

KUONABETONIPOHJAISEN KOEKENTÄN SUUNNITTELU

Lakela Teemu

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Kaivosmuuntokoulutus
Insinööri (AMK)

2017

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Kaivosmuuntokoulutus
Insinööri (AMK)

Tekijä	Teemu Lakela	Vuosi	2017
Ohjaaja	DI Rauno Toppila		
Toimeksiantaja	Tapojärvi Oy, Juha Koskinen		
Työn nimi	Kuonabetonipohjaisen koekentän suunnittelu		
Sivu- ja liitesivumäärä	42 + 1		

Tässä opinnäytetyössä dokumentoitiin toimeksiantajan tuotekehitysprojekti, jossa suunniteltiin teollisuusalueella sijaitsevan huoltohallin edustalle kovaa kulumusta kestävä betonikenttä. Testikäyttöön tarkoitettussa betonikentässä käytetään hyväksi tehtaan tuotantoprosessissa syntyviä kuonapohjaisia kiviaineksia.

Tähän työhön kirjattiin tietoa, jota syntyi suunnittelutyön aikana. Teoria-osuus helpottaa tiedon ymmärtämistä. Suunnittelu-osion tietoja käytetään hyväksi betonilaatan varsinaisessa toteutuksessa, joka siirtyi seuraavalle vuodelle.

Työ onnistui sen suhteen, että suuri määrä tietoa saatiin kerättyä yhteen dokumenttiin. Se täyttääkö betonikenttä tavoitteensa, selviää vasta vuosia rakennuksen jälkeen.

Electrical and Automation Engineering
Mining Conversion
Bachelor of Engineering

Author	Teemu Lakela	Year	2017
Supervisor	Rauno Toppila, MSc (Tech)		
Commissioned by	Tapojärvi Oy, Juha Koskinen		
Subject of thesis	Designing Slag-based Concrete Test Field		
Number of pages	42 + 1		

This thesis was a part of a larger R&D-project: a cooperation of the client Tapojärvi and multiple UAS's in northern Finland. The aim of this thesis was to document the design process of a slag-based concrete field which has four major goals. The field will be later constructed using experimental concrete recipes which will utilize slag-based aggregates and fillers produced by Tornio steel plant.

This document is a collection of information gathered during the design phase of the structure. Various sources were used, including literature and meetings with specialists. Document will act as a manual during the construction phase of the concrete field.

The thesis was successful in its goal to produce the manual for the construction. Whether the concrete field itself will fulfill its goals remains to be seen, as it takes years of heavy use to see if the specifications of the field were met.

Key words

concrete, slag, cement, earthworks

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Toimeksiantaja.....	8
2	PROJEKTIN TAUSTAT	10
3	TEORIA	12
3.1	Betoni.....	12
3.2	Runkoaines.....	12
3.2.1	Rakeisuus	13
3.3	Vesi.....	13
3.4	Sementti.....	14
3.5	Lisä- ja seosaineet.....	15
3.5.1	Notkistimet	15
3.5.2	Huokostimet	16
3.5.3	Hidastimet ja kiihdyttimet.....	17
3.6	Betonin lujuusluokat.....	17
3.7	Kuonabetoni.....	18
3.8	Geopolymeerit	18
3.9	OKTO-murske.....	19
3.10	Liikuntasaumat	19
3.10.1	Työsaumat ja irrotussaumat.....	20
3.10.2	Kutistumissaumat.....	20
3.10.3	Liikuntasaumat.....	21
3.10.4	Saumajako	21
3.11	Tarvittavat laitteet ja koneet.....	21
3.11.1	Betoniasema	21
3.11.2	Asfaltinlevitin	24
3.11.3	Kaksivalssinen täryjyrä.....	25
4	TYÖTURVALLISUUS	27
4.1	Työturvallisuusnäkökohdat	27
4.2	Riskianalyysi	28
5	SUUNNITTELU.....	32
5.1	Koealueen maapohja	32

5.2	Betonikentän mitoitus.....	32
5.3	Runko- ja muiden aineiden määrät	33
5.4	Betonimassan sekoitus ja laadunvalvonta	35
5.5	Liikuntasaumat.....	36
5.6	Levitys.....	37
5.7	Tiivistäminen.....	38
5.8	Jälkihoito ja jälkiseuranta.....	38
6	POHDINTA.....	39
	LÄHTEET.....	40
	LIITTEET	42

ALKUSANAT

Kiitokset Tapojärven Juha Koskiselle mielenkiintoisesta aiheesta ja Annaleena Kostamolle kärsivällisyydestä toimia työn tarkastajana.

Kemissä 14.12.2017

Teemu Lakela

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

JT	jaloteräs
MPa	megapascal, pascal (Pa) on paine, jonka yhden newtonin voima kohdistaa neliömetrin pinta-alalle
VKU	valokaariuuni

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksianto saatiin Tapojärvi Oy:ltä ja se on osa suurempaa yhteistyöprojektia Lapin AMK:n ja alueen muiden ammattikorkeakoulujen kanssa. Yhteistyö on tuottanut jo kaksi opinnäytetyötä, joiden tuottamaa tietoa hyödynnetään tämän työn suorittamisessa.

Työn tavoitteena oli suunnitella Outokumpu Stainless Oy:n tehdasalueella Torniossa sijaitsevan huoltohallin edustalle betonikenttä, sekä dokumentoida työn kulku. Betonikentällä on neljä tehtävää:

1. Luoda säänkestävä kulutuspinta huoltohallien edustalle, jossa liikennöi raskasta kalustoa.
2. Helpottaa alueen puhtaanapitoa.
3. Testata erilaisia betonireseptejä, joissa käytetään terästehtaan tuotantoprosessissa syntyviä sivutuotteita. Projektin tarkoitus on löytää sivutuotteille käyttökohteita.
4. Toimia kustannus selvityksenä.

Betonikentän pinta-ala on yli 900 m² ja se koostuu kolmesta erillisestä laatasta, joilla on eri ominaisuudet.

Opinnäytetyö on jaettu neljään osaan. Ensin käydään läpi projektin taustatiedot. Teoria-osuudessa käsitellään opinnäytetyön kannalta oleellista teoreettista tietoa. Työturvallisuus-osiossa kartoitetaan toteutusvaiheen riskejä. Lopuksi Suunnittelu-osiossa tarkastellaan betonirakenteen suunnitteluun liittyviä seikkoja.

1.1 Toimeksiantaja

Tapojärvi Oy tarjoaa palveluja liittyen kaivosurakointiin, materiaalinkäsittelyyn ja teollisuusprosessien hoitoon. Yhtiö toimii Suomessa ja muissa Pohjoismaissa ja se työllistää 450 ihmistä. (Tapojärvi Oy 2017.)

Yhtiöllä on vuosikymmenien kokemus toiminnasta maanalaisilla kaivoksilla. Ta-
voitteena on toiminnan laajentaminen myös avolouhoksiin. Toimenkuvaan kuu-
luvat malmien ja sivukiven kuljetus, louhosten täyttö, maanalaisten teiden raken-
taminen ja ylläpito, rusnaus-, varustelu-, sekä louhintatyöt. Tapojärvi toimii ja on
toiminut osana muun muassa Kemin kromikaivoksen, Suurikuusikon kultakaivok-
sen ja Kylylahden monimetallikaivoksen toimintaa. (Tapojärvi Oy 2017.)

Tapojärvi on erikoistunut terästeollisuudessa käsiteltävien materiaalien käsitte-
lyyn. Palveluihin kuuluvat muuan muassa seulonta kiinteällä- tai mobiiliseulonta-
järjestelmällä, kierrätysteräksen käsittely, bulkin ajo, sekä erilaiset murskaamiset.
Yhtiö toimii Outokummun terästehtaalla Torniossa ja SSAB:n Raahen terästeh-
taalla. (Tapojärvi Oy 2017.)

2 PROJEKTIN TAUSTAT

Outokumpu Stainless Oy:n tehdasalueella Torniossa sijaitsee kuvassa 1 näkyvä huolto- ja pesuhalli. Hallin edusta on entistä merenpohjaa, jossa on sittemmin aloitettu kuona-aineiden käsittely. Ajan kuluessa maahan on sekoittunut ja tiivistynyt läjitettyjä kuona-aineita. Maa on kantava ja kestää raskaankin liikenteen, mutta sadekelillä ja koneita pestäessä se muuttuu osittain liejuiseksi ja liukkaaksi, mikä aiheuttaa turvallisuusriskin. Lisäksi alueella muodostuu pölyä kuivalla ilmalla.



Kuva 1. Valokuva lähtötilanteesta huoltohallien edustalla.

Tämän työn tarkoitus on hallin edustalle rakennettavan betonikentän suunnittelun dokumentointi ja toteutussuunnitelman luominen, jonka perusteella rakennustyöt voidaan aloittaa seuraavana vuonna.

Betonikentällä on neljä tehtävää:

1. Luoda raskaan liikenteen ja sään kestävä kulutuspinna. Raskaimmat alueella liikkuvat pyöräkoneet painavat kauhakuormineen 49 tonnia ja telalustaiset kaivinkoneet 64 tonnia.

