

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2021

Matti Jääskeläinen

KONENÄÖN SOVELTAMINEN KIVIAINEKSEN RAKEISUUDEN MITTAUKSESSA

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

2021 | 30 sivua, 8 liitesivua

Matti Jääskeläinen

KONENÄÖN SOVELTAMINEN KIVIAINEKSEN RAKEISUUDEN MITTAUKSESSA

[Click here to enter text.](#)

Opinnäytetyö tehtiin Amomatic Oy:n toimeksiantona. Työn tarkoituksena on tutkia konenäköjärjestelmien käyttöä asfalttiasemalla. Lähtökohtana oli, että konenäöllä mitattaisiin asfaltin valmistusprosessiin menevän kiviaineksen rakeisuutta. Vaikka rakeisuuden mittaaminen oli työn lähtökohta, ei työn tavoitetta määritetty alkuun kovin tarkasti. Tärkeämpää oli määrittää, miten konenäköä voisi hyödyntää asfalttiasemalla.

Työ aloitettiin perehtymällä asfaltin valmistukseen, asfalttiaseman toimintaan ja konenäköön yleisesti, sekä konenäön mittaussovelluksiin. Lisäksi tutkittiin, onko jossain jo käytössä vastaavia konenäkösovelluksia.

Kiviaineksen rakeisuuden mittaamiseen käytettiin omronin FZ Panda -ohjelmistoa. Näytteinä käytettiin NCC:ltä saatuja soranäytteitä. Mittauksista saatujen tulosten perusteella voitiin todeta, ettei konenäkö sovellu rakeisuuskäyrän muodostamiseen.

ASIASANAT:

Konenäkö, asfaltti, asfaltin valmistus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering

2021 | 30 pages, 8 pages in appendices

Matti Jääskeläinen

APPLICATION OF MACHINE VISION IN MEASUREMENTS FOR GRAVITY OF AGGREGATE

[Click here to enter text.](#)

This thesis was commissioned by Amomatic Oy. Meaning of this work was to examine the possibility of using machine vision in the asphalt plant. Basic idea was to measure the gravity of aggregate, that is used in the proses of asphalt manufacturing. Although these measurements were the primary object of this thesis, in the beginning the goal of this work was not specific. More important was to determine how machine vision could be used in asphalt plant.

Work was started by studying asphalt manufacturing, asphalt plant operations and machine vision in general, along with measurement applications of machine vision.

Measuring of gravity of aggregate was tested by using omron FZ Panda-software. Gravelsamples for testing was given by NCC. Based on the results of the measurements, it was concluded that machine vision is not suitable for measuring the gravity of aggregate.

KEYWORDS:

Machine vivion, asphalt, asphalt manufacturing

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 ASFALTIN VALMISTUS	8
2.1 Asfaltit	8
2.1.1 Kiviainekset	8
2.1.2 Side- ja lisäaineet	8
2.1.3 Kiviaineksen rakeisuuskäyrä	9
2.2 Asfalttiasemat	10
2.3 Asfaltin valmistus annosperiaatteella	11
2.4 RC-rouhe	12
3 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄT	13
3.1 Yleistä	13
3.2 Kamerat	13
3.3 Optiikka ja syvyysterävyysalue	14
3.4 Resoluutio	15
3.5 Kuvankäsittely	15
3.6 3d-järjestelmät	15
4 JÄRJESTELMÄN VALINTA	17
4.1 Vaatimusmäärittely	17
4.2 Menetelmäselvitys	18
5 MENETELMÄTESTAUS	21
5.1 Ohjelman käyttö	22
5.2 Tarkkuus	24
5.3 Huomioita mittauksista	25
6 YHTEENVETO	28
LÄHTEET	30

LIITTEET

Liite 1. Rakeisuuskäyrät

KAAVAT

Kaava 1. Seulan muutos kaava.	22
Kaava 2. Tarvittavan resoluution määrittäminen (baslerweb.com).	24

KUVAT

Kuva 1. Amomatic 200-240 SM asfalttiasema (Amomatic).	6
Kuva 2. Matriisi- ja viivakamera (SAMK).	14
Kuva 3. Gocatorin 3d-kameralla otettu hiekkatopografi.	18
Kuva 4. 11–22 kivimassa kuvattuna 2d-kameralla.	19
Kuva 5. 0–8 kivimassa kuvattuna 2d-kameralla.	20
Kuva 6. Kivistä otettu kuva.	21
Kuva 7. Labeling-työkalun color-välilehti.	23
Kuva 8. Labeling-työkalun measurement-välilehti.	23
Kuva 9. Kaksi kiveä kuvattuna ylhäältä sekä sivulta.	26
Kuva 10. Tunnistetut kivet.	26
Kuva 11. Elliptic minor axis kuvattu oranssilla viivalla.	27
Kuva 12. Putoavia kiviä 1.	28
Kuva 13. Putoavia kiviä 2.	28

KUVIOT

Kuvio 1. Esimerkki kiviaineksen rakeisuuskäyrästä, jossa kivikoot 0–8 mm.	9
Kuvio 2. Asfalttibetoni AB 16:n rajakäyrä ja rajataulukko (Päällystealan neuvottelukunta 2017, 42).	10
Kuvio 3. NCC:n käyrä ja mitattu käyrä lajikkeelle 11–22.	25

1 JOHDANTO

Työn toimeksiantajana toimii paimiolainen Amomatic Oy. Amomatic työllistää 60–70 henkeä ja on pohjoismaiden johtava asfalttiasemavalmistaja. Yritys on perustettu Vähäsilta-nimisenä konepajana vuonna 1919. 1960-luvulta alkaen Amomatic on keskittynyt asfalttiasemien valmistukseen. Sitä ennen tuotannosta on valmistunut esimerkiksi rautatankoja sekä sukellusveneen runko. Amomaticin pääasiallisena toiminta-alueena on Pohjoismaat, Baltian maat ja Venäjä.



Kuva 1. Amomatic 200-240 SM asfalttiasema (Amomatic).

Asfalttiasemien lisäksi Amomaticin palveluihin kuuluu asfalttiasemien ja -henkilöstön vuokraus, operaattorivuokraus, huoltopalvelut, siirtopalvelut sekä tekninen apu ja konsultointi. Amomatic kehittää myös erilaisia digitaalisia järjestelmiä, kuten esimerkiksi AmoWeb tai AmoTrack, sekä asfaltin kierrätykseen liittyviä järjestelmiä.

Asfaltin valmistuksessa käytettävät kivimateriaalit syötetään kylmäsyöttölaitteen siloihin lajikkeittain, raekoon mukaan. Silloista kivimateriaali syötetään prosessiin hihnasyöttimien avulla. Hihnasyöttimien nopeutta voidaan säätää siten, että jokaista kivilajiketta menee prosessiin oikea määrä, kulloinkin valmistettavan asfalttilaadun reseptin mukaisesti. Kiviaines siirretään kuivausrumpuun, jossa kiviaines kuivataan ja sen lämpötilaa nostetaan. Sieltä kiviaines siirretään kuumaelevaattorilla sekoitintorniin, jossa materiaali seulotaan kuumalajikesiloihin. Kuumalajikesiloista lajikkeet annostellaan kivivaakaan

lajike kerrallaan. Sieltä kiviaines siirretään sekoittimeen, jossa kivien sekaan lisätään bitumi ja muut tarvittavat aineet ja lopputuloksena saadaan valmista asfalttia.

Mikäli voitaisiin olla varmoja, että prosessiin menevä kiviaines on oikeanlaista, voitaisiin kuumaseulonta jättää pois koko prosessista. Sen lisäksi että tämä nopeuttaisi asfaltin valmistumista, se myös yksinkertaistaisi aseman rakennetta ja alentaisi aseman valmistuskustannuksia.

Työ aloitettiin tutustumalla asfaltin valmistukseen sekä asfalttiaseman toimintaan. Lisäksi perehdyttiin konenäön teoriaan ja erilaisiin konenäköjärjestelmiin. Näiden pohjalta suunniteltiin, millaisella järjestelmällä kiviainesten mittausta voitaisiin suorittaa.

Asfaltin valmistuksessa olennainen tieto on asfaltin rakeisuuskäyrä. Rakeisuuskäyrällä määritetään asfaltin sisältämien kiviainesten raekoot sekä eri raekokojen osuus massasta. Työn päätavoitteena on selvittää, voidaanko sorasta muodostaa konenäön avulla rakeisuuskäyrä.

2 ASFALTIN VALMISTUS

2.1 Asfaltit

Asfaltilla tarkoitetaan kiviaineksen ja bitumisen sideaineen seosta. Asfalttityyppi on koostumukseltaan tietynlainen asfalttimassa tai -päällyste, joka merkitään kirjainlyhenteellä, esimerkiksi AB (asfalttibetoni) tai AA (avoin asfaltti). Asfalttilaji merkitään lisäämällä asfalttityyppiä ilmaisevan kirjainlyhenteen perään, käytetyn kiviaineksen maksimiraekokoa ilmaiseva luku millimetreinä. Esimerkiksi AB 16. Levitetyn asfalttipäällysteen määrä ilmaistaan asfalttilajin perään liitetyllä luvulla. Esimerkiksi AB 16/100, tarkoittaa asfalttibetonia, jonka maksimiraekoko on 16 mm ja massamäärä on 100 kg/m². Tämä vastaa noin 40 mm:n paksuutta tiivistetyssä päällysteessä. Ohjeellinen paksuusarvo voi vaihdella käytetyn kiviaineksen mukaan. (Lemminkäinen, 6.)

2.1.1 Kiviainekset

Asfalttipäällysteiden kiviaineksina käytetään sora- tai kalliomursketta, luonnonsoraa, hiekkaa tai täytejauhetta. Kiviaines muodostaa asfalttipäällysteen runkorakenteen ja sen osuus valmiissa massassa on 92–96 %.

