



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SAMI SALOHEIMO
VESIHYDRAULIIKKA HYÖDYNTÄVÄT AVOIMEN KIERRON JÄR-
JESTELMÄT JA NIIDEN YLEISIMMÄT KÄYTTÖKOHTEET

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Jussi Aaltonen

TIIVISTELMÄ

SAMI SALOHEIMO: Vesihydrauliikkaa hyödyntävät avoimen kierron järjestelmät ja niiden yleisimmät käyttökohteet

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 31 sivua

Toukokuu 2018

Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Hydrauliikka

Tarkastaja: Jussi Aaltonen

Avainsanat: Vesihydrauliikka, avoin kierto, hydraulijärjestelmä, käyttökohteet, kirjallisuustutkimus

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä haasteita vesi hydraulinesteenä luo, ja kuinka vesihydrauliikkaa hyödynnetään nykypäivänä avoimen kierron järjestelmissä. Työ toteutettiin kirjallisuustutkimuksena osana Tampereen Teknillisen Yliopiston kandidaatintyökurssia. Lähdemateriaali koostui tieteellisistä artikkeleista, oppikirjoista, tieteellisistä tutkimuksista ja arvostettujen vesihydrauliikkakomponenttien valmistajien tapaustutkimuksista.

Työ aloitettiin perehtymällä hydrauliiikan teoriaan veden ominaisuuksien kautta, joita olivat muun muassa tiheys, viskositeetti, höyrynpaine, kavitaatio, termiset ominaisuudet, puristuskerroin ja veden laatu. Vaikka veden ominaisuudet todettiin olevan poikkeuksellisia ja tuottavan haasteita sen käytölle hydraulinesteenä, todettiin sen olevan hyödyllinen palamattomuutensa, ympäristöystävällisyytensä ja taloudellisuutensa takia. Tämän jälkeen tutustuttiin yleisimpiin avoimen kierron vesihydraulijärjestelmiin, joita olivat käänteisosmoosi-, vesisumu- ja vesisuihkujärjestelmät. Näistä järjestelmistä ja niiden käyttökohteista löydettiin useita esimerkkejä niin veden puhdistuksessa, ruokateollisuudessa, palontorjunnassa kuin metalliteollisuudessa.

Veden todettiin sopivan ainutlaatuisesti ominaisuuksiensa puolesta avoimen kierron hydraulijärjestelmiin, mikä pystyttiin havainnoimaan markkinoiden ja käyttökohteiden määrän kasvamisessa kuluneiden vuosien aikana. Tutkimuksen johdosta oli mahdollista päätellä, että vesihydrauliikka tulee jatkamaan markkinaosuutensa kasvattamista ja sen kehitys tulee luomaan perustan aivan uusille innovaatioille niin avoimen- kuin suljetun kierron järjestelmissä.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on toteutettu Tampereen Teknillisen Yliopiston automaatiotekniikan koulutusohjelmassa pääasiassa vuoden 2016 ja 2017 aikana, mutta viimeistely tapahtui keväällä 2018. Työ on ollut minulle pitkä ja opettava projekti, jonka aikana olen kehittynyt niin opiskelijana, tutkijana kuin ihmisenä. Tässä työssä tutkin vettä hydraulisen ja vettä hyödyntäviä avoimen kierron hydraulijärjestelmiä.

Haluan kiittää ohjaajaani Jussi Aaltosta ja lähipiiriäni tuesta ja avusta työn eri vaiheissa. Lisäksi haluan osoittaa erityiset kiitokset Seppo Aallolle ja äidilleni Tuula Saloheimolle, jotka rakensivat kesällä 2016 minulle toimiston työn tekemistä varten, sekä veljilleni Juha ja Hannu Saloheimolle pyyteettömästä auttamisesta ja kannustuksesta läpi projektin. Haluan myös kiittää seuraavia tahoja joustavuudesta, kannustuksesta, ja tuesta erikseen: Fokua Oy, Trackinno Oy, Jallukokkaajat, Tampere Startup Hub, ja Blebeijikerho.

Tampereella, 28.5.2018

Sami Saloheimo

SISÄLLYSLUETTELO

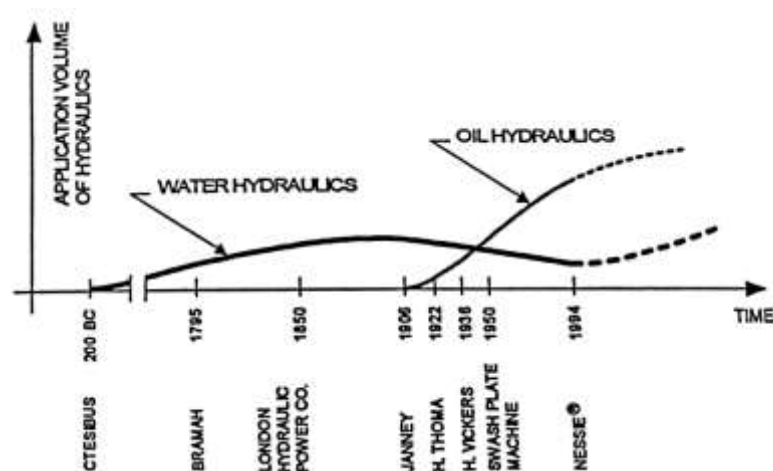
1.	JOHDANTO	1
2.	VEDEN OMINAISUUDET HYDRAULINESTEENÄ	3
2.1	Tiheys	3
2.2	Kinemaattinen viskositeetti, voitelu ja kuluminen	4
2.3	Höyrynpaine ja kavitaatio	6
2.4	Ominaislämpö, lämmönjohtavuus ja jäähdytystarve	7
2.5	Puristuskerroin, äänen nopeus väliaineessa ja paineisku	8
2.6	Veden laatu ja suodatus	9
3.	AVOIMEN KIERRON VESIHYDRAULIJÄRJESTELMÄT	10
3.1	Käänteisosmoosijärjestelmä	11
3.2	Vesisumujärjestelmät	11
3.3	Vesisuihkujärjestelmät	12
4.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO	14
5.	AVOIMEN KIERRON VESIHYDRAULIJÄRJESTELMIEN YLEISIMMÄT SOVELLUKSET	15
5.1	Käänteisosmoosijärjestelmän sovellukset	15
5.1.1	Suolan poisto	16
5.1.2	Jätevedenpuhdistus	17
5.1.3	Ruokateollisuus	18
5.2	Vesisumujärjestelmän sovellukset	19
5.2.1	Palontorjunta	19
5.2.2	Pölynsidonta	20
5.2.3	Ilman kosteuden ja lämmön säätö	21
5.3	Vesisuihkujärjestelmän sovellukset	22
5.3.1	Painepesu	22
5.3.2	Vesisuihkuleikkaus	22
5.3.3	Vesisuihkupiikkaaminen	23
5.3.4	Vesisuihkumuotoilu	24
5.3.5	Vesiatomisointi metallin tuotannossa	24
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET	26
	LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

Hydrauliikka tulee antiikin Kreikan sanasta *húdōr - vesi*. Se ei ole ihme, sillä ensimmäinen havainto eurooppalaisesta vesihydrauliikasta on jo kolmannelta vuosisadalta ennen ajanlaskun alkua, jolloin hydrauliikkaa hyödyntävä Perachoran pumppu oli kehitetty veden nostamiseen [1]. Tunnetumpi esimerkki siitä, kuinka hydrauliikkaa on hyödynnetty historiassa, ovat Rooman akveduktit, joilla vettä saatettiin siirtää vuorilta useita satoja kilometrejä kaupunkien käyttöön [2]. Sittenmin vesihydrauliikkaa on käytetty yleisesti esimerkiksi kaivosten hisseissä ja sortumatuissa sekä siltojen avausmekanismina [3].

Suurimman kehityksensä ja kasvun hydrauliikka koki 1900-luvulla, kun edellisellä vuosisadalla ideoitu öljyhydrauliikka yleistyi vesihydrauliikan kilpailijana. Vuosisadan alussa Henry Fordin kehittämän Model T:n suosion mukana kasvoi suuri tarve automatisille ja hydraulisille koneille, joihin uusi öljyhydrauliikka sopi erinomaisesti [3, s. 86]. Samalla maailmansodat kiihdyttivät kehitystä entisestään ja viimeistään toisen maailmansodan aikoihin, kun tiivistämateriaaliksi kehittyi öljyä kestävä synteettinen kumi (Styreenibutadieenikumi), öljyhydrauliikka syrjäytti vesihydrauliikan valtateknologiana [4].

Vaikka veden ympäristöystävällisyys ja palamattomuus oli ollut jo pitkään tiedossa, ei ennen 1990-lukua ollut sellaisia korroosiota ja veden ominaisuuksia kestäviä komponentteja ja toimilaitteita, joilla sitä olisi voitu hyödyntää yleisesti teollisuudessa. Tämä kuitenkin muuttui 2000-luvun vaihteessa (Kuva 1), kun muun muassa Danfoss ja Fenner (nykyään The Water Hydraulics Company) toivat markkinoille komponentteja ja toimilaitteita, jotka kykenivät hyödyntämään vettä hydraulinesteenä. Tästä alkoi vesihydrauliikan ja ylipäättään koko hydrauliikan uusi puhtaampi aalto. [5, s. 440 – 441] [6, s. 5 – 6]



Kuva 1. Hydrostaattisen voimansiirron historiallinen kehitys [6,s. 5].

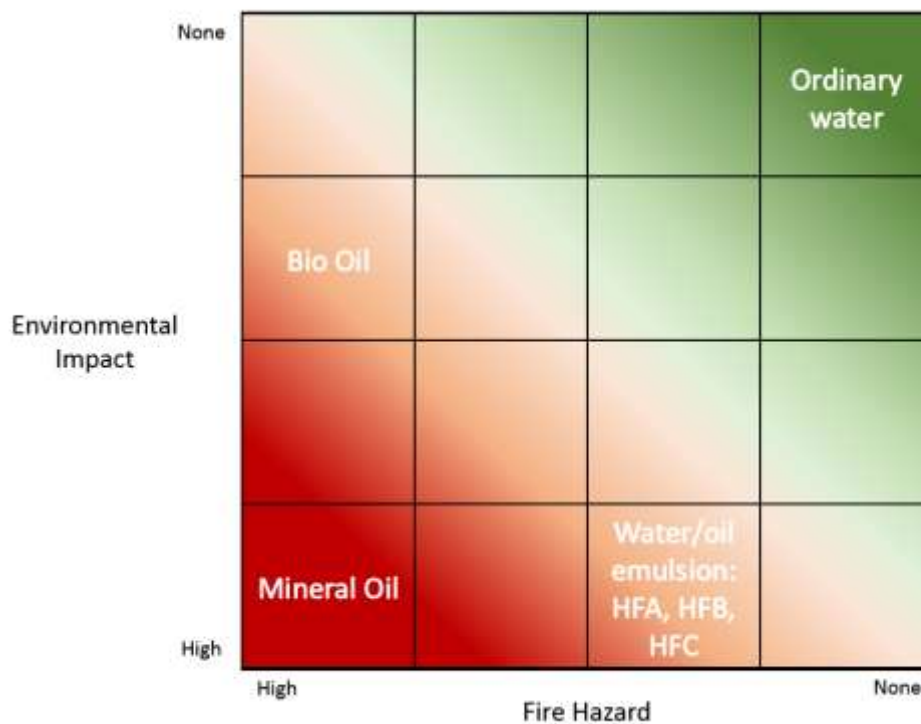
Tässä tutkimuksessa käsitellään vesihydrauliikkaa hyödyntäviä avoimen kierron hydraulijärjestelmiä ja niiden yleisimpiä käyttökohteita. Tutkimus toteutetaan kirjallisuustutkimuksena ja se on rajattu koskemaan vettä hyödyntäviä avoimen *kierron* vesihydraulijärjestelmiä avointen vesihydraulijärjestelmien sijaan. Tämä rajaus tehtiin siksi, koska vesi on ympäristöystävällisyytensä takia mahdollista laskea luontoon, mikä korostaa veden erityislaatuisuutta hydraulinesteenä ja mahdollistaa öljyhydrauliikasta poikkeavia käyttökohteita. Tutkimuskysymyksenä on käytetty ”Mitä haasteita vesi hydraulinesteenä luo ja kuinka vesihydrauliikkaa hyödynnetään nykypäivänä avoimen kierron hydraulijärjestelmissä?”

Tutkimuksessa rajoitetaan tarkastelemaan avoimen kierron vesihydraulijärjestelmiä, jotka toteuttavat haluttuja tehtäviä hyödyntämällä joko hydrostaattista, hydrodynaamista tai näiden yhdistelmällä rakennettua vesihydraulijärjestelmää. Tutkimukseen valitut avoimen kierron vesihydraulijärjestelmät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, joita ovat käänteisosmoosi-, vesisumu- ja vesisuihkujärjestelmät. Nämä pääryhmät sisältävät tutkimuksen perusteella lähes kaikki avoimen kierron vesihydraulijärjestelmien sovellukset, jotka esitellään erikseen omissa luvuissaan.

