



Valtteri Salaste

Kasuunirakenteiden vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

12.2.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Valtteri Salaste
Otsikko:	Kasuunien vertailu
Sivumäärä:	40 sivua + 0 liitettä
Aika:	12.2.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Infrarakentaminen
Ohjaajat:	Lehtori Anu Ilander Projektipäällikkö Jarno Ylönen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kasuunirakentamisesta aiheutuneita kustannuksia, sekä kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös kertoa lukijalle, mikä kasuuni on, miten kasuuni rakennetaan, mitä tulee huomioida kasuunin rakentamisessa ja suunnittelussa.

Opinnäytetyötä tehdessä kasuunit rakennettiin merihaansillan siltatyömaalla samalla dokumentoiden eri työvaiheita. Dokumentointiin kuului valokuvaamista työvaiheista, sekä syntyneiden kustannusten kirjaamista. Lopuksi kustannukset listattiin taulukoihin ja kahta saman kokoista kasuunia vertailtiin keskenään syntyneiden kustannusten perusteella. Kasuunit erosivat toisistaan käytettyjen työmenetelmien perusteella. Vertailun lopuksi työstä tehtiin yhteenveto. Yhteenvedossa pohdittiin, mitkä olivat vaikuttavia tekijöitä kustannusten eroihin.

Opinnäytetyön oppi perustui saatuun käytännön kokemukseen Merihaansillan sekä Finkensillan siltatyömailta. Opinnäytetyön tulokset voivat tarjota arvokasta tietoa ja dataa kasuunin rakentamisesta ja aiheutuvista kustannuksista, joista voi olla tulevaisuudessa hyötyä rakennusalan työntekijöille sekä suunnittelijoille. Opinnäytetyön tiilajana toimi YIT Infra oy.

Avainsanat: kasuuni, silta, kustannukset

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla

Abstract

Author: Valtteri Salaste
Title: Comparison of cofferdams
Number of Pages: 40 pages + 0 appendices
Date: 12 February 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Construction engineer
Professional Major: Infrastructure
Supervisors: Lecturer Anu Ilander
Project manager Jarno Ylönen

The purpose of this thesis was to investigate the costs associated with cofferdam construction, as well as the factors influencing these costs. The objective of the thesis was also to inform the reader about what a cofferdam is, how it is constructed, and what needs to be considered in cofferdam construction and design. During the thesis work, cofferdams were constructed at the Merihaka's bridge construction site, while documenting various stages of the process. Documentation included photographing the work phases and recording the incurred costs. Finally, the costs were listed in tables, and two cofferdams of the same size were compared based on the incurred costs. The cofferdams differed in terms of the work methods used. At the end of the comparison, a summary of the work was made, reflecting on the factors that influenced the cost differences.

The thesis was based on practical experience gained at the Merihaka's bridge and Finke's bridge construction sites. The results of the thesis can provide valuable information and data on cofferdam construction and associated costs, which may be beneficial for construction industry workers and designers in the future. The thesis was commissioned by YIT Infra Oy.

Keywords: Cofferdam, Bridge, costs

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	6
2	Rakentaminen vesistöjen äärellä	7
2.1	Kasuuni yleisesti	8
3	Kasuunien käyttö rakentamisessa	10
3.1	Ponttikasuuni	11
3.2	Työsillasta ripustettu kasuuni	13
3.3	Teräseinäinen kasuuni	14
3.4	Betonirumpu	15
4	Kasuunien suunnittelu	16
5.1	Kruunusillat-projekti	19
6	Kasuunin rakentaminen	19
6.1	Rakentaminen vaiheittain	21
7	Kasuunien kustannusvertailut	27
7.1	Kasuunien kustannukset	27
7.2	Kasuunin sijainnin vaikutus kustannuksiin	28
7.3	Kasuunin koko	29
8	Kasuunien vertailu	30
8.1	Toteutuneiden kustannusten vertailu	32
9	Yhteenveto	38
9.1	Pohdintaa	38
	Lähteet	39
	Liitteet	

Lyhenteet ja käsitteet

KKH: Kaivinkone

Korppuvalu: Betonivalu, jolla luodaan työtaso kasuunin pohjalle.

RM: Rakennusmies

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii YIT infra oy. Opinnäytetyön päämääränä on selventää kasuunien käsitettä, käyttötarkoituksia ja rakentamisprosessia perusteellisesti. Opinnäytetyössä käydään läpi, miten kasuuni rakennetaan, millaisia erilaisia kasuunityyppejä on olemassa ja missä tilanteissa niitä tarvitaan. Lisäksi työssä pyritään antamaan kattava kuva kasuunin rakentamisen kustannuksista ja työmenekistä, esimerkki kasuunien rakentamisen perusteella. Tarkoitus on antaa perusymmärrys kasuunien merkityksestä ja rakentamisprosessista. Työssä esitellään lisäksi Kruunusillat-hankkeella käytössä olleita kasuuneita sekä vertaillaan hankkeeseen kuuluvan Merihaansillan kasuunien rakennuskustannuksia.

Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään työnaikaisia kasuunirakenteita, joita käytetään paljon vesistö-rakentamisessa. Työ keskittyy erityisesti teräsrakenteisten kasuunien rakentamisesta aiheutuviin kustannuksiin ja työmenekkeihin. Pyrkimyksenä on tarkastella, mitä kustannuksia ja resursseja kuluu kasuunien rakentamiseen ja millaiset tekijät vaikuttavat näiden kustannusten muodostumiseen. Opinnäytetyössä pyritään antamaan kattava ymmärrys siitä, mitä kasuunien rakentaminen käytännössä vaatii.

YIT on suomalainen rakennusalan yritys, joka on osa YIT-konsernia. Yritys keskittyy infrarakentamiseen Suomessa ja Baltian maissa. Suomessa yritys lukeutuu suurimpiin toimijoihin rakennus-alalla. Yrityksellä on laaja osaaminen ja kokemus erilaisista infrahankkeista ja se on ollut mukana useissa Suomen suurimmissa hankkeissa. Yritys panostaa myös kestävään kehitykseen ja ympäristövastuullisuuteen osana toimintaansa. Se pyrkii edistämään kestävästä rakentamisesta ja vähentämään ympäristövaikutuksia projekteissaan muun muassa kehittämällä energiatehokkaita ratkaisuja ja hyödyntämällä uusiutuvia energialähteitä. YIT Infralla on Suomen mittakaavassa kohtalaisen suuri vesirakentamisen yksikkö, joka keskittyy vesistöjen ja niiden läheisyydessä rakentamiseen. Yksikössä keskitytään siltojen, satamien ja rantojen rakentamiseen.

2 Rakentaminen vesistöjen äärellä

Veden äärellä rakentaessa suurimpana ongelmana esiintyy veden pinnan alle rakennettavat rakenteet. Esimerkkeinä voidaan käyttää vaikkapa satamarakenteita sekä siltojen tukirakenteita ja perustuksia. Veden pinnan alle pitäisi saada tarvittavat materiaalit ja rakentajat toteuttamaan haluttu rakenne. Myös rakentamisen laadunvalvonta tulisi olla mahdollista. Vaihtoehtoja vesistöjen äärellä rakentamiseen on olemassa; esimerkiksi sukeltajat, erilaiset työkoneet kuten laullalla toimivat kaivinkoneet, merinosturit, proomut ja ponttikoneet.

Sukeltajia tarvitaan veden äärellä rakentamisessa monessakin asiassa:

- vedenalaiset hitsaustyöt
- vedenalaiset betonityöt ja raudoitukset
- vedessä tehtävät pienet aputyöt, kuten nostojen ohjaaminen ja nostokoukkujen irrotus.

Joissakin tapauksissa sukellustyöhön liittyy sietämättömiä riskejä ja siksi ennen sukellustöiden aloittamista, tulee aina selvittää työnaikaiset olosuhteet ja tehdä riskikartoitus työstä, sekä olosuhteista. (s2271.pdf (vaylapilvi.fi))

Sukeltajien kanssa muodostuu ongelmaksi se, ettei kaikkia veden alaisia rakenteita voi rakentaa pelkkien sukeltajien voimin, eikä rakentamisen laatuakaan voida kunnolla valvoa varsinkaan tapauksissa, joissa vesi on erityisen sameaa.

Työkoneiden ongelmaksi muodostuu nopeasti näkyvyys. Koneesta käsin on vaikea ja jopa mahdoton nähdä, mitä pinnan alla tapahtuu ja koneella ei myöskään ole mahdollista esimerkiksi asentaa raudoitteita pinnan alla. Koneella ei siis voida korvata kaikkea ihmisen tekemää työtä, vaikka niistä onkin apua työn toteuttamiseen.

Jos kaksi edellistä vaihtoehtoa ei yksinään toimi ratkaisuna ongelmaan, niin vaihtoehtoinen rakentamistapa on kasuuni. Kasuuni ei yksinään tarjoa menetelmää, jossa sukeltajia ja työkoneita ei tarvitse, mutta se vähentää molempien käyttötarvetta merkittävästi. Kasuuni on eräänlainen laatikko tai kaivanto, joka voidaan kasata kuivalla maalla ja nostaa veteen. Vaihtoehtoisesti kasuuni voidaan myös kasata vedessä tai toteutettavan kaivannon paikalla. Tällöin sukeltajia ja nostureita kuitenkin tarvitaan kasuunien rakentamisessa esimerkiksi, kun kasuunia kasataan tai lasketaan veteen.

2.1 Kasuuni yleisesti

Kasuuni, joka tunnetaan myös nimellä uppoarkku, on väliaikainen rakenteellinen järjestely, jota käytetään vedenalaisen rakentamisen yhteydessä. Kasuunin avulla luodaan kuiva tila vesistöön. Kasuuni siis toimii työtilana vesistö rakentamisessa. Se on ikään kuin tekosaari tai kaivanto vesistössä. Kasuunin avulla, esimerkiksi sillan välitukia, tai muita vesistön äärellä toteutettavia rakenteita, voidaan rakentaa kuivatyönä vedessä.

