



Jussi Tenhunen

## **RUIKUBETONIN KEHITYS POLYMEERINOTKISTIMIEN AVULLA**

# RUISKUBETONIN KEHITYS POLYMEERINOTKISTIMIEN AVULLA

Jussi Tenhunen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka

---

Tekijä: Jussi Tenhunen

Opinnäytetyön nimi: Ruiskubetonin kehittäminen polymeerinotkistimien avulla  
Työn ohjaajat: Kauko Kallio, Hannu Mattila, Mikko Vasama, Esa Heikkilä, Janne Liimatainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012 Sivumäärä: 44 + 0 liitettä

---

Insinööriä tehtiin projektina Finnsementille ja Ruskon Betonille. Finnsementti on Suomen suurin sementin toimittaja ja Ruskon Betoni Suomen toiseksi suurin valmisbetonin toimittaja. Yritykset tekevät paljon kehitystyötä Ruskon Betonin ollessa merkittävä asiakas Finnsementille sementin ja lisäaineiden tilaajana.

Työn aiheena oli testata kahdeksaa uutta polymeerinotkistinta Contestan laboratoriotiloissa ja valita tehdastestien perusteella kolme parasta notkistinta kenttätesteihin Ruskon Betonin betoniasemalla tuotannon kautta käytettävään valmisbetoniin. Tavoitteena oli löytää potentiaalinen uusi notkistin korvaamaan vanha käytössä oleva notkistin, jota käytetään ruiskubetonin tekemisessä. Työhön kuului myös vierailu Helsinkiin rakennettavan Länsi-Metron työmaalla sekä ruiskubetonointi operaattorien haastattelu eri massojen käyttöominaisuuksista.

Ruiskubetonin kehityksen kannalta työssä haettiin hyvää työstettävyyttä betonimassalle ja aiempaa pidempää työstettävyyssuhteita. Myös vesisementtisuhteita haluttiin saada pienemmäksi. Edellä mainittuja asioita testattiin normaaleilla betonin laboratorionkokeilla.

Työssä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Testauksen avulla löytyi yksi notkistin, joka oli muita parempi ja hyvä vaihtoehto uudeksi notkistimeksi. Tämä notkistin viedään CE -kokeisiin, josta tulee tulevaisuudessa oma tuote.

---

Asiasanat:

ruiskubetoni, polymeerinotkistin, lisäaineet, maanalainen rakentaminen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	3
SISÄLLYS .....	4
MÄÄRITELMÄT JA TERMIT .....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 BETONI.....	9
2.1 Betoni yleisesti.....	9
2.2 Betonituotteet.....	9
2.3 Betonin valmistaminen.....	9
2.4 Ruiskubetonointi .....	11
2.5 Ruiskutustyö ja jälkihoito.....	11
2.6 Ruiskubetonoinnin menetelmät.....	13
2.7 Ruiskubetonin materiaalit.....	16
2.8 Notkistimet betonissa.....	17
2.9 Polymeerintokistimet betonissa .....	18
3 TESTAUKSEN SUUNNITTELU JA SUORITUS.....	20
3.1 Taustatietoa .....	20
3.2 Testauksessa käytetyt välineet/laitteet.....	21
3.3 Testauksen suunnittelu .....	23
3.4 Testauksen aloitus .....	24
4 SUORITETUT TESTIT CONTESTALLA .....	25
4.1 Arviointi.....	25
4.2 Hylätyt ja jatkoon valitut notkistimet .....	27
4.3 Tulokset Contestalla testatuista notkistimista .....	27
5 TESTAUKSET BETONIASEMALLA.....	30
5.1 Aloitus .....	30
5.2 Ongelmat testauksessa .....	30
5.3 VB-Parmixin testitulokset asemalla.....	30
5.4 RB3-testitulokset.....	33
5.5 RB7-testitulokset.....	35
5.6 RB8-testitulokset.....	36
6 TYÖMAATESTAUKSET .....	38
6.1 Lähtökohdat.....	38

6.2 Haastattelut työmaalla .....	38
6.3 Työmaatulokset .....	39
7 YHTEENVETO .....	41
LÄHTEET .....	43

# MÄÄRITELMÄT JA TERMIT

Olennaisia käsitteitä ruiskubetonin testauksen kannalta ovat painuma, puristuslujuus, vesi-sementtisuhte, sekoitusaika, muokattavuus, huokostin, notkistin, kivikosteus, lisävesi, lämpötila ja annosraportti.

**Annosraportti** on dokumentti, joka tulostetaan kaikista testattavista betonimassoista. Siitä nähdään tarkasti kaikki toteutuneet raaka-aineannostelut.

**Huokostimella** tarkoitetaan betonissa käytettävää lisäainetta, jolla saadaan säädettyä ilmamäärää betonimassassa. Oikea ilmamäärä tekee massasta säänkestävän muodostamalla ilmahuokosia betonin sekoituksen aikana.

**Kivikosteus** on kosteus, jonka valmisbetonissa käytettävät kivimateriaalit omaavat. Tämä otetaan huomioon vedenkäytössä: jos kivikosteus on suuri, betonivalmistusohjelma muokkaa automaattisesti veden annostusmääriä betoniresepteihin alhaisimmaksi. Kivikosteuden seuranta on tärkeää, jotta saataisiin mahdollisimman realistiset testitulokset lisävedenkäytöstä ja notkistimen annostelusta.

**Lisävedellä** voidaan korjata betonimassan notkeutta betonin valmistusvaiheessa. Tämä vaikuttaa myös vesisementtisuhteeseen, joten sen käyttö on tarkkaa, koska vesisementtisuhteen kasvaessa lujuus alenee.

**Lämpötila** mitataan betonimassasta heti valmistuksen jälkeen. Betonivalmistusohjelma ilmoittaa betonin lämpötilan, mutta se mitataan myös manuaalisesti lämpömittarilla näytteenottojen yhteydessä.

**Muokattavuus** on yleinen käsite, joka voidaan liittää notkeuteen: mitä notkeampaa, sitä helpompi massaa on käsitellä. Liiallinen notkeus ei ole kuitenkaan hyväksi, sillä se voi hidastaa betonin kovettumista ja lujuutta, varsinkin jos notkeutta on haettu liiallisella lisäveden käytöllä. Muokattavuus voidaan tunnistaa painumakokeen yhteydessä.

**Notkistin** on aine, joka tekee betonimassasta notkeampaa. Notkistin vähentää vedenkäyttötarvetta. Tämän lisäaineen avulla saadaan laskettua vesisementtisuhdetta, joka tekee betonista loppulujuudeltaan kovempaa. Testauksissa käytetään polymeerinotkistimia, ja niiden annostelu vaihtelee noin 1,5 % - 1,9 % välillä sideaineen määrään verrattuna.

**Painumalla** tarkoitetaan betonin ja painumakartion huippujen etäisyyttä; painumakartiossa ja ilman painumakartiota, kun kartio on nostettu pois ja betoni on painunut alas.

**Puristuslujuus** on lujuus, jonka testattava betoni kestää rikkoontumatta. Yksikkö on  $\text{N/mm}^2$ .

**Sekoitusaika** on aika, joka kuluu betonimassan sekoittamiseen. Testauksissa käytetty sekoitusaikataavoite oli 120 sekuntia. Tämän ajan kuluessa ruiskubetonin tulee saavuttaa tavoitenotkeus ilman lisäveden käyttöä.

**Vesisementtisuuhde** on suhde, joka saadaan jakamalla veden määrä sementin (sideaineen) määrällä. Ruiskubetonissa vesisementtisuuhde on 0,45 tai alle.

# 1 JOHDANTO

Maanalainen rakentaminen on Suomessa voimakkaassa kasvuvaiheessa varsinkin pääkaupunkiseudulla erilaisten liikenneprojektien myötä. Myös vahvasti kohonneiden metallin hintojen ansiosta maanalainen rakentaminen ja kaivostoiminta ovat vilkastuneet. (1.)

Maanalainen rakentaminen edistää myös ympäristöystävällisyyttä, koska maanpäällinen tila voidaan säästää virkistyskäyttöön sen sijaan, että sitä käytettäisiin liikenneverkosto- ja parkkialuerakentamiseen. Suomessa on luonnostaan hyvät lähtökohdat maanalaiselle rakentamiselle vahvan graniittisen peruskallion ansiosta. Kallio on muodostunut nykyiseen tilaansa noin 300 -1 400 miljoonaa vuotta sitten. Joitakin geologisia prosesseja on tapahtunut myöhemminkin, mutta ne eivät ole olleet kovin laaja-alaisia. Nykyisellään Suomen kallioperä on vakainta ja vanhinta Euroopassa. Suomen kallioperä on myös todettu koko Euroopan unionin paksuimmaksi. Uusimpien tutkimustulosten mukaan maan alla on paikoitellen jopa 230 kilometriä kiinteässä olomuodossa olevaa kiviainesta. (2.)

