

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Vesileikkausaltan konstruktion suunnittelu

Mika Kamunen

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Konetekniikka
Insinööri(AMK)

KEMI 2012

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman puitteissa. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli UltraCut Oy. Idean työhöni sain ohjatun työharjoittelun aikana Promote Oy suunnittelutoimistossa. Työn ohjaajana oli koulun puolelta Ari Pikkarainen ja työharjoittelun ohjaaja Jarmo Arttijeff.

Lisäksi haluan kiittää UltraCut Oy:n toimitusjohtajaa Kari Malista antamistaan neuvoista. Haluan myös kiittää LVI-Kilpimaata tarjoamastaan avusta tilojen puolesta.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu,	Tekniikan ala
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotetekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Mika Kamunen
Opinnäytetyön nimi	Vesileikkausaltaan konstruktion suunnittelu
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	25.4.12
sivumäärä	49+7 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Ari Pikkarainen (Ins. YAMK)
Yritys	Promote Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Jarmo Arttijeff (Ins. YAMK)

Opinnäytetyön aihe saatiin Kemiläiseltä suunnittelutoimistolta Promote Oy:lta. Tavoitteena oli saada Vaasassa korkeapainevesileikkausalalla toimivalle UltraCut- nimiselle yritykselle uusi muototeräaltaan konstruktio.

Muototeräallas on korkeapainevesileikkauksessa käytettävä vesiallas, jossa vesileikkaus tehdään. Vesileikkauksessa käytetään lisäksi abrasiivia, jonka tarkoituksena on lisätä leikkaustehoa. Abrasiivi tuottaa vesileikkausprosessille ongelmia. Abrasiivi on tiheää, jauhemaista ainetta, joka altaaseen joutuessaan kerääntyy altaan pohjalle ja tukkii altaassa toimivat imuputket. Tästä johtuvat keskeytykset ovat yritykselle kalliita ja laitteistolle haitallista.

Työn tarkoitus oli suunnitella uusi vesileikkausallas siten, että abrasiivi saataisiin poistettua altaasta. Lisäksi oli tarkoitus parantaa altaan kunnossapitoa. Altaaseen oli tarkoitus asentaa huuhteluputket, jotka huuhtelisivat allasta ja samalla saisivat abrasiiivin sekoittumaan veteen, jolloin sen poistaminen imuputkien kautta parantuisi. Lisäksi altaan muoto tullaan muuttamaan. Uuden altaan kaltevat laidat parantavat abrasiiivin poistoa.

Kunnossapidon helpottamiseksi allas jaettiin kolmeen osaan. Tarkoitus olisi, että leikkausta voisi täten tehdä yhdessä altaassa, muiden altaiden ollessa toimimattomina.

Asiasanat: vesileikkaus, abrasiivi, pumput, putkisto, kunnossapito.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Name	Mika Kamunen
Title	Designing the Construction of Water Jet Cut Pool
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	4.29.2012
Pages	49 +7 appendices
Instructor	Ari Pikkarainen, M.Eng
Company	Promote Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Jarmo Arttijeff, Promote Oy, M.Eng

Topic of the thesis was assigned by design office Promote Oy from Kemi. The goal was to design the construction of a form cutting pool for a company called Ultracut in Vaasa that operating in water jet cutting sector.

The muototeräallas is a water tank that is used for water jet cutting. An abrasive is used in water jet cutting to increase cutting power. However, the abrasive also produces problems in water jet cutting process. The abrasive is thick, powder-like material, which when released to the tank accumulates at the bottom and blocks the suction tubes. The resulting stoppages are costly for the business and damaging to the equipment.

The purpose of the thesis was to design a new water jet cutting tank so that the abrasive could be removed from the tank. Another goal was to improve the maintenance of the tank itself. The plan was to install special flushing tubes that would rinse the tank and simultaneously mix the abrasive to the water to improve its removal through suction tubes. In addition, the shape of the tank will be redesigned. The new sloping sides of the tank will improve abrasive removal.

The tank was divided into three parts to ease the maintenance. The goal would be that the cutting could be done in one pool while other pools would be standing by.

Key words: water jet cutting, abrasive, pumps, pipes, maintenance.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYSLUETTELO.....	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	VI
1. JOHDANTO	1
2. ULTRACUT OY.....	2
3. VESILEIKKAUSPROSESSI.....	4
3.1. Vesileikkaus käytännössä.....	4
3.2. Ongelmat	6
4. ALTAAN KONSTRUKTIO	9
4.1. Altaan muoto	9
4.2. Altaan segmentointi.....	10
4.3. Altaan tuet ja jäykistys	13
4.4. Imuputkisto.....	14
4.5. Huuhteluputkisto	16
4.6. Altaan huoltoputkisto	18
4.7. Kannakointi	18
5. VIRTausNOPEUDEN MÄÄRITYKSET	19
5.1. Tiheys	19
5.2. Kavitaatio	19
5.3. Virtausnopeuden määrittäminen.....	20
6. PUMPPUJEN VALINTA	26
6.1. Keskipakopumput.....	26
6.2. Syrjäytyspumput.....	27
6.3. Kalvopumput	27
6.4. Valintaan vaikuttavat tekijät.....	28
6.4.1. Lietteen sisältämät muut partikkelit.....	28
6.4.2. Lopullinen valinta	29
7. KUNNOSSAPIDON KEHITTÄMINEN	30
7.1. Kampojen modifiointi	30
7.2. Kiinnityksen muuttaminen	32
8. KOEALTAAN RAKENNUS	33
8.1. Konstruktion suunnittelu	33
8.1.1. Altaan rakennus.....	33
8.1.2. Altaan alkukäsittely.....	35
8.1.3. Kallistusten asentaminen.....	35
8.1.4. Putkien osat ja asennus	37
8.1.5. Altaan viimeistely	40
9. TESTIALTAAN TOIMINNAN TESTAUS.....	41
9.1. Virtausien tutkiminen	41
9.1.1. Virtausreiän koko	41
9.1.2. Virtausreiän kulma	42
9.1.3. Virtausreiän muoto.....	42

10. TULOKSET	43
10.1. Virtausreiän kulma.....	43
10.2. Virtausreiän muoto	44
10.3. Abrasiivin poisto.....	45
11. JOHTOPÄÄTÖKSET	46
12. YHTEENVETO	47
13. LÄHDELUETTELO.....	48
14. LIITELUETTELO	49

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

NC = Numerical control

CAD = Computer aided design

DFX = Drawing interchange format

1. JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä keskitytään UltraCut-yrityksen korkeapainevesileikkauslaitteiston altaan toiminnan parantamiseen. Nykyisellään leikkauslaitteisto ei kokonaisuudessaan toimi moitteettomasti. Altaan toimintaa vaikeuttaa leikkauksessa käytettävä hiekka-aines (abradiivi) ja leikkauksessa irtoavat partikkelit. Altaan muoto ei nyky muodossaan edesauta hiekan poistumista altaasta. Altaassa olevat imuputkistot eivät kykene poistamaan hiekkaa altaasta ja allas tukkeutuu. Altaassa ei ole myöskään minkäänlaista keinoa hiekka-aineksen huuhtelua tai sekoittamista varten. Nämä puuttuvat ominaisuudet vievät huoltotoimenpiteiltä huomattavasti paljon aikaa. Altaassa ei myöskään ole minkäänlaista varatoimenpiteitä huuhtelua varten, joka voisi tilannetta mahdollisesti parantaa.

UltraCut on Vaasassa sijaitseva korkeapainevesileikkaukseen erikoistunut yritys. Vesileikkaus soveltuu lähes kaikille materiaaleille. Puhtaalla vedellä voidaan leikata pehmeitä materiaaleja, kuten vaneria, muovia ja kumia. Paksumpia ja kovempia materiaaleja leikataan abradiivihiekalla./7/

Abradiivihiekka muodostaa kuitenkin merkittävän osan ongelmista leikkauslaitteiston altaan toiminnan kannalta. Hienojakoinen hiekka tukkii nykyiset altaan puhtaana pitoon tarkoitetut putket, koska altaan pohjalle jäänyt hiekka muuttuu muotoaan lietemäisestä sementin kaltaiseen ainekseen. Nämä yhdessä puolestaan aiheuttavat prosessiin seisauksia. Hiekan sekaan irtoaa myös vesileikkauksessa leikattavasta materiaaleista teräviä, enimmäkseen eri metalleja, jotka sekä keräytyvät altaaseen ja vahingoittavat pumppuja./1/ ,/6/

Altaan muoto ei edistä hiekan siirtymistä laidoilta. Altaan muotoa suunniteltaessa on kuitenkin otettava huomioon teknisiä rajoitteita sekä tilan- että huoltotoimenpiteiden aiheuttamia rajoitteita. Edellä mainitut asiat vaikuttavat muodostavat yhden keskeisimmistä tekijöistä altaan konstruktiota suunniteltaessa./1/

2. ULTRACUT OY

UltraCut on Vaasassa sijaitseva korkeapainevesileikkaukseen erikoistunut yritys. Vesileikkaus soveltuu lähes kaikille materiaaleille. Puhtaalla vedellä voidaan leikata pehmeitä materiaaleja, kuten vaneria, muovia ja kumia. Paksumpia ja kovempia materiaaleja leikataan abrasiivihiekalla. Vaasassa toimiva UltraCut-yritys on pitkälti Kari Malisen, hallituksen puheenjohtajan ansiota. Tutustuminen vesileikkaukseen tapahtui Kemissä vuonna 1989, kun Kemi-Tornion amk:n oppilaitos aloitti ROVELE-projektin, johon hankittiin laitteet vesileikkauksen tutkimista varten. Projekti kuitenkin lopetettiin ennen 1991, kunnes useiden valtakunnallisten kyselyiden jälkeen Raumalta löydettiin laitteisto, jossa käytettiin abrasiivihiekkaa./6/

Vuonna 1991 käynnistettiin Kari Malisen vetämänä ABRAJET-projekti. Projektin toiminnan loppuessa oli alihankintakyselyiden määrä kasvanut suuremmaksi kuin oli varauduttu. Tästä johtuen perustettiin MaSijet Oy-yritys, joka perusti muutaman projektin vastaamaan kasvaneeseen kysyntään. Ajan kuluessa toiminta alkoi kuitenkin hiipua. Kemin alueella eivät pienet, eivätkä keskisuuretkaan yritykset kukoistaneet ja tilauskanta pieneni kannattamattomaksi. Suuret tehtaat kuten paperi- ja terästehtaat tarvitsivat vesileikkauspalveluja kunnossapidon muodossa vain satunnaisesti, joten toiminnalle tuli tarve löytää uusi alue. Vuonna 1995 toiminta sopivaksi toiminta alueeksi löytyikin Vaasa, jossa toimivat ABB ja Wärtsilä. Molemmilla yrityksillä oli tarve vesileikkauksen tuomille mahdollisuuksille omissa tuotteissa./6/

Koko toiminta laitteineen siirrettiin Vaasaan. Välimatkat ratkaisivat tämän asian. Nopeat ja halvemmat toimitukset olivat merkittävimmät kriteerit. Myös pienten ja keskisuurten yritysten toiminta paikkakunnalla vaikuttivat yrityksen sijaintiin./6/

Alkuun toiminnassa oli vaikeuksia. Tilaukset olivat pieniä ja näin ollen niiden hintakin korkea. Vaadittiin paljon työtä sen osoittamiseen, että laitteilla voitiin valmistaa suurempiakin valmistuseriä, jolloin hinta vastaisi asiakkaan mieltymyksiä. Kun tilauskanta suureni, alihankinnan tarve kasvoi sitä mukaan. Edellytykset alihankintatoimintaan Vaasassa olivat riittävät, joten toimintaan laajenemaan. Myös infrastruktuurin kehittäminen

mahdollistui ja etumatka perinteisempään laserleikkausmenetelmään pieneni huomattavasti./6/

Nykyään kilpailu on alalla kasvanut, mutta UltraCut on säilyttänyt paikkansa. Laaja asiantuntemus ja yhteistyökumppanit ovat pitäneet yrityksen toiminnassa vaikeampienkin aikojen ylitse./6/

3. VESILEIKKAUSPROSESSI

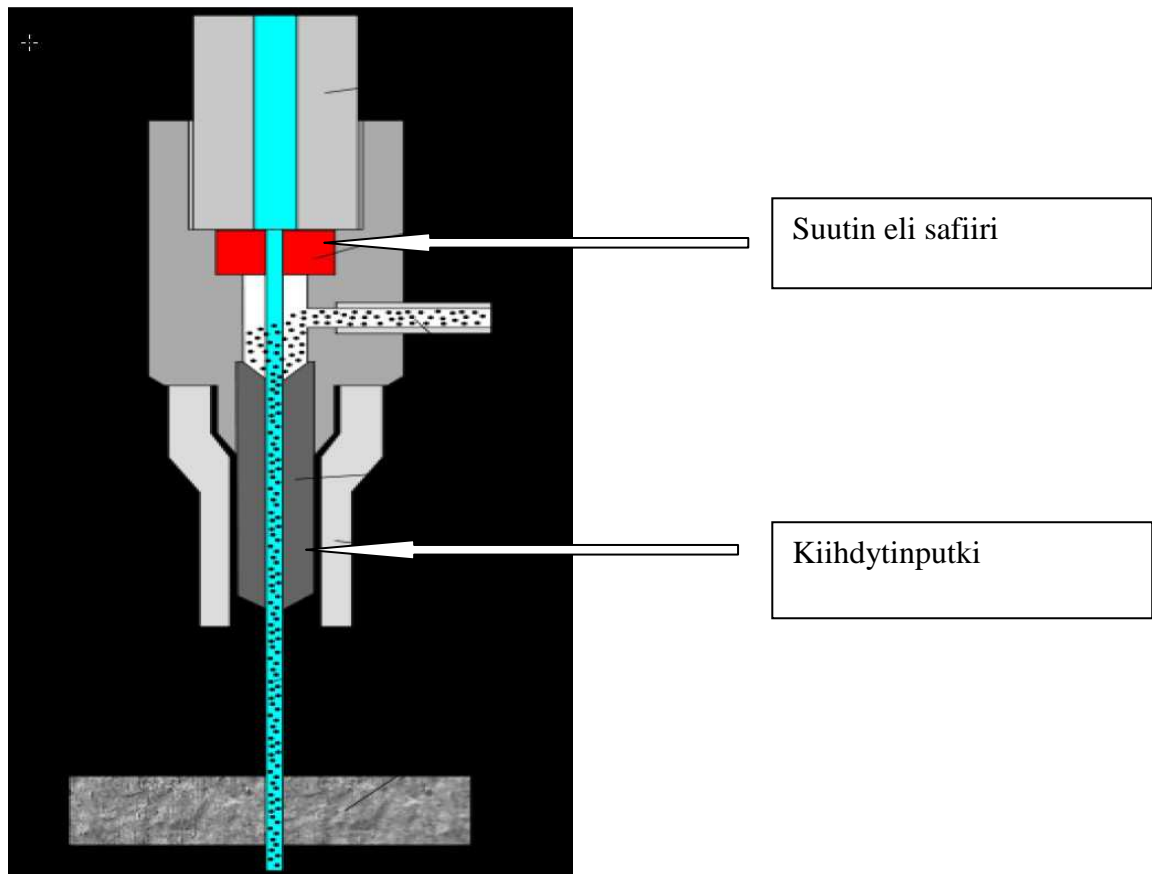
Vesisuihkuleikkaus on mekaaninen työstöprosessi, jossa korkeapaineinen vesisuihku irrottaa tai leikkaa materiaalia työstettävästä osasta. Prosessissa voidaan muuttaa eri tekijöitä riippuen aina siitä, mitä asiakas tuotteeltaan haluaa. Tärkeimmät parametrit ovat suuttimen halkaisija ja muoto, nesteen paine ja nopeus, suuttimen etäisyys ja kulma työkappaleeseen nähden sekä veden lisäaineet. Lisäaineena käytetään monesti abrasiivihiekkaa./2/