Vesihydrauliikkaa ja sen sovelluksia on tutkittu paljon, mutta sitä tietoa ei ole koostettu kattavasti yhteenkään olemassa olevaan teokseen. Tämä tutkimus pyrkii kokoamaan aiemmasta kirjallisuudesta, tutkimuksista, sekä tapaustutkimuksista kokonaisuuden, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa pohjana avoimen kierron vesihydraulisovellusten kokonaisuuden hahmottamisessa. Tämän tutkimuksen toisessa luvussa määritellään veden hydrauliset ominaisuudet ja sen luomat haasteet. Kolmannessa luvussa käsitellään avoimen kierron vesihydraulijärjestelmiä ja neljännessä luvussa käydään läpi tutkimusmenetelmät sekä aineisto. Viidennessä luvussa esitetään tutkimuksen tulokset eli syvennyttään avoimiin vesihydraulijärjestelmiin ja niiden sovelluksiin. Kuudennessa luvussa tutkielman sisältö tiivistetään lyhyeksi yhteenvedoksi ja esitetään sen pohjalta johtopäätökset.

2. VEDEN OMINAISUUDET HYDRAULINESTEENÄ

Vesi on hydraulinesteenä erityislaatuinen. Se eroaa öljypohjaisista hydraulinesteistä usealta eri ominaisuudeltaan. Näitä ominaisuuksia ovat tiheys, kinemaattinen viskositeetti, höyrynpaine, ominaislämpö, lämmönjohtavuus ja puristuskerroin. Nämä antavat vedelle erityispiirteitä, jotka on otettava huomioon vesihydrauliikkaa suunniteltaessa. Suurimmat syyt käyttää vettä hydraulinesteenä ovat sen palamattomuus ja ympäristöystävällisyys. Veden ylivertaisuus muihin hydraulinesteisiin nähden näiden ominaisuuksien osalta on esitetty Kuvassa 2. Lisäksi vettä esiintyy luonnossa runsaasti, joten se tekee siitä hydraulinesteistä taloudellisimman vaihtoehdon. Nämä kolme ominaisuutta tekevät vedestä erinomaisen, ja esimerkiksi avoimen kierron hydraulijärjestelmissä ainoan, vaihtoehdon hydraulinesteeksi. [5, s. 119 – 120, 440 – 441]

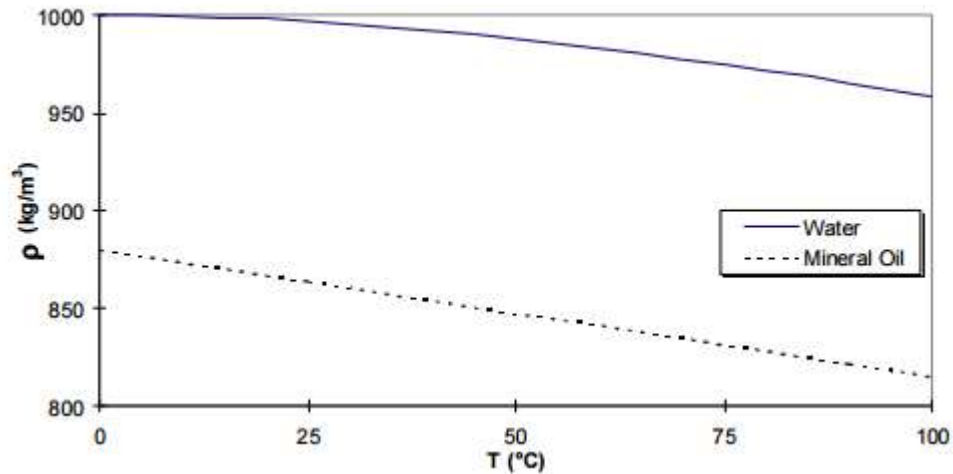


Kuva 2. Eri hydraulinesteiden ympäristöriskit ja paloturvallisuus, perustuu lähteeseen [5, s. 440 – 441].

2.1 Tiheys

Nesteen tiheys vaikuttaa kinemaattiseen viskositeettiin, paineiskujen suuruuteen sekä järjestelmässä syntyviin häviöihin. Paineiskujen ja häviöiden pitämiseksi vähäisinä tulisi tiheyden olla mahdollisimman pieni.

Normaali-ilmanpaineessa olevan veden tiheys on lämpötilassa 4 °C:ta 1 000 kg/m³ ja vastaavasti lämpötilassa 50 °C:ssa 988 kg/m³ (Kuva 3). Tämä arvo on siten suurempi kuin tyypillisillä hydraulinesteillä, minkä vuoksi vedellä on hyvin poikkeavat ominaisuudet. Vaikka suuresta tiheydestä seuraa suuremmat virtaushäviöt, veden kohdalla ne kompensoituvat sen alhaisella viskositeetilla. [5, s. 124 – 125, 443]



Kuva 3. Lämpötilan vaikutus veden tiheyteen [7].

2.2 Kinemaattinen viskositeetti, voitelu ja kuluminen

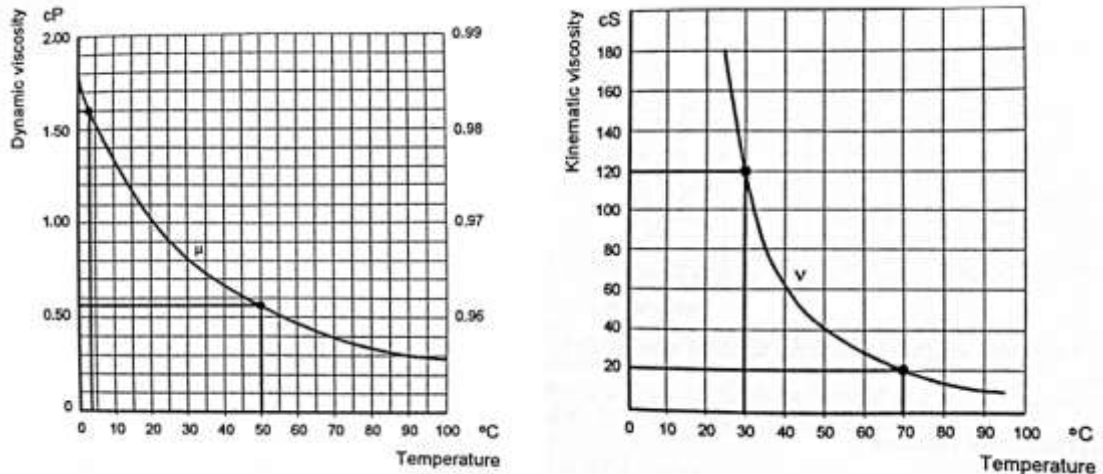
Hydraulijärjestelmissä nesteen viskositeetilla on suuri vaikutus järjestelmän hyötysuhteeseen ja toimivuuteen. Jos viskositeetin arvo on suuri, siitä seuraa suuri muodonmuutosvastus ja siten suuri virtausvastus. Tässä tilanteessa jo pelkkä nesteen siirtäminen järjestelmän läpi hydraulisen tehon tuottopisteestä käyttöpisteeseen vaatii suuren tehon, joka johtaa järjestelmän hyötysuhteen heikkenemiseen. Toisaalta viskositeetin pieni arvo puolestaan aiheuttaa järjestelmän vuotojen kasvun ja voitelukalvon heikkenemisen. Tämän seurauksena osien kuluminen nopeutuu ja vuodot kasvavat.

Kinemaattista viskositeettia ν voidaan kuvata kaavalla,

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

jossa η on nesteen dynaaminen viskositeetti [Pa*s] ja ρ on nesteen tiheys [kg/m³].

Kinemaattisen viskositeetin yksikkö on SI-järjestelmässä [m²/s]. Tässä työssä kinemaattista viskositeettia käsitellään senttistokeina cSt = 10⁻⁶ * m²/s.



Kuva 4. Veden dynaaminen ja kinemaattinen viskositeetti lämpötilan funktiona ilmakammissa [6, s. 49].

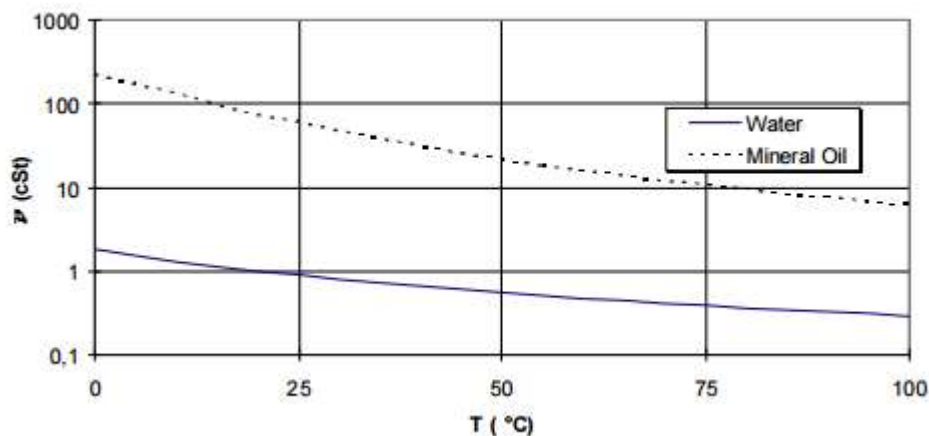
Koska veden dynaaminen viskositeetti on pieni ja tiheys taas suuri ($\sim 1000 \text{ kg/m}^3$), on myös veden kinemaattinen viskositeetti pieni. Se onkin vedellä 20 °C:n lämpötilassa 1 cSt:a ja 40 °C:n lämpötilassa vain noin 0,66 cSt:a (Kuva 4), mikä on normaaleihin suositeltuihin käyntilämpötilan viskositeettiarvoihin (16 – 36 cSt:a) verrattain hyvin alhainen. Veden alhainen viskositeetti kuitenkin johtaa siihen, että mikäli vesihydraulijärjestelmässä käytettäisiin samansuuruisia välyksiä kuin vastaavissa suuremman viskositeetin hydraulineestettä hyödyntävissä järjestelmissä, kasvaisi järjestelmän sisäisten vuotojen määrä. Pieni viskositeetti vaatiikin välysten pienentämistä, ja veden kohdalla niitä tulisi pienentää jopa neljäsosaan yleisesti käytettävien välysten koosta. Tämä tarkoittaa välysten pienentämistä jopa 2,6 μm :n välyksiin. On kuitenkin otettava huomioon, että pienet välykset voivat johtaa lämpölaajenemisen takia osien kulumiseen ja pahimmillaan kiinnityskautumiseen ja komponentin toimimattomuuteen.

Pieni viskositeetti vaikuttaa myös hydraulineesteen luomaan voitelukalvoon. Koska veden luoma voitelukalvo on erittäin ohut, on selvää, että käytettävien komponenttien osien pinnanlaadun tulisi olla erittäin korkealaatuisia vesihydraulijärjestelmissä. Muussa tapauksessa voitelukalvo jää liian ohueksi, mikä johtaa liikkuvien pintojen kulumiseen ja painehäviöihin.

Veden huonojen voiteluominaisuuksien vuoksi on osa voitelutehtävistä siirrettävä nesteeltä materiaaleille, joiden tulisi kestää niin abrasiivista kulumista, eroosiokulumista kuin adhesiivista kulumista. Komponenttien kuluvien osien tulisi olla pinnankarheudeltaan erinomaisia ja pienikitkaisia. Lisäksi komponenttivalinnoissa olisi syytä suosia hydrodynamista laakerointia ja istukkarakenteisia venttiileitä. Kaikki tämä johtaa siihen, että vesihydrauliset komponentit ja siten järjestelmät ovat kalliita ja vaativat erityistä vesihydraulikomponenttien suunnittelun osaamista.

Pienestä viskositeetista on myös hyötyä, ja monissa sovelluksissa pieni viskositeetti onkin juuri se syy, miksi vesi on valittu hydraulineesteeksi. Pieni viskositeetti johtaa esimerkiksi

siihen, että virtaushäviöt jäävät vedellä vähäisemmiksi kuin suuriviskositeettisilla hydraulineesteillä. Toisin sanoen, mikäli voimaa tarvitaan siirtämään pitkiä matkoja, on vesi hyötysuhteeltaan paras vaihtoehto. Pienestä viskositeetista seuraa myös se, että vesivirtaus muuttuu laminaarisesta turbulenttiseksi merkittävän alhaisilla virtausnopeuksilla. Tästä on esimerkiksi suurta hyötyä, kun halutaan jäähdyttää järjestelmää. Kaiken lisäksi veden kinemaattisen viskositeetin lämpötilariippuvuus sen käyttölämpötila-alueilla on huomattavan vähäistä (Kuva 5), mikä tekee vesihydraulijärjestelmistä erittäin vakaita. [5, s. 441 – 443] [6, s. 47 – 51]



Kuva 5. Lämpötilan vaikutus veden kinemaattiseen viskositeettiin [7].