Ruiskubetonoinnilla on ollut vahva asema maanalaisessa rakentamisessa jo vuosia nopeutensa ja perinteistä kalliontukemista halvemmän kokonaiskustannuksen ansiosta. Vahvasti kohonneen kysynnän ansiosta ovat myös betonointiin kohdistettu tutkimus ja tuotekehitys lisääntyneet. Laitteiden automatisointi vähentää työvoiman tarvetta, parantaa työskentelyolosuhteita, mutta samalla lisää käyttäjien koulutuksen tarvetta. Ruiskubetonointiin käytettävien massojen ja lisäaineiden kehittämällä pyritään lisäämään ruiskubetonoinnin sovelluskohteita sekä monipuolistamaan käyttöominaisuuksia eri rakennuskohteissa. (1.)

Ruiskubetonia on käytetty väestönsuojissa ja kaivoksissa vastalouhittujen tunnelien sekä väliaikaiseen että lopulliseen tukemiseen. Myös betonirakenteiden korjaustyöt esimerkiksi silloissa ja erilaisissa seinärakenteissa, siloissa ja savupiipuissa tehdään ruiskubetonin avulla. (3.)



## **2 BETONI**

### **2.1 Betoni yleisesti**

Betoni on kestävä ja kantava perusrakennusmateriaali, jota tarvitaan kaikessa lujuutta vaativassa rakentamisessa. Betoni on myös maailman käytetyin rakennusmateriaali. (2.)

Perusbetoni muodostuu seuraavista osa-aineista: kiviaineksesta, vedestä ja sementistä. Näiden osa-aineiden kovettuessa saadaan kestävä rakennusmateriaali, jota voidaan käyttää useassa käyttökohteessa. Betonin monipuolisuuden ansiosta sitä voidaan käyttää esimerkiksi rakennuksien rungon ja julkisivujen materiaalina. Myös ympäristöön liittyvässä rakentamisessa betoni toimii hyvin. Ominaisuuksiensa puolesta betoni on saavuttanut suuren suosion: hallittu lujuus, paloturvallisuus, massiivisuus, kestävyys ja muokattavuus. (2.)

### **2.2 Betonituotteet**

Suomessa betonialan yritykset tarjoavat ja valmistavat erilaisia betonituotteita. Yksi näistä tuotteista on valmisbetoni, jota käytetään talonrakentamiseen, maarakentamiseen ja ympäristörakentamisen tarpeisiin. (4.)

Muita tuotteita ovat erilaiset elementit, betonikivet, laatat, reunakivet, vesikourut ja muurikivet. Näitä tuotteita käytetään lähinnä ympäristötuotteina katujen, torien, puistojen, asuinpihojen, vallien, rinteiden ja muurien pinnoitukseen ja rakenteisiin. (5.)

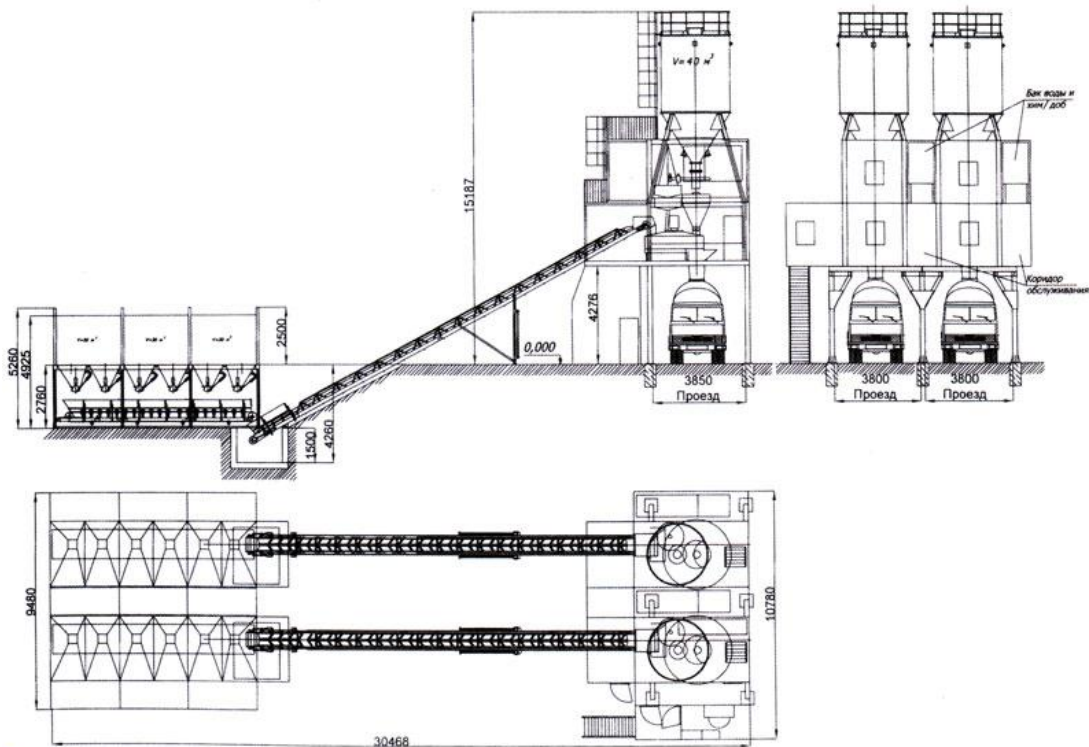
### **2.3 Betonin valmistaminen**

On olemassa kaksi tapaa valmistaa betonia: omatoimisesti työmaalla tai betoniasemalla. (4.)

**Omatoimisesti** betonia voidaan valmistaa työmaalla vapaapudotussekoittimella, jonka tilavuus on 120–200 litraa. Sekoittimeen laitetaan vesi, sementti ja kiviainekset. Tämä menetelmä on edullista, jos tarvittava betonimäärä on enintään muutamia satoja litroja. Kuitenkin omatoimisesti valmistetun betonin käyttö rajoittaa betonin sijoittelua työmaalla, koska suurin betonin lujuusluokka omatoimisesti tehtynä on nimellisesti K20. Tällä menetelmällä voidaan valmistaa betonia normaaleihin rakennustyössä tarvittaviin kohteisiin. Rajoituksena on jäykkien massojen tekeminen, koska jäykkä massa voi tarttua sekoittimen seinämiin, minkä takia betoni ei välttämättä sekoitu kunnolla. (6.)

**Betoniasemalla** betonin valmistus tehdään käytännössä tietokoneavusteisesti, joka tekee toiminnasta erittäin automatisoitua. Manuaalisesti tehtävät työt ovat kivi- ja sementtisiilojen täyttö.

Toimintaperiaatteeltaan betoniasema on yksinkertainen: tietokoneelta valitaan betoniresepti, jossa on määritelty tarkasti betoniin kuuluvat raaka-aineet. Tämän jälkeen tuotantolaitos annostelee vaa'oilte tarvittavat määrät kiviaineksiä, sementtiä, vettä ja lisäaineita. Kun vaa'oilla on oikeat määrät raaka-aineita, kiviaines menee vaakakuljettimen kautta pystykuljettimelle, joka vie kiviainekset myllyyn. Samanaikaisesti kiviaineksen kanssa sementti, vesi ja lisäaineet annostellaan myllyyn. Massan tasaisuuden varmistamiseksi mylly pyörii koko aineiden lisäämisen ajan. Sekoitusaika myllyssä määräytyy reseptin mukaan. Ajan ollessa täysi ja myllyn tehokerto oikea betonimyllyn pohjassa olevat luukut aukeavat yksittäin, jota kautta betoni tippuu myllyn alla olevan betoniauton kyytiin. Kuvassa 1 on esitetty betoniaseman kaikki ydintoiminnot kuten kivisiilot, pystykuljetin, sementtisiilot, betonimylly ja betoniauto.



KUVA 1. Esimerkki tyypillisestä betoniasemasta (7)

## 2.4 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonointi on menetelmä, jossa betoni pumpataan letkua pitkin ruiskutuskohteen lähellä sijaitsevaan suuttimeen. Betonimassan nopeus nostetaan paineilman avulla jopa yli kahteenkymmeneen metriin sekunnissa. Betonimassan nopeus nostetaan paineilman avulla jopa yli kahteenkymmeneen metriin sekunnissa. (3.)

## 2.5 Ruiskutustyö ja jälkihoito

Ruiskubetonointia käytetään sellaisten kohteiden betonointiin, joissa muottien käyttö on vaikeata tai mahdotonta. Betonointi aloitetaan pystyrakenteissa aina alhaalta ylöspäin, niin että kuopat ja nurkkaukset ruiskutetaan ensin täyteen. Yleensä betonoitava kohde on myös raudoitettu. Tämä vaatii huolellisuutta ruiskuttajalta, koska raudoituksen taakse jää yleensä tyhjää tilaa.

Ollakseen varmoja siitä, että tyhjä tila täyttyy, tulee ruiskutuksen suuntaa vaihdella. (8.)

