



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Johanna Tuomainen

# Ilmastusaltaan väliseinien kustannus- tehokas toteuttaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Infra

Rakennusmestarityö

22.4.2020

Tekijä Otsikko	Johanna Tuomainen Ilmastusaltaan väliseinien kustannustehokas toteuttaminen
Sivumäärä Aika	32 sivua 22.4.2020
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohtaja
Ammatillinen pääaine	Infra
Ohjaajat	Projektijohtaja Sami Kari, YIT Oy Lehtori Jouni Ruotsalainen, Metropolia AMK
<p>Tämä opinnäytetyö toteutettiin YIT Oy:lle. Työssä käsitellään uuden rakenteilla olevan biokemiallisen jätevedenpuhdistamon ilmastusaltaan väliseinien kustannustehokasta toteuttamista. Työn tavoitteena oli miettiä eri toteutusvaihtoehtoja ja niiden hyviä ja huonoja puolia. Työssä oli myös tarkoitus vertailla kahden eri toteutusvaihtoehdon kustannuksia.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimusaineisto hankittiin työmaan tilaajan julkaisemasta materiaalista, itse kohteen rakennusselostuksesta, sekä tutkimalla alan verkkojulkaisuja. Talousluvut löytyivät tarjouslaskennan materiaaleista, sekä toteutuneista kustannuksista työmaan järjestelystä.</p> <p>Työn myötä havaittiin, että tarkemmin tutkitut toteutustavat olivat kustannuksiltaan saman arvoisia. Telineiden aiheuttama kustannuslisä olisi aiheuttanut molempiin tapauksiin yhteneväiset lisäkustannukset.</p> <p>Työturvallisuuden kannalta kuitenkin harkoista tehdyt seinät olivat huomattavasti työturvallisempia, eikä suurta nostokalustoa tarvitse tuoda ahtaisiin luolatiloihin. Tulevissakin kohteissa harkoilla toteutettavat seinät ovat varteenotettava toteutusvaihtoehto. Huomiota kuitenkin kaipaa kalusto, jolla työtä kykenee tekemään korkealla.</p>	
Avainsanat	Kustannustehokkuus, työturvallisuus, harkko, elementti

Author Title	Johanna Tuomainen Cost-Effective Implementation of Aeration Basin Partitions
Number of Pages Date	32 pages 22 April 2020
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	Infrastructure
Instructors	Project Director, Sami Kari, YIT Oy Senior Lecturer, Jouni Ruotsalainen, Metropolia AMK
<p>This thesis was carried out for YIT Oy. It examines the cost-effective building of aeration basin partitions in a new wastewater treatment plant. The aim of the thesis was to consider different implementation alternatives and their advantages and disadvantages as well as to compare the costs of two alternatives.</p> <p>The research material of the thesis was collected from the documents published by the client of the construction project, from the construction report and by researching online publications. The financial figures were found in the tender calculation materials, as well as among the actual costs reported in the site systems.</p> <p>As result of the research work, it was found that the costs of the implementation methods studied in more detail were equal. The increase in costs due to the scaffolding would have caused similar additional costs in both cases.</p> <p>However, from the point of view of occupational safety, walls made from concrete blocks was considerably safer at work. And at the same time bringing large cranes to cramped cave spaces can be avoided. In future sites, concrete block walls are a viable option to implement. However, attention needs to be paid to equipment that is able to work at height.</p>	
Keywords	Cost-effectiveness, occupational safety, concrete block, element

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lähtökohdat	2
2.1	Jätevedenpuhdistamo	2
2.1.1	Jätevedenpuhdistamon rakenne	3
2.1.2	Jätevedenpuhdistamon prosessi	4
2.2	Ilmastusallas	5
2.2.1	Altaan ja väliseinien mitat	6
2.2.2	Betonin vaatimukset	8
2.2.3	Muotin vaatimukset	9
2.2.4	Raudoituksen vaatimukset	10
2.2.5	Varausten vaatimukset	10
2.2.6	Betonoinnin vaatimukset	10
2.2.7	Työturvallisuus	11
3	Vaihtoehtoiset seinärakenteet	12
3.1	Elementti	14
3.1.1	Elementtien logistiikka	15
3.1.2	Elementtien nosto	15
3.1.3	Elementtien asennus	17
3.1.4	Elementtien saumat	18
3.1.5	Elementtien kustannus	18
3.1.6	Elementtiasennuksen työturvallisuus	19
3.2	Harkko	19
3.2.1	Harkkojen logistiikka	20
3.2.2	Harkkojen nosto	20
3.2.3	Harkkojen asennus	21
3.2.4	Harkkojen kustannus	23
3.2.5	Harkkojen työturvallisuus	23
3.2.6	Harkkojen ongelmat	23
3.3	Kiipeävä muotti	26
3.4	Liukuvalu	27
3.5	Paikalla valu	28

4	Kustannusvertailu	30
5	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

## 1 Johdanto

YIT Oy on vahvasti mukana Suomen Infra-rakentamisessa. Tähän mennessä kaikki Suomessa kallion sisään rakennetut jätevedenpuhdistamot ovat YIT Oy:n rakentamia. [1.]

Opinnäytetyön tehtävänä on tuoda uusia näkemyksiä ilmastusaltaan väliseinien toteuttamiseen. Alkuperäinen suunnitelma ilmastusaltaan väliseiniin oli elementtiseinät. Työ kuitenkin koettiin hankalaksi toteuttaa ahtaissa tiloissa ja työturvallisuus asetti omat haasteet työn toteuttamiselle. Lisäksi elementtien toimitusaikataulu työtä aloittaessa oli ongelmallinen. Niinpä seinät päätettiin kustannus- ja työturvallisuussyistä tehdä harkkoista.

Seinien edetessä kuitenkin vastaan tuli monia ongelmia ja monet kokivat toisen toteutustavan olevan harkkoja parempi ratkaisu. Valvojien huomautukset terästen suojaetäisyyksistä ja pilareiden tartuntarautojen poikkeamat hidastivat työn toteutusta. Lisäksi myös urakoitsijan tehtävänä olleet telineet veivät tehokasta harkkojen kasausaikaa. Vaikka toimintatapaa muokattiin töiden edetessä, aiheutti telineet merkittävän kustannuserän.

Työssä käydään läpi jätevedenpuhdistamon toimintaperiaatetta, sekä itse ilmastusaltaan vaatimuksia. Lisäksi työssä vertaillaan eri väliseinien toteutusmahdollisuuksista ja kahden suunnitellun toteutuksen kustannuksia.

## 2 Lähtökohdat

### 2.1 Jätevedenpuhdistamo

Nykypäivänä jätevedenpuhdistamon sijoittaminen kallio-tiloihin on yleistynyt Pohjois- maissa. Näin maanpäällisiä alueita jää enemmän asuin- ja ulkoilukäyttöön. Lisäksi luolassa ympäristön lämpötila pysyy ympäri vuoden tasaisena, joka edesauttaa puhdistamossa työskentelyä, huolto-olosuhteita sekä laitoksen bio-kemiallista toimintaa. [2.]

Pääkaupunkiseudun asukasmäärä kasvaa ja jätevedenpuhdistuksen vaatimukset jatkuvasti tiukkenevat. Uuden jätevedenpuhdistamon valmistuttua, ravinnekuormitus Itämereen vähenee nykyisestä. Tavoitteena on poistaa jätevedestä yli 96% fosforista ja orgaanisesta aineesta, sekä 90% typestä. [2.]

Jäteveden puhdistusarvot koskevat kiintoainesta, fosforia, typpeä sekä biologista ja kemiallista hapen kulutusta. Vaatimukset pitää täyttää mukaan lukien myös mahdolliset ylivuodot ja poikkeustilanteet. [3.]

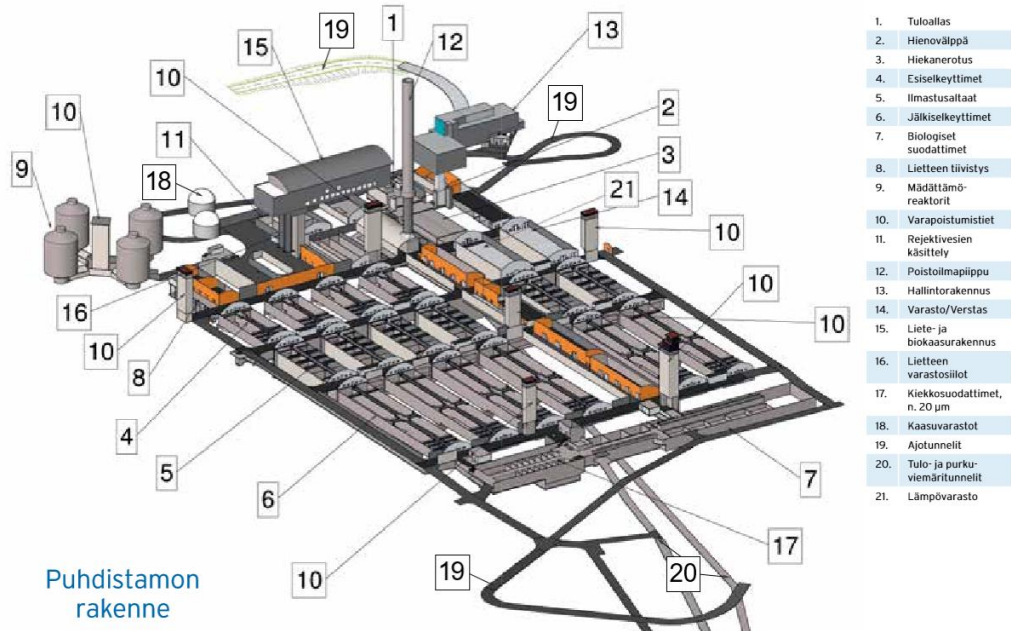
Jätevesi puhdistetaan monivaiheisessa bio-kemiallisessa prosessissa, jossa käytetään hyväksi mikrobien toimintaa ja niiden muodostaman lietteen laskeutumista. Prosessin ydin on ilmastusallas ja toiminnan kannalta on oleellista, että mikrobeilla on suotuisat toimintaolosuhteet.

