

Juha-Matti Kokkonen

ASFALTTIKIVIAINEKSIEN LAATUVAATIMUKSET

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kesäkuu 2022

TIIVISTELMÄ

Juha-Matti Kokkonen: Asfalttikiviaineksien laatuvaatimukset (Quality requirements of asphalt aggregates)

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikka

Kandidaatintyö

Toukokuu 2022

Suomessa kiviaineksia tuotetaan noin 100 miljoonaa tonnia vuodessa, mistä määrästä noin 10% käytetään asfaltin kiviaineksena. Asfalttikiviaineksien laadulla on merkittävä vaikutus asfalttipäällysteiden kestävyysasteeseen. Laatuvaatimukseen on kiinnitettävä huomiota, koska Suomessa on muun muassa vaihteleva kallioperä ja kova nastarengaskulutus. Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää Suomen asfalttikiviaineksien laatuvaatimukset. Työn tavoitteena on myös perehtyä kiviaineksien ominaisuuksiin, suomalaiseen kiviainestuotantoon ja laadunvalvontatuloksiin.

Asfalttikiviaineksien tärkeimpiä ominaisuuksia ovat lujuus, rakeisuus, muoto-ominaisuudet sekä kiviaineksen ja bitumin välinen tartuttavuus. Kiviaineksien lujuuteen vaikuttaa mineraalikoostumus. Mineraalien pienempi raekoko parantaa kiviaineksien lujuutta. Tartuttavuutta heikentävät tietyt mineraalit, kuten kiilteet, kvartsit ja biotiitit. Kiviaineksien ominaisuudet tulee tietää, jotta asfalttikiviaineksien laatuvaatimuksia ymmärrettäisiin paremmin esimerkiksi kiviainestuotannon laadunvalvonnassa. Kun taas geometrisiin ominaisuuksiin, kuten rakeisuuteen ja rakeiden muotoon, vaikutetaan tuotantoprosessissa.

Laadunvalvonta on merkityksellistä, koska kiviaineksien laatu vaihtelee runsaasti ympäri maata. Kiviaineksien laatua valvotaan tuotannon aikana aistinvaraisesti murskaajien toimesta. Laadunvalvontaa tehdään laadunvalvontajärjestelmän mukaan ja tuotteiden laatu todennetaan testaamalla lopputuotteita laboratoriossa SFS-standardien mukaisilla testausmenetelmillä. Kiviaineksen valmistajan vastuulla on osoittaa kiviaineksen laatu tuotannonaikaisilla testeillä, suoritustasoilmoituksella ja CE-merkinnällä.

Asfalttikiviaineksien laatuvaatimukset jakautuvat geometrisiin, mekaanisiin, fysikaalisiin, kemiallisiin ja fillerikiviaineksien laatuvaatimuksiin. Laatuvaatimukset pohjautuvat eurooppalaiseen tuotestandardiin SFS-EN 13043 ja kansalliseen soveltamisstandardiin SFS 7004. Suomessa laatuvaatimukset on koottu Asfalttinormit 2017 -kirjaan. Geometriset vaatimukset koostuvat kiviaineksien rakeisuuksista, muoto-ominaisuuksista ja hienoainespitoisuuksista. Kiviaineksen rakeisuus esitetään rakeisuuskäyränä, jonka tulee noudattaa standardien mukaista rakeisuuskäyrää. Muoto-ominaisuus ilmoitetaan litteyslukuluokkana. Asfalttikiviaineksissa suositaan pyöreitä kiviä, koska ne eivät murru niin helposti kuin litteät kivet. Mekaaniset ja fysikaaliset vaatimukset koostuvat nastarengaskulutuskestävyydestä, vedenimeytymisestä ja jäädytys-sulamiskestäväyydestä. Nastarengaskulutuskestävyys ilmoitetaan kuulamylytuloksena. Kemiallisissa vaatimuksissa tarkastellaan kiviaineksen mineraalikoostumusta. Mineraalikoostumus ja asfalttikiviaineksen soveltuvuus asfalttiin selvitetään petrografisen analyysin perusteella.

Laadunvalvontatuloksissa analysoitiin asfalttikiviaineksien laatua ja mittaustuloksien poikkeamien syitä. Mittaustulokset olivat peräisin Väyläviraston tekemästä selvityksestä, jossa näytteet oli otettu pistokoemaisella näytteenottotavalla. Tuloksissa tarkasteltiin erityisesti kuulamylyarvoja ja litteyslukuja. Tutkimustuloksissa havaittujen poikkeamien syyksi osoittautui muun muassa kiviainesesiintymän heterogeisuus ja tuotannon eri ajankohtina otetut testinäytteet. Kun vertailtiin eri laboratorioiden välisiä eroja, havaittiin testien uusittavuuden olevan hyvällä tasolla.