Kiviaineksen koostumus ja ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi valmistettavan päällysteen lujuuteen ja kestävyyskykyyn. Tästä johtuen kiviainesta kuvaavat mittasuureet on normitettu ja kuhunkin päällystetyyppiin kelpaavat vain tietyt vähimmäisvaatimukset täytettävä ainekset. Kivien lujuuteen ja kulutuskestävyyteen vaikuttaa kiven mineraalikoostumus ja rakenne. Lujuuteen vaikuttavat sekä mineraalien lujuus, että se kuinka lujasti mineraalit ovat toisissaan kiinni. (Lemminkäinen, 160–161.)

2.1.2 Side- ja lisäaineet

Asfalttipäällysteiden sideaineina käytetään bitumeja, polymeerimodifioituja bitumeja, bitumiliuoksia, fluksattuja bitumeja tai bitumiemulsioita. Tiebitumit on jaettu kolmeen ryhmään, jotka ovat tiebitumit, pehmeät tiebitumit ja viskositeetti luokitellut bitumit.

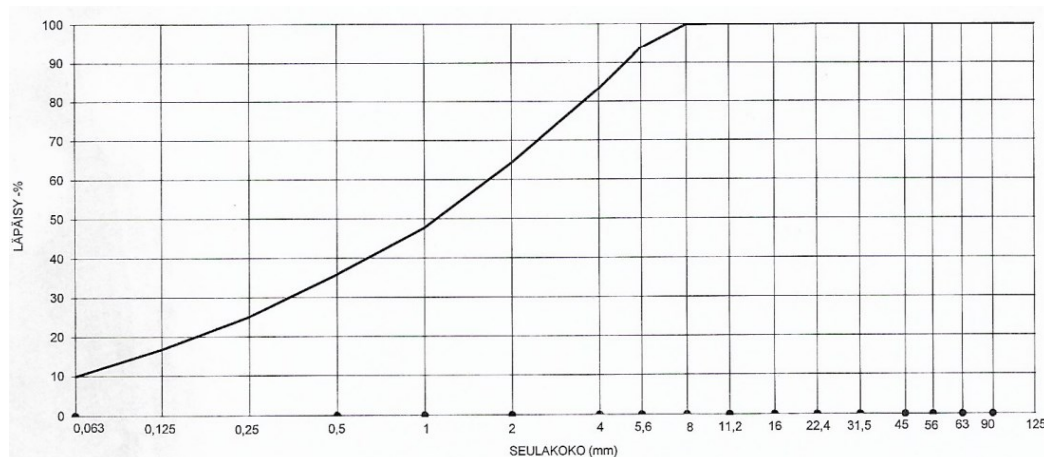
Lisäaineiden käytöllä pyritään parantamaan asfaltin toiminnallisia ominaisuuksia tai muulla tavoin saamaan teknistaloudellisesti parempi lopputulos. Lisäaineina voidaan käyttää esimerkiksi kuituja, tartukkeita, sementtejä tai luonnonasfalttia.

Kuituja käytetään bitumia sitovana lisäaineena, joka mahdollistaa paksummat bitumikalvot. Yleisimmin käytetty kuitu on selluloosakuitu ja niitä käytetään pääasiassa kivimastikiasfalteissa. Tartukkeet ovat pinta-aktiivisia aineita, joilla parannetaan bitumin ja kiviaineksen välistä tartuntaa. Tartukkeina käytetään yleensä rasvahappopohjaisia diammieneja. Sementin käytöllä parannetaan asfalttipäällysteen säänkestävyyttä. Luonnonasfaltit ovat luonnossa esiintyviä bitumin ja mineraalien seoksia. Luonnonasfaltteja käyttämällä parannetaan asfalttipäällysteen deformaatiokestävyyttä.

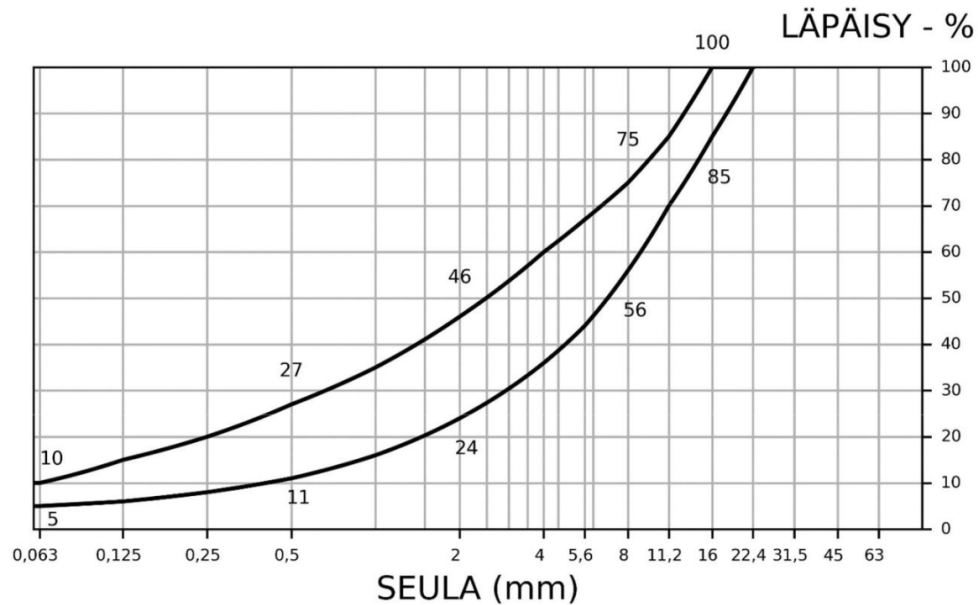
Muina lisäaineina asfalteissa voidaan käyttää kumi- ja muovirouheita, väriaineita, sammutettua kalkkia sekä muita kemiallisia aineita. Näiden käyttö edellyttää tapauskohtaista suunnittelua. Lisäaineiden käytössä tulee aina varmistaa työterveys, turvallisuus ja ympäristökelpoisuus. (Päällystealan neuvottelukunta 2017, 102–104.)

2.1.3 Kiviaineksen rakeisuuskäyrä

Kiviaineksen rakeisuuskäyrällä ilmaistaan mikä osuus kiviaineksesta, menisi eri kokoisista siiloista läpi. Kullekin asfalttilaadulle on määritetty oma käyrä, jonka mukaisesti kyseinen asfalttilaatu tulee valmistaa. Rakeisuuskäyrän tulkitseminen onkin asfaltin reseptin laadinnan ensimmäinen vaihe. Rakeisuuskäyrän pohjalta laaditaan asfaltin resepti, jota asfalttiaseman annostelulaitteiston tulee noudattaa. (Länsitalo. 2016, 79.)



Kuvio 1. Esimerkki kiviaineksen rakeisuuskäyrästä, jossa kivikoot 0–8 mm.



Seula (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4
Yläraja läpäisy-%	10,0	15	20	27	35	46	60	67	75	85	100	100
Alaraja läpäisy-%	5,0	6	8	11	16	24	36	44	56	70	85	100

Kuvio 2. Asfalttibetoni AB 16:n rajakäyrä ja rajataulukko (Päällystealan neuvottelukunta 2017, 42).

Mikäli asfalttipäällysteelle halutaan parempi kulutuskestävyys ja parempi deformaatiokestävyys, kiviaineksen rakeisuuskäyrä suunnitellaan lähelle alemmaa, eli karkeampaa rajakäyrää. Tällaista päällystettä voidaan tarvita esimerkiksi vilkasliikenteisillä teillä. Kun taas pyritään tiiviiseen ja sileään päällysteeseen, esimerkiksi jalkakäytävillä tai pihoille, suunnitellaan käyrä ohjealueen ylemmän käyrän lähelle. (PANK Ry.)

2.2 Asfalttiasemat

Amomaticin valmistamat asfalttiasemat toimivat annospriaatteella. Asfaltin valmistusprosessissa materiaaleja esikäsitellään sekoitusprosessiin soveltuviksi ja ne annostellaan ennalta määrättyssä suhteessa sekoittimeen, jossa niistä muodostuu homogeenista asfalttimassaa. Tämä massa on valmis levitettäväksi sellaisenaan. (Suomi. 2009, 1.)

Amomaticin asemat voidaan jakaa viiteen pääkategoriaan, niiden toimintatehon mukaisesti. Nämä kategoriat ovat 120, 160, 200, 240 ja 300. Näillä luvuilla tarkoitetaan aseman teoreettista valmistustehoa, jossa esimerkiksi 200 tarkoittaa, että asema kykenee tuottamaan valmista asfalttia 200 massatonnia tunnissa, kun käytetyn kiviaineksen kosteuspitoisuus on korkeintaan 5 %. Lisäksi konekoot jaetaan tyyppiluokkiin. Tyyppiluokkia ovat Sm (semi mobile), Cm (container mobile), H (high), S (special) ja M (mobile). Amomaticin asfalttiasemat eivät ole kiinteitä laitoksia, vaan ne voidaan purkaa ja koota kohtuullisen lyhyessä ajassa. Perusaseman purkaminen, uudelleen kokoaminen ja testaukset kestävät aseman kokonaisuudesta riippuen 1–2 viikkoa. (Länsitalo. 2016, 5.)

2.3 Asfaltin valmistus annosperiaatteella

Asfaltin valmistusprosessi alkaa siitä, että valmistukseen käytettävä kivimateriaali syötetään kylmäsyöttölaitteeseen. Kiviainekset sijaitsevat kasoittain asfalttiaseman läheisyydessä, josta ne siirretään pyöräkuormaajalla, lajikkeittain kylmäsyöttölaitteen siloihin. Kylmäsyöttölaitteen siilot toimivat näin myös kiviaineksen välivarastona. Siilojen alla olevilla hihnasyöttimillä kiviaines siirretään eteenpäin kokoojahihnalle. Hihnasyöttimien nopeus säädetään siten että kiviainesta tulee oikea määrä, käytössä olevan reseptin ja tuotantotehon mukaisesti. (Länsitalo. 2016, 12.)