2. Helpottaa alueen puhtaana pidettävyyttä. Betonikenttä vähentää materiaalin, joka kuivalla ilmalla pölyää ja märällä kelillä muuttuu liukkaaksi liejuksi, kertymistä huoltohallin edustalle. Alueen koneellinen puhdistaminen tulee mahdolliseksi.
3. Testata erilaisia betonireseptejä, joissa betonin ainesosina käytetään terästehtaan tuotantoprosessissa syntyviä sivutuotteita. Osa sementistä on korvattu JT-fillerillä, jolla on sementtimäisiä ominaisuuksia. Betonin runkoaineena käytetään luonnonkiven sijaan VKU-kuonaa, jonka kemiallinen koostumus on lähellä Portland-sementtiä. Kuonalla on myös sementtimäisiä ominaisuuksia.
4. Toimia kustannus selvityksenä kyseisen kaltaisesta rakenteesta.

Projektin tarkoitus on löytää tuotantoprosessin sivutuotteille käyttökohteita. Koe-kentällä testattavien betonien tulisi kestää vaihtelevia sääolosuhteita, jotta reseptejä voitaisiin hyödyntää maailmanlaajuisesti. Tapojärvi on mukana kilpailutuksessa Italiassa sijaitsevan Ternin terästehtaan kuonankäsittelyketjusta. Voitto mahdollistaisi paikallisten kuonatuotteiden myynnin ja hyödyntämisen sikäläisissä olosuhteissa. Tämä koerakenne testaa erityisesti betonin pakkasen- ja kulutuksenkestävyyttä.

Taloudelliselta kannalta kuonapohjaisen betonin tulisi olla edullisempi ratkaisu perinteiseen betoniin verrattuna. Kuonan sementtimäiset ominaisuudet mahdollisesti vähentävät betonin kalleimman komponentin, sementin, tarvetta. Tämä mahdollisesti tekee kuonapohjaisesta betonista kustannustehokkaamman ratkaisun tietyissä tilanteissa.

Testattavat kuonabetonireseptit on kehitetty yhteistyönä Kajaanin ja Oulun ammattikorkeakouluissa. Kehitystyöstä vastasi Kajaanin ammattikorkeakoulun Minna Sarkkinen. Riikka Salmela on tehnyt aiheesta opinnäytetyön Kuonapohjaisen maabetonireseptiikan kehittäminen (2017), jonka tuottamaa tietoa käytetään hyväksi tässä työssä. Lisäksi suunnittelussa ja maabetonin reseptissä hyödynnetään Tapojärven laatimaa tutkimusraporttia VKU-kuonabetonista.

3 TEORIA

Tässä osuudessa käydään läpi projektin kannalta oleellista teoriaa.

3.1 Betoni

Betoni on runkoaineksen, sementin ja veden muodostama keinotekoinen kivi. Runkoaineksen erikokoiset rakeet liimautuvat yhteen, kun sementti reagoi veden kanssa. Syntyy kova ja luja rakenne, joka ominaisuuksiensa perusteella sopii rakennusteollisuuden tarpeisiin. Betonin ominaisuuksia voidaan hallita säätämällä runkoaineksen, sementin ja veden määriä. Lisäksi voidaan käyttää lisä- ja seosaineita. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 31.)

Betonin tärkein ominaisuus on sen hyvä puristuslujuus. Vetolujuus sen sijaan on vain 10 % puristuslujuudesta. Betonin vetolujuutta voidaan tarvittaessa parantaa käyttämällä raudoitustankoja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 79, 82.)

3.2 Runkoaines

Runkoaineksen tilavuusosuus betonista on 65-80 prosenttia. Runkoaines voi olla lähes mitä tahansa riittävän tiivistä ja lujaa materiaalia, joka ei osallistu sementin kemiallisiin reaktioihin. Koska runkoainesta tarvitaan paljon, sen on oltava edullista ja sitä on oltava saatavilla reilusti. Yleinen runkoaines on luonnonkiviaines, joko sellaisenaan tai mekaanisesti murskattuna. Myös niin sanottuja keinotekoisia kiviaineita, kuten betoni- tai tiilimurskaa, masuunikuonaa, lentotuhkaa tai kevytsoraa, voidaan käyttää. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 31-32.)

Runkoaineksen on oltava betoniin soveltuvaa ja puhdasta. Kiviaines ei saa olla rapautunutta, eikä sen seassa saa olla epäpuhtauksia kuten jätteitä, öljyä tai savikokkareita. Kiviaines ei saa myöskään sisältää jäätä tai lunta. Kasvi- ja eläinkunnan lahoamisjätteet, eli niin sanotut humusaineet, voivat liiallisina määrinä vaikuttaa betonin ominaisuuksiin, mm. hidastamalla tai jopa pysäyttämällä betonin kovettumisreaktion. Kiviaines ei saa olla radioaktiivista, eikä sisältää klorideja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 32, 37.)

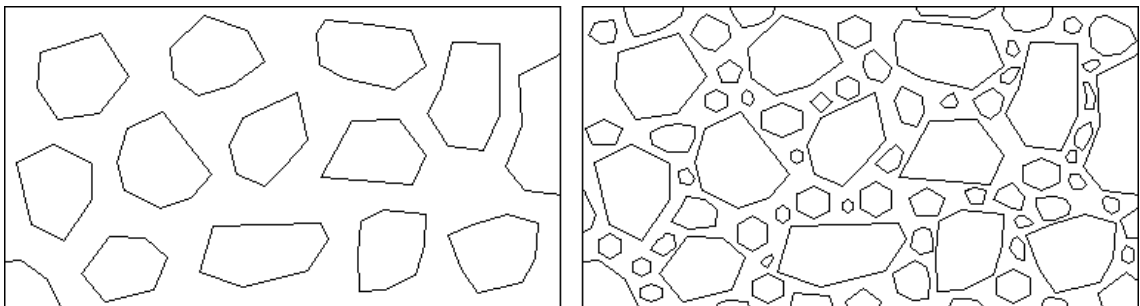
3.2.1 Rakeisuus

Kiviaines luokitellaan taulukon 1 mukaan käyttämällä merkintää d/D , jossa d on rakeen alanimellisraja ja D rakeen ylänimellisraja (Uusitalo, Ihanamäki, Rajala & Vallin 2002, 19.).

Taulukko 1. Kiviaineksen luokittelu raekoon mukaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 33)

Nimi	Raekoko d/D , mm
Karkea	$D/d = 2$ $D = 11,2$ $D/d > 2$ ja $D > 11,2$
Hieno	0/4
Luonnonlajittama 0/8	0/8
Koostekiviaines	0/45

Hyvässä runkoaineksessa on useita raekokoja. Kuvassa 2 on kaksi esimerkkiä betonin rakeisuudesta. Vasemmassa kuvassa betonin rakeet ovat liian suuria. Rakeiden väliin jää paljon tyhjää tilaa, joka on täytettävä kalliilla sementillä. Oikealla olevassa kuvassa betonissa on erikokoisia rakeita. Pienet rakeet täyttävät isojen rakeiden välit, jolloin sementtiä tarvitaan vähemmän. (Uusitalo, Ihanamäki, Rajala & Vallin 2002, 19.)



Kuva 2. Betonin huono ja hyvä rakeisuus.

3.3 Vesi

Betonin valmistukseen käy juomakelpoinen luonnonvesi tai vesijohtoverkostosta otettu vesi. Teollisuuden tai asumisen saastuttamat vedet eivät käy. Myöskään

humuspitoiset suovedet eivät sovellu betonin valmistamiseen. Suovesi on happanta ja sen sisältämät sulfidit ja sulfaatit haittaavat tai jopa kokonaan estävät betonin kovettumisreaktion. Edellisessä kappaleessa mainitut runkoaineksen puhtausvaatimukset koskevat myös vettä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 62-63.)

3.4 Sementti

Sementti on hydraulinen sideaine, joka reagoi veden kanssa. Se täyttää runkoainesarakeiden välisen tyhjän tilan ja liimaa rakeet yhteen. Syntyy kova ja kestävä lopputuote, betoni. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 39.)

Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi ja sen sisältämä kalsiumkarbonaatti (CaCO_3). Sementin valmistuksessa hienoksi jauhettu kalkkikivi käy läpi usean lämpökäsittelyn. Lopputuotteena syntyy portlandklinkkeriä, joka koostuu neljästä päämineraalista:

- trikalsiumsilikaatista (C_3S)
- dikalsiumsilikaatista (D_2S)
- trikalsiumaluminaatista (C_3A)
- tetrakalsiumaluminaattiferriitistä (C_4AF). (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 39-40.)

Näiden mineraalien suhteita säätämällä vaikutetaan sementin ominaisuuksiin (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 40).

Sementtien tulee täyttää standardissa SFS-EN 197-1 asetetut vaatimukset. Standardi määrittelee tavallisten sementtien koostumukset ja laatuvaatimukset. Tavallisten sementtien valmistuksessa käytetään portlandklinkkeriä ja seosaineita ja ne ryhmitellään seuraavasti:

- CEM I Portlandsementti
- CEM II Portlandseossementti

- CEM III Masuunikuonaseementti
- CEM IV Pozzolaaniseementti
- CEM V Seosseementti (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 42.)

Päälajeista voidaan johtaa 27 erilaista sementtilajia (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 42).

