sarlin SA184	0,2	18,5	0,42
	1	Sarlin S1026	0,02	4,2	
Mäntylä	2	Sarlin S1074	0,1	7,5	0,22
	1	Sarlin S1026	0,02	1,7	
Kruunuoja	2	Sarlin SA184	0,2	18,5	0,42
	1	Grundfos SL1	0,02	3,7	
Naarminkivi	1	Sarlin SA184	0,2	18,5	0,32
	1	Sarlin S1074	0,1	7,5	
	1	Sarlin S1026	0,02	1,7	
Kinnari	2	Sarlin S1074	0,1	7,5	0,22
	1	Sarlin S1026	0,02	1,7	
Palomäki	2	Sarlin S1074	0,1	7,5	0,22
	1	Grundfos SL1	0,02	3,7	
Alatalo	1	Sarlin S1074	0,1	7,5	0,12
	1	Sarlin S1026	0,02	1,7	
Hanhijärvi	2	Sarlin SA184	0,2	18,5	0,45
	1	Sarlin S1044	0,05	4,2	
Rajamäki	3	Sarlin SA184	0,2	18,5	0,62
	1	Sarlin S1026	0,02	1,7	
Pohdonperä	2	Sarlin S1074	0,1	7,5	0,22
	1	Sarlin S1026	0,02	1,7	

Moodyn käyrästä



KSB kuiluputkiston asennustavat