Kasuuni koostuu tiiviisti toisiinsa kiinnitetystä seinistä ja pohjasta, jotka luovat työskentely alueen ympärille vedenpitävän rakenteen. Seinät voidaan tehdä betonista, puusta tai teräksestä.

Kasuunin voisi kuvitella ikään, kuin kaivannon tukemisena, mutta vedessä toteutettuna. Sen seinät estävät veden pääsyn "kaivannon" sisälle samalla periaatteella, kuin kaivannon tukemiseen käytettävät seinät estävät maan sortumisen kaivantoon. Kasuuni voi toimia myös valumuottina vedessä tehtäville vakuille, joten erillisen muotin rakentaminen veteen kaikille rakenteille ei ole tarpeellista. Kasuuni mahdollistaa myös raudoittamisen vedessä kuivatyönä ennen valutöitä.

Kasuunin rakentaminen edellyttää huolellista suunnittelua (kuva 1) ja toteuttamista. Virheellinen suunnittelu tai toteutus johtaa veden pääsemisen kasuuniin, joka puolestaan aiheuttaa kasvaneita kustannuksia ja aikataulu viivästyksiä.

Kuvan 1 kasuuni on teräsponteista valmistettu. Se on tehty sillan välituen, sekä anturan toteuttamista varten.



3 Kasuunien käyttö rakentamisessa

Kasuuneja tarvitaan monenlaisissa rakentamis- tai korjausprojekteissa. Erityisesti tarve kasuuneille ilmenee, kun työskentelyn tulisi tapahtua vesistöissä, vesistön läheisyydessä tai muuten kosteissa ympäristöissä. Kasuunin käyttö voi olla tarpeellinen seuraavanlaisissa tilanteissa.

- Vesistösiltojen rakentaminen.

Kun rakennetaan siltoja, sillan pilareita tai sillan perustuksia. Näiden rakenteiden rakentaminen saattaa edellyttää veden pinnan ala puolelle tai vesistön läheisyyteen rakentamista. Tällöin kasuunia voidaan hyödyntää luomaan kuiva tila työn mahdollistamiseksi.

- Satamarakentaminen.

Satamarakentamisessa on aina tarve rakentaa vesistöön tai rannalle, esimerkiksi erilaisia laituri- ja satamarakenteita.

- Patojen ja vesivoimaloiden rakentaminen.

Padot ja vesivoimalat ovat myös monimutkaisia suuria vesistöihin rakennettavia rakenteita.

3.1 Erilaiset kasuunityypit

Kasuuneita on olemassa muutamia erityyppisiä. Minkälainen kasuuni tarvitaan, riippuu täysin siitä, millainen rakenne kasuunin sisällä täytyy rakentaa, sekä millaisessa paikassa kasuuni sijaitsee. Esimerkiksi:

- Ranta

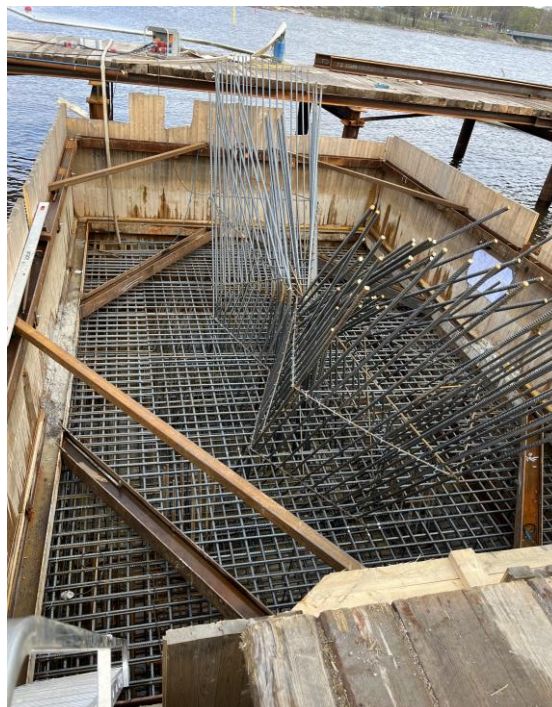
- Avoin vesistö

- Jokin muu vesistökohte.

3.1 Ponttikasuuni

Ponttikasuuni nimensä mukaisesti koostuu yhteen liitetystä ponteista. Ponttirakenteina käytetään yleensä teräspontteja tai puisia ponttilautoja (kuva 2, kuva 3). Näistä kahdesta jälkimmäinen on usein hieman paremmin vesitiivis, sillä puiset ponttilaudat turpoavat vedessä ollessaan, jolloin ne puristuvat kiinni toisiinsa luoden samalla todella tiiviin rakenteen.

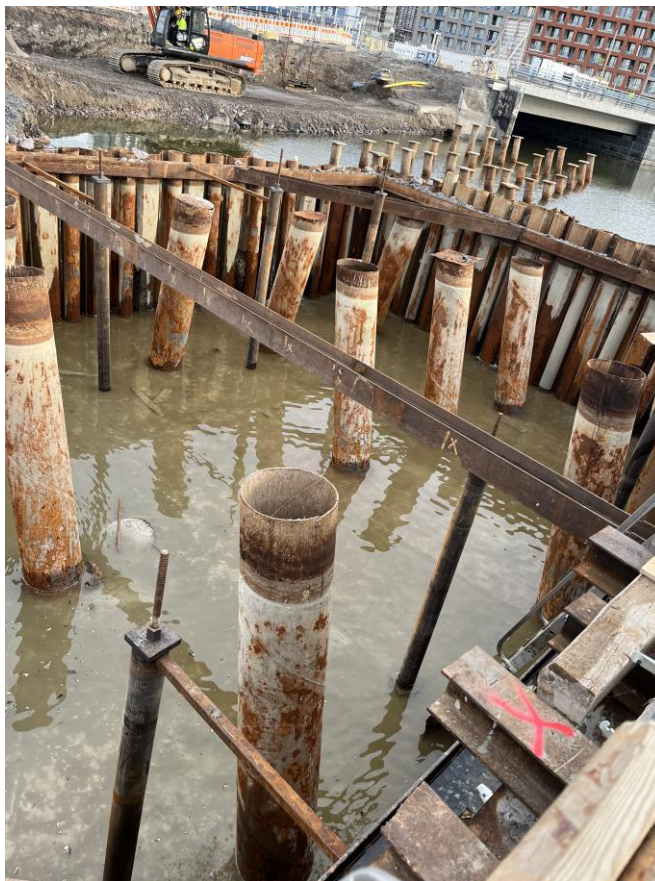
Mikäli rakenteeseen jää vuotokohtia, niin voidaan niitä tilkitä esimerkiksi sahanpurulla, hiekalla, kiiloilla ja räteillä. Rätti tarkoittaa tässä tapauksessa jonkinlaista kankaan tai muovin palasta, joka asennetaan vuotokohdan ulkopuolelle. Paine-ero kasuunin ja vesistön välillä imee rätin vuotokohtaan ja tiivistää sen. Muut materiaalit tilkitsemiseen toimivat samalla periaatteella.



Kuva 2. Puuponttikasuuni, Finkensilta

Yhdistelemällä teräspontteja toisiinsa kiinni laatikon muotoiseen asetelmaan saadaan aikaan kasuuni. Tämä ratkaisu on usein käytössä ranta-alueelle rakennettaessa tai matalissa vesistöissä. Rakentaessa pontit lyödään ensin kantaan pohjaan, jonka jälkeen ponttien yläosaan ja tarvittaessa keskelle ja alas rakennetaan solki tukemaan rakennetta. Solki asennetaan kasuunin sisälle ja se koostuu yleensä teräksisistä I-palkeista. Soljen tarkoitus on ottaa vastaan veden aiheuttama paine ja estää siten kasuunin hajoaminen.

Lopuksi ponttilaatikosta kaivetaan maa-aines pois, mikäli sitä on. Mikäli kasuuni on täynnä vettä, pumpataan se pois. Eriyisen syviin kaivantoihin, kuten vesistö-siltojen välitukien rakentamisessa, voidaan kasuunin ponttilaatikko kaivaa vaiheittain aina seuraavaan solkitasoon asti ja samoin vettä täynnä olevat ponttikasuunit voidaan tyhjentää aina solkitaso kerrallaan ja välissä uusi solki asennetaan kasuuniin tai kaivantoon.