Tietyissä tilanteissa tarvitaan nopeasti kovettuvaa sementtiä, jolloin voidaan käyttää pikaseementtiä. Pikaseementtiä valmistetaan lisäämällä alumiinisulfaattia ja kipsiä. Sekoitettu pikaseementti alkaa kovettumaan viiden minuutin jälkeen ja kovettuu puolessa tunnissa. Pikaseementti sopii talvibetonointiin ja korkealujuusbetonien valmistukseen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 45; The Construction Civil 2017)

3.5 Lisä- ja seosaineet

Betonin ominaisuuksiin voidaan myös vaikuttaa käyttämällä lisäaineita, jotka vaikuttavat betoniin kemiallisesti tai fysikaalisesti. Niiden määrät ovat pieniä verrattuna betonin muihin ainesosiin, maksimissaan muutama prosentti sideaineen kokonaismäärästä. Lisäaineiden avulla voidaan helpottaa vaativien betonien, kuten pakkasenkestävien ja korkealujuuksisten betonien, valmistusta. Lisäaineiden käyttö vaatii tietämystä ja tarkkuutta, koska niillä on usein myös sivuvaikutuksia. Esimerkiksi huokostimien ja notkistimien yhteistoiminta voi olla epävarmaa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 63.)

Lisäaineet ovat kemikaaleja, joten ne voivat aiheuttaa ihoärsytystä. Tarkemmat tiedot aineen myrkyllisyydestä löytyvät tuotteen mukana toimitettavasta käyttöturvallisuustiedotteesta. Käyttöturvallisuustiedote on löydettävä tiloista, joissa aineita käsitellään. (Sihvonon 2010, 12.)

3.5.1 Notkistimet

Notkistimet toimivat sementin ja veden välillä muodostaen sementtihiukkasten ympärille ohuen kalvon, joka erottaa hiukkaset toisistaan. Sementin ja veden kon-

taktipinta suurenee, jolloin vesi pääsee paremmin tunkeutumaan sementtihiukasten väliin. Annostus on noin 0,5-1,6 % sideaineen painosta, mutta suuremmatkin annostukset ovat mahdollisia tilanteesta ja notkistimesta riippuen. Notkistimien vaikutusaika vaihtelee varttitunnista useisiin tunteihin. (Sihvonen 2010, 10, 12.)

Notkistimet parantavat betonin teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia. Ne parantavat betonimassan koossapysyvyyttä ja pumpattavuutta. Niiden avulla voidaan vähentää betonissa käytettävän sementin ja veden määrää. Korkealujuuksisten betonien valmistus onnistuu pienemmällä vesimäärällä. (Sihvonen 2010, 10; Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 64-65.)

Notkistimet luokitellaan notkistimiin, tehonotkistimiin ja nesteyttimiin. Notkistimilla saadaan aikaan betonimassa 5-15 % pienemmällä vesimäärällä, työstettävyyden pysyessä samana. Tehonotkistimilla vedenvähennys on 12-30 %. Nesteyttimet parantavat ainoastaan työstettävyyttä. Sama lisäaine voi toimia notkistimena tai nesteyttimenä, riippuen kuinka suuri osa lisäaineen tehosta käytetään vedenvähennykseen tai muokkautuvuuden parantamiseen. Notkistimien toimintaan vaikuttavat mm. sementtilaatu ja -määrä, runkoaineen rakeisuus, muut lisä- ja seosaineet, lämpötila, sekä betonisekoittimen teho. (Sihvonen 2010, 10.)

Jotkin notkistimet hidastavat betonin sitomisreaktioita ja vaikuttavat betonin lujuudenkehitykseen. Ne eivät sovellu kylmiin olosuhteisiin, jossa reaktiot tapahtuvat muutenkin hitaasti, eivätkä kohteisiin, jossa vaaditaan nopeaa muottikiertoa. Pitkävaikutteiset notkistimet lisäävät veden erottumisriskiä ja mahdollisesti halkeiluriskiä. (Sihvonen 2010, 11; Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 65.)

Notkistimia ei ole luokiteltu terveydelle haitallisiksi kemikaaleiksi. Ne voivat kuitenkin aiheuttaa ärsytystä silmissä tai iholla. Suojavarusteiden käyttö on suositeltavaa näitä aineita käsitellessä. (Sihvonen 2010, 12.)

3.5.2 Huokostimet

Huokostimet parantavat betonimassan muokattavuutta, koossapysyvyyttä ja kuljetuskestävyyttä, sekä vähentävät ainesosien erottumista. Niiden tärkein tehtävä

on kuitenkin parantaa betonin pakkasenkestävyyttä. Normaalisti betonissa on ilmaa 1-2 %, tiiviissä korkealujuusbetonissa jopa alle prosentti. Huokostimilla ilman määrä nostetaan 4-8 %:iin. Betoniin muodostuu pieniä ilmakuplia, niin sanottuja suojahuokosia, jotka vastaanottavat jäätyvän veden laajenemisesta aiheutuvan paineen ja estävät betonin rikkoutumisen. Pakkasenkestävää betonia käytetään ulkobetonirakenteissa, eli tilanteissa, missä betoni voi jäätyä kosteana. Huokoinen, kovettunut betoni kestää toistuvat jäätymiset ja sulamiset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 66-67; Anttila n.d., 4.)

Lisääntyneen ilman määrä heikentää kovettuneen betonin lujuutta: karkeasti arvioiden ilmamäärän lisääntyminen yhdellä prosentilla heikentää betonin lujuutta viisi prosenttia. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 66-67)

3.5.3 Hidastimet ja kiihdyttimet

Hidastimet siirtävät betonin sitoutumista myöhemmäksi. Niitä käytetään, kun betonia täytyy kuljettaa pitkiä matkoja tai kohteissa, joissa halutaan välttää työsaumoja. Kesällä hidastimilla voidaan hidastaa kuumuudesta johtuvaa liian nopeaa sitoutumista. Kiihdytin taas nopeuttaa betonin sitoutumista tai kovettumista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 67-68; Koiranen 2017, 15.)

3.6 Betonin lujuusluokat

Rakennussementeillä on kolme lujuusluokkaa (32,5, 42,5 ja 52,5 MPa), jossa standardilujuudella tarkoitetaan betonin puristuslujuutta 28 vuorokauden iässä. Lisäksi betonilla on kaksi varhaislujuusluokkaa, jotka kertovat betonin lujuuden kahden ja seitsemän vuorokauden iässä. Varhaislujuudet ilmaistaan jälkiliitteellä N tai R lujuusluokan perässä, jossa N on normaali varhaislujuus ja R on korkea varhaislujuus. Taulukko 2 esittää rakennussementin lujuusvaatimukset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 43-44.)

Taulukko 2. Rakennussementin lujuusvaatimukset. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 44)

Lujuus- luokka	Puristuslujuus (MPa)			
	Varhaislujuus		Standardilujuus	
	2 vrk	7 vrk	28 vrk	
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10,0	-		
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20,0	-		
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-
52,5 R	≥ 30,0	-		

3.7 Kuonabetoni

Tässä projektissa betonin runkoaineena käytetään valokaariuunikuonaa, jonka käyttö edellyttää tiettyjen seikkojen huomioonottamista. Kuona sisältää mineraaleja, vapaata kalkkia ja magnesiumia, jotka reagoidessaan veden kanssa paisuvat ja saattavat rikkovat betonirakenteen. Reaktion nopeus riippuu partikkelin koosta. Pienet, alle 150 µm:n partikkelit, reagoivat jo betonin sitoutumisvaiheessa, jolloin vahinkoa ei pääse syntymään. Suuremmat 8-16 mm partikkelit reagoivat viiveellä, jopa vuosien jälkeen, jolloin betoni on ehtinyt kovettua ja paisuminen aiheuttaa vaurioita. (Sarkkinen 2016, 3-5.)

Ennen kuin kuonaa voidaan käyttää, sen on annettava vanhentua kuukausien ajan. Tänä aikana kuonan sisältämät mineraalit ehtivät reagoida veden kanssa. Paisumisvaikutuksia voidaan myös pienentää käyttämällä teräskuonaa korvaamaan vain osa runkoaineesta. (Sarkkinen 2016, 3-5.)

3.8 Geopolymeerit

Geopolymeereja voidaan käyttää korvaamaan betonissa käytetty sementti osittain tai jopa kokonaan. Niiden käyttö ei ole vielä kovin yleistä, mutta tutkimustyö on lisääntynyt 2000-luvulla. Geopolymeereihin käytettävät materiaalit voivat olla alkuperältään luonnollisia, kuten kaoliniittisavi, tai ne syntyvät teollisuuden sivu-

tuotteina lentotuhkan tai kuonien muodossa. Tämä tekee geopolymeereistä ympäristöystävällisemmän ratkaisun sementtiin verrattuna, koska sementti on valmistettava erikseen, joka vaatii paljon energiaa ja tuottaa hiilidioksidipäästöjä. (U.S. Department of Transportation 2010, 1-2.)

Geopolymeeriksi soveltuva materiaali sisältää runsaasti piitä ja alumiinia. Näiden keskinäinen suhde vaikuttaa geopolymeerin ominaisuuksiin. Geopolymeerit muodostuvat pitkäketjuisista epäorgaanisista molekyyliketjuista ja verkostoista, jotka syntyvät, kun piitä ja alumiinia sisältävä materiaali liuotetaan alkaliini aktiivoivaan liuokseen ja altistetaan lämmölle. (U.S. Department of Transportation 2010, 1-2.)