- pH:n tulee olla 6,5 – 7,5 välillä. Alhaisessa pH:ssa bakteeritoiminta vaarantuu, kun sienet alkavat dominoida.
- Optimilämpötila on alle 40°C. Lämpötila vaikuttaa biokemiallisiin reaktioihin, ilmastusaltaan hapensiirtokykyyn ja bakteerien elämismahdollisuuksiin
- Happipitoisuus. Liunneen hapen määrällä on vaikutusta eliökunnan valikoitumiseen, kasvamiseen ja täten flokin muodostumiseen.

[3.]

### 2.1.1 Jätevedenpuhdistamon rakenne

Luolasto, johon vedenkäsittelyprosessi on sijoitettu, koostuu rinnakkaisista halleista.



Kuva 1. Puhdistamon rakenne [2.]

Puhdistamon luolastossa sijaitsevien tilojen kokonaisala, sisältäen tuotanto- ja allastilat, on noin 79 300 m<sup>2</sup>. Puhdistamon tilavuus, sisältäen tuotanto- ja allastilat, on noin 737 800 m<sup>3</sup>. Mäditysreaktoreita on neljä kappaletta ja kunkin reaktorin tilavuus on noin 6300m<sup>3</sup> ja niiden korkeus on 20m. Maan päällä sijaitsevat mm. hallintorakennus, autotalli, sekä liete- ja biokaasurakennus.

Jätevedenpuhdistamo koostuu erilaisista altaista, joilla jokaisella on oma tehtävänsä jäteveden puhdistamisessa. Uusi jätevedenpuhdistamo on suunniteltu puhdistamaan 400 000 ihmisen jätevedet, mutta varaukseksi on tehty 2 lisälinjaa, jolloin kapasiteetin kasvun avulla voidaan puhdistaa 1 000 000 ihmisen jätevedet Espoon, Kauniaisten, Kirkkonummen Siuntion ja Länsi-Vantaan alueelta.

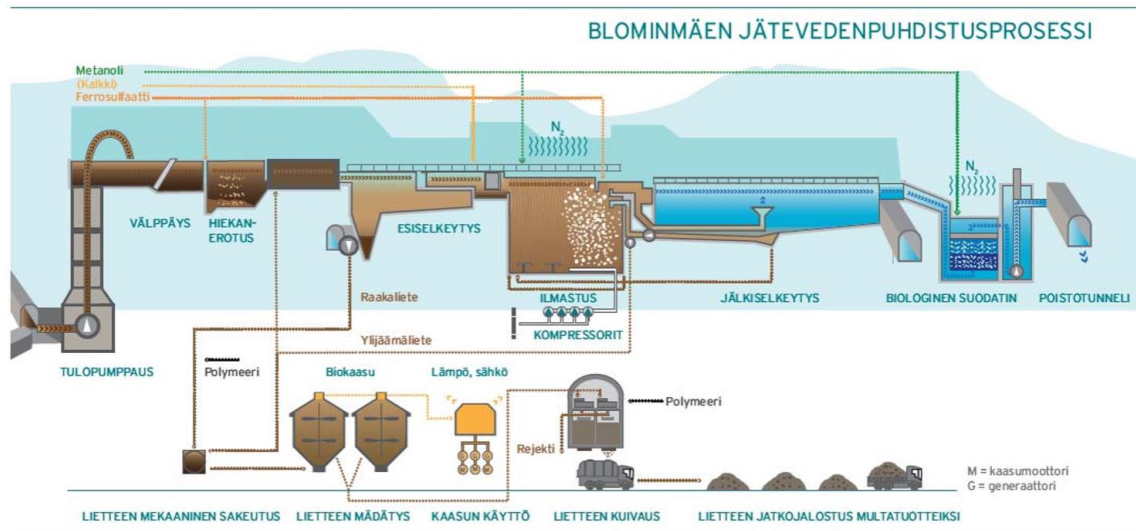
Jätevesi johdetaan painovoimaisesti läpi käsittelyprosessin. Vedet vesiprosessialtaiden välillä johdetaan paineettomissa vesikanavissa ja paineellisissa putkissa.

[2.]



## 2.1.2 Jätevedenpuhdistamon prosessi

Jätevesi saapuu tulopumppaamoon, josta se pumppujen avulla nostetaan välppäykseen ja hiekanerotukseen. Välppäyksessä puhdistetaan jätevedestä kaikki kiintoaines ja hiekanerotuksessa poistetaan nimensä mukaisesti hiekka.



Kuva 2. Blominmäen jätevedenpuhdistusprosessi kaavio [4.]

Hiekanerotuksesta vesi johdetaan esiselkeytysaltaisiin, joissa poistetaan primääriliete. Poistaminen tapahtuu lisäämällä jätevedeen ferrosulfaattia, joka saostaa fosforin. Samalla ferrosulfaatti helpottaa kiinteän aineen laskeutumisen altaan pohjalle painovoiman avulla. Laahain kerää laskeutuneen lietteen lietetaskuihin, joka pumpataan lietteen kuitukseen. Selkeytynyt vesi virtaa ylijouksuna kohti ilmastusallasta.

Ilmastusaltaissa jätevedestä poistetaan happea kuluttava orgaaninen aines, sekä ravinteet ja jäljellä oleva fosfori. Tämä tehdään mikrobien, sekä hapettomien ja hapellisten osastoiden avulla.

Ilmastusaltaan jälkeen jätevesi siirtyy jälkiselkeytysaltaisiin, joissa jätevesi rauhoitetaan ja biomassaa laskeutetaan altaan pohjalle. Osa erotetusta lietteestä palautetaan ilmastusaltaaseen mikrobitasapainon säilyttämiseksi.

Jälkikäsittely tapahtuu typenpoiston- ja kiekkosuodattimilla jälkikäsittelyhallissa.

Käsittelyprosessissa poistettava raakasekaliete kootaan kahteen välivarastoaltaaseen, josta liete pumpataan mekaanisille tiivistyslaitteille. Tiivistetty liete pumpataan mädätysreaktoreihin lämmönvaihtimen läpi.

Puhdistettu jätevesi johdetaan puhdistusprosessin jälkeen merelle johtavaan purkutunneliin, joka on noin 16km pitkä.

[4.]

## 2.2 Ilmastusallas

Jäteveden puhdistuksen ydin on biologinen käsittely aktiivilieteprosessissa. Aktiiviliete on mikrobeista ja muusta biomassasta koostuvaa lietettä, jossa elävät pieneliöt syövät jäteveden ravinteita ja orgaanisia yhdisteitä. Näin saadaan suurin osa happea kuluttavista orgaanisista yhdisteistä poistettua jätevedestä. Eri aineita puhdistavat mikrobit vaativat erilaisia olosuhteita, minkä vuoksi ilmastusaltaisiin on tehty hapettomat ja hapelliset osastot. [4.]

Ilmastusaltaan alkupäässä on hapeton tila, joka tehostaa aktiivilieteprosessin typen poistoa. Hapettomien olosuhteiden ylläpito vaatii jäteveden hyvää sekoitusta sekä lietteen kierrätystä ilmastuksen loppupäästä alkupäähän.

Jotta aktiivilietemenetelmä toimisi kunnolla, veteen pitää lisätä happea. Hapen lisääminen tapahtuu puhaltamalla altaan pohjalle kompressoreilla ilmaa rei'itettyjen kumilautasten läpi pieninä kuplina. Happipitoisuus vaikuttaa lietteen laskeutumismomenteihin ja orgaanisen aineen poistumiseen.



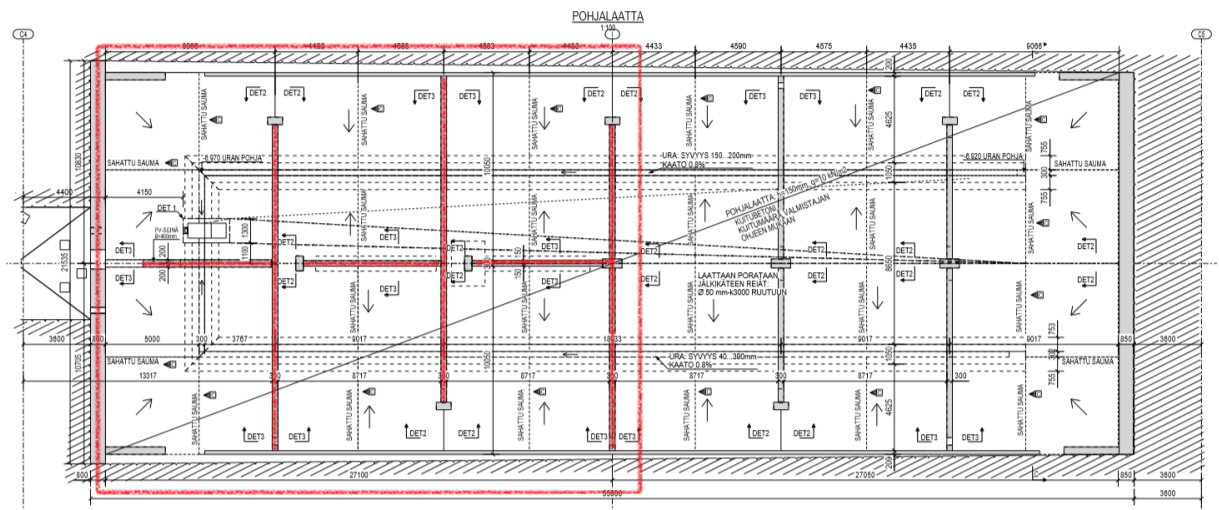
Kuva 3. Pohjailmastin

Pohjailmastimen avulla jäteveden happipitoisuus saadaan halutulle tasolle. Rei'itetty kumilautanen tuottaa pienen pieniä kuplia, jotka kuljettavat happea vesimassan läpi. Näin saadaan täytettyä mikro-organismien hapentarve. Pohjailmastimet sijaitsevat jätevedenpuhdistusprosessin ilmastusaltaan loppupuolella. [2.]