Avainsanat: Asfalttikiviaineksien laatuvaatimukset, kiviainestuotanto, kiviainekset, kiviainestuotannon laadunvalvonta

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. SUOMEN KIVIAINEKSET JA KALLIOPERÄ.....	2
2.1 Kivilajien geologiset syntytavat.....	2
2.2 Suomen kallioperä	4
3. KIVIAINESTUOTANTO	6
3.1 Tuotantoprosessi	6
3.2 Laadunvalvonta.....	9
4. ASFALTTI	11
4.1 Historia.....	11
4.2 Asfalttipäällysteet	11
4.3 Laatu.....	12
5. ASFALTTIKIVIAINEKSIEN LAATUVAATIMUKSET	14
5.1 Geometriset laatuvaatimukset.....	14
5.2 Mekaaniset ja fysikaaliset laatuvaatimukset	18
5.3 Kemialliset laatuvaatimukset	19
5.4 Fillerikiviaineksen laatuvaatimukset	20
6. LAADUNVALVONTATULOKSIEN ARVIOINTIA	22
6.1 Mittaustulokset	22
6.2 Tutkimustuloksien vaikutus laatuvaatimukseen	27
7. YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET	31

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

AB	Asfalttibetoni
SMA	Kivimastiksiasi-asfaltti
VA	Valuasfaltti
AA	Avoin asfaltti
PAB-B	Pehmeä asfalttibetoni, jossa sideaine on pehmeää tiebitumia
PAB-V	Pehmeä asfalttibetoni, jossa sideaine on viskositeettiluokiteltua bitumia
ABS	Sidekerroksen asfalttibetoni
ABT	Tiivis asfalttibetoni
ABK	Kantavan kerroksen asfalttibetoni

1. JOHDANTO

Kiviaineksen laatu on merkittävä tekijä asfalttipäällysteiden kestävyyskannalta, koska 95 % asfaltista on kiviainesta. Kiviaineksen laatu vaikuttaa erityisesti asfalttipäällysteiden nastarengaskulumiskestävyyskannalta. Kiviaineksen laatua valvotaan sen tuotantoprosessin aikana ja kiviaineksen tuottaja on velvollinen CE-merkitsemään kiviaineksen. Asfalttikiviainesta tuotetaan vuosittain muutamia miljoonia tonneja, joten sen laatu on merkittävä tekijä infrarakentamisen näkökulmasta. Tulevaisuudessa esimerkiksi ilmastonmuutokseen liittyvät tekijät voivat lisätä tarvetta kiviaineksen laadun nykyistä tarkempaan tutkimukseen.

Kandidaatintyön aiheena on asfalttikiviaineksen laatuvaatimukset. Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena. Tutkimusaineistoja ovat esimerkiksi Asfalttinormit 2017 -kirja ja SFS-online verkkosivusto.

Kandidaatintyössä keskitytään asfalttikiviaineksen laatuvaatimuksiin kiviainestuotannossa ja siihen, millaisia kiviaineksia tuotetaan. Kiviainestuotantoa tarkastellaan perehtymällä tuotantoprosessiin, laadunvalvontamenetelmiin ja testaukseen kirjallisuuden avulla. Kiviainestuotantoprosessi koostuu kolmesta pääkokonaisuudesta; louhinnasta, murskauksesta ja seulonnasta. Laadunvalvontaan kuuluu tuotannonaikainen testaaminen SFS-EN-standardien mukaisesti. Testausmenetelmiä ovat esimerkiksi rakeisuusmääritys, litteysluku ja kuulamylyttesti. CE-merkinnät tehdään testitulosten perusteella ja CE-merkintä edellyttää, että tuotannon laadunvalvonnassa ja testauksessa on noudatettu SFS-EN-standardeja.

Kandidaatintyössä käsitellään kiviaineksen geologisia ominaisuuksia ja asfalttia. Asfaltista perehdytään asfaltin historiaan, koostumukseen, laatuun ja asfalttipäällysteisiin. Perehtymällä asfalttimassan laatuvaatimuksiin saadaan hyvä käsitys asfalttikiviaineksen merkityksestä päällysrakenteissa.

Kandidaatintyössä selvitetään asfalttikiviaineksen laatuvaatimukset. Kiviaineksen laatuvaatimukset koostuvat geometrisistä, mekaanisista, fysikaalisista ja kemiallisista laatuvaatimuksista sekä fillerikiviaineksen laatuvaatimuksista (PANK ry 2017, s.76-85). Tutkimus sisältää esimerkkejä laadunvalvontatuloksista. Tuloksissa keskitytään siihen, kuinka laatu on osoitettu asfalttikiviaineksissa.