Kylmäsyöttölaitteelta kiviaines siirretään kuivausrumpuun vinohihnan avulla. Kuivausrummussa kiviaines kuivataan ja sen lämpötila nostetaan tarvittavaan lämpötilaan, joka on normaalisti 180–200 astetta, riippuen käytetystä sideaineesta. (Länsitalo. 2016, 22.)

Kuivausrumpuun kiviaines tuodaan, lämpöä tuottavan teollisuuspolttimen vastakkaiselta puolelta. Rummun pyöriessä lieriön sisäpinnoilla olevat nostosiivet nostavat kiviaineksen rummun yläosaan, josta se putoaa kuuman savukaasun lävitse. Kuuma savukaasu ja liekin lämpösäteily haihduttavat kivimateriaalista kosteuden, samalla lämmittäen sitä. Kiviaineksen kuumennuksessa kiviaineksesta irtoaa pölyä, joka poistuu rummusta savukaasujen mukana. Pölyä sisältävää savukaasua ei päästetä ympäristöön, vaan pöly erotetaan savukaasuista ja palautetaan takaisin prosessiin. Hienojakoista pölyä voidaan käyttää useimmissa asfalttilaaduissa täyteaineena. Pöly erotetaan savukaasuista ime-mällä kaasut suodattimen läpi. Suodattimelta pöly kuljetetaan omiin siloihin paineilman tai ruuvikuljettimien ja pölyelevaattorin avulla. Kuuma kivimateriaali siirretään rummulta sekoitintorniin kuumaelevaattorilla.

Sekoitintornissa kivimateriaali seulotaan kuumalajikesiiloihin raekoon mukaan. Tyypillisesti siiloja on 3–6 kappaletta. Vaihtoehtoisesti seulonta voidaan ohittaa ja materiaali voidaan ohjata suoraan by-pass–siiloon. Lisäksi sekoitintornissa on omat siilot muun muassa täytejauheille, suodatinpölylle, kalkkijauheille ja lentotuhkalle. Bitumia, joka on yleisimmin asfaltissa käytetty sideaine, varastoidaan aseman läheisyydessä olevissa säiliöissä, joita on yleensä 1–3 kappaletta. Sideaine kuljetetaan ja varastoidaan kuumana ja nestemäisenä. (Suomi. 2009, 3–6.)

Annosperiaatteella toimivassa asfalttiasemassa massan annostelu ja sekoitus tehdään annos kerrallaan. Kuumalajikesiiloista kivilajikkeita annostellaan kivivaakaan lajike kerrallaan. Sideaineet pumpataan säiliöstä sideainevaakaan. Kun vaa’assa on oikea määrä sideainetta, se pumpataan kolmitieventtiin avulla takaisin säiliöön. Sideainetta pumpataankin säiliöstä ja takaisin säiliöön jatkuvana virtana. Samoin täytejauheet ja muut mahdolliset lisäaineet annostellaan omiin vaakoihinsa. Vaa’oilta materiaalit pudotetaan tai pumpataan sekoittimeen, jossa materiaalit sekoitetaan homogeeniseksi asfalttimassaksi. Valmis asfalttimassa pudotetaan sekoittimen pohjaluukun kautta suoraan kuorma-auton lavalle tai massavaunuun, joka kuljettaa annoksen varastosiiloon. (Suomi. 2009, 4.)

2.4 RC-rouhe

Rc-rouheella tarkoitetaan vanhaa kierrätettävää asfalttia. Rc-rouhe voidaan lisätä asfalttimassaan kolmella eri tavalla.

RC-rouhetta voidaan lisätä jatkuvana virtana kuumennusrumpuun. Tällöin RC-rouhe syötetään rumpuun, rummun polttimen puoleisesta päästä, josta se sekoittuu kuuman kiviaineksen virtaukseen. Toinen vaihtoehto on lisätä RC-rouhetta suoraan sekoittajaan asfalttimassan joukkoon. (Suomi. 2009, 7.)

Mikäli RC-rouheen osuus halutaan olevan yli 10 % massasta, tulee se silloin lämmittää. Lämmittäminen suoritetaan kuuma-RC-laitteiston avulla. Kun RC-rouhetta lämmitetään 130 asteeseen, voidaan sitä lisätä kulutuskerroksissa käytettävien massojen joukkoon maksimissaan 50 % ja muihin kerroksiin 70 %. RC-laitteisto muistuttaa kiviaineksen lämmittämiseen tarkoitettuja laitteistoja ja se koostuu kylmäsyötöstä, vinohihnasta, elevaattorista, kuumennusrummusta, välivarastosiilosta, punnituslaitteista sekä RC-ruuvista. (Länsitalo. 2016, 51.)

3 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄT

3.1 Yleistä

Konenäöllä tarkoitetaan järjestelmää, jolle rakennetaan kyky hahmottaa ympäristöä. Tätä kykyä voidaan hyödyntää monin eri tavoin. Yleisimmät teollisuudessa käytettävät tehtävät liittyvät kappaleiden tunnistukseen ja laadunvalvontaan. Lisäksi konenäköä voidaan käyttää datan keräämiseen sekä prosessien tai toimilaitteiden ohjaukseen. (Pastell. 2018).

Ensimmäisiä konenäkösovelluksia on kehitetty jo 1980-luvun puolivälissä. 1990-luvun puolivälissä kehitetyt CMOS-kuvakennot mullistivat kamerateknologian. Samaan aikaan kameroiden prosessointikapasiteetti kasvoi, mikä mahdollisti ”älykameran”, joka kykeni toimimaan itsenäisenä automaatiolaitteena. Perinteisesti konenäkökamerat ovat kaksiulotteisia, mutta viime vuosina myös 3D-kamerat ovat yleistyneet. Nämä ovat mahdollistaneet kuvattujen kappaleiden tarkan topografian sekä tarkkojen mittatietojen saamista kolmiulotteisista kappaleista ja pinnoista. Uusinta konenäköteknologiaa edutavat hyperpektrikamerat, joilla voidaan kuvata aallonpituuksia, joita ihmissilmä ei kykene havaitsemaan. (Pinja).

Perinteisesti konenäköjärjestelmä koostuu kuvauslaitteistosta, kuvankäsittelystä sekä prosessin ohjaukseen käytettävästä ohjelmistosta. Kuvauslaitteisto koostuu kamerasta, linssistä ja valonlähteestä. Ohjelmistoilla kuvista etsitään ja korostetaan halutut piirteet tai ominaisuudet. (Pastell. 2018.)

3.2 Kamerat

Konenäköjärjestelmien kamerat ovat perinteisesti joko matriisi- tai viivakameroita. Matriisikameran kennossa on tietty määrä pikseleitä leveyssuunnassa ja korkeussuunnassa ja sillä saadaan aikaan suorakulmion muotoinen kuva. Viivakamerassa on pystysuunnassa yhdestä kolmeen pikseliä ja vaakasuunnassa pikseleitä 1024 pikselistä aina 16 000:een pikseliin asti. Viivakameroita käytetään yleensä liikkuvien ja yhtenäisten kohteiden kuvaamiseen, esimerkiksi paperiteollisuudessa. Viivakameralla saadaan myös erilaisista pyörähdyskappaleista yhtenäinen kuva, mikä ei onnistuisi matriisikameralla.



Kuva 2. Matriisi- ja viivakamera (SAMK).

Perinteisen värikameran kuvaustekniikalla, kennon jokainen valonilmaisimien tunnistaa joko punaista, vihreää ja sinistä valoa. Kunkin pikselin väri aproksimoidaan kyseisen valonilmaisimen sekä sen viereisten ilmaisimien valonmäärän perusteella. Tämän takia, harmaasävykamoilla saavutetaan parempi tarkkuus kuin vastaavan resoluution omaavilla värikameroilla. Värikameroiden käyttö onkin konenäköjärjestelmissä suositeltavaa vain, jos värien tunnistaminen on tärkeää järjestelmän toiminnan kannalta. (SAMK).

3.3 Optiikka ja syvyysterävyysalue

Optiikan avulla projisoidaan kuva kameran kennolle. Optiikan valinnalla pyritään saavuttamaan kokoonpano, jolla saadaan tietyllä kuvausetäisyydellä haluttu kuva-ala, riittävä syvyysterävyys, resoluutio, kontrasti ja saadaan minimoitua optiset vääristymät.

Syvyysterävyysalueella tarkoitetaan etäisyyttä, jossa kuva on tarkka. Mikäli kuvattava kohde on lähempänä tai kauempana tätä etäisyyttä, kohde ei enää kuvaudu terävästi. Syvyysterävyysalueeseen vaikuttavat linssin polttoväli ja aukon koko. (Optima).

3.4 Resoluutio

Kameran resoluutiolla tarkoitetaan kameras kuvanturin pikselien lukumäärää. Matriisi-kameroiden resoluutio voidaan laskea kertomalla vaak- ja pystyrivissä olevien pikselien lukumäärä toisillaan. Viivakameran kuvanturi koostuu normaalista yhdestä pikselirivistä, joten viivakameroiden resoluutio ilmaistaan rivillä olevien pikselien lukumäärällä. Koneköjärjestelmien yhteydessä resoluutio kuvaa järjestelmän kykyä hahmottaa yksityiskohtia ja sen myötä mittatarkkuutta. Sovellukselta vaadittava mittatarkkuus määräytyy pienimmän tarkasteltavan kohteen suuruuden perusteella ja se voidaan laskea jakamalla kuvattavan näkökentän suuruus kameras pikselien lukumäärällä. (Pastell. 2018, 8.)