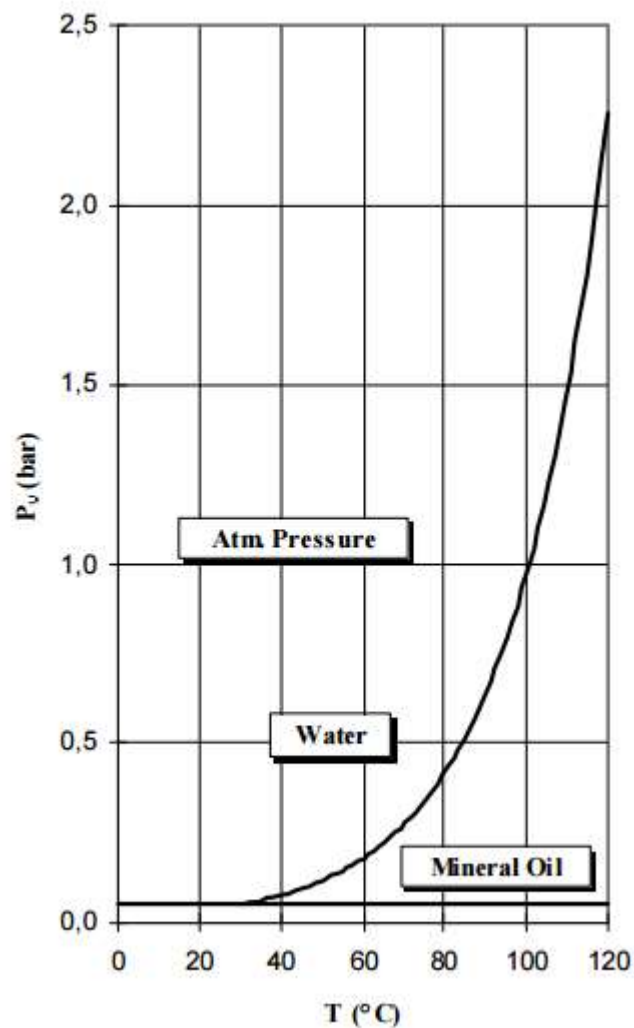
2.3 Höyrynpaine ja kavitaatio

Kun nesteessä vallitseva paine laskee alle ilmanpaineen arvon, nesteessä liuenneena oleva ilma alkaa tietyn painetason saavuttamisen jälkeen erottua vapaiksi kupliksi. Jos paineen lasku edelleen jatkuu ja saavuttaa nesteen höyrynpaineeksi kutsutun painetason, alkaa myös neste höyrystyä ja siitä muodostuu höyrykuplia. Muodostuneiden kuplien suuruus riippuu myös paineesta: mitä alemmas paine laskee, sitä suuremmiksi kuplat muodostuvat. Kun nesteessä vallitseva paine jälleen nousee, kuplien koko pienenee ja lopulta höyrykuplat tiivistyvät nopeasti (luhistuvat) nesteeksi ilmakuplien puolestaan liuetessa takaisin nesteeseen. Tätä kuplien muodostumisen, höyrykuplien luhistumisen ja ilman takaisin liukenemisen käsittävää tapahtumasarjaa kutsutaan kavitaatioksi.

Veden höyrynpaine on korkea. Esimerkiksi 50 °C:n lämpötilassa se on vedellä 0,12 baaria ja 100 °C:n lämpötilassa 1 baari (Kuva 6). Tämä johtaa siihen, että vesi kavitoi helposti, mikäli veden lämpötila on yli 50 °C:ta ja paine putoaa alle baarin. Tämä voi tapahtua virtausteknisistä syistä esimerkiksi venttiileiden, kuristusten ja imukanavien alueilla.

Nesteiden höyrynpaineen arvo ei ole vakio, vaan se on yhteydessä nesteen lämpötilaan. Esimerkiksi vesi alkaa höyrystyä normaali-ilmanpaineessa, kun sen lämpötila saavuttaa

100 °C:ta, mutta paineistettuna se höyrystyy vasta yli 100 °C:n lämpötilassa. [5, s. 444]
[6, s. 46]

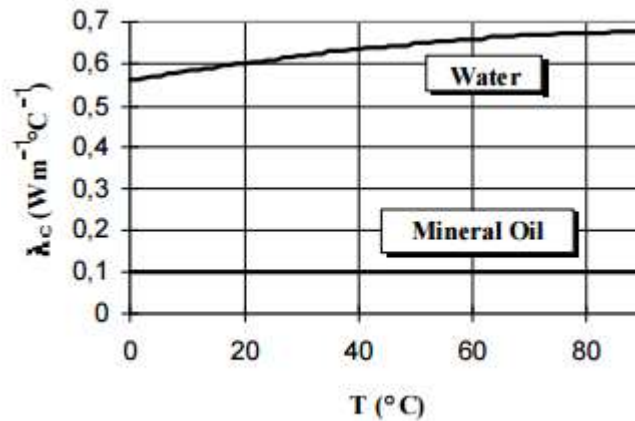


Kuva 6. Veden höyrynpaine lämpötilan funktiona [7].

2.4 Ominaislämpö, lämmönjohtavuus ja jäähdytystarve

Nesteen ominaislämpö vastaa sitä lämpömäärää, joka tarvitaan yhden nestekilon lämpötilan nostamiseen yhden kelvin-asteen verran. Hydraulijärjestelmissä syntyvien suurten lämpömäärien hallitsemiseksi on edullista, jos nesteen ominaislämpö on suuri. Nesteen lämmönjohtavuus taas vaikuttaa nesteen jäähdytyskykyyn, joten myös sen tulisi olla mahdollisimman suuri.

Veden ominaislämpö ja lämmönjohtavuus ovat erittäin suuret, joten vesi kykenee sitomaan itseensä paljon lämpöenergiaa (Kuva 7). Näiden ominaisuuksien ja vedelle tyypillisen turbulenttisen virtauksen vuoksi, vesihydraulisilla järjestelmillä on erinomainen passiivinen jäähdytyskyky, jonka takia niissä ei normaalisti tarvita suuritehoista aktiivista lisäjäähdytystä. [5, s. 444 – 445]



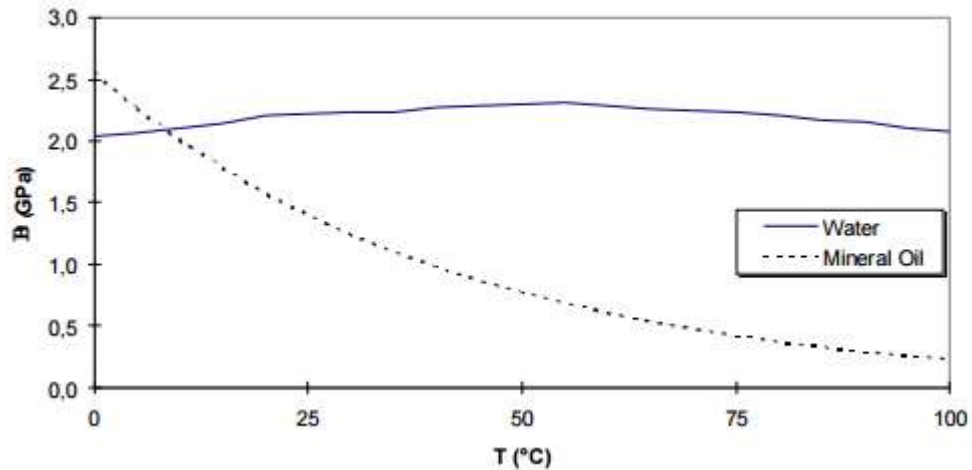
Kuva 7. Veden lämmönjohtavuus [7].

Koska vedellä on alhainen ja lämpötilariippuvuudeltaan vähäinen viskositeetti, ei vesijärjestelmissä esiinny tarvetta lämmittää järjestelmää viskositeetin laskemiseksi käyttöviskositeetin tasolle. Tämä on hyödyllistä, koska vesihydraulijärjestelmät ovat heti käyttövalmiita ja kuormitettavissa.

On kuitenkin otettava huomioon, että veden käyttölämpötila-alueita rajoittavat sekä jäätyminen 0 °C:n lämpötilassa, että höyrönpaineen lasku liian alhaiseksi lämpötilan ylittäessä 50 °C:ta. Tästä syystä veden käyttölämpötila-alueeksi suositellaan 3-50 °C:n lämpötilaa. Tämä ei kuitenkaan ole riippuvainen hydraulijärjestelmän ympäristöstä, vaan riittävä eristys, lämmitys ja virtaus järjestelmässä mahdollistavat veden käytön jopa jäätympistettä alemmissa lämpötiloissa. [5, s. 444 – 445] [8]

2.5 Puristuskerroin, äänen nopeus väliaineessa ja paineisku

Neste puristuu kokoon huomattavasti herkemmin kuin metallit. Tätä ominaisuutta kuvaa nesteen puristuskerroin, joka vastaa metallien kimmomoduulia. Veden puristuskerroin on suuri (noin 2300 MN/m²), joskin vedessä olevat vapaat ilmakuplat pienentävät puristuskertoimen arvoa jonkin verran. Veden puristuskertoimen vaihtelut ovat kuitenkin vähäisiä, koska alhaisen viskositeetin ansiosta vapaa ilma erottuu vedestä nopeasti (Kuva 8). Korkean puristuskertoimen takia vesihydraulijärjestelmät ovat jäykkiä, minkä takia niillä on mahdollista toteuttaa nopeita ja herkkiä säätöjärjestelmiä. [5, s. 445] [6, s. 44]



Kuva 8. Lämpötilan vaikutus veden puristuskertoimeen [7].

Veden suuri puristuskerroin aiheuttaa toisaalta nopeita paineaaltoja, minkä takia vesihydrauliikalle on ominaista suuret paineiskut. Alhaisen viskositeetin ja vaimennuskyvyn vuoksi paineaallon vaimeneminen kestää pitkään, joten vesihydraulijärjestelmän paineiskuja kokevat osat olisi syytä mitoittaa kovista materiaaleista. [5, s. 445]

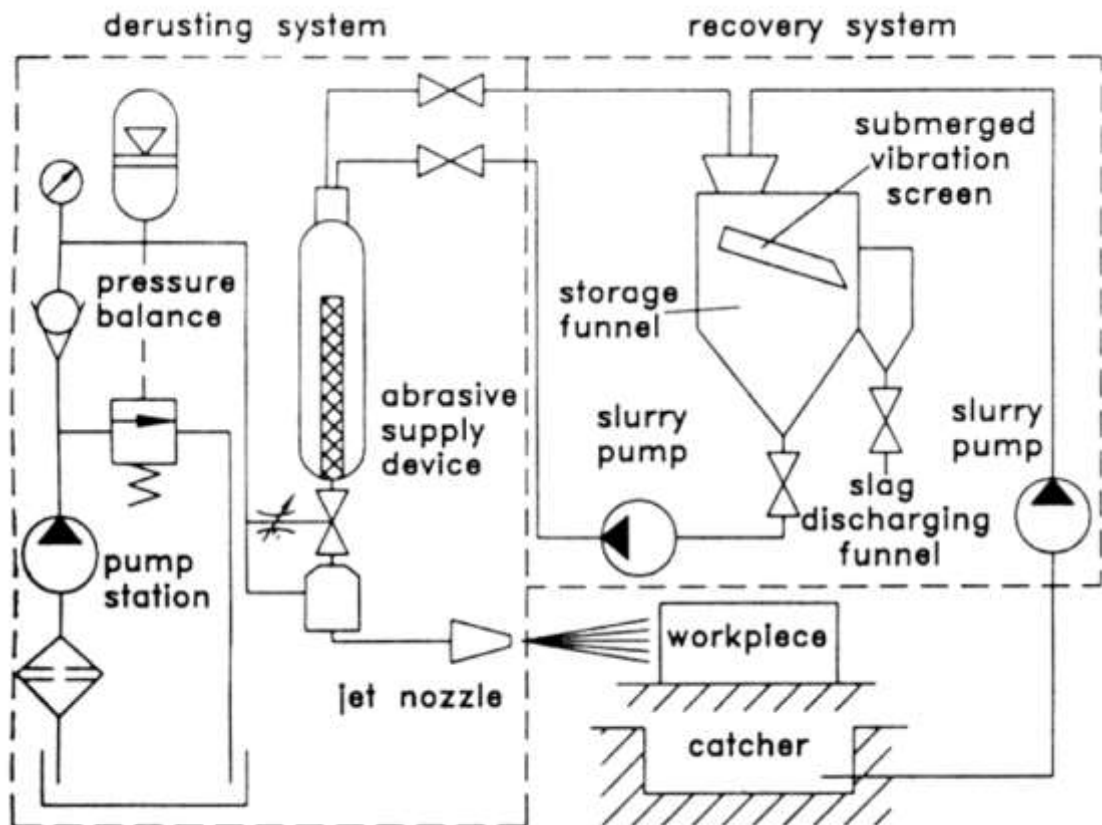
2.6 Veden laatu ja suodatus

Hydraulisisissa järjestelmissä nesteen laatu määritetään nesteessä olevien kiinteiden epäpuhtauksien, veden kemiallisen laadun ja veden mikrobiologisen laadun perusteella. Jotta vesihydraulinen järjestelmä täyttäisi sille eri sovelluksissa asetettavat vaatimukset ja järjestelmän toimivuus, luotettavuus ja käyttöikä saataisiin optimoiduksi, tulisi kaikkien edellä mainittujen osatekijöiden olla riittävällä tasolla.