2. SUOMEN KIVIAINEKSET JA KALLIOPERÄ

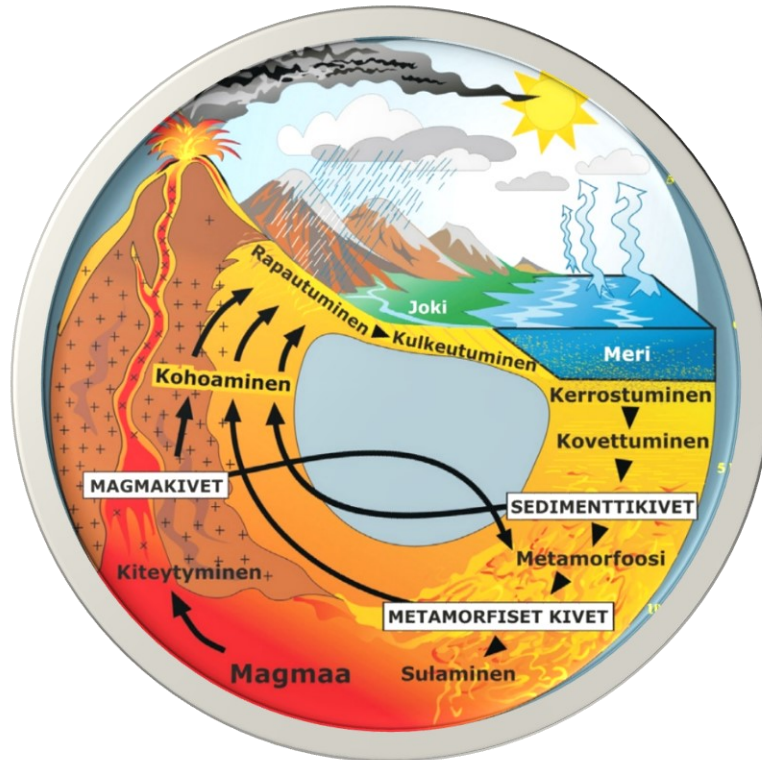
2.1 Kivilajien geologiset syntytavat

Kivilajien rakennusteknisiä ominaisuuksia ymmärretään paremmin, kun tarkastellaan kivilajien pääryhmiä ja niiden syntyä. Kivilajit voidaan luokitella kolmeen pääryhmään niiden syntyntavan perusteella; magmakiviin, sedimenttikiviin ja metamorfisiin kiviin (Kaiva.fi 2013a).

Magmakivet ovat syntyneet sulasta kivistä eli magmasta. Magmakivilajit lajitellaan kahteen ryhmään: syväkiviin ja pintakiviin. Syväkivissä magma on kiteytynyt syvällä maankuoressa muodostaen kivilajeja. Graniitti on yksi yleisimmistä syväkivilajeista. Sen lujuutta selittää se, että kivilaji on syntynyt sulasta kiviaineksesta ja se on syntynyt syvällä maankuoressa. Pintakivet ovat nimensä mukaisesti syntyneet maan tai veden pinnalle sulan kiviaineksen purkautuessa ulos maankuoressa. Magman jähmettyessä syntyy hienorakeisia ja rakenteeltaan sileitä kivilajeja. Basaltti on esimerkiksi hyvin yleinen pintakivilaji. Pintakivet tunnetaan myös nimellä vulkaniitit. (Suomen Kansallinen Geologian Komitea 2019d)

