

Iiro Hulkkonen

Märkäruiskubetonoinnin teknillis-taloudellinen selvitys tunnelilouhintatyömaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työjohto

Mestarityö

1.9.2015

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Iiro Hulkkonen Märkäruiskubetonoinnin teknillis-taloudellinen selvitys tunneli- louhintatyömaalla</p> <p>29 sivua + 3 liitettä 1.9.2015</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Rakennusmestari (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Rakennusalan työnjohto</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>Infrarakentaminen</p>
<p>Ohjaaja(t)</p>	<p>Työmaapäällikkö Esa Juhantila Lehtori Juha Virtanen</p>
<p>Mestarityö tehtiin Destia Oy:lle. Destia Oy on yksi Suomen suurimmista infra- ja rakennusalan yhtiöistä. Destian yhtenä tulevaisuuden tavoitteena on kehittää ja laajentaa osaamistaan maanalaisen louhinnan toimijana.</p> <p>Työn aiheena oli selvittää märkäruiskubetonointiin liittyviä teknisiä ja taloudellisia seikkoja, jotta saataisiin selville ruiskubetonoinnin todellinen kustannusrakenne esimerkkikohdetyömailla.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää mistä syntyy ruiskubetonoinnin suurimmat kustannukset ja mitä tulevien hankkeiden tarjouslaskennassa tulisi ottaa huomioon. Työssä vertailtiin myös teräs- ja muovikuidun välisiä eroja taloudellisesti sekä ruiskubetonoinnin kustannuksia, jos työ teetetäisiin aliurakoitsijalla tai vastaavasti Destian omalla työvoimalla. Työstä saatavia tuloksia tullaan käyttämään hyväksi tulevissa tarjouslaskennoissa.</p> <p>Esimerkkikohteina työssä oli Soukan ja Sammalvuoren ajotunnelityömaat.</p> <p>Työssä saavutettiin sille antamat tavoitteet. Selvitystyön tuloksena hahmottui kustannusrakenne, joka vastasi ennakko-oletusta.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>Märkäruiskubetonointi, lujitustyöt, tunneli, louhinta</p>

Author(s) Title	liro Hulkkonen The economical and technical report of shot concreting at tunnel worksite
Number of Pages Date	29 pages + 3 appendices 1.9.2015
Degree	Bachelor of construction management
Degree Programme	Construction site management
Specialisation option	Infrastructure construction
Instructor(s)	Esa Juhantila, sitemanager Juha Virtanen, lecturer
<p>This thesis was made for Destia Oy. Destia Oy is one of the biggest infrastructure and construction companies in Finland. One of the main future development plan for Destia is to improve and increase the knowledge in mining and tunneling as a constructor.</p> <p>The subject for the work was to find out the technical and economical aspects of shot concreting that the company would know the real costs and reasons at example worksites.</p> <p>The main goal was to examine the costs of shot concreting and what should be taken in consideration when doing offer calculations. The work compares cost differencies between steel and plastic fibres and as well the costs if the actual work would be done by Destia's own work force instead of using subcontractors. The results will be utelized in incoming offer calculations and future planning.</p> <p>The service tunnels of Soukka and Sammalvuori worked as the example work sites.</p> <p>The thesis achieved its goals. As the cost structure of shot concreting took shape it was similar to the presumptions.</p>	
Keywords	Grouting, consolidation, tunnel, mining

Sisällys

Sanastoa ja lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tunnelilouhinnan vaiheet ja kustannusrakenne	4
2.1	Tunnelisykli	4
2.2	Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne	5
3	Märkäruiskubetonoinnin työvaiheet	6
3.1	Märkäseosmenetelmä	6
3.1.1	Ruiskutusvaiheen lisäaineet	7
3.1.2	Kuitujen käyttö ruiskubetonissa	7
3.2	Valmistelevat työt	10
3.2.1	Työvaihe- ja laatusuunnitelmat sekä aloituspalaveri	10
3.2.2	Ennakkokokeet ja koeruiskutus	11
3.2.3	Rusnaus, pesu, tarkemittaus ja salaojitus	12
3.2.4	Osa-alueen hyväksyminen	12
3.3	Ruiskubetonointikalusto	13
3.4	Ruiskubetonointityö	15
3.5	Viimeistely ja jälkihoito	16
4	Ruiskubetonoinnin kustannusrakenne esimerkkityömailla	18
4.1	Kuidun merkitys ruiskubetonoinnin kustannuksiin	21
4.2	Työn teettäminen aliurakoitsijalla vai omalla työvoimalla	22
4.3	Kustannusten yhteenveto	23
5	Soukan ajotunneli	25
6	Pohdinta	27
	Lähteet	29
	Liitteet	

Sanastoa ja lyhenteet

Hukkaroiske	Ruiskutettaessa ruiskubetonia kaikki ruiskubetoni ei jää kiinni kallionpintaan, vaan syntyy hukkaroiskeita. Hukkaroiskeen määrään vaikuttaa suuresti ruiskun ja kallion välinen kulma sekä etäisyys.
Injektointi	Kallion lujittamista ja tiivistämistä nestemäisellä kovettuvalla aineella kuten sementtimassalla.
Katko	Tunnelilouhinnassa käytettävä termi etenemälle. Esimerkiksi viiden metrin katko tarkoittaa 5 metrin teoreettista etenemää tunnelissa.
Komu	Kivi tai lohcare, joka on irti lähes kokonaan kalliopinnasta ja tulee irrottaa turvallisuus- ja laadunvarmistussyistä.
Peränajo	Tunnelin louhimista.
Pultitus	Kallion lujittamista kalliopulteilla. Pultti yhtenäistää ja lujittaa kalliorakennetta. Pultteja on monenlaisia ja niillä on erilaisia käyttötarkoituksia.
Rusnaus	Irtoavien kivien, rikkonaisen kallion ja komujen irrottamista kalliopinnasta joko mekaanisesti käsin rusnakangella tai rusnauskoneella.
Tunnelisykli	Tunnelilouhinnan vaiheet, joihin kuuluu muun muassa esiinjektointi, poraus, panostus, räjäytys, tuuletus, lastaus, rusnaus ja lujitustyöt.
KT	Kuitu.
RBM	Ruiskubetoni.

1 Johdanto

Mestarityön toimeksiantajana toimii Destia Oy. Yritys on suomalainen infra- ja rakennusalan palveluyhtiö, joka rakentaa, ylläpitää ja suunnittelee liikenneväylien ja ratojen sekä liikenne- ja teollisuusympäristöjen lisäksi kokonaisia elinympäristöjä. Destian palvelut ulottuvat maanalaisesta rakentamisesta kattavaan maanpäälliseen toimintaan sekä energia- ja insinöörirakentamiseen. [1.]

Destian liikevaihto vuonna 2014 oli yli 430 miljoonaa euroa. Henkilöstöä Destialla on keskimäärin noin 1 500. [2.]

Mestarityön tekijä on ollut töissä Destialla kallioyksikössä helmikuusta 2015 lähtien. Destian kallioyksikkö suunnittelee ja rakentaa tunneleita sekä maanalaisia tiloja esimerkiksi pysäköintitilat, liikenneasemat ja väestösuojat [1].

Tunnelirakentamiseen kuuluu isona osana tunnelin lujitustyöt. Näihin kuuluvat muun muassa injektointi, pulttaus ja ruiskubetonointi [5 s. 214]. Tässä työssä tarkastellaan ruiskubetonointia ja siihen liittyviä suurimpia syitä, jotka johtavat taloudellisesti ja teknillisesti hyvään lopputulokseen. Työssä pyritään selvittämään isoimmat työnaikaiset virheet ja keinot niiden ennaltaehkäisyyn. Tämän työn esimerkkikohteissa Destia on tilannut ruiskubetonoinnin aliurakoitsijalta, mutta työnjohdosta vastaa Destia. Tämä järjestely vaatii paljon ammattitaitoa ruiskubetonoinnin työntekijöiltä sekä laadullista silmää työnjohdolta, jotta työ vastaa tilaajan vaadittua tasoa. [3.]

Esimerkkikohteina on kaksi ajotunnelia, jotka liittyvät Länsimetron rakentamiseen. Tunnelien yhteispituus on noin 700 metriä ja tunnelit ruiskubetonoidaan koko matkalta. Ruiskubetonointi työvaiheena on taloudellisesti kriittinen ja suurin vaikutus sen onnistuneeseen läpivientiin on työnjohdon ja työntekijöiden välinen yhteistyö [3].

Tämän mestarityön tavoitteena on saada selville, miten märkäruiskubetonointi tulisi tehdä tunnelissa, jotta se olisi mahdollisimman kustannustehokkaasti tehty unohtamatta työturvallisuutta ja laatua. Tavoitteena on selvittää työnjohtajan näkökulmasta seikat, joihin tulee kiinnittää huomioita työvaihetta johtaessa.

Tutkimusmenetelminä käytetään rakennusalan kirjallisuutta sekä tutkimustöitä koskien märkäruiskubetonointia. Työssä tullaan haastattelemaan Destian työnjohtajia, työmaainsinöörejä ja aliurakoitsijan työntekijöitä.