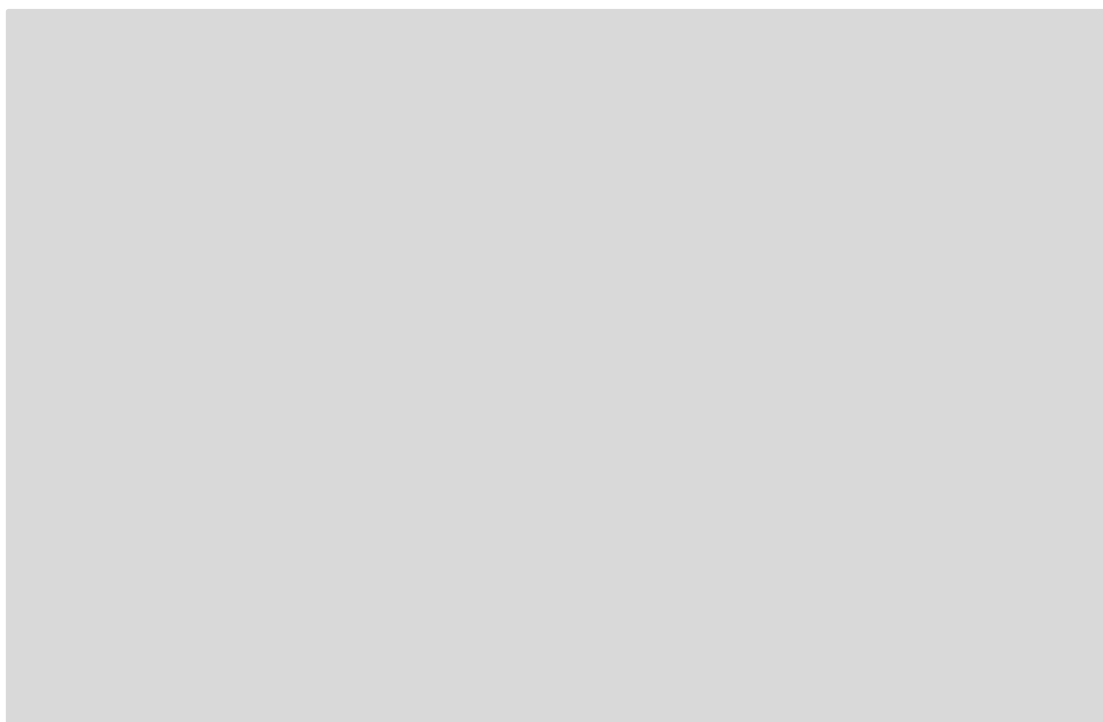
Kuva 3. Ponttikasuuni teräsponteista, Finkensilta

3.2 Työsillasta ripustettu kasuuni

Työsilta on yleisesti vesistösiltojen rakentamisessa käytetty rakenne, jota käytetään apuna siltojen rakentamiseen. Työsillan avulla rakennuspaikalle luodaan kiinteä alusta rakentamiselle. Työsillaa voidaan hyödyntää tehokkaasti kasuuni rakentamisessa, kiinnittämällä kasuuni työsillan. Työsillasta ripustettu kasuuni (kuva 4) voi olla rakennettu puusta tai teräksestä. Tämän mallinen kasuuni valitaan käyttöön yleensä, jos rakennuspaikalla vesistön pohjan syvyys on todella syvä. Nimityksenä voidaan käyttää myös välivesikasuunia. Tämä kasuunimalli eroaa muista siten, että siinä on kasuunin seinien lisäksi myös pohja, joka ei ulotu vesistön pohjaan asti. Vaikka ripustetussa kasuunissa on erillinen pohja, tehdään silti pohjaksi myös työbetoni-/korppuvalu. Tämä varmistaa kasuunin vesitiiveyden ja kantaa raskaatkin valutyöt.

Ripustettuun kasuuniin kohdistuu veden aiheuttama noste. Periaate on sama, kun laivan kellumisessa. kasuunin kelluminen estetään ankkuroimalla se kiinni työsillan ja työsillan paaluihin.

Kasuunin sisäpuolisten kuormien kasvaessa tarvitaan myös kannattelua, jotta kasuuni ei uppoa pohjaan asti. Kasuuni voidaan tukea silloin esimerkiksi työsillan paaluihin, kun kasuuni lasketaan veteen. Veteen laskettaessa kasuuni ei ole vielä tiivis, mikä tarkoittaa, että se ei ole tyhjä, joten se uppoaa.



3.3 Teräseinäinen kasuuni

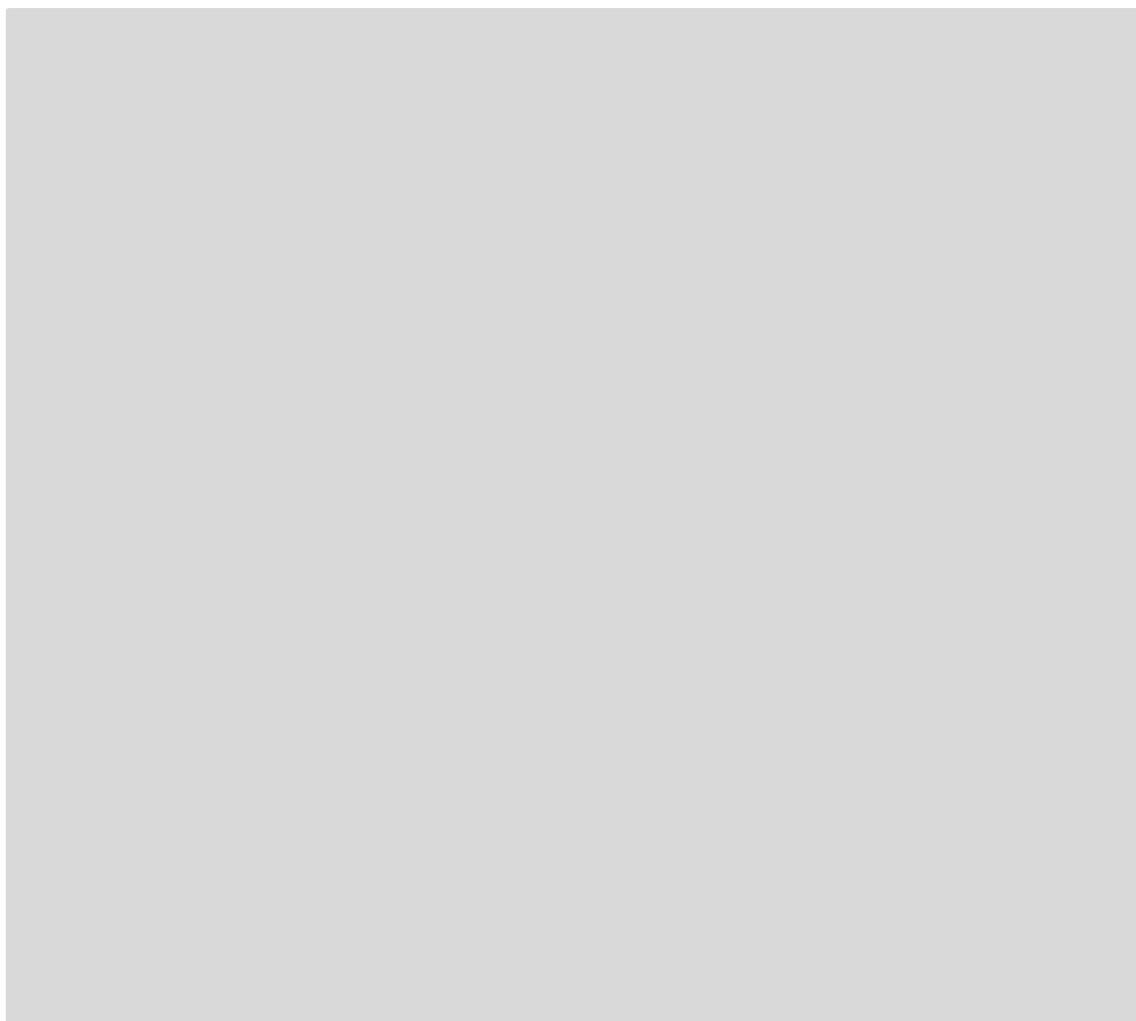
Teräseinäinen kasuuni (Kuva 5) rakennetaan teräslevyistä ja tuetaan/vahvistetaan teräspalkeilla. Teräseinäinen kasuuni kestää suuria kuormia ja se soveltuu hyvin suuriin kasuuneihin. Teräslevyjen saumat saadaan myös hitsaamalla täysin vesitiiviiksi, joten tällainen kasuuni on myös hyvin tiivis. Lisäksi tallainen kasuuni voidaan riittävän tiheällä tuennalla rakentaa todella syväksi. Alla olevassa esimerkkikuvassa 5 kasuuni on noin 8 metriä syvä. Teräskasuuneita on käytetty mm. Kruunuvuorensillan työmaalla sekä samoja kasuuneita on myöhemmin kierrätetty Merihaansillan työmaalla.



Kuva 5. Teräseinäinen kasuuni, Kruunuvuorensilta

3.4 Betonirumpu

Mikäli veteen rakennettava rakenne on erityisen pienikokoinen, esimerkiksi ka-
pea sillan pilari, riittää kasuuniksi pelkkä teräs tai betonirumpu (kuva 6). Tällai-
sen kasuunin tukemiseen tai ripustamiseen ei tarvita erityisiä toimenpiteitä, joh-
tuen sen pienestä koosta, usein pelkkä paikalleen tukeminen riittää.



4 Kasuunien suunnittelu

Kasuunin suunnittelu ei ole helppoa, sillä kasuuniin vaikuttaa paljon eri suunnista tulevia voimia, jotka pyrkivät liikuttamaan tai rikkomaan kasuunin. Suunnittelussa täytyy myös huomioida muita rakenteita, sillä jotkut kasuunit kiinnitetään esimerkiksi työsiltaan.