3.5 Kuvankäsittely

Otettuja kuvia pyritään käsittelemään niin, että mitattavat ominaisuudet saadaan mahdollisimman hyvin esiin. Tästä johtuen, konekösovelluksessa hyvä kuva ei välttämättä ole valokuvauksellisesti hyvä. Kuvaa voidaan käsitellä kuvausarvojen ja optiikan säädöillä tai ohjelmallisesti. Ohjelmallisesti säädettäviä asioita ovat esimerkiksi kirkkaus ja kontrasti. (Suvitie. 2019, 4.)

3.6 3d-järjestelmät

Kappaleista saaduista kolmiulotteisilla malleilla voidaan tehdä monia eri mittauksia ja tarkastuksia, joita 2d-kuvauksella ei voida tehdä. Esimerkiksi kappaleen muotojen tarkastus tai tilavuuden mittaus onnistuu helposti 3d-kuvauksen avulla.

3d-kuvausmenetelmiä on useita erilaisia.

Stereokuvauksessa, paikallaan olevasta kohteesta, otetaan kameroilla kuvia vähintään kahdesta eri kuvakulmasta. Tietokoneohjelmalla analysoidaan kuvat, joista ohjelma etsii yhteisiä pisteitä ja yhdistää kuvat näiden pisteiden avulla 3d-kuvaksi. Toinen vaihtoehto on ottaa yhdellä kameralla kuvia, ennakkoon määritellyistä pisteistä. Tasaiset pinnat ja kohteet, joissa on toistuvia muotoja ovat haastavia kuvattavia stereokuvausjärjestelmille. (SAMK.)

Fringe-järjestelmissä kohdetta valaistaan fringe-kuviolla, joka voi olla esimerkiksi pysty-suorista viivoista muodostuva kuvio. Kun valo osuu kohteeseen, viivat taittuvat pinnanmuotojen mukaisesti. Kameralla kuvataan vääristynyttä fringe-kuviota ja tietokone analysoi kuvan vastinpisteisiin perustuvaa kolmiomittausta käyttäen ja tuottaa kohteesta 3d-mallin. (SAMK.)

Time of flight tekniikan ideana on, että järjestelmä sytyttää valaisimen ja laskee ajan, joka valonsäteiltä kestää kulkea kohteelle ja sieltä takaisin kameralle. Time of flight -tekniikan yhtenä etuna on, että sillä voidaan kuvata myös kohteita, jotka liikkuvat suurilla nopeuksilla. (SAMK.)

Depth from focus -kuvaustekniikalla kohteen etäisyyttä kamerasta arvioidaan kuvaamalla sitä eri tarkennusetäisyyksillä ja vertailemalla kuvien tekstuurien tarkkuuksia. Tätä tekniikkaa käytettäessä kohteen tulee olla paikallaan. Depth from focus -tekniikka ei ole kovinkaan tarkka mutta useisiin sovelluksiin tarkkuus on kuitenkin riittävä. Kuvaamiseen riittää kamerakalustoksi yksi kamera, joka on varustettu moottoritarkennuksella toimivalla linssillä. (SAMK.)

Näiden lisäksi 3d-kuvausmenetelmiä ovat muun muassa rakenteelliseen valaisuun perustuvat 3d-menetelmät ja laserviivaprojektio.

4 JÄRJESTELMÄN VALINTA

4.1 Vaatimusmäärittely

Raekoon mittaamiseen soveltuvan konenäköjärjestelmän valinta aloitettiin tekemällä vaatimusmäärittely. Vaatimusmäärittely aloitettiin lyhyellä selvityksellä, jossa ilmenee asfalttiaseman toiminta ja mitä konenäköjärjestelmän hankinnalla tavoitellaan. Tavoitteeksi asetettiin, että järjestelmän tuottamilla mittaustuloksilla voidaan määrittää prosessiin menevän kiviaineksen rakeisuuskäyrä ja siten saavuttaa varmuus prosessiin menevän kiviaineksen oikeasta laadusta.

Seuraavaksi vaatimusmäärittelyssä määritettiin minkälaisissa olosuhteissa järjestelmän tulisi kyetä toimimaan. Huomioitavaa järjestelmän suunnittelun kannalta on että, järjestelmä tulisi sijoitettavaksi ulkotiloissa, joten sen tulee sietää lämpötilan ja ilmankosteuden vaihteluja. Lisäksi olosuhteet asfalttiasemalla ovat pölyiset.

Kuvattavan kiviaineksen suhteen huomioitavaa oli, että kiviaineksen kosteus voi olla jopa 15 %. Normaalisti kosteus on 2–4 %. Mikäli kuvaus haluttaisiin tehdä syötinhihnalta, tulee huomioida, että hihnojen nopeudet ovat säädettäviä ja yksittäisen syöttimen maksimi virtaus on 100 t/h. Kuvattavien kivien koot ovat 0,6 ja 32 mm:n välillä.

Tämän jälkeen listattiin kaikki toiveet mitä konenäköjärjestelmältä haluttiin. Toiveet listattiin kolmeen eri luokkaan, jotka olivat "välttämättömät", "hyödyllinen" ja "mahdollisia myöhemmin hyödynnettäviä ominaisuuksia".

Välttämättömät:

- Kykenee määrittämään kuvattavan kiviaineksen raekoon.
- Järjestelmä kykenee muodostamaan kuvattavasta kiviaineksestä rakeisuuskäyrän.

Hyödyllinen:

- Kykenee vertaamaan muodostamaansa rakeisuuskäyrää, käytössä olevan reseptin ohjekäyrään.
- Liitettävissä aseman PROFINET-väylään.

Mahdollisia myöhemmin hyödynnettäviä ominaisuuksia:

-Pystyy määrittämään läpimenevän kivimateriaalin tilavuusvirran.

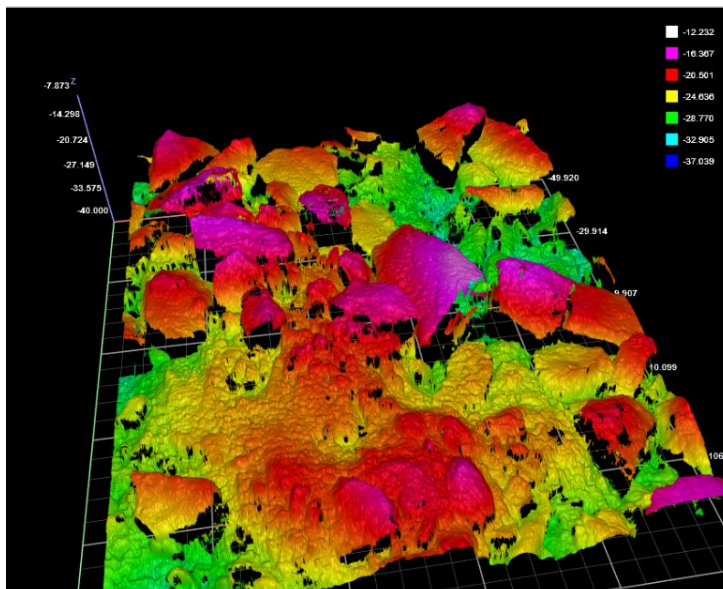
-Havaitsee prosessissa olevat tukokset (kivimateriaalia valuu hihnan yli).

Mahdollisia kokeita olisi tarvittaessa, mahdollista tehdä NCC:n Saramäen asfalttiasemalla.

4.2 Menetelmäselvitys

Ensimmäinen ajatus järjestelmän toteutukselle oli, että kiviainesta kuvattaisiin kylmäsyöttölaitteessa. Kamera tai kamerat olisivat sijoitettuna hihnasyöttimelle tai siiloon. Toinen vaihtoehto oli, että kuvaus tehtäisiin kokoojahihnalla.

Yhtenä vaihtoehtona oli kuvata kivimassaa 3d-kameralla ja määrittää pinnalla olevien kivien muodon perusteella massan rakeisuuskäyrä. Rakenteelliseen valaisuun perustuvia 3d-järjestelmiä on testattu kaivosteollisuudessa vastaaviin mittauksiin, mutta siellä kivien koot ovat olleet huomattavasti suurempia, halkaisijaltaan 10 senttimetristä ylöspäin. Keskusteluissa eri laitetoimittajien kanssa selvisi nopeasti, että 3d-järjestelmillä ei tänä päivänä ole mahdollista päästä vaadittaviin tarkkuuksiin. Esimerkiksi time of flight kameroiden tarkkuus on noin +/- 1cm (baslerweb).



Kuva 3. Gocatorin 3d-kameralla otettu hiekkatopografi.

Suoraan hihnalta tai siilosta kuvaaminen 2d-kameralla ja siitä kiviaineksen koon määrittely todettiin haastavaksi. Ensinnäkin 2d-menetelmällä on vaikea määrittää suuresta määrästä soraa, mitkä rakeet näkyvät kokonaan ja mitkä ovat osittain peitossa. Ongelmaa lisää se, että valaistus on haastavaa saada sellaiseksi, että varjojen aiheuttamat virheet rakeiden rajojen määrittämisessä ei koituisi ongelmaksi.



Kuva 4. 11–22 kivimassa kuvattuna 2d-kameralla.



Kuva 5. 0–8 kivimassa kuvattuna 2d-kameralla.

Lopulta päädyttiin tutkimaan vaihtoehtoa, jossa kiviaineksesta otettaisiin pieniä näytteitä, joita kuvaamalla muodostettaisiin kivikäyrä.