Kohdetyömaina työssä ovat Soukan ja Sammalvuoren ajotunnelit. Ajotunnelien tehtävänä on toimia huolto- ja pelastusteinä tulevan Länsimetron valmistuttua. Näiden kahden tunnelin yhteiskustannuksiksi laskettiin noin viisi ja puoli miljoonaa euroa ja ruiskubetonin osuudeksi noin 230 000 euroa.

Destian urakassa Soukan ajotunnelia louhittiin hieman yli 280 metriä ja teoreettinen laskettu ruiskubetonoinnin kuutiomäärä oli noin 721 m³. Soukan louhinta-urakka aloitettiin helmikuussa 2015 ja valmistui lokakuussa 2015.



Kuva 1. Soukan ajotunnelin suuaukko. (3)

Destian osuus Sammalvuoren ajotunnelin louhinnasta oli 368 metriä. Tilaajan toimesta louhinta keskeytettiin linjamuutosten takia ja näin ollen Destian louhittavaksi jäi 305 metriä. Linja- ja muiden muutosten takia Sammalvuoressa ruiskubetonointiin vain osa tunnelia ja ruiskubetonin määräksi jäi 241 kuutioita, kun alun perin määräksi oli laskettu

lähes 900 kuutiota. Sammalvuoren louhintaurakka aloitettiin talvella 2014 ja valmistui marraskuussa 2015.



Kuva 2. Sammalvuoren metrovarikon ajotunneli. (3)

2 Tunnelilouhinnan vaiheet ja kustannusrakenne

2.1 Tunnelisykli

Tunnelilouhintaa kutsutaan yleisesti peränajoksi. Suomessa kallio on kovaa ja käyte-
tyimmäksi louhintamuodoksi on noussut poraus-räjäytys-menetelmä. Tämä menetelmä
sopii hyvin vaihteleviin kallio-olosuhteisiin ja menetelmän investointikustannukset ovat
pienet. Räjäytystyön aiheuttama värinä ja meluhaitat saattavat rajoittaa menetelmän
käyttöä asutuilla alueilla. [5. s. 214.]

Tunnelilouhinnan vaiheita kutsutaan tunnelisykliksi. Yksi tunnelisykli yksinkertaisuu-
dessaan pitää sisällään esi-injektoinnin, katkon porauksen ja panostuksen, räjäytyksen
ja tuuletuksen, lastauksen, rusnauksen, pultituksen ja ruiskubetonoinnin. Tämä sykli
toistuu kunnes saavutetaan haluttu tunnelin pituus. [5. s. 215.]

Näistä töistä louhintatöiksi luetaan poraus, panostus, räjäytys ja rusnaus. Lujitustöiksi
kutsutaan injektointia, pultitusta ja ruiskubetonointia. [3.]

Kun työvaiheita on näin vähän verrattuna esimerkiksi kerrostalon rakentamiseen, tulee
niiden saumaton ja hyvin suunniteltu toteutus tärkeimmäksi asiaksi hyvin toteutetussa
projektissa. Yhden tunnelisyklin työvaiheen epäonnistuminen päivän aikana saattaa
aiheuttaa koko työpäivän epäonnistumisen ja se vaikuttaa koko viikkoaikataulusuunnit-
teluun [3 s. 58]. Jokainen syklin työvaihe on yhtä tärkeä ja onkin erityisen suositeltavaa,
että työt tehdään ensimmäisellä kerralla oikein eikä valitettavia laadullisia korjauksia
pääse syntymään. Oikein mitoitettut resurssit sekä ammattitaitoinen työnjohto ja työnte-
kijät ovat avainasemassa, kun halutaan kustannustehokas ja laadukas lopputulos. [3.]

Tässä työssä keskitytään ruiskubetonointityöhön ja sen märkäseosmenetelmään.
Ruiskubetonointi on kustannuksiltaan yksi merkittävimmistä tunnelisyklin osavaiheista
[3]. Hyvin suunniteltu ja ajoitettu ruiskubetonointityö on tärkeä osa onnistunutta tunnelin
lujitusta, mutta huonoimmillaan saattaa aiheuttaa mittavat taloudelliset menetykset ja
samalla koko projektin taloudellinen onnistuminen voi olla vaakalaudalla. [3.]

Ruiskubetonoinnin pääasiallinen tarkoitus on lujittaa kalliorakennetta. Ruiskubetoni
toimii myös eräänlaisena vesieristeenä vaikkakaan se ei ole täydellinen vesieriste. Ve-

den kulkeutuminen tiiviin betonin läpi on niin hidasta, että vuotokohdasta tuleva vesi ehtii haihtua ulkoilmaan eikä näkyviä vuotoja ehdi syntymään ruiskutetulle pinnalle. [10.]

Tämän työn esimerkkikohteissa lopullinen ruiskubetonointi on tehty vasta, kun koko tunneliosuus on louhittu ja pultattu. Tämä on yksi tapa toteuttaa ruiskubetonointi eikä tämä työ ota kantaa muihin tapoihin ja mahdollisiin eroavuuksiin kustannuksissa. [3.]

2.2 Tunnelilouhintatyömaan kustannusrakenne

Jokainen yritys pyrkii tuotannossaan kustannustehokkaisiin ratkaisuihin, jotta saataisiin mahdollisimman kannattava liiketoiminta. Urakanlaskentavaiheessa on erityisen tärkeää, että mukana ovat ne ihmiset, joilla on eniten kokemusta aloitettavasta projektista ja näin ollen pystyvät edesauttamaan päätöksissä, joilla voi olla hyvinkin suuri vaikutus projektin kannattavuuteen. Hyvin tehdyt ja kannattavat sopimukset materiaalitoimittajien, alihankkijoiden ja tilaajan kanssa astuvat suureen rooliin, kun projektissa ilmenee ongelmia tai muita projektia viivästyttäviä tekijöitä. [3.]

Vaikka louhintatyö itsessään on tärkeää ja näkyvintä tunneliprojekteissa, ovat sen kustannukset kuitenkin vain noin yksi neljäsosaa koko projektin kustannuksista [3]. Monilla työnjohtajilla onkin harhaluulo siinä, mistä suurimmat kustannukset syntyvät. Usein myös tunnelityömaalla keskitytään liikaa saavutettuihin metreihin eikä seurata tai valvota riittävästi lujitustöitä, joista aiheutuu projektin suurimmat kustannukset. [4.]

Haastateltujen asiantuntijoiden [3] ja aikaisemman tutkimuksen [4] pohjalta kustannusrakenne tunnelityömaalla jakaantuu karkeasti seuraavasti:

- Louhintatyö 25%
- Lujitustyö 40%
- Hanketehtävät 20%
- Louheen käsittely 15%. [3, 4.]

Haastateltujen asiantuntijoiden mukaan suurin osa kustannuksista syntyy lujitustöistä. Lujitustöiden jokaisessa työvaiheessa materiaali on huomattavasti kalliimpaa kuin itse työ. Onkin erityisen tärkeää, että työ tehdään kerralla oikein, jotta vältytään vielä suuremmilta materiaalikustannuksilta. [3.]

Lujitustöistä eniten kustannuksia syntyy ruiskubetonoinnista johtuen työvaiheen suuresta materiaalimenekistä, hukkabetonista ja jätemaksuista. Onnistuneen ruiskubetonoinnin kulmakivenä on toimiva ja hyvin suunniteltu yhteistyö yhdessä työnjohtajan, työntekijän ja materiaalitoimittajan kanssa. [4.]

3 Märkäruiskubetonoinnin työvaiheet

3.1 Märkäseosmenetelmä

Tässä työssä keskitytään märkäseosmenetelmään. Toinen tapa ruiskubetonoinnille on kuivaseosmenetelmä, joka soveltuu hyvin kohteisiin, joihin on hankala päästä ja ruiskubetonoitava alue on pieni. [6. s. 9.]

Märkäseosmenetelmä keksittiin Yhdysvalloissa 1950-luvulla [11] ja Suomessa sitä alettiin käyttämään vuodesta 1988 lähtien [10]. Menetelmästä tuli nopeasti käytetyin kallio-tilojen ruiskubetonointimenetelmä Suomessa [10].

Märkäseosmenetelmässä perusseokseen on sekoitettu vesi, sementti ja runkoaine sekä tarvittaessa seos- ja lisäaineet sekä kuidut. Massa pumpataan mäntäpumppujen avulla putkistoa pitkin suuttimelle, jossa massaan sekoitetaan paineilmaa ja nestemäistä kiihdytintä. Kiihdyttimen tehtävänä on nopeuttaa betonin sitoutumista ja kovettumista. Tämä mahdollistaa paksummat ruiskutuskerrokset sekä nopeuttaa erityisesti maanalaisten tilojen maaperän lujitustöissä työaikatauluja siten, että odotusajat työn jatkamiselle lyhenevät. [6. s. 9.]