Veden tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu veden pH-arvo, joka vaikuttaa korroosioherkyyteen ja mikro-organismien elinmahdollisuuksiin. Veden pH- arvoksi suositellaankin yleisesti noin 8:aa. Veden kovuus, joka määritellään veteen liuenneen kalsiumin ja magnesiumin määrällä, tulisi olla 5 – 10 °dH:ta (keskikova vesi). [5, s. 445 – 446] [6, s. 52 – 54]

3. AVOIMEN KIERRON VESIHYDRAULIJÄRJESTELMÄT

Hydrauliset järjestelmät voidaan rakenteensa perusteella jakaa kahteen pääryhmään: avoimiin järjestelmiin ja suljettuihin järjestelmiin. Avoimille järjestelmille on ominaista suuri nestesäiliö, josta neste imetään pumpulla järjestelmään ja johon se toimilaitteista palaa. Kun kyseessä on avoin hydraulijärjestelmä, jossa nestevarastona toimii joko luonnosta otettava vesi tai vesijohtovesi, ei nestesäiliötä juuri tarvita. Veden ympäristöystävällisyyden takia nestettä ei tarvita kierrättää takaisin järjestelmään, vaan se voidaan laskea luontoon. Tällaista Kuvan 9 mukaista nestesäiliötöntä, kierroltaan avointa ja vettä käyttävää järjestelmää, kutsutaan avoimen kierron vesihydraulijärjestelmäksi. [5, s. 4 – 5]



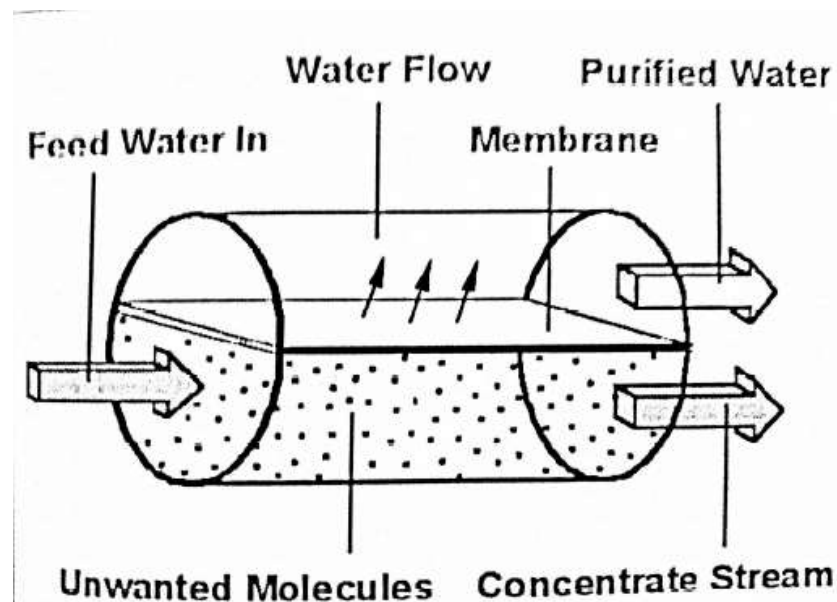
Kuva 9. Avoimen kierron vesihydraulijärjestelmä [9].

Tässä kandidaatin tutkinnossa keskitytään nimenomaan avoimen kierron vesihydraulijärjestelmiin, jotka toteuttavat haluttuja tehtäviä hyödyntämällä joko hydrostaattista, hydrodynamista tai näiden yhdistelmällä rakennettua vesihydraulijärjestelmää. Järjestelmät, joita käsitellään, ovat käänteisosmoosi-, vesisumu- ja vesisuihkujärjestelmät.

3.1 Käänteisosmoosijärjestelmä

Käänteisosmoosi tarkoittaa tapahtumaa, jossa vesi puhdistetaan paineella ja puoliläpäisevällä kalvolla ioneista, proteiineista, ja orgaanisista kemikaaleista. Näin saadaan teollisuudelle hyödyllistä demineralisoitua puhdasta vettä.

Käänteisosmoosikalvo tehdään polymeereistä, jotka muodostavat kerroksisen ja verkko-maisen rakenteen, jossa nesteen täytyy kulkea monimutkainen reitti päästäkseen kalvora-kenteen läpi toiselle puolelle. Tämän matkan aikana syötettävä neste konsentroituu vahvemiksi seokseksi ollessaan käänteisosmoosikalvon kanssa kosketuksissa. Käänteisosmoosi toteutuu kalvon läpi, kun hydrostaattinen paine on suurempi kuin osmoottinen paine seoksessa. Käänteisosmoosia puoliläpäisevän kalvon läpi esitellään Kuvassa 10. [10][11, s. 177 – 179]



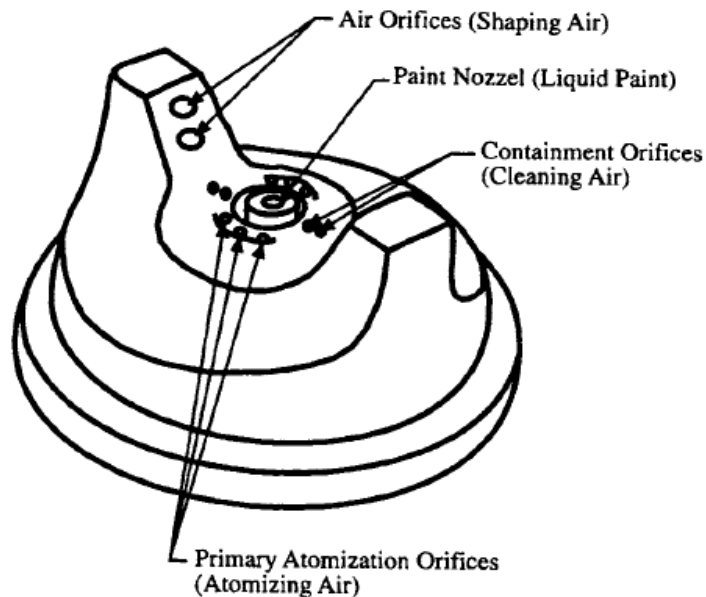
Kuva 10. Käänteisosmoosikalvon ristivirtausrakenne [11, s. 179].

Käänteisosmoosikalvo on järjestelmissä harvoin ainoa suodatusmenetelmä sen helpon liikaantumisen johdosta. Jotta käänteisosmoosikalvolle saadaan mahdollisimman pitkä käyttöikä ja puhdistustehokkuus, on järjestelmään tuotava vesi esikäsitteltävä. Tästä syystä käänteisosmoosijärjestelmät sisältävät yleensä erilaisia esikäsittelyratkaisuja, kuten sakkakaivoja, karkeasuodattimia ja ultraviolettisäteilytystä ennen käänteisosmoosisuodatusta. [11, s. 178][12]

3.2 Vesisumujärjestelmät

Vesisumujärjestelmässä hydraulinesteenä käytettävä vesi atomisoidaan niin, että sen kosketuspinta-ala kasvaa maksimaaliseksi. Atomisoinnilla tarkoitetaan nesteen hajottamista pieniksi pisaroiksi, joiden halkaisija on alle 1 000 μm . Tämä voidaan toteuttaa usealla eri

tavalla, joista yleisin tapa on paineatomisointi. Paineatomisoinnissa nesteen paine muutetaan kineettiseksi energiaksi kiihdyttämällä nesteen nopeus hyvin suureksi verrattuna ympäröivän kaasun liikkeeseen. Atomisoijan muotoilusta riippuen neste voidaan kiihdyttää eri muodoissa, joita ovat paine-, pyörre-, ja viuhkasuihku. Eri muodot pystytään toteuttamaan suuttimen aukon muotoilulla, josta esimerkkinä Kuvassa 11 viuhkasuihku-suutin. [13, s. 20 – 24]

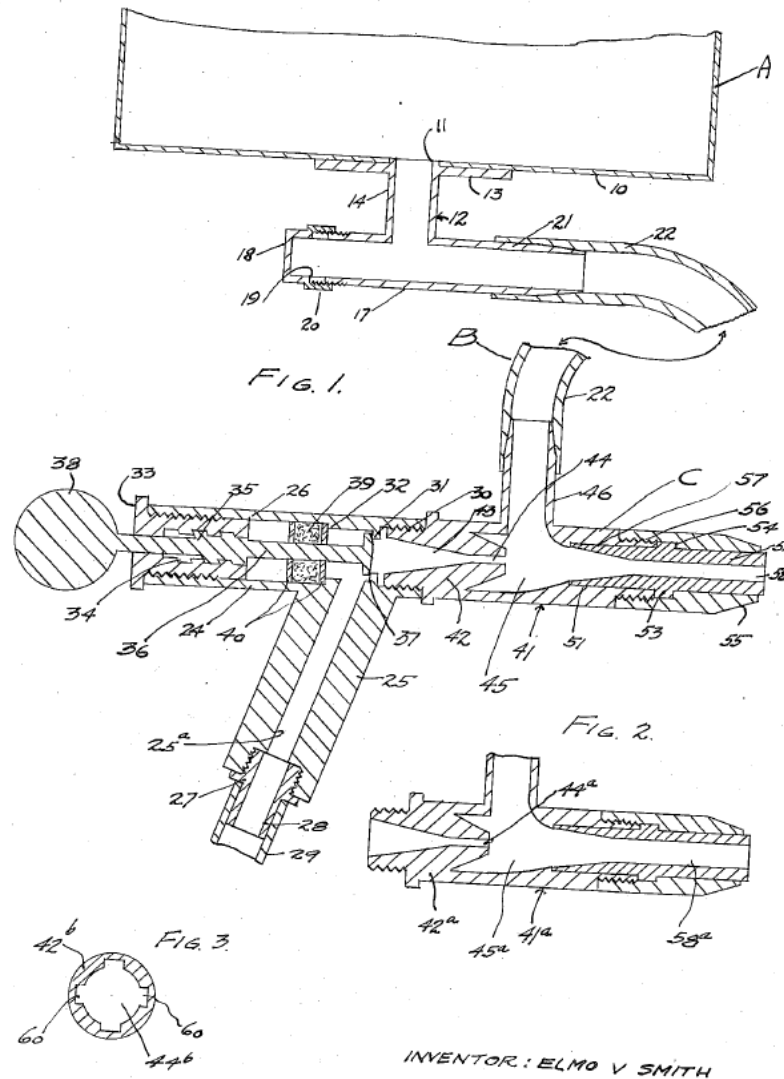


Kuva 11. Maalisuihkeena käytettävän viuhkasuihku-suuttimen kaavio [13, s. 37].

Kun pienen viskositeetin neste, kuten vesi, läpäisee suuren paineen alaisena (yli 150kPa) pienen aukon, muodostaa se erittäin nopean suihkun, joka hajoaa nopeasti pieniksi pisaroiksi. Mitä korkeampi on nesteen paine, sitä korkeampi on aukon läpäisevän nesteen vauhti ja sitä parempi nesteen hajoaminen pisaroiksi. Nesteen hajoamiseen vaikuttaa eritoten kolme ominaisuutta, viskositeetti, nesteen tiheys ja ympäröivän kaasun liike. Pieni viskositeetti parantaa nesteen hajoamista pienemmiksi pisaroiksi, tiheys vaikuttaa nestesuihkun läpäisykykyyn ja ympäröivän kaasun liike ja suunta mahdollistaa atomisointiprosessin toimimalla nesteen hajottajana. [13, s. 26 – 27]

3.3 Vesisuihkujärjestelmät

Vesisuihkuja hyödyntävät järjestelmät ovat avoimen kierron vesihydraulijärjestelmistä ehkä tunnetuimpia. Vesisuihku tuotetaan ohjaamalla korkeapaineista vettä sovelluksen mukaiseen suuttimeen. Vesisuihkuja on hyödynnetty teollisuudessa jo kauan, ja ensimmäinen patentti tällaisesta teollisuuden käyttämästä suuttimesta on jo vuodelta 1935 (Kuva 12).



Kuva 12. Ensimmäinen patenti abrasiivia käyttävän vesisuihkuleikkurin suuttimesta vuodelta 1935 [14].

Suuttimia on erilaisia ja niiden tehtävä on muokata ammuttava vesisuihku tarvittavan muotoiseksi. Vesisuihkumuodoille on kolme yleistä nimitystä: pyöreäsuihku, viuhkasuihku ja muotoiltu suihku. Suihkun muodolla on väliä, sillä esimerkiksi sylinterin mallinen vesisuihkumuoto on puhdistustarkoitukseen liian pieni. Puhdistuksessa käytetäänkin viuhkamallista vesisuihkuja, koska sillä voidaan puhdistaa leveämpiä alueita nopeasti. Käytettävä neste ei välttämättä tarvitse olla puhdasta vettä, vaan esimerkiksi leikkaustarkoituksessa saatetaan käyttää hioma-ainetta sisältävää vettä. Myös muiden nesteiden käyttö leikkureissa on yleistä muun muassa ruokateollisuudessa, jossa vesisuihku voi poistaa tuotteista sokereita, mikä vaikuttaa tuotteiden makuun. [15]

4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

Kandidaatintyö toteutettiin kirjallisuustutkimuksena etsimällä tutkimuskysymyksiin vastaavaa materiaalia. Tutkimusaineiston etsiminen aloitettiin Tampereen Teknillisen Yliopiston kirjastosta, jonka jälkeen tutkimusaineiston määrää kasvatettiin monitieteisistä Andor, Scopus, ScienceDirect ja GoogleScholar -tietokannoista.

Tutkimuksen laajuudesta johtuen aineiston etsinnässä jouduttiin käyttämään useita hakulausekkeita, mikä johti satojen lähteiden läpikäymiseen. Tutkimuksen kannalta relevantimmat lähdemateriaalit löytyivät eri tutkimusten lähdeluetteloista ja tunnettujen vesihydraulikomponenttien valmistajien tapaustutkimuksista. Kokonaisuudessaan tutkimukseen on hyödynnetty 56:a lähdettä.