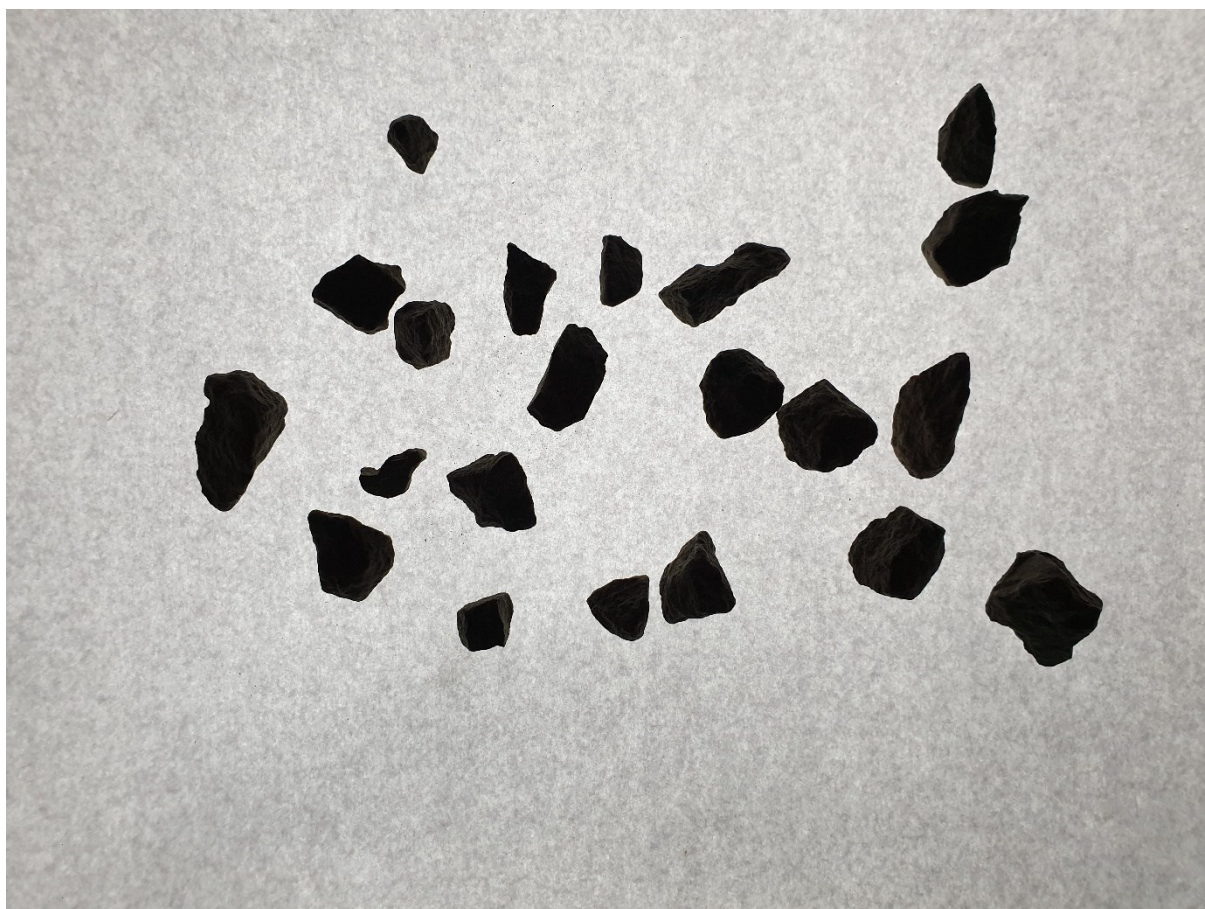
Kyseinen järjestelmä vaatisi laitteiston, jolla kiviainesta ripoteltaisiin harvana ”mattona” taustavalon editse, josta sitä kuvattaisiin. Kamerana toimisi 2d-kamera ja taustavalona valopöytä. Tällöin kivirakeiden muodostamien siluettien dimensiot olisivat mitattavissa. Laitteisto olisi täysin oma erillinen kokonaisuutensa asfalttiasemalla. Kuvausympäristö tulisi suojata ulkoisilta valonlähteiltä ja pöly ongelmaa voitaisiin mahdollisesti vähentää asemalla olevan paineilman avulla.

5 MENETELMÄTESTAUS

Koska järjestelmän toimivuuteen liittyviä epävarmuustekijöitä oli runsaasti, päätettiin sen toimivuutta testata aluksi yksinkertaisin kokein. Kiviainesta kuvattiin paperin päältä ja saaduista kuvista pyrittiin määrittämään rakeisuuskäyrä, omronin FZ PanDa-ohjelman avulla. Mikäli näiden kokeiden tulokset olisivat hyviä, voitaisiin järjestelmän testausta laajentaa.

Testattavat kivilajikkeet olivat 0–8, 0–11, 0–16, 8–16 ja 11–22. Testattavat lajikkeet saatiin NCC:ltä ja niistä oli rakeisuuskäyrä määritetty, jolloin niitä voitiin verrata FZ PanDa-ohjelmalla saatuihin käyriin

Kuvat otettiin 12 megapikselin kameralla. Kiviaines asetettiin valkoisen paperin päälle, joka valaistiin taustalta. Näillä järjestelyillä saatiin aikaan kiviaineksesta tarkat kuvat. Kuvauksetäisyys oli 425 mm ja kuvattava alue noin 400 mm x 300 mm.



Kuva 6. Kivistä otettu kuva.

Alkuun kuvista tuli selvittää, montako kiveä kuvassa on. Sen jälkeen kivistä piti määrittää minimi halkaisija, eli minkä kokoisesta siilon aukosta kyseinen kivi menisi läpi. Koska 2d-kuvista ei voida määrittää kivien massaa tai tilavuutta, korvattiin tämä suure niiden alalla. Nämä tiedot siirrettiin exceliin.

Seulaverkon aukot ovat neliön mallisia. Tästä johtuen niiden läpimenevien kivien minimihalkaisija voi olla suurempi kuin verkon nimelliskoko. Esimerkiksi 22 mm:n seulanaukon vastakkaisten kulmien etäisyys on pythagoraan lauseen mukaisesti noin 31,1 mm. Tästä johtuen mitattujen halkaisijoiden arvot muutettiin siten, että esimerkiksi 22,6 mm:n halkaisijasta tuli 16 mm.

$$Uusi\ arvo = \sqrt{\frac{Seulan\ nimelliskoko^2}{2}}$$

Kaava 1. Seulauksen muutos kaava.

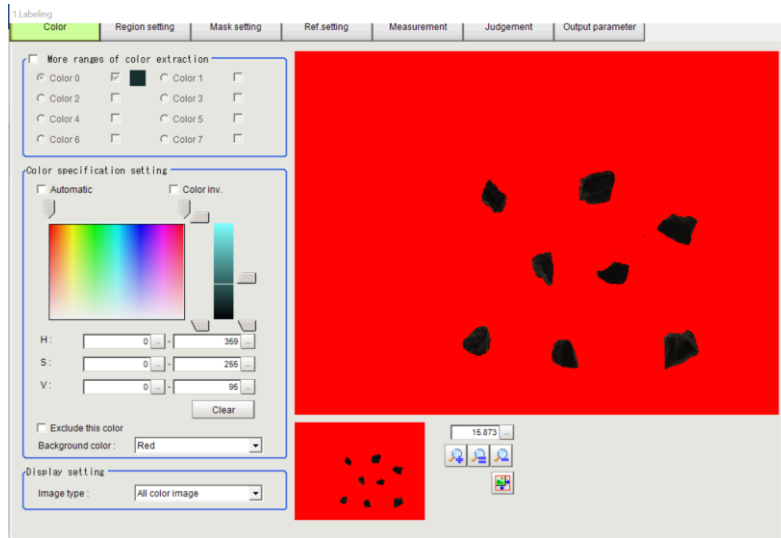
Tämän jälkeen kivet jaettiin niiden uuden minimihalkaisijan perusteella ryhmiin, kuten 15 mm, 16 mm ja niin edelleen, sekä kullekin ryhmälle määritettiin niiden yhteenlaskettu pinta-ala. Kun kivien kokonaispinta-ala tiedettiin, voitiin määrittää kunkin ryhmän alojen osuus massasta prosentteina ja muodostaa näiden perusteella rakeisuuskäyrä. Testaus aloitettiin 11–22 lajikkeella.

5.1 Ohjelman käyttö

Aluksi ohjelma kalibroitiin, jotta saadut mitat saataisiin millimetreinä. Kalibrointiin käytettiin kuvaa, jossa oli kuvattu 17,7 mm:n halkaisijan omaava, pyöreä kappale. Kyseisestä kappaleesta saatiin halkaisija pikseleinä. Kappaleen todellinen halkaisija jaettiin pikseliluvulla, jolloin tulokseksi saatiin kerroin, jolla pikselilukema saadaan muutettua millimetreiksi. Kalibrointi suoritettiin valitsemalla ohjelman päänäytöltä ”camera image input” ja ”calibration”. Calibration valikosta valittiin ”parameter” ja kohtaan ”magnification” syötettiin aiemmin saatu kerroin. Asetus tallennettiin, jonka jälkeen saadut mitat olivat millimetreinä.