Märkäseosmenetelmää käytetään yleensä laaja-alaisiin ruiskubetonointitöihin ja laitteistot on rakennettu usein pyörillä kulkeville alustoille, joissa on ruiskutustyötä varten lisäksi kauko-ohjatut hydrauliset puomit. Menetelmän hyviä puolia ovat sen suuri kapa-

siteetti ja laajempien tilojen samanaikainen ruiskuttaminen. Työturvallisuuden kannalta märkäseosmenetelmä on käyttäjäystävällisempi, koska se pölyää vähemmän ja näin ollen ruiskuttajalla on parempi näkyvyys ja hengitysilman suodatukselta ei vaadita yhtä paljon kuin kuivaseosmenetelmää käytettäessä. [6. s. 25.]

Märkäseosmenetelmä on vakioitunut maanalaisten tilojen lujitusmuodoksi, koska se soveltuu kohteisiin, joihin ruiskutuskalusto voidaan ajaa sisään tai matka ruiskutussuuttimeen on lyhyt - korkeintaan muutamia kymmeniä metrejä. Märkäseosmenetelmän kalusto on suhteellisen kookas ja vaatii riittävästi tilaa esimerkiksi läpikulun betoniautolle. [6. s. 25.]

3.1.1 Ruiskutusvaiheen lisäaineet

Ruiskutustyötä ja sitoutumisaikaa voidaan lyhentää käyttämällä kiihdyttimiä. Kiihdytin toimii nopeuttaen betonimassan sitoutumista ja kovettumista sekä mahdollistaa paksunnan kerralla ruiskutettavan kerroksen. Kiihdytintä lisätään ruiskutussuuttimeen, joka on synkronoitu betonipumpun ja muiden lisäaineiden kanssa. [6. s. 18.]

Kiihdyttimillä betonin sitoutuminen saadaan haluttaessa alkamaan muutamassa kymmenessä sekunnissa aineen annostelusta ja samalla kiihdyttimet nopeuttavat myös betonin varhaislujuuden kehitystä. [6. s. 18.]

Kiihdyttimestä säilytetään yleensä IBC-säiliössä, joka on tilavuudeltaan 1000 litraa [3]. Kiihdyttimet voivat olla hyvinkin alkalisia pH 12...14 tai alkalivapaita pH 2,5...4. Työturvallisuuden kannalta on parempi käyttää alkalivapaita kiihdyttimiä, koska ne ovat turvallisempia ja niillä on mahdollista saavuttaa käytännössä samat betonin sitoutumis- ja kovettumisominaisuudet kuin alkaleja sisältävillä kiihdyttimillä. Alkalivapaita kiihdyttimiä käytettäessä tulee huomioida, että kiihdyttimen kanssa kosketuksiin joutuvat metalliosat tulee olla syöpymättömästä teräksestä (haponkestävä teräs). [6. s. 17.]

3.1.2 Kuitujen käyttö ruiskubetonissa

Ruiskubetonissa voidaan käyttää teräs- tai polymeerikuituja. Polymeerikuiduilla tarkoitetaan yleisesti kaikkia erityyppisiä muovipolymeereistä valmistettuja kuituja. [6. s. 21.]



Kuva 3. Teräskuitu. (2)

Molemmat kuidut käyttäytyvät rakenteessa samantyyppisesti parantaen betonin sitkeysominaisuuksia. Kuidut parantavat ja antavat rakenteelle paremman kestävyuden tai vutusvetoa, vetoa, leikkausta, väsytySKUORMITUSTA, iskuja ja sysäyksiä vastaan. [6. s. 21.]

Teräskuitujen määrä on tyypillisesti $30...60 \text{ kg/m}^3$ ja pituus $20...35 \text{ mm}$. Kuitujen määrä määräytyy energianabsorptiokapasiteetin tai muiden vaadittujen muodonmuutosominaisuuksien perusteella. Edellä mainitut betonilta vaadittavat ominaisuudet määrittää rakennesuunnittelija. Tunneleiden lujitustöissä energiansitomiskyky ja murtositkeys ovat tärkeitä, sillä rakenne joutuu suurelle rasitukselle louhinnasta aiheutuvista tärähdyksistä sekä kallion liikkeistä. [6. s. 22.]

Polymeerikuituja on kahdenlaisia:

- makropolymeerikuidut
- mikropolymeerikuidut.

Makropolymeerikuitu käyttäytyy samantapaisesti kuin teräskuitu parantaen rakenteen sitkeyttä ja energiansitomiskykyä murtotilanteessa. Makrokuitujen määrä on yleensä 5...10 kg/m³ ja kuidun paksuus on sama kuin teräskuidulla 0,4...0,8 mm mutta pituus voi olla 40...50 mm. [6. s. 22.]



Kuva 4. Makromuovikuitu. (2)

Mikropolymeerikuituja käytetään hukkaroiskeen pienentämiseksi ja varhaisvaiheen halkeilun vähentämiseksi. Mikrokuidun ominaisuuksiin kuuluu myös ruiskubetonirakenteen palonkestävyysominaisuuksien parantaminen räjähdysmäistä halkeilua kohtaan äkillisissä lämpötilan nousuissa. [6. s. 22.]

Mikrokuiduksi luokitellaan ne kuidut, joiden halkaisija on alle 0,3 mm. Mikrokuitujen määrä betonissa on yleensä 1...2 kg/m³ ja pituus 6...50 mm. [6. s. 22.]

3.2 Valmistelevat työt

3.2.1 Työvaihe- ja laatusuunnitelmat sekä aloituspalaveri

Ennen varsinaisen työn aloittamista laaditaan jokaisesta työvaiheesta työvaihe- ja laatusuunnitelmat. Työvaihe- ja laatusuunnitelmat tulee hyväksyttää tilaajalla ja työntekijät tulee perehdyttää työvaiheeseen [3]. Työvaihesuunnitelmassa tulee ilmetä seuraavat asiat:

- ruiskubetonityön vastuuhenkilö
- työympäristö ja riskienhallinta
- ruiskubetonityöhön osallistuvien kelpoisuus
- kalustoluettelo
- ruiskubetonisuhteutukset
- ruiskubetonoinnin työjärjestys
- ruiskubetonirakenteiden kelpoisuuden toteaminen
- toimenpiteet epätyydyttävän laadun johdosta. [6. s. 42.]

Työnjohdon ja suuttimiehen pätevyysvaatimukset riippuvat tarkastusluokasta [6 s. 42]. Kuitenkin lopullisiin vaatimuksiin vaikuttavat tilaajan ja muiden osapuolien päätökset [3].

Aloituspalaveri pidetään työmaalla, johon osallistuvat työvaiheen kaikki osapuolet. Aloituspalaverin ideana on varmistua, että työvaiheen toteuttavat osapuolet ovat tietoisia työtehtävän edellytyksistä. Aloituspalaverissa käydään läpi käytössä olevat materiaalit

ja niiden ominaisuudet, kalusto ja sen huolto sekä laatuvaatimukset ja niihin liittyvät laadunvalvonnan toimenpiteet. Työjärjestys ja -menetelmät sekä aikataulutus käydään läpi laadun ja taloudellisuuden varmistamiseksi. [3.]

3.2.2 Ennakkokokeet ja koeruiskutus

Märkäseosmenetelmässä kaikki betonin ainesosat punnitaan ja sekoitetaan betonitehtaalla lukuun ottamatta suuttimessa lisättävää kiihdytintä. Märkäseosmenetelmässä tuoreen betonin työstettävyyssäilyvyysaika tulee testata ennakkokokein ja ryhtyä tarvittaessa korjaaviin toimenpiteisiin. [6. s. 39.]

Perusseoksen prosessissa tulee huolehtia, että massan erottuminen olisi mahdollisimman vähäistä eri käsittelyvaiheissa. Betonimassan toimittajan tulee kuulua kolmannen osapuolen tarkastuksen piiriin sekä betonimassasta voidaan tarvittaessa toimituksen yhteydessä ottaa näytteitä betonimassan ominaisuuksien selvittämiseksi. [6. s. 39.]

Tuore massa tulee käyttää tavanomaisissa olosuhteissa noin kahden tunnin kuluessa sekoituksesta. Käyttöaikaa voidaan pidentää sitoutumista hidastavilla lisäaineilla useita tunteja ja jopa vuorokausia mutta tällainen käsittely saattaa vaikuttaa betonin loppulujuudenkehitykseen sitä alentavasti. [6. s. 39.]

Mekaaniset vaatimukset ja ominaisuudet testataan ruiskutuksen jälkeen koelaatoista tai rakenteesta poratuista näytteistä. Vaadittavia ominaisuuksia ovat:

- lujuus 28 d tai erikseen sovittaessa 3d, 7d, 91 d ikäisenä
- säilyvyys, rasitusluokat
- notkeusluokka, vaatimus riippuu siirto- ja ruiskutusmenetelmästä. Notkeus määritellään SFS-EN 206 mukaan
- vesi-sementtisuhde
- käyttöaika (avoin aika)

- ilmamäärä
- betonin lämpötila toimitushetkellä, vaatimuksena on 5...30 °C
- kuitujen määrä ja niiden jakautuminen. [6. s. 39.]