Tutkimusongelmaan käytetty aineisto koostuu niin tieteellisistä artikkeleista, hydraulii-
kan kirjoista, tieteellisistä tutkimuksista ja arvostettujen vesihydraulikomponenttien valmistajien tapaustutkimuksista. Tutkimuksessa on pyritty suosimaan 2000-luvulla julkaistuja artikkeleita vesihydrauliikan nopean kehityksen takia. Poikkeuksen tähän tekevät teoriaan liittyvät kirjat ja artikkelit, koska hydraulii-
kan teoria on pysynyt samana kautta aikojen.

5. AVOIMEN KIERRON VESIHYDRAULIJÄRJESTELMIEN YLEISIMMÄT SOVELLUKSET

Käänteisosmoosi-, vesisumu- ja vesisuihkujärjestelmä ovat suosituimpia avoimen kierron vesihydraulijärjestelmiä. Tässä kappaleessa esitellään tutkimuksen tuloksia, eli näiden järjestelmien yleisimpiä sovelluksia.

5.1 Käänteisosmoosijärjestelmän sovellukset

Toiminnaltaan ehkä yksinkertaisin, mutta vasta 2000-luvun jälkeen yleistynyt vesihydraulisovellus on käänteisosmoosijärjestelmä. Historiassa povattiin suurta suosiota hana-vevisovelluksille, mutta tiukentunut säädäntö ja teknologian vaatimusten kasvu on luonut tarpeen ns. ultrapuhtaille vesijärjestelmille [11]. Vaikka käänteisosmoosia on tutkittu jo vuodesta 1967 vuodesta lähtien, on se yleistynyt vasta kuluneen vuosikymmenen aikana [16].

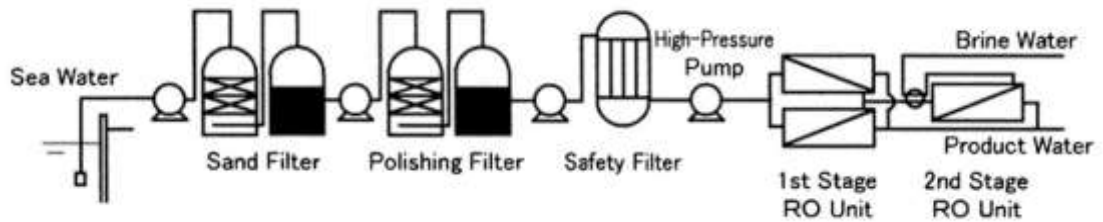
Käänteisosmoosiin vaadittavien kalvojen kehityksen ja hinnan putoamisen tapahduttua samoihin aikoihin Danfossin Nessie -teknologian kehittymisen [6, s. 5][17] ja teollisuuden vesihydraulisten laitteiden yleistymisen kanssa [16], on se johtanut erittäin nopeasti kasvaviin käänteisosmoosimarkkinoihin. Koska käänteisosmoosikalvojen vaihtoväli voi olla jopa 16 kuukautta, on käänteisosmoosijärjestelmät hyvinkin kannattavia riippumatta käyttökohteesta [18]. Se on johtanut käänteisosmoosikalvojen hurjaan myynnin kasvuun kuluneen kymmenen vuoden aikana, joka voidaan nähdä Kuvasta 13.



Kuva 13. 8 tuuman kalvojen myynnin ja markkinoiden kasvu Kiinassa [16].

5.1.1 Suolan poisto

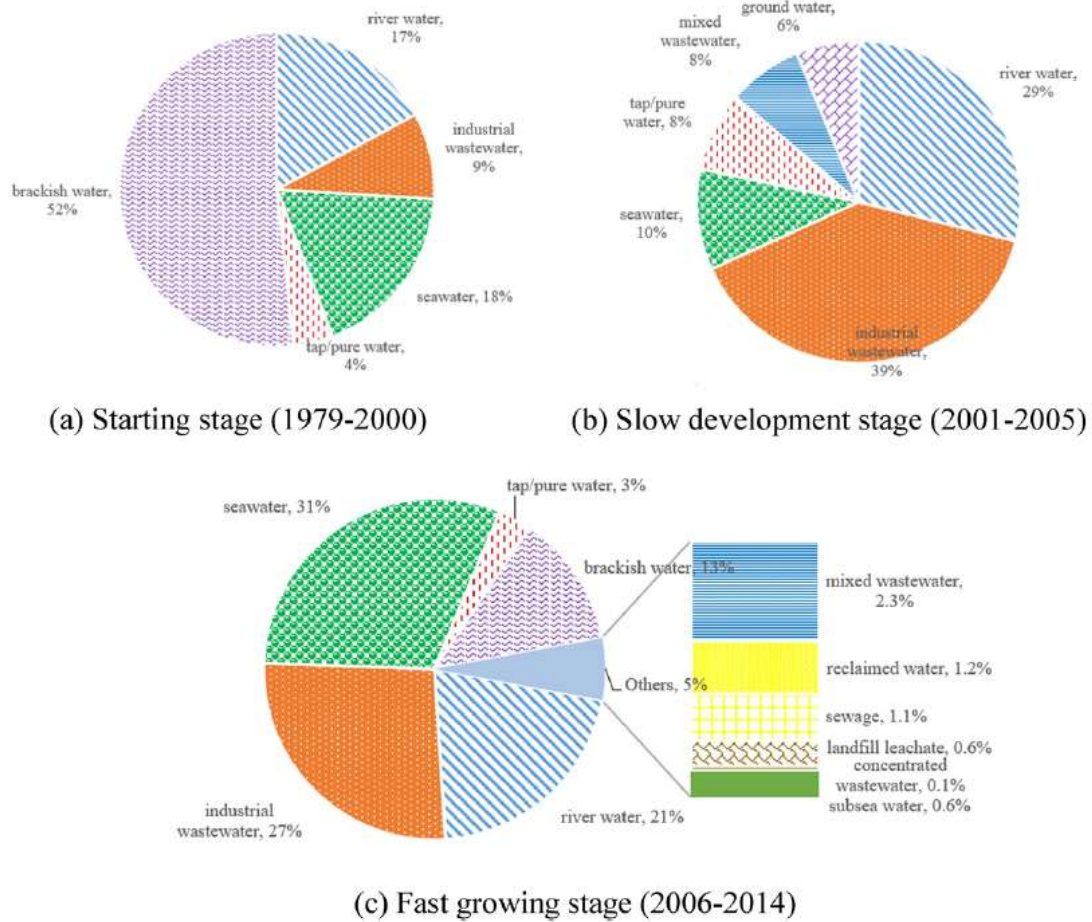
Koska 96,5 % maailman vesivarastoista on merivettä [19], on sen hyödyntäminen yksinkertainen ratkaisu maailmalla kasvavaan vesipulaan. Tämä on mahdollista käänteisosmoosin avulla, joka tekee merivedestä juomakelpoista poistamalla siitä epäpuhtaudet ja suolan. Käänteisosmoosi sopii meriveden puhdistukseen erinomaisesti, koska se vaatii perinteistä veden termistä puhdistusta huomattavasti vähemmän energiaa [20].



Kuva 14. Tyypillisen merivedenpuhdistamon systeemikaavio [21].

Meriveden puhdistus tapahtuu Kuvan 14 mukaisesti puhdistamoissa, joissa merivesi esikäsitellään erilaisilla sakkakaivoilla ja hiekkasuodattimilla. Vasta kun merivesi on riittävän puhdasta, se johdetaan korkean paineen käänteisosmoosiyksiköihin [12].

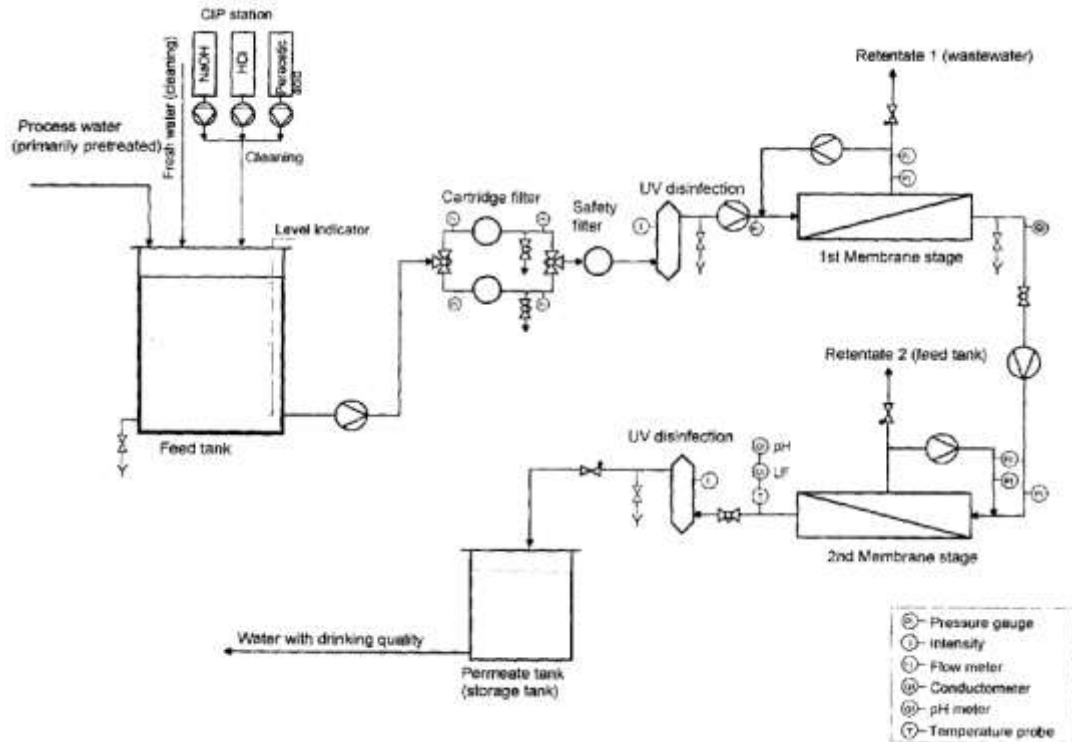
Koska menetelmä on helppoa, on se tarjonnut esimerkiksi Bahaman syrjäiselle Elbow Cayn saarelle mahdollisuuden puhdistaa oman juomavetensä [22]. Samanlaisia järjestelmiä löytyy ympäri maailmaa Lähi-Idästä, Kiinasta ja jopa veneistä [23, 24, 25, 26]. Kuvasta 15 voidaan nähdä, kuinka meriveden muuntaminen juomavedeksi on kolminkertaistunut käänteisosmoosisovellusten osalta kuluneen kymmenen vuoden aikana [16].



Kuva 15. Vedenpuhdistuksen kehittyminen käänteisosmoosilaitoksissa vuosien saatossa (1979 - 2014) [16].

5.1.2 Jätevedenpuhdistus

Kuluneiden vuosikymmenten aikana puhtaan veden hinta on noussut ja valtiollinen sääntely lisääntynyt. Mikäli esimerkiksi ruokateollisuus, joka käyttää teollisista sektoreista eniten vettä tuotetonna kohtaan, haluaa kierrättää jätevedettään käyttöönsä, on se puhdistettava juomakelpoiseksi vedeksi [27]. Käytännössä jätevedenpuhdistus eroaa edellisessä luvussa esitellystä merivedenpuhdistuksesta hyvin vähän, mikä on nähtävissä vertailemalla systeemikaavioita Kuvista 14 ja 16.



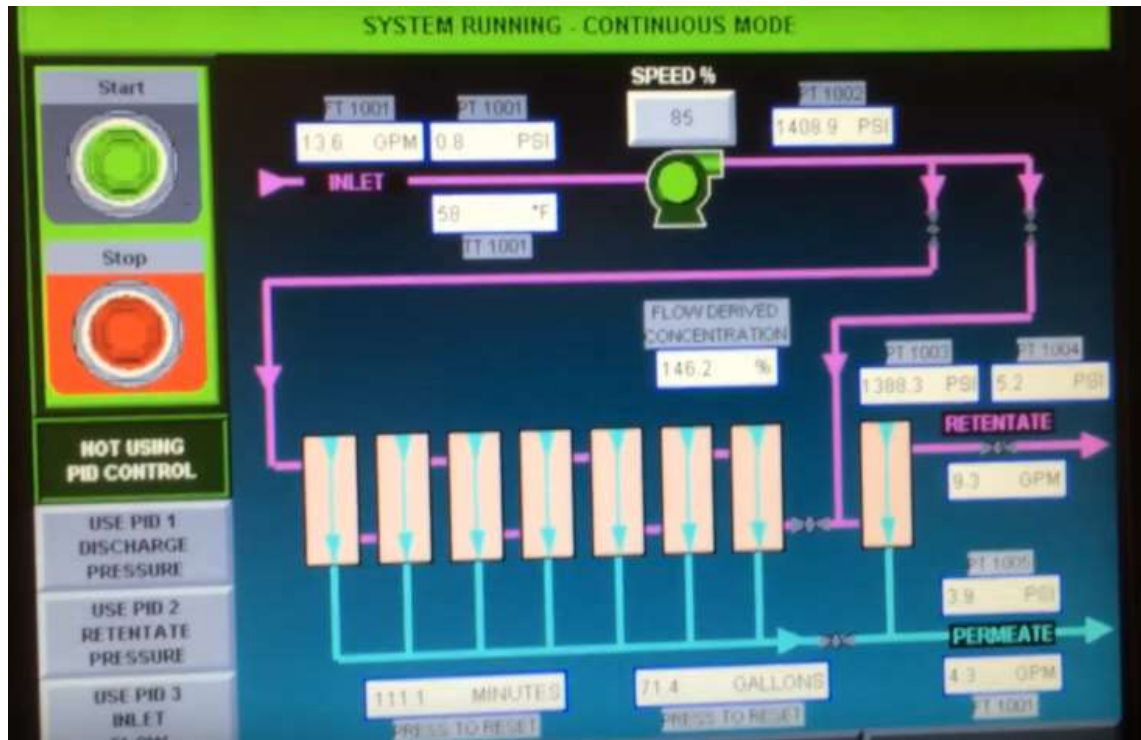
Kuva 16 Jätevedenpuhdistamon systeemikaavio [27].