3.9 OKTO-murske

OKTO-rakennustuotteet, eli OKTO-murske ja OKTO-eriste, valmistetaan Tornion terästehtaan tuotantoprosessin sivutuotteena syntyvästä ferrokromikuonasta. OKTO-murske valmistetaan murskaamalla ilmajäähdytetty kuona fraktioihin 0/5 ja 5/22 mm. Karkeampi fraktio käy läpi väliaine-erotuksen, jossa metalli otetaan talteen murskeesta. Hienossa piirissä metallit poistetaan magneettierottimilla ja spiraaleilla. Hienoaineksen poistamiseksi murskeet käyvät läpi vesiseulonnan. (Outokumpu Chrome Oy 2010, 4.)

Rakenteeltaan OKTO-murske on kiteistä, osittain lasista kovaa kiviainesta. Sen vakiotuotannon fraktiot ovat seuraavat: 0/5, 4/8, 4/11, 8/11, 10/16 ja 16/22 mm. (Outokumpu Chrome Oy 2010, 4-5.)

3.10 Liikuntasaumat

Betoni kutistuu kuivuessaan, jolloin syntyy liike saumakohdasta betonilaatan keskipistettä kohti. Lämpötilan aleneminen synnyttää samansuuntaista liikettä ja lämpötilan kohoaminen laajentaa laattaa. Nämä liikkeet synnyttävät pakkovoimia, jotka halkaisevat laatan, ellei laatalle jätetä liikkumisvaraa saumojen muodossa. Saumat jaetaan:

- työsaumoiksi

- irrotussaumoiksi
- kutistumissaumoiksi
- liikuntasaumoiksi (Betoniteollisuus ry 2011.)

3.10.1 Työsaumat ja irrotussaumat

Työsaumat syntyvät, kun valu suoritetaan ruutumaisesti ruutu kerrallaan, sillä aina ei ole mahdollista suorittaa koko valua yhdellä kertaa. Työsauma on tehtävä aina kun betonointi keskeytetään niin pitkäksi aikaa, että betoni alkaa jäykistyä ennen töiden jatkamista. Betonointi voidaan tarvittaessa keskeyttää tekemällä muotti keskeytyskohtaan. (Betoniteollisuus ry 2011; Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 240, 415)

Irrotussaumoilla maanvarainen laatta erotetaan muista rakenteista, kuten pystyrakenteista, koneperustuksista ja lattiakanavista (Betoniteollisuus ry 2011).

3.10.2 Kutistumissaumat

Kutistumissaumat sahataan valmiiseen lattiaan. Kun laatan kutistumisesta aiheutuvat vetovoimat ylittävät betonin vetojännityskapasiteetin, syntyy halkeama. Kutistumissaumalla halkeaman paikka on hallittavissa, sen sijaan, että se syntyisi satunnaiseen paikkaan. Saumojen väli tavallisen paksuisissa laatoissa on yleensä 4-6 metriä. Saumojen etäisyyden kasvu nostaa halkeiluriskiä. Sauma tehdään sahaamalla laatan pintaan noin 3 millimetriä leveä, jonka syvyys on 25-30 % laatan paksuudesta. (Betoniteollisuus ry 2011.)

Saumat on sahattava oikeaan aikaan. Liian aikaisen sahauksen seurauksena saumojen reunat saattavat vahingoittua. Liian myöhäinen sahaus taas nostaa riskiä, että laatta alkaa halkeilla. Sopiva sahausajankohta on 16-40 tuntia valun jälkeen. Ajankohta on kuitenkin arvioitava tapauskohtaisesti betonilaadun, sementtityypin, kovettumisolosuhteiden ja sahauskaluston mukaan. (Betoniteollisuus ry 2011.)

Sahatut saumat ovat käyttökelpoisia, kun laattaan ei kohdistu suuria pistekuormia tai kovapyöräistä kuormitusta, joka ajan myötä alkaa murentamaan saumojen reunoja (Betoniteollisuus ry 2011).

3.10.3 Liikuntasaumat

Liikuntasaumat sallivat betonilaatan laajanemisen, kutistumisen ja kiertymisen. Sauman kohdalla betonilaatta on kokonaan poikki. Liikuntasauga on usein myös työsauga. Ne toteutetaan yleensä esivalmistetuilla liikuntasaugaraudoitteilla, jotka ovat tukevia ja pysyvät valun aikana paikallaan, siirtävät kuormaa sauman yli ja kestävät pyörärasitusta. Liikuntasaugaraudoite on valittava sen kuorman siirtokyvyn mukaan. (Betoniteollisuus ry 2011; Suomen Betonilattaiyhdistys ry. 2012, 19.)

3.10.4 Saumajako

Saumoja sahatessa lattia jaetaan neliömäisiin ruutuihin. Sivujen suhteen tulisi olla korkeintaan 1,5. Saumaväli on noin 30 kertaa laatan paksuus. Liian pitkät saumavälit saattavat synnyttää suunnittelemattomia saumojia, eli kutistumishalkeamia. (Betoniteollisuus ry 2011.)

Mikäli maanvaraiseen betonilaattaan kohdistuu korkeita lämpötiloja, kuten aurin-
gon säteilyä, laattaan on järjestettävä paisuntasaugoja, joissa on liikevaraa noin 20 mm. (Betoniteollisuus ry 2011.)

3.11 Tarvittavat laitteet ja koneet

Tässä kappaleessa annetaan yleiskuvaus tärkeimmistä koneista ja laitteista, joita tarvitaan betonikentän toteutusvaiheessa.

3.11.1 Betoniasema

Betoniasema on betonin valmistukseen käytettävien laitteiden muodostama kokonaisuus. Asemalla

- varastoidaan betonin raaka-aineet

- lämmitetään runkoaines ja vesi
- mitataan ja annostellaan betonin osa-aineet
- sekoitetaan betonimassa
- suoritetaan laadunvalvonta (Ignatov 2012, 10.)

Betoniasemat jaetaan kiinteisiin ja siirrettäviin. Kuvan 3 mukaiset kiinteät asemat ovat jatkuvia työmaa-alueita ja ne pystyvät varastoimaan suuria määriä betonin ainesosia sekä tuottamaan paljon betonia. (Ignatov 2012, 10.)



Kuva 3. Kiinteä betoniasema. (Wikimedia)

Kuvassa 4 on esimerkki siirrettävästä asemasta, joka koostuu komponenteista, jotka purettuna ovat kuljetettavissa esimerkiksi kuorma-auton perävaunulla. Siirrettävä asema voidaan pystyttää väliaikaisesti työmaan läheisyyteen, jolloin betonia ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja. Aseman käyttöönottoon kuluu päivä. (Ignatov 2012, 10-11.)



Kuva 4. Siirrettävä betoniasema. (Wikimedia)

Betoniasema koostuu silloista, joihin varastoidaan runkoainekset ja sementti. Vesi- ja lisäaineet on varastoitu omiin säiliöihinsä. Runkoaines ja sementti siirretään kuljettimilla sekoittimeen, joka voi olla esimerkiksi kuvan 5 mallinen. Sekoitin sekoittaa ensin kuivat ainesosat, jonka jälkeen lisätään vesi ja lisäaineet. Saa daan märkä betonimassa. Tavallinen sekoitus aika on 60-90 s. (Ignatov 2012, 15, 18.)



Kuva 5. Betonisekoitin KiBen betoniasemalla Torniossa.

Nykyaikainen betoniasema on tietokoneohjattu ja pitkälle automatisoitu, mikä mahdollistaa halutunlaisen betonimassan tarkan valmistuksen säätämällä ainesosien sekoitussuhdetta (Ignatov 2012, 20).

3.11.2 Asfaltinlevitin

Asfaltinlevitin on pyörä- tai tela-alustainen kone, joka koostuu traktorista, syöttösiilosta ja levittimestä. Kuvassa 6 on esimerkki tela-alustaisesta mallista.



Kuva 6. Tela-alustainen asfaltinlevitin. (Wikimedia)

Syöttösiiloa täydennetään päällystyksen aikana esimerkiksi kuorma-autolla, joka ajaa levittimen edessä ja kippaa materiaalia siiloon. Syöttösiilon pohjalla olevat kuljettimet siirtävät materiaalin koneen keskiosan tienoille, jossa ruuvimaiset maakairat levittävät materiaalin levittimen eteen. Nykyaikaisten mallien levittimissä on säätövara, jolla päällystettävän kaistan leveyttä voidaan säätää, esimerkiksi 1,83-8,0 m. Levittimen kumpikin pää säätyy yksilöllisesti, joka mahdollistaa esteiden kiertämisen säätämällä vain toista päätä. (Caterpillar. 2012, 19; F-Series Paver Controls: How It Works. 2016; SUMITOMO Asphalt Paver. 2016.)

Levitin jakaa materiaalin tasaisesti halutun kaistan levyiseksi. Kuumennettu levitinlevy esitiivistää materiaalin paineen ja värinän yhdistelmällä. (SUMITOMO Asphalt Paver. 2016.)

3.11.3 Kaksivalssinen täryjyrä

Tiivistyskalustolla siirretään energiaa löysiin maa-aineksiin. Maarakeiden välissä oleva ilma ja vesi poistuvat. Materiaali asettuu tiheämmin, jolloin

- sen kuormankantokyky kasvaa
- vedentihkuminen vähentyy
- kerrosmateriaalin tiivistymisestä aiheutuva maaperän painuminen vähenee
- maa-aineksen laajeneminen vähenee
- roudan tunkeutuminen hidastuu (Asunen & Mäkelä 2013, 9-10.)