### 2.2.1 Altaan ja väliseinien mitat

Uudessa jätevedenpuhdistamossa on yhteensä 6 ilmastusalasta. Altaiden vedenpinnan korkeus on 15m altaan pohjalta. Altaiden pohjalaatat ovat rei'itettyjä, louhitulle kalliopinnalle tiivistetyn murskekerroksen varaan paikalla valettavia teräsbetonilaattoja. Altaissa on virtausta ohjaavia seiniä ja niiden kustannustaloudellinen toteuttaminen on tämän opinnäytetyön lähtökohta.

Yhden ilmastusaltaan pinta-ala on  $1\,166\text{ m}^2$  ja tilavuus  $17\,863\text{ m}^3$ .



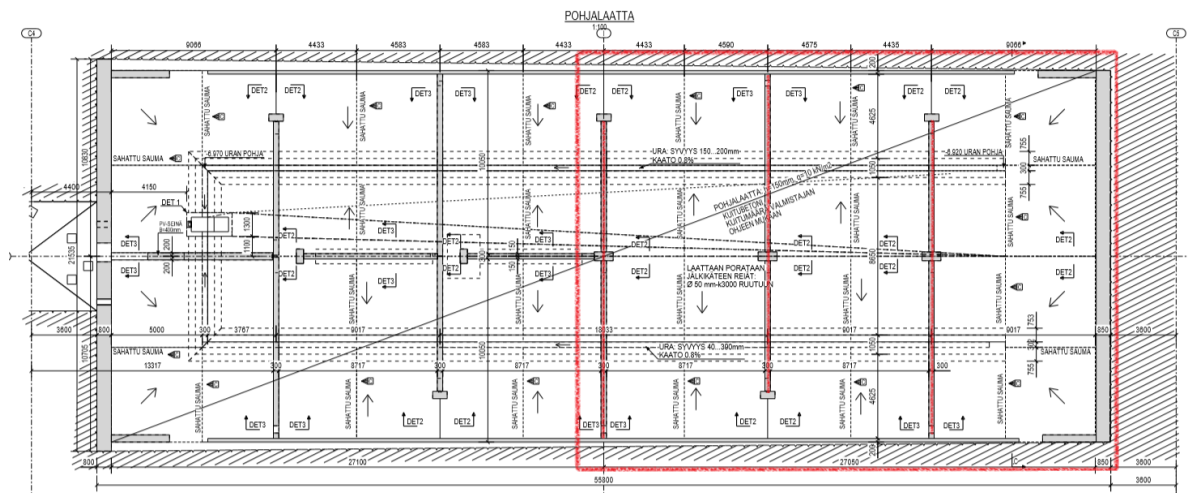
Kuva 4. Ilmastusaltaan alkupään hapeton tila

Altaan alkupäässä (kuvassa 4, vasemmalla) on hapeton tila, jossa isot sekoittajat liikuttavat vettä hitaasti eteenpäin. Hapettomassa tilassa väliseinä on toteutettu myös keskilinjalle ja vesi pääsee kulkemaan 1m raosta seuraavaan ilmastusaltaan osioon.



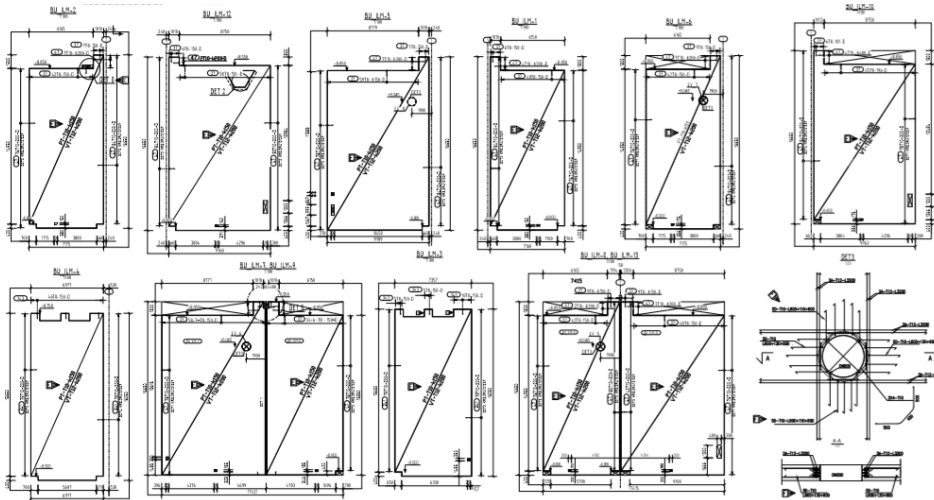
Kuva 5. Hapettomasta tilasta vesi siirtyy seuraavaan osioon kapeasta raosta.

Hapettoman osion jälkeen jätevesi siirtyy alueelle, jossa altaan pohjassa olevat ilmastimet hapettavat jäteveden.



Kuva 6. Ilmastusaltaan hapellinen osio

Ilmastusaltaan väliseinät ovat 15,35 metriä korkeita ja hoitotason alapuolella väliseinät nousevat 16,65 metriä. Altaiden yhteinen seinäpinta-ala on noin 10 000 m<sup>2</sup>.



Kuva 7. Ilmastusaltaan väliseinien mitoituskuvat

Ilmastusaltaan jokainen seinä on erilainen. Osassa seinissä pitää jättää varaus prosessiputkille seinän läpi, toisissa putki menee seinän päällä. Seinän rakentaminen vaatii tarkkuutta, jotta varaukset olisivat täsmälleen oikeissa kohdissa.

## 2.2.2 Betonin vaatimukset

Ilmastusaltaan betonirakenteet mitoitetaan sadan (100) vuoden suunnittelukäyttöille. Käyttöään vaikutus rasitusluokkiin, betonipeitteen vähimmäisarvoon ja halkeamaleveyteen esitetään rakennepiirustuksissa ja betonirakenteiden toteutuseritelmässä.

Suunniteltukäyttökä:	Perustukset ja runko 100V
Seuraamusluokka:	CC2
Luotettavuusluokka:	RC2
Vaativuusluokka:	V, Stabiliteetti, kantavat rakenteet
Onnettomuusrajatilan seuraamusluokka:	2a
Toteutusluokka_	2 (SFS 13760)
Rasitusluokka	2 (SFS 13760)
Betonin rasitusluokat:	XC4, XD2, XA2
Betoni:	C35/45 vesitiivis, sulfaatin kestävä
Betonipeite:	Nimellisarvo 50mm, mittapoikkeama +-10mm
Teräslaadut:	T=B500B/A500HW hitsattava harjatanko E=B600kX ruostumaton harjatanko E=AISI304 Ruostumaton teräsosat E1=AISI316 HAPONKESTÄVÄT TERÄSOSAT S355J2G3 muototeräs S355J2H putkiprofiilit
Paloluokka:	P1
Palonkestovaatimus:	R60 kantavat rakenteet

### 2.2.3 Muotin vaatimukset

Veden kanssa kosketuksiin jäävällä pinnalla on muotin pinnassa käytettävä muottikangasta, koska silloin betonipinnasta tulee valuhuokosetonta. Muottikangas poistaa pintakerroksesta ilmaa ja vähän myös vettä tärytyksen yhteydessä. Muottikangas parantaa myös betonipinnan tiiveyttä. [5.]

Muottisiteinä käytetään alumiinitankoa, ilman suoja-putkea. Alumiinia on käytettävä, koska seinä tulee olemaan täysin veden ympäröimänä.



Kuva 8. Alumiininen muottiside

Muotittettava osuus seinästä on kalliopinnan ja harkkoseinän väli. Muotti ei pääse painumaan lähelle raudoitusta, koska muottiväli on kapea ja muotti on kiinni sekä kalliossa, että harkkoseinässä.

#### 2.2.4 Raudoituksen vaatimukset

Ilmastusaltaan väliseinien raudoitus sidotaan niin, että se pysyy paikallaan valun aikana. Terästen tulee olla puhtaita, rasvattomia, maalittomia ja hilseettömiä.

Betonin suojaetäisyys on 50mm betonin pinnasta, ei harkon ulkopinnasta. Harkko voi olla paikoin huokoista, jolloin raudoitus voi joutua jäteveden armoille ennen mitoituskäyttöä loppua ja näin haurastuttaa rakennetta ennenaikaisesti.

#### 2.2.5 Varausten vaatimukset

Suunnitelma-asiakirjoissa on kerrottu vaaditut reiät ja varaukset, sekä niiden kiinnitystavat. Vain nämä varaukset ovat luvallista tehdä ja niiden mittatarkkuusvaatimusten on täyttyttävä. Jos on tarve saada muita aukkoja, ohjeistuksen on tultava rakennesuunnittelijalta.