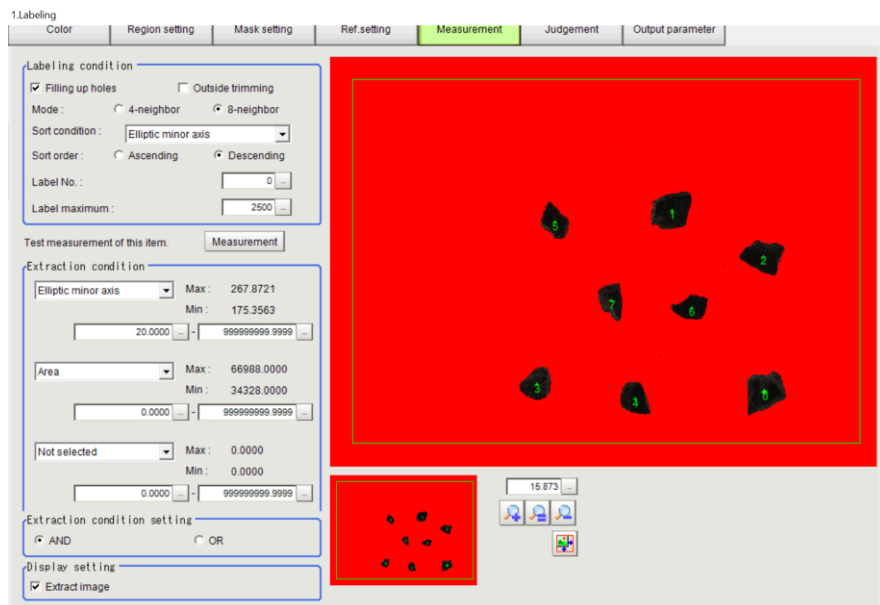
Kivirakeiden tunnistamiseen ja mittaamiseen käytettiin ohjelman labeling työkalua. Labeling työkalulla on kuvasta mahdollista tunnistaa 2500 kohdetta. Näistä ainoastaan kahdeksasta voidaan määrittää muita tietoja, kuten tässä tapauksessa minimihalkaisija sekä

pinta-ala. Tämän vuoksi yhtä rakeisuus käyrää varten otettiin kaksikymmentä kuvaa, joissa oli kahdeksan kiveä. Näin saatu käyrä muodostuu 160 kiven tiedoista. Mittaus tehtiin kolme kertaa kivilajiketta kohden.



Kuva 7. Labeling-työkalun color-välilehti.

Koska saadut kuvat olivat riittävän tarkat, riitti labeling-työkalun color-välilehden asetuksissa, pelkkä kirkauden säätäminen.



Kuva 8. Labeling-työkalun measurement-välilehti.

Measurement-välilehdellä määritellään, mitä tietoja kuvista halutaan saada. Minimihalkaisija saatiin "elliptic minor axis" ja pinta-ala "area" valinnoilla. Näiden lisäksi "Ref.settings"-välilehdellä määritettiin kuvasta alue, jossa mitattavat kappaleet sijaitsevat. Kyseinen alue näkyy measurement- välilehden kuvassa rajattuna alueena.

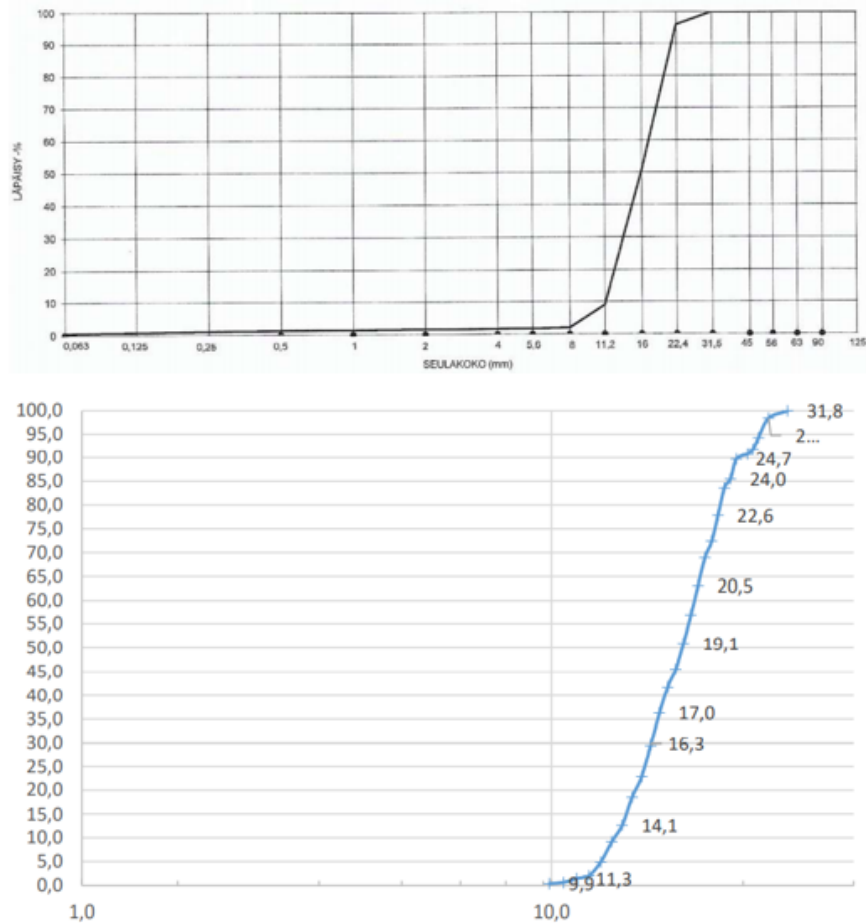
5.2 Tarkkuus

Omronin Petri Pitkälän mukaan konenäöllä mitattaessa kappaleita tulisi kameran resoluution ja mitattavien kohteiden koon suhteen huomioida, että hyvissä olosuhteissa, mitattavan kohteen tulisi tallentua vähintään kolmelle pikselille. Resoluution tarve, kuvattava alue ja mitattavien kohteiden minimikoko voidaan määrittää laskemalla.

$$\text{Vaadittu resoluutio} = \frac{\text{Kuvattava alue}}{\text{Mitattava kohde}}$$

Kaava 2. Tarvittavan resoluution määrittäminen (baslerweb.com).

Kolminkertaista tarkkuutta voi Pitkälän mukaan pitää nyrkkisääntönä vaaditulle tarkkuudelle. Mikäli kuvaolosuhteet ovat haastavia tai niissä tapahtuu muutosta, tarvitaan suurempaa tarkkuutta. Jos järjestelmän tarkkuus olisi kolminkertainen, voidaan laskea, että näillä järjestelyillä ja 12 MP:n kameralla voitaisiin mitata minimissään 0,3 mm:n kappaleita. Lisäksi koska käytössä olleella ohjelmalla voidaan ottaa tietoja vain kahdeksasta kohteesta kuvaa kohden, rajattiin mittaukset lajikkeisiin 8–16 ja 11–22.



Kuvio 3. NCC:n vertailukäyrä ja mitattu käyrä lajikkeelle 11–22.

Kuten kuvio 3 voidaan huomata, olisivat mittausten perusteella kivien koot suurempia kuin ne todellisuudessa ovat. Esimerkiksi lajikkeen 11–22 kohdalla, todellisuudessa 16 mm:n seulan läpäisisi noin 50 % massasta kun mittausten perusteella osuus olisi alle 30 %. Tämä ilmiö toistui kaikissa mittauksissa. Molempien lajikkeiden mittauksissa tulokset olivat hyvin lähellä toisiaan ja käyrien muodot vastasivat alkuperäistä käyrää.

5.3 Huomioita mittauksista

Koska käytetty suure 2-d kuvia käytettäessä on pinta-ala eikä massa, tulee käytetyillä testausjärjestelyillä haasteeksi, että kivet makaavat paperin päällä. Tällöin pienimassaiset, mutta litteät kivet saavat suuremman arvon. Mikäli kivet kuvattaisiin niiden pudotessa, kuten järjestelmän ideana on, tämä ongelma todennäköisesti pienenesi.



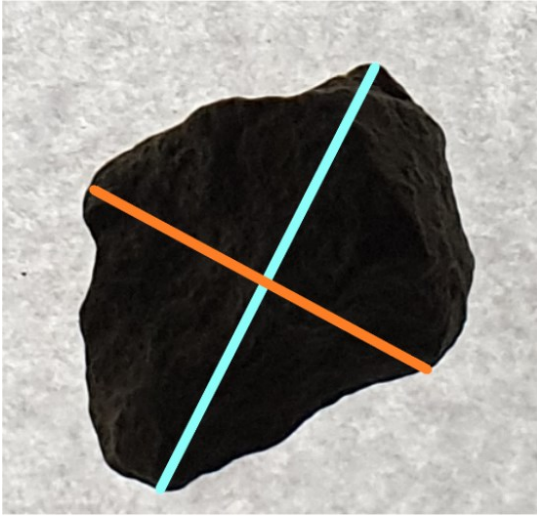
Kuva 9. Kaksi kiveä kuvattuna ylhäältä sekä sivulta.

Toinen ongelma ilmenee, kun kuvattavat kivet ovat kuvassa kosketuksissa toisiinsa. Esimerkiksi kuvasta 10 voidaan nähdä, että tunnistetut kivet 0 ja 7 muodostuvat todellisuudessa kahdesta kivistä.



Kuva 10. Tunnistetut kivet.

Johtuen kivien vaihtelevista muodoista, ei FZ Pandan työkalu "elliptic minor axis" anna oikeaa kuvaa siitä, minkä kokoisen seulaverkon mitattava kivi läpäisisi. Kyseinen mitta määrittyy, kun kappaleen maksimihalkaisijan linjan puolivälistä mitataan kohtisuoraan halkaisija.