3.2.3 Rusnaus, pesu, tarkemittaus ja salaojitus

Louhinnan työvaiheisiin kuuluu rusnaus, joka tehdään joko koneellisesti tai käsin [3]. Rusnauksen tarkoituksena on poistaa irtonaiset tai irtoavat kivet eli komut tunnelin seinistä ja katosta [6]. Näin tunnelista saadaan turvallisempi eivätkä irtoavat kivet aiheuta lisätöitä ja laatupoikkeamia tunnelin työvaiheiden edetessä [3].

Rusnauksen jälkeen alue pestään painevesisuihkulla, jolloin saadaan huono tai irtoava kiviaines sekä pöly ja muut kerrostumat pois ruiskutettavasta pinnasta [6. s. 43].

Tunnelin seinillä kulkevat varustelut kuten vesi- ja sähkölinjat tulee laskea alas ja suojata rakennusmuovilla. Tunnelin katossa kulkevan tuuletusrätin voi purkaa salaojitettavalta ja ruiskutettavalta osuudelta, jos tilanne sen sallii. [3.]

Kun varustelut ovat siirretty ja suojattu sekä tunneliosuus tarkemittattu, voidaan salaojien asennus aloittaa [3]. Salaojien tarkoitus on johtaa vuotokohdista tuleva pohjavesi katossa kulkevien salaojaputkien avulla tunnelin pohjalla olevaan salaojakerrokseen [8].

3.2.4 Osa-alueen hyväksyminen

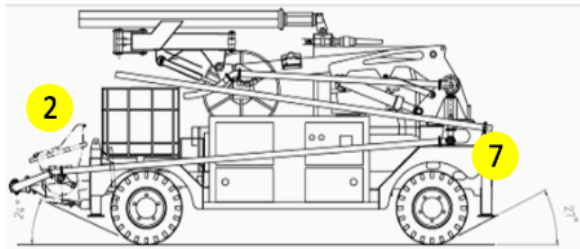
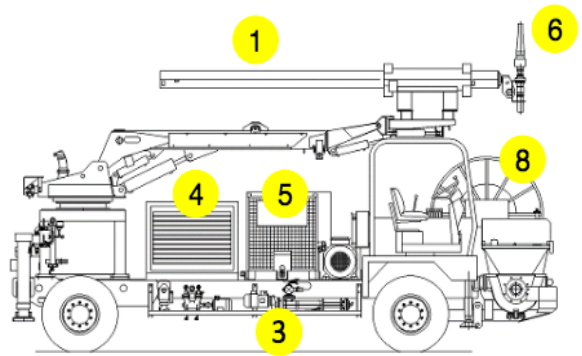
Salaojituksen jälkeen alue itselleluovutetaan ja tämän jälkeen tilaaja ja urakoitsija suorittavat katselmuksen, jossa todetaan kyseessä olevan alueen lujitus- ja tiivistystyöt on tehty ja tarkistettu sekä näistä on olemassa vaadittavat laatupöytäkirjat. Katselmuksessa tarkistetaan, että kaikki vesivuodot on saatu kiinni, seiniin on maalattu ruiskubetonoitavan kerroksen rajat ja vahvuudet sekä salaojien putket on suojattu alaosistaan. [4.]

3.3 Ruiskubetonointikalusto

Eri kohteisiin ja käyttötarkoituksiin on kehitetty erilaisia ruiskubetonointikoneita. Tässä työssä keskitytään vain keskisuurissa ja suurissa tunneleissa yleisimmin käytössä oleviin laitteisiin. Esimerkkikohteissa käytössä oli Normetin Spraymec 6050 WP, joka soveltuu pieniin ja keskisuuriin kaivostunneleihin [9].



Kuva 5. Ruiskurobotin suutinpuomi. Kuva Soukan ajotunnelista. (2)



- 1 Ruiskutuspuomin zoom
- 2 Betonipumppu
- 3 Kiihdytinannostuslaitteisto
- 4 Paineilmakompressori
- 5 Kiihdytinsäiliö
- Betonilinja, ts.
Betoniputkisto, letku ja
- 6 ruiskutussuutin
- Työvalot
Puhdistus- ja
huoltojärjestelmät
- 7 Nelivetoinen alusta
- 8 Sähköhydraulinen
voimayksikkö ja sähkökaapeli

Kuva 6. Märkäruiskubetonointilaite. (2)

Märkäseosmenetelmässä betoniseos siirretään yleisimmin kaksoismäntäpumpulla ruiskutussuuttimeen [6. s. 9].

Jotta betonista saataisiin ruiskutettavaa, tarvitaan avuksi paineilmaa. Paineilman avulla saadaan riittävä nopeus pumpattavalle betonille sekä kiihdyttimen syöttämiseksi mas-savirtaan suuttimessa. [6. s. 27.]

Paineilman määrä riippuu kalustosta ja ruiskutustehosta. Nyrkkisääntönä on, että ruiskutussuuttimeen syötetään ilmaa $0,7 \dots 1,0 \text{ m}^3/\text{min}$ jokaista tunnissa ruiskutettua betonikuutioita kohden. Yleensä ruiskutus vaatii paineilmaa $10 \dots 15 \text{ m}^3/\text{min}$ paineella 700 kPa. [6. s. 27.]

Betoni valmistetaan valmisbetonitehtaalla ja toimitetaan sekoitinsäiliöautolla työmaalle. Märkäseosmenetelmässä betoni on valmis käytettäväksi sellaisenaan ja se tulee käyttää kahden tunnin kuluessa valmistuksesta. [6. s. 39.]

3.4 Ruiskubetonointityö

Betonia tilataan valmisbetonitehtaalta yleensä 5...8 m³ kerrallaan [3]. Betoni toimitetaan sekoitinsäiliöautolla työmaalle, jossa työnjohtaja ohjaa säiliöauton ruiskutettavaan paikkaan. Usein tunneliin voi peruuttaa paikoilleen ja tästä on hyvä kertoa kuskille etukäteen. [3.]

Ennen ruiskutusta työmaalla tarkistetaan aina betonin lämpötila ja notkeus sekä ruiskutettava pinta. Pinnan tulee olla kostea mutta ei märkä sekä lämpötilan sellainen ettei ruiskubetoni pääse jäätymään. [6. s. 44.]

Säädettäessä betonin virtausta suuttimen läpi (ilmanpaine, kiihdytin ja betonin virtaus), tulee suutin aina kääntää pois alustasta. Ruiskubetonin koostumus tulee olla sellainen, että hukkaroiskeen määrä ruiskuttaessa on mahdollisimman pieni. Hukkaroiskeen määrään vaikuttavia tekijöitä ovat mm. betonin koostumus, suuttimen kulma ja etäisyys alustaan nähden, kiihdyttimen annostelu, ruiskutettava pinta-ala ja pinnan epätasaisuus. [6. s. 50.]

Suuttimen ja pinnan välinen etäisyys määräytyy työmaan olosuhteiden mukaan. Näin varmistetaan, että saavutetaan hyvä tiivistyminen ja hukkaroiskeen määrä on mahdollisimman pieni. Kallion tukemisessa suositeltava etäisyys on 1...2 metriä. Usein ruiskutettavan pinnan paksuuden saavuttamiseksi tarvitaan tehdä useita kerroksia ja suositeltava yhden kerroksen paksuus on 30...50 mm. Tätä paksummat kerrokset saattavat irrota kalliopinnasta liian suuren painon vuoksi ja näin ollen aiheuttavat työturvallisuusriskin sekä lisäkustannuksia. Ammattitaitoisen ruiskuttajan ja tehokkaiden kiihdyttimien ja muiden lisäaineiden (esim. silika) avulla kerrospaksuutta voidaan kasvattaa tiettyyn paksuuteen asti. [6. s. 50.]

Seuraavan kerroksen saa ruiskuttaa vasta kun edellinen kerros pystyy tukemaan sitä. Jos aikaa kuluu huomattavasti eri kerrosten ruiskuttamisen ja määritellyn kokonaispaksuuden aikaansaamiseksi, tulee aiemmin betonoitu pinta puhdistaa joko ilmapuhalluksella, korkeapainepesurilla, harjaamalla tai hiekkapuhaltamalla ja tarvittaessa kastella. [6. s. 50.]

Usein louhitulle pinnalle tehdään tasoituskerros, joka poistaa epätasaisuutta ja pinnan epäsäännöllisyyttä. Tämä vähentää myös hukkaroiskeen määrää ruiskutettaessa tulevia kerroksia. [3.]

Hukkaroiskeen määrään vaikuttaa suuresti ruiskutussuunta. Ruiskutuskulma tulisi aina olla 90° alustaan nähden. Aina tämä ei ole mahdollista esim. ruiskuttaessa raudoitteiden taakse, jolloin ruiskutuskulma on hieman vino. Vino ruiskutuskulma aiheuttaa kuitenkin paksuilla kerroksilla aaltomaisuutta betonin pintaan ja hukkaroiskeen määrä lisääntyy sekä betonin lujuus voi heikentyä. [6. s. 50.]