Kun kasuuneita suunnitellaan, tulee kiinnittää huomiota kuormiin, jotka vaikuttavat kasuuniin. Kasuuniin kohdistuvien kuormien suuruus myös vaihtelee eri vuorokauden aikoina ja vuoden aikoina, veden pinnan vaihtelun vuoksi. Talvi tuo kasuunien suunnitteluun omat haasteensa, mikäli kasuunirakenteen ympäröimä vesistö jäätyy. Jää aiheuttaa kasuunin seiniin erityisen suuret kuormat, jotka on

otettava suunnittelussa huomioon. Kasuuneihin kohdistuvista kuormista merkittävin lienee, veden aiheuttama noste. Mitä suurempi ja syvempi kasuuni on, sitä suurempi noste myös on. Noste kumotaan suunnittelemalla kasuunin pohjaan ankkurit, jotka kiinnittyvät kallioon. Ankkureiden tehtävänä on vetää kasuunia alaspäin ja kumota noste.

vaakakuormat

- Veden ja maan aiheuttama paine kaava 1.

$$p = \rho gh \quad (1)$$

p = Paine

ρ = Nesteen tiheys

g = Putoamiskiihtyvyys

h = Korkeus

- Virtauksien aiheuttama paine
- jään aiheuttamat kuormat

Pystykuormat

Kasuuniin kohdistuvan nosteen suuruus kaava 2.

$$N = \rho Vg \quad (2)$$

V = Tilavuus

Esimerkki laskelma kaava 3.

$$h * L1 * L2 = Vm^3 \quad (3)$$

L = Pituus

$$4.2 \text{ m} * 2.24 \text{ m} * 8.76 \text{ m} = 82.4\text{m}^3$$

$$1000 \text{ kg/m}^3 * 82.4\text{m}^3 * 9.81 \text{ m/S}^2 = 809\text{kN}$$

Paalujen paino voidaan laskea seuraavilla kaavoilla 4. 2. ja 5.

$$V = \pi r^2 L \quad (4)$$

$$N = \rho V g \quad (2)$$

$$m_v = \frac{N}{g} \quad (5)$$

m_v = Kappaleen massa vedessä

N = Noste

Käytetään abstraktia esimerkkiä, jossa kasuunin kaikkien materiaalien yhteenlaskettu paino on 600kN. Kasuuniin kohdistuva veden aiheuttama noste on 809kN. Jotta kasuuni pysyy vedessä halutulla paikalla, täytyy noste kumota mm. kallioankkureilla tai kasvattamalla kasuunin painoa. (Geotekninen suunnittelu – NCCI 7)

- Kasuunin oma paino 200kN
- muut rakenteet 400kN

- Kasuunin kumottava noste vaikutus kaava 6.

$$809\text{kN} - 600\text{kN} = 209\text{kN} \quad (6)$$

Kasuunin suunnittelussa tarkastellaan siis kaikkia edellä mainittuja muuttujia. Lisäksi kasuunin rakenteen suunnittelussa täytyy huomioida kasuunin sisäinen tilantarve.

5.1 Kruunusillat-projekti

Kruunusillat projektissa, johon kuuluu 2 erilaista siltahanketta (Kruunusillat siltaurakka, sekä Kruunusillat Allianssi, jotka käsittävät Kruunuvuorensilta, Finkensilta, Merihaansilta ja Hakaniemensilta), kasuuneita rakennettiin edellä mainituilla tavoilla teräs- ja puuponteista, sekä teräslevyistä ja palkeista. Kasuunit olivat kohteessa suurikokoisia, johtuen siltojen erityisen suurista perustuksista. Etenkin suurimman sillan, eli Kruunuvuorensillan perustusten kokoluokka oli noin $160\text{ m}^2 * 4\text{ m}$. Molemmilla hankkeilla rakennettiin yhteensä noin 30 kasuunia. Hankkeilla kasuunit tukeutuivat erilaisille perustuksille, joita olivat mm. teräsputkipaalut ja maanvaraiset perustukset (maatukien osuudet).

Kasuuneita rakennettiin projektissa kahdella eri tavalla, kasaamalla ne meressä sukellustyönä, sekä rakentamalla kasuunit kuivatyönä ja nostettuna kokonaisuutena mereen.

6 Kasuunin rakentaminen

Erityyppisten kasuunien rakentaminen eroaa toisistaan merkittävästi. Myös kasuunin rakentamiseen vaikuttaa kasuunin sijainti, sekä kasuunin rakenne. Kasuuneille on laissa asetettu tiettyjä vaatimuksia turvallisuuteen ja laatuun liittyen. Vaatimukset määrätään laissa (*Asetus turvallisuutta ja terveyttä rakentamisessa koskevan yleissopimuksen voimaansaattamisesta 68/1997/Artikla 20.*)

(Lain mukaan jokaisen uppoarkun tulee olla:

a) hyvin konstruoitu sekä sopivasta ja luotettavasta raaka-aineesta valmistettu ja riittävän lujatekoinen;

b) varustettu tarkoitustaan vastaavilla välineillä, jotta työntekijät pääsevät turvaan veden tai muun aineen syöksyessä sisään

2. Arkkupadon tai uppoarkun rakentamisen, paikalleen sijoittamisen, muuntelemisen tai purkamisen on tapahduttava pätevän henkilön välittömässä valvonnassa.

3. Pätevän henkilön on tarkastettava jokainen arkkupato ja uppoarkku määrätyin väliajoin.)

Muutamia toimivia tapoja kasuunin rakentamiselle on ensin valmistaa kasuuniin vaadittavat elementit. Elementit ovat sitten nostettavissa suoraan veteen ja ne voidaan kiinnittää toisiinsa. Toisena menetelmänä kasuuni voidaan myös rakentaa kokonaiseksi kuivalla maalla, jolloin se nostetaan kokonaisena veteen. Kasuunille tehdään lopuksi betonista pohja. Pohja valetaan vedenalaisena valuna, kun seinät ja pohjan tukirakenteet ovat vedessä.

Seuraava vaihe on kasuunin tukeminen. Tukeminen tapahtuu teräspalkeista valmistetuista solkien ja poikittaispalkkien avulla. Palkit asennetaan kasuunin sisälle, reunoille, sekä seinien väliin ottamaan vastaan rakenteen ulkopuolelta tuleva veden tai maan paine. Kasuunit tuetaan myös pystysuunnassa esimerkiksi ankkuroimalla työsiltaan asentamalla kannattimia kasuunin alapuolelle.

Kasuunin tukemisen jälkeen voidaan asentaa varsinaisen rakenteen perustukset. Tämä vaihe tehdään ennen kasuuniin pohjan viimeistelyä. Perustukset ovat usein paaluja, etenkin vesistöalueella, jotka porataan tai lyödään kasuuni pohjan läpi maahan. Paalujen asentamisen jälkeen kasuunin pohja viimeistellään betonoimalla.

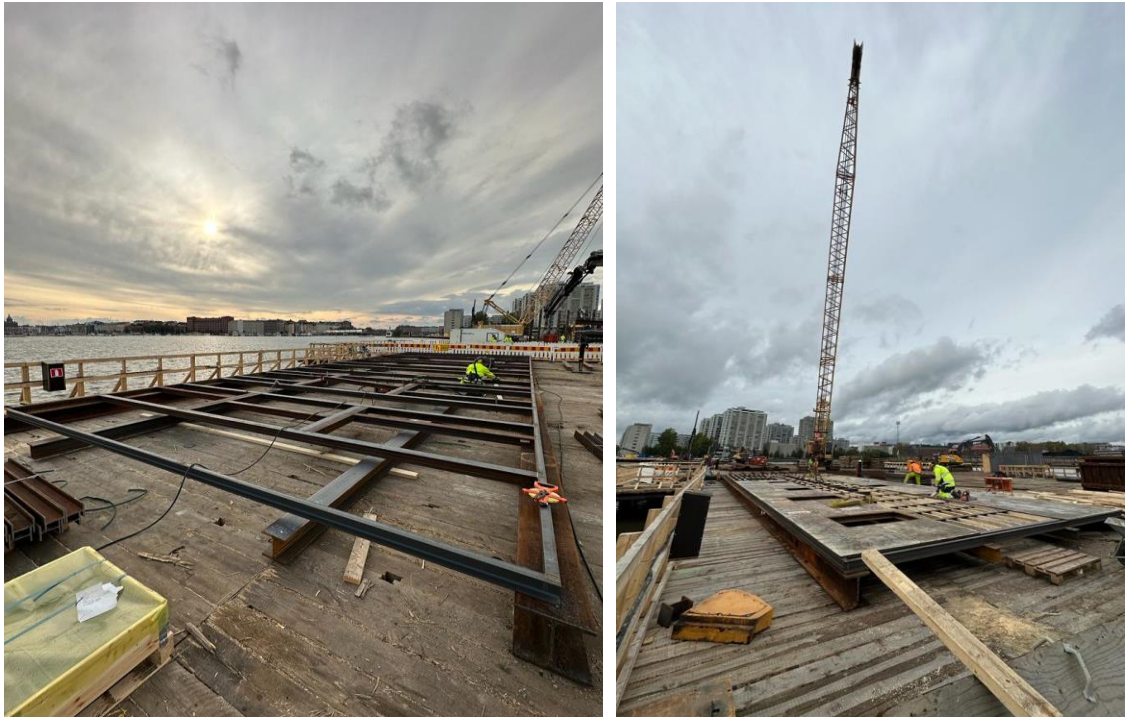
Erilaisten kasuunien rakentamiseen vaaditaan myös erilaisia työkoneita. Työkoneiden suuri koko aiheuttaa myös haasteita rakentamiseen suuren koon ja painon vuoksi. Esimerkkinä voisi käyttää tilannetta, jossa kasuuni joudutaan siirtämään paikalleen veteen työsiltaa hyödyntäen, tällöin myös työsillan kantavuus tulee varmistaa.

Kasuunin rakentamistapaa valittaessa kannattaa huomioida kasuunin sisällä toteutettavat rakenteet, sillä niillä voi olla suurikin merkitys siihen kanttaako kasuunin seinät asentaa vedessä vai kuivalla maalla. Tästä hyvä esimerkki on perustamistapa. Mikäli kasuuni on kokonaisena seinien kanssa vedessä ja kasuuniin tuleva rakenne perustetaan esimerkiksi paalujen varaan, on paalutusmenetelmällä merkitys kasuunin rakentamiseen. Jos varsinainen rakenne perustetaan kallioon porattavien teräsputkipaalujen varaan, ei kasuuniin kannata asentaa seiniä poraamisen aiheuttaman kuonan vuoksi.