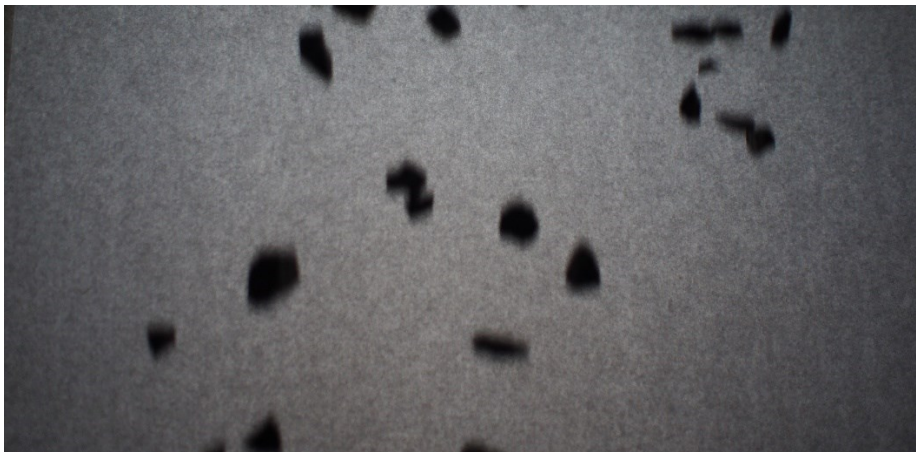


Kuva 11. Elliptic minor axis kuvattu oranssilla viivalla.

6 YHTEENVETO

Koska 3d-järjestelmien tarkkuus ei vielä nykyään ole riittävä, vaihtoehdoksi jää 2d-järjestelmien käyttö. Tästä seuraa se, että massan sijaan, mitattavana suurena voidaan käyttää kuvattujen kivien pinta-alaa. Lisäksi huomioitavaa on, että järjestelmä vaatisi kokonaan oman erillisen laitteiston asemalle. Laitteiston tulisi kyetä ottamaan kivilajitteita prosessista ja pudottaa ne taustavalon editse kuvattaviksi, määrittää kuvattujen kivien rakeisuuskäyrä ja mahdollisesti verrata sitä reseptin rajakäyrään.

Järjestelmässä, jossa kivilajikkeet pudotettaisiin kameran editse, tulisi kivet saada putoamaan niin harvaltaan, ettei useiden kivien siluetit muodostaisi yhtä siluettia.



Kuva 12. Putoavia kiviä 1.



Kuva 13. Putoavia kiviä 2.

Kuvissa 12 ja 13 on kuvattu 8 –16 raekoon kiviä, kun ne putoavat. Kiviainesta pudotettiin 30 cm leveältä alustalta, nopeudella joka vastaa karkeasti 500 kg/h. Kuvat on otettu 16 megapikselin, Olympus OM-D EM5 kameralla.

Kiviaines, jossa oli nollaa mukana, kuvaaminen ei näillä järjestelyillä onnistunut. Pienimpien kivijakeiden pudottaminen tasaisesti ja riittävän harvasti kameran editse ei onnistunut. Lisäksi pienimpiä kiviä kuvattaessa, ongelmaksi muodostui kivistä nouseva pöly, joka häiritsi kuvaamista. Pöly myös lisäisi järjestelmän huollon ja puhdistuksen tarvetta.

Mikäli järjestelmä sijoitettaisiin ennen kuivausrumpua, aiheuttaisi kivien kosteus, ainakin pienimmissä jakeissa suurella todennäköisyydellä ongelmia.

Kokeiden aikana kävi selväksi, että käytössä ollut ohjelmisto ei olisi soveltuva kyseiseen järjestelmään. Ohjelmiston vaatimuksena olisi kyky käsitellä useiden kohteiden tietoja kerralla. Lisäksi työkalu, jolla määritettiin kivien minimihalkaisija, tulisi käytettävässä ohjelmassa olla tarkoitukseen soveltuvampi kuin FZ Pandan elliptic minor axis.

Henkilöt, joiden kanssa keskustelin aiheesta, olivat yhtä mieltä siitä, että putoavien kivien kuvaaminen ei tuottaisi ongelmia. Kuvassa liike pysäytettäisiin tahdistetun salaman avulla. Tätä asiaa ei kuitenkaan nyt päästy kunnolla testaamaan ja siten varmistua asiasta.

Vaikka kaikki edellä mainitut haasteet saataisiin ratkaistua, asettuu vaatimus kameran resoluutiolle mahdollisesti liian suureksi. Mikäli järjestelmässä käytettäisiin 20,4 MP:n matriisikameraa, jonka kennokoko on 5544 x 3692 ja tavoitteena olisi tunnistaa pienimmillään 0,063 mm:n hiukkaset, olisi kuvattava alue silloin 116 mm x 78 mm. Viivakameralla, jonka resoluutio olisi 8000 pikseliä, kuvaus leveys olisi noin 17 cm. Verratuna prosessissa olevien kivien määrään, olisi kuvattavien kivien määrä, siihen verrattuna erittäin pieni.

Vaikka rakeisuuden mittaaminen konenäön avulla ei tuottanutkaan hyviä tuloksia, voi konenäköä mahdollisesti hyödyntää muissa asfalttiaseman osissa. Konenäön avulla voitaisiin esimerkiksi tunnistaa hihnoilta putoavaa kivimateriaalia ja näin havaita mahdolliset prosessissa olevat tukokset. Asfalttiaseman olosuhteet konenäön hyödyntämiselle ovat kuitenkin sovelluksesta riippumatta haastavat.

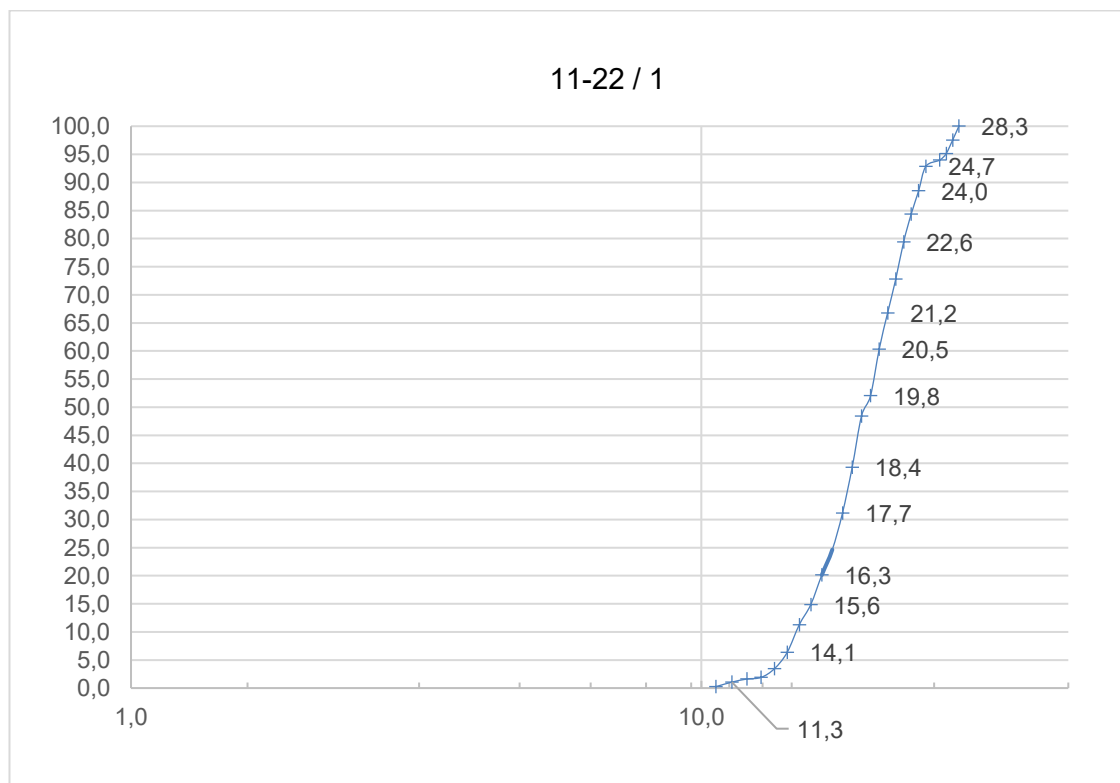
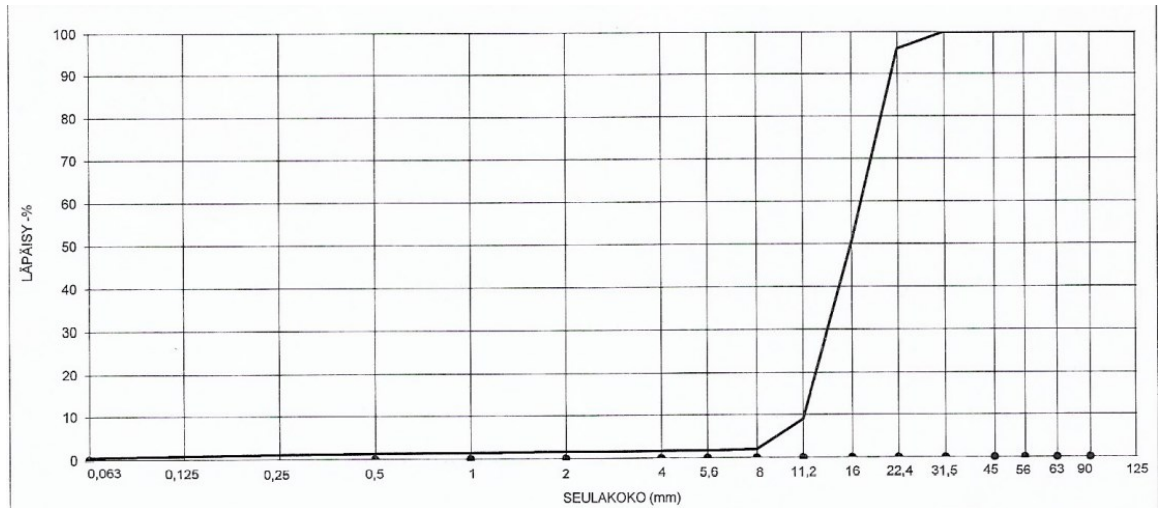
LÄHTEET