Jyrät ja muut tiivistäjät jaetaan kahteen ryhmään niiden toimintatavan perusteella. Staattisten tiivistäjien vaikutus perustuu koneen massaan. Dynaamiset tiivistäjät tuottavat massavaikutuksensa ohella impulsseja, jotka saavat maarakeet asettumaan lähemmäksi toisiaan. (Asunen & Mäkelä 2013, 9.)



Kuva 7. Kaksivalssinen dynaaminen jyrä. (Wikimedia)

Staattisilla valssijyrillä saadaan aikaan erittäin tasainen ja tiivis pinta. Huonona puolena ne eivät pysty tiivistämään paksuja kerroksia. Dynaamisen jyrän tuottaman tärinän ansiosta tiivistämisvaikutus ulottuu syvemmälle. Tietyissä tapauksissa tärinä voi olla haitallista ja se voi rikkoa herkkiä rakenteita. (Asunen & Mäkelä 2013, 9.)

Tämän projektiin toteutukseen on alustavasti valittu dynaaminen kaksivalssijyrä. Kuvassa 7 esimerkki.

4 TYÖTURVALLISUUS

4.1 Työturvallisuusnäkökohdat

Työturvallisuusajattelun lähtökohta on työmaan eristäminen muusta alueesta. Työmaan sisällä toimivat urakoitsijat, jotka tuntevat omaan työhönsä liittyvät työturvallisuustoimet. Työmaa kuitenkin aiheuttaa riskejä myös ulospäin, mm. lisääntyneen liikenteen ja alueelle normaalisti kuulumattomien työkoneiden muodossa. Tämän osion tehtävä on määritellä näitä riskejä ja ehdottaa toimenpiteitä riskien minimoimiseksi ja ehkäisemiseksi.

Huoltohallin käyttöä ei voida keskeyttää valujen ajaksi, jonka vuoksi valu suoritetaan kahdessa vaiheessa kuvassa 8 näkyvällä jaolla. Valun ja kuivumisen aikana käytetään hallin eteläpään sisäänkäyntiä. Valujen aikana alueella liikkuu kalustoa, joka saattaa aiheuttaa vaaratilanteita. Alue on merkittävä ja rajattava, sekä luotava ohjeistus turvalliseen toimintaan.



Kuva 8. Yleiskuva alueesta. (Google Maps)

4.2 Riskianalyysi

Työturvallisuuden takaamiseksi tunnistetaan riskit betonikentän työmaalla työvaiheittain. Kuvassa 9 on alustava suunnitelma työvaiheista riskeineen.

TYÖVAIHEET		TYÖTURVALLISUUS-RISKIT	TOIMENPITEET RISKIEN EHKÄISEMISEKSI		
Kaapeleiden keilaus	Keilaus	Liikennöivän koneen alle jääminen	Ympäristön havainnoiminen ja varovaisuuden noudattaminen		
	Käytetyt koneet	Koneen alle jääminen	Koneiden huomiovalot ja sireenit käytössä	YLEISET TURVALLISUUS-MAÄRÄYKSET	
Maanpoisto	Läjitys	Pölyäminen	Suojavarusteiden käyttö		
	Kaivannon suojaus	Kaivantoon putoaminen	Kaivannon merkitseminen		
	Heikkojen kohtien määritys				
Heikkojen kohtien täyttö	Täyttö OKTO-murskeella				Työmaan eristäminen ja merkitseminen
	Tiivistys				
	Betoniaseman sijoitus	Aseman käyttöön liittyvät riskit	Alueen eristäminen ja merkitseminen		Huomiovaatetuksen käyttö
Betoniaseman käyttö	Asiaton oleskelu kielletty		Turvallisten kulkureittien ja alueiden merkitseminen		
Betonimassan sekoitus	Betonimassan kuljetus kuorma-autolla työmaalle	Liikenne-onnettomuus	Tehdasalueen sisäisten liikennesääntöjen noudattaminen		Työntekijöiden perehdytys kulkureiteistä ja työmaalla toimimisesta
	Betonimassan siirto asfaltinlevittimeen	Asfaltinlevittimen, jyrän ja muiden alueelle normaalisti kuulumattomien koneiden aiheuttamat riskit	Alueen vakiohenkilöstön ja urakoitsijoiden perehdytys poikkeusjärjestelyihin		Kuljettajien opastus ajo- ja kulkureittien käytöstä
Levitys					
Tiivistys					
Suojaus kuivumisen ajaksi					
Jälkihoito	Bitumin levitys				
	Suojaus kuivumisen ajaksi				

Kuva 9. Työvaiheiden kartoitus riskeineen.

Arvioidaan kuvan 9 riskien vakavuudet ja todennäköisyydet käyttäen taulukkoa 3.

Taulukko 3. Riskien arvioimiseen käytetyt kertoimet. (Koskinen 2017)

	Seuraukset (S)		
Todennäköisyys (T)	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen	1x1 Merkityksetön riski	1x2 Vähäinen riski	1x3 Kohtalainen riski
Mahdollinen	2x1 Vähäinen riski	2x2 Kohtalainen riski	2x3 Merkittävä riski
Todennäköinen	3x1 Kohtalainen riski	3x2 Merkittävä riski	3x3 Sietämätön riski

Riskin vakavuus arvioidaan kaavalla:

$$\text{Todennäköisyys (T)} \times \text{Seuraukset (S)} = \text{Kerroin (K)}$$

Esimerkiksi:

$$\text{Epätodennäköinen} \times \text{Vakava} = 1 \times 3 = 3$$

Laskutoimituksella saadaan kerroin K, joka kertoo riskin vakavuuden. Kertoimen 6 muodostavat riskit vaativat ehkäiseviä toimenpiteitä. Kertoimen 9-arvoiset riskit eivät saa toteutua.

Taulukossa 4 on arvioitu riskejä työvaiheittain ja ehdotettu toimenpiteitä niiden ehkäisemiseksi. Ennen töiden aloittamista riskikartoitukset pyydetään vielä työn suorittavilta urakoitsijoilta.

Taulukko 4. Riskianalyysi työvaiheittain. (Ympäristöministeriö 2006, 54)

Riski	T	S	K	Toimenpiteet riskin ehkäisemiseksi
Jatkuvat riskit				
Työkoneen alle jääminen	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> Käytetään merkittyjä turvallisia kulkureittejä ja alueita. Koneiden huomiovalot ja sireenit käytössä. Työmaalla asiaton oleskelu kielletty.
Kemikaalien käsittelystä aiheutuvat riskit	2	2	4	<ul style="list-style-type: none"> Käyttöturvallisuustiedote on saatavilla ja siihen on tutustuttu ennen kemikaalien käsittelemistä. Suojavarusteiden käyttö käsittelyn aikana.
Liukastuminen	1	1	1	<ul style="list-style-type: none"> Oikeanlaisten jalkineiden käyttö.
Pölyäminen	3	1	3	<ul style="list-style-type: none"> Suojavarusteiden käyttö.
Kaapeleiden keilaus				
Liikennöivän koneen alle jääminen	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> Työmaa-aluetta ei ole välttämättä eristetty vielä tässä vaiheessa. Keilaajan on noudatettava varovaisuutta ja havainnoitava ympäristöä. Käytettävä huomiovaatetusta.
Maanpoisto				
Kaivantoon putoaminen	1	1	1	<ul style="list-style-type: none"> Kaivannon merkitseminen
Betonimassan sekoitus				
Betoniaseman käyttöön liittyvät riskit	1	2	2	<ul style="list-style-type: none"> Betoniaseman alueella asiaton oleskelu kielletty.

Liikenneonnettomuudet liittyen betonimassan kuljetukseen työmaalle kuorma-autolla	1	2	2	<ul style="list-style-type: none"> • Tehdasalueen liikennesääntöihin tutustuminen ja niiden noudattaminen ajon aikana.
Levitys				
Valuroiskeet silmille ja iholle	3	1	3	<ul style="list-style-type: none"> • Estettävä suojavarusteiden käytöllä. • Vahingon sattuessa silmille: runsas huuhtelu vedellä 15 minuutin ajan.

5 SUUNNITTELU

Tässä kappaleessa käsitellään betonikentän suunnitteluun liittyviä seikkoja.