6.1 Rakentaminen vaiheittain

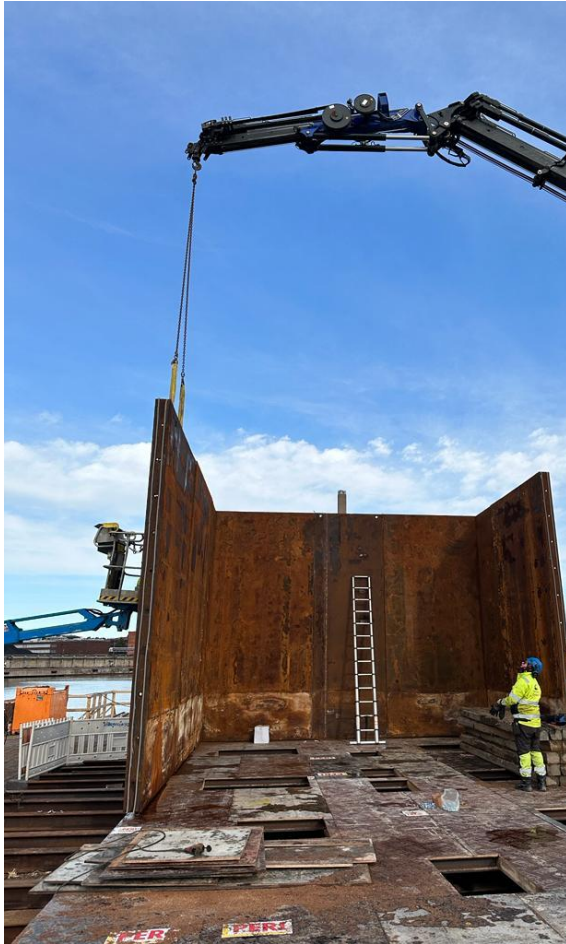
Kasuunin rakentaminen kuivatyönä. Tämä on kasuunin rakentamisen kannalta helpompi tapa, mutta nostotyön kannalta haastava, sillä kasuuni täytyy saada ohjattua juuri oikeaan paikkaan. Oikean paikan löytäminen kasuunille on vaikeaa johtuen vedessä olevista virtauksista, jotka liikuttavat vedessä olevaa kasuunia.

Kasuunin rungon rakentamisen kuivatyönä aloitetaan pohjan rakentamisesta. Pohja kasataan esimerkiksi teräspalkeista tai puusta. Pohjaa ei tässä vaiheessa vielä betonoida. Pohja koostuu yhteen hitsatuista teräspalkeista (7a). Teräspalkkien sijoittelussa huomioidaan esimerkiksi sillan välituen paalujen aukot. Palkeista rakennettu pohja ummistetaan vanerilla (7b) tai teräslevyillä. Mikäli kasuuniin pohja rakennetaan maanvaraisesti, riittää kasuunin betonipohjalle pelkkä mursketasaus.



Kuva 7. a) Kasuunin pohjapalkisto 7. b) Kasuunin pohja, Merihaansilta.

Kun kasuunin pohja (kuvat 7 a ja b) on kasattu, voidaan pohja nostaa sellaiseen veteen. Kasuuniin voidaan kuitenkin asentaa myös seinät ennen veteen nostamista. Seinien asentaminen ennen nostoa vähentää sukellustyötä. Kuvassa (7ab) näkyvä pohja T14 nostettiin veteen ilman seiiniä. Ongelmaksi muodostui pohjan oikean sijainnin löytäminen. Ongelmat johtuivat vinoista työsillan paaluista, joiden oli määrä tulla kasuunin pohjaan tehdyistä rei'istä läpi. reikien ja paalujen vinoudesta aiheutui se, ettei kasuuni laskeutunut pystysuorasti alas. Ongelma jouduttiin lopuksi ratkaisemaan laajentamalla reikiä merkittävästi.



Kuva 8. Kasuunien seinien asennus

Kun kasuunin seinät on asennettu (kuva 8), voidaan kasuuni nostaa veteen. Kasuuni voi olla hyvinkin painava, joten nostot ovat siksi usein haastavia. Kokonaisuena nostettaessa, on tärkeä asemoida kasuuni oikeaan kohtaan, sillä jälkikäteen tämä on hyvin hankalaa. Kuvassa 8 asennetaan Merihaansillan tuen 17 kasuunin seiniä. Seinien asennuksen yhteydessä saumoihin asennetaan tiivisteet, jotta kasuunista saadaan mahdollisimman tiivis. Kyseinen kasuuni nostettiin mereen onnistuneesti kokonaisuena, kahdella nosturilla yhtäaikaisesti. Kokonaisuena nostettaessa tavoitteena oli säästää sukellus kustannuksissa, josta seurasi kuivana tehtävien töiden määrän kasvu.



Kuva 9. Kasuunin nosto, vaihe 1, Merihaansilta.

Kasuunia nostaessa on syytä pyrkiä välttämään ylimääräisiä liikkeitä. Yksin ker-
taisin tapa nostaa kasuuni paikalleen, on pyrkiä vain pystysuoraan liikkeeseen,
joka mahdollistetaan esimerkiksi työsillan avulla. Esimerkkitapauksissa kasuu-
nin alle on aseteltu suoria palkkeja kannattelemaan kasuunia ennen nostoa.
Kun kasuuni nostetaan, palkit vedetään kasuunin alta pois ja kasuuni voidaan
laskea pystysuoralla liikkeellä veteen. Kasuunin nostotyön yhteydessä voidaan
myös nostaa esimerkiksi sillan tuen peruslaatan raudoitus kasuunin mukana.
Tällöin myös raudoittaminen voidaan suorittaa kuivalla maalla (kuvat 10 ja 11).

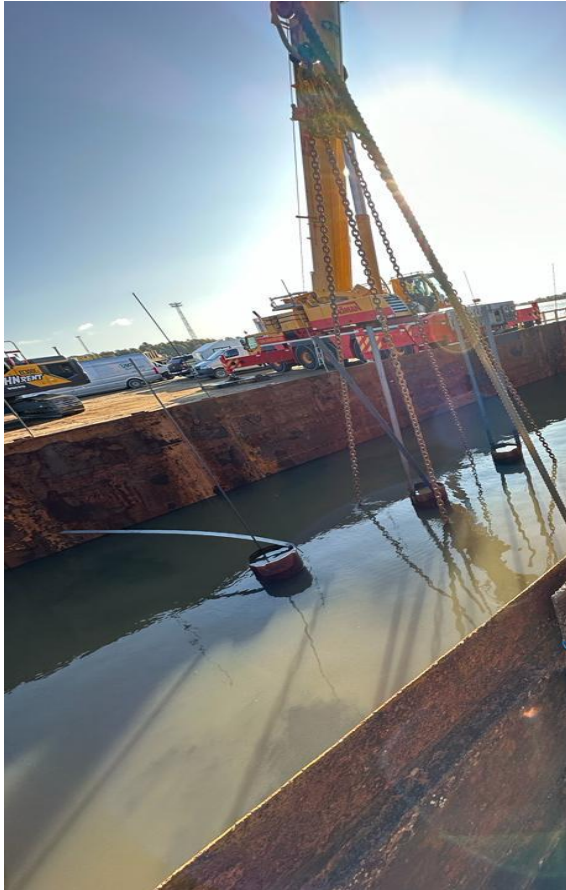


Kuva 10. a) Kasuunin nosto (vaihe 2) b) työsillan purku kasuunin alta. Finkensilta.

Kuvassa työsillaa puretaan kasuunin alta. Kuvassa 11 a ja b) kasuunista pilkottaa sillan maatuen raudotteita. Kuvassa näkyvään kasuuniin ei rakennettu erillistä pohjaa, lukuun ottamatta nostopalkkeja. Kasuunin alle oli ennen työsillan rakentamista tasattu murskepeti.

Kuva 10 b. Kasuunin nosto, vaihe 2

Lopuksi kasuuni lasketaan veteen ja kasuunille haetaan oikea korko, sekä sijainti. Ennen nostoa pohjaan on tasattu peti kasuunille, jotta se saadaan suoraksi (Kuva 10 a ja b) (Kuva 11 a ja b).



Kuva 8. Kasuunin nosto veteen.

Kun kasuuni on kokonaisena vedessä, on sen tyhjentämisen edellytyksenä vesitiiviit ympäröivät seinät,

sekä pohja. Kasuunille valetaan pohja betonista, niin sanottu ”korp-pubetoni” joka mahdollistaa kasuunin tyhjentämisen vedestä. Betonin raudoitteen teko ja betonivalu tehdään vedenalaisena työnä. Vedenalaisissa betonoinneissa tulee betonin lujuusluokaksi valita vähintään 5MPa suunniteltua lujuutta suurempi arvo. (s2271.pdf (vaylapilvi.fi)) Kun betoni on saavuttanut 80 prosenttia nimellislujuudesta, voidaan kasuuni pumpata tyhjäksi. Betonointi vedenalaisena työnä on haastavaa huonon näkyvyyden vuoksi. Yhdeksi ongelmaksi muodostuu usein betonipinnan tasaisuus- ja korkovääristymät. Mikäli työbetonin pinta jää liian korkealle, vaikuttaa se suoraan anturan alapinnan korkoon. Ongelmia voi tulla myös työbetonin valun aikana, mikäli kasuunin pohjaan on jäänyt vuotokohtia. Tällöin betoni pääsee karkaamaan muotista.

7 Kasuunien kustannusvertailut

Vertaillessa kasuunien kustannuksia tulee kiinnittää huomiota moniin eri muuttujiin mm. kasuunirakenteen materiaalikustannuksiin, joihin vaikuttaa erityisesti kasuunin koko. Kasuunin sijainti vaikuttaa erityisesti siirtoihin, rakentamisen ja perustamisen kustannuksiin. Lisäksi muuttujina huomioidaan kasuunin käyttötarkoitus ja materiaalien kierrättäminen. Edellä mainituista jokainen on kytköksissä jollakin tapaa toisiinsa. Näiden erilaisissa hankkeissa muuttuvien tekijöiden osalta tehdään vertailevia laskelmia ja valikoidaan jokaiseen tilanteeseen sopivin kasuunirakenne.