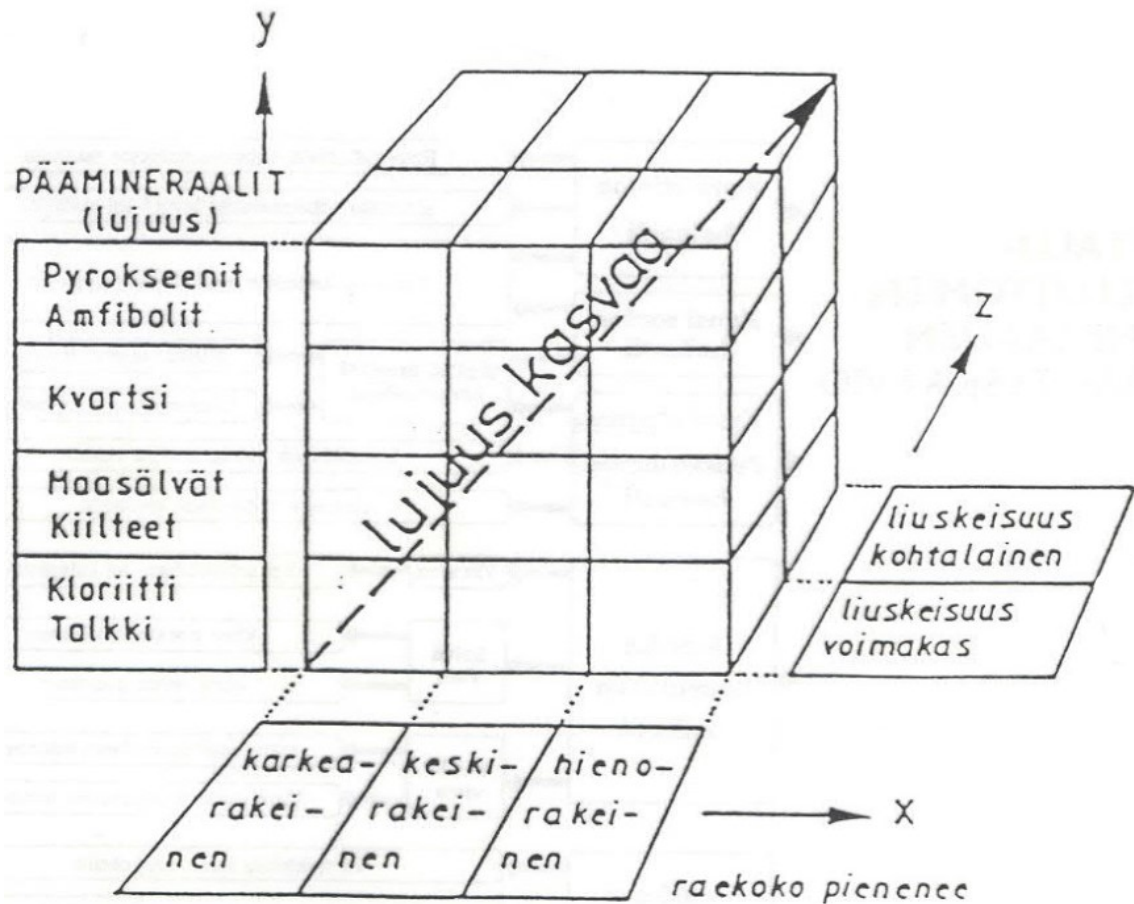
Sedimenttikivet ovat kerroksellisia kivilajeja. Sedimenttikivet ovat syntyneet, kun kerrostumalla muodostuneet maalajit ovat kovettuneet iskostumalla. Sedimenttikivilajeja syntyy myös, kun vedestä saostuu aineksia kiinteiksi kiviksi (Suomen Kansallinen Geologian Komitea 2018a). Sedimenttikivet ovat yleensä pehmeitä, helposti muokattavia ja lujuudeltaan muita kivilajeja heikompia. Sedimenttikiviä ovat esimerkiksi hiekkakivet, savikivet ja kivihiilet.

Metamorfiset kivet syntyvät metamorfoosissa. Geologia.fi -verkkosivustoilla metamorfoosi määritellään näin: "Metamorfoosi on kiinteässä tilassa tapahtuva prosessi, jossa kiven mineraalit, koostumus ja/tai mikrorakenne muuttuvat" (Suomen Kansallinen Geologian Komitea 2018b). Metamorfiset kivet syntyvät siis kovassa lämpötilassa ja paineessa. Metamorfisia kiviä ovat esimerkiksi gneissi ja amfiboliitit. Suomen kallioperän kivilajeista noin 40 % on metamorfisia kivilajeja (Paakkola 1997, s.7). Kuvassa 1 esitellään edellä mainittujen kivilajien geologiset syntytavat.



Kuva 1. Kivilajien syntytavat (muokattu lähteestä Tervo 2019).

Kivilajien synty tapa vaikuttaa kivilajien ominaisuuksiin, kuten lujuuteen ja tiheyteen. Synty tapa vaikuttaa myös kallioperän rakoiluun ja vedenläpäisevyyteen sekä kallion rakennettavuuteen liittyviin ominaisuuksiin kuten louhittavuuteen. Kivilajien lujuuteen vaikuttavat voimakkaasti myös kivilajien mineraalikoostumus, raekoko ja suuntautuneisuus. Kivilajien parempi lujuus on selitettävissä muun muassa mineraalien raekoon avulla. Niissä kivissä, joissa mineraalien raekoko on pieni, on parempi lujuus. Sen sijaan, jos kiven mineraaliraekoko on suuri, lujuus on huonompi. Tämä johtuu siitä, että pienempirakeisemmat mineraalit asettuvat tiukemmin yhteen kuin suurempirakeisemmat mineraalit. Kivilajien lujuutta heikentää myös kivilajien suuntautuneisuus. Kivilajit eivät saa olla myöskään rapautuneita tai rapautumisherkkiä. (Paakkola 1997, s 6) Kuvassa 2 esitetään kiven lujuuteen vaikuttavat tekijät.