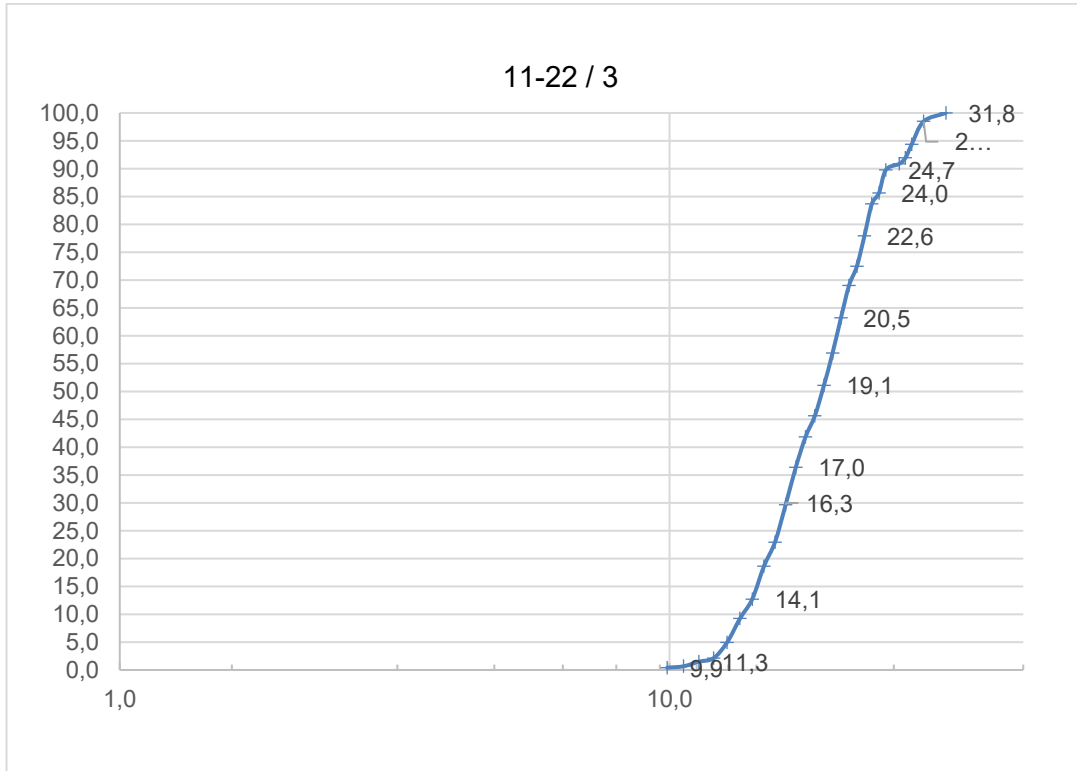
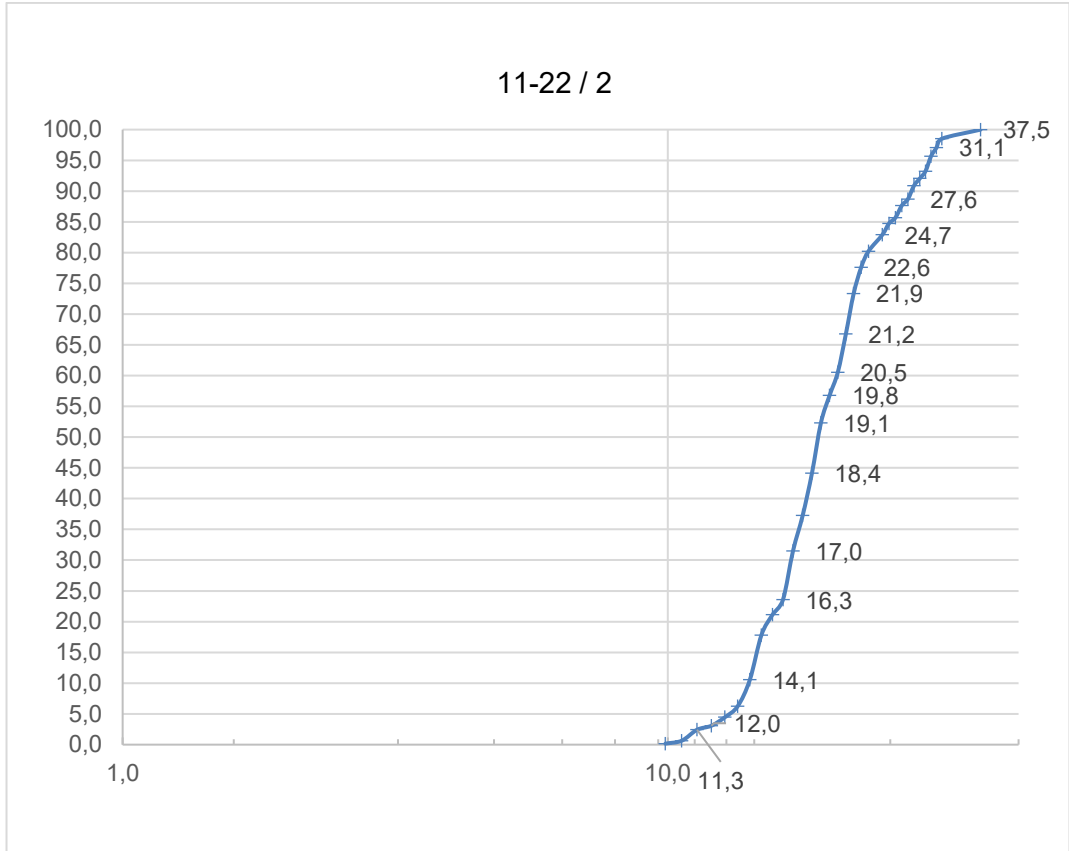
- Amomatic Oy:n www-sivut 2021. Viitattu 2.3.2021. <https://www.amomatic.com/fi/asfalttiasemat/>
- Basler AG:n www-sivut 2021. Viitattu 6.3.2021. <https://www.baslerweb.com/en/vision-campus/vision-systems-and-components/camera-selection>
- Basler AG:n www-sivut 2021. Viitattu 2.3.2021. <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/3d-cameras/time-of-flight-camera/tof-faq/>
- Halinen, M. 2007. Konenäkö robotin ohjauksessa. Aalto-yliopisto. Viitattu 17.11.2020 http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teoria.pdf
- Pastell J. 2018. Konenäkö-harjoitustyön suunnittelu. Kandidaatintyö. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/discover?query=Konenäkö-harjoitustyön+suunnittelu>
- Päällystealan neuvottelukunta. PANK ry. Asfalttinormit 2017. Luonnos 17.3.2017.
- Konenäön soveltaminen teollisuudessa. Pinja
- Lemminkäinen. Asfalttirakenteiden suunnittelun käsikirja. Edellyttää rekisteröitymisen
- Länsitalo J. 2016. Asfalttiaseman operaattoriksi. Amomatic Oy
- SAMK www-sivut 2021. Viitattu 14.1.2021. <https://automaatio.samk.fi/testi-sivu/3d-kuvaus/>
- SAMK www-sivut 2021. Viitattu 17.1.2021. <https://automaatio.samk.fi/testi-sivu/perinteiset-konenakojarjestelmat>
- Suomi K. 2009. Asfaltin valmistusprosessi annosperiaatteella. Amomatic Oy
- Suvitie J. 2019. Konenäköjärjestelmän soveltaminen kattahuopatuotannon laadunvalvontaan. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Valkeakoski. <https://www.theseus.fi/handle/10024/170417>
- Tulonen J. Syksy 2020. Optima. Konenäkö- ja sensoritekniikka. Konenäköjärjestelmät-luentokalvot. Turun ammattikorkeakoulu

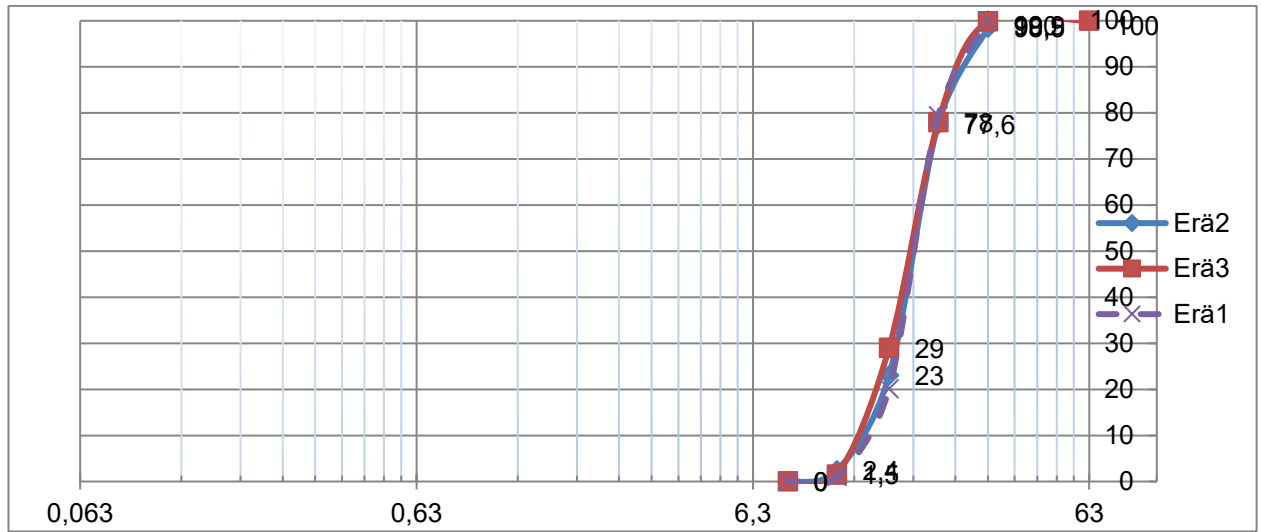
Rakeisuuskäyrät

11-22

NCC







8-16

NCC