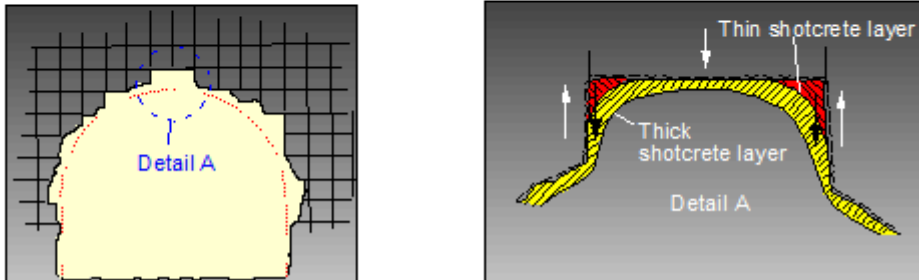
Ruiskutus suoritetaan 0,8 - 1,2 metrin päästä kohtisuoraan betonoitavaa pintaa vastaan, millä säästetään hukkaroisetta ja saavutetaan paras mahdollinen tarttuvuus. Hukkaroiskeen määrä puolestaan on suurimmillaan juuri ruiskutuksen aloituksessa, koska niin sanottua tartuntapintaa ei ole. Työn alussa hukka voi olla jopa 80 %, mutta hukka vähenee ruiskutuksen edetessä, koska ruiskubetonimassan hienot ainekset jäävät alussa ruiskutettavan kohteen tartuntapinnaksi. (8.)

Kokonaisuuden valmistumiseen tarvitaan ruiskutuspaksuudesta riippuen useampia ruiskutuskertoja. Kerroksen paksuus saa olla 20 - 40 mm. Kunnes paksuus on saavutettu, betonin annetaan kovettua. Betonilaadusta riippuen kovettumisaika on 8 - 24 tuntia, jolloin uusi kerros voidaan ruiskuttaa. Ennen uuden ruiskutuskerroksen ruiskuttamista ruiskutettavat pinnat puhdistetaan, jos hukkaroisetta on lentänyt pinnoille. Tällä varmistetaan, että ruiskutettava kohde on varmasti tiivis eikä ylimääräisiä paukkuja ja epämuodostumia tule. (8.)

Ruiskutuksen valmistumisen jälkeen tarvitaan vielä noin pari viikkoa kestävä jälkihoitovaihe. Tämä johtuu siitä, että ruiskubetonilla on tavallista korkeampi sementtimäärä, mikä johtaa myös siihen, että kutistumat tulevat suuremmiksi. Ruiskutettua pintaa hoidetaan erilaisilla jälkihoitoaineilla, jotka luovat ns. kosteussulun rakenteen pintaan. Jälkihoitoa ei voida kuitenkaan aloittaa ennen kuin kohde kestää vesihuuhtelun, ilman että sementti tai muut rakenneaineet irtoavat betonista. Jälkihoitoaine voi olla joko haihtuvaa tai mekaanisesti poistettavaa tapauksissa joissa ruiskutettu pinta esimerkiksi maalataan tai pinnoitetaan. Kuvassa 2 on esitetty, miten kalliopohjaisen ruiskutuskohteen betonointi tulee tehdä. (9.)

## How shotcrete works

Thin layers (3 - 15 cm):  
Arching effect



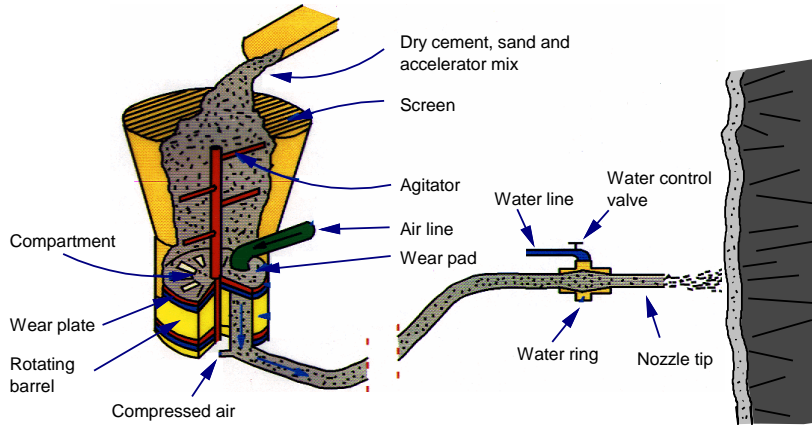
*KUVA 2. Ruiskubetonoinnin toimintaperiaate kalliotilojen tukemisessa (10)*

### 2.6 Ruiskubetonoinnin menetelmät

Ruiskubetonointi jaetaan kahteen erilaiseen menetelmään: kuiva- ja märkäseosmenetelmään. Kuivaseosmenetelmässä sementti ja runkoaineet syötetään paineilmalla ruiskutussuuttimeen, jossa siihen lisätään vesi. (9.)

Kuivaseosmenetelmässä betonimassa puhalletaan letkuissa hyvin kuivana. Tartunnan varmistamiseksi suuttimen suukappaleessa lisätään vain pieni määrä vettä tartunnan varmistamiseksi. Kuvassa 3 on esitetty ruiskubetonoinnin toimintaperiaate kuivaseosmenetelmällä. (11.)

## Dry-mix shotcrete

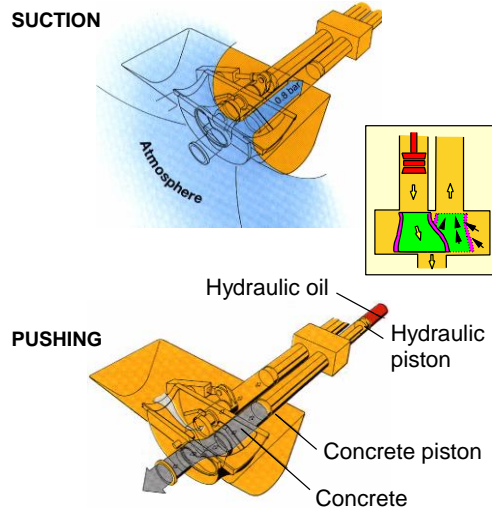


*KUVA 3. Kuivaseosmenetelmä ruiskubetonoinnissa (10)*

Märkäseosmenetelmässä valmisbetonimassa pumpataan mäntäpumpulla ruiskusuuttimeen, josta se paineilman avulla ruiskutetaan kohteeseen. Tällä menetelmällä saavutetaan huomattavasti pienempi hukkaroiskeen määrä verrattuna kuivaseosmenetelmään. (11.)

Kuvista 3 ja 4 voidaan havaita, että kuivaseosmenetelmä soveltuu vaikeampiin tiloihin verrattuna märkäseosmenetelmään. Tämä johtuu kuivaseosmenetelmän mekaniikasta ja laitteen koosta. Kuivaseosmenetelmässä käytetään myös paljon letkua tarvittaessa, mikä mahdollistaa pääsyn ahtaisiin tiloihin ja tarvittaessa ulottuvuuden pitkän matkan päähän betonin purkupaikasta. Märkäseosmenetelmässä tämä ei ole mahdollista suuren laitteisto koon vuoksi.

## Function of concrete pump



KUVA 4. Märkäseosmenetelmä ruiskubetonoinnissa (10)

Valinta kuiva- ja märkäseosmenetelmän välillä tehdään usein käyttökohteen vaatimusten sekä työmaan laajuuden ja ruiskutettavan kohteen laatuvaatimusten perusteella. Kuivaseosmenetelmää käytetään usein käyttötarkoitukseltaan väliaikaisten tilojen tukemiseen tai kun ruiskutettavat määrät ovat pieniä. Taulukosta 1 voidaan havaita ruiskutusmenetelmien vahvuudet ja heikkoudet. (11.)

TAULUKKO 1. Kuiva- ja märkäseosmenetelmien erot

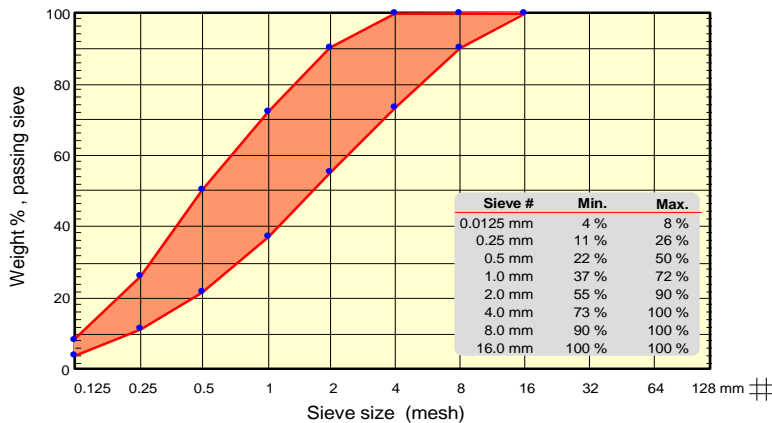
Ruiskutustapa	Kuivaseosmenetelmä	Märkäseosmenetelmä
Investointi kustannukset	pienet	suuret
Kohteet	pienet kohteet	suuremmat kohteet
Laitteiston koko	Laitteet ovat pieniä	Laitteet ovat suhteellisen suuria
Työskentelytila	ahtaat tilat	vaatii suuret tilat, esim. betoniauton läpikulun
Kapasiteetti	pieni	suuri
Pölyäminen	pölyää	ei pölyä niin paljoa
Työturvallisuus	vaatii hengityssuojia, heikko näkyvyys	parempi näkyvyys, hengityssuojia tarvitaan
Hukkabetoni	suuri	hukkaroiskeen määrä vähäinen

## 2.7 Ruiskubetonin materiaalit

Ruiskutettavassa betonimassassa käytetään hyvin pieniä runkoaineita, eli niin sanottua raekokoa kiviainekselle. Maksimi raekoon ollessa 8 mm suurin raekoko vaihtelee välillä 4–16 mm. Ruiskutusominaisuuksiltaan hyvä betonimassa sisältää myös hienoja materiaaleja, kuten kuvassa 5 oleva ideaali massan hiukkaskäyrä osoittaa. Runkoaineen muoto on tärkeä tekijä ruiskubetonin laadun kannalta. Pyöreät luonnonkivet ovat parhaita soveltuvuudeltaan ruiskubetonissa. Luonnon kivet omaavat myös hyvät ominaisuudet; helppo saataavuus, lujuus on suuri, kivi ei pala ja niiden ulkonäkö on luonnollinen ja jäljittelemätön. (12.)