7.1 Kasuunien kustannukset

Kasuunien rakentamisessa kustannuksia syntyy kasuunin rakentamiseen käytettävistä materiaaleista sekä kasuunin rakentamisesta koituvista työkustannuksista. Kasuunien kustannukset määräytyvät suurimmilta osin kasuunin koon, materiaalin, sijainnin ja työryhmien kustannusten mukaan. Kasuunin koko ja sitä kautta materiaali vaikuttavat yhdessä suoraan kustannuksiin.

Kasuuneihin käytettävistä materiaaleista kallein on teräs. Kun kasuunin koko suurenee riittävästi, on materiaalista käytännöllisin kuitenkin teräs. Teräs rakenteinen kasuuni voi olla kuitenkin käytön jälkeen kierrätettävissä, joten rakenteeseen kuluneet kustannukset tällöin pienenevät jonkin verran. Toinen suuri kustannusten aiheuttaja on työryhmien kustannukset, joista suurimmat koituvat usein sukellustyöstä. Sukellustyö on myös työnjohtamisen kannalta ongelmallinen haastavan kontrolloinnin takia. Työtä voidaan yrittää seurata sukeltajien mukana olevilla kameroilla ja mikrofoneilla. Lähtökohtaisesti kuitenkin aina työnjohto on vain sukeltajien sanan varassa, sillä suomen olosuhteissa näkyvyys vedessä on huono.

Kustannusten vaihtelu taas on usein selitettävissä työryhmien toiminnalla, materiaalien hinnan muutoksilla, sekä erilaisilla muuttujilla, joilla tarkoitetaan työn tekemisessä ilmeneviä yllättäviä ongelmia. Työmenetelmien valinnalla voidaan

myös vaikuttaa kasuunin rakentamisesta aiheutuviin kustannuksiin. Kasuunin kustannuksiin vaikuttaa myös olosuhteet kasuunin ympärillä. Kasuunin pystyttäminen keskellä vesistöä on haastavampaa, kuin ranta-alueella ja rannan läheisyydessä.

7.2 Kasuunin sijainnin vaikutus kustannuksiin

Kasuunin teknisiin ominaisuuksiin pureuduttaessa, kannattaa huomioida kasuunin ympärillä vallitsevia olosuhteita. Näitä ovat:

- Vesistön syvyys
- Nousu- ja laskuvesi
- Lämpötila
- Vesistön jäätyminen
- Virtaukset ja aallot
- Maaperän laatu
- Kallion pinta ja laatu.

Nämä ympäristön aiheuttamat kuormat tulee huomioida jo kasuunia suunniteltaessa, jotta rakenteesta saadaan riittävän kestävä. Nämä tekijät yleensä lisäävät kasuunin tuentaan käytettäviä materiaali määriä ja siten lisäävät kustannuksia.

Sijainnilla ei ole pelkästään vaikutusta kasuunin toimintaan tietyssä ympäristössä, sillä kasuunin rakentamiseen vaikuttaa merkittävästi kasuunin ympäristö. Ympäröivät olosuhteet voivat tehdä rakentamisesta hyvinkin hankalaa. Sijainninvaikutus kustannuksiin on myös merkittävä. Maaperän kantavuus, sekä laatu voivat vaihdella paikan mukaan paljonkin ja siksi se tulee huomioida kasuunia suunnitellessa. Maaperän laatu tulee huomioida erityisesti; jos kasuuni

rakennetaan sellaiseen paikkaan, jossa sen pohja on kosketuksissa maaperään. Myös kasuunin ankkuroinnissa kallion laadulla ja sen syvyydellä on merkitystä. Joissakin tapauksissa kasuunin perustamispaikalla joudutaan jopa louhimaan kalliota.

Maaperä- ja pohjaolosuhteiden lisäksi kasuunin sijainnin vaikutuksia ovat veden syvyys ja virtaukset. Syvässä virtaavassa paikassa kasuunilta vaaditaan vahvoja ja kestäviä rakenteita. Usein rakenteiden vahvistus tarkoittaa suurempaa materiaali ja työ menekkiä, joka johtaa kustannusten nousuun.

Kasuunin sijainnin saavutettavuus luo paljon kustannuksia kasuunien rakentamiseen. Mikäli kasuuni sijaitsee vaikeapääsyisellä alueella esimerkiksi vesistön keskellä tai syrjäisellä alueella, on rakentamiseen tarvittavien koneiden materiaalien kuljettaminen rakennuspaikalle kallista. Vesistön keskellä rakennettaessa ratkaisuna on usein työsilta.

Mikäli kasuuni rakennetaan paikalle, jossa on kovia virtauksia tai paljon vene/laiva liikennettä tulee virtaukset ja aallot huomioida kasuunia suunniteltaessa. Tällaisissa paikoissa kasuunia joudutaan mitoittamaan suuremille kuormille. Lisäksi vesistön jäätyminen luo kasuunille suuria kuormia, sillä jäälautat puristavat kasuunia jokaisesta suunnasta.

7.3 Kasuunin koko

Kun suunnitellaan kasuunin rakentamista, tarvittavan tilavuuden määrittely ei usein ole suoranaisesti rakentajan päätettävissä. Kasuunin sisään rakennettavan rakenteen koko ja tilantarve ovat ne tekijät, jotka loppujen lopuksi määräävät kasuunin tarvitseman tilavuuden. Rakentajan tehtävänä on varmistaa, että kasuunin tilavuus ja mitoitus vastaavat rakenteen vaatimuksia ja mahdollistavat työskentelyn sujuvan suunnittelun ja toteutuksen aikana.

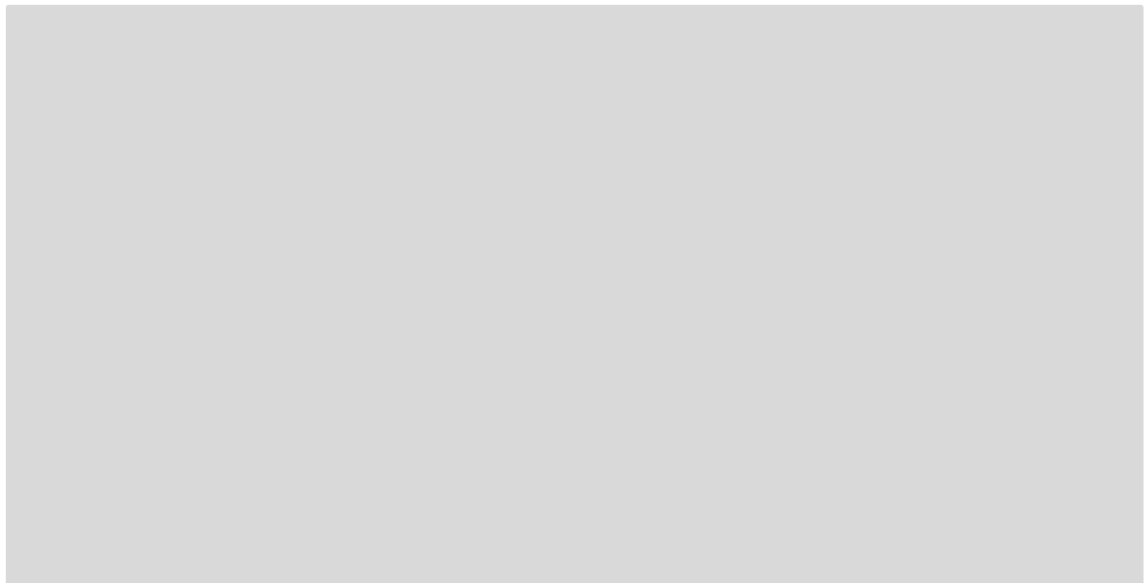
Kasuunin tilavuuden riittävyden varmistaminen on olennainen osa rakennusprosessia, ja se vaatii huolellista suunnittelua ja arviointia. Suunnittelijan on

otettava huomioon useita tekijöitä, kuten rakenteen koko ja muoto, tarvittavat työtilat ja mahdolliset turvallisuusmääräykset, jotta kasuunin tilavuus vastaa projektin tarpeita ja vaatimuksia.

8 Kasuunien vertailu

Tässä työssä vertaillaan kahden eri kasuunin toteutuskustannuksia erilaisten toteutusvaihtoehdon osalta. Kasuunit on toteutettu Kruunusillan allianssin Merihaansillan työmaalla ja ne on tehty kahden eri välituen (T14, T17) rakentamista varten. Tavoitteena vertailussa on tutkia kahta eri tapaa rakentaa kasuuni ja niiden eri tekijöiden vaikutuksia toteutukseen ja kustannuksiin.

Vertailussa kiinnitetään huomiota erityisesti kustannuksiin ja rakenteen mahdollisimman helppoon toteuttamiseen. Kiinnitetään myös huomiota ongelmiin ja niiden juurisyihin. Kasuunien suurin eroavaisuus toisistaan on seinän rakenne, sillä T17 kasuunissa on käytetty Kruunuvuorensillan kasuunien seinäelementtejä. Kasuunien sisäpuolelle tulevat rakenteet ovat lähes identtisiä. Toinen tuista T17 on kiinteä ja toinen T14 laakeroitu.