Ruiskuttaessa suutinta liikutetaan ympyrämaisoin tai soikiomaisin liikkein ja ruiskutus aloitetaan seinillä alhaalta ylöspäin. Aikaisempaan ruiskutukseen rajoittuvaa ruiskubetonointia jatketaan vanhan ruiskubetonikerroksen rajalta edeten siitä poispäin. [6. s. 50.]

Ruiskutus tulee tapahtua ennen kuin betonin sitoutuminen alkaa. Jos hidastimia ei käytetä, sitoutumisen aika riippuu lämpötilasta ja sementtityypistä. Erittäin kuumalla säällä massa on ruiskutettavaa vain noin 15 minuutin ajan sekoituksesta. [6. s. 49.]

Ruiskutettavan betonimassan lämpötila tulee olla +5...+32 °C ja ruiskutusalueen +2...+38 °C. Ruiskutettu betoni ei saa jäättyä ja sen lämpötila tulee olla vähintään +5°C siihen asti kunnes betoni on saavuttanut ns. jäätymislajuuden 5 MPa. [6. s. 49.]

Ruiskubetonikiihdyttimen lämpötila tulee olla vähintään +5...+10 °C, jotta aine pysyy pumpattavana. Kiihdyttimen teho lisääntyy huomattavasti, jos se lämmitetään +20...+30 °C asteeseen [6]. Kiihdytintä on hyvä säilyttää esimerkiksi lämpimässä tellassa ja sekoitella aika ajoin, sillä se saattaa kristallisoitua ajan kuluessa. [3.]

3.5 Viimeistely ja jälkihoito

Ruiskubetonoitua pintaa ei tule mekaanisesti käsitellä ilman syytä. Käsitteleminen saattaa heikentää tartuntaa raudoitukseen ja alustaan sekä aiheuttaa pinnan halkeilua. Kuituvahvistettua ruiskubetonointia käytettäessä tulee varmistua riittävästä kerrospaksuudesta ennen kuin ruiskutusta jatketaan seuraavilla kerroksilla [5]. Paksuustoleranssit esite-

tään suunnitelmissa ja tapana on maalata mittaustulokset seinämiin, jotta ruiskuttaja tietää missä tarvitaan lisäruiskutusta [3].

Betonin ruiskutuksen jälkeen tulee huolehtia betonin riittävästä jälkihoidosta ja suojatava sitä seuraavista syistä:

- plastisen kutistuman minimoimiseksi
- riittävän pintalujuuden saavuttamiseksi
- pintavyöhykkeen riittävän säilyvyyden varmistamiseksi
- haitallisilta sään vaikutuksilta
- jäätymiseltä
- haitalliselta värähtelyltä, iskuilta tai vaurioilta. [6. s. 56.]

Jälkihoidon yhtenä tarkoituksena on estää veden liian nopea haihtuminen betonin pinnalta ja siksi pintaa tulee kastella säännöllisin väliajoin, jotta pinta pysyisi märkänä. [6. s. 56.]

Jos ilman suhteellinen kosteus on yli 85% tai olosuhteet muuten sellaiset esim. usvainen, sateinen tai sumuinen sää, ei jälkihoitoa välttämättä tarvita. Tunneli- ja kaivostiloissa tulee ottaa huomioon niiden välttämätön tuuletus, joka kuivattaa ruiskubetonipintoja tehokkaasti, vaikka ilman suhteellinen kosteus olisikin yli 85%. [6. s. 49.]

Betonin jälkihoidossa noudatetaan standardia SFS-EN 13670 Betonirakenteiden toteutus [6. s. 49].

Ruiskubetonointi on monimutkainen ja vaativa prosessi, jossa kaikkien tekijöiden tulee olla kunnossa. Yhden tekijän pettäminen tuotantoketjussa saattaa aiheuttaa lopputulokseen suurta laadullista ja taloudellista haittaa. Hyvä suunnittelu ja mahdollisten ongelmien ennaltaehkäisy on kaiken perusta hyvin toteutetulle ruiskubetonoinnille. [6. s. 58.]

4 Ruiskubetonoinnin kustannusrakenne esimerkkityömailla

Tässä luvussa käydään läpi ja selvitetään esimerkkikohteiden ruiskubetonoinnin kustannusrakennetta. Tuloksia verrataan toisiinsa sekä etsitään mahdollisia vaihtoehtoja ruiskubetonointityön tekijöille (aliurakoitsija vai Destian omilla työntekijöillä teetetty työ) sekä tutkitaan materiaalivalinnoista syntyviä eroavaisuuksia loppukustannuksissa.

Haastatelluilla ruiskubetonoinnin asiantuntijoilla oli olettamus, että suurimmat kustannukset materiaalikustannusten jälkeen syntyvät hukkaroiskeen ja ylimääräisen betonin jäte- ja loppusijoituskustannuksista [3]. Työssä haluttiin myös selvittää teräs- ja muovikuidun välisiä eroja materiaalikustannuksista jätekustannuksiin.

Sammalvuoren ajotunnelin linjamuutosten takia ruiskubetonoitavaa pintaa jäi loppujen lopuksi hyvin vähän ja näin ollen tässä työssä keskitytään Soukan toteutuneisiin kustannuksiin.

Ruiskubetonoinnin määräksi oli laskettu Soukkaan 720 m³ ja yhteiskustannuksiksi 104 722 euroa. Laskennassa ei ollut huomioitu muun muassa jätekustannuksia, joista aiheutui mittavia lisäkuluja. Betonijäte kuljetettiin HSY:n Ämmässuolle lajiteltavaksi, josta syntyi rakennuskiviainemaksua 78,12 euroa/tonni. Vaikka ruiskubetonijätettä voisi hyödyntää uusiokäytössä, on sille edelleen vaikea saada ympäristölupaa [3]. Lopulliset ruiskubetonoinnin kustannukset nousivat Soukassa 169 315 euroon ja tappiota tuli 64 593 euroa. Seuraavalla sivulla olevasta taulukosta selviää lasketut ja toteutuneet kustannukset Soukan ajotunnelin ruiskubetonoinnin osalta. Vasemmalla puolella taulukkoa ovat laskennassa käytetyt nimikkeet ja niihin lasketut teoreettiset kustannukset ja oikealla puolella taas toteutuneet nimikkeet ja niiden kustannukset. Punainen väri tarkoittaa ylittyneitä kustannuksia sekä lisänimikkeitä, joita ei huomioitu tarjouslaskennassa. Ainoastaan lämmityskulut ovat jääneet toteutuneissa kustannuksissa pienemmiksi ja sen takia lämmityskulujen kustannukset ovat värjätty vihreällä.

Soukan ajotunnelin ruiskubetonointi

<u>Laskettu kuutiomäärä</u>	720,80 m ³	<u>Toteutunut kuutiomäärä</u>	786,86 m ³
<u>Laskettu kuutiohinta</u>	145,29 €/m ³	<u>Toteutunut kuutiohinta</u>	215,18 €/m ³

Laskennassa käytetyt nimikkeet

<u>nimikkeet</u>	€	%	<u>Toteutuneet nimikkeet</u>	€	%
Ruiskubetoni	48 294,94 €	46 %	Ruiskubetoni	51 146,06 €	30 %
Teräskuitu	30 331,46 €	29 %	Teräskuitu	31 624,17 €	19 %
Kiihdytinaine	12 559,08 €	12 %	Kiihdytinaine, MasterRoc	14 960,00 €	9 %
Kuljetus	9 370,66 €	9 %	Kuljetus	9 534,44 €	6 %
Kuljetuskaluston odotus	3 315,77 €	3 %	Kuljetuskaluston odotus	4 952,76 €	3 %
Lämmityslisät	850,56 €	1 %	Lämmityslisät	0,00 €	0 %
			Kiihdytinaine, Mapequick	5 315,00 €	3 %
			Sementti, Nonset 120	6 130,80 €	4 %
			Kuljetus palveluaikakorvaus	10 927,02 €	6 %
			Kuljetus vuorotyö	1 763,19 €	1 %
			Ylijäämäbetoni + kuljetus	1 980,15 €	1 %
			Vajaa rahti	85,53 €	0 %
			Tehdasodotus	3 646,41 €	2 %
			Betoniasema vuorotyö	3 565,25 €	2 %
			Jättemaksut	23 685,20 €	14 %
Kaikki yhteensä	104 722,47 €	100 %	Kaikki yhteensä	169 315,98 €	100%

Yllä olevasta taulukosta selviää, että tarjouslaskennassa ei ole otettu huomioon kaikkia välittömiä ja välillisiä kustannuksia. Myös kustannuserot ovat suuria muun muassa kiihdyttimen ja kuljetuskustannusten osalta. Kiihdytin itsessään maksoi 30,17 €/m³ ja se on lähes puolet enemmän arvioiduista 17,42 €/m³ hinnasta. Samoin kuljetuskustannusten osuus kaksinkertaistui lasketusta 13,00 €/m³ toteutuneeseen 34,82 €/m³. Laskettu kuutiohintaa 145,29 €/m³ eroaa huomattavasti toteutuneesta 215,18 €/m³.