Jätevesi on yhteinen ongelma teollisuuden kaikille sektoreille, josta Ruotsissa sijaitseva Perstorpin tehdasalue on hyvä esimerkki. Kyseessä olevalla alueella on 20 eri tehdasta, jotka tuottivat yhteensä noin 2 000 kuutiota kemikaalirikasta jätevettä päivässä. Jäteveden määrää kuitenkin haluttiin vähentää ja saada siitä puhdasta käyttövettä. Tästä syystä 1994 teollisuusalueella otettiin käyttöön oma käänteisosmoosilaitos. Pitkän kehityksen jälkeen puhdistamo saatiin tuottamaan 240 - 300 kuutiota juomakelpoista vettä päivässä, minkä johdosta se alkoi säästämään enemmän, kuin mitä järjestelmän ylläpito kustansi. [18]

5.1.3 Ruokateollisuus

Vaikka käänteisosmoosi on luotu pääasiassa veden puhdistamista varten, on sen hyödyntäminen mahdollista myös toisinpäin. Ruokateollisuudessa on huomattu, että teknologialla voidaan kasvattaa myös nesteiden konsentraatioita hyvin tarkasti.

Eräs kalifornialainen H2O Engineeringin luoma innovaatio Kaliforniassa sijaitsevan Napa Valleyn viinitilalle soveltaakin järjestelmää hyvin poikkeavasti viiniteollisuuteen. Yrityksen luomassa järjestelmässä, jonka systeemikaavio on esitelty Kuvassa 17, käänteisosmoosilla poistetaan viinirypälemehusta ja viinistä vettä. Tämä menetelmä nostaa nesteen konsentraatiota, tehden jäljelle jääneestä ”jätteestä” sokeripitoisempaa. Vesihydraulinen järjestelmä tarjoaa viinitilalle uuden ja hyvin tarkan tavan vaikuttaa tuotteen maun vivahteisiin. [28]



Kuva 17. H2O Engineering yrityksen viinin konsentraation säätelyyn kehittämän kään-teisosmoosilaitteen käyttöliittymä ja sen systeemikaavio [29].

5.2 Vesisumujärjestelmän sovellukset

Toinen avoimen kierron vesihydraulijärjestelmiin kuuluva ja markkinoitaan kasvattanut tekniikka on vesisumutekniikka. Vesihydrauliikalla toteutettu vesisumusysteemi toteutetaan paineistamalla veden paine niin korkeaksi, että veden vapautuessa ilmaan se atomisoituu erittäin pieniksi vesipartikkeleiksi muodostaen vesisumua. [13, s. 20]

5.2.1 Palontorjunta

Vesisumutekniikkaa on kehitetty palontorjuntaan jo 1950-luvulta lähtien, mutta sen kehitykseen alettiin panostamaan vasta Montrealin pöytäkirjan myötä vuonna 1987 [30, 31]. Silloin päätettiin kansainvälisesti maapallon ilmakehän suojelemisesta, mikä johti muun muassa haloneita sisältävien palontorjuntavälineistön käytöstä luopumiseen. Tämä tuotti vesisumujärjestelmille vapaat markkinat ja suuren kysynnän, minkä ansiosta vesisumutekniikkaa hyödyntävät tehokkaat ja edulliset palontorjuntatyökalut ovat kehittyneet. [32, s. 1587- 1593] [33]

Vesisumua hyödyntävä palontorjunta pohjautuu pääosin kolmeen fysikaaliseen ilmiöön:

1. Palon tuottama lämpöenergia sitoutuu höyrystyvään veteen.
2. Höyrystyvä vesi syrjäyttää palon vaatiman hapen laajentuessaan.

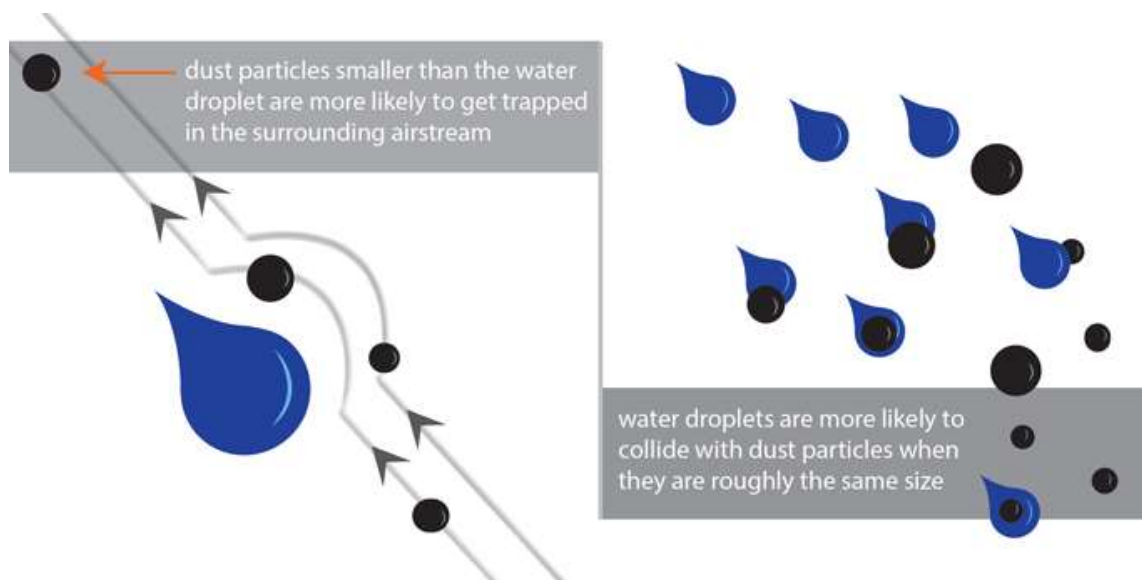
3. Palon aiheuttama lämpösäteily heikentyy vesisumun optisten ominaisuuksien vaikutuksesta.

Lisäksi on huomattu, että mitä pienempi vesipisaran halkaisija on, sitä parempi ja pidempi sen vaikutus palokohteeseen on. Tästä on voitu päätellä, että mitä pienempi palontorjunnassa suihkutettavan veden vesipisaroiden koko on, sitä vähemmän sitä tarvitaan tulipalon sammutukseen. Tämä on mahdollistanut vesisammutusjärjestelmien pienenemisen, sekä niiden käytön vedelle herkissä ympäristöissä. Nykyään vesihydrauliikkaa hyödyntäviä vesisumupalontorjuntajärjestelmiä löytyykin niin laboratorioista, tehtaista, paloautoista, kuin tunneleista [13, 34, 35, 36]. [32, s. 1587- 1593] [37]

5.2.2 Pölynsidonta

Vesisumujärjestelmiä käytetään teollisuudessa palontorjunnan lisäksi myös räjähdysten estämisessä. Pöly aiheuttaa syttyessään helposti räjähdysten, jota kutsutaan yksiselitteisesti pölyräjähdykseksi. Räjähävä pöly voi koostua esimerkiksi puusta, hiilestä, metallista, orgaanisesta tai synteettisestä materiaalista. [38, s. 5 – 6]

Vesisumun avulla voidaan sitoa pölyhiukkasia veteen niin, että sen paino kasvaa ja se laskeutuu maahan vaarattomana. Kuvassa 18 esitellään, kuinka sumutettavan veden pisarakoko on tärkeää olla yhtä pientä käsiteltävän pölyn kanssa. Tällaiset järjestelmät ovat yleisiä kaivos- ja prosessiteollisuudessa, jossa pöly on olennainen osa käsiteltäviä materiaaleja. [39, 40]

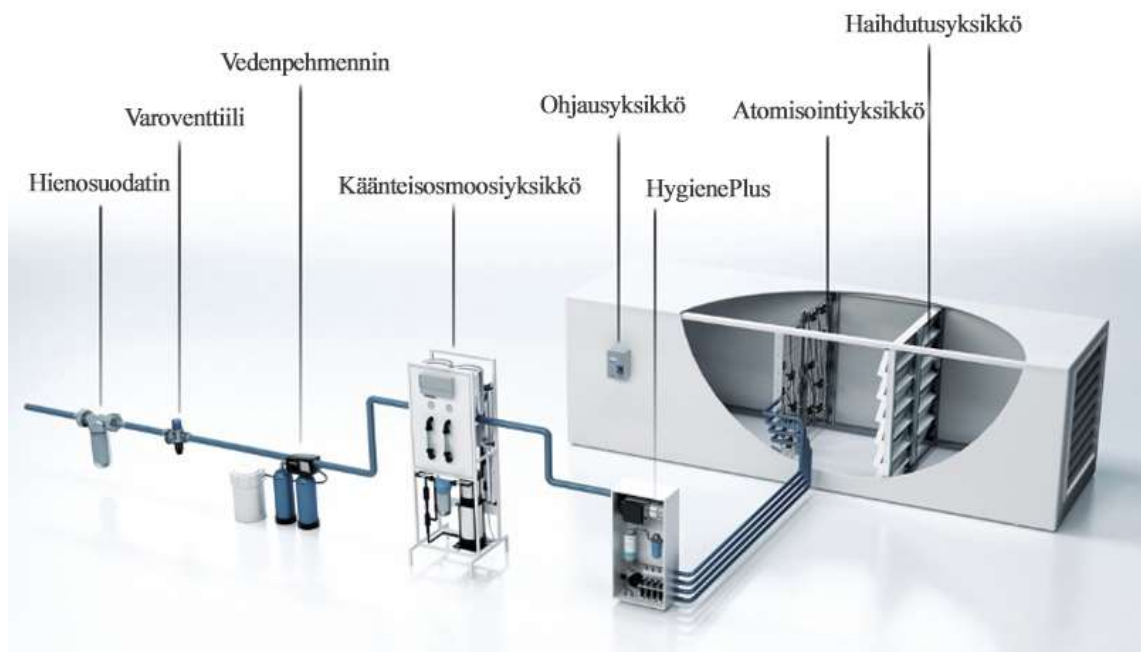


Kuva 18. Pölyn sidonta vaatii vesisumutekniikkaa [41].

5.2.3 Ilman kosteuden ja lämmön säätö

Vesisumusysteemit eivät kuitenkaan rajoitu vain palo ja räjähdysturvallisuuteen, vaan ne sopivat myös erinomaisesti ilmankosteuden- ja lämmönsäätöön. Tämä on tärkeää kaikessa teollisuudessa, jossa laitteet ja tuotanto vaatii erityisen puhtaat tilat. Esimerkiksi sähköisiä järjestelmiä sisältävissä datakeskuksissa on tärkeää, että ilman kosteus pysyy optimaalisena, koska liian kuiva ilma voi johtaa sähkövarauksien purkautumisiin.

Tästä syystä muun muassa Facebook on toteuttanut Ruotsissa sijaitsevan datakeskuksensa ilmanlaadun ylläpidon juuri vesisumutekniikkajärjestelmällä, josta esimerkki Kuvasessa 19. Kyseinen järjestelmä käyttää 13 tonnia vettä tunnissa ja kosteuttaa sillä 28 hehtaarin kokoiset tilat. Järjestelmässä käytetään käänteisosmoosilla tuotettua demineralisoitua vettä, joka estää bakteereiden pääsyä serveritiloihin. Laitteet ovat lisäksi öljyttömiä, koska öljy on atomisoituneena epäterveellistä henkilöstölle ja voi toimia kiihdyttäjänä bakteerikasvustoille. [42, 43, 44]



Kuva 19. Condair ilmankostutinjärjestelmä serveritiloille [44].