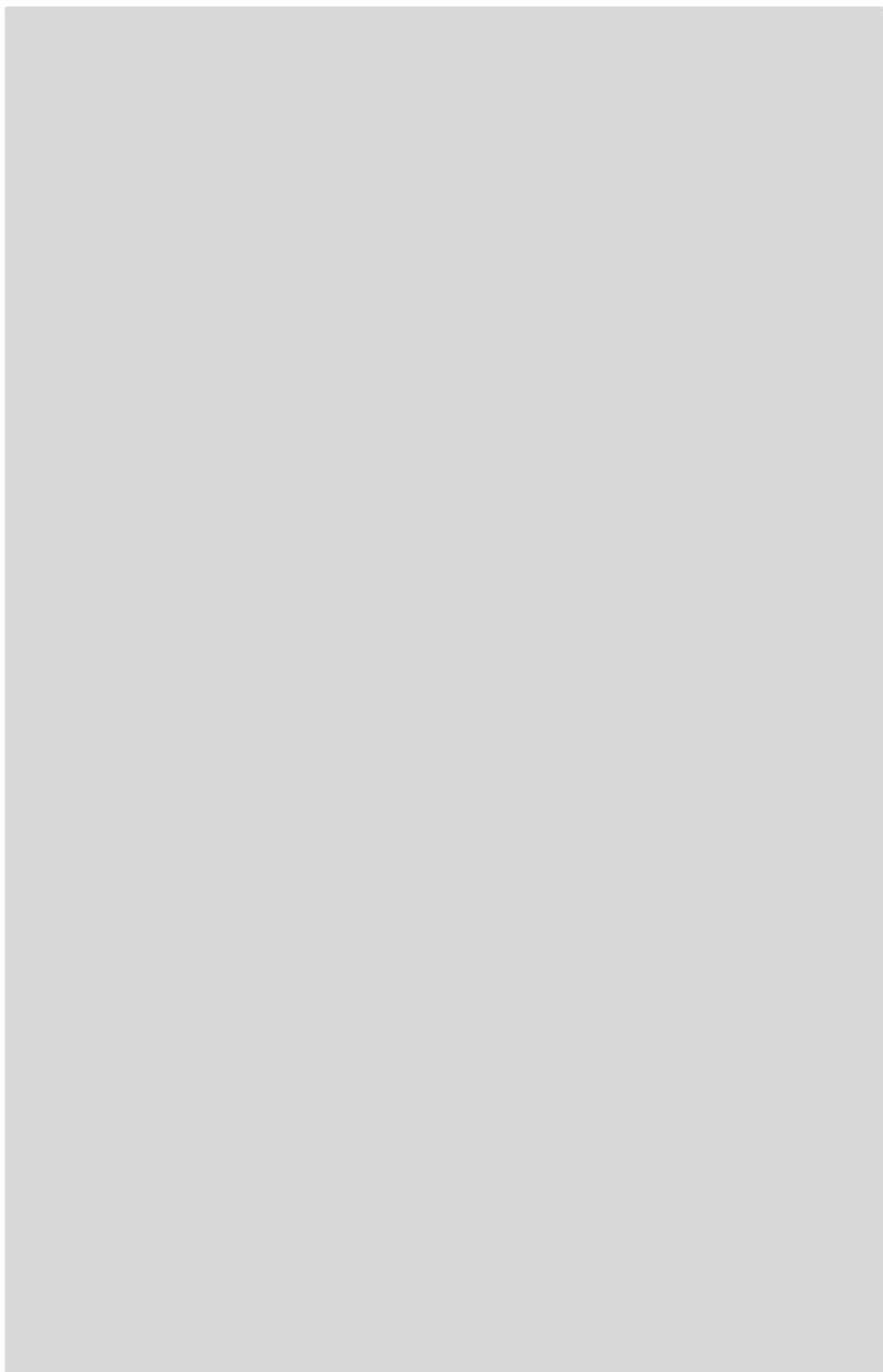


Kohteeseen on suunniteltu teräskasunit. T17 rakennettiin työsillalla ja se nostettiin kahdella nosturilla veteen. T14 Nostettiin veteen osissa ja se kasattiin sukellustyönä vedessä. T17 kasuunissa käytettiin kierrätettäviä seiniä, jotka vaativat muokkaamista. T14 kasuuniin rakennettiin uudet seinät. Käytettävän rakenteen on suunnitellut rakennesuunnittelija, joka toimi rakenteen soveltuvuuden arvioijana. Molemmissa kasuuneissa pohjaolosuhteet, sekä perustamissyvyys olivat samankaltaisia. Merihaansillan välituet T17 ja T14 perustettiin molemmat 914 mm kallioon porattavien teräsputkipaalujen varaan. Paalut ohjattiin kasuunin pohjassa olevien paaluaukkojen läpi.



8.1 Toteutuneiden kustannusten vertailu

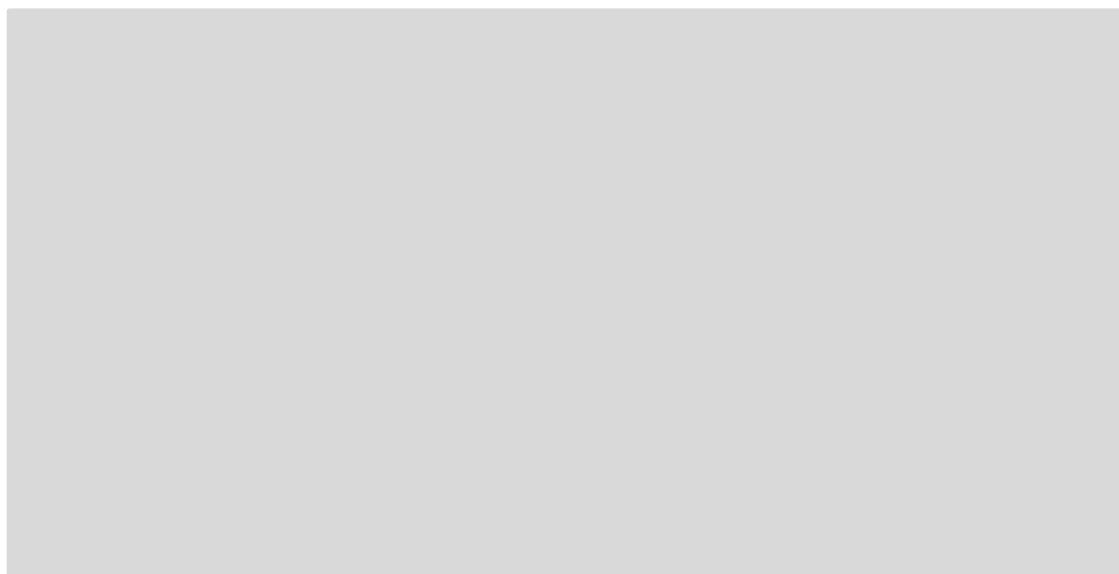
Molemmista kasuuneista on kerätty kustannukset toteutuneiden työmenekkien eli toteutuneiden työtuntien (h) osalta, sekä materiaali menekkien perusteella (taulukot 1 ja 2)



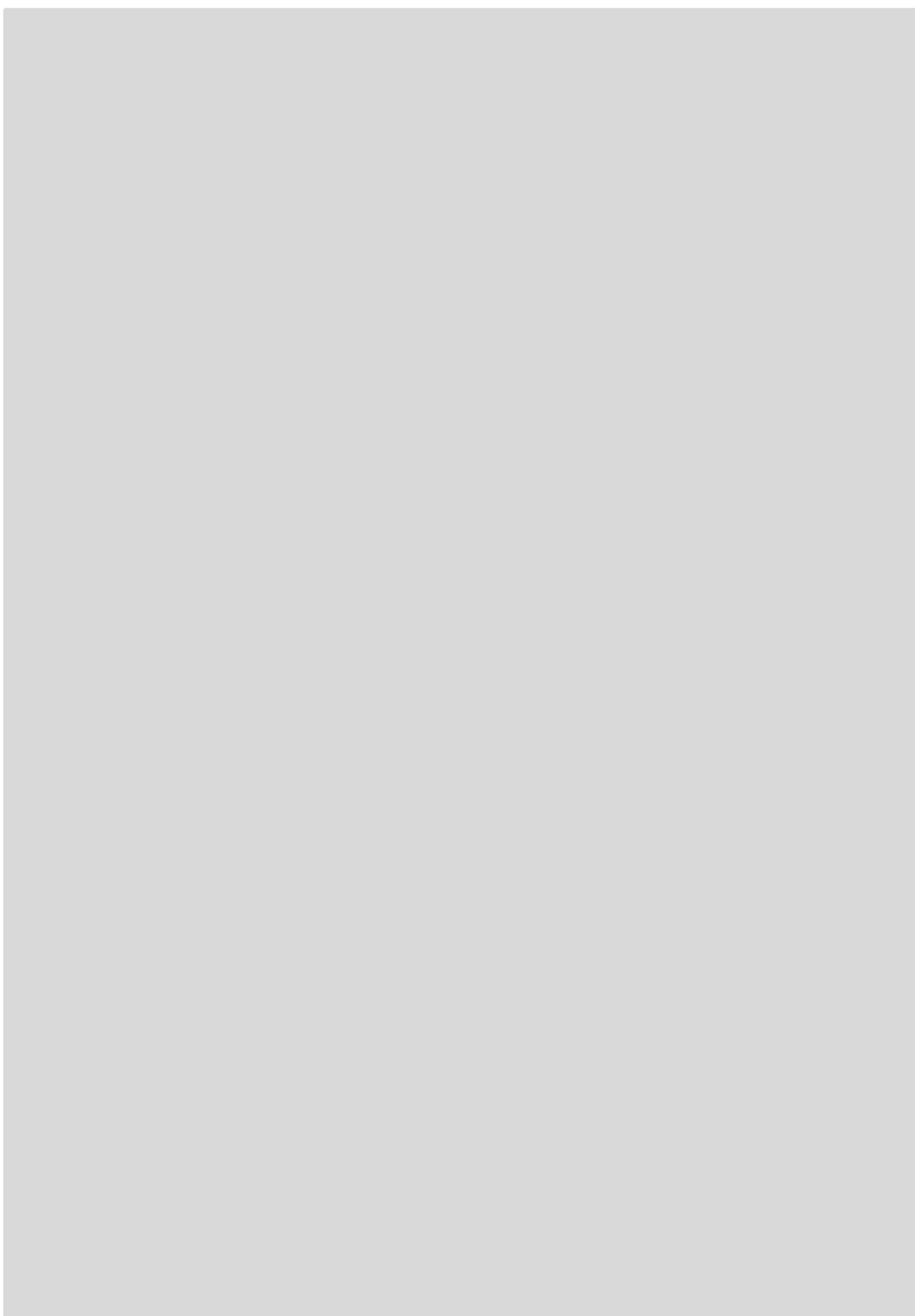
a (h)