Alla olevasta taulukosta selviää suurimmat kustannuserot. Soukan yli menevien kustannusten syy on selitettävissä muun muassa laskennassa huomioimatta jääneistä jätemaksuista syntyvistä kustannuksista, jotka lisäävät laskettuun 145,29 € kuutioon 32,45 €/m³.

Taulukko 1. Soukan ajotunnelin toteutuneita ruiskubetonoinnin kustannuksia

Nimike	Laskettu €/m ³	Toteutunut €/m ³	Erotus €/m ³
Ruiskubetoni	67,00	65,00	-2,00
Teräskuitu	42,08	40,19	-1,89
Kiihdytinaine	17,42	30,17	12,75
Kuljetus	13,00	34,82	21,82
Odotuslisä	4,60	9,17	4,56
Lämmityslisä	1,18	Ei kustannuksia	-1,18
Jätemaksut	Ei huomioitu laskennassa	32,45	32,45

Kiihdytinaineen lisäkustannusten syy jäi hieman epäselväksi. Kiihdytinaineena käytettiin edullista kiihdytintä eikä menekki ollut kuin $+1,5\%/m^3$ enemmän riippuen ruiskuttajasta. Syy eroavaisuuksiin johtunee laskennassa käytetystä viitearvosta ja siitä tehdystä kuutioon hinnasta. Ruiskubetonia meni noin 67 kuutiota laskettua enemmän ja se selittää noin puolet kiihdyttimen lisäkustannuksista. Loput lisäkustannuksista ja niiden aiheuttajista jäi tuntemattomaksi. Kiihdytinaineesta aiheutuneet lisäkustannukset lisäävät laskettuun 145,29 kuutioon hintaan 12,75 €/m³.

Kuljetuskustannukset ylittyivät reilusti yli kaksinkertaisesti. Laskettu kuljetushinta 13,00 €/m³ verrattuna toteutuneeseen 34,82 kuutioon hintaan lisää laskettuun kokonaiskuutioon hintaan 21,82 €/m³. Syy miksi kuljetus maksoi näin paljon enemmän, johtuu kuljetuksiin liittyvistä lisämaksuista. Kun kuljetus tapahtuu viikonloppuisin tai yöllä, kuljetushintaan lisätään tietty palveluaikakorvausmaksu. Myös muita lisäkustannuksia syntyy muun muassa odotuksista ja ylijäämäbetonin vastaanottamisesta. Laskennassa ei ollut huomioita näitä lisäkustannuksia ja se selittää kuljetuskustannuksien suurimmat kustannuserot.

4.1 Kuidun merkitys ruiskubetonoinnin kustannuksiin

Esimerkkikohdetyömaille oli suunniteltu käytettäväksi joko muovikuitua tai teräskuitua. Vaikka laskelmat ja kustannukset puolsivat muovikuidun käyttöä, otettiin esimerkkityömaille käyttöön teräskuitu. Muovikuidun käyttämättä jättämistä perusteltiin sen suurilla hukkaroiskeesta aiheutuvista jätekustannuksista sekä kokemattomuudesta käytettynä kuitumateriaalina. [3.]

Destia oli kilpailuttanut ja saanut tarjoukset muovi- että teräskuidusta ja ne oli hyväksytetty tilaajalla. Molemmissa esimerkkikohteiden työmailla olisi voitu käyttää molempia kuitutyyppisiä. [3.]

Selvennettäköön, että kuidun materiaalilla ei olisi ollut lähestulkoon mitään eroa jätekustannuksissa esimerkkikohdetyömailla. Ruiskubetoni, jossa on teräskuitua tai muovikuitua joudutaan lajittelemaan kaatopaikalla ja siitä syntyy rakennuskiviainemaksua 78,12 euroa per tonni. [3.]

Seuraavalla sivulla olevasta taulukosta selviää, että muovikuitu olisi ollut halvempi vaihtoehto esimerkkikohteissa. Muovikuidun hyöty kasvaa sitä mukaan mitä paksumpi ruiskutettava pinta on. Suurimmat erot löytyvät itse muovikuitumateriaalin kustannuksista, jotka ovat pienemmät kuin teräskuidulla sekä kuljetuskertojen määrässä, jotka vähenevät huomattavasti muovikuitua käytettäessä. Muovikuitua käytettäessä niin sanottua posliinipintaa eli kuidutonta pintaa ei tarvitse erikseen tehdä vaan valmis pinta voidaan ruiskuttaa muovikuituisella ruiskubetonilla. Teräskuitua käytettäessä tulee tehdä 30 mm paksu kuiduton pinta. Kuiduton pinta tehdään, jotta esimerkiksi tulipalon sattuessa, kun näkyvyys on huono, joudutaan tunnelissa suunnistamaan seiniä pitkin ulos [3]. Teräskuidullinen pinta raapisi inhottavasti käsiä, joten siksi pinta on hyvä olla kuidutonta. Toinen syy kuiduttomalle pinnalle on esteettisyys. Kuiduton ruiskubetoni antaa pinnalle tasaisen ja pehmeän näköisen ulkomuodon [3].

Taulukko 2. Kustannuseroja käytettäessä joko teräskuitua tai muovikuitua

Kuituverailu

Nimike	Teräskuitu	Muovikuitu	Kustannusero	Huomiot
RBM90 KT +30 (kuidutonta)	19,21 €/m²tr Neljä ruiskutuskerrosta: 4x kuljetus, 3x kuitukerrosta, 1x kuiduton	15,22 €/m²tr Huom! Kolme ruiskutuskerrosta: 3x kuljetus, 3x kuitukerrosta	3,99 €/m²tr Halvempi, jos käyttää muovikuitua	Ruiskubetonointiin käytettävä aika lyhenee käyttämällä muovikuitua, koska ns. kuidutonta pintaa ei tarvitse erikseen tehdä.
RBM60 KT +30 (kuidutonta)	12,87 €/m²tr Kolme ruiskutuskerrosta: 3x kuljetus, 2x kuitukerrosta, 1x kuiduton	10,10 €/m²tr Kaksi ruiskutuskerrosta: 2x kuljetus, 2x kuitukerros	2,77 €/m²tr Halvempi, jos käyttää muovikuitua	Ruiskubetonointiin käytettävä aika lyhenee käyttämällä muovikuitua, koska ns. kuidutonta pintaa ei tarvitse erikseen tehdä.
RBM40 KT + 30 (kuidutonta)	8,78 €/m² Vähintään kaksi ruiskutuskerrosta: 2x kuljetus, 1x kuitukerros, 1x kuiduton	7,62 €/m²tr Kaksi ruiskutuskerrosta: 2x kuljetus, 2x kuitukerros	1,16 €/m²tr Halvempi, jos käyttää muovikuitua	Muovikuidulla mahdollista tehdä yhdellä ruiskutuskerroksella, kts. rakennusseloste.

Myös työvoima- ja kalustokustannukset pienenevät muovikuitua käytettäessä, koska ruiskubetonointiin kuluu vähemmän aikaa, jolloin koko työvaihe kestää vähemmän ja resursseja voidaan hyödyntää muualla aikaisemmin.

4.2 Työn teettäminen aliurakoitsijalla vai omalla työvoimalla

Tämän työn esimerkkikohteissa ruiskubetonoinnin toteutti aliurakoitsija omalla kalustollaan. Heillä katsottiin olevan riittävät resurssit, ammattitaito ja osaaminen ruiskubetonoinnin toteuttamiseen.

Destialla on myös omaa kalustoa ja ammattitaitoista työvoimaa ruiskubetonointia varten [3]. Tämän työn yhtenä selvitystyönä oli selvittää kustannuseroja, jos työ teetetään aliurakoitsijalla tai vaihtoehtoisesti Destian omalla työvoimalla.

Alla olevasta taulukosta selviää yhden vuoron (12h) kustannukset teetettynä aliurakoitsijan koneilla ja Destian työntekijöillä tai kokonaan aliurakoitsijalla ja heidän omilla koneilla.

Taulukko 3. Ruiskubetonointityön kustannuseroja

Ruiskubetonointi

Nimike	Normet Oy	Pohjolan Kalliotyö Oy
Ruiskurobotti	11 200 €/kk	19 200 €/kk
Huoltokustannus /d	1270 €/d	400 €/d
RAM	40€/h HUOM! Destian työntekijä	50 €/h

Nimike	Normet Oy	Pohjolan Kalliotyö Oy
Yhteensä, työvuoro 12 tuntia	1333,3 €/työvuoro	1840, 0 €/työvuoro

Yllä olevasta taulukosta selviää, että työ olisi halvinta tehdä aliurakoitsijan kalustolla ja Destian omalla työvoimalla. Suurimmat kustannuserot syntyvät ruiskurobotin vuokra- ja ylläpitokuluista. Huoltokustannusten eron selittänee se, että Normet Oy joutuu lähettämään erikseen huoltomiehen työmaalle korjaamaan vikaa, kun taas Pohjolan Kalliotyöllä huoltomies on saatavilla, kun sitä tarvitsee.