### Aggregate 0...8 mm



KUVA 5. Ideaali ruiskumassan hiukkaskäyrä (10)

Notkistimia käytetään ruiskubetonissa työstettävyyden helpottamiseksi ja betonimassan koossapysyvyyden parantamiseksi. Tämä edesauttaa ruiskubetonin tarttumista varsinkin seinä- ja kattopinnoille.

Huokostimia käytetään säänkestävissä ruiskumassoissa. Jos tarkoituksena on parantaa massan säänkestävyyttä, tulee ilmamäärää seurata. Huokostimet



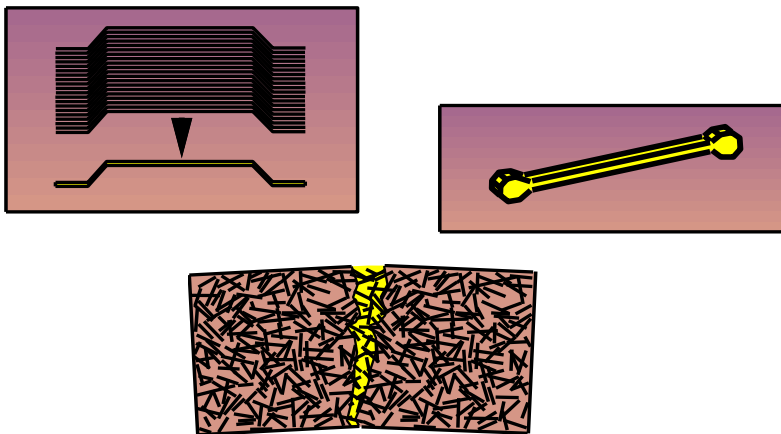
estävät betonin halkeamisen pakkasella, jos kosteutta pääsee kuivuneen betonin rakenteisiin. Ilmapitoisuus ruiskubetonissa on 4,5–5,5 % välillä. Huokostin vähentää myös hukkaroisetta betonin ruiskutuksessa.

Hidastimia käytetään tapauksissa, joissa massa halutaan pitää ruiskutettavana pidemmän aikaa, maksimissaan jopa kolme päivää. Tämä voi kuitenkin huonontaa betonin lujuuden kehitystä.

Kuituja käytetään ruiskubetonissa, jos ruiskutettavan kallion laatu on huono tai yleisesti vahvikkeena käytetty betoniverkko halutaan korvata vähemmän käsitöitä vaativalla mekanisoidulla ratkaisulla. Kuitumateriaalina käytetään yleensä teräskuituja, mutta myös muovikuituja on otettu käyttöön maanalaisessa ruiskutusprojekteissa. Kuvassa 6 on esitetty betonissa käytettäviä teräskuituja ja kuinka teräskuidut estävät betonin murtumista. (3.)



## Fibres



KUVA 6. Betonissa käytettäviä teräskuituja (10)

## 2.8 Notkistimet betonissa

Betonin työstettävyyttä on parannettu sen käyttötarkoituksesta riippuen normaaleilla notkistimilla. Saavutetut edut ovat seuraavat: vesimäärän vähennys,

työstettävyyden parannus, tehokkaampi sementin käyttö ja nopeampi varhaislujuuden kehitys.

Notkistimet toimivat sementin ja veden rajapinnoilla muodostaen sementtihiukkasten ympärille ohuen kalvon, joka pitää sementtihiukkaset erillään toisistaan. Tämä helpottaa veden pääsyä sementtihiukkasten väliin ja parantaa betonin työstettävyyttä, kun sementin ja veden kontaktipinta suurenee. (13.)

Etujen lisäksi myös haittoja voi esiintyä. Näitä haittoja ovat kustannuksien nousu ja liiallinen notkeus. Myös muiden lisäaineiden yhtäaikainen toiminta betonissa voi heikentyä. (14.)

## **2.9 Polymeerinotkistimet betonissa**

Betonin lisäainekehityksessä yksi suurista keksinnöistä ovat polymeerinotkistimet. Nämä polykarboksylaatti-tyyppiset tehonotkistimet ovat yksi valmisbetonissa käytetyistä materiaaleista. Polymeerinotkistimia käytettäessä aikaansaadaan alhaisemmat vesisementtisuhteet verrattuna muun tyyppisiin notkistaaviin lisäaineisiin, ja näin saavutetaan korkeampia lujuusarvoja betonille. Polymeerinotkistimien valmistuksessa käytetään polyetyylioksidi-tyyppisiä kemiallisia ketjuja, jotka puolestaan hajoittavat sementtipartikkeleja. Tällä reaktiolla saavutetaan sementin rakennetta tasoittava vaikutus. (15.)

Betonin valmistajat toivovat yleensä lisäaineilta seuraavia ominaisuuksia: vedenvähennystarve betonin kestävyuden lisäämiseksi, betonin nopea sitoutuminen aikaisen lujuudenkehityksen saavuttamiseksi ja betonin työstettävyyden pysyvyys. Normaaleilla notkistimilla ei pystytä täyttämään kaikkia näitä vaatimuksia. Esimerkiksi suuri vedenvähennys johtaa siihen, että sementtipartikkelit ovat erittäin lähellä toisiaan, mikä puolestaan aiheuttaa betonin työstettävyyden nopean häviämisen. (16.)

Polymeeripohjaisilla notkistimilla voidaan yhdistää edellämainittuja toivottuja ominaisuuksia. Tämä on mahdollista muokattaessa polymeerien ketjujen pituut-

ta, sivuketjujen pituutta, elektronisia varauksia, sivuketjujen tiheyttä ja niiden toiminnallisia ryhmiä. (16.)

Polymeerinoatkistimet ovat uusimpia betonin lisäaineita. Tämän takia notkistimien ja sementin keskenäinen vuorovaikutus on vielä tutkimuksen kohteena. Suurimpia kysymyksiä ovat, omaksuvatko polymeerinoatkistimet tasaisesti kosteutavan sementin rakeisuuden sekä sitovatko ne sementin pinnalleen ohueksi kerrokseksi vai sitoutuuko sementti polymeerinoatkistimen omalle pinnalle. (17.)

Työssä testattuja polymeerinoatkistimia ei ollut testattu aikaisemmin, koska ne olivat täysin uusia koostumuksia. Tämän takia ei jälkeinpäin voitu verrata teoriaa ja käytäntöä eikä tuloksilla myöskään ollut odotusarvoa.

## 3 TESTAUKSEN SUUNNITTELU JA SUORITUS

### 3.1 Taustatietoa

Lähtökohtana työssä oli hakea aiempaa pidempää työstettävyyssaiakaa ruiskubetonille. Työstettävyyssajan maksimaalisella pituudella pyritään kompensoimaan käytännön ruiskutustilanteissa eteen tulevien viivästysten aiheuttamia katkoja ruiskutusprosessissa. Näitä ongelmia ovat ruiskupumpun hajoaminen, ruiskupumpun siirtäminen toiseen paikkaan, odotusajat työmaalla ja lämpötilan nouseminen. Käytännössä kaikki seikat, jotka pidentävät betonin purkua, huonontavat betonin työstettävyyttä. Lämpötilan nouseminen puolestaan nopeuttaa betonin kuivumista, jolloin myös työstettävyys huononee.

Joillain notkistimilla saatiin hyviä tuloksia lyhyen odotusajan jälkeen, mutta ongelmana oli se, että ne menettivät ominaisuutensa nopeasti ajan kuluessa. Tämä ominaisuuden menetys oli alkusysäys ruiskutusmassan kehitysprojektille. Meneillään olevat suuret rakennustyömaat kuten Helsingin Länsimetron ruiskutus aiheuttavat helposti suurien massamäärien hukkaantumisen, mikäli odotusaika on liian lyhyt muuhun prosessiin verrattuna.

Länsimetron ruiskutustyön hoitaa tsekkiläinen yritys nimeltä Metrostav. Tälle työmaalle on luotu kaksi omaa betonireseptiä. Perusmassat ovat muilta ominaisuuksiltaan samanlaiset, toisessa massassa betoniin on lisätty teräskuituja 60 kg/m<sup>3</sup>. Työn alkumäärittelyssä päätettiin, että se betoniresepti, jota käytetään Metrostavin työmaan betonissa, pidetään samana testattaessa uusia notkistimia.

### 3.2 Testauksessa käytetyt välineet/laitteet

Testauksessa käytettiin seuraavia laitteita muotteja, tasoitin, painumakartio, painuma-alusta, painumasauva, betonivibra, hiomakone, puristuskone, lämpömittari ja ilmamäärämittari. Betonin valmistuksessa käytettiin ohjelmistoa nimeltä Polarmatic 2300/2301.