Menetelmän edut ovat siinä, että se soveltuu miltei kaikkiin materiaaleihin. Esimerkiksi mainittakoon vanerit, lasikuidut, muovit, teräkset, kuparit ja alumiinit. On melkein helpompi luetella materiaalit, jotka eivät sovellu leikkaamiseen. Menetelmän etuihin kuuluu myös se, että leikkausmenetelmä ei vahingoita materiaalia. Pinta ei naarmuunnu, eikä leikattavan kappaleen taipumista tapahdu, koska leikkausvoima kohdistuu yhteen pisteeseen. /2/

3.1. Vesileikkaus käytännössä

Leikkauslaitteiston leikkaamiseen käytettävien suuttimien vedenpaine nostetaan hydraulisella kohottajalla jopa 4100 bar:iin asti. Paine tasataan paineakulla, josta vesi johdetaan suuttimeen. Suuttimesta käytetään myös nimeä safiiri. Suuttimen halkaisija vaihtelee 0,05mm:stä aina 0,9mm:iin. Puhtaalla vedellä voidaan leikata pienemmällä suuttimen halkaisijalla, eikä vedensyöttöyksikössä tarvita kiihdytysputkea kuin abrasiivia käyttäessä. Abrasiivi tuodaan sekoituskappaleeseen paineilmalla, josta korkeapaineinen vesi, joka aiheuttaa alipaineen imee hiekan mukaansa (kuva1.). Ennen leikkausta tietokoneelle kopioidaan kuva cad-muodossa, joko dwg- tai dfx-päätteisenä tiedostoina. Lisäksi tietokoneelle syötetään tarvittavat parametrit. Parametreilla ilmoitetaan esimerkiksi koneelle, miten työstettävän kappaleen puhkaisu toteutetaan. Esimerkiksi mainittakoon lasi, jossa käytetään matalapaineista pyörrepuhkaisua, jotta materiaalia ei rikottaisi. Kun puhutaan matalapaineesta, on paineen määrä n.1500 baria. Muita puhkaisumenetelmiä on

kehämäinen puhkaisu. Lisäksi laitteelle kerrotaan aloituspiste, materiaalin laatu, nopeus, lähestymiskulma ja käytettävän hiekan määrä. Kun aloituspiste on määritelty koneelle, muutetaan sille syötetty tieto NC-koodiksi, jolla leikkuulaitteisto ohjataan. Leikkuulaitteisto itse on sähkötoiminen /6/



Kuva 1. Abrasiivihiekan lisäys leikkausprosessiin /6/

Käytettävä paine ja suuttimen koko ei kuitenkaan aina ole suoraan verrattavissa siihen, kuinka paksua tai kuinka kovaa materiaalia leikataan. Kyse on myös laatuvaatimuksesta. Leikattaessa materiaalia sen alareuna pyrkii repeilemään. Jos pyrkimys olisi tehdä laadukasta jälkeä, tämän kaltaisessa tilanteessa leikkausparametrit olisi asetettu väärin. Asiakas voi kuitenkin halutessaan jättää kyseiset alareunan repeämät, jos työstettävän kappaleen laatuvaatimukset sen sallivat. Näin ollen ennen työn alkua selvitetään asiakkaalta työstettävän kappaleen laatuvaatimukset./6/

Suihkun konstruktiolla pyritään muotoilemaan suihku kapeaksi vielä sen osuessa kappaleeseen. Suuttimet valmistetaan teräksestä, kovametallista, timantista tai sopivasta keramiikasta. Puhtaalla vedellä voidaan leikata muun muassa pehmeät materiaalit, kuten vanerit lasikuidut, muovit ja tiivistemateriaalit. Abrasiivia tarvitaan, kun materiaalin paksuus ja tiheys kasvaa. Näitä materiaaleita ovat muun muassa teräkset, kuparit, alumiinit, lasi ja eri kivilaadut./6/

3.2. Ongelmat

UltraCut Oy:n ongelmat keskittyvät abrasiivipöytään ja siihen kokonaisuuteen kuuluvaan muototeräaltaaseen. Pöydällä voidaan leikata sekä puhtaalla vedellä että abrasiivillä. Puhtaalla vedellä leikkattaessa ongelmat muodostuvat työstettävästä kappaleesta irtoaviin partikkeleihin. Partikkelit tukkivat imuputkistoa ja saavat altaan imupuolen toiminnan loppumaan. Kaikki partikkelit eivät kuitenkaan ole peräisin leikattavasta kappaleesta, vaan itse altaasta. Työstettävä kappale asetetaan metallisten lamellien päälle (kuva2.), joista myös leikkautuu metallisia partikkeleita altaan pohjalle. Nykytilanteessa prosessin pysähtyessä partikkelit joudutaan keräämään käsin työkaluja apuna käyttäen. Samalla pyritään saamaan imuputkisto puhtaaksi, jotta prosessia estävät osat saataisiin pois. Kun kaikki on puhdistettu ja laitteisto pelaa, voi prosessi jatkua. Nämä keskeytykset ovat kuitenkin yritykselle kalliita./1/ , /6/



Kuva 2. Leikkuupöydän lamellit /1/

Abrasiivipöydän merkitsevin ongelma on kuitenkin abrasiivihiekka. Abrasiivi on tiheydeltään n. kolme kertaa tiheämpää kuin vesi /7/, joten se painuu helposti pohjalle

joutuessaan veteen. Nykyisellään ovat kolme imuputkea eivät kykene pitämään allasta puhtaana koko alueelta. Abrasiivi painuu imuputkista huolimatta olleessaan riittävän etäällä suoraan altaan pohjaan ja alkaa kovettua lietemäisestä olosta enemmänkin sementin kaltaiseen olomuotoon. Ainoastaan imuputkiston lähiympäristö pysyy melko puhtaana hiekasta, mutta aivan kuten puhtaalla vedellä leikatessa, leikattavasta kappaleesta irtoaa leikatessa partikkeleita jotka tukkivat imupuolen putkia. Lisäksi pudonneisiin partikkeleihin abrasiivihiekalla on taipumus tarttua ja lisätä juuri siinä kohtaa keräämällä lisää hiekka-ainesta, joka helposti kovettuu pohjalle. Tästä seuraa se, että jonkin ajan kuluttua pohjalle kertyy hiekkaa siten paljon, että prosessi on keskeytettävä (kuva3.)./1/



Kuva 3. Abrasiivin tukkeuttama muototeräallas /1/

Tilanteen ollessa edellä mainitun kaltainen, on altaan lamellit purettava pois, jotta hiekkaa voidaan lapioida pois. Samalla hiekkaa pehmennetään ruiskuttamalla vettä, jotta imuauto kykenee poistamaan hiekan tarkasti ja nopeammin. Hiekan seasta on kuitenkin vielä kerättävä isoimmat partikkelit, varsinkin leikkauspartikkelit kuten kupari, joka voidaan myydä ja näin minimoida tappioita, joita prosessin seisaus aiheuttaa./1/

Altaan puhdistuksen jälkeen kaikki altaalta tulevat imuputkistot on huuhdeltava tukoksien varalta. Imuputkiston pumppujen toiminta täytyy myös varmistaa. Tämä yleensä edellyttää pumpun puulausta ja huolellista puhdistamista./1/

Rikkinäiset lamellit vaihdetaan ehjiin. Tämän jälkeen ehjät lamellit täytyy asettaa vaakatasoon, jotta leikkuualusta on joka kohdasta samalla tasolla. Kappale jonka leikkaus oli aloitettu ennen prosessin seisahdusta, joudutaan vaihtamaan uuteen leikkauskappaleeseen. Sen leikkausta ei voi enää jatkaa siitä, mihin prosessi loppui, koska ennen kuin prosessi voidaan aloittaa, täytyy se testata kaikilta osa-alueilta uudestaan./1/

Tuotannon seisokin pituus tulee saada mahdollisimman lyhyeksi, sekä siihen liittyvät yleis- / lisäkustannukset pienemmäksi tai kokonaan pois./1/ , /6/



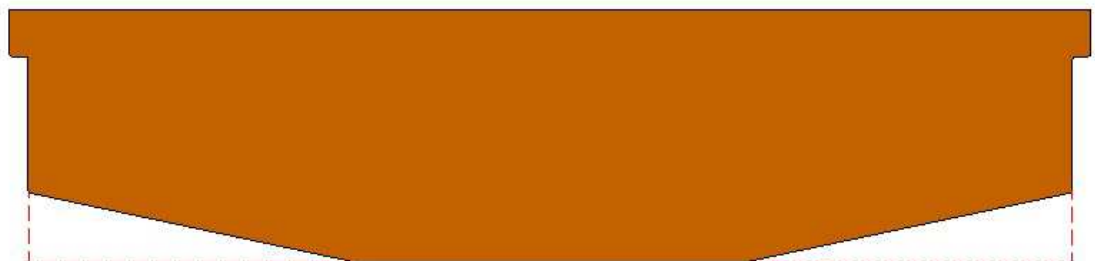
Kuva 4. Vesileikkausprosessi meneillään /1/

4. ALTAAN KONSTRUKTIO

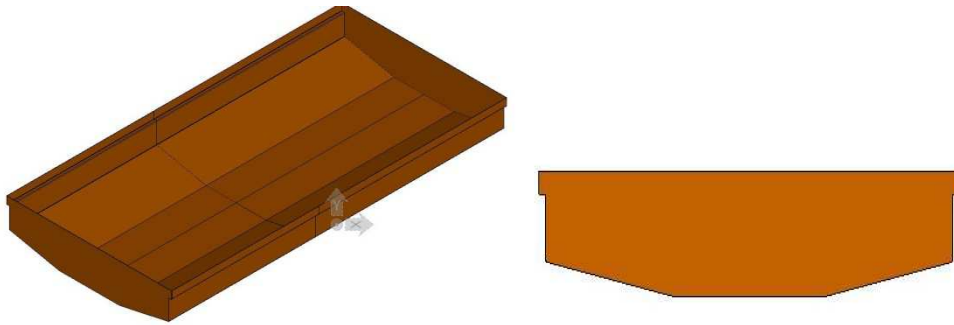
Altaan konstruktioita suunniteltaessa keskeisemmäksi ongelmaksi muodostuu hiekka-aines, jonka poistaminen tai poistuminen imuputkiston kautta ei nykyisellään toimi. Ratkaisua haettaessa lähtökohdiksi altaan konstruktiossa valittiin altaan nykyisen muodon tarkastelu, imuputkiston toiminta ja lisäksi uutena suunnittelun kriteerinä altaaseen sijoitettavat huuhteluputkistot, jotka altaasta puuttuvat. Myös altaaseen joutuvien irtopartikkeleiden talteen saaminen on yksi suunnittelun kohteista. Pumppujen valintakriteerit määräytyvät kun altaan muodon, arvioitujen virtausnopeuksien sekä pumppujen nostokorkeuden pohjalta. /1/ , /6/

4.1. Altaan muoto

Nykyinen allas (kuva 5.) on muodoltaan pääosiltaan ”kantikkaan” mallinen, muodostaen altaan reunoille 90° kulmat. Hiekka-aineksen siirtymistä ajatellen tämä ei ole parhain ratkaisu. Abrasiivi kertyy enimmäkseen juuri altaan laidoille. Ajatuksena on saada hiekka-aines liikkumaan keskemälle. Hiekan poistamisen helpottamiseksi altaan reunoihin pitäisi saada kallistusta (kuva 6.) Kallistuksen oikeaa kulmaa määriteltäessä huomioon tulee ottaa huomioon myöhemmin käsiteltävässä kappaleessa putkiston sijoitus, ulko- sekä sisäpuolisten tukien asemointi. Lisäksi tulee ottaa huomioon vesileikkauksen pistemäinen suihku, joka ulottuu altaaseen suuttimesta aina 600 mm:iin asti. /1/ , /6/



Kuva 5. Vanhan altaan muodot katkoviivoin



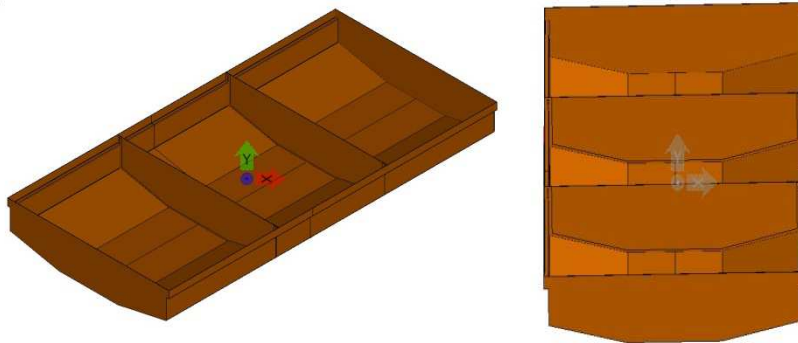
Kuva 6. Altaan reunojen kallistus

Altaan laitojen kallistuksen lisäksi, altaan koko on kuitenkin kohtalaisen suuri virtausten hallinnoitavaksi siten, että altaaseen joutuva hiekka-aineksen liike saataisiin oikeanlaiseksi ja että se kohdistuisi juuri oikeaan paikkaan. Huolimatta siitä, että virtausnopeudet saataisiin juuri oikeanlaiseksi, suuri vesimassa aiheuttaa hitautta altaan virtausten muutoksissa./1/

4.2. Altaan segmentointi

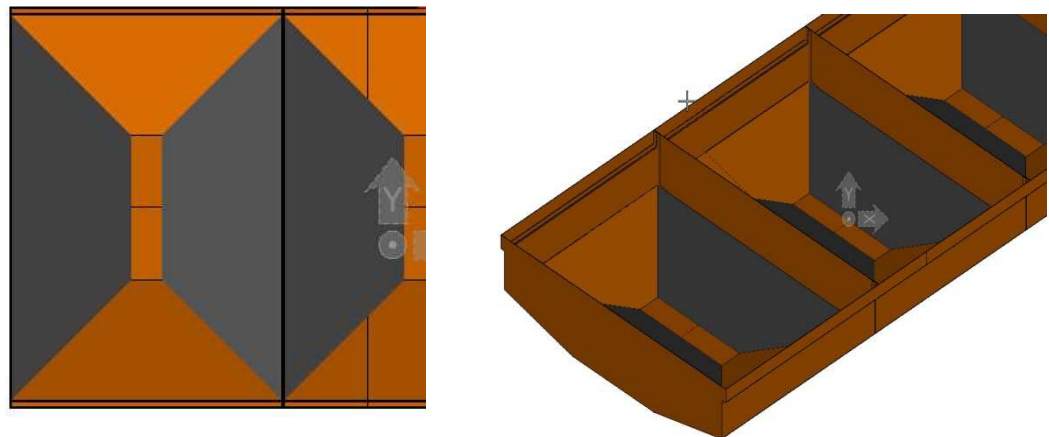
Edellä mainitun suurien vesimassojen aiheuttaman hitauden vuoksi, allas kannattaisi jakaa useampaan segmenttiin. Tässä kyseisessä tapauksessa altaan jakaminen kolmeen osaan voisi olla hyvä ratkaisu. Pienempien tilojen vaativien segmenttien virtausten hallinta olisi helpompaa ja helpottaisi työprosessia. Monasti työprosessissa tarvittava altaan ala ei juuri ylitä yhden segmentin tilaa. Tämä säästäisi muiden segmenttien käyttöä.