#### 2.2.6 Betonoinnin vaatimukset

Ennen kuin aloitetaan betonointi, on huolehdittava, että:

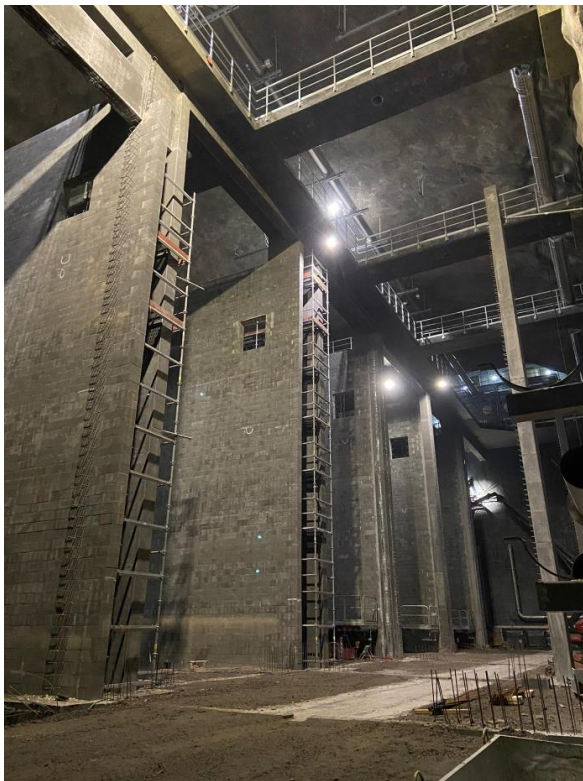
- Muotit ovat puhtaat roskista
- Betoniteräokset ovat paikoillaan
- Valvoja on tarkistanut raudoitukset
- Tartunnat, reiät, aukot yms. on tarkistettu
- Betonin tiivistäminen huolehditaan toteutustavan vaatimalla tavalla

Paikkaukset tulee suorittaa lujuudeltaan, eristykseltään ja ulkonäöltään täysin ympäristöön vastaaviksi.

### 2.2.7 Työturvallisuus

Koska ilmastusaltaan seinät ovat n. 15 metriä korkeat, on toteutussuunnitelmassa huomioitava erityisen tarkasti, miten työ toteutetaan. Ensisijainen putoamissuojaus ovat kaiheet. Jos se ei jostakin syystä ole mahdollista, on työntekijällä oltava valjaat, jotka on kiinnitettävä turvallisesti kestäviin rakenteisiin.

Onnettomuudet tapahtuvat yleensä tapahtumaketjun seurauksena. On siis tärkeää ennakoida riskejä ja tehdä valmistelut niin, että tapaturmat kyetään välttämään. Työntekijöiden on tiedostettava korkeiden olosuhteiden vaikutus työn tekemiseen ja omalla toiminnallaan minimoida vahinkojen syntyä.



Kuva 9. Korkealla työskentely

Päällekkäistä työskentelyä pitää välttää, mutta jos se on välttämätöntä, niin silloin on huolehdittava putoamissuojauksista. Ilmastusaltaita on monta ja samanaikaisesti tehdään useita seiniä, jolloin töiden yhteensovittamisella kyetään välttämään päällekkäin työskentely. Vaikka työtä toteutettaisiin turvallisesti, niin silti voi tapahtua vahinkoja. Aina on hyvä varmistaa työturvallisuus esimerkiksi kiinnittämällä työkalu työskentelytasoon.



Työn teosta saadaan turvallista, kun yhteensovitetaan työskentely eri toimijoiden kanssa ja määritellään tarkasti, missä altaassa työskennellään milläkin tasolla. Silloin kun työskennellään ylhäällä, alapuolinen alue pitää eristää. Eristäminen pitää kuitenkin poistaa, kun se ei ole enää aiheellinen.

Seinämateriaalien nostossa on huomioitava materiaalin käyttäytyminen. Kuorma ei saa tippua noston aikana. Lattiatasolla työskennellään vain hetken ja suurin osa seinämateriaalin tarpeista on korkealla. Nostokaluston on oltava sellainen, että nostot kyetään tekemään turvallisesti ja jos kuorma osuu johonkin, se ei pääse tippumaan alas.

Useimmat tapaturmat johtuvat siitä, että työpiste on sotkuinen. Työtasolla lojuvat ylimääräiset tavarat pitää poistaa. Esimerkiksi kaiteen päälle jätetty U-hakanen tippuu herkästi pienestä hipaisusta. Jokaisen on pidettävä huolta työpisteen siisteydestä.

Valaistus on myös erittäin tärkeää. Koska työskennellään luolaolosuhteissa, työmiehellä on oltava tasku-/otsalamppu mahdollisen sähkökatkoksen ajaksi. Vaikka valojen sammuminen yleensä kestää vain hetken, niin pienikin liikkuminen korkealla pimeässä on erittäin vaarallista.

Eri toteutustapojen kohdalla käydään vielä erikseen läpi, miten toteutustavan työturvallisuus on otettava huomioon.

### **3 Vaihtoehtoiset seinärakenteet**

Aiemmin tehdyissä jätevedenpuhdistamoissa ilmastusaltaan väliseinämateriaalina on käytetty kestopuuta. Se on kevyt ja helposti työstettävissä. Syy miksi tässä jätevedenpuhdistamossa ei käytetty puuta seinämateriaalina, johtuu siitä, että seinät ovat yli 12 metriä korkeita. Esimerkiksi Turun jätevedenpuhdistamossa on ilmastusaltaan väliseinät toteutettu kestopuulla. [6.]

Työn aiheen selvityksessä keskustelin aiheesta usean ihmisen kanssa. Kaikilla oli oma näkemys, miten seinät olisi kannattavaa tehdä. Yhteinen päätelmä kaikilla oli, että harkoista tehdyt seinät aiheuttivat liikaa ongelmia.



Kuva 10. Ilmastusaltaan pilarit ja hoitotasot. Harkkototeutuksen alkutila.

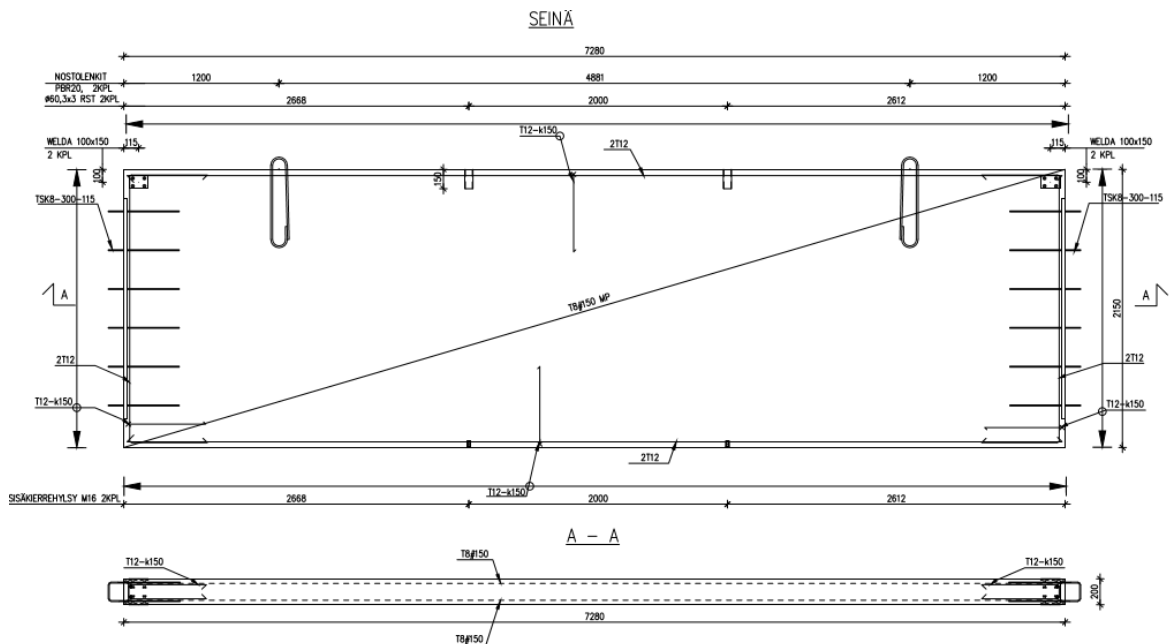
Väliseinien tekemiseen haasteita toivat pilareiden tartuntojen mutkittelu, korkealla työskentely, telineiden rakentaminen harkkourakoitsijan toimesta, sekä teräksen suojaetäisyyden tulkintaerot seinien teon aikana. Myös prosessiputkien asennukset harkkotyön lomassa aiheuttivat yhteensovitus ongelmia.

Seinien toteutus on aloitettava altaan loppupäästä, koska tulevat väliseinät estävät kulun ja nostot, sekä tarvittavien työvälineiden käyttö vaikeutuu huomattavasti. Kulku ilmastusaltaan pohjalle tapahtuu sille louhitusta ajoreitistä. Usein työmaan muu toiminta estää lyhyimmän reitin käyttämistä ja ilmastusaltaiin kohdistuvan liikenteen on pahimmassa tapauksessa kierrettävä koko työmaan. Logistiikassa on siis mietittävä, miten materiaalia saadaan työkohteelle tarpeeksi, mutta ei kuitenkaan estetä työskentelyä liiallisella varastoinnilla. Paras ajankohta materiaalin kuljetuksille on normaalin työajan ulkopuolella.