4.3 Kustannusten yhteenveto

Selvitystyön tuloksena voidaan todeta, että lasketuissa ja toteutuneissa kustannuksissa on suuria eroja. Erot johtuvat siitä, että laskennassa ei ollut otettu huomioon kaikkia välittömiä ja välillisiä kustannuksia. Sopimukset materiaalien toimittajien kanssa olivat kilpailukykyisiä eikä kustannusten ylittyminen selity niillä.

Tulevissa tarjouslaskennoissa tulee ottaa huomioon paremmin ruiskubetonoinnista syntyviä välillisiä kustannuksia kuten kuljetus ja siitä syntyvät lisäkustannukset odotukseen ja palveluaikakorvauksineen sekä jätekustannukset. Jätekustannuksista syntyi mittavia lisäkustannuksia eikä laskettuihin kustannuksiin olisi päästy vaikka kaikki muu olisi mennyt täydellisesti.

Itse ruiskubetonointityö tehtiin Soukassa suurimmaksi osaksi aikaa epäsuotuisaan kelonaikaan, joka taas lisäsi kustannuksia niin kuljetuksiin ja tehdaspalveluaikamaksuihin.

Kuituverailu osoitti, että muovikuitu olisi halvempi vaihtoehto verrattuna teräskuituun. Muovikuidun käytöstä syntyviä muita positiivisia ominaisuuksia ovat muun muassa ruiskubetonointikerrosten määrän pieneneminen ja näin ollen työvaiheen nopeampi läpivienti kustannustehokkaammin.

Viimeisenä vertailtiin kustannuseroja, jos työ teetettäisiin aliurakoitsijalla tai vaihtoehtoisesti Destian omalla työvoimalla. Destialta saatujen työntekijä- ja kalustokustannuksien mukaan ruiskubetonointi voisi olla hyvinkin taloudellinen valinta teettää työ Destian omalla työvoimalla tulevaisuudessa. Vertailun perusteella olisi halvinta tehdä ruiskubetonointi aliurakoitsijan kalustolla ja Destian työntekijöillä. Aliurakoitsijoiden väliset kustannuserot tulee ottaa huomioon, kun mietitään kaluston vuokratuloja. Esimerkiksi Normet Oy:n ja Pohjolan Kalliotyö Oy:n välinen ero on vertailun mukaan noin 500 euroa per työvuoro. Jos koko ruiskubetonointityö ja kalusto tulisivat Pohjolan Kalliotyöltä, olisi se 38 % kalliimpaa kuin käytettäessä Normetin kalustoa ja Destian työvoimaa.

5 Soukan ajotunneli

Soukan tunnelityömaalla aloitettiin ruiskutus syyskuussa 2015 ja työ saatiin valmiiksi lokakuun lopussa 2015. Ruiskubetonointi ei alussa sujunut aivan parhaalla mahdollisella tavalla johtuen välillä kalusto-ongelmista ja välillä ruiskuttajan kokemattomuudesta. Kalusto, jota käytettiin ruiskutukseen, oli kauan seissyt työmaalla käyttämättömänä ja näin ollen ruiskutusosalustan letkuihin ja putkistoihin oli jämähtänyt sementin sekaista ainetta, joka huononsi ruiskubetonin laatua. Laatupoikkeaman huomasi selvästi ruiskutetussa pinnassa ja korjaustoimenpiteisiin ryhdyttiin välittömästi. Ruiskutusosalustasta vaihdettiin lähes jokainen letku ja putkisto huuhdeltiin huolellisesti sekä koko laitteisto käytiin läpi vielä kertaalleen.



Kuva 7. Soukan ajotunneli. (2)

Toinen iso ongelma koettiin kiihdyttimen kanssa. Syyksi oletettiin samaa eli liian pitkää seisonta-aikaa ja kiihdyttimen muuttumista heterogeeniseksi. Kun kiihdytin vaihdettiin uuteen, ongelma ratkesi ja ruiskubetonin laatu parani.

Kun näistä kahdesta ongelmasta oli selvitty, sujui loppu ruiskubetonointi tyydyttävästi. Ruiskutusta jouduttiin tekemään usein ajankohtina, jotka olivat epäsuotuisia ja poikkesivat alkuperäisestä suunnitelmasta aiheuttaen lisäkustannuksia Destialle. Myös itse ruiskubetonia kului enemmän johtuen ruiskutetun pinnan huonosta laadusta ja ruiskutusta jouduttiin tekemään useampi kerros monissa kohdissa. Lopulta päästiin ruiskutamaan kuidutonta ruiskubetonia tunnelin pintaan, mutta lopputulos ei miellyttänyt valvojaa. Kuitenkin lopullinen pinta hyväksyttiin tilaajan puolesta.

6 Pohdinta

Mestarityön aiheena oli selvittää ruiskubetonoinnin teknisiä ja taloudellisia seikkoja, joilla voitaisiin toteuttaa ruiskubetonointi mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tavoitteena oli selvittää ruiskubetonoinnin kustannusrakenne esimerkkityömailla ja selvittää vaihtoehtoisia toteutusmuotoja ruiskubetonoinnille.

Työn toteutusta muuttivat Sammalvuoren louhinnan linjamuutokset ja siitä aiheutuneet tuotannolliset muutokset. Sammalvuoren ajotunnelia ruiskubetonointiin noin viidennes alkuperäisestä suunnitelmasta. Tästä johtuen mestarityössä keskityttiin enemmän Soukan ajotunnelin toteutuneisiin kustannuksiin. Sammalvuoressa ruiskubetonoinnin yhteydessä ei tapahtunut mainittavia ongelmia mutta kustannukset ylittyivät sielläkin johtuen samoista laskennassa tapahtuneista virheistä kuin Soukassa.

Selvitystyön tuloksena saatiin selville esimerkkikohdetyömaiden kustannusrakenne, jota voidaan hyödyntää tulevissa tarjouslaskennoissa. Saatuja tuloksia ei kuitenkaan voi yleistää liikaa ja jokainen tunnelityömaa on erilainen, joissa jokaisessa on omat erityispiirteet.

Työn aikana mestarityön tekijä seurasi ruiskutustyötä ja huomasi, että varsinaisessa ruiskutustyössä on suuria laadullisia eroja ruiskuttajasta johtuen. Kokenut ja ammattitaitoinen ruiskuttaja pystyi ruiskuttamaan hyvin paljon kustannustehokkaammin ja laadukkaammin kuin kokematon ruiskuttaja. Tämä toteama ei varsinaisesti tuo mitään uutta kuin sen, että urakoitsijan tulee ja pitää vaatia ammattitaitoista työvoimaa, jos haluaa työsuorituksen olevan laadukasta ja kustannustehokasta.

Vaikka laatu ja työsuoritus ei ruiskutustyön aikana aina ollut parasta, suurimmat syyt kustannusten ylityksiin johtui tarjouslaskennassa huomioimatta jääneisiin lisäkustannuksiin. Jäte-, palveluaika- ja kuljetuskustannuksista syntyneet lisäkulut nostivat kuu-tiohintaa noin 60 prosenttia. Myös materiaalikustannukset ylittyivät vaikka niiden mene-kissä ei suuria muutoksia syntynyt.

Mestarityön voidaan katsoa saavuttaneen sille asetetut tavoitteet, vaikka esimerkki-kohdetyömailla tapahtuikin työhön vaikuttavia muutoksia. Työn perusteella selvisi koh-detyömaan ruiskubetonoinnin kustannusrakenne sekä työssä selvitettiin olisiko ruisku-betonointi kustannusmielessä mielekästä tehdä Destian omalla työvoimalla. Kuituver-

tailu osoitti, että ruiskubetonointi olisi ollut halvempaa tehdä muovikuidulla esimerkkikohdetyömailla. Teräskuitu on monikäyttöisempää ja se sopii useampaan kohteeseen mutta muovikuitu käytettynä oikein ja sinne soveltuvassa ympäristössä on huomattavasti kustannustehokkaampaa.

Mestariyön tuloksia tullaan hyödyntämään Destian tulevissa urakoissa.