Voi olla myös mahdollista, että yhdessä segmentissä ajetaan abrasiivihiekalla, mutta seuraava leikkaus voidaan suorittaa puhtaalla vedellä. Altaan segmentointi helpottaisi ja nopeuttaisi samalla aikaa valmistella seuraavaa segmenttiä tulevaa työvaihetta varten.



Kuva 7. Allas ja segmentit

Altaan jako kolmeen segmenttiin ei ratkaise kuitenkaan kuin osan ongelmista. Yksi altaan ongelmista on aina ollut altaan suorakulmaiset, kohtisuoraan toisistaan muodostavat kulmat, jotka keräävät hiekka-ainesta./6/. Tähän ratkaisua on haettu poistamalla altaasta kaikki kohtisuoraan toisistaan muodostavat kulmat. Altaan jako kolmeen osaan kahdella välikappaleella kohtisuoria kulmia olisi kuusi kappaletta. Näiden kulmien vuoksi altaaseen joudutaan kokonaisuudessaan asentamaan kuusi metallilevyistä valmistettua osaa, joista kaksi tulee altaan vastakkaisiin päätyihin. Lisäksi asennetaan neljä kappaletta pituussuunnassa altaan väliseiniä vasten (kuva 8).



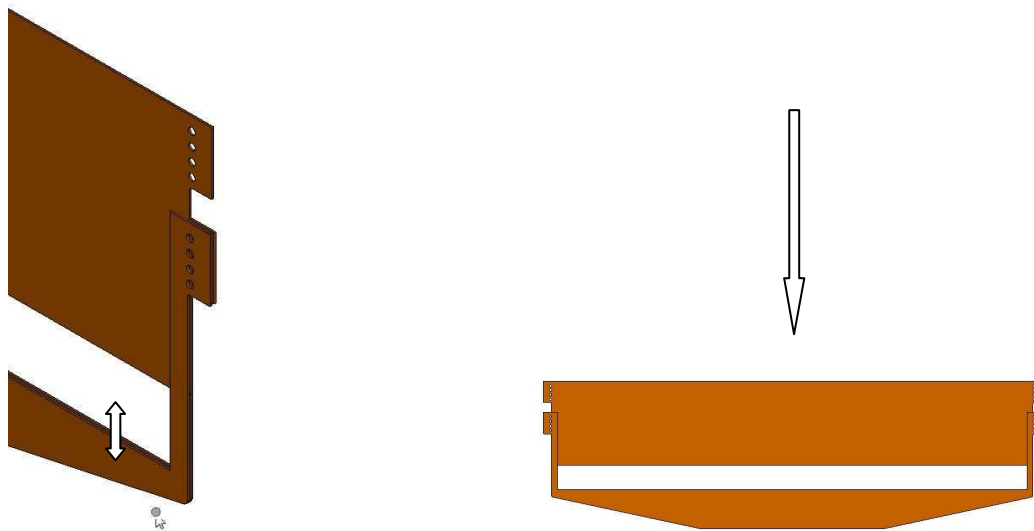
Kuva 8. Kallistusten lisäys väliseiniin

Altaan kaksi väliseiniä toimivat samalla myös allasta vahvistavana tekijänä. Väliseinät ovat irrotettavissa tarpeen vaatiessa. Väliseinät leikkautuvat ajan myötä vesileikkausprosessin vuoksi, jolloin veden pitäminen omassa segmentissä ei enää onnistu. Seinät kiinnitetään altaaseen pultein (kuva 9). Seinät toimivat myös allasta vahvistavana

tekijänä. Väliseinät asetetaan kahden levyn väliin (kuva 10), joiden välissä 50 mm matalampi levy, mutta paksuudeltaan sama. Levyt hitsataan altaaseen kiinni. Altaan kallistuslevyt hitsataan tukilevyihin kiinni, jolla estetään veden pääsy kallistus- ja seinälevyjen väliin.



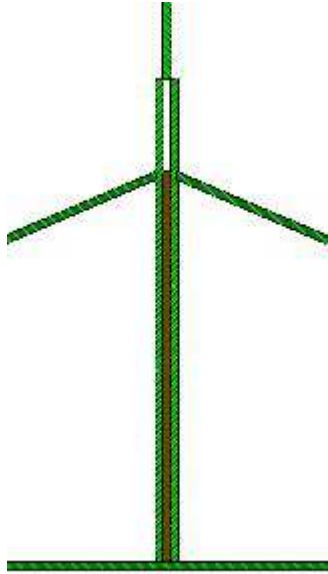
Kuva 9. Altaan väliseinän kiinnitys yläosa



Kuva 10. Väliseinä ja sen asennus

Väliseinän asennus altaaseen vaatii altaan pohjaan ratkaisun, jossa altaan kallistuksia ei tarvitse irrottaa tai pitää irtonaisena. Jos altaan kallistukset hitsataan väliseinään kiinni, ei väliseinän irrottaminen onnistu ilman leikkausta. Tämä tapa on työläs ja vaatii kallistuksen

hitsauksen uudelleen. Kuva esittää ratkaisun, miten väliseinän voi irrottaa ilman leikkaamista ja hitsausta.

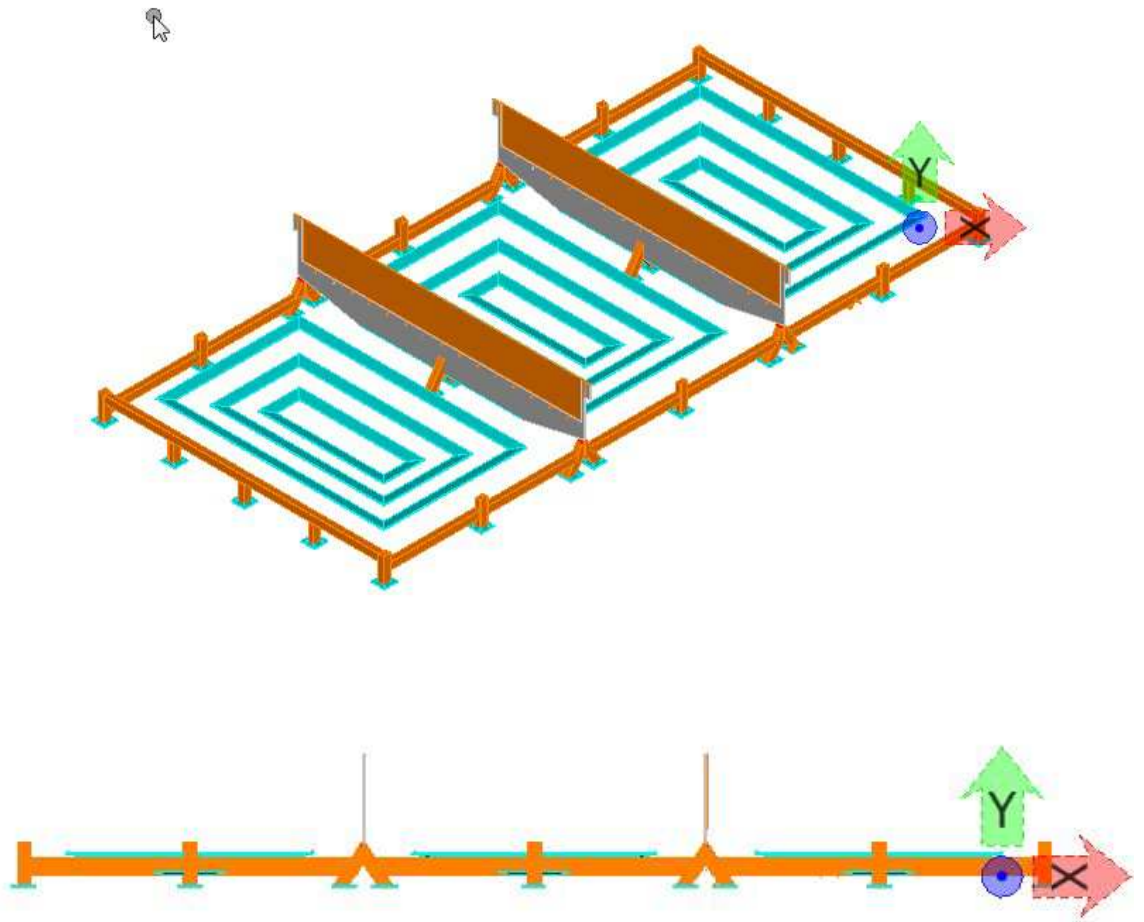


Kuva 11. Poikkileikkaus väliseinän kiinnityksestä altaan pohjalla

Kuvasta käy ilmi, että altaan pohjalle muodostetaan kahden levyn välinen hahlo. Levyt ovat siis yhtenäisiä altaan pohjalta altaan yläosaan asti. Kahden uloimman levyn välissä on kolmas levy, joka on 50 mm matalampi kuin uloimmat. Kuvassa molemmat kaltevat osat ovat altaan kallistuslevyjä, jotka on hitsattu uloimpiin levyihin kiinni.

4.3. Altaan tuet ja jäykistys

Altaaseen käytettävän materiaalin paksuus on 4 mm. Kun otetaan huomioon vesikuormat altaan ollessa täysi, vaatii allas vahvistusta ja tukea. Vaikka väliseinät tukevatkin allasta sisäpuolelta, on sitä kuitenkin tuettava ulkopuolelta. Altaan on pidettävä muotonsa kaikilla kuormilla ja varsinkin vesileikkausprosessin ajan. Leikkausalusta eli ritilät kohdistetaan tarkasti, jotta alusta on vaakasuorassa. Näin tuotteesta saadaan halutunlainen /1/. Altaassa oleva vesi ei ole leikkauksen aikana seisovassa tilassa, joten veden liike voi mahdollisesti aiheuttaa altaan hetkellistä liikkumista sivuttais- sekä pituussuunnassa. Edellä mainittuja ongelmia pyritään estämään altaan jäykistyskappaleilla (kuva12) ja tukirakenteilla



Kuva 12. Altaan pituus-, pysty- sekä poikittaisjäykistyksen

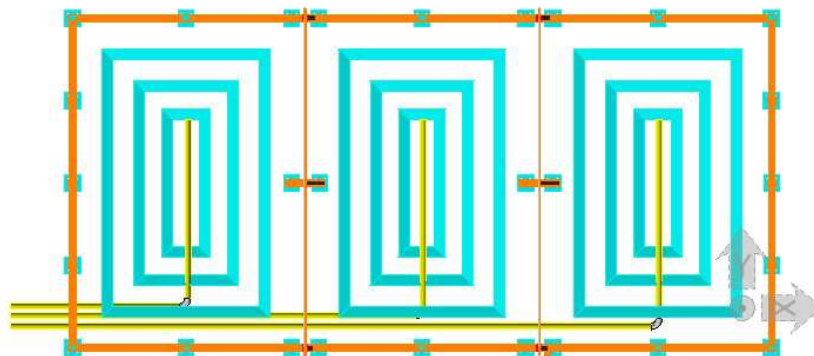
4.4. Imuputkisto

Altaassa on kolme imuputkea. Niiden tarkoitus on poistaa altaaseen tulevaa hiekka-ainesta. Imuputkien poistama hiekka-aines vietään sille tarkoitettuun puhdistusasemaan eli abrakonttiin. Asemassa on tarkoitus erottaa veteen sekoittunut hiekka-aines viemällä vesi suodatin kankaan läpi jolloin hiekka-aines erottuu vedestä. Eroteltu vesi palautetaan leikkausprosessiin kuin myös eroteltu hiekka-aines. Hiekka-aineksesta poistetaan suurimmat leikkauksesta jääneet partikkelit ennen prosessiin palauttamista./1/

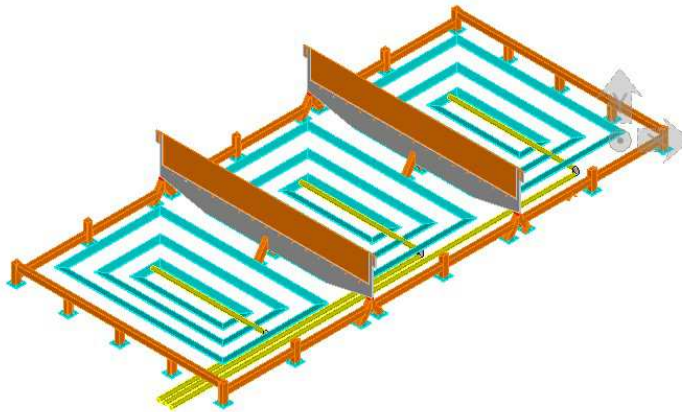
Vaikka imuputkisto ja siinä käytettävät pumput ovat tehokkaita, eivät ne riitä poistamaan altaasta kaikkea hiekka-ainesta. Nyt altaan muotoa pyritty muokkaamaan siten, että pohjalla olevan hiekka-aineksen kulkeutuminen kohti imuputkia (kuva 13) helpottuisi, eikä kertyisi altaan laidoille. Altaassa olevat kallistukset eivät kuitenkaan ole tarpeeksi kaltevia kuljettaakseen hiekka-aineksen imuputkistoon ilman lisätoimenpiteitä./1/ , /6/