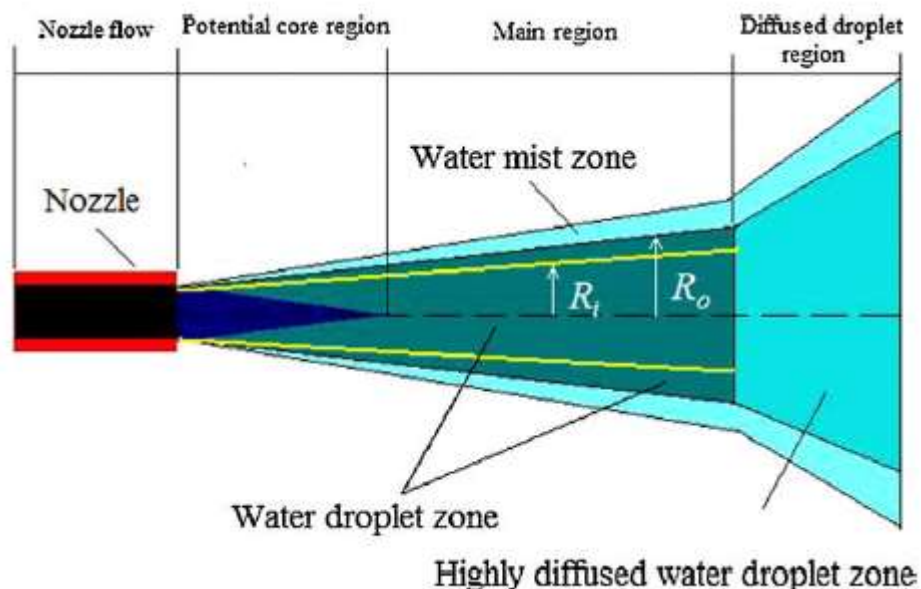
Ilmanlaatu ja eritoten puhtaus on tärkeää sähköteknisten tilojen lisäksi myös kasvihuoneissa. Ruokateollisuudelle on tyypillistä tarkat säädökset, joiden takia öljyttömien järjestelmien käyttö kasvihuoneiden kosteuden ja lämpötilan säädössä on erityisen tärkeää. Jotta kasveille haitallisia bakteereita ja sieniä ei pääse tuhoamaan satoa, käytetään kasvihuoneissakin kosteutuksessa serveritilojen tapaan demineralisoitua vettä. Tällainen vesisumujärjestelmä on toteutettu esimerkiksi Venäjällä, jossa sillä ylläpidetään jopa 70 hehtaarin kokoisien kasvihuoneiden kosteutusta ja lämpötilaa. [45]

5.3 Vesisuihkujärjestelmän sovellukset

Vesisuihkujärjestelmät ovat teollisuudessa ehkä yleisimpiä avoimen kierron vesihydraulijärjestelmiä. Vesisuihkulla voidaan tehdä useita teollisia töitä, kuten esimerkiksi puhdistamista, leikkaamista, tuhoamista, muotoilua ja atomisointia.

5.3.1 Painepesu

Kuten Luvussa 4.3 mainittiin, painepesussa hyödynnetään viuhkasuihkua. Viuhkasuihkun nopeus on yleisesti $\sim 80 - 200$ m/s [15]. Suihku koostuu yleisesti nopeasta ja yhtenäisestä ytimestä, jonka ympärillä on rengasmaisen pilvi vesi pisaroita, jotka liikkuvat sekoittuneessa ilmapirrassa. Suihku jakautuu ilmaan osuessaan kolmeen selkeään osaan, jotka ovat ydin-, pää- ja pisara alue (Kuva 20). [46]



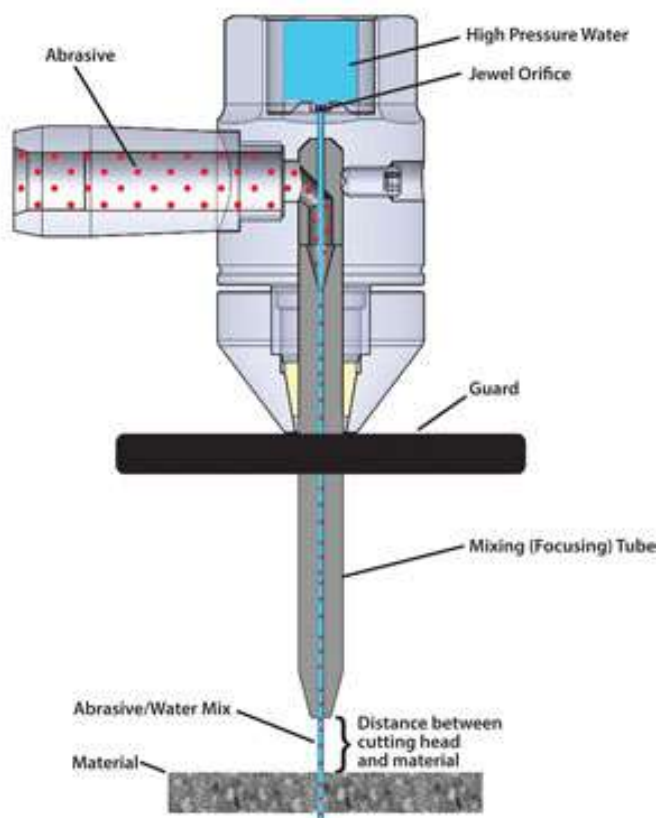
Kuva 20. Suurinopeuksisen vesisuihkun rakenne ilmassa [46].

Painepesureita on sekä teollisuudessa, että kotikäytössä ja niitä käytetään niin käyttöhyödykkeiden kuin teollisten työkalujen ja kiinteistöjen puhdistuksessa. Painepesureiden valmistajana ehkä tunnetuin on Kärcher, joka valmistaa vesisuihkupuhdistimia jopa 2500 baarin paineisiin asti. [47] Toinen vesisuihkupuhdistuksen kehittäjä on SLE Technology, joka hyödyntää korkeapaineistettua demineralisoitua ja deionisoitua vettä kaupallisten tuotteiden osien pesuun. [48]

5.3.2 Vesisuihkuleikkaus

Kuten aiemmin mainittiin, vesisuihku on monipuolinen työkalu teollisuudessa. Heti pesemisen jälkeen tunnetuin sovellus vesisuihkutekniikasta on varmasti vesisuihkuleikkaus,

jolla yleisesti leikataan erilaisia pehmeitä ja kovia materiaaleja kuten alumiinia. Jotta vesisuihku saadaan leikkaamaan metallia, lisätään siihen yleensä hiovaa jauhetta mukaan, kuten Kuvassa 21 esitetään. Hiovan jauheen ja oikean muotoisen suuttimen avulla vesisuihku saadaan leikkaamaan metallia erittäin hyvin. Leikkauskohtaan voidaan suihkuttaa myös nestetyypeä, jolloin leikkausjäljestä saadaan huomattavasti laadukkaampi. Tätä menetelmää kutsutaan kryogeeniseksi hiomavesisuihkuksi. [15]



Kuva 21. Abrasiivinen vesisuihkuleikkuri [49].

Vesisuihkuleikkuri kykenee toteuttamaan monimutkaisia muotoja ja nykyaikana vesileikkurit ovat CAM -ohjauksella toteutettuja tarkan työn koneita. Vesisuihkuleikkuri pystyy leikkaamaan sellaisia materiaaleja, joihin muut leikkurit eivät pysty. Esimerkiksi tietyt muovi- ja komposiittimateriaalit eivät kestä lämpöä, jolloin vesileikkuri on ainoa tehokas vaihtoehto leikkaustehtävään [50]. Kuten vesihydrauliikassa ylipäätään, myös vesileikkuri on erittäin hyvä työkalu räjähdysherkissä olosuhteissa. Vesisuihkuleikkuria käytetäänkin erityisesti hyvin herkästi räjähtävissä ympäristöissä, kuten räjähteiden ja ammusten purkamisessa tai esimerkiksi kaasulaitoksissa. [51]

5.3.3 Vesisuihkupiikkaaminen

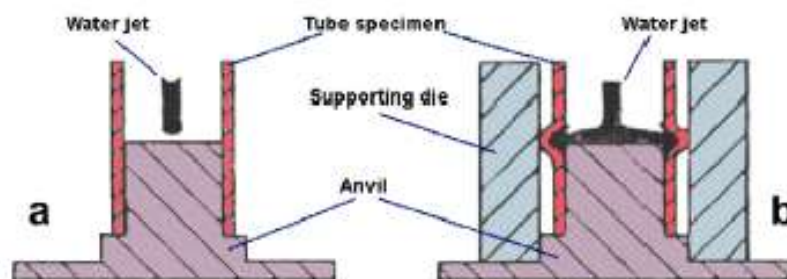
Eräs mainitsemisen arvoinen sovellus vesisuihkujärjestelmänä on vesisuihkupiikkaaminen (hydrodemolition). Se on 1970 luvulla kehitetty betonin piikkaus menetelmä, joka

käyttää kovalla paineella suihkutettavaa vettä poistamaan sementtiä, asfalttia ja laastia. Menetelmällä voidaan poistaa niin heikentynyttä kuin eheääkin betonia ja sillä saadaan aikaan erinomainen tartuntapinta korjausmateriaalille ja uusille pinnoitteille. [52]

Pääasiassa vesisuihkupiikkaamista käytetään betonirakenteiden kuten parkkihallien ja siltojen pintojen korjaus- ja eheytysoimissa. Toisin kuin sementin poistossa yleisesti käytetty hydraulinen vasara, vesisuihkupiikkaaminen ei aiheuta tärinän luomia mikrosäröjä betonirakenteisiin, mikä tekee vesisuihkupiikkaamisesta riskittömämmän korjausmenetelmän. [52]

5.3.4 Vesisuihkumuotoilu

Hieman uudempaa vesisuihkuteknologian sukupolvea on vesisuihkumuotoilu. Vesisuihkumuotoilulla tarkoitetaan sitä, kun vesisuihkulla muokataan esimerkiksi putkien muotoja. Siinä hyödynnetään suihkutettavan veden kineettistä energiaa ja sen nestemäistä olomuotoa, mikä mahdollistaa sopivan muotin ja alasimen kanssa haluttujen muotojen tuottamisen. Kuvasta 22 voidaan nähdä, kuinka vesisuihku osuu alasimeen ja muuttaa vertikaalisen liikkeensä horisontaaliseksi. Osuessaan ohuen putken seinämään, vesisuihkuun sitoutunut kineettinen energia muuttuu voimaksi, joka on riittävän suuri putken seinämän plastiseen muodonmuutokseen.



Kuva 22. Putken muotoilua vesisuihkulla [53].

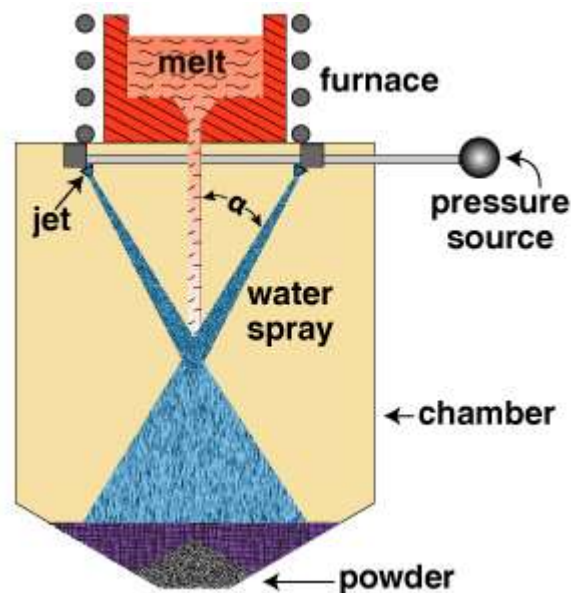
Vesisuihkumuotoilun suuri etu on se, että muotoiltava kohdepala ei lämpene menetelmän aikana käytännössä ollenkaan, ja menetelmän toistaminen massatuotannossa on hyvin nopeaa. Vesisuihkumuotoilua käytetään esimerkiksi tölkkimuotoilussa, jossa tölkkien ohuet seinät eivät kestäisi muuta muotoilumetodia. [53]

5.3.5 Vesiatomisointi metallin tuotannossa

Viimeisenä, mutta ei suinkaan vähäisimpänä vesisuihkusovelluksena on vesiatomisointi. Vesiatomisoinnilla tarkoitetaan sitä, kun vesisuihkulla atomisoidaan sulaa metalli pieniksi partikkeleiksi. Ensimmäinen innovaatio metallisulan atomisoinnista vedellä kehitettiin jo

1872 Englannissa [54, s. 13], mikä tekee sovelluksesta yhden vesihydrauliikan vanhemmista teollisista sovelluksista.

Metallin vesiatomisointi tapahtuu erillisessä atomisoijassa, joka koostuu atomisointikammioista ja useasta kulmassa olevasta vesisuihkusta. Sula metalliseos ohjataan atomisointikammioon suuttimen kautta, joka tuottaa noin 7 millimetrin paksuisen metallivirran. Kammiossa sula metalli tippuu vapaassa pudotuksessa, kunnes vesisuihkut osuvat siihen. Vesisuihkujen osuttua metallivanaan, metalli atomisoituu ja jähmettyy pieniksi metallipartikkeleiksi. Lopulta metallipartikkelit tippuvat kammion pohjalle, josta ne ohjataan suuttimen kautta liukuhihnalle ja eteenpäin varastoitavaksi. Metallin atomisointiprosessi on esitelty Kuvassa 23. [13, s. 90 – 95]



Kuva 23. Vesiatomisointiprosessilla valmistetaan metallijauhetta [55]

Riippuen veden paineesta, atomisoinnin avulla voidaan tuottaa erittäin hienojakoistakin jauhetta. Matala paine (55 – 210 baaria) johtaa mediaaniltaan noin 100 μm :n kokoisiin partikkeleihin, kun taas korkea paine (500 – 1500 baaria) voi tuottaa jopa 5 – 20 μm :n kokoista jauhetta. Vesiatomisointi on edullinen tapa tuottaa metallipölyä, jolla on useita teollisia sovelluskohteita [56]. Vesi ei sovi kuitenkaan kaikille metalleille hapettavan vaikutuksensa takia, joten atomisoinnissa on myös yleistä käyttää muita nesteitä ja kaasuja. Tästä syystä yleisimpiä vesiatomisoitavia metalleja ovat raudan lisäksi muun muassa kupari, teräs, ja nikkeli. [13, s. 90 – 95]

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Vesihydrauliikkaa hyödynnetään paljon teollisuudessa ja sillä onkin useita käyttökohteita. Hydraulinesteenä vesi on haastava ominaisuuksiensa, kuten alhaisen viskositeetin, kavitaatioherkkyyden, termisten ominaisuuksien ja puristuskertoimen, puolesta. Vesi on kuitenkin ympäristöystävällisyytensä, paloturvallisuutensa ja runsaan luonnossa esiintymisensä takia erinomainen neste hydraulijärjestelmille. Lisäksi sen ominaisuudet voivat erilaisissa tilanteissa ja oikein hyödynnettyinä olla myös uuden innovaation perusta, kuten useissa avoimen kierron vesihydraulijärjestelmissä.