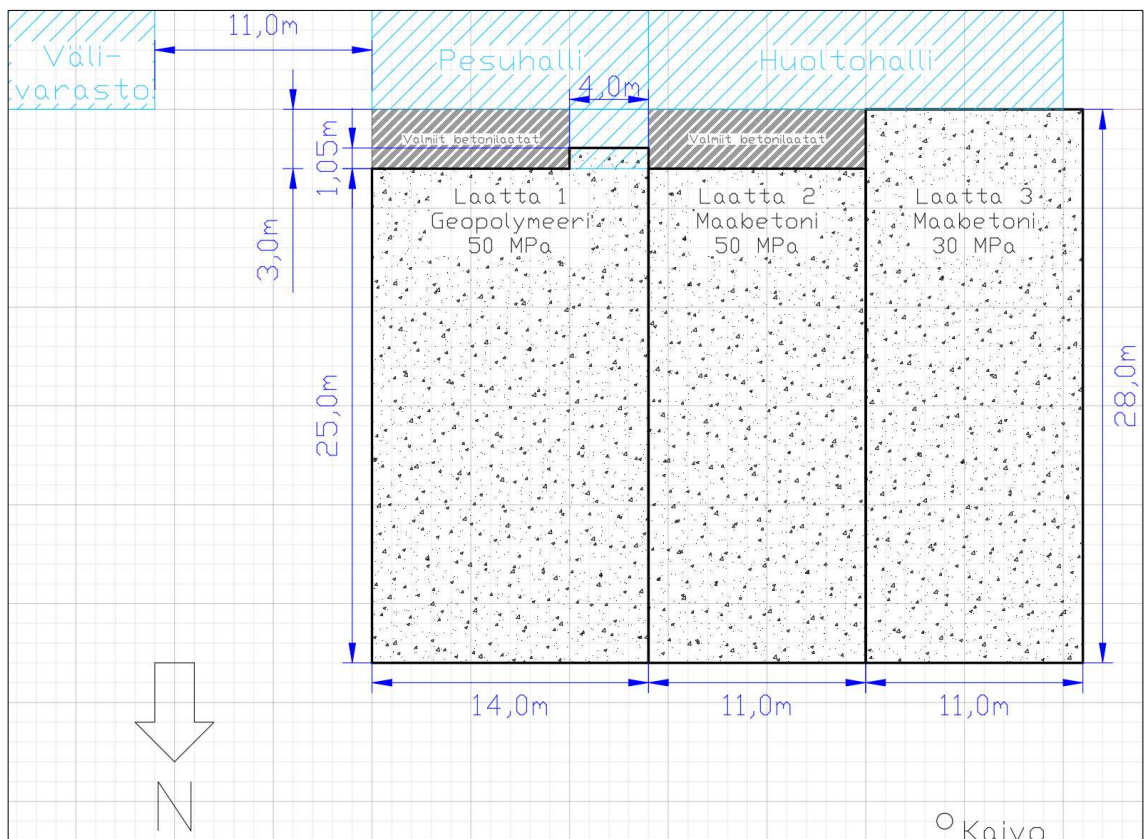
5.1 Koealueen maapohja

Koealueen pinnanmittaukset suoritti Mitta Oy 8.6.2017. Mittauksista saatiin koealueesta 2x2 metrin ruudukko. Lisäksi saatiin alueella sijaitsevan kaivon sijainti. Mittaustulokset ovat liitteessä 1.

Hallilla työskentelevien mukaan osa hallien edustan maapohjasta on pehmeää mikä tulee ilmi sadekelillä. Vesi kerääntyy näihin kohtiin ja maa muuttuu upottavaksi liejuksi. Ennen valua heikot kohdat täytetään OKTO-murskeella.

5.2 Betonikentän mitoitus

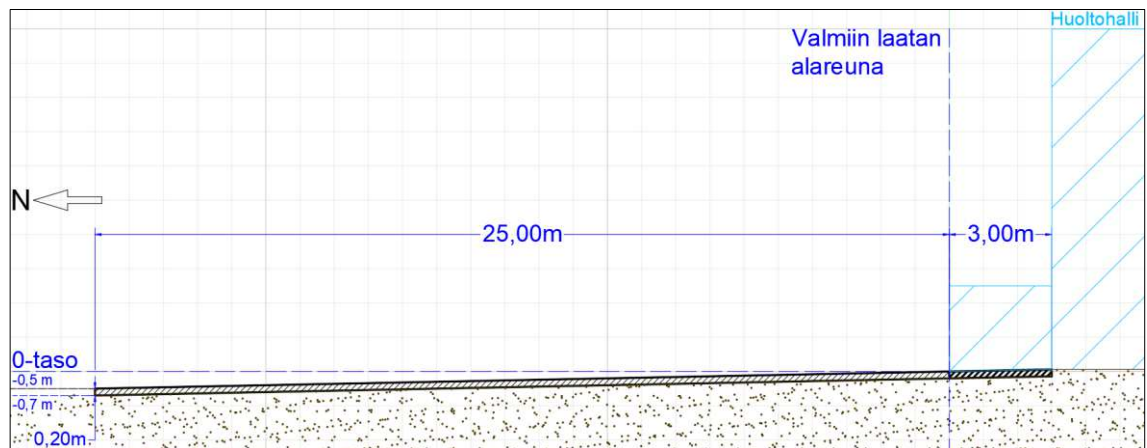
Betonikenttä koostuu kolmesta laatasta, joilla on eri ominaisuudet. Laattojen mitat ja suunnitellut fyysiset ominaisuudet on esitelty kuvassa 10.



Kuva 10. Betonikentän piirustus. Ruudukko on kooltaan 1x1 m.

Laatat toimivat kulutuspinna, maapohjan, johon on ajan kuluessa sekoittunut kuona-aineita, toimiessa kantavana rakenteena. Alkuperäisen suunnitelman mukaan betonilaattojen paksuus olisi 10 cm. Lopulta laatan paksuudeksi valittiin 20 cm, kone- ja huoltohenkilöstön kanssa käytyjen keskustelun perusteella. Paksumpi laatta on järkevämpi ratkaisu kestävyiden ja käytettävyyden kannalta. Kuvassa 4 näkyvät laattojen mitat ja ominaisuudet.

Betonikenttää kallistetaan kaksi senttimetriä yhden metrin matkalla pois päin rakennuksista veden poistamiseksi. Vedenpoisto on kriittistä pohjoisten olosuhteiden takia. Talvella vesi jäätyy ja muuttuu pinnan liukkaaksi ja aiheuttaa vaaratilanteita. Jäätyessään laajentuva vesi myös nostaa riskiä, että betonirakenne rikkoutuu. Kallistus toteutetaan poistamalla tarvittava määrä maata ja viistämällä pohja haluttuun kaltevuuteen kuvan 11 mukaisesti.

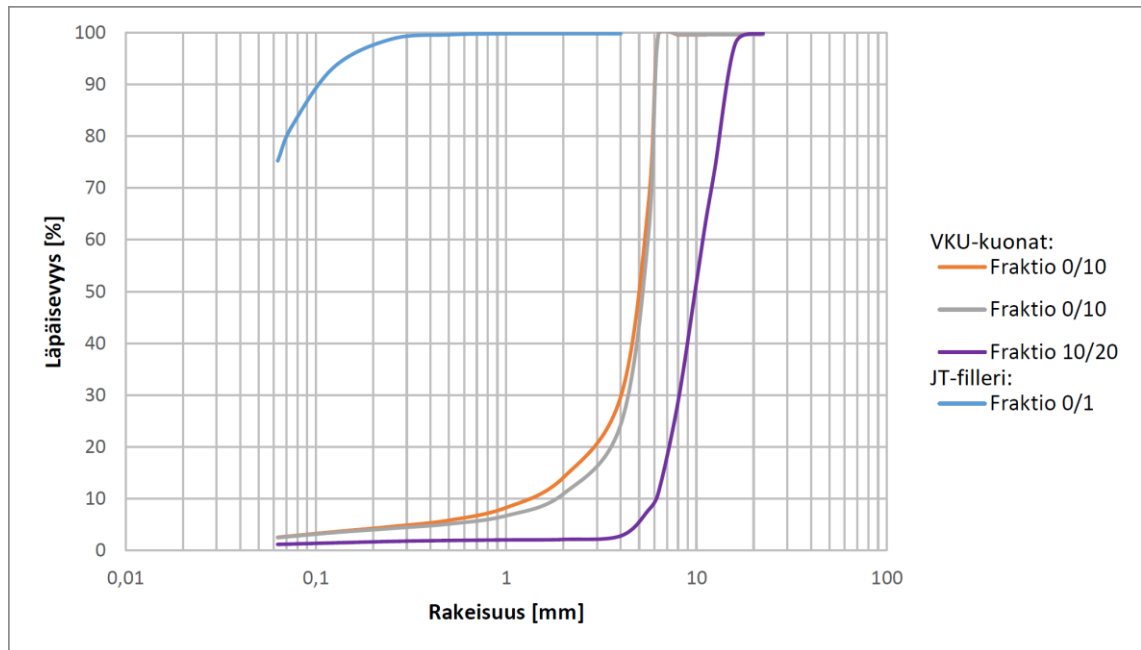


Kuva 11. Poikkileikkauskuvio betonilaatasta. Ruudukko on kooltaan 1x1 m.

Kuvassa 11 betonilaattaa katsotaan länsipuolelta. 0-taso on valmiiden laattojen, jotka lähtevät rakennuksesta pois päin, alareuna. Betonilaatta viettää alaspäin ja laskeutuu 0,5 m 25 metrin matkalla. Laatta on 0,2 m paksu. Laatta 3 jatkuu kolme metriä rakennuksia kohti.

5.3 Runko- ja muiden aineiden määrät

Runkoaineena käytetään VKU-kuonaa kuvan 12 mukaisella raekokojakaumalla. Runkoaine koostuu hienosta JT-filleristä, sekä kahdesta VKU-kuonafraktiosta.



Kuva 12. Runkoaineen raekokojakauma. (Kostamo 2017, 4)

Runkoaine on käynyt läpi märkähajaisen rikastusprosessin, jonka jälkeen se on vanhentunut 1,5 vuoden ajan ulkona varastokasassa. Runkoaineen riittävä vanhentuminen on tutkittu keittokokeella, jossa runkoaineen karkeinta fraktiota 10/20 mm, on keitetty 10 minuuttia. Keittokoe suoritettiin myös valetuille koekappaleille. Kun kuonarakeet eivät hajoa keitetäessä, kuona on vanhentunut tarpeeksi. Keittokokeessa rakeiden muutokset olivat prosenttiyksiköiden luokkaa eli vähäisiä. Kokeen perusteella voidaan olettaa, että kuona on vanhentunut tarpeeksi. (Kostamo 2017, 5-6.)