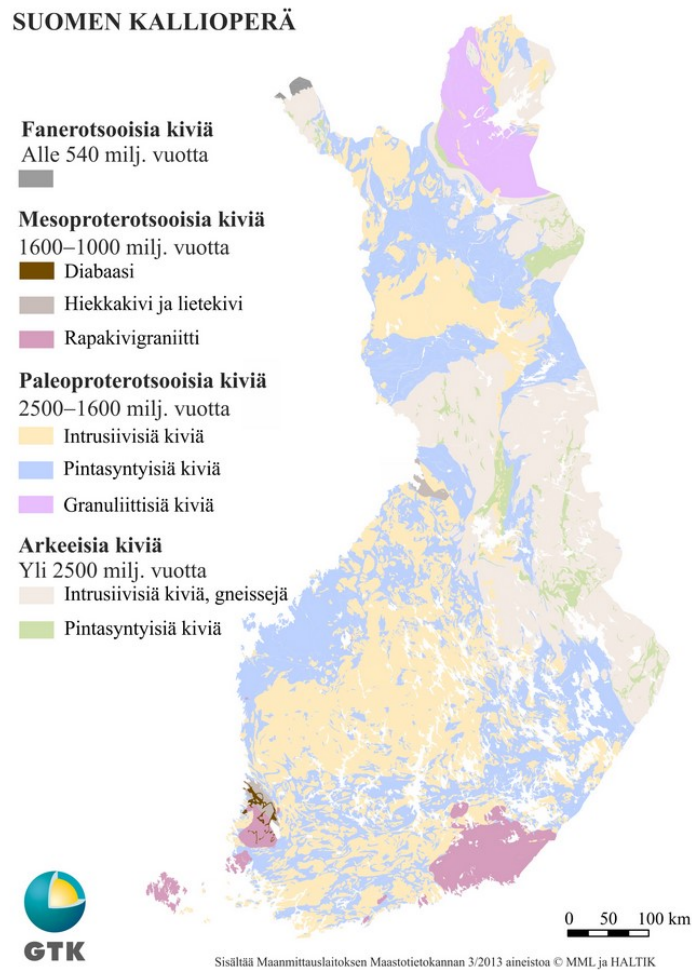
Kuva 2. Kiven lujuuteen vaikuttavat tekijät (Ruuskanen 2006, s. 236).

Hyviä murskekiviä ja asfalttikiviaineksia tien rakentamiseen ovat siis pienirakeiset, niukasti kvartssia sisältävät amfiboliitit ja vulkaniitit. Käyttökelpoisia kiviä ovat myös pienirakeiset gabrot, diabaasit ja gneissit. Huonoja ovat sen sijaan karkearakeiset graniitit, pegmatiitit, pehmeät liuskeet ja karbonaattipitoiset kivet (Paakkola 1997, s 6). Asfalttikiviaineksina toimivat parhaiten ne kivet, jotka tarttuvat hyvin bitumiin. Tietyt mineraalit, kuten kvartsi, biotiitti, kalimaasälpä ja kiilteet, heikentävät tartuttavuutta (ASKO 2017, s.14). Esimerkiksi runsaasti pehmeitä mineraaleja ja sulfidimineraaleja sisältävät kivet eivät sovellu asfaltin kiviaineksiksi (PANK ry 2017, s.84).

2.2 Suomen kallioperä

Suomen kallioperä kuuluu Fennoskandian kilpialueeseen ja on yksi maailman vanhimmista kallioperistä. Suomen kallioperän pinta-alasta yli puolet on syväkivilajeja. Metamorfisia kivilajeja on 40 %, ja pieni osa on sedimenttikivilajeja. Yli puolet Suomen kallioperän kivilajeista on graniittisia kivilajeja. Myös migmatiitteja eli metamorfisia seoskiviä esiintyy paljon Suomen kallioperässä. Rakentamiseen käytetään siis

suurimmaksi osaksi syväkivilajeja ja metamorfisia kivilajeja. (Suomen Kansallinen Geologian Komitea 2019c) Kuvassa 3 esitetään Suomen kallioperä.



Kuva 3. Suomen kallioperä (GTK 2013).