Kuvassa 7 on esitetty standardin mukaiset betonin koemuotit. Muoteissa betoni kuivataan seuraavaa koetta varten 12 - 24 tuntia.



*KUVA 7. Tuoretta ruiskubetonimassaa muoteissa*

Kuvassa 8 esitetyn painumakartion ja sauvan avulla määritetään betonin notkeus laboratoriossa sekä työmaaolosuhteissa. Kartiosta täytetään 1/3, minkä jälkeen sauvalla painetaan betonimassaa noin 20 kertaa. Seuraavaksi toistetaan sama toimenpide kaksi kertaa. Tämän jälkeen kartio nostetaan hitaasti pois ja betoni lähtee painumaan. Kunnes betonin painuminen on loppunut, saadaan painuma mittaamalla kartion huipun ja betonimassan etäisyys.



*KUVA 8. Painumakartio ja sauva*

Kuvassa 9 esitetyllä puristuskoneella määritetään betonin puristuslujuus. Betonikappale laitetaan puristimen leukojen väliin ja käynnistetään puristus. Laite puristaa betonikappaletta kunnes se halkeaa. Halkeamisen jälkeen kone ilmoittaa saavutetun lujuuden.



*KUVA 9. Puristuskone Controls Automax 5-Series ja vibra sen päällä*

Kuvassa 10 esitetyllä ilmamäärämittarilla mitataan betonimassan sisältämä ilmamäärä. Mittarin sanko-osa täytetään aluksi puoleenväliin, jonka jälkeen betonimassa vibrataan. Tämän jälkeen täytetään sanko loppuun ja vibrataan uudelleen. Sanko-osan ollessa täynnä betonia niin kannen ja sanko-osan välinen tila täytetään vedellä sivulla sijaitsevasta ilmaventtiilistä. Täytön ollessa valmis ilmaventtiilit suljetaan ja pumpataan ilmaa käsin kannessa olevasta pumpusta kunnes mittarin viisari saavuttaa nollakohdan ja voidaan suorittaa ilmanmittaus painamalla kannessa sijaitsevassa testauspainikkeesta.



*KUVA 10. Ilmamäärämittari*

### 3.3 Testauksen suunnittelu

Tsekkiläisten tilaama betonin määrä oli yleensä kuusi kuutiometriä kerralla. Kivenlahden betoniasemalla se oli järkevin hoitaa kolmella myllyllisellä. Tämä tarkoitti sitä, että jokainen myllyllinen oli 2 kuutiometrin kokoinen ja koko kuorma tehtiin kolmessa osassa. Näin ollen päädyttiin ratkaisuun, että ensimmäinen myllyllinen tehtiin aina koenotkistimella ja siitä otettiin betonikärriyn koemassa, samalla kun betoni lastattiin kuljetusautoon. Tällä menettelyllä saatiin kompensoitua normaali- ja koemassat niin, että erot tasaantuivat kuljetuksen aikana sekoitettaessa. Toimenpide suoritettiin varmuuden vuoksi jokaisen testin yhteydessä. Ilman tätä toimenpidettä olisi voinut käydä niin, että ruiskuttaessa ensimmäiset 4 kuutiota olisivat olleet erilaisia kun 2 viimeistä kuutiota.

Uusille koenotkistimille otettiin myös käyttöön oma pumppu, joka toimi aikaisemmin Jarru Parmix -lisäaineen pumppuna. Näin saatiin automatisoitua notkistin annostelu, ettei notkistinta käyty käsin kaatamassa betonimyllyyn, joka ei annostelutarkkuutena olisi vastannut tuotanto-ohjelman tarkkuutta.

Testauksen suunnittelua Finnsementin alihankkijan, Contestan laboratoriotiloissa tehtäville testeille ei juurikaan tarvittu. Koemassat valmistettiin 30 litran annoksina, minkä jälkeen suoritettiin tarvittavat mittaukset. Kuvassa 11 on esitetty Contestan betonimylly, jota käytettiin kaikkien koemassojen valmistuksessa alustavissa testeissä.



*KUVA 11. Contestan betonimylly*

### 3.4 Testauksen aloitus

Polymeerinoikistimien testaus alkoi Contestan laboratoriotiloissa. Testattavana oli kahdeksan eri koenoikistinta. Nämä notkistimet nimettiin nimellä RB1–RB8 (kuvassa 12 viisi ensimmäistä koenoikistinta). Karsinnassa vaikuttava tekijä oli painumatulokset, jotka mitattiin heti, 30 minuutin, 60 minuutin, ja 120 minuutin päästä betonin valmistuksesta.

Samaan aikaan testejä suoritettiin nykyisestä notkistimesta Espoon Kivenlahden betoniasemalla, että saataisiin verrattua uusia notkistimia nykyiseen. Notkistimena oli Finnsementiltä jo aiemmin hankittu VB-Parmix.



*KUVA 12. Polymeerinoikistimia pulloissa ennen testauksen aloitusta*



## 4 SUORITETUT TESTIT CONTESTALLA

Contestan laboratoriossa aloitettiin notkistimien testaus niin, että testaukset tehtiin maksimissaan viiden kappaleen päiväerinä. Tässä vaiheessa notkistimista mitattiin vain painumat, joiden perusteella valittiin kolme parasta vaihtoehtoa jatkotesteihin Ruskon Betonin Espoon Kivenlahden asemalle.

Painumakoe aloitettiin asettamalla metallilevy maahan, minkä jälkeen sen päälle laitettiin painumakartio. Tuoretta betonimassaa laitettiin aluksi noin 1/3 kartiosta ja massa tiivistettiin painumasauvalla. Tämä toimenpide toistettiin vielä kaksi kertaa. Painumakartion ollessa täynnä, pinta tasoitettiin. Sen jälkeen nostettiin painumakartio ylös tasaisesti, jolloin betoni painui alaspäin. Kun betoni oli lopettanut painumisen, mitattiin painuma asettamalla kartio betonimassan viereen ja mitattiin painumakartion ja betonimassojen huippujen välinen etäisyys (kuva 13).



*KUVA 13. Painuman mittaus Contestan laboratoriotiloissa*

### 4.1 Arviointi

Testausvaiheessa tarkkailtavia ominaisuuksia olivat painuma, veden kerääntyminen betonimassan pinnalle tai ympärille ja betonin olomuoto painumamittauksen yhteydessä. Osa notkistimista saattoi antaa hyvän painumatuloksen, mutta painuman edettyä tarpeeksi pitkälle betonimassa alkoi murentua tai se jopa halkesi (kuva 14).



*KUVA 14. Hylätty notkistin betonimassan murentumisen takia*

Veden erottuminen betonimassasta (kuva 15) oli myös yksi notkistimen hylkäämisperusteista. Notkistin saattoi aiheuttaa sen, että betonimassan pinnalle kertyi vettä tai se erottui selvästi jossain testauksen vaiheessa.



*KUVA 15. Hylätty notkistin murentumisen ja veden erottamisen takia*

Koska työn aiheena oli kehittää ruiskubetonimassaa, vaadittiin massalta hyvää työstettävyyttä. Työstettävyys voitiin määrittellä pitkälti painumatuloksesta, jonka täytyi olla ominaisuuksiltaan hyvä vielä 120 minuutin kuluttua.



*KUVA 16. Hylätty notkistin huonon painuman takia*

## **4.2 Hylätyt ja jatkoon valitut notkistimet**

Testaus aloitettiin kahdeksalla koenotkistimella, joista kolme parasta otettiin jatkotesteihin Ruskon Betonin Espoon Kivenlahden asemalle. Kaikilla notkistimilla ei ollut painavia hylkäämisperusteita, vaan osa notkistimista olivat hyvin tasavertaisia. Kuitenkin kolme parasta vaihtoehtoa olivat notkistimet RB3, RB7 ja RB8. Muita notkistimia ei viety jatkotesteihin, vaan keskityttiin testaamaan käytännön olosuhteissa edellämainittuja notkistimia betoniasemalla.

## **4.3 Tulokset Contestalla testatuista notkistimista**

Laboratoriossa testatuissa notkistimissa käytettiin 3 % annostelua sideaineeseen nähden. Jokaista massaa, jossa käytettiin uutta koenotkistinta, tehtiin 30 litraa.

Jokaista betonimassaa, jossa käytettiin uusia notkistimia, testattiin ennaltamääräylin väliajoin ja kirjattiin tulokset ylös (taulukko 2). Tässä vaiheessa testausta oli havaittavissa parhaat notkistin vaihtoehdot painumien ja massojen olo-  
muotojen perusteella.

TAULUKKO 2. Tulokset numeroina

Painuma (mm)	Heti	30min	60min	120min
RB1	195	200	175	180
RB2	170	170	100	90
RB3	160	210	240	245
RB4	170	190	215	210
RB5	20	0	160	175
RB6	205	205	250	170
RB7	205	235	255	200
RB8	200	230	235	170

Notkistimet RB3, RB7 ja RB8 pääsivät jatkoon hyvien ja tasaisten tulosten sekä hyvän olomuodon perusteella. Betonimassat eivät lohkeilleet eivätkä murentuneet painumamittauskojeita tehtäessä. Juuri lohkeilun ja murentumisen kesto olivat kriittisiä perusteita jatkoontäpäätyn kannalta.