Imuputkisto sijoitetaan siten, niiden toiminta alue on kunkin segmentin keskikohdassa. Näin varmistetaan imutehon tasainen jakautuminen molemmin puolin segmenttiä. Jokaiseen imuputkeen tehdään kuusi reikää, jotka suunnataan alaspäin kuvan mukaisesti. Näin voidaan estää mahdollisen vikatilanteen sattuessa hiekka-ainekseen joutuminen imuaukkoihin. Myös mahdolliset imuaukkoa suuremmat, kovettuneet partikkelit eivät pysty imuaukkoja tukkimaan./1/

||



Kuva 13. Altaan imuputkisto



Kuva 13. Altaan imuputkisto

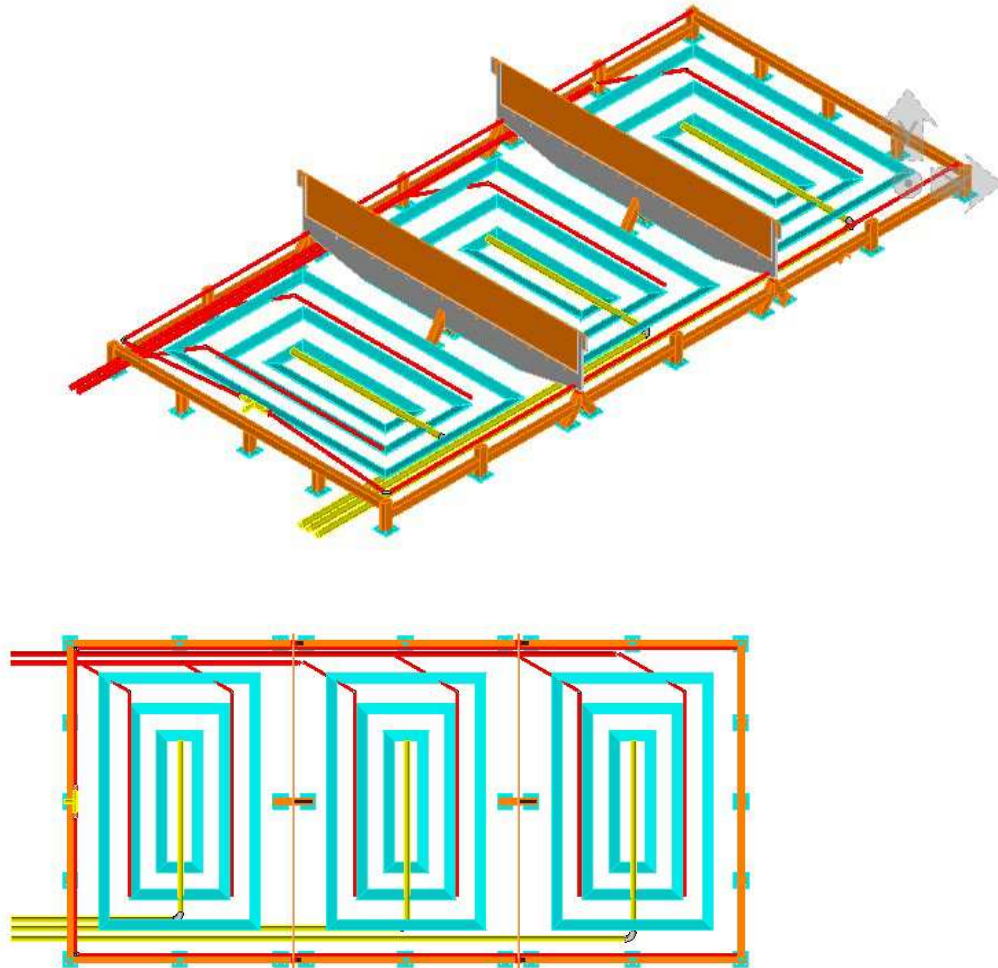
4.5. Huuhteluputkisto

Huuhteluputkistoa tarvitaan, jos leikkausprosessissa käytetään abrasiivihiekkaa. Allas täyttyy hiekka-aineksesta siitäkin huolimatta, että altaassa on kolme imuputkea. Leikkausprosessissa käytettävän abrasiivin keskimääräinen määrä on 300 g minuuttia kohden. Suuttimia on yhteensä 4 kappaletta. Leikkausprosessi ei kuitenkaan vaadi kaikkien suuttimien yhtäaikaista käyttöä, mutta esimerkiksi leikkauksen nopeuttamiseksi voidaan käyttää kaikkia suuttimia. Riippuen materiaalista abrasiivin määrä voi vaihdella aina 1 g litraa kohden 5 g litraa kohden./6/

Edellä esitetty esimerkki kertoo, että kohtuullisen lyhyen leikkausajan jälkeen kertynyt hiekka-aineksen määrä ei painoltaan ole suuri, mutta juuri sen nopeasti muuttuvat ominaisuudet aiheuttavat altaan toiminnalle ongelmia. Kun vastaavanlainen leikkaus toistetaan useita kertoja, abrasiivin aiheuttamia ongelmia on havaittavissa. On huomioon otettava seikka, että edellä mainitut ainesmäärät eivät kaikki kerry altaaseen, vaan osa hiekka-aineksesta poistuu juuri imuputkiston kautta.

Ei ole laskettu tarkkaa määrää, milloin imuputkisto tukkeentuu ja ei täten kykene poistamaan kaikkea hiekka-ainesta. Kuitenkin voidaan todeta ongelmakohtia, jotka johtavat siihen, että hiekka-aines tukkeuttaa imuputkiston ja täyttää altaan. Hiekka-

aineksen painumisella pohjaan on merkittävä vaikutus altaan tukkeutumiseen muun muassa mahdollisessa pumpun toimintahäiriössä. Pumpun toiminnan loppuminen ennen kuin hiekka-aines saavuttaa imuputkiston vaikutusalueen, hiekka-aines ei poistu imuputkiston kautta/1/. Tähän ongelmaan ratkaisu voisi olla altaan geometrian muutoksen lisäksi altaaseen lisättävät huuhteluputket. Huuhteluputkien keskeisin tarkoitus olisi saada altaan hiekka-aines sekoittumaan, toisin sanoen liikkumaan vesimassassa vajoamatta pohjaan ennen imuputkistoa. Lisäksi huuhteluputkista virtaavalla vedellä pyritään ohjaamaan veteen sekoittunutta hiekka-ainesta kohti imuputkistoa (kuva 14). /1/



Kuva 14. Altaan huuhteluputkisto

4.6. Altaan huoltoputkisto

Altaan huoltoputkiston tehtävä on täyttää allas vedellä ennen varsinaista prosessia. Huoltoputkistolla ei varsinaisesti ole osuutta vesileikkauksen aikana, mutta sen käyttöä ongelmatilanteissa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää. Huoltoputkiston suunnittelu ei kuitenkaan kuulu tähän työhön, mutta mainittakoon tämä sen vuoksi, koska putkisto on sovitettava imu- ja huuhteluputkiston kanssa altaan ulkopuolella rajatussa tilassa. Huoltoputkistolla on osuutensa myös kunnossapidossa, jota käsitellään myöhemmin./6/

4.7. Kannakointi

Altaan putkien kannakointiin on paljon vaihtoehtoja. Lopullista ratkaisua niiden suhteen ei vielä tehty, sillä konstruktio voi muuttua. Alla kuvassa yleisimpiä kannakkeita, joista voi lopullisen konstruktion valmistuessa valita sopivimmat. (kuva 15).



Kuva 15. Yleisimpiä kannakkeita /1/

5. VIRTAUSNOPEUDEN MÄÄRITYKSET

Virtausteknisessä mitoituksessa nimitetään usein virtausainetta fluidiksi. Fluidi on aine, jossa molekyylien väliset sidokset eivät pysyvästi vastusta muodonmuutosta. Lepotilassa olevassa fluidissa ei esiinny leikkausjännityksiä. Fluidi voi olla joko kaasumaista tai nestemäistä./3/

5.1. Tiheys

Fluidin tiheys riippuu paineesta ja lämpötilasta. Tiheys on massan ja tilavuuden osamäärä. Mikäli tiheys muuttuu vain vähän kohtuullisilla paineen ja lämpötilan muutoksilla, sanotaan fluidia kokoonpuristumattomaksi./3/

Nesteiden tiheys vaihtelee lämpötilan mukaan. Lämpötilan pysyessä vakiona voidaan nesteitä yleensä pitää kokoonpuristumattomina./3/

5.2. Kavitaatio

Jokaiselle nesteelle on tietyssä lämpötilassa minimipaine, niin sanottu kyllästyspaine, jonka alapuolella neste alkaa kiehua. Mikäli kiehuminen ei pääse vapaasti tapahtumaan, on mahdollista että höyrykuplia syntyy nesteen sisällä. Kun höyrykuplat kulkevat suuremman paineen alueelle, niin (esimerkiksi pumpun painepuolelle) syntyneet höyrykuplat kondensoituvat nopeasti. Tätä höyrykuplien voimakasta luhistumista kutsutaan kavitaatioksi./3/

Kavitaatio aiheuttaa suuria dynaamisia voimia (verrattavissa vasaran iskuihin) kiinteisiin pintoihin kuten pumpun siipipyöriin. Nestelinjaa suunniteltaessa on tärkeää, että absoluuttinen paine pysyy kaikissa linjan kohdissa nesteen höyrönpainetta suurempana. Tällöin on otettava huomioon suunnittelulämpötila-alue ja nesteen fysikaaliset ominaisuudet./3/

5.3. Virtausnopeuden määrittäminen

Suosittelava virtausnopeus teollisuuden vesiputkistoille on 1–2,0 m/s [4]. Vesileikkaukseltaan tilavuus on n.17m³. Valitaan virtausnopeudet 2,0 m/s huuhteluputkistolle ja 1 m/s imuputkistolle. Pumpulta saatava tilavuusvirta on 500 l/min.

$$d_s = \sqrt{\frac{4V}{\pi w_s}} \quad (1)$$

missä

d_s on putken sisähalkaisija, [d_s] = m

V on tilavuusvirta, [V] = m³/s

w_s on suositeltava virtausnopeus, [w_s] = m/s

Lasketaan huuhteluputkille tarvittava halkaisija

$$d_s = \sqrt{\frac{4 \times 0,0083 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 2 \text{ m/s}}} = 0,0726 \text{ m} \sim 73 \text{ mm} \quad (1)$$

Lasketaan imuputkille tarvittava halkaisija

$$d_s = \sqrt{\frac{4 \times 0,0083 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 1 \text{ m/s}}} = 0,1028 \text{ m} \sim 103 \text{ mm} \quad (1)$$

Haetaan lasketuille halkaisijoille sopivin DN-koko SFS 2332 standardista. Huuhteluputkelle halkaisijaksi saatiin 73,1 mm ja imuputkelle 103 mm. Valitaan huuhteluputkelle DN 65, jonka sisähalkaisija on 73,1 mm. Imuputkelle valitaan DN 100, jonka sisähalkaisija on 111 mm. [3/

Seuraavaksi lasketaan virtausnopeus valituilla putkilla. /4/

$$w = \frac{4V}{\pi d^2} \quad (2)$$

missä

w on virtausnopeus, [w] = m/s

d on putken sisähalkaisija, [d] = m

V on tilavuusvirta, [V] = m³/s

Virtausnopeudeksi DN 65 putkelle saadaan

$$w = \frac{4 * 0,0083 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * (0,0731 \text{ m})^2} = \frac{1,977 \text{ m}}{\text{s}} \quad (2)$$

Virtausnopeudeksi DN 100 putkelle saadaan

$$w = \frac{4 * 0,0083 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * (0,111 \text{ m})^2} = \frac{0,857 \text{ m}}{\text{s}} \quad (2)$$

Lasketaan kinemaattinen viskositeetti dynaamisen viskositeetin ja veden tiheyden perusteella. Veden dynaaminen viskositeetti on $1 * 10^{-3} \text{ Pa} * \text{s}$. /4/

$$v = \frac{\eta}{\rho} \quad (3)$$

missä

v on kinemaattinen viskositeetti, [v] = m²/s

η on dynaaminen viskositeetti, $[\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s}$

ρ on aineen tiheys, $[\rho] = \text{kg/m}^3$

Kinemaattiseksi viskositeetiksi saadaan

$$\nu = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}}{1000 \text{kg/m}^3} = 1 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$$

Määritellään Reynoldsin luvun avulla, onko DN 65 putken virtaus laminaarista vai turbulenttista. /4/

$$Re = \frac{d_s \cdot w}{\nu} = \frac{0,111 \text{m} \cdot 1,977 \text{m/s}}{1 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} = 144518 \quad (3)$$

Määritellään Reynoldsin luvun avulla, onko DN 100 putken virtaus laminaarista vai turbulenttista. /4/

$$Re = \frac{d_s \cdot w}{\nu} = \frac{0,111 \text{m} \cdot 0,857 \text{m/s}}{1 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} = 95127 \quad (3)$$

Molempien putkien virtaus on turbulenttista. Reynoldsin luvun laminaarisen ja turbulenttisen raja yleensä on 2320. Virtaus olisi laminaarista, jos Reynoldsin luku olisi alle 2000 ja turbulenttista jos luku olisi yli 2055. /3/

Reynoldsin luvun sekä putken sisähalkaisijan ja pinnankarheuden suhdeluvun avulla katsotaan vastuskertoimen arvo. Muoviputken pinnan karheudeksi arvioidaan $k = 0,1 \text{ mm}$. /4/

Lasketaan DN 65 putken vastus kerroin λ

$$\frac{d_s}{k} = \frac{73,1 \text{ mm}}{0,1 \text{ mm}} = 734 \quad (4)$$

Lasketaan DN 100 putken vastus kerroin λ

$$\frac{d_s}{k} = \frac{111 \text{ mm}}{0,1 \text{ mm}} = 1110 \quad (4)$$

Moodyn käyrästä liitteestä 5. katsotaan suhdeluvun 734 ja Reynoldsin luvun 144518 avulla vastuskertoimen λ arvo, joka on 0,025 ja suhdeluvun 1110, Reynoldsin luvun ollessa 95127 vastuskerroin λ on 0,026./4/

Lasketaan putken DN 65 varusteiden ja osien kertavastukset /3/

90° käyriä 1 kappaletta: $\zeta = 1,2$

Polvikappaleita kaksi kappaletta $\zeta = 0,3$

Haarakappaleita 2 kappaletta $\zeta = 0,3$

Yhteensä $\Sigma \zeta = 2,4$

Lasketaan kahteen haarautuvan DN 65 putken varusteiden ja osien kertavastukset /3/

90° käyriä 2 kappaletta: $\zeta = 1,2$

T-Haara 1 kappaletta $\zeta = 1,3$

Yhteensä $\Sigma \zeta = 2,5$

Lasketaan DN 100 putken varusteiden ja osien kertavastukset /3/

90° käyriä 1 kappaletta: $\zeta = 1,2$

Yhteensä $\Sigma \zeta = 1,2$

Putken osien kertavastusten summa voidaan lausua ekvivalenttisenä putken pituutena. /4/

$$L' = \frac{\sum \zeta d_s}{\lambda} \quad (5)$$

missä

L' on putkiston ekvivalenttinen pituus, [L'] = m

$\sum \zeta$ on putkiston kertavastusten summa

d_s on putken sisähalkaisija, [d_s] = m

λ on putkiston vastuskertoimen arvo

Lasketaan DN 65 putken ekvivalenttinen pituus

$$L' = \frac{4,5 * 0,0731m}{0,025} = 13,158 m$$

Lasketaan DN 100 putken ekvivalenttinen pituus

$$L' = \frac{4,5 * 0,111m}{0,026} = 19,211 m$$

Näiden tietojen avulla voidaan määrittää koko putkiston kokonaispainehäviö. /4/

$$\Delta p_{vkok} = \lambda \frac{\sum L + \sum L'}{d_s} * \frac{\rho * w^2}{2} \quad (5)$$

missä

Δp_{vkok} on putkiston kokonaispainehäviö, [Δp_{vkok}] = bar

λ on putkiston vastuskertoimen arvo

ΣL on putkiston pituus, $[\Sigma L] = m$

$\Sigma L'$ on putkiston ekvivalenttinen pituus, $[\Sigma L'] = m$

d_s on putken sisähalkaisija, $[d_s] = m$

ρ on aineen tiheys, $[\rho] = kg/m^3$

w on virtausnopeus, $[w] = m/s$

DN 65 putken kokonaispainehäviö. /4/

$$\Delta p_{vkok} = 0,025 \frac{3,1m + 13,158m}{0,0731m} * \frac{\frac{1000kg}{m^3} * \frac{1,977m}{s}}{2} = 0,108 \text{ bar} \quad (6)$$