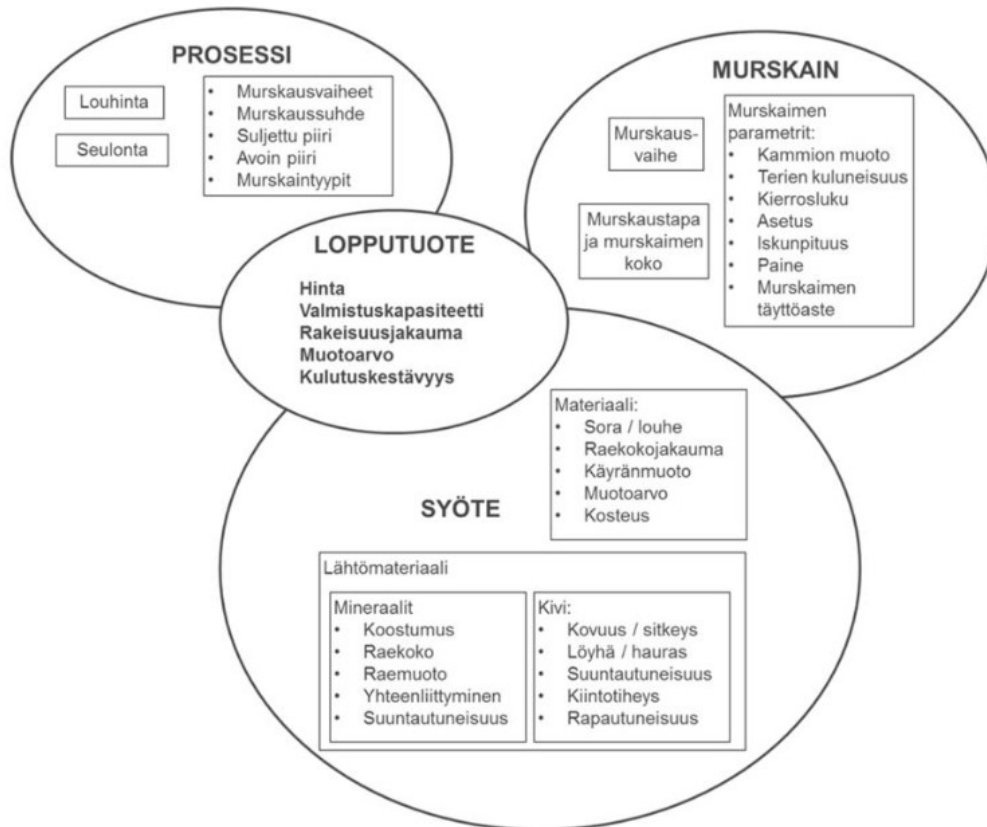
Suomen kallioperästä louhitaan runsaasti kalliomursketta, malmeja, teollisuusmineraaleja ja teollisuuskiviä. Suomessa on satoja kalliomurskeen ottopaikkoja. Asfalttikiviaineksena toimii halutun lajitteen seulottu kalliomurske. Kalliomursketta käytetään laajalti talorakentamisen perustuksissa ja infrarakentamisen projekteissa. Kalliomurskeen louhintaa rajoittaa maa-ainesten ottolaki. (Suomen Kansallinen Geologian Komitea 2019c) Kuvassa 3 on Suomen kallioperä.

3. KIVIAINESTUOTANTO

3.1 Tuotantoprosessi

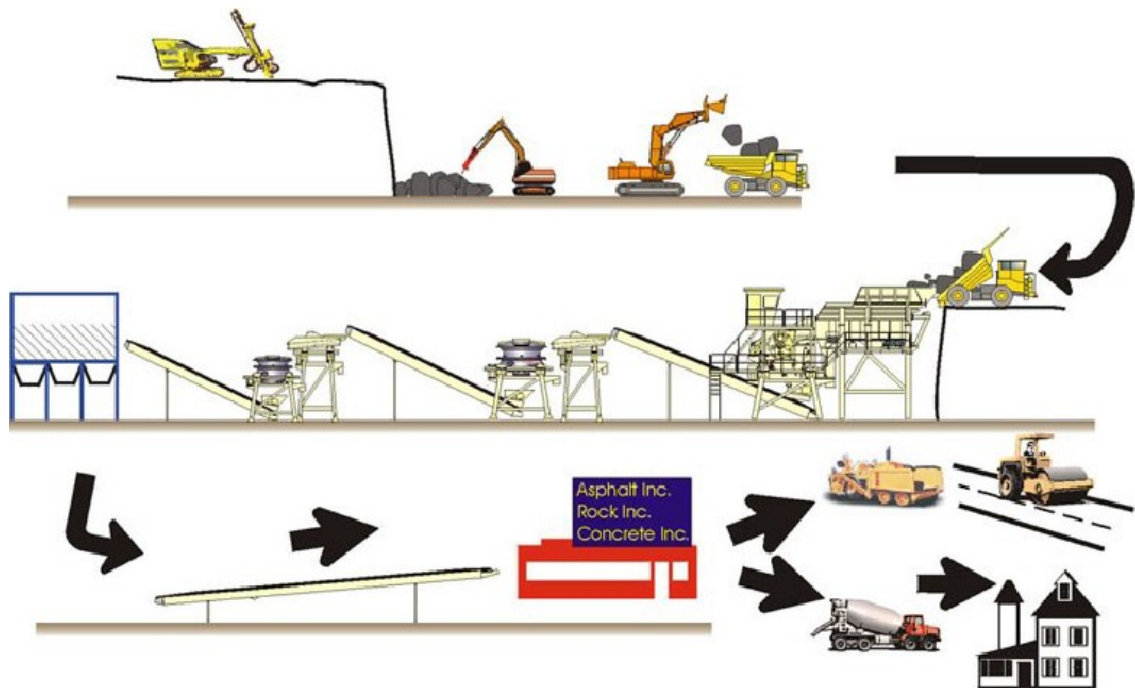
Kiviainekset ovat käytetyin rakennusmateriaalin raaka-aine maailmassa. Kiviaineksia käytetään infra- ja talorakentamisessa erittäin paljon. Kiviaineksia, kuten soraa, hiekkaa, kalliomursketta ja sepeliä, kuluu talojen, teiden ja ratojen rakentamiseen sekä kunnossapitoon. Kiviaineksia käytetään Suomessa keskimäärin 100 miljoonaa tonnia vuodessa. Suomi on asukaslukuunsa nähden Euroopan suurimpia kiviaineksien tuottajia. Kiviaineksien suurta käyttöä selittää esimerkiksi se, että Suomessa etäisyydet ovat pitkiä ja maa routii. (Infra ry 2021)