Eri toteutusvaihtoehdoissa olisi tavarankuljetus työkohteeseen toteutettava eri tavalla. Elementit olisi pitänyt asentaa yläkautta, joka estää yläpuolisten rakenteiden valmistamisen. Harkoissa materiaalit saa helposti hiab-auton kyydillä työkohteeseen. Muottikaluston käytössä olisi ollut paljon raskaita nostoja. Ja koska työskennellään luolassa, niin on otettava huomioon myös kallion pinta ylhäällä ja sivuilla.

### 3.1 Elementti

Alkuperäinen suunnitelma ilmastusaltaan väliseinien toteuttamiseksi olivat elementit. Koska altaita on kuusi samanlaista ja korkeutta seinillä on n. 15 metriä, niin samaa muottia olisi pystynyt käyttämään useaan kertaan. Sarjatyönä tehdyt elementit olisivat tuoneet taloudellista hyötyä, koska muotin tekeminen maksaa enemmän kuin itse seinäelementin.



Kuva 11. Seinäelementti suunnitelma

Jotta elementti olisi asennettavissa ahtaissa tiloissa, joudutaan rajoittamaan elementin kokoa. Mutta mitä pienempiä elementtejä tehdään, sitä enemmän joudutaan tekemään saumavaluja, jotka aiheuttavat lisää työtunteja. Korkealla työskentely myös hidastaa itse asennusta. Yhteen altaaseen suunnitelmien mukaan olisi tullut 84 kappaletta elementtejä.

Elementeillä rakentaminen olisi aiheuttanut haasteita yläpuolisten hoitotasojen tekemisessä. Koska hoitotasot eivät juurikaan kosketa ilmastusaltaan väliseiniä, niin hoitotaso olisi pitänyt tehdä täysin muottitelineiden varaan seinien teon jälkeen. Muottitelineiden pois saanti altaiden pohjalta olisi vaatinut järeää kalustoa, vaikka ne eivät paljoa painakaan.

### 3.1.1 Elementtien logistiikka

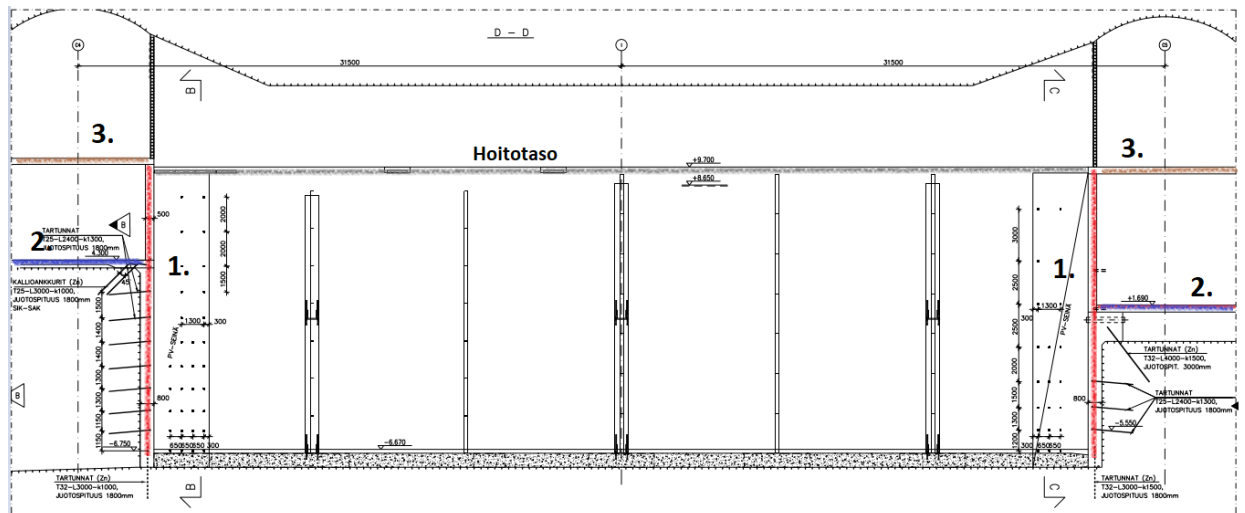
Koska työskennellään isolla työmaalla, elementtien asennus on aikataulutettava, jotta aiheutetaan mahdollisimman vähän häiriötä muulle työmaan toiminnalle. Ennalta tiedossa olevat ajankohdat mahdollistavat jokaisen työn sujumisen. Muuttuvat tekijät on myös hyvä ottaa huomioon hyvissä ajoin, jolloin elementtien asentaminen ei pysähdy täysin ongelman ilmentyessä.

Työmaalla on myös hyvä pitää pientä välivarastoa elementeissä, jolloin saadaan hallittu puskuri töiden etenemiselle ja samalla voidaan nopeasti reagoida, jos saapunut elementti on virheellinen. Työmaalla välivarastossa olevat elementit on myös helpompi kuljettaa työkohteeseen sellaisena hetkenä, kun työmaa on mahdollisimman hiljainen.

### 3.1.2 Elementtien nosto

Seinien korkeus on 15 metriä ja niiden kasaaminen raskaista betonielementeistä olisi vaatinut järeän nostokaluston syvään kallioseinien rajaamaan tilaan. Elementtien asennus syvälle kallioluolaan olisi teknisesti onnistunut, mutta niiden kokoa olisi pitänyt huomattavasti rajoittaa. Silloinkin asennusturvallisuus olisi ollut kyseenalaista nostimien vaikeiden työskentelyolosuhteiden ja ahtaiden tilojen takia.

Osan elementtien nostoista olisi voinut toteuttaa altaanpohjalta, jolloin altaassa on vielä tilaa isolle nosturille ja kuljetusautolle. Mutta nopeasti tilat tulevat sen verran ahtaiksi, että loppujen elementtien nostot olisi pitänyt tehdä päätasolta.



Kuva 12. Ilmastusaltaan poikkileikkaus. 1. Ilmastusaltaan päätyseinät 2. Tasot, joilta työskentely aloitettu 3. Rakennettavat holvit

Jos ilmastusaltaan seinien asentaminen olisi aloitettu ensimmäisenä, ennen altaan päätyseinien rakentamista, elementtien nostot olisivat voineet olla hieman helpommin toteutettavissa. Silloin kuvassa (kuva 12) näkyvät seinät (1.) olisivat olleet pois ja nosturi kykenisi asentamaan vaakatasossa elementtejä tasolta 2. Koko työmaan on kuitenkin edettävä, jolloin ilmastusaltaan päädyissä olevat käytävät olisi rakennettava tason 3. korkeuteen. 3. tasolta nosto korkeus elementtien asentamiseen ei enää olisi ollut mahdollista.

Nostokaluston pitää olla myös järeä, koska koko allas on 55,8 metriä pitkä. Vaikka elementin koko saadaan pidettyä pienenä, niin nosto pitkälle syö nostokaluston nostokapasiteettia.

### 3.1.3 Elementtien asennus

Asennuksesta on tehtävä asennussuunnitelma, jossa esitetään:

- Putoamissuojauksen toteutus
- Tarvittavat työtasot
- Telinesuunnitelma
- Työssä tarvittavat henkilönostimet
- Turvallisesti toteutettavat nostot

Asennussuunnitelmassa on myös huomioitava elementin asennusjärjestys, rungon jäykistystapa ja elementtien väliaikainen tuenta. Ennen asennustyön aloitusta on käytävä suunnitelmat tarkasti läpi, jotta kyetään varmistamaan suunnitelmien ristiriidattomuus.

Asennussuunnitelman läpikäymiseen on hyvä ottaa hankkeen eri osapuolet, myös elementtiasennusryhmän jäsenet. Näin saadaan eri toimijoiden näkemykset työn toteuttamisesta ja pystytään puuttumaan ongelmakohtiin ajoissa.

Itse elementtien paikalleen asentamisessa on myös otettava huomioon elementtien tuenta sekä saumojen valaminen. Väliaikainen tuenta ja lopullinen kiinnittäminen on tehtävä siten, että rakenteellinen vakaus säilyy kaikissa asennustyön vaiheissa. Tuenta on kuitenkin vaikeaa, koska työskennellään korkealla ja maasta tukeminen on mahdotonta. Elementti on saatava oikeaan korkeusasemaan, huolehtien samalla pystysuoruudesta ja elementtien liitoskohdissa.

Kun elementti on saatu paikoilleen ja tuet asennettua, kiinnitetään elementit toisiinsa asentamalla pystysaumaan raudoitustanko. Pystysauma muotitetaan ja betonoidaan, jolloin saadaan varmistettua rungon rakenteellinen kestävyys.

[7.]

### 3.1.4 Elementtien saumat

Saumojen betonointi kannattaa toteuttaa niin, että useampi sauma valetaan yhtäaikaista. Näin päästään kustannustehokkaampaan ratkaisuun. Työsuunnittelussa on myös mietittävä sitä, että pystytäänkö useammassa altaassa tekemään samalla pumpulla saumavaluja, jolloin lisäkustannus olisi vain pumppuauton siirtomaksu.

Kun elementtien saumavalun betoni on saavuttanut riittävän lujuuden, voidaan muottikalusto ja väliaikainen tuenta poistaa. Betonoinnista johtuvat purseet tulee putsata, kun telineet ovat asennettuna ja betoni ei ole vielä täysin kovettunutta. Jälkipuhdistuksen tekeminen korkealla on haasteellista ja siksi se on hyvä tehdä heti muotinpurun jälkeen.