Yleensä annostukset suunnitellaan kuutiometrin massamäärälle (taulukko 3). Kuutiometri on yleisesti pienin tilattava massaerä työmaalle. Laboratoriokokeita varten massa-annos muunnettiin 30 litran kokoiseksi käsiteltävyyden parantamiseksi (taulukko 4).

TAULUKKO 3. Resepti kuution annokselle

Annoskoko	1 m <sup>3</sup>
Kiviaines	1755 kg
Yleis sementti	135 kg
CEM I	310 kg
Vesi	175 kg
Teräskuitu	60 kg
Notkistin	13,33 kg

*TAULUKKO 4. Muunnettu resepti 30 litran koe-annoksille*

<b>Annoskoko</b>	30 litraa
<b>Kiviaines</b>	52,71 kg
<b>Yleis sementti</b>	4,05 kg
<b>CEM I</b>	9,3 kg
<b>Vesi</b>	5,25 kg
<b>Teräskuitu</b>	1,8 kg
<b>Notkistin</b>	0,4 kg

## **5 TESTAUKSET BETONIASEMALLA**

### **5.1 Aloitus**

Kun jatkoon päässeet notkistimet olivat selvillä, tuotiin jokaista koenotkistinta 1 000 litran kontti Finnsementiltä Paraisilta Espoon Kivenlahden betoni-  
asemalle. Testaus aloitettiin heti, koska ruiskubetonia meni sillä hetkellä Hel-  
singissä rakenteilla olevaan Länsi-Metroon mittavia määriä. Kutakin koe-  
notkistinta pyrittiin testaamaan mahdollisimman paljon lyhyellä aikavälillä, koska  
tietoon tuli, että tsekkiläinen urakointiyritys Metrostav aloitti tunnelin poraukset  
Helsingin Karhusaassa. Tämä tarkoitti sitä, että ruiskutukseen oli odotettavis-  
sa tauko, mikä olisi aiheuttanut lisää epätarkkuutta tulosten vertailussa.

### **5.2 Ongelmat testauksessa**

Testauksien suorittamista vaikeutti ja hidasti tauko ruiskubetonin menekissä.  
Tässä vaiheessa kuidutonta ruiskumassaa alettiin testata sekoittamalla sitä  
sellaisten massojen sekaan, johon se käyttöpaikan puolesta soveltuu ja jossa  
se ei aiheuta rakentamisen suhteen ongelmia.

Eniten ongelmia aiheutti kuidullisen ruiskumassan testaaminen. Lujuudeltaan ja  
muokattavuudeltaan massa olisi soveltunut hyvin lähes mihin tahansa betoni-  
massaan, mutta kuidullinen ruiskubetoni sisälsi 60 kiloa teräskuituja kuutiota  
kohden. Ruiskumassa olisi voitu periaatteessa sekoittaa kuidulliseen lattiama-  
saan, mutta lattiainmassoissa kuitumäärä vaihteli 30 kilon ja 35 kilon välillä, joten  
näin ei voitu tehdä.

### **5.3 VB-Parmixin testitulokset asemalla**

Ruiskubetonia tehtiin Finnsementin toimittamalla VB-Parmix-notkistimella. Tätä  
notkistinta testattiin vertailukohteen saamiseksi heti insinööriyön alkaessa.

Notkistin toimi hyvin normaaleissa betonimassoissa, mutta vaativimpien ruisku-betonimassojen menekin vuoksi oli aika alkaa etsiä uutta notkistinratkaisua. VB-Parmixista suoritettiin kaikki samat testit kuin uusista testinotkistimista. Nämä testit olivat puristuslujuudet ja painumat sekä ilmapitoisuudet.

Taulukosta 5 voidaan huomata, että painumatulokset ovat suhteellisen hyviä alussa, mutta notkistin menettää tehonsa tunnin jälkeen valmistuksesta. Notkistimen vaikutusta betonimassaan voidaan myös arvioida sekoitusajan ja betonimyllyn antaman teholumen perusteella. Betonin valmistuksessa käytettiin ohjelmistoa nimeltä Polarmatic 2300/2301, josta nähtiin tavoite sekoitusaika ja teholumen. Tämä tarkoittaa sitä, että betonimassan tulee muodostua tarpeeksi notkeaksi tavoiteaikaan mennessä. Tietokoneelta voidaan reaaliajassa nähdä betonimassan antama vastus myllylle sekoituksen aikana.

TAULUKKO 5. VB-Parmix-notkistimen testitulokset ja annostelut raaka-aineille kuutiota kohden

<b>Painuma</b>	<b>VB-Parmix ilman kuituja</b>	<b>VB-Parmix kuitujen kanssa</b>
Heti	160mm	220mm
30min	85mm	185mm
60min	52mm	135mm
120min	23mm	65mm
<b>Puristuslujuus</b>		
1 vrk	22,0 N/mm <sup>2</sup>	14N/mm <sup>2</sup>
7 vrk	41,5 N/mm <sup>2</sup>	37N/mm <sup>2</sup>
28 vrk	49,5N/mm <sup>2</sup>	44,5N/mm <sup>2</sup>
<b>Tiheys</b>		
1 vrk	2226kg/m <sup>3</sup>	2225kg/m <sup>3</sup>
7 vrk	2272kg/m <sup>3</sup>	2272kg/m <sup>3</sup>
28 vrk	2224kg/m <sup>3</sup>	2271kg/m <sup>3</sup>
<b>Paino</b>		
1 vrk	11716g	11711g
7 vrk	11955g	11955g
28 vrk	11702g	11950g
<b>Kivikosteus</b>		
0-8mm	1,20 %	2,20 %
Filleri	4,50 %	4,50 %
<b>Ilmapitoisuus</b>	4,40 %	4,60 %
<b>Lisävesi</b>	2,3 litraa	2,2 litraa
<b>Annostelut (toteutunut kuutiolle)</b>		
0-8mm	1605,1 kg	1636,5 kg
Filleri	125,8 kg	126,6 kg
Holcim 42.5R	421,1 kg	430,9kg
Vesi	154,7 kg	139,2 kg
VB-Parmix	6,36 kg	7,18 kg
Ilma-Parmix	2,93 kg	6,76 kg
Kuitu GH 65/35		60,8 kg
<b>Sekoitusaika</b>	122 sekuntia	120
<b>Vesi/sementti-suhde</b>	0,43	0,43
<b>Lämpötila</b>	21,2 celsiusta	20,2 celsiusta

VB-Parmix toimi hyvin normaaleissa massoissa. Sitä käytettäessä myös betonimassa asettui tavoitelukemaan tavoiteajassa hyvin, eikä lisävettä tarvinnut



käyttää juurikaan edellyttäen että kivikosteudet mitattiin tarpeaksi usein ja ne tallennettiin ohjelmistoon.

## 5.4 RB3-testitulokset

Lisäainetestaus uusien koenotkistimien saavuttua Espoon Kivenlahteen alkoi RB3-notkistimella. Tällä notkistimilla saavuttettiin hyviä tuloksia kuidullisessa ruiskubetonimassassa, mutta kuiduttomana tulokset eivät olleet juurikaan alkuperäistä VB-Parmixia parempia. Notkistinta testattiin muutamia kertoja, lähinnä sen olomuodon vuoksi. Ongelmana RB3-notkistimella oli se, että se nosti paljon vettä betonimassan pintaan, mikä oli lopulta painavin syy sen testauksen lopettamiseen.

Kuvasta 17 voi huomata, että massasta erottuva vesimäärä on runsasta. Tämä ilmiö kävi molemmissa kuiduttomassa sekä kuidullisessa ruiskubetonimassassa.



*KUVA 17. RB3-notkistimella tehty betonimassa*

Taulukossa 6 on esitetty RB-3 notkistimen tulokset kuidullisessa ja kuiduttomassa ruiskubetonimassassa. Suurimmat merkittävät erot koemassoissa olivat lujuus ja ilmamäärä.