Kalliomurskeen osuus käytetystä kiviaineksesta on kasvanut koko ajan. Vuonna 2013 kalliomurskeen osuus rakentamisessa on ollut jopa 60 %. Muita käytettyjä kiviaineksia rakentamisessa ovat esimerkiksi sorat ja hiekat. Asfalttiin käytettävän kiviaineksen osuus kokonaiskiviainestuotannosta on ollut noin 10 % (Lonka et al. 2015). Kiviainestuotantoprosessin tarkoituksena on saada tuotettua rakeisuudeltaan haluttua kiviainestuotetta. Kuvassa 4 on kuvattu kiviainestuotannon osa-alueet ja eri tekijöiden vaikutus kiviainestuotteen ominaisuuksiin.



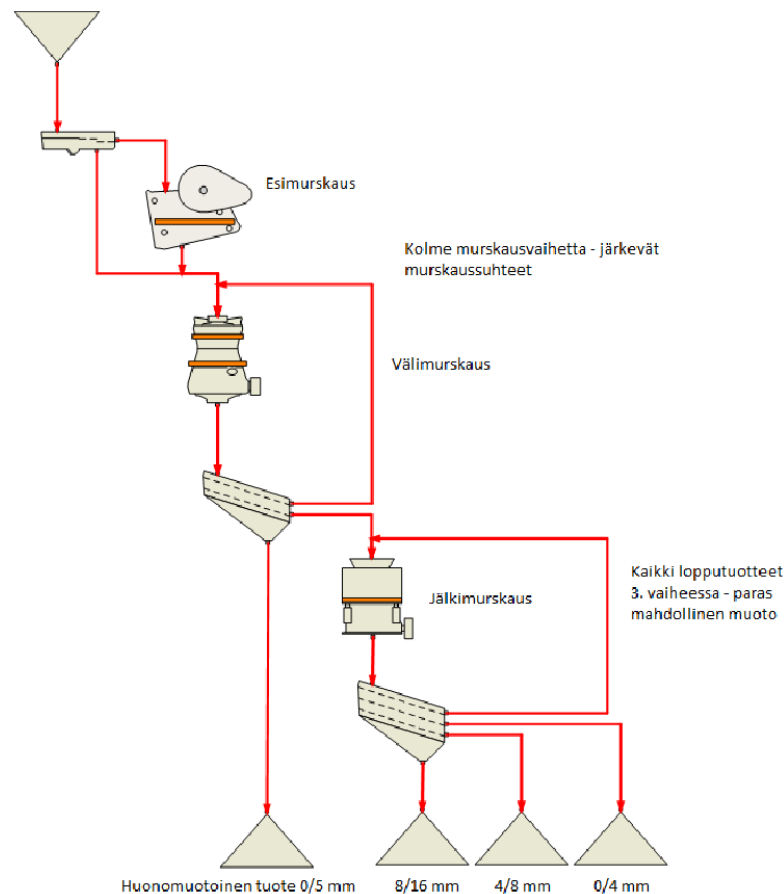
Kuva 4. Kiviainestuotteen ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät (Ruuskanen 1999).

Kiviaineksen kolmivaiheinen tuotantoprosessi koostuu louhinnasta, murskauksesta ja seulonnasta. Tuotantoprosessi aloitetaan louhinnasta, jonka vaihteita ovat kallion poraus, räjäytys, lohcareiden riktos, kuljetus murskauslaitokselle, murskaus ja varastointi (Hietala 2019, s.13). Kallion räjäytyksissä pyritään huomioimaan, ettei räjäytys aiheuttaisi liikaa mikrohalkeamia kiviainekseen. Mikrohalkeamat heikentävät kiviainesten laatua. Räjäytyksessä ei tulisi käyttää liian voimakasta panostusta tai nopeita räjäytysaineita (Peltonen 1986, s.22). Kuvassa 5 on esitetty louhinta- ja kuljetusvaihe.



Kuva 5. Kiviainestuotannon periaatekaavio (Suomen Betoniyhdistys ry 2018a).

Murskaus jaetaan kolmeen kokonaisuuteen: esimurskaukseen, välimurskaukseen ja jälkimurskaukseen. Esimurskauksessa pienennetään kiviaineksen raekokoa. Pienemmän raekoon avulla kiviainesta voidaan kuljettaa kuljetushihnalla ja murskata pienemmällä murskaimella. Välimurskauksessa määritetään kiviaineksen käyttötarkoitus, sillä siinä vaiheessa muodostetaan kiviaineksen rakeisuus. Välimurskauksessa voidaan valmistaa jo rakentamiseen tarvittavaa kiviainesta murskaamalla kiviainesta useampaan kertaan. Kiviaines etenee jälkimurskaukseen, jos halutaan pienirakeisempaa kiviainesta. Jälkimurskauksessa voidaan myös parantaa lopputuotteen laatua kuboimalla kiviainesta paremman muotoiseksi (Hietala 2019, s.13). Niko Hietalan diplomityössä kuboointi on määritelty näin: ”Kuboointi tarkoittaa murskausprosessin vaihetta, jossa keskitytään etenkin kiviaineksen muotoiluun raekoon pienentämisen sijasta” (Hietala 2019 s.13). Kuvassa 6 esitetään murskauksen ja seulonnan vaiheet.