Taulukossa 5 ovat lopulliseen toteutukseen valitut reseptit.

Taulukko 5. Käytettävät kuonabetonireseptit.

Raaka-aine	Resepti 1	Resepti 2
Pikasementti (kg/m ³)	345	345
VKU-kuona # 0/10 mm (kg/m ³)	754	716
VKU-kuona # 10/20 mm (kg/m ³)	502	477
JT-filleri # 0/3 mm	752	752
Kumirouhe (kg)	0	63
Vesi (kg)	225	242
Notkistin (kg)	1,2	1,2

Huokostin (kg)	1,2	1,2
-----------------------	-----	-----

Reseptiä 1 käytetään laattaan 3 ja reseptiä 2 laattaan 2. Laatta 1 on erikoistapaus geopolymeeri-komponenttinsa vuoksi, eikä sen lopullista reseptiä saatu valmiiksi tämän työn aikana, joten se jätetään pois laskelmista. Reseptissä 2 oleva kumirouhe parantaa laboratoriotestien mukaan kuonabetonin sitkeää työstettävyyttä, sekä lisää pakkasen- ja kulutuksenkestävyyttä. (Sarkkinen 2017, 9)

Lasketaan tarvittavien materiaalien määrät käyttämällä ohjearvoja taulukosta 5 ja laattojen mittoja kuvasta 10. Tulokset näkyvät taulukossa 6.

Taulukko 6. Runkoainemenekki laattojen 2 ja 3 osalta.

	Pinta-ala m ²	Tilavuus m ³	JT-filleri kg	VKU-kuona, kg	
				0/10 mm	10/20 mm
Laatta 1	354,2	70,84	-	-	-
Laatta 2	275,0	55,00	41 360	39 380	26 235
Laatta 3	341,0	68,2	51 286	51 423	34 236
Yhteensä	970,2	194,04	92 646	90 803	60 471

5.4 Betonimassan sekoitus ja laadunvalvonta

Betonimassa sekoitetaan siirrettävällä betoniasemalla, joka pystytetään jonnekin teollisuusalueelle. Tarkempaa sijaintia ei ole vielä määritely. Siirrettävään asemaan päädyttiin, koska betonia tarvitaan paljon ja kuljetusmatkat kiinteältä asemalta ovat pitkät. Asema mahdollistaa betonin sekoittamisen työmaan läheisyydessä, jolloin massan kuljetus onnistuu kuorma-auton lavalla, betoniauton sijaan.

Betonimassaa sekoitettaessa suoritetaan laadunvalvontaa. Betonikentän tilavuus on 194,04 m³. Valu suoritetaan kahdessa osassa, jolloin valettavien osioiden tilavuudet ovat 70,84 m³ ja 123,2 m³. Sekoituksen aikana betonimassan laatua valvotaan ottamalla näytteitä. Näytteet otetaan seuraavalla frekvenssillä:

- vähintään 3 näytettä ensimmäisen 50 m³ sekoituksen aikana

- jatkossa vähintään 1 näyte / 200 m³ sekoituksen aikana. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 169.)

Kummankin betonimassaerän sekoituksessa otetaan siis vähintään neljä näytettä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 169)

5.5 Liikuntasaumat

Liikuntasaumat toteutetaan joko valun aikana käyttämällä saumaraudoitteita tai valun jälkeen timanttisauhauksella. Saumojen maksimietäisyys toisistaan on 30 m. Suomen Betoniyhdistys suosittelee taulukon 7 mukaista saumajakoa. Vierekkäisten laattojen saumat porrastetaan 0,3-1,0 m etäisyydelle toisistaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 412.)

Taulukko 7. Suositeltu saumajako. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 411)

Saumajako	3M-kerrannaisia						
Poikittain (m)		6,0	7,2	8,4	9,6	12,0	14,4
Pitkittäin (m)	9,6	12,0	14,4	16,8	19,2	24,0	30,0

Saumat ovat betonilaatan heikoin kohta, joten niitä ei kannata laittaa kovin tiheään. Ajoneuvot kuluttavat saumakohtaan reunoja, joka ajan kuluessa murtuu. Liikuntasaumaraudoitteiden, jotka suojaavat sauman reunaa, käyttö on suositeltavaa. Raudoitteen on myös kestettävä raskaita kuormia. Seuraavat ehdotukset on valittu kahden edellä mainitun seikan perusteella.

Peikko TeraJoint-liikuntasauha (Kuva 13) tarjoaa reunasuojauksen raskaisiin sovelluksiin ja se soveltuu 100-300 mm paksuihin laattoihin. Kuormansiirto toimii kutistuvilla liikuntasauhoilla, joiden sauman aukeama on enintään 20 mm. Pystysuuntaiset kuormat siirtyvät vierekkäisten laattojen välillä, joka minimoi laattojen pystysuuntaisen siirtymän. (Peikko Group 2017.)



Kuva 13. TeraJoint-liikuntasauva. Kuvan omistaa Peikko Group Oy. (Peikko Group)

Permaban AlphaJoint Classic 4010 on perinteinen kovan kulutuksen lattioiden saumaraudoite, joka sopii sellaisiin teollisuus-, terminaali ja varastorakentamisen kohteisiin, joissa saumaan kohdistuu kovaa isku- tai laahausrasitusta. Korkealujuusteräksestä valmistetut puolisuunnikkaan muotoiset vaarnalevyt siirtävät kuorman tehokkaasti sauman yli. Vaarnalevyt sallivat kaksisuuntaisen vaakaliikkeen ja estävät tehokkaasti pystyliikkeen sauman auettua jopa 20-30 mm. Rakenteeltaan AlphaJoint on samantyylinen kuin TeraJoint. (PiiMat Oy 2017a, 1; 2017b, 2)

5.6 Levitys

Kuorma-auto tuo sekoitetun betonimassan työmaalle. Massa kipataan asfaltinlevittimeen, joka hoitaa varsinaisen levityksen. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska asfaltinlevitin soveltuu maakostean betonin levittämiseen. Kone levittää ja esitiivistää aineksen tasaisesti, luoden tasavahvuisen laatan. Ennen varsinaista levitystä on harkittava koevedoksen tekemistä, jolla testataan, kuinka betoni käyttäytyy.

Betonimassan levitys aloitetaan muotin alimmasta kohdasta. Betonimassa tulisi sijoittaa suoraan lopulliselle paikalleen. Massan siirtely saattaa aiheuttaa runkoaineen erottumista, jossa hienoainekset erottuvat karkeammista osasista. Myös massan pudotus liian korkealta, > 1,5 m, lisää runkoaineen erottumista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 317-319.)

5.7 Tiivistäminen

Tiivistämisellä varmistetaan, että ylimääräinen ilma poistuu betonimassasta ja runkoaineen osaset asettuvat lähekkäin. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 322)

Asfaltin levityskone suorittaa esitiivistyksen levityksen yhteydessä. Varsinainen tiivistys suoritetaan dynaamisella kaksivalssijyrällä.

5.8 Jälkihoito ja jälkiseuranta

Jälkihoitoaineena käytetään bitumiliuosta tai bitumiemulsiota, joka estää betonin liian nopean kuivumisen. Jatkossa bitumipinnoite suojaa betonia kosteudelta.

Betonikentän käyttöönoton jälkeen sen kulumista on seurattava, jotta saadaan tietoa, täyttivätkö betonireseptit projektin vaatimukset. Seuranta ei kuulu tähän työhön.

6 POHDINTA

Tämä opinnäytetyö oli hieman erikoinen valinta ottaen huomioon sen rakennustekniikkaan liittyvän luonteen ja sen mitä itse opiskelin niihin aikoihin, kun sain tästä työstä kuulla: kaivosalan opintoja. Aihevalinta ehti muuttua vielä erikoisemmaksi työn valmistuessa, kun opintojeni painopiste oli siirtynyt sähkö- ja automaatiotekniikan puolelle. Omalta mukavuusalueelta poistuminen ja uusiin asioihin tutustuminen on tärkeää, joten päätin tarttua haasteeseen, kun sellainen tarjottiin.

Opinnäytetyö antoi hyvän syyn tutustua maailman käytetyimpään rakennusmateriaaliin, eli betoniin. Aihe oli hyvin TKI-henkinen. Uusien kokeellisten betonireseptien ansiosta tehtaan sivutuotteita voitaisiin hyödyntää. Geopolymeerien käyttöä tutkitaan kiivaasti ja ne ovat askel lähemmäs ympäristöystävällistä rakentamista.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan työhön olisi kuulunut myös betonikentän rakennustöiden valvonta. Valitettavasti tämä osuus siirtyi ainakin seuraavalle vuodelle, jonka vuoksi opinnäytetyö jäi teoreettiselle asteelle ja kirjallisuuden tutkimiselle. Lähinnä käytäntöä olivat palaverit, jossa alansa asiantuntijat pohtivat kuinka betonikenttä olisi järkevintä toteuttaa. Nämä tapaamiset olivat työn mielenkiintoisinta antia.

Saavuttiko opinnäytetyö tavoitteensa? Siinä mielessä kyllä, että suunnitteludokumentti saatiin aikaiseksi. Se, toimiiko betonikenttä halutulla tavalla, saa vastauksen vasta betonikenttä on oikeasti rakennettu ja sen suorituskykyä on seurattu kuukausia, ellei jopa vuosia.