### 3.1.5 Elementtien kustannus

Vaikka elementtien tekeminen on edullista, varsinkin kun kyetään käyttämään samaa muottia useampaan kertaan, niin korkealla tapahtuva työskentely vaatii paljon ihmistyöntunteja ja elementtien asennus on arvokasta. Vaativassa kohteessa elementtien asennustyöryhmän on oltava ammattitaitoinen ja perehtynyt työskentelemään korkeissa tiloissa.

Urakkatyönä tehty elementtien asennus olisi tehokasta, koska sekä asennusryhmällä, että työnjohdolla on mielenkiintoa saada työ nopeasti valmiiksi. Korkealla työskentely kuitenkin hidastaa työn tekemistä ja mahdolliset ongelmatilanteet tulee tehdä tuntitöinä. Ensimmäisen altaan jälkeen työryhmä tosin tietää jo mahdolliset ongelmat ja loput altaista voisi tehdä urakkatyönä.

Elementtiasennuksessa tulee kustannuksia myös kaluston osalta. Työssä tarvitaan nosturia, telineitä, henkilönostimia, sekä muuta kalustoa. Mitä kauemmin työ kestää, sitä suuremmat ovat vuokrakustannukset. Jotta saadaan mahdollisimman monta saumavalua tehtyä kerralla, tarkoittaa se myös sitä, että jokaisella tehtävällä seinällä pitää olla omat telineet.

### 3.1.6 Elementtiasennuksen työturvallisuus

Yhteistyö on tärkeä asennustyön aikana. Elementtien asennuksessa nostot ovat kaikkein kriittisempiä työturvallisuusuhkia. Elementti voi osua telineisiin noston aikana, tai raaja voi jäädä puristuksiin. Jokaisen tiimin jäsenen on siis ajateltava turvallisesti ja puuttuttava riskialttiiseen tekemiseen välittömästi.

Asennusryhmän on silmämääräisesti tarkistettava sekä nostokaluston kunto, että nostettavat elementit. Koska elementit tehdään sarjatyönä, on nostokelvottomuuden riski olemassa.

Varsinkin elementtien asennuksessa muiden töiden yhteensovittaminen on erittäin tärkeää. Asennusryhmän kanssa on hyvä käydä säännöllisesti palaverissa läpi asennuskataulu, asennusten tilanne, tulevia asennusvaiheita sekä ympärillä tapahtuvia työvaiheita.

### 3.2 Harkko

Ilmastusaltaan väliseinät päädyttiin rakentamaan erikoisvaluharkoilla. Harkot ovat tehty sulfaatin kestävästä betonista ja rajannut näin ollen toimittajia. Harkot itsenään soveltuvat kantaviin rakenteisiin, sekä väliseiniin. Valuharkot soveltuvat erityisen hyvin raskaasti kuormitettuihin ja korkeisiin seiniin. Harkot ladotaan päällekkäin, raudoitetaan ja onkalot täytetään betonilla. Harkkojen välissä ei tarvitse käyttää muurauslaastia. Valuharkko ei myöskään tarvitse erillistä muottikalustoa, vaan harkko itsessään on muotti. Ainoa kohta, jossa tarvitaan muottia, on yhdistyminen kallioon ja pilarien tartuntoihin.

Vaikka harkkoja mainostetaan erittäin mittatarkoiksi, käytetyssä tuotteessa kuitenkin löytyi heittoa, joka aiheutti valmiiseen seinäpintaan pykälää.





Kuva 13. Valittujen harkkojen mittatarkkuus

Seinäpinnat kuitenkin jäävät jäteveden ympäröimäksi, joten kulmien hiontaa ei tarvitse suorittaa. Toisella valmistajalla tuote olisi ollut mittatarkempaa, mutta harkot olisivat tulleet maksamaan enemmän.

### 3.2.1 Harkkojen logistiikka

Harkkorakentamisen yhtenä etuna on se, että harkkoja on sekä helppo tuoda työmaalle, että käsitellä työkohteessa. Harkot saapuvat työmaalle rekan kyydissä, jossa ne välivarastoidaan ja vain tarvittava määrä harkkoja viedään itse työkohteeseen.

Yhdestä lavallisesta harkkoja saadaan rakennettua 4,8 m<sup>2</sup> seinäpintaa. Kun seinäpinta-alaa on 10 000 m<sup>2</sup> ja hiabin kyytiin mahtuu 8 lavaa, tarkoittaa tämä 260 ajokertaa. Ilmasutusaltaan väliseiniin menee yhteensä 2083 lavallista harkkoja. Vaikka harkkoja menee työmaalle iso määrä, eivät ne vaadi suurta logistista suunnittelua.

### 3.2.2 Harkkojen nosto

Harkkoja ei tarvitse nostaa erikseen nostimilla. Työryhmällä on käytössä mastolava, jonka avulla tarvittavat harkot saadaan työkohteeseen. Harkkojen nostot toteutuvat siis pääsääntöisesti käsin. On kuitenkin huomioitava mastolavan maksimi nostokapasiteetti.

### 3.2.3 Harkkojen asennus

Harkot ladotaan päällekkäin ja ne toimivat samalla valumuottina. Asennuksessa voidaan käyttää tarkoitukseen sopivaa kiviliimaa. Harkkoa ei kuitenkaan tarvitse liimata koko matkalta, vaan liiman käyttö on arvioitava tapauskohtaisesti. Kertavalua varten suositellaan 1,6 metrin ladontakorkeutta. Harkot kasataan linjalankaa apuna käyttäen. Jotta harkko saadaan oikeaan korkoon ja sijaintiin, käytetään apuna muovikiiloja.



Kuva 14. Harkkojen asemointiin tarkoitettuja kiiloja.

Harkkoja voi työstää tarvittaessa kulmahiomakoneella, jossa on timanttikatkaisulaikka tai harkkosirkkelillä. Harkkolavalla on myös päätyharkkoja, joita voi käyttää ilman erityisiä toimenpiteitä normaalien seassa. Harkot asennetaan mahdollisimman tiiviisti yhteen, jotta betonia ei valuisi saumoista valun aikana.

Harkot tarvitsevat raudituksen, jonka määrittelee rakennesuunnittelija. Harkkojen kutistumateräksset asennetaan harkon päälle ja valun jälkeen asennetaan märkään betoniin pystyraudoitus.



Kuva 15. Harkkoseinän pystyraudoitus

Kun valetaan valuharkkoa, niin betonilla on omat vaatimukset, jotka on syytä mainita betonia tilatessa:

- Lujuus vähintään C35/45, vesitiivis, sulfaatin, säänkestävää
- XC4, XD2, XA2
- suurin raekoko 8mm
- notkeus S4
- 100 vuoden käyttöikä

[8.]

### 3.2.4 Harkkojen kustannus

Harkko on materiaalina edullinen ja ei tarvita järeää nostokalustoa seinän tekemiseen. Mutta harkko vaatii paljon työtunteja. Lisäksi koska työskennellään korkealla, tarvikkeiden saaminen oikealle tasolle vie aikaa.

### 3.2.5 Harkkojen työturvallisuus

Harkkojen asentaminen on turvallista, koska ei tarvita painavia nostoja ja työn pystyy suorittamaan kaiteiden suojaamana. Harkkojen asennuksessa ei tarvita erillisiä työkaluja. Huomioitava vaaran tuottaja harkkojen asennuksessa on työntekijöiden opitut tavat. Esimerkiksi u-hakojä säilytetään kaiteen päällä. Tai tornilavalle kuormataan liian monta harkkoa kantavuuteen verrattuna.

### 3.2.6 Harkkojen ongelmat

Koska väliseinät toteutettiin harkoista, on kerääntynyt myös tietoa harkkojen ongelmista. Ongelmat ovat aiheuttaneet myös ajatukset, että seinien toteutus toisella tavalla olisi ollut helpompaa ja edullisempaa.

Harkkoseinien toteutuksessa ilmeni, että on vaikeaa löytää urakoitsijaa, joka olisi kokenut valuharkkoseinien tekijä. Valuharkkojen latomisen oppimiseen meni siis alussa aikaa. Alkuopetteluun jälkeen työskentely on kuitenkin lähtenyt pyörimään tehokkaammin.

Raudoitustarkastuksissa esiintyi kerta toisensa jälkeen uusia ongelmia. Milloin teräkset olivat liian lähellä harkon ulkopintaa ja milloin tartuntoihin liittymiset olivat väärin tehdyt. Yhteisen linjauksen löytymisen jälkeen raudoitustarkastuksetkin ovat menneet ilman huomautuksia läpi.



Kuva 16. Raudoituksen kiinnitys pilarin tartuntarautoihin.

Altaan pilarien valussa karvalaudat oli jäänyt kiinnittämättä kunnolla, jolloin karvalauta oli liikkunut betonoinnin aikana. Väliseinän on oltava suorassa, joten karvalautojen työssä on kulunut enemmän aikaa. Ennen oikean toimintatavan löytämistä tartuntoihin liittymistä jouduttiin harjoittelemaan.

Harkkotoimittaja mainostaa harkkojen kestävästä mekaanisesta rasituksesta hyvin. Harkkojen seasta kuitenkin löytyi sellaisia harkkoja, joissa oli hiushalkeama. Hiushalkeamat aiheuttavat ongelmia betonoinnissa, tai betonoinnin jälkeen. Koska massa, jota harkkoissa käytetään, on erittäin juoksevaa, niin rikkoutunut kivi päästää valetun betonin reiästä pois. Siksi on tärkeää, että varaudutaan paikkausmateriaalilla ja vuotokohta saadaan nopeasti tukittua. Silloin tällöin hiushalkeama aiheuttaa harkon rikkoontumisen vasta tovi betonoinnin jälkeen. Tämä näkyy pullahtaneena harkkona molemmilla puolilla seinää.