Lähteet

- 1 Destia Oy. 2015. Verkkodokumentti. <http://www.destia.fi/fi/yritys.html>. Luettu 2.8.2015
- 2 Destia Oy. 2015. Verkkodokumentti. <http://www.destia.fi/vuosikertomus/destian-vuosi-2014.html>. Luettu 2.8.2015
- 3 Juhantila Esa & Tuovinen Rami. 2015. Haastattelu. Helsinki.
- 4 Viitanen Niko. 2015. Opinnäytetyö. https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89937/viitanen_niko.pdf?sequence=1.
- 5 Vuolio Raimo & Halonen Tommi. 2010. Räjätystyöt. Suomen Rakennusmedia Oy. Tampere: Tammerprint Oy.
- 6 Suomen Betoniyhdistys ry. 2015. Ruiskubetoniohjeet 2015. BY – Koulutus Oy. Tampere: Tammerprint Oy.
- 7 Soronen Henri. 2013. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63692/mestarityo.pdf?sequence=1>
- 8 InfraRyl. 2012. 15330 Ruiskubetonoinnin salaojat. Rakennustieto.
- 9 Normet. 2015. Verkkodokumentti. http://www.normet.com/tuotteet/Spraymec_6050_WP_fi. Luettu 10.10.2015
- 10 VTT. 2002. Kalliotilojen vesitiiveyden hallinta. Verkkodokumentti. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2147.pdf>. Luettu 20.10.2015
- 11 Betoni. 2014. Ruiskubetonointi ja sen mahdollisuudet. Verkkodokumentti. <http://www.betoni.com/Haku?term=ruiskubetoni>. Luettu 20.10.2015

Kuvalähteet

- 1 Rudus Oy. 2015. Kuitubetonit. Verkkodokumentti. Luettu 10.12.2015.
<http://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/kuitubetonit>.
- 2 Destia Oy. 2015. Hulkkonen liro.
- 3 Länsimetro. 2015. Verkkodokumentti Luettu 10.12.2015
<http://www.lansimetro.fi/tyomaa-alueet.html>

Liitteet

8 1530.1 Ruiskubetonointirakenteiden materiaalit

8 1530.1.1 Ruiskubetonimassa

Ruiskubetonin minimilujuusluokka on C30/37 (rakenneluokka 2), ellei suunnitelmissa toisin mainita. Ruiskubetonin laatuluokka on by29:ssä esitetty laatuluokka I. Betonin tulee olla standardin SFS-EN 206-1 mukaista. Ruiskubetonin suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta ja rasitusluokat seuraavat:

- Teräskuitu- tai teräsverkkovahvisteinen ruiskubetoni: XC3, XF1.
- Polymeerikuituvahvisteinen ruiskubetoni tai vahvistamaton ruiskubetoni: XF1.
- Suunnitelmapiirustuksissa voidaan osoittaa alueellisesti käytettäväksi edellisten lisäksi myös rasitusluokkaa XD1.

Ruiskubetonimassan suhteutuksessa ja valmistuksessa on huomioitava rasitusluokkien ja suunnittelu-käyttöiän vaatimukset SFS-EN 206-1:n ja SFS 7022:n mukaisesti, mutta ruiskubetonin kiihdyttimen huomioiva vesi/sementti -suhde saa olla korkeintaan 0,50. Betonimassan vesimäärä ei saa olla yli 200 kg/m³. Ruiskubetonin rasitusluokkien ilmamäärän minimimäärää ei sovelleta ja ruiskubetonin sementti-pitoisuuden tulee kuitenkin aina olla vähintään 300 kg/m³ (SFS-EN 14487-1). Kuivaseosmenetelmässä veden määrä säädetään siten, että vastaruiskutetun betonin pinta kiiltää hiukan.

Ruiskubetonin tiheyden tulee olla > 2200 kg / m³.

Ruiskutettaessa ei betonimassa saa olla notkeusluokkaa S3 (vetelä) notkeampaa (painuma 150...100 mm). Urakoitsijalla on oltava työmaalla koko ruiskubetonointityön ajan valmius osoittaa tilaajalle notkeusluokka tarvittaessa.

8 1530.1.2 Kuidut

Ruiskubetonin vahvistamiseen voidaan rakennuttajan valinnan mukaan käyttää teräskuituja tai polymeerikuituja. Louhinnan välittömästi keskeyttävässä ruiskubetonoinnissa massa vahvistetaan kuitenkin teräskuiduilla.

Teräskuidut:

Ruiskubetoniin lisättävien teräskuitujen tulee täyttää standardin SFS-EN 14889-1 vaatimukset seuraavien tarkennuksin:

- teräskuidun pituus: vähintään 25 mm,
- teräskuidun hoikkuusluku (pituus jaettuna halkaisijalla): vähintään 50 (mikäli kuidun poikkileikkausmuoto poikkeaa ympyrästä, halkaisija lasketaan poikkileikkauksen suurimman ja pienimmän halkaisijan keskiarvona),
- teräskuitujen myötöraja: vähintään 800 MPa,
- teräskuitujen päät: levitetyt tai taivutetut.

Teräskuitujen vähimmäismäärä (mitoitusmäärä) ruiskubetonimassassa kuivumiskutistuminen (tiiveys) huomioituna määritellään seuraavasti:

$$90 - 0,5 \times \text{hoikkuusluku} \leq \text{teräskuitujen määrä ruiskubetonimassassa (kg/m}^3\text{)} \geq 45 \text{ kg/m}^3$$

Polymeerikuidut:

Ruiskubetoniin lisättävien polymeerikuitujen tulee täyttää standardin SFS-EN 14889-2 vaatimukset luokan II makrokuiduille seuraavin tarkennuksin:

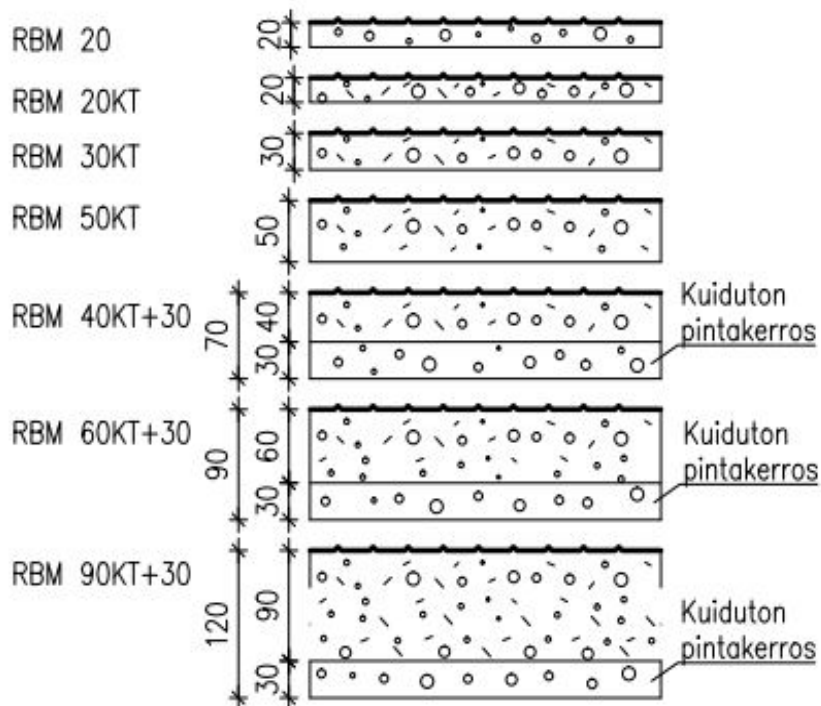
- polymeerikuidun vetolujuus vähintään 500 MPa,
- polymeerikuidun kimmokerroin vähintään 4,5 GPa,
- polymeerikuidun annostus vähintään 7 kg/m³ märkäruiskubetonissa,
- polymeerikuidun hoikkuusluku 60...120,
- polymeerikuidun muotoilun ja pinnan käsittelyn tulee edistää kuidun tartuntaa betoniin.

Kuitumäärä rakenteessa ei saa poiketa 20 %:a enempää betonimassan mitoitusmäärästä. Mikäli vaatimus ei täyty, tulee urakoitsijan lisätä polymeerikuitujen määrää ruiskubetonimassassa, kunnes vaatimuksenmukaisuus täyttyy.

Polymeerikuidulla tulee olla voimassa oleva direktiivin 93/68/EC mukainen CE -merkintä, kun kuitua käytetään lopullisessa rakenteessa.

Ruiskubetonin energian absorptioluokka polymeerikuiduilla vahvistetussa ruiskubetonissa on standardin SFS-EN 14487-1 taulukon 3 mukainen E1000. Efnarc-kokeessa kuormituksen maksimikuorman on oltava vähintään 50 kN. Mikäli absorptioluokan vaatimusta ei ennakkokokeissa saavuteta, tulee polymeerikuitujen mitoitusmäärää kasvattaa vastaavasti tai vaihtaa käytettävä polymeerikuitutyyppi.

Ruiskubetonityypit 1:5



RBM = ruiskubetonointi märkäseosmenetelmällä

KT = Teräskuitu

Ruiskubetonin alin lujuusluokka on C30/37 (rakenneluokka 2), rasitusluokat XC3 ja XF1. Ruiskubetonin suunnittelukäyttöikä 100 vuotta. Ruiskubetonin valmistuksessa tulee huomioida rasitusluokkien vaatimukset. Standardin SFS-EN 14487-1 mukaan ruiskubetonin sementtipitoisuuden tulee kuitenkin olla $\geq 300 \text{ kg/m}^2$.

Kerrallaan ruiskutettava ruiskubetonin kerrospaksuus on märkäseosmenetelmällä enintään 40mm.

Vaatimukset kuidulle ja sen määrälle ruiskubetonissa on esitetty rakennusselostuksessa.