DN 100 putken kokonaispainehäviö. /4/

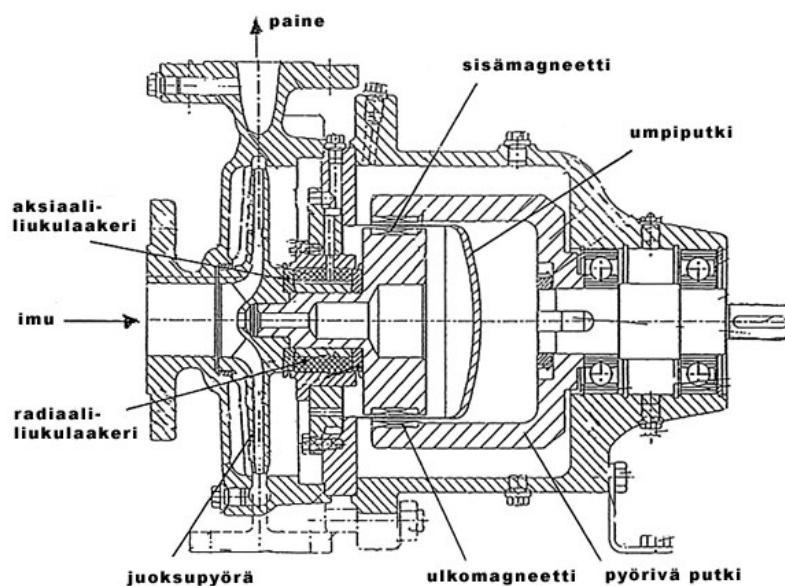
$$\Delta p_{vkok} = 0,027 \frac{6,2m + 19,211 m}{0,111m} * \frac{\frac{1000kg}{m^3} * \frac{1,977m}{s}}{2} = 0,0226 \text{ bar} \quad (6)$$

6. PUMPPUJEN VALINTA

Pumpun tehtävänä on siirtää fyysisen tai mekaanisen energian avulla nestettä haluttuun paikkaan. Pumput voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: keskipakopumput ja syrjäytyspumput./4/

6.1. Keskipakopumput

Keskipakopumpussa on pumppauselimen juoksupyörän ja pesän välissä selvä käyntivälitys, minkä ansiosta rakenne on edullinen. Kiertovoima vedelle syntyy, kun sähkömoottori pyörittää juoksupyörää. Vesi kiertää juoksupyörän aiheuttaman alipaineen voimalla imupuolelta juoksupyörän keskiöön, josta pyörimisliike vie sen edelleen painepuolelle. /4/



Kuva 16. Keskipakopumpun poikkileikkaus./4/

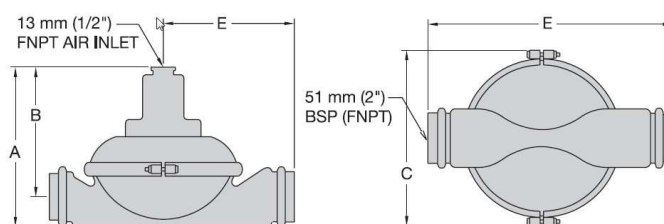
6.2. Syrjäytyspumput

Syrjäytyspumussa on juoksupyörän ja pesän välissä niin pieni välys, että pumpattavan nesteen täytyy voidella juoksupyörän ja pesän välissä oleva pinta. Kuluttava virtausaine kuluttaa juoksupyörää ja pesää. Syrjäytyspumun toiminta perustuu siihen, että syrjäytyselin syrjäyttää pesässä olevan nesteen paineistettuun poistoputkeen. /4/

6.3. Kalvopumput

Pumppujen akselit voivat olla joko tiivisteellisiä tai tiivisteettömiä. Tiivistystapa on huomioitava varsinkin kuluttavia nesteitä pumpattaessa. Yleisiä tiivistystapoja ovat punos- ja liukurengastiivisteet. /4/

SD2 DIMENSIONAL DRAWING



SD2 (2" INLET/DISCHARGE)

MATERIAL	SHP. WT.	MATERIAL	SHP. WT.
Aluminum	27 lbs.	Polypropylene	28 lbs.
Cast Iron	47 lbs.	PVDF	34 lbs.
316 Stainless Steel	44 lbs.		

ITEM	METAL		PLASTIC	
	mm	(INCH)	mm	(INCH)
A	305	(12.0)	343	(13.5)
B	249	(9.8)	267	(10.5)
C	351	(13.8)	351	(13.8)
D	455	(17.9)	493	(19.4)
E	244	(9.6)	274	(10.8)

Kuva 17. Kalvopumpun ulkoiset mitat /6/

Pumpattavan nesteen koskettava materiaali asettaa vaatimuksia pumpun pesän rakenteelle. Materiaalit voidaan jakaa ominaisuuksiltaan metallisiin, muovisiin, kumisiin sekä keraamisiin aineisiin. Käytännössä metallisille materiaaleille riittää yksinkertainen pesä, mutta erikoisemmat materiaalit vaativat kaksinkertaisen pesän. /4/

Pumput voidaan jakaa laakeroinnin perusteella kahteen luokkaan: oma laakerointi tai käyttömoottorin laakerointi. Laakerointitapoja ovat vierintä- ja liukulaakerointi.

Vierintälaakerit voidellaan yleensä rasva- ja öljyvoitelulla tai öljykylpyvoitelulla. Liukulaakerit voidellaan ulkopuolisella voiteluaineella tai pumpattavalla nesteellä. /4/

6.4. Valintaan vaikuttavat tekijät

Edellä mainitussa kappaleessa kerrottiin esimerkkinä muutamien pumppujen ominaisuuksia ja perehdyttiin niiden toimintaan sekä niiden yleiseen käyttötarkoitukseen. Pumpun valintaan vaikuttaa yleensä sen rakenteelliset ominaisuudet, mutta yhdeksi tärkeimmäksi kriteeriksi voi muodostua käyttöympäristö, toiminta eri vikatilanteissa ja pumpattava materiaali. Vesileikkausprosessi asettaa pumpulle omat vaatimuksensa, jotka kuitenkin on helposti määriteltävissä. Alla on lueteltu viisi tärkeintä kriteeriä pumpulle, joita vaaditaan vesileikkausprosessissa:

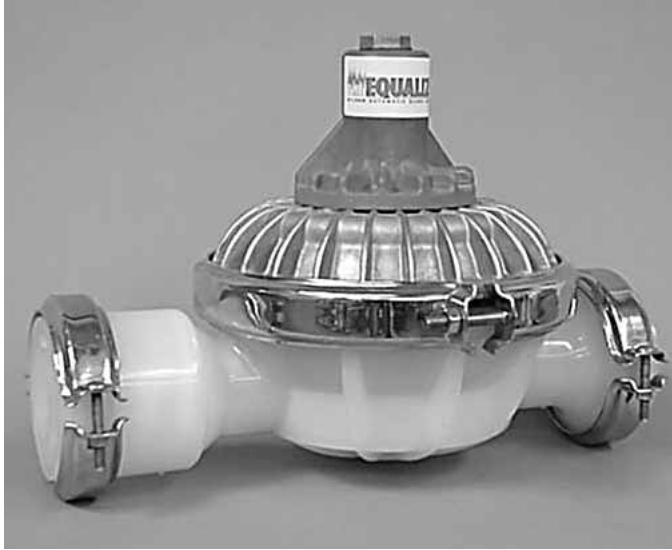
- Pumpussa pitää olla säätömahdollisuus eri virtaus nopeuksille.
- Pumpun pitää olla suunniteltu pumppaamaan lietemäistä materiaalia.
- Pumpun pitää pystyä ylläpitämään toimintaansa, vaikka vedentulo loppuisi eli pumpun pitää toimia tyhjänäkin.
- Kun vesi esimerkiksi tukkeuman jälkeen saavuttaa pumpun, on sen kyettävä jatkaa pumppaamista ilman erillisiä toimenpiteitä.
- Pumpun sisäisen rakenteen on hetkellisesti kestävä metallisia partikkeleita, joten sen osien pitää olla sitä varten suunniteltu.

6.4.1. Lietteeseen sisältyvät muut partikkelit

Joskus lietteeseen jää leikkauksen jälkeen pieniä leikkausjäämiä, jotka pumppuun menessään kuluttavat sitä. Pumpun valintaa tehdessä tämä on yksi merkittävimmistä huomiioon otettavista asioista sen lisäksi, että abrasiivi itsessään on ominaisuudeltaan hiovaa ainetta. On saatavilla pumppuja, jotka ovat suunniteltu pumppaamaan viskositeetiltaan abrasiivi-vesiliuoksen kaltaisia aineita. Lisäksi pumpun osia ja niiden materiaali on suunniteltu kestäväksi teräviä, kovia ja hiovia partikkeleita.

6.4.2. Lopullinen valinta

Pumpuksi valittiin paineilmatoimisia Wilden® kaksoiskalvopumppuja. Tärkeimmäksi kriteeriksi nousivat juuri pumpun toiminta mekanismi, suunniteltu käyttötarkoitus, kestävät materiaalit ja sekä pumpun toiminta vikatilanteissa (kuva 18)



Kuva 18. Wilden kaksoiskalvopumppu /6/

7. KUNNOSSAPIDON KEHITTÄMINEN

Toimivan kokonaisuuden tavoittelu asettaa kovia vaatimuksia kunnossapidolle. Valitettavan monesti kunnossapidolle ei lasketa niin suurta merkitystä, kuin tuotolle. Kuitenkin on melko helppo todeta kunnossapidon tärkeys, kun asiaan perehdytään tarkemmin. Suuremmat teollisuuden alat näkevät ikävä kyllä kunnossapidon vain tuottoa pienentävänä seikkana, vaikka työntekijöiden keskuudessa sen tärkeys huomataan. Pienemmissä yrityksissä vaikutukset näkyvät melkein heti. Tällöin sen arvostus on ja kehitys ovat elintärkeitä koko toiminnan kannalta, johon lasketaan myös henkilökunnan hyvinvoinnin merkitys, jolla on työssä jaksamisen kannalta huomattava merkitys. Kun kunnossapito on osa toimivaa työprosessia, sen vaikutukset näkyvät koko yrityksen toiminnassa.

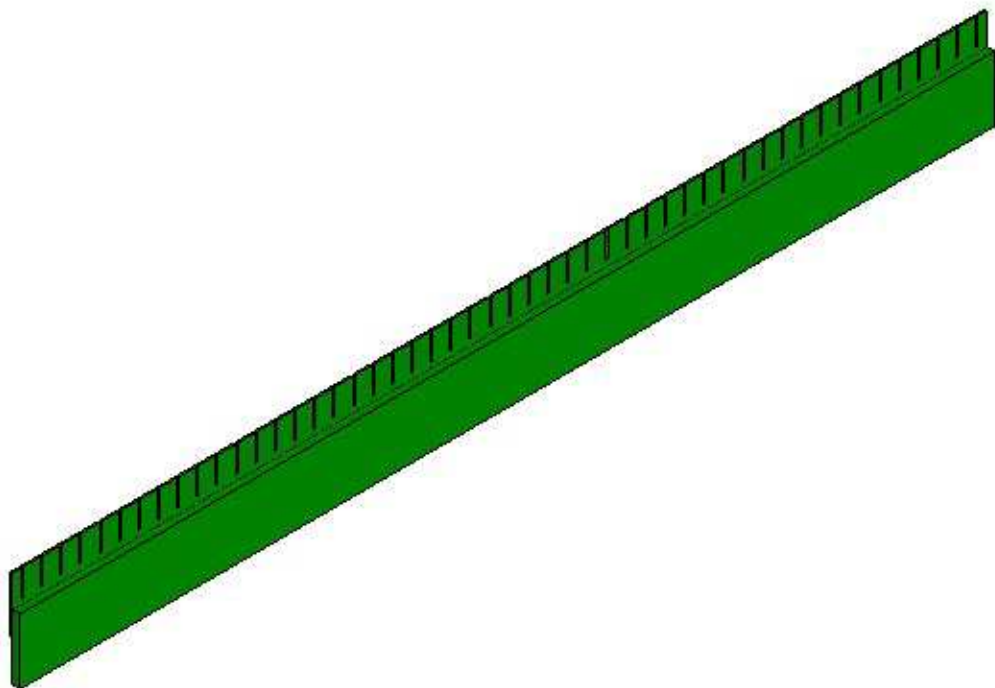
7.1. Kampojen modifiointi

Altaassa on pitkäikäisyyssuunnassa tasaisin välein lovetut metallilevyt, joita myös kammoiksi kutsutaan. Niiden tarkoitus on kiinnittää leikkauksessa leikattavien kappaleiden alustana olevat metallikehikot. Näitä alustoja kutsutaan lamelleiksi (kuva 19). /6/



Kuva 19. Altaan lamellit kiinnitettynä kamppoihin /1/

Lamelleja ei varsinaisesti kiinnitetä mitenkään, vaan ne lasketaan kammoissa oleviin loviin. Ennen muutoksia kammot ovat melkein altaan pituiset, yhtenäiset pitkittäisosat. Vesileikkauksessa nämä kammot kuitenkin leikkaantuvat ja niiden vaihtamiseksi niitä joudutaan poistamaan. Lisäksi joudutaan poistamaan lamellit. Tämä vie aikaa ja monesti niiden vaihtaminen jääkin myöhempään ajankohtaan, kunnes ne pakon edessä ovat vaihdettava. Kuvassa kampa.

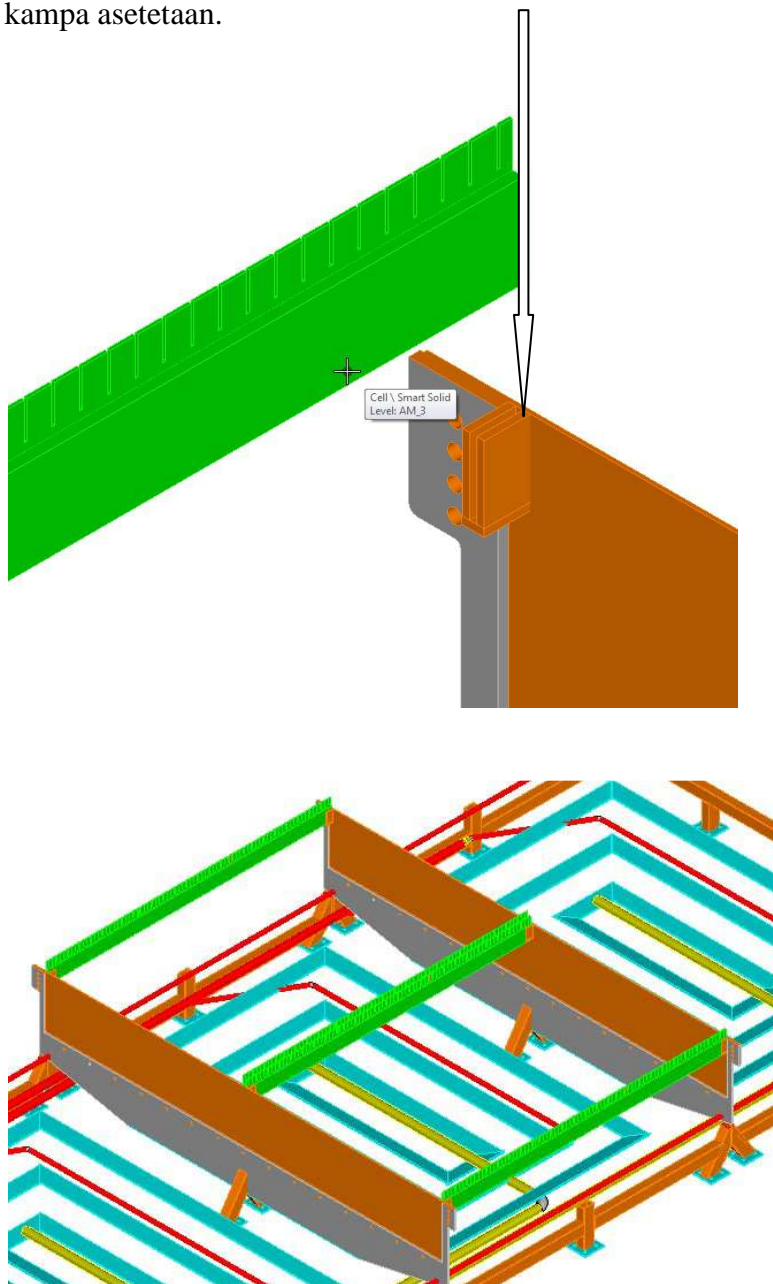


Kuva 20. Kampa

Kampa koostuu kahdesta metalliosasta. Alempi osa jäykistää ylempää, lovetta osaa kammasta. Nyt kun altaan konstruktioita on muutettu siten, että se jakautuu kolmeen osaan, niin kamman pituutta voidaan lyhentää segmenttien välisen etäisyyden mukaiseksi. Tämä helpottaa kamman vaihtamista, sillä muiden segmenttien kampoja ei tarvitse irrottaa yhden segmentin kamman vaihtamiseksi.