Kuva 17. Urakoitsijalla on ollut käytössä mastolavoja.

Urakoitsijalla oli käytössä mastolava harkkoseinän tekemiseen. Mutta koska valun yhteydessä pitää olla pääsy myös seinän toiselle puolelle, mahdollisen harkon rikkoutumisen vuoksi, rakennettiin telineet. Urakoitsijan työnjohtaja totesi telineiden rakentamisen vieneen oletettua enemmän aikaa. Ja koska kyse oli muurareista, eikä telineen asentajista, kului harkkoasennuksen tehokasta työaikaa.



Kuva 18. Ilmastusaltaan väliseinä työssä käytetyt telineet.

Käytäntöä muutettiin, kun havaittiin telineiden hidastavan liiaksi harkkoasennuksen edistymistä. Telineitä käytetään enää vain silloin, kun ei ole mahdollista saada muuta henkilönostinta seinän toiselle puolelle. Muutoin käytetään mm. kuukulkijaa.

### 3.3 Kiipeävä muotti

Kiipeävän muotin avulla voidaan rakentaa hyvinkin korkeita rakenteita. Kiipeävä muotti koostuu muotista ja kiipeävistä konsoleista. Myös työtaso on mukana järjestelmässä. Koska kaikki tarvittava kulkee muotin mukana, järjestelmä on helppokäyttöinen ja säästää aikaa ja resursseja. Dokan MF240 muottijärjestelmällä pääsee jopa 6 metrin betonointijaksoihin.

Kiipeävää muottikalustoa löytyy sekä nosturilla nostettavia, että omalla hydraulijärjestelmän avulla kiipeäviä seinämuotteja. Nosturin käyttöaika lyhenee, koska kiipeävä teline ja muotti voidaan nostaa yhtenä kokonaisuutena. Muottikalusto kiinnitetään valettuun seinään tartuntapultein ja -ankkureiden avulla. Muotista, työskentelystä, betonista ja ulkoisista kuormista tulevat rasitukset siirretään jo valettuun betonirakenteeseen. Jotta raudoituksen ja varausten tekeminen onnistuisi kiipeävällä muotilla, muottikalustossa on siirtovivusto, jolla seinä kallistuu.

Kiipeävän muotin tekeminen turvallisesti vaatii osaamista, ja työn kustannukset ovat korkeat.

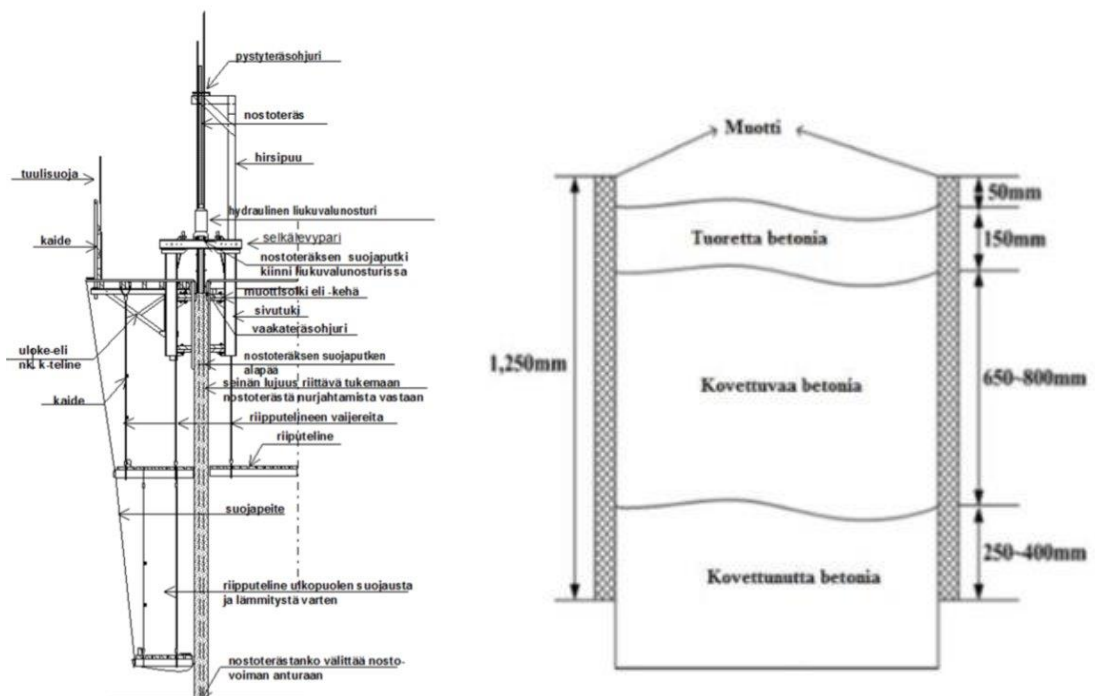


Kuva 19. Kiipeävä muottijärjestelmä

### 3.4 Liukuvalu

Koska työmaalla tehtiin poistoilmapiippu liukuvalamalla ja YIT Oy:llä on erittäin pätevä liukuvaluporukka, niin eräs haastateltava sai ajatuksen seinien toteuttamisesta liukuvaluperustein. Liukuvalutekniikkaa on käytetty maailmalla jo 100 vuotta, mutta Suomessa sitä on käytetty vasta 50-luvulta lähtien.

Liukuvalumuotti on pystysuuntaan liikkuva erityismuotti, jolla valetaan alusta loppuun yhdellä betonointikerralla. Liukuvalua käytetään yleensä korkeiden pystyrakenteiden tekemiseen. Järjestelmän osat ovat muotti, nostolaite ja työtasot. Nostolaite nousee pystysuorassa olevaa nostotankoa pitkin vetäen muottikehän avulla muotteja ja telineitä perässään.



Kuva 20. Liukuvalumuottin toimintaperiaate.

Liukuvalutyöhön kuuluu ennakointi. Liukuvalun muotti ja varaukset on tehtävä ennen betonoinnin aloittamista. Myös perustukset pitää olla tukevat, jotta liukuvalu lähtee alusta pitäen suoraan ylöspäin. Itse valussa valetaan n. 150 – 250 mm kerrallaan ja betoni vibrataan hyvin. Muotti nousee pikkuhiljaa ylöspäin tunkkien avulla, paljastaen valettua



betonipintaa, joka hierretään lopulliseen pintaansa. Betonointinopeus on oltava vähintään 3 m/vrk, jotta liukuvalutekniikka toimii ongelmitta. Yleisesti valunopeus on 5 m/vrk.

Ilmastusaltaan väliseiniä tehtäessä liukuvalutekniikalla on huomioitava, että useampaa seinää pitää tehdä yhtä aikaa, jotta saadaan kustannustehokas toteutus. 8 metrin seinävalu on nopeasti tehty ja kalliit ammattimiehet seisovat lopun aikaa toimeettomina, ennen seuraavan muotin noston hetkeä.

Lisäksi liukuvalumuotin on noustava sen verran ylös, että viimeinenkin valupinta saadaan hierrettyä. Tämä johtaa siihen, että muottikaluston poistamiseen tarvittavan nosturin huippu on jo erittäin lähellä kallionpintaa.

Liukuvalussa on samat työturvallisuusriskit ja lainalaisuudet kuin normaaleja pakalla valurakenteita valettaessa. Valutekniikassa on huomioitava tilavaatimukset muotti- ja telinerakenteille, sekä nostokalustolle.

Liukuvalutekniikkaa voisi kuvitella toteutettavaksi, vain jos seinäkorkeus olisi huomattavasti korkeampi.

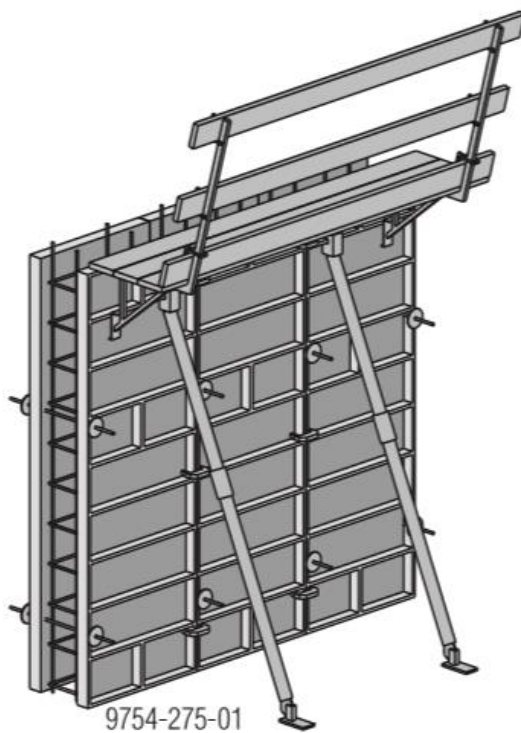
### 3.5 Paikalla valu

Paikalla valu on yksi mahdollisuus muiden ohella. Erilaisia muottimahdollisuuksia on nykypäivänä paljon. Oikeanlainen suunnittelu säästää materiaaleja sekä rakentamisvaiheen työtunteja. Se myös varmistaa kestävyuden, kun seiniin kohdistuva valupaine kasvaa korkean seinävalun vuoksi.

Paikalla valu-muotin voisi tehdä sahatavarasta, jolloin muotin muokkaaminen juuri halutunlaiseksi on helppoa. Sahatavara on myös halpaa muihin muottimateriaaleihin verrattuna. Mutta puumuotin tekeminen vaatii työntekijältä osaamista ja aikaa. Puumuottia ei kykene käyttämään useaan kertaan. Lisäksi korkean seinän paine vaatii suurta kestävyttä muotilta. Puusta tehty muotti rikkoontuu muotin purun aikana, joten muottitavaraa hukkaantuu suuria määriä ja rakennusjätettä tulee paljon.

Suurmuotti soveltuu isoihin kohteisiin, joissa on isot ja selkeät paikallavalurakenteet ja selvät käyttökerrat. Suurmuotti vaatii nosturin käyttöä, mutta niiden asentamiseen ei tarvita paljoa työvoimaa. Muottien runkona on teräslevy, joten niiden lujuus riittää ottamaan vastaan isoa valupainetta. Muotilla on myös mahdollista saada hyvänlaatuista betonipintaa, joka ei vaadi paljoa jälkityöstöä. [9.]

Paikalla valu muottina ahtaissa tiloissa olisi järkevintä käyttää järjestelmämuottia. Muotit ovat kevyitä ja helppoja käsitellä. Niitä on myös nopea pystyttää käsivoimin. Järjestelmämuotti koostuu eri kokoisista osista ja niiden kiinnityssysteemistä. [10.]



Kuva 21. Järjestelmämuotti [10.]

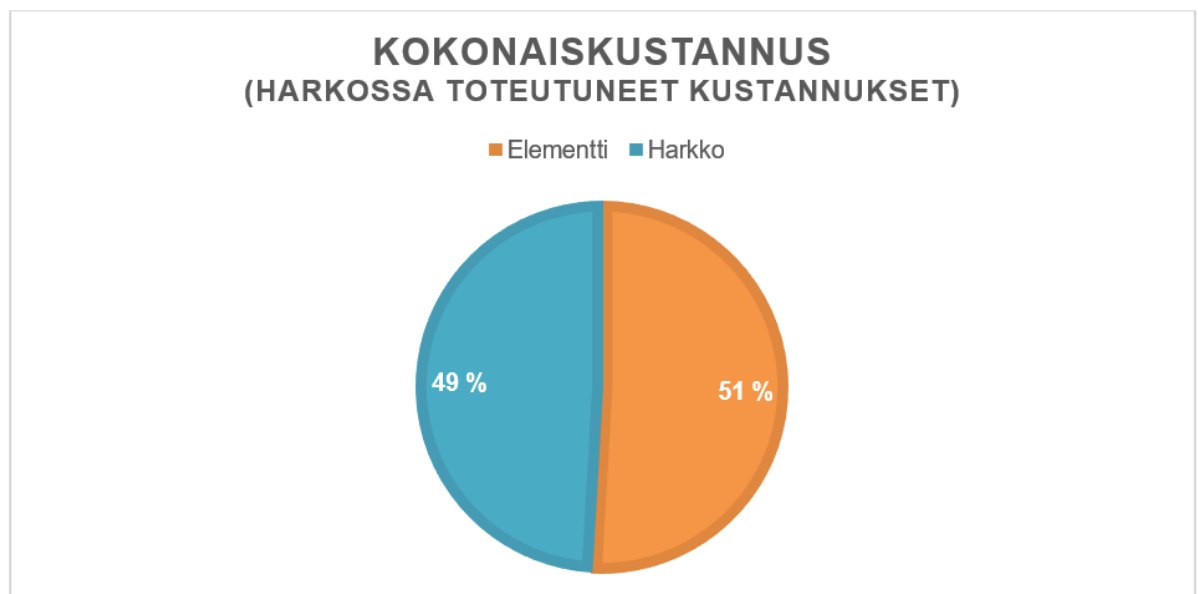
Muottiin kykenee myös kiinnittämään tarkoitukseen soveltuvat turvallisuus- ja asennusvarusteet. Kerran kasattua muottia ei tarvitse purkaa osiin, vaan kokonaisuuden voi siirtää seuraavaan tehtävään seinään. [10.]

## 4 Kustannusvertailu

Kustannusvertailuun on otettu vain elementti- ja harkkototeutus, koska näistä on kattavat materiaalit helposti saatavissa. Harkkotöitä on vielä 40% jäljellä, mutta kyetään jo ennustamaan, mitkä loppukustannukset tulevat olemaan. Ennustettu loppukustannus tulee olemaan vain 4% yli budjetoidun tavoitehinnan.

Kustannusten vertailusta jätettiin pois telineiden aiheuttama kustannus, koska toteutuneet kulut olivat kaksinkertaiset verrattuna laskentavaiheessa ennakoituun kustannukseen. Molemmilla toteutustavoilla kuitenkin olisi tarvittu yhtä lailla telineitä tai muuta henkilönostokalustoa.

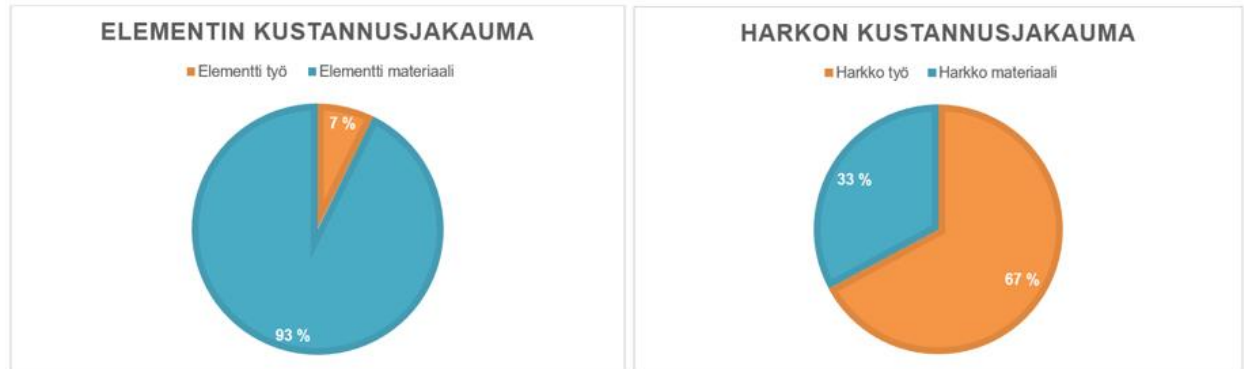
Lisäksi epätarkkuutta kustannusvertailuun tuo se, että elementtien hinta on tarjouslaskennan aikainen. Tarjous oli jätettävä erittäin lyhyen laskenta-ajan jälkeen, eikä kyetty tarpeeksi paneutumaan kaikkiin erikoisratkaisujen lisäkustannuksiin.



Kaavio 1. Ilmastusaltaiden seinien kokonaiskustannukset

Kaavion 1 prosentti määrät osoittavat, että tarjousvaiheessa laskettu elementti hinta-arvio on melkein sama, kuin ennustettu harkoilla tehtävä ratkaisu. Jos vertailuun lisättäisiin elementtitoteutuksen lisäkustannukset, voisi kustannusvertailu olla toisenlainen.

Elementtien ja harkkojen kustannukset jakautuvat eri tavalla. Elementeissä itse materiaali on kallista ja työn määrä vähäistä. Harkkoissa materiaali on halpaa, mutta vaatii erittäin paljon työvoiman käyttöä.



Kaavio 2. Elementtien ja harkkojen kustannusten jakautuminen

Elementit olisivat varmasti olleen nopeampia asentaa, mutta niiden vaatimat järjestelyt olisivat varmasti tuoneet lisää kustannuksia.

## 5 Yhteenveto

Vaikka monet kokivat harkoista toteutetun seinän hankalaksi ja kalliiksi vaihtoehdoksi, niin tämän työn valmistuessa koin harkkojen olevan kustannustehokas tapa toteuttaa ilmastusaltaan väliseiniä.

Jokaisessa työssä ilmenee omat ongelmat ja laskentavaiheessa on mahdotonta ottaa huomioon jokainen ongelmatilanne. Joten elementtien asentaminenkin olisi varmasti tuonut tuotantovaiheessa lisää kustannuksia.

Seuraavassa kohteessa on syytä paneutua telineiden toimivuuteen ja niiden kustannustehokkaaseen käyttöön.

## Lähteet

- 1 Luettu 6.2.2020. <https://www.yit.fi/infrapalvelut/laitosrakentaminen/vesihuoltorakentaminen>
- 2 Luettu 9.3.2020 [https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/blominmaki/Documents/Blominmaki\\_esite\\_A5\\_2019\\_web.pdf](https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/blominmaki/Documents/Blominmaki_esite_A5_2019_web.pdf)
- 3 Luettu 9.3.2020 <https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/toiminta>
- 4 Luettu 28.2.2020 <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/1d/1d6a1e2714fb32a487cba0f020ef3a713c82024f.pdf>
- 5 Luettu 25.3.2020 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030401.pdf>
- 6 Haastattelu 25.2 Työmaan prosessi projektipäällikkö Santeri Saarikko.
- 7 Luettu 3.4.2020 [www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-asennus](http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-asennus)
- 8 Luettu 10.4.2020 [http://www.hb.fi/media/pdf/valuanturaharkko\\_ohjeistus.www\\_.pdf](http://www.hb.fi/media/pdf/valuanturaharkko_ohjeistus.www_.pdf)
- 9 Luettu 11.4.2020 <https://www.doka.com/fi/system-groups/doka-climbing-systems/crane-lifted-climbing-formwork/climbing-formwork-mf240/index>
- 10 Luettu 14.4.2020 [https://www.doka.com/web/media/files/frami\\_FI\\_online.pdf](https://www.doka.com/web/media/files/frami_FI_online.pdf)