TAULUKKO 6. RB3-notkistimen testitulokset ja annostelut raaka-aineille

<b>Painuma</b>	<b>RB-3 ilman kuituja</b>	<b>RB-3 kuitujen kanssa</b>
Heti	215mm	250mm
30min	120mm	245mm
60min	95mm	230mm
120min	40mm	210mm
<b>Puristuslujuus</b>		
1 vrk	19,0 N/mm <sup>2</sup>	12N/mm <sup>2</sup>
7 vrk	46N/mm <sup>2</sup>	28,5N/mm <sup>2</sup>
28 vrk	50N/mm <sup>2</sup>	38N/mm <sup>3</sup>
<b>Tiheys</b>		
1 vrk	2327kg/m <sup>3</sup>	2294kg/m <sup>3</sup>
7 vrk	2280kg/m <sup>3</sup>	2314kg/m <sup>3</sup>
28 vrk	2341kg/m <sup>3</sup>	2354kg/m <sup>3</sup>
<b>Paino</b>		
1 vrk	12247g	12071g
7 vrk	11996g	12176g
28 vrk	12321g	12387g
<b>Kivikosteus</b>		
0-8mm	2,00 %	2,20 %
Filleri	4,50 %	5,30 %
<b>Ilmapitoisuus</b>	4,90 %	2,00 %
<b>Lisävesi</b>	17,7 litraa	29,8 litraa
<b>Annostelut (kaksi kuutiota)</b>		
0-8mm	3282,3 kg	3303 kg
Filleri	251,6 kg	255 kg
Holcim 42.5R	850 kg	850 kg
Vesi	284,8 kg	309,8 kg
RB-3	12,75 kg/1,5%	16,15 kg/1,9%
Ilma-Parmix	5,95 kg/0,7%	13,6 kg/1,6%
Kuitu GH 65/35		120 kg
<b>Sekoitus aika</b>	123 sekuntia	121 sekuntia
<b>Vesi/sementti-suhde</b>	0,45	0,47
<b>Lämpötila</b>	20,3 celsiusta	26 celsiusta

## 5.5 RB7-testitulokset

Koenotkistimista seuraavaksi testeihin otettiin RB7-notkistin. Alkuperäiseen VB-Parmixiin huomattavia eroja ei ollut. Ilman kuituja vanha notkistin antoi jopa hieman parempia tuloksia kuin RB7, kun taas kuidullisena tilanne oli toisin päin.

TAULUKKO 7. RB7-notkistimen testitulokset ja annostelut raaka-aineille

<b>Painuma</b>	<b>RB-7 ilman kuituja</b>	<b>RB-7 kuitujen kanssa</b>
Heti	80mm	235mm
30min	40mm	220mm
60min	20mm	205mm
120min	0mm	135mm
<b>Puristuslujuus</b>		
1 vrk	23,5N/mm <sup>2</sup>	14,5N/mm <sup>2</sup>
7 vrk	46N/mm <sup>2</sup>	31,5N/mm <sup>2</sup>
28 vrk	45N/mm <sup>2</sup>	35,5N/mm <sup>2</sup>
<b>Tiheys</b>		
1 vrk	2246kg/m <sup>3</sup>	2267kg/m <sup>3</sup>
7 vrk	2264kg/m <sup>3</sup>	2340kg/m <sup>3</sup>
28 vrk	2206kg/m <sup>3</sup>	2311kg/m <sup>3</sup>
<b>Paino</b>		
1 vrk	11819g	11928g
7 vrk	11913g	12313g
28 vrk	11610g	12162g
<b>Kivikosteus</b>		
0-8mm	2,70 %	2,70 %
Filleri	5,50 %	5,50 %
<b>Ilmapitoisuus</b>	4,80 %	2,50 %
<b>Lisävesi</b>	53,4 litraa	33,2 litraa
<b>Annostelut (kahdelle kuutiolle)</b>		
0-8mm	3306 kg	3316,4 kg
Filleri	254,8 kg	255 kg
Holcim 42.5R	850 kg	850 kg
Vesi	258 kg	298 kg
RB-7	12,75kg/1,5%	14,45kg/1,7%
Ilma-Parmix	5,95kg/0,7%	13,6kg/1,6%
Kuitu GH 65/35		120 kg
<b>Sekoitus aika</b>	134 sekuntia	122 sekuntia
<b>Vesi/sementti-suhde</b>	0,49	0,47
<b>Lämpötila</b>	22,5 celsiusta	22 celsiusta

RB7-notkistimella tehdyt ruiskubetonimassat olivat olomuodoltaan hyviä. Ne eivät lohkeilleet tai nostaneet vettä pintaan. Notkistin ei vain toiminut kunnolla, mikä voidaan todeta käytetystä lisäveden määrästä. Vesisementtisuhte on noussut molemmissa kuidullisessa sekä kuiduttomassa ruiskumassassa yli suositellun 0,45.

Painumatulokset kuidullisessa ruiskumassassa ovat hyviä, mutta kuiduttomassa huonoja. Testejä suoritettiin useampia, mutta tulokset olivat aina lähes samanlaiset.

## **5.6 RB8-testitulokset**

Viimeisenä testausvuorossa oli koenotkistin RB-8. Tällä notkistimilla saatiin lupaavia tuloksia testauksen alussa. Tässä vaiheessa päätettiin, että keskitytään testaamaan RB8-notkistinta perusteellisemmin. Suunnitelmissa oli myös käydä testaamassa kyseistä notkistinta tsekkiläisten työmaalla Helsingin Länsi-Metron työmaalla, joka päästiinkin toteuttamaan myöhemmin.

RB8-notkistimella tehdyt massat eivät myöskään osoittaneet minkäänlaisia merkkejä halkeilusta. Massat pysyivät hyvin kasassa ja vedenkerääntymisilmiötä ei havaittu missään testauksen vaiheessa. Finnsementillä suoritetuissa mittauksissa havaittiin myös, että RB8-notkistimella tehdyt massat aloittivat ainesosien sitoutumisen nopeammin kuin muilla notkistimilla tehdyt massat. Taulukosta 8 voidaan myös huomata, että ilmapitoisuus ja puristuslujuudet ovat hyvin lähellä toisiaan kuidullisessa ja kuiduttomassa betonimassassa.

TAULUKKO 8. RB8-notkistimen testitulokset ja annostelut raaka-aineille

<b>Painuma</b>	<b>RB-8 ilman kuituja</b>	<b>RB-8 kuitujen kanssa</b>
Heti	175mm	230mm
30min	90mm	210mm
60min	65mm	170mm
120min	30mm	70mm
<b>Puristuslujuus</b>		
1 vrk	22,5N/mm <sup>2</sup>	22N/mm <sup>2</sup>
7 vrk	41,5N/mm <sup>2</sup>	38N/mm <sup>2</sup>
28 vrk	46,5N/mm <sup>2</sup>	46,5N/mm <sup>2</sup>
<b>Tiheys</b>		
1 vrk	2220kg/m <sup>3</sup>	2290kg/m <sup>3</sup>
7 vrk	2240kg/m <sup>3</sup>	2317kg/m <sup>3</sup>
28 vrk	2266kg/m <sup>3</sup>	2314kg/m <sup>3</sup>
<b>Paino</b>		
1 vrk	11682g	12049g
7 vrk	11789g	12193g
28 vrk	11925g	12177g
<b>Kivikosteus</b>		
0-8mm	3,00 %	1,70 %
Filleri	5,00 %	4,50 %
<b>Ilmapitoisuus</b>	3,50 %	3,00 %
<b>Lisävesi</b>	25,2 litraa	47,1 litraa
<b>Annostelut (kaksi kuutiota)</b>		
0-8mm	3316,2 kg	3316,4 kg
Filleri	253 kg	255 kg
Holcim 42.5R	850 kg	850 kg
Vesi	249,8 kg	296,4 kg
RB-8	12,75kg/1,5%	16,15kg/1,9%
Ilma-Parmix	5,95kg/0,7%	13,6kg/1,6%
Kuitu GH 65/35		120 kg
<b>Sekoitus aika</b>	120 sekuntia	151 sekuntia
<b>Vesi/sementti-suhde</b>	0,46	0,5
<b>Lämpötila</b>	20,9 celsiusta	22,7 celsiusta

## 6 TYÖMAATESTAUKSET

### 6.1 Lähtökohdat

Betoniasemalla suoritettujen testauksien jälkeen keskityttiin testaamaan RB8-notkistinta työmaalla. Testaukset suoritettiin vain kuidullisesta ruiskubetonimassasta, koska työmaalla ei enää loppuaikana ruiskutettu kuidutonta massaa.

Ennen työmaalle siirtymistä mitattiin kivikosteudet juuri ennen kuorman tekoa, jotta saataisiin mahdollisimman realistiset vesimäärät selville. Ilmamäärän mittaamiseen ei ollut aikaa, koska betonikuorma lähti välittömästi valmistuksen loppuaikaa eikä kuormaa voinut viivästyttää, että tsekkiläisten ruiskutus pysyisi aikataulussa.

Työmaalla tarkoituksena oli seurata massan työstettävyyttä. Ruiskutuksessa tulee monesti taukoja johtuen ruiskupumpun liikuttelemisesta sekä kiihdyttimen käytöstä, minkä vuoksi betoniauton kyydissä oleva massa jäykistyy. Tätä ongelmaa voitiin korjata pyörittämällä auton säiliötä, jolloin betonimassa pysyi paremmin työstettävänä. Tästä huolimatta suurin vaikutus massan työstettävyydelle oli siinä käytetty notkistin.

### 6.2 Haastattelut työmaalla

Ruiskutustyömaalla suoritettiin haastatteluja aina mahdollisuuksien mukaan lähinnä ruiskutustaukojen aikana. Haastattelujen kohteena olivat ruiskuttajat ja työnjohtajat. Ruiskuttajien vähäisen englannin kielen osaamisen takia työnjohtajat toimivat tulkkeina opinnäytetyöntekijän ja ruiskuttajien välillä.

Haastatteluista kävi ilmi, että urakoitsijat olivat tyytyväisiä uuteen massaan. Ruiskuttajat kertoivat massan omaavan paremman viskositeetin pitkistä seisotusajasta huolimatta verrattuna vanhaan massaan. Eräs ruiskuttaja myös sanoi massan olevan miellyttävämpi ruiskuttaa.