Kuva 6. Kolmivaiheisen murskauksen prosessi (Suomen Betoniyhdistys ry 2018b).

Kiviaines seulotaan väli- ja jälkimurskauksen yhteydessä. Kiviainesta kerätään seuloihin sitä mukaa, kun tiettyä raekokoa vastaavaa kiviainesta syntyy murskauksessa. Asfalttikiviainekset valmistetaan usein kuvan 5 mukaisella prosessilla (Hietala 2019, s.13).

3.2 Laadunvalvonta

Kiviaineksien laatua valvotaan tuotannon aikana aistinvaraisesti murskaajien toimesta. Laadunvalvontaa tehdään laadunvalvontajärjestelmän mukaan, ja tuotteiden laatu todennetaan testaamalla lopputuotteita laboratoriossa SFS-EN-standardien mukaisilla testausmenetelmillä. Euroopan Unioni on säätänyt rakennustuoteasetuksen, jonka mukaan kaikki rakennustuotteet, joilla on harmonisoitu tuotestandardi, on CE-merkittävä (SFS-EN 13043). Tämä tarkoittaa, että kiviainekset on CE-merkittävä, jotta kiviainekset voidaan tuoda markkinoille. (Infra ry 2017)

Kiviaineksen ominaisuudet luokitellaan CE-merkintää varten ja niiden tulee täyttää laatuvaatimukset, jotta ne soveltuisivat rakentamiseen. Tuotannon aikana kiviaineksia testataan kiviaineslaboratoriossa, joka voi myös sijaita tuotantopaikalla.

Onnistuneet tutkimukset vaativat edustavaa näytteenottoa, jotta tutkimukset antavat oikean kuvan tuotteen ominaisuuksista. Näytteenottoa voidaan suorittaa sekä tuotannon aikana että varastokasoista.

Kiviaineksen rakeisuus määritetään standardin mukaan seulontamenetelmänä. Määrittäminen tehdään tuotannonaikaisen laadunvalvonnan SFS-EN 933-1 -standardin mukaan. Hienoaineksen määrä määritetään pesuseulontana SFS-EN 933-1 -standardin mukaisesti. (PANK ry 2017, s.81)

Iskun- ja kulutuskestävyyttä testataan Los Angeles -testin ja kuulamylytestin avulla. Sitomattoman kiviaineksen luokittelussa käytetään Los Angeles -testiä, jossa määritetään kiviaineksien iskunkestävyyttä pyörittämällä teräskuulia teräsrummussa. Testi suoritetaan standardin SFS-EN 1097-2 mukaan. Testin tuloksena saadaan määritettyä kiviainekselle Los Angeles -luku. Se kertoo prosentuaalisesti, kuinka paljon kiviainesta on hienontunut alkuperäisestä kiviaineksesta. Asfalttikiviaineksien testaamisessa ei käytetä Los Angeles -testiä vaan sen nastarengaskulutusta testataan kuulamylytestillä. Testissä kiviaineksia pyöritetään myllyssä teräskuulien ja veden kanssa. Kiviaineksien kuulamylyarvo määritetään standardin SFS-EN 1097-9 mukaan. (PANK ry 2017, s.82)

Kiviaineksen raemuodon määrittäminen suoritetaan litteyslunun ja muotoarvon avulla. Kiviaineksen litteysluku määritetään SFS-EN 933-3 mukaan. Muotoarvo määritetään SFS-EN 933-4 mukaan (PANK ry 2017, s.81). Kiviaineksille tehdään myös jäädytys- ja sulatuskokeita, jotta saadaan selvitettyä, miten kiviaines käyttäytyy näissä tilanteissa (SFS-EN 1367-1 2017). Muita testejä ovat kiintotiheyden määrittäminen ja kemiallisten ominaisuuksien määrittäminen (PANK ry 2017, s.82). Kiintotiheys määritetään verkkokori- ja pyknometrimenetelmänä (SFS-EN 1097-6 2017). Kemiallisiin ominaisuuksiin kuuluu esimerkiksi mineraalikoostumus, jota testataan SFS-EN 932-2 mukaan (PANK ry 2017, s.83). Mineraalikoostumus määritetään ohuthietutkimuksen avulla, joka soveltuu petrografiseen tarkasteluun (PANK ry 2017, s.83). Kiviainekset tarvitsevat CE-merkinnän, jotta tuotetta voi myydä ja käyttää EU-maassa (INFRA 2017).

4. ASFALTTI