Vesihydrauliikkaa hyödyntävien avoimen kierron järjestelmien yleisimmät sovellukset ovat käänteisosmoosi-, vesisumu-, ja vesisuihkujärjestelmät. Näitä järjestelmiä hyödynnetään maailmalla usealla tavalla ja käyttökohteita löytyy niin ruoka-, kaivos- kuin lääketeollisuudesta. Tutkimuksen perusteella tärkeimmiksi käyttökohteiksi nousivat käänteisosmoosijärjestelmät veden puhdistuksessa, vesisumujärjestelmät palontorjunnassa ja vesisuihkuleikkaus ja -atomisointi teollisuudessa.

Vesi sopii ominaisuuksiensa puolesta ainutlaatuisesti avoimen kierron järjestelmiin, mikä näkyikin markkinoiden ja käyttökohteiden määrän kasvussa kuluneiden vuosikymmenten aikana. Jotta tämä kasvu saadaan pidettyä yllä, ja vedestä saadaan haastaja suljettuihin hydraulijärjestelmiin öljypohjaisille hydraulinesteille, tutkimusta ja kehitystä on tehtävä vielä paljon komponentti-, materiaali- ja ohjaustasolla. Mikäli tässä onnistutaan, tulevaisuudessa tulemme näkemään enemmän vettä hyödyntäviä hydraulisovelluksia avoimen ja suljetun kierron järjestelmissä. Tämä kehitys ennustaa ympäristöystävällisempää tulevaisuutta niin hydrauliikalle kuin teollisuudellekin, mutta myös koko maailmalle.

LÄHTEET

- [1] R. A. Tomlinson, "The Perachora Waterworks: Addenda", *The Annual of the British School at Athens*, Vol. 71, 1976, pp. 147-148.
- [2] Frontinus, Sex. Iulius, "De aquaeductu urbis Romae / Frontinus ; edited with introduction and commentary by R. H. Rodgers", Cambridge University Press, 2004.
- [3] S. Skinner, *Hydraulic Fluid Power – A Historical Timeline*, 1st Ed. Steve Skinner Presentations, 2014.
- [4] P. Wendt. "The Control of Rubber in World War II", *Southern Economic Journal*. Vol. 13, no. 3, 1947, pp. 203–227.
- [5] H. Kauranne, J. Kajaste and M. Vilenius, *Hydrauliteknikka*, 1. painos, WSOY Oppimateriaalit, Helsinki, 2008.
- [6] E. Trostmann, *Water hydraulics control technology*, 1st ed., Marcel Dekker Inc., New York, 1996.
- [7] K. Koskinen, "Introduction to Water Hydraulics", Technical University of Tampere, 2013.
- [8] P. Chua and F. Tan, "Experimental study of water hydraulics application in aviation", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 82, no. 2, 2010, pp. 91-98.
- [9] A. W. Momber and R. Kovacevic, *Principles of of Abrasive Water Jet Machining*, Springer London, London, 1998.
- [10] C. Fritzmann, J. Löwenberg, T. Wintgens and T. Melin, "State-of-the-art of reverse osmosis desalination", *Desalination*, vol. 216, no. 1-3, 2007, pp. 1-76.
- [11] E. Trostmann, *Tap water as a hydraulic pressure medium*, 1st ed., Marcel Dekker Inc., New York, 2001.
- [12] N. Misdan, W.J. Lau and A.F. Ismail, Seawater Reverse Osmosis (SWRO) desalination by thin-film composite membrane - Current development, challenges and future prospects, *Desalination*, Vol. 287, 2012, pp. 228-237.
- [13] H. Liu, *Science and engineering of droplets*, 1st ed., Noyes Publications, New York, 1999.
- [14] J.V. Smith, Liquid Blasting, Pat. USA 2040715, Application no. USA 25888, 10.6.1935, (2.5.1936). 4 p.
- [15] D. Summers, *Waterjetting technology*, 1st ed., E & FN Spon, London, 1995.

- [16] X. Chen, Z. Zhang, L. Liu, R. Cheng, L. Shi and X. Zheng, "RO applications in China: History, current status, and driving forces", *Desalination*, vol. 397, 2016, pp. 185-193.
- [17] "Danfoss Group Global", *Danfoss.ipapercms.dk*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://danfoss.ipapercms.dk/Danfoss/Newsletters/DanfossHistoriskArkiv/Danfossbger/FragmentsofDanfossHistory/>.
- [18] M. Into, A. Jönsson and G. Lengdén, "Reuse of industrial wastewater following treatment with reverse osmosis", *Journal of Membrane Science*, vol. 242, no. 1-2, 2004, pp. 21-25.
- [19] U. Howard Perlman, "Where is Earth's water? USGS Water-Science School", *Water.usgs.gov*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>.
- [20] R.F. Service, Desalination Freshens Up, *Science* Vol. 313, 2006, pp. 1088-1090.
- [21] M. Taniguchi, M. Kurihara, and S. Kimura, Behavior of a reverse osmosis plant adopting a brine conversion two-stage process and its computer simulation, *Journal of Membrane Science*, Vol. 183, no. 2, 2001, pp. 249-257.
- [22] "Danfoss APP Pump Runs 27,000 Hours in Remote Island Location | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://high-pressurepumps.danfoss.com/technicalarticles/rc/danfoss-app-pump-runs-27,000-hours-in-remote-island-location/>.
- [23] "Low Energy and Maintenance Costs is Key to Success at Plant in Bermuda | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dcs/low-energy-and-maintenance-costs-is-key-to-success-at-plant-in-bermuda/>.
- [24] "Danfoss APP Pumps keep Chinese Soda Ash Factory Running Around the Clock | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dcs/danfoss-app-pumps-keep-chinese-soda-ash-factory-running-around-the-clock/>.
- [25] "INEXA Designs Energy-efficient SWRO plant around six Danfoss APP pumps running in parallel | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dcs/inexa-designs-energy-efficient-swro-plant-around-six-danfoss-app-pumps-running-in-parallel/>.
- [26] "Enwa Designs New Plug-and-Play SWRO Plant Around Danfoss APP Pump | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dcs/enwa-designs-new-plug-and-play-swro-plant-around-danfoss-app-pump/>.

- [27] V. Mavrov and E. Bélières, Reduction of water consumption and wastewater quantities in the food industry by water recycling using membrane processes, *Desalination*, Vol 131, no. 1-3, 2000, pp. 75-86.
- [28] "H2O Engineering Uses Danfoss High-Pressure Pump To Make Fine Wine Even Better In Napa Valley | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dcs/h2o-engineering-uses-danfoss-high-pressure-pump-to-make-fine-wine-even-better-in-napa-valley/>.
- [29] Youtube, *Stainless Steel RO System for Wine Juice Concentration*. 2016.
- [30] C. Ndubizu, R. Ananth, P. Tatem and V. Motevalli, "On water mist fire suppression mechanisms in a gaseous diffusion flame", *Fire Safety Journal*, vol. 31, no. 3, 1998, pp. 253-276.
- [31] K. Prasad, C. Li, K. Kailasanath, C. Ndubizu, R. Ananth and P. Tatem, "Numerical Modeling of Water Mist Suppression of Methane-Air Diffusion Flames", *Combustion Science and Technology*, vol. 132, no. 1-6, 1998, pp. 325-364.
- [32] Hurley M.J. et al, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 5th ed., Vol 1, Springer, New York, 2016
- [33] W. Xishi, L. Guangxuan, Q. Jun and F. Weicheng, "Experimental Study on the Effectiveness of the Extinction of a Pool Fire with Water Mist", *Journal of Fire Sciences*, vol. 20, no. 4, 2002, pp. 279-295.
- [34] F. laboratory, "Fire suppression with water mist in microbiological laboratory | Solution | Danfoss | State of Green", *Stateofgreen.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://stateofgreen.com/en/profiles/danfoss/solutions/fire-suppression-with-water-mist-in-microbiological-laboratory/>.
- [35] E. fire-fighting, "Efficient mobile fire-fighting | Solution | Danfoss | State of Green", *Stateofgreen.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://stateofgreen.com/en/profiles/danfoss/solutions/efficient-mobile-fire-fighting/>.
- [36] "Firefighting Tunnels", *Hainzl.at*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://www.hainzl.at/en/produkte/firefighting-systems/firefighting-tunnels-cat-990/>.
- [37] P. E. Santangelo and P. Tartarini, Fire Control and Suppression by Water - Mist Systems, *The Open Thermodynamics Journal*, Vol 4, 2010, pp. 167 – 184.
- [38] R. Eckhoff, *Dust explosions in the process industries*, 1st ed., Gulf Professional Pub, Amsterdam, 2003.
- [39] "Water Spray Pump Stations for Underground Longwall Mining: Hauhinco Water hydraulics", *Hauhinco.de*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://www.hauhinco.de/en/industry-solutions/mining/water-spray-pump-stations/>.

- [40] "Dust Suppression Systems | Odor & Dust Control Systems", *Fogco.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://fogco.com/applications/odor-dust/>.
- [41] "The History & Technology of Dust Suppression | Bosstek", *Bosstek.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://bosstek.com/support/about-dust-suppression-technology-4-reasons-dustboss-is-the-way-it-is/>.
- [42] "26 Danfoss PAHT Pumps Keep Things Cool at Facebook's First European Data Center | High Pressure Pumps | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dcs/26-danfoss-paht-pumps-keep-things-cool-at-facebook-s-first-european-data-center/>.
- [43] "Direct air cooling humidification for Facebook | Condair Group AG | Humidification Specialists", *Condair.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://www.condair.com/condair-humidifies-facebook/>.
- [44] "Know-How | Hybrid Humidifier", *Condair.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://www.condair.com/know-how/hybrid-humidifier/>.
- [45] "Danfoss PAHT Pumps Help Regulate Temperature and Humidity in Massive Russian Greenhouse | High Pressure Pumps | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dcs/danfoss-paht-pumps-help-regulate-temperature-and-humidity-in-massive-russian-greenhouse/>.
- [46] A. Guha, R. Barron and R. Balachandar, "An experimental and numerical study of water jet cleaning process", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 211, no. 4, 2011, pp. 610-618.
- [47] "Ultra-high-pressure cleaners | Kärcher", *Kaercher.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.kaercher.com/my/professional/high-pressure-cleaners/ultra-high-pressure-cleaners.html>.
- [48] "Danfoss PAHT Pumps Enables SLE Technology Keeping Parts Clean | Danfoss", *High-pressurepumps.danfoss.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-studies/dcs/danfoss-paht-pumps-enables-sle-technology-keeping-parts-clean/>.
- [49] D. Austin, "Looking Inside the Waterjet Cutting Head", *Cimindustry.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://www.cimindustry.com/article/forming-fabricating/looking-inside-the-waterjet-cutting-head/>.
- [50] "Waterjet Cutting AST Waterjet", *AST Waterjet*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://astwaterjet.com/services/waterjet-cutting/>.
- [51] "Water jet cutting in explosive environments - Case Study 80", *Twiglobal.com*, 2016. Saatavissa (viitattu 21.12.2016): <http://www.twi-global.com/news-events/case-studies/water-jet-cutting-in-explosive-environments-080/>.
- [52] A.W. Momber, *Hydrodemolition of Concrete Substrates and Reinforced Concrete Structures*. Elsevier Applied Science, London, 2005.

- [53] M. Chizari, L. Barrett and S. Al-Hassani, "An explicit numerical modelling of the water jet tube forming", *Computational Materials Science*, vol. 45, no. 2, 2009, pp. 378-384.
- [54] A. Lawley, *Atomization - The Production of Metal Powders*, Metal Powder Industries Federation, New Jersey, 1992.
- [55] "Making Metal Powder | Metal Powder Industries Federation", *Mpif.org*, 2018. Saatavissa (viitattu 27.5.2018): <https://www.mpif.org/IntroPM/making-powder.asp>.
- [56] "What metal powders are used for – metal powder applications – Australian Metal Powders Supplies - AMPS", *Metalpowders.com.au*, 2018. Saatavissa (viitattu 27.5.2018): <http://www.metalpowders.com.au/applications/metal-powder-applications.html>.