## 6.3 Työmaatulokset

Työmaalla saatiin lupaavia tuloksia RB8-notkistimen suhteen. Vaikka odotusajat olivat pitkiä, ruiskubetonin työstettävyyttä säilyi hyvin. Tämä voidaan havaita taulukossa 9 esitetyissä painumatuloksista.

TAULUKKO 9. Työmaalla saadut tulokset ja annostelut kuormalle

Painuma	RB-8 kuidulla TYÖMAA
60 min	225 mm
90 min	210 mm
110 min	200 mm
<b>ANNOSKOKO 2.33 kuutiota</b>	
Notkeus	S3
Tehotavoite	98
<b>Annostelut</b>	
0-8mm	3896,9 kg
Filleri	297,5 kg
Holcim 42,5R	991,7 kg
Kuitu GH 65/35	140 kg
<b>Kylmä vesi</b>	318 kg
<b>RB8</b>	18,84 kg/1,9%
<b>Ilma-Parmix</b>	15,87 kg/1,6%
<b>Lisävesi</b>	10,6 kg
<b>Huuhteluvesi</b>	2,1 kg
<b>Lämpötila</b>	22,2 astetta
<b>Teholukema</b>	101
<b>Sekoitusaika</b>	132 sekuntia
<b>Tehovesi</b>	444,1
<b>Tehoside</b>	985,3
<b>V/S luku</b>	0,45
<b>Kivikosteus</b>	
0-8mm	2,40 %
Filleri	4,50 %

Ensimmäinen mittaus työmaalla tehtiin 60 minuutin päästä betoniasemalta lähdettyä, seuraava 90 minuutin ja viimeinen 110 minuutin kuluttua. Tuona aikana massan työstettävyyttä pysyi lähes muuttumattomana, varsinkin kun betoniauton

säiliötä pyöräytettiin välillä ja pidettiin massa kunnossa. Myös massan olomuoto oli hyvä.

Painumatulokset olisivat saaneet olla jopa hieman pienempiä. Liian notkea massa ei ole hyvä, varsinkaan ruiskuttaessa tunnelin kattoa. Yläkätisessä ruiskutuksessa liian notkea massa aiheuttaa tartunnan epäonnistumisen ja massa voi irrota seinästä kokonaan. Kyseistä ongelmaa ilmeni vain vähän ja pääosin niissä tapauksissa, joissa ruiskuttaja yritti ruiskuttaa massan ominaisuuksiin nähden liian paksua kerrosta. Massan puolesta ongelma voidaan hoitaa pudottamalla notkistin annostelua pienemmäksi.



## 7 YHTEENVETO

Työn aiheena oli kehittää ruiskubetonin käyttömahdollisuuksia polymeerinoctimien avulla. Tavoitteena oli myös hakea pidempää työstettävyysaikaa sekä pienentää vesisementtisuhteita. Testauksien varrella tuli eteen asioita, joihin ei oltu vielä ennen törmätty.

Eniten kysymyksiä ja pohdintaa työn suorituksen aikana aiheuttivat kuidullisen ja kuiduttoman ruiskubetonimassan erot. Kuiduttomassa ruiskubetonissa painumat olivat huomattavasti alhaisempia kuin kuidullisessa. Tämä painumaero voi johtua osittain kuitujen aiheuttamasta massan suuremmasta ominaispainosta. Ilmamäärän kyseessä ollen asia oli päinvastoin: kuidullisissa massoissa ilmamäärä oli huono, kun taas kuiduttomissa ilmamäärä oli yleensä korkeampi.

Pohdittaessa syitä painumien eroille ei keksitty mitään pitävää selitystä. Ilmamäärän eroille selityksenä voisi olla kuituna käytetty liimakampateräskuitu. Kuidut ovat pakkauksen aikana ohuella liima-kerroksella toisissaan kiinni ja betonimyllyssä sekoitettaessa kuidut irtoavat toisistaan. Liima sekoittuu kuitenkin myllyssä betonimassaan ja saattaa näin ollen alentaa ilmapitoisuutta. Opinnäytetyön aikana ei näiden selittämättömien havaintojen tarkempaan tutkimiseen ollut kuitenkaan mahdollisuutta sen paremmin ajan kuin työmaajärjestelyjenkään puolesta.

Finnsementin ratkaisu asialle olisi pudottaa lisäaineistuksena käytettävän ilmantappajan määrää raaka-aineiden yhdistämävaiheessa, jolloin ilmapitoisuutta saataisiin nostettua betonimassassa. Jatkokokeiden avulla on mahdollista edelleen kehittää massaseosta niin, että ylimääräisen ilmapitoisuutta lisäävän aineen käytöltä vältytään ja samalla massakustannusta voidaan alentaa.

Tuloksissa olennaista oli hyvien mittaustuloksien lisäksi käytetyn veden määrässä saavutettu säästö. Tarkimman tuloksen tästä saisi mittaamalla kivikos-teudet juuri ennen kuorman tekoa. Tämä ei kuitenkaan työmaan kireän aikataulun puitteissa ollut mahdollista.

Opinnäytetyön voidaan katsoa saavuttaneen sille asetetut tavoitteet, vaikka laboratorikokeet sekä työmaalla suoritettut mittaukset ja havainnoinnit tehtiinkin kireän ruiskutusurakan saneleman aikataulun mukaan ja pääosin normaalien betonisaseman päivärutiinien ohessa.

Kahdeksan eri notkistimen joukosta saatiin kokeellisesti osoitettua yksi muita selvästi käyttökelpoisempi notkistin. Tämä notkistin viedään CE-kokeisiin ja siitä tulee tulevaisuudessa oma tuote. Työn aikana tehdyt lukuisat mittaukset eri massaresepteillä ja koenotkistimilla ovat käyttökelpoista pohja- ja vertailuainestoa myös tulevalle notkistimien jatkokehitykselle.

## LÄHTEET

1. Häkkinen, Auri. 2010. Maanalaiset louhintatyöt kääntyvät kasvuun. Suomen Rakennuslehti 8.11.2010 . Saatavissa:  
<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/talous/23103.html>. Hakupäivä 10.9.2011.
2. Hakapää ,Antero – Lappalainen, Pekka 2009. Kaivos- ja louhintatekniikka. Vammala: Opetushallitus.
3. Ruiskubetonointi: 1-LK Betonityönjohtaja pätevyityskoulutus. 2007. Power-Point-diasarja. Iisalmi: Normet Oy.
4. Tietoa betonista. 2011. Helsinki: Betoniteollisuus ry. Saatavissa  
<http://www.betoni.com/fi/Tietoa+betonista>. Hakupäivä 19.12.2011.
5. Betonituotteet. 2011. Helsinki: Betoniteollisuus ry. Saatavissa  
<http://www.betoni.com/fi/Betonituotteet>. Hakupäivä 19.12.2011.
6. Betonin valmistaminen työmaalla. 2011. Helsinki: Betoniteollisuus ry. Saatavissa <http://www.betoni.com/default.aspx?intObjectID=7853>. Hakupäivä 27.12.2011.
7. Stationary concrete plant BSU 35.70. 2009. Russia: Samarskaya Luka. Saatavissa <http://www.samarskayaluka.org/2/19.html>. Hakupäivä 27.12.2011.
8. Betonirakenteet, betonointi ruiskuttamalla, yleiset laatuvaatimukset. 2009. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa:  
[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1232\\_10.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1232_10.pdf). Hakupäivä 7.9.2011.
9. Uusitalo, Jukka – Ihanamäki, Jouko – Rajala, Raimo – Vallin, Olavi 1990. Betonityöt 1990. Helsinki: Rakentajain Kustannus.

10. Yleistä ruiskubetonoinnista. 2001. PowerPoint-diasarja. Iisalmi: Normet Oy.
11. Rautanen, Timo 2000. Ruiskubetonointi lisää suosiota korjauksissa. Rakennustieto 7/2000. Saatavissa  
[http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/P\\_533.html](http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/P_533.html).  
Hakupäivä 7.9.2011.
12. Luonnonkivirakenteiden suunnitteluohje. 2000. Helsinki: Kiviteollisuusliitto ry.
13. Sihvonen, Maiju 2010. Notkistavien lisäaineiden käyttö betonissa. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa:  
[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24987/Sihvonen\\_Maiju.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24987/Sihvonen_Maiju.pdf?sequence=1). Hakupäivä 21.11.2011.
14. Chemical admixtures for concrete. 2009. USA: American Concrete Institute. Saatavissa: <http://www.concrete.org/general/fE4-03.pdf>. Hakupäivä 16.11.2011.
15. Malhorta, V.M. 2003. Seventh Canmet/Aci International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. Michigan: American Concrete Insitute.
16. Corradi, Mario – Khurana, Rabinder – Magarotto, Roberta 2004. Controlling performance in ready mixed concrete. Verkkodokumentti. Saatavissa: [www.concrete.org/PUBS/JOURNALS/AbstractDetails.asp?ID=13353](http://www.concrete.org/PUBS/JOURNALS/AbstractDetails.asp?ID=13353). Hakupäivä: 16.11.2011.
17. Plank, Johan – Hirsch, Christian. 2007. Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884607000130>. Hakupäivä: 7.8.2011.