Betonikentälle määriteltiin neljä tehtävää. Kustannukset selviävät, kun kenttä saadaan rakennettua. Puhtaanapidon kannalta kenttä varmasti täyttää tehtävänsä. Sään- ja kulutuksenkestävyyden seuranta vaatii aikaa. Sivutuotteiden hyödynnettävyys riippuu täysin kentän kestävyydestä. Toki näillä sivutuotteilla voidaan toteuttaa rakennelmia, kenties jopa edullisemmin kuin perinteisellä betonilla. Mutta jos rakennelmat eivät kestä, onko niissä mitään järkeä? Vastausta tähän kysymykseen saadaan odottaa vielä jonkin aikaa.

LÄHTEET

Anttila, V. n.d. Betonin valinta. Rudus Oy. Viitattu 25.9.2017
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090403.pdf>

Asunen, M. & Mäkelä, M. 2013. Tärylevyn käyttö maarakenteiden tiivistystyön tarkkailussa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Betoniteollisuus ry. 2017. Saumat. Viitattu 28.9.2017
<http://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/lattiat/saumat/>

Caterpillar. 2012. Caterpillarin päällystyskone ja levitinratkaisut. Tuote-esite.

F-Series Paver Controls: How It Works. 2016. YouTube-video. Caterpillar.
<https://www.youtube.com/watch?v=t3kM4blJJ0>

Ignatov, M. 2012. Siirrettävän betoniaseman kiviainessiiloston modulointi. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Koiranen, I. 2017. Lisäaineen kokeellinen käyttäytyminen betonimassassa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Koskinen, J. 2017. VS: Kommentit- Betonikentän toteutussuunnitelma vol 4. Sähköposti teemu.lakela@edu.lapinamk.fi 11.9.2017. Tulostettu 23.10.2017

Kostamo, A. 2017. VKU-kuonablokit. Tapojärvi Oy. Tutkimusraportti.

Outokumpu Chrome Oy. 2010. OKTO-rakennustuotteiden suunnittelu- ja rakentamisohje tie-, katu- ja maarakenteissa.

Peikko Group. TERAJOINT-liikuntasauva. Viitattu 6.10.2017
<http://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/terajoint-liikuntasauvajarjestelma/>

PiiMat Oy. 2017a. AlphaJoint – liikuntasauvараudoitteet. Viitattu 6.10.2017
<http://piimat.putteripro.fi/datafiles/userfiles/onet/file/AlphaJoint.pdf>

PiiMat Oy. 2017b. Saumараudoitteet. Viitattu 6.10.2017
<http://piimat.putteripro.fi/datafiles/userfiles/Esitteet/Saumараudoitteet.pdf>

Salmela, R. 2017. Kuonapohjaisen maabetonireseptiikan kehittäminen. Lapin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Sarkkinen, M. 2016. Betoniblokkien säänkestävyyden parantaminen. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Tutkielma.

Sarkkinen, M. 2017. VKU-kuonabetonikokeet: suola-pakkasrasituskokeet ja maabetonisovellutukset. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Tutkielma.

Sihvonen, M. 2010. Notkistavien lisäaineiden käyttö betonissa. Savonia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

SUMITOMO Asphalt Paver. 2016. YouTube-video. Sumimoto Corporation.
<https://www.youtube.com/watch?v=kXABWH21OqQ>

Suomen Betoniyhdistys ry 2011. Betonitekniikan oppikirja 2004. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betonilattaiyhdistys ry. 2012. Betonilattiat kortisto BLY-14. Suomen Rakennusmedia Oy.

Tapojärvi Oy. 2017. Yrityksen Internet-sivut. Viitattu 30.8.2017
<http://www.tapojarvi.com/>

The Construction Civil. 2017. Quick Setting Cement. Viitattu 11.9.2017
<https://www.theconstructioncivil.org/quick-setting-cement/>

U.S. Department of Transportation 2010. TechBrief: Geopolymer Concrete.
https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=665

Uusitalo, J., Ihanamäki J., Rajala R. & Vallin O. 2002. Betonityöt. 5. painos. Helsinki: Rakennustieto.

Ympäristöministeriö. 2006. Työsuojelu maa- ja vesirakennustöissä. Helsinki: Edita Prima Oy.

Wikimedia. 2013. File:Voegele1600-2 Duesseldorf.JPG.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voegele1600-2_Duesseldorf.JPG

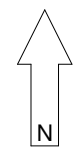
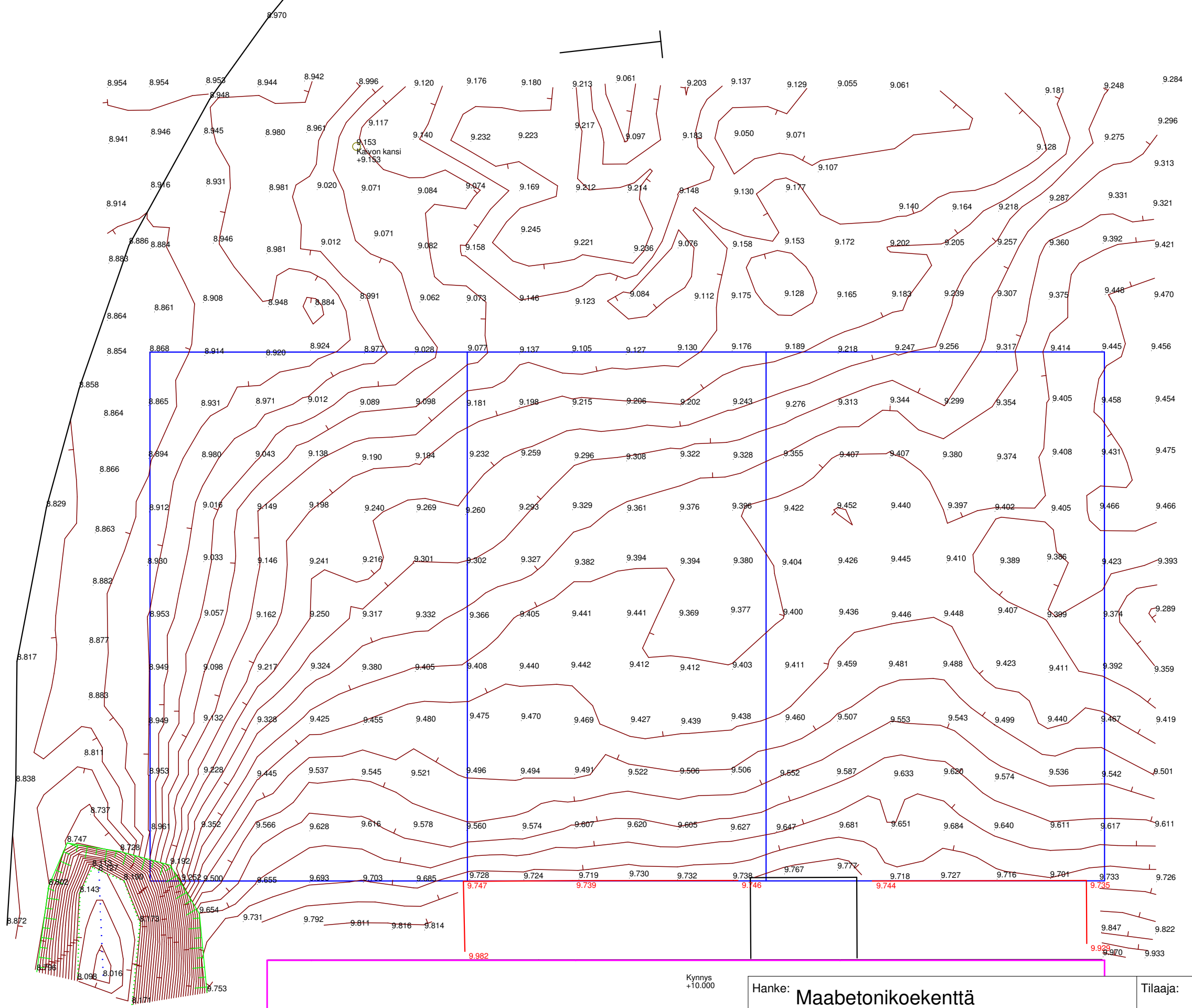
Wikimedia. 2014. File:Concrete plant.jpg.
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Concrete_plant.jpg

Wikimedia. 2006. File:Dynapac CC232.JPG.
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dynapac_CC232.JPG


Wikimedia. 2013. File:Mobile-concrete-plants.jpg.
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mobile-concrete-plants.jpg>

LIITTEET

Liite 1. Maanmittaustulokset koalueelta.



Kynnys
+10.000

Hanke:	Maabetonikoekenttä	Tilaja:	Tapojärvi
Sisältö:	Kuvalla esitetty maanpinnan korkeudet sekä korkeuskäyrät 5cm välein. Punaisella esitetty betonilaattojen nurkkien korkeudet. Alkuperäinen valualueen rajaus sinisellä. Vertailukorko(kynnys) +10.000		Siilakankatu 2 Tornio puh 08-5356 000 fax 08-3116 792 e-mail mitta@mitta.fi arthur.kreivi@mitta.fi
Tiedosto:		Laskenta: Arthur Kreivi. Puh. 043 2113787	
Pvm:	08.06.2017	Mittakaava: 1:150 A3	Hankenro: Piirustusno: 1