7.2. Kiinnityksen muuttaminen

Aikaisemmin kiinnitys tapahtui pulttaamalla kampa jäykemmästä levyn osasta altaassa oleviin pystytukiin. Kampaa irrottaessa pultit olivat pitkään vedessä ollessaan ruostuneet ja ne jouduttiin poistamaan leikkaamalla. Kiinnitystä on tarkoitus muuttaa siten, että pultteja ei enää tarvittaisi. Kampoja varten väli- ja päätyseiniin hitsataan lovet (kuva 21), johon kampa asetetaan.



Kuva 21. Kamman kiinnitys altaaseen

8. KOEALTAAN RAKENNUS

Aikaisemmissa kappaleissa on käsitelty altaan ongelmia ja toimenpiteitä niiden korjaamiseksi. Näihin päätelmiin on päädytty pitkälti teorian, omien päätelmien ja olettamuksien kautta. Altaan todellisesta toiminnasta suoritettujen toimenpiteiden jälkeen ei voida varmaksi sanoa, vastaavatko tulokset odotuksia. Huomioon on otettava uuden altaan kustannukset ja sen asennuksesta aiheutuvat viivästyksset. Näiden edellä mainittujen ongelmien ja päätelmien osittaiseksi tueksi on tärkeää saada todellista tietoa testaamalla kriittisimpiä ongelmia koealtaalla.

8.1. Konstruktion suunnittelu

Testialtaan geometria ja tulo- ja imuvirtausputket pyritään rakentamaan siten, että se jäljittelisi mahdollisimman paljon oikean altaan konstruktiota. Näin saatuja tuloksia voidaan pitää todenmukaisempana. Niiltä osin jossa allas poikkeaa suunnitellusta, on otettava huomioon testituloksia tarkasteltaessa. Tällä on myös vaikutusta siihen, mitä voidaan testata ja mitä asioita ei voida testata.

8.1.1. Altaan rakennus

Alun perin tarkoitus oli rakennuttaa allas. Suunnitelmana oli rakentaa 1/3 vastaavan kokoinen allas oikeasta altaasta. Tämä suunnitelma hylättiin, koska tässä tapauksessa kustannukset olisivat kohonneet liian korkeaksi. Ainoaksi vaihtoehdoksi jäi valmiin, mitoiltaan riittävä altaan etsiminen. Tiedusteluja suoritettiin enimmäkseen tehtaista, mutta lupaavan kokoinen allas löytyi paikalliselta romuttamolta. Allas oli 4 mm paksu. Altaan mitat näyttivät sopivan testiin. Tarkempi mittaus vahvisti asian. Altaan mitat ovat 755 mm x 640 mm x 1990 mm. (Kuva 22).



Kuva 22. Testiallas

Altaaseen tarvittiin vielä kallistukset. Samainen romuttamo tarjosi teräslevyjä, joten sen hankkiminen samasta paikasta säästi aikaa. Materiaaliksi valittiin 1 mm paksu teräslevy, mitoiltaan 1000 mm x 2000 mm. Levy on ohutta, mutta siitä jääneillä ylijäämillä voidaan levyä helposti jäykistää (kuva 23).



Kuva 23. Levyjen jäykistys

8.1.2. Altaan alkukäsittely

Työ aloitettiin huolellisella pesulla. Sen jälkeen altaasta leikattiin ylimääräisiä tukirakeina olleita tankoja, joista osa oli katkennut. Lisäksi altaan ulkopuolelta irrotettiin venttiileitä, koska niillä ei ollut tarvetta. Jäljelle jääneet tulpattiin joko tulpilla tai hitsaamalla levy reiän päälle. Kun altaasta oli saatu kaikki tarpeeton pois, kuivattiin se kaasuliekillä nopeuttaen sen kuivumista, jotta altaan sisäpinnan ruosteet voitiin hioa. Altaan pintaa ei kuitenkaan hiottu kirkkaaksi (kuva 24), vain suurimmat ruosteet ja kevyt pintahionta riittivät. Hionnasta syntynyt pöly poistettiin paineilman ja imurin avulla. Lopuksi altaan pinta puhdistettiin asetonilla.



Kuva 24. Allas puhdistettuna

8.1.3. Kallistusten asentaminen

Altaaseen tulevat kallistukset asennetaan 12° kulmaan. Ennen asennusta laskettiin kallistuslevyjien koko.

Altaan pituus = 1990 mm

Jaetaan altaan pituus puoliksi.

$$\frac{1990 \text{ mm}}{2} = 995 \text{ mm}$$

Jaetaan toinen puoli kahdella

$$\frac{995 \text{ mm}}{2} = 497,5 \text{ mm}$$

Jaetaan jakojäännös kahdella

$$\frac{497,5 \text{ mm}}{2} = 248,75 \text{ mm}$$

Lisätään jakojäännökseen edellisen jakolaskun tulos

$$497,5 \text{ mm} + 248,75 \text{ mm} = 746,25 \text{ mm}$$

746,25 mm = kulman viereinen kateetti

Lasketaan kulman vastainen kateetti

$$\tan(12) \times 746,25 = 158,24 \text{ mm} \sim 158 \text{ mm}$$

Tarvittavan levyn pituus kulmalla 12 astetta saadaan ratkaisemalla kateetti

$$c^2 = a^2 + b^2 \Rightarrow c = \sqrt{(746,25 \text{ mm}^2 + 158 \text{ mm}^2)} = 760,59 \text{ mm} \sim 762 \text{ mm}$$

Kallistuslevyn mitat ovat 12° kulmalla 762 mm x 755 mm

Ennen levyn hitsaamista, piirretään merkkiviiva altaan molempiin päihin 158 mm korkeudelle. Levy asetettiin nostaen se viivan korkeudelle ja hitsattiin kiinni (kuva 25).



Kuva 25. Kallistuslevyt paikoillaan

Hitsauksen jälkeen levyn ja altaan väliin jäi kohtia, joista tapahtuu vuotoa, mutta tällä ei ole vaikutusta itse mittaus tapahtumaan ja tuloksiin. Levyjen hitsauksen lisäksi hitsattiin putkien kiinnitystä varten mutterit (kuva 26), jotta niihin voidaan kiinnittää kierretankojen päässä olevat putken pidikkeet.



Kuva 26. Kiinnitysmutteri

8.1.4. Putkien osat ja asennus

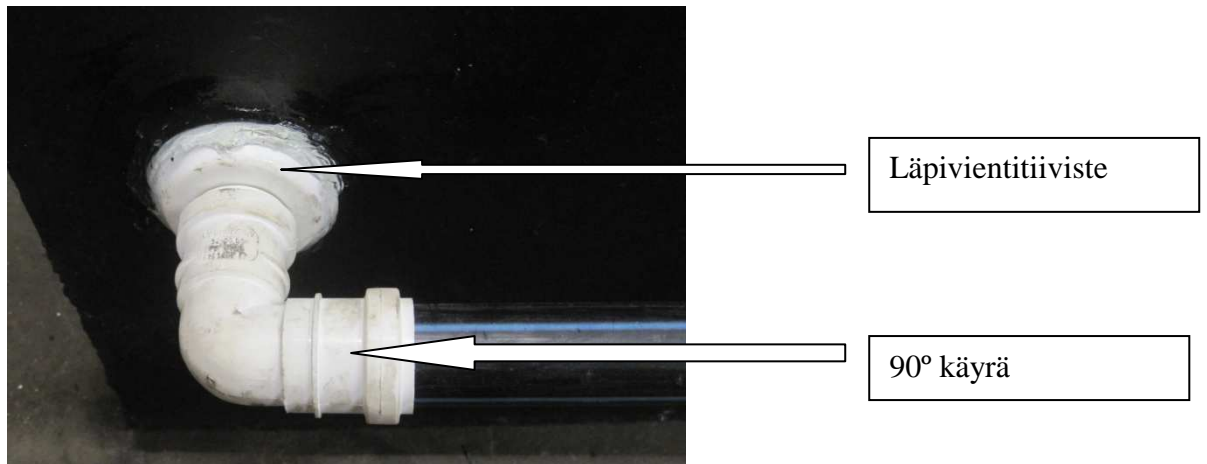
Putkeksi valittiin vesijohtoputki, jonka ulkohalkaisija on 32 mm ja sisähalkaisija 26 mm (kuva 27). Valintaan vaikutti muiden osien liittäminen vesijohtoputkiin. Putket kestävät painetta ja niiden liittämiseen käytetyt messinkiset ja muoviset osat kestävät painetta sekä

niiden liitokset pitävät vesijohtoputket kiinni. Aluksi oli tarkoitus käyttää viemärointiin tarkoitettuja PVC – materiaalista valmistettuja putkia, mutta ne eivät kestä messinkiosien liitosten puristusta. Lisäksi viemäriputkia ei ole suunniteltu kestäämään painetta. Putkien asennuksessa ainoat viemäroinnissä käytettävät osat ovat 90° muovisia käyriä. Ero suoriin putkiin on kuitenkin huomattava, kun mitataan niiden kestävyyttä paineessa.



Kuva 27. Vesijohtoputki / huuhteluputki

Asennus aloitettiin polttoleikkaamalla altaan kylkeen kolme halkaisijaltaan n. 50 mm läpivientireikää. Reiät tiivistettiin 50 / 30 läpivientitiivisteellä (kuva 28). Tiivisteiden lisäksi tiivistämiseen käytettiin silikoniliimaa. Kun tiivistäminen oli tehty, mitoitettiin altaaseen vesijohtoputkista huuhteluputket. Altaan sisälle menevät huuhteluputket tulpattiin toisesta päästä. Toiseen päähän asennettiin 90° käyrät (28), josta johdettiin putket messinkiseen t-haaraan (kuva 29). Putket tuettiin kuvissa (kuvat) näkyvillä kannakkeilla. Huuhteluputkille tuleva vesi tuodaan putkella, jossa on painemittari. Putkessa olevan 27 mm ulkokierteen vuoksi joudutaan käyttämään adapteria (kuva 30), jotta sen liittäminen t-haaraan olisi mahdollista (kuva 29). Altaan imuputkena käytetään normaalia PVC - viemäriputkea, koska siihen kohdistuvat paineet ovat pienemmät.



Kuva 28. Käyrä ja tiiviste



Kuvat 29. T-haara ja 32 / 27 adapteri



Kuvat 30. Putken kannake.

8.1.5. Altaan viimeistely

Allas viimeisteltiin maalamalla se valkoiseksi. Valkoinen väri antaa hyvän kontrastin, kun käytetään väriaineita (kuva 31).



Kuva 31. Altaan maalaus

9. TESTIALTAAN TOIMINNAN TESTAUS

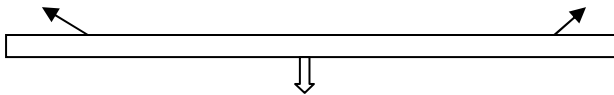
Ennen altaan lopullista rakentamista, on sen konstruktion toiminnasta testattava muutamia osa-alueita, jotka vaikuttavat merkittävästi altaan toimintaan. Pumppujen laajasta kirjosta voi helposti huomata sen, että pumppujen teho toimintamallista riippumatta on riittävä ja se ei muodostu ongelmaksi. Merkittävimmät ongelmat ovat oikean tulo- / imuvirtauksen saaminen sekä virtauksien käyttäytyminen altaassa. Ei voida varmasti tietää, miten virtaukset käyttäytyvät kun otetaan kaikki muuttujat mukaan. Voidaan kysyä, miten virtauksien käy silloin, kun tulo- ja imuvirtaukset kohtaavat. Minkä muotoinen tai kokoinen reikä on tuloputkessa oltava, jotta putkien toiminta täyttää siltä odotettavia toimintavaatimuksia. Sama asia koskee myös imuputkien toimintaa. Uudelleen muotoiltu allas voi näyttää kuvissa toimivilta, mutta varmuutta siitä, että siihen tehdyt geometriset muutokset yhdessä virtausten kanssa muodostaisivat kokonaisuudeltaan toimivan altaan abrasiivin poistossa, ei ilman testausta voida tehdä varmoja päätelmiä.

9.1. Virtauksien tutkiminen

Testialtaassa ei virtauksen aikaansaamiseksi käytetä pumppuja. Tähän päädyttiin, kun imupuolelle tarvittavaa kalvopumppua ei useista yrityksistä löydetty. Ainoa paine on tulopuolella vesijohtoverkoston paine, jota mitataan painemittarilla. Testin kannalta tämä on tuloksia ajatellen otettava huomioon. Olisi suositeltavaa, että tulo- ja imupuolen virtausten suhde olisi 1:2 eli tulopuolen virtaus olisi kaksi kertaa suurempi. Testien tulokset ovat enemmän visuaalisia kuin numeraalisia. Virtauskuvioiden havaitsemiseksi käytetään elintarvikeväriä. Lisäksi käytetään myös abrasiivihiekkaa. Testi taltioidaan teräväpiirtokameralla, joiden perusteella tehdään johtopäätökset testin tuloksista.

9.1.1. Virtausreiän koko

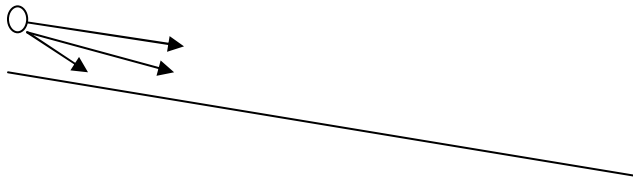
Ensimmäiseksi testattiin 10 mm pyöreää reikää. Tämän jälkeen testattiin 2 kappaletta 5 mm reikää yhtäaikaa 10 mm reiän kanssa. 5 mm reiät tehtiin vastakkaiselle puolelle ja suunnattiin noin 45° kulmaan (kuva 32).



Kuva 32. Pyöreä reikä / taaksepäin suunnatut suihkut

9.1.2. Virtausreiän kulma

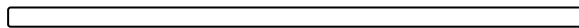
Tarkoituksena on muuttaa virtausreiän kulmaa suhteessa kallistuslevyyn. Lähtötaso eli 0-taso on kulma, jossa reikä ja kallistuslevy ovat samassa kulmassa. Testissä testataan 3 eri kulmaa (kuva 33).



Kuva 33. Kallistuskulmien kokeilu

9.1.3. Virtausreiän muoto

Testataan virtausreiän muotoa, joka on vaakatasoon tehty lovettu 3 mm x 1 mm reikä (kuva 34). Reikiä testissä oli kolme kappaletta, jotka jaetaan tasajoin putken pituudelle. Lisäksi testataan putken takana olevia kahta pyöreää 5 mm kokoista reikää (kuva 35).



Kuva 34. Lovimainen aukko



Kuva 35. Taaksepäin suuntautuvat suihkut

10. TULOKSET

Testaus suoritettiin 22.4.2012 LVI-Kilpimaan hallissa. Testien kokonaisaika oli noin kaksi tuntia. Testien edetessä testausohjelmaa muokattiin saatujen tulosten perusteella. Kokeet väriaineella eivät antaneet tarpeeksi selkeätä kuvaa virtauksista, joten niiden tuloksia ei käsitellä. Ainoastaan abrasiivilla tehdyt tulokset käydään läpi tässä osuudessa.

10.1. Virtausreiän kulma

Virtausreiän kulmalla oli testien mukaan suuri merkitys. Lähtötasossa 12° pyöreästä reiästä virtaus suuntautui liiaksi ylös, joten kallistuksen yläosaan jäi abrasiivia. Kun kaksi vastakkaista samansuuntaista virtausta törmäsi altaan keskikohdassa, niin virtaus suuntautui kohtisuoraan ylöspäin muodostaen pyörteitä. Edellä mainitun ilmiön voimakkuus johtuu imuputken alipaineen puuttumisesta, koska pumppuja ei testissä käytetty.

Seuraavassa testissä muuttimme kulmaa jyrkemmäksi, jotta virtaus kohdistuisi enemmän kallistuksen pintaa vasten. Kulma oli 25 °. Muutoksen jälkeen vaikutukset näkyivät miltei heti. Altaan yläosaan pudotettu abrasiivi liikkui virtauksen kohdatessaan kohti altaan keskiosaa. Myös altaan pohjalla seisova abrasiivi saatiin poistettua kaltevalta pinnalta. Kuvassa 36 näkyy selvästi pyöreän reiän muodostama virtauskuvio ja vaikutusalue.



Kuva 36. Pyöreän reiän muodostama virtauskuvio

10.2. Virtausreiän muoto

Edellisen testien tulosten perusteella pystyimme toteamaan, että huuhteluputki kallistuksen kanssa toimii, kuten aikaisemmin oli oletettu. Kuvasta käy ilmi kuitenkin virtauksen vaikutus alue. Yksi reikä ei riittänyt puhdistamaan koko altaan leveydeltä. Muutimme virtausreikien määrää, muotoja ja kokoja. Reikien lovimainen muoto muodostaa tasaisemmin eteenpäin suuntautuvan, huomattavasti vähemmän avautuvan kuin pyöreä reikä. Testasimme reikiä kolmessa eri korkeudessa yhtaikaa ajan säästämiseksi. Kaikki kolme reikää oli samassa putkessa eri korkeudella. Putken kulma pidettiin edellisen testien perusteella samanlaisena.



Kuva 37. Virtauskuvioita

Kuvasta 37 käy ilmi, että oikeassa laidassa oleva reikä sijaitsi matalimmalla. Vasemman puoleinen sijaitsi keskimmäisen ja oikean puoleisen välissä. Kuvaavaa on se, että samanmuotoiset reiät eri korkeudella tai kulmassa, muodostavat hyvinkin erilaisia virtauskuvioita. Oikean puoleinen virtaus törmää altaan kaltevaan pintaan ja muovaa virtauksesta kapean, mutta samalla pitkälle ulottuvan virtauksen. Vasemman laitimmainen muodostaa enemmän ympyrän muotoisen, kun keskimäinen muodostaa jo lähes ympyrän muotoisen virtauksen. Kuvassa näkyy myös vasemmassa yläkulmassa oleva puhdas alue, joka johtuu taaksepäin suuntauneen 5 mm pyöreästä reiästä.

10.3. Abrasiivin poisto

Testien perusteella emme saaneet suoranaisia tuloksia abrasiivin poistosta. Veden oma paine altaassa ei riitä antamaan imuputkelle riittävää virtausnopeutta poistaakseen tehokkaasti abrasiivia altaasta. Tähän olisi tarvittu pumppu, jota emme testaustilanteeseen saaneet. Testikuvista tulos näkyy selvästi, kuinka hiekkaa kertyy pohjalle. Testi antoi kuitenkin viitteitä siihen, kuinka suuren imuvirtauksen olisi oltava, imuputken paikka ja sen muoto altaassa olisi hyvä olla.

11. JOHTOPÄÄTÖKSET

Edellä esitettyjen seikkojen perusteella voidaan esittää, että:

- Altaan geometrialla on suuri vaikutus abrasiivin poistamiseen altaasta. Altaan reunojen kallistukset parantavat testien perusteella abrasiivin siirtämistä altaan laidoilta kohti altaan keskikohtaa
- Altaaseen lisättävät huuhteluputket parantavat abrasiivin poistoa altaan kaltevilta pinnoilta. On kuitenkin tärkeää huomioida se, että miten ne sijoitetaan altaaseen.
- Huuhteluputkien sijainnin lisäksi reikien muodolla, koolla ja määrällä on suuria vaikutuksia abrasiivin poistamiseen
- Testin perusteella näyttää siltä, että virtausnopeuksia tulisi tarkastaa ennen lopullisia päätöksiä. Suositeltavat virtausnopeudet 1-2 m/s eivät ehkä riitä, kun pyritään poistamaan abrasiivia.
- Abrasiivin koostumus aiheuttaa suurimmat haasteet altaan toiminnalle. Aine on haasteellinen laitteistolle, virtauksien määrittelylle ja altaan muodolle.
- Altaan kunnossapidon helpottamisella voidaan saada aikaan suuria säästöjä. Lisäksi kunnossapidon helpottaminen parantaa ihmisten työssä jaksamista.
- Uudella altaan konstruktiolla on mahdollista nopeuttaa työprosessia. Altaan segmentointi mahdollistaa leikkauksen ja kunnossapidon samanaikaisen toiminnan, jolloin säästetään aikaa.

12. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella vesileikkauksessa käytettävän muotoeräaltaan uusi konstruktio. Allasta käytetään vesileikkauksessa. Leikkauksen tehostamiseksi käytetään abrasiivia, joka kuitenkin muodostaa suurimman ongelman leikkausaltaan toiminnalle.

Uuden altaan tarkoitus olisi poistaa nämä ongelmat.

Uuden altaan toimiessa tuotannon seisaukset vähenevät ja pienentävät kustannuksia. Tavoitteena on saada tilanne senkaltaiseksi, että seisauksia ei enää tulisi. Tämä asettaa altaan suunnittelulle paljon haasteita. Jotta allas saadaan täysin tavoitteiden mukaisiksi, on sitä varten tehtävä vielä testausta. Abrasiivi materiaalina on haasteellinen. Monet teoriassa todetut asiat eivät välttämättä toimi abrasiivin yhteydessä. Tämän vuoksi suoritimme myös testausta koealtaalla.

Altaan putkisto, sen asemointi ja valittu materiaali ovat tärkeitä niiden kestävyiden kannalta. Tähän voisi ratkaisuna olla esimerkiksi KWH pipe yhtiön putkimalli, jonka erikoispiirteenä on kuluttavien aineiden kuljettaminen putkistoissa. /5/

Työn suurimmat vaikeudet olivat putkiston virtausteknisissä laskuissa. Konetekniikan koulutusohjelmassa niitä ei käydä läpi. Myös työpiirrosten tekeminen tuottaa hankaluuksia. Itse altaan ja siihen liittyvien osien mallintaminen sujuu paremmin.

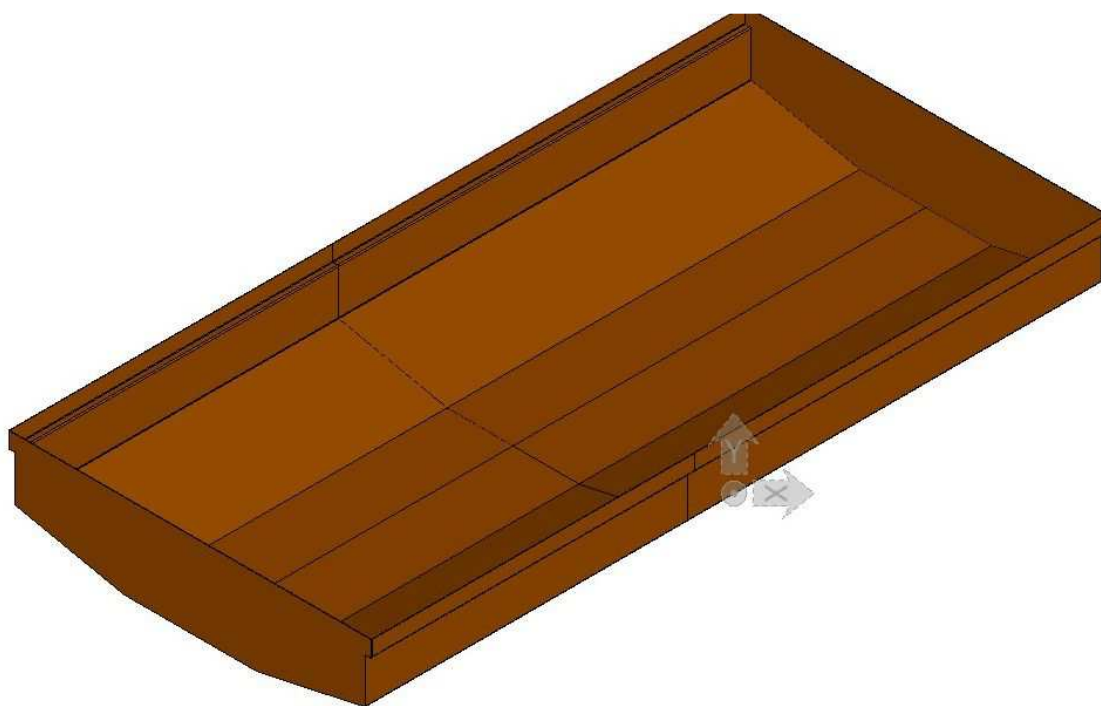
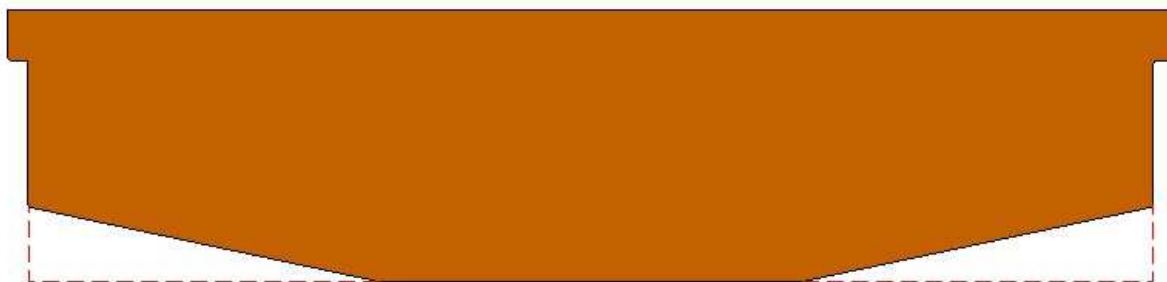
Korkeapainevesileikkaus oli minulle ennestään tuntematon ala. Kuulin tästä ensimmäisen kerran ohjatun työharjoittelun yhteydessä. Työn suunnittelu alkoi tutustumalla vesileikkaustekniikkaan. Aluksi kaikki käsitteet ja siihen liittyvä termistö oli tuntematonta. Tätä asiaa vaikeutti myös kirjallisuuden puute.

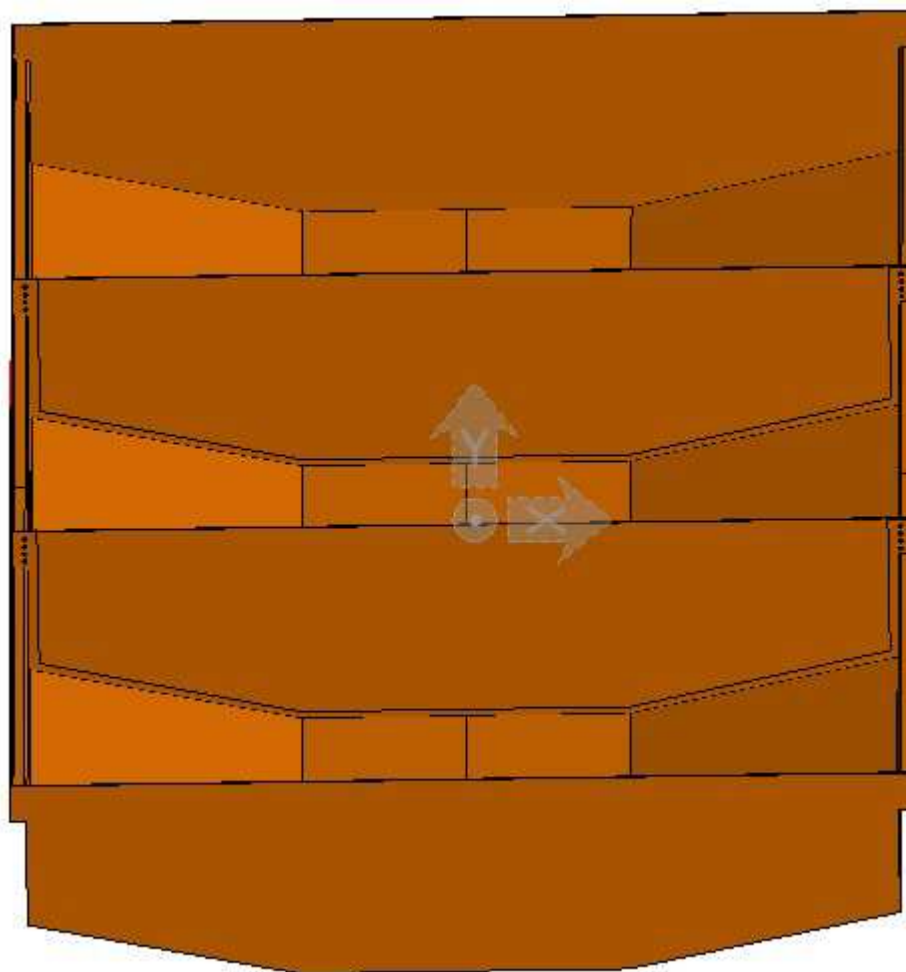
13. LÄHDELUETTELO

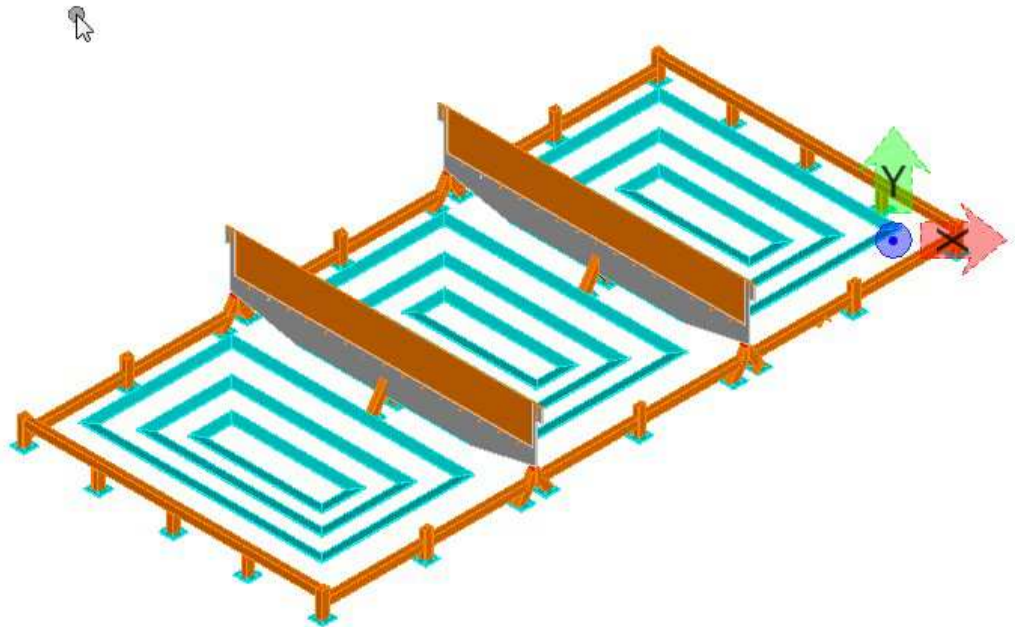
- /1/ Arttijef, Jarmo, Toimitusjohtajan haastattelut, Promote Oy, Kemi, 1.1. – 20.4.2012.
- /2/ Aaltonen Kalevi, Valmistustekniikka, 5. painos, Otatieto, 1995.
- /3/ Krannila, Matti, Teknillinen virtausoppi, 5. painos, Otatieto, 1995.
- /4/ Kesti, Marko, Teollisuuden putkistot, VAPK-kustannus, 1992.
- /5/ KWH Pipe, Tuotekatalogi, [WWW-dokumentti],
[www.kwhpipe.fi/Link.aspx?id=1167150], 20.4.2012.
- /6/ Malinen, Kari, Toimitusjohtajan haastattatelu, UltraCut Oy, Kemi, 1.1 – 15.4.2012.
- /7/ UltraCut Oy, Kotisivut, [WWW-dokumentti], [www.ultracut.fi], 10.1.2012.

14. LIITELUETTELO

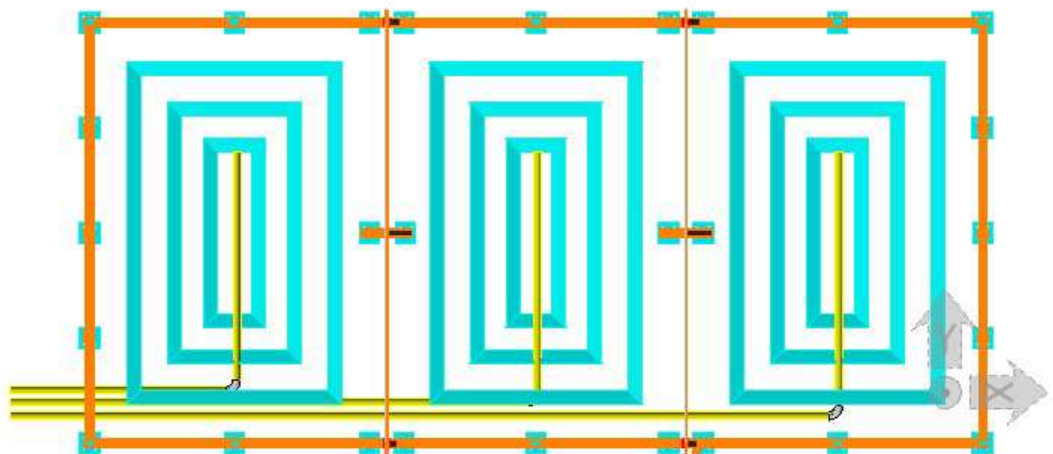
- Liite 1 Altaan laitojen kallistus
- Liite 2 Altaan segmentointi ja väliseinät
- Liite 3 Altaan ulkoiset tukirakenteet
- Liite 4 Altaan imuputket
- Liite 5 Altaan huuhteluputket
- Liite 6 Altaan kallistuslevyt
- Liite 7 Altaan kammat
- Liite 8 Altaan kokoonpanomalli
- Liite 9 Allas asennettuna

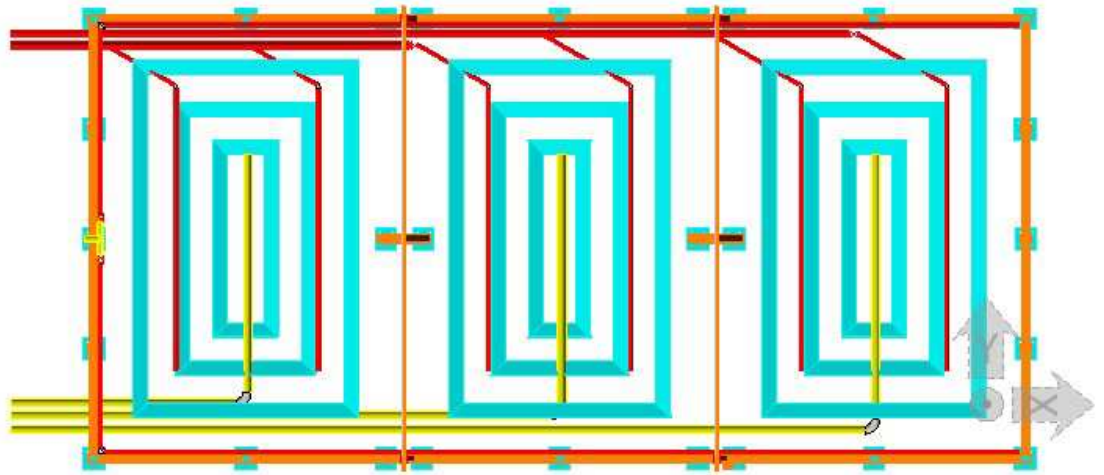
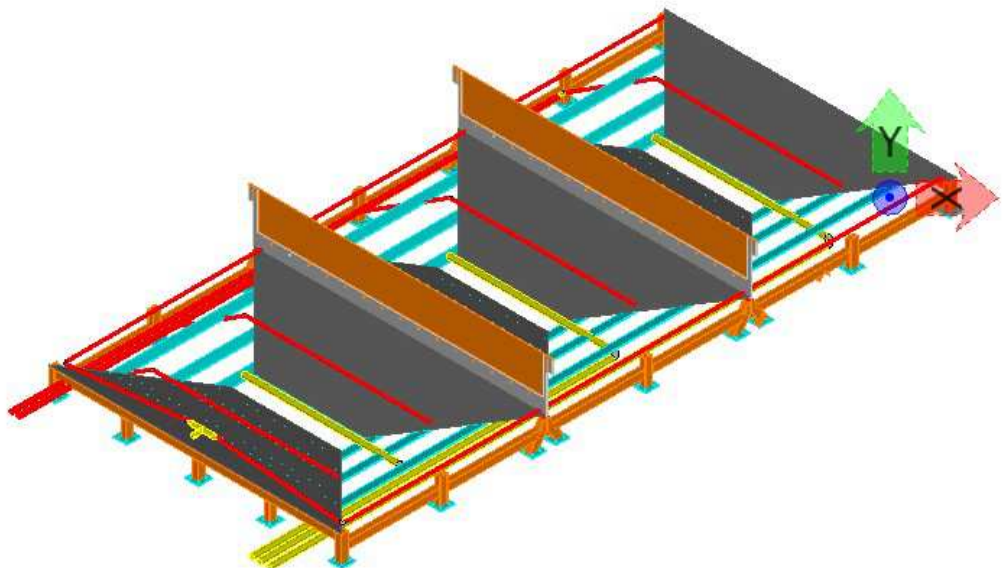
Liite 1. Altaan laitojen kallistus

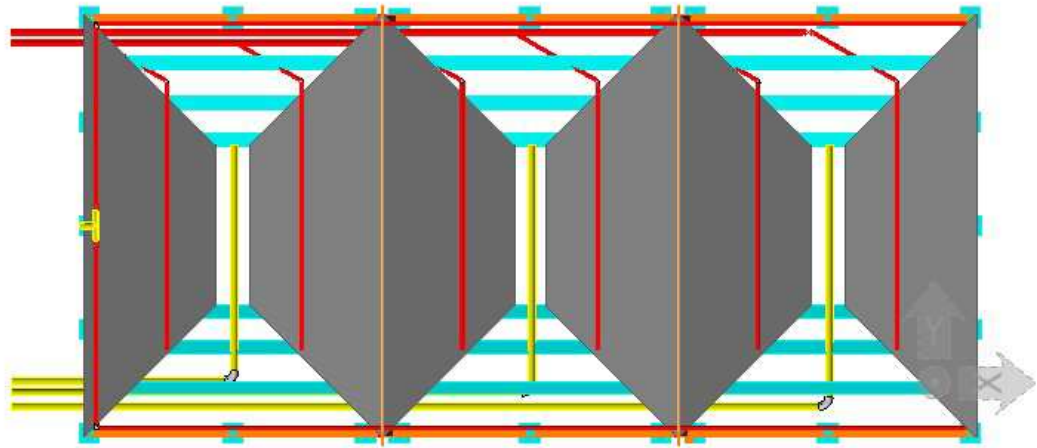
Liite 2. Altaan segmentointi ja väliseinät

Liite 3. Altaan ulkoiset tukirakenteet**Liite 4. Altaan imuputket**

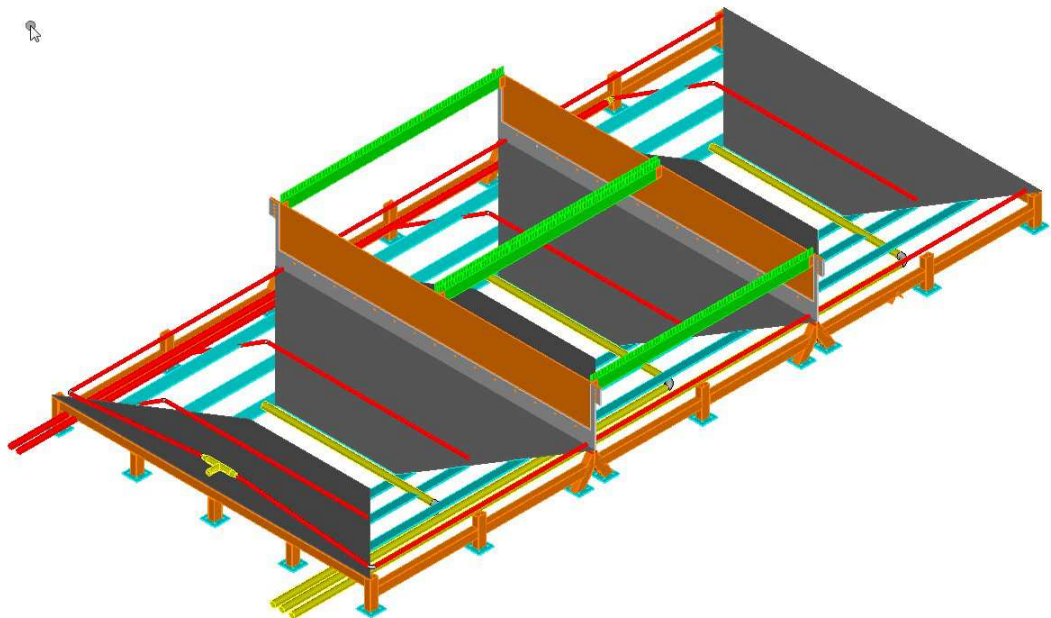
||

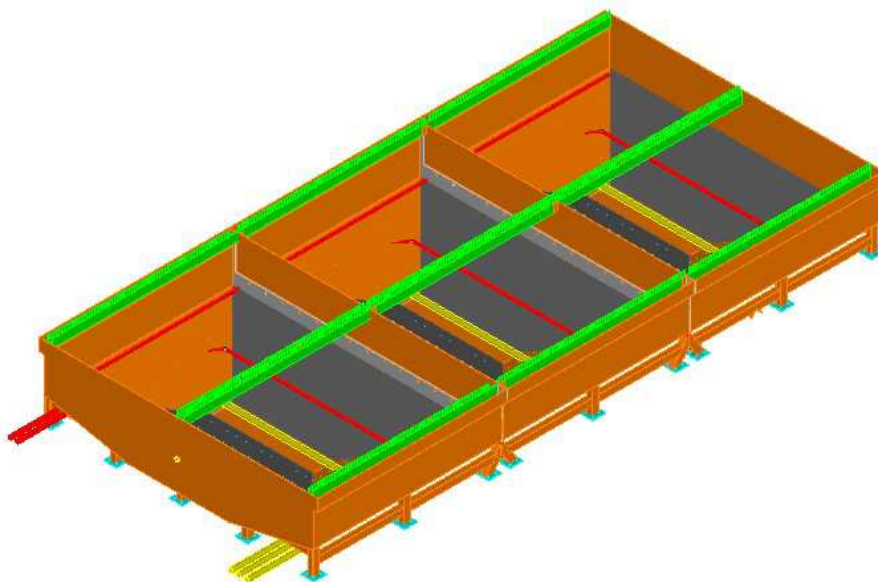


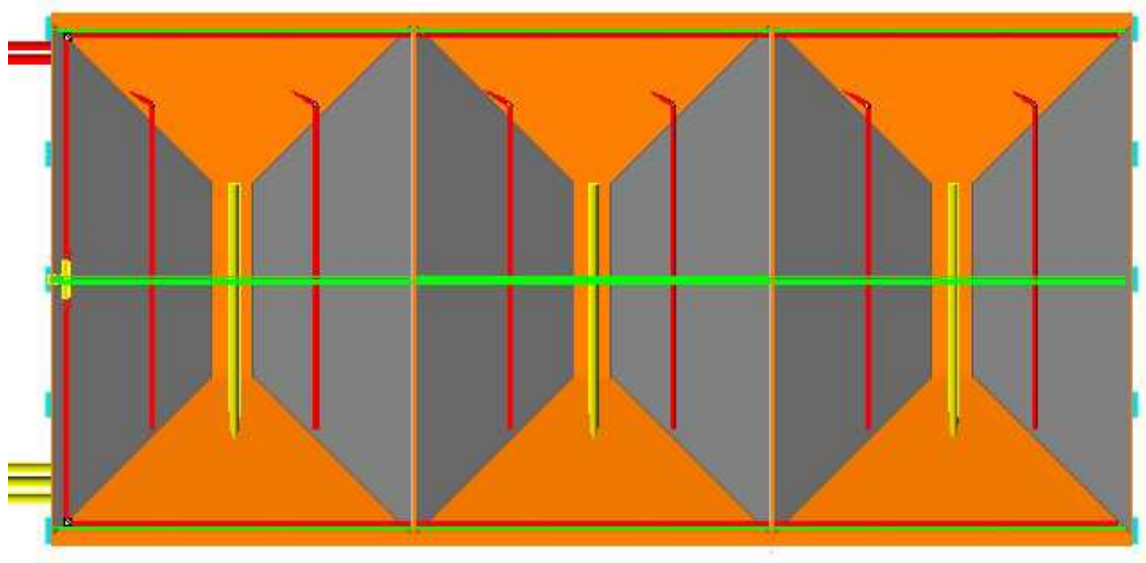
Liite 5. Altaan huuhteluputket**Liite 6. Altaan kallistus levyt**



Liite 7. Altaan kammat



Liite 8. Altaan kokoonpanomalli



Liite 9. Allas asennettuna