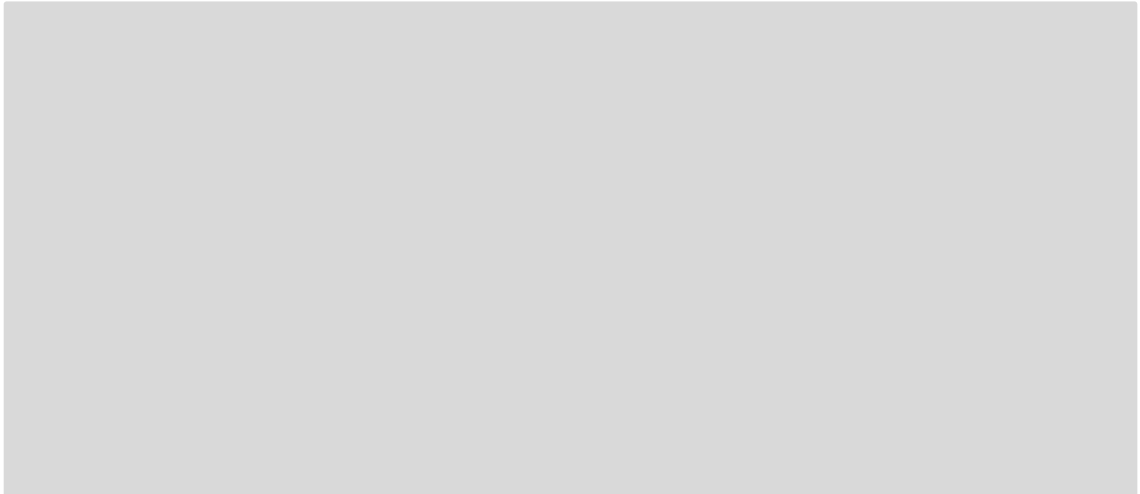
Taulukko 2.2

A large, solid gray rectangular area that completely obscures the content of Table 2.2. The table's structure, including any headers, rows, or data, is not visible.

Taulukko 2.1 Välituen T17 Kustannukset ja menekit työtunteina (h)

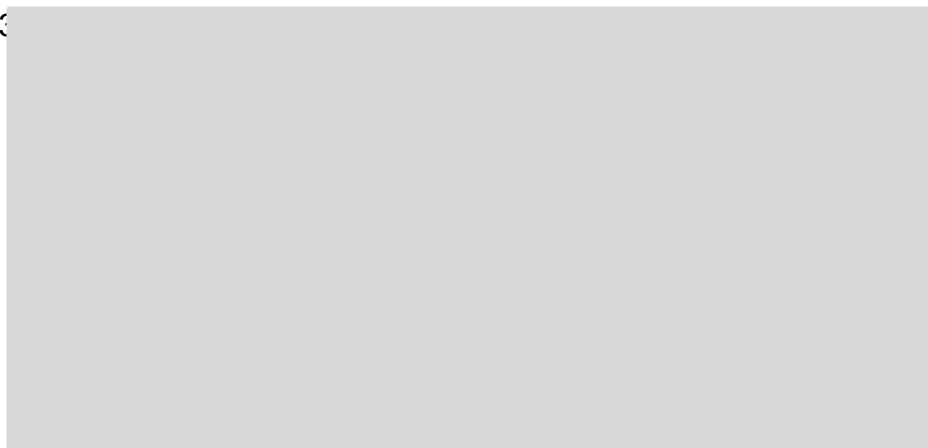
The table content is completely redacted with a solid grey background. No data is visible.

Taulukko 2.2



Toteutuneiden työmenekkien (taulukko 3) perusteella voidaan havaita T17 kasuunin olleen merkittävästi kalliimpi. Suurin eroavaisuus käytetyissä työtunneissa syntyy hitsaustyössä. Tämä ero puolestaan selittyy käytettyjen seinien muokkaamisella, joka on selvästi enemmän työaikaa kuluttavaa. Uusien seinien rakentaminen on siis paljon kustannustehokkaampaa käytettyjen työtuntien perusteella. Toinen kustannuksia kasvattava työlaji vaikuttaisi olevan sukellustyö. Sukellustyö vei suunniteltua huomattavasti paljon enemmän aikaa. Sukellustyötä tehtiin kuitenkin kasuunin T14 osalta paljon enemmän. Mikäli seinien muokkaus olisi ollut yhtä tehokasta, kuin uusien rakentaminen, olisi T17 siinä tapauksessa ollut kustannuksiltaan voittavassa asemassa. Kustannuseroja vertaillessa tulee kiinnittää huomiota tarkasti siihen, mistä kustannusten eroavaisuus johtuu. Tämän takia on tärkeää seurata kustannusten muodostumista jo rakentamisvaiheessa. Mikäli kustannuksia aletaan seurata jälkikäteen, ei rakentamisen aikana kohdatut ongelmat ole enää tuoreessa muistissa ja hiljaisia kustannus syöppöjä on vaikea havaita.

Taulukko 3



9 Yhteenveto

Työn ensimmäisessä osiossa käsiteltiin kasuunia rakenteena ja esiteltiin useampi vaihtoehto kasuunin toteuttamiseen, sisältäen erilaisia materiaali vaihtoehtoja, joilla kasuunin voi rakentaa. Työssä käytiin myös läpi erilaisia työmenetelmiä ja työtapoja, jotka ovat usein käytettyjä kasuunien rakentamisessa. Työssä tuotiin myös esiin kasuunien rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia.

Varsinainen tutkimus osio opinnäytetyössä oli työn toinen osa. Tutkimusosassa toteutettiin kasuunit suunnitelmien mukaan kahdella eri työmenetelmällä ja toteutuksen aikana kerättiin dataa kasuunien kustannuksista ja kasuunien rakentamiseen kuluvista työmenetelmistä. Tiedonkeruun jälkeen kahden eri tavalla rakennetun kasuunin kustannuksia tehtiin taulukot, joihin oli listattu toteutuneita kustannuksia työstä ja materiaaleista. Taulukoiden perusteella voitiin vertailla työmenetelmiä keskenään. Taulukoista myös ilmeni työmenekit eri työlajeille ja voitiin vertailla rakennus menetelmiä myös työlajien kannalta.

Tätä opinnäytetyötä voidaan tulevaisuudessa hyödyntää toivon mukaan urakoiden laskenta vaiheessa, antamaan suuntaa esimerkkikasuunien rakentamiskustannuksista. Työllä on siis merkitystä myös kyseisen urakan jälkilaskennan kannalta.

9.1 Pohdintaa

Kasuunin toteuttamistapaa valittaessa on syytä huomioida Juuri tutkittuja vaikutuksia. Järkevimmän toteutustavan kasuunin rakentamiselle voi valita huolellisen suunnittelun ja laskennan avulla. ei myöskään ole epätavallista, että kustannukset ylittyvät laskettuihin kustannuksiin verrattuna, sillä kasuuni rakentamisessa voi tulla paljon ongelmia, joihin vaikuttaminen etukäteen haastavaa. Kasuunin kustannuksia laskentavaiheessakin on usein haastava ennustaa, sillä materiaalien ja työvoiman hinnat voivat nousta lyhyelläkin aikavälillä.

Lähteet

Janne Iho. 2022. Linkki ei ole saatavilla organisaation ulkopuolisille. <[https://yit-group-my.sharepoint.com/personal/valtteri_salaste_yit_fi/Documents/Desktop/Siltojen%20työnaikaisten%20rakenteiden%20kanta-vuus%202022%20\(3\).pdf](https://yit-group-my.sharepoint.com/personal/valtteri_salaste_yit_fi/Documents/Desktop/Siltojen%20työnaikaisten%20rakenteiden%20kanta-vuus%202022%20(3).pdf)> Luettu 3.1.2024

YIT. 2023. Linkki ei ole saatavilla organisaation ulkopuolisille. <Yritysesittelymateriaalit (sharepoint.com)> Luettu 11.1.2024

Janne Iho. 2022. Kuva 1. Kasuuni suunnitelma piirustus Esimerkki suunnitelma ponttikasuunista

Janne Iho. 2022. Kuva 9. Työsillasta ripustettu kasuuni, suunnitelma

Janne Iho. 2022. Kuva 10. Kasuunin suunnitelma, betonirumpu

Janne Iho 2022 Kuva 12. Merihaan sillan kasuuni T14

Helsingin kaupunkiympäristön toimiala 2016 Kuva 13. Merihaansillan pohjatutkimuskartta

(Asetus turvallisuutta ja terveyttä rakentamisessa koskevan yleissopimuksen voimaansaattamisesta 68/1997) Annettu 23.1.1998

<Vedenalainen rakentaminen vaatii erityisosaamista - Väylävirasto (vayla.fi)>Luettu 25.3.2024

<s2271.pdf (vaylapilvi.fi), 4>Luettu 29.3.2024

< Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 (vaylapilvi.fi)> Luettu 29.3.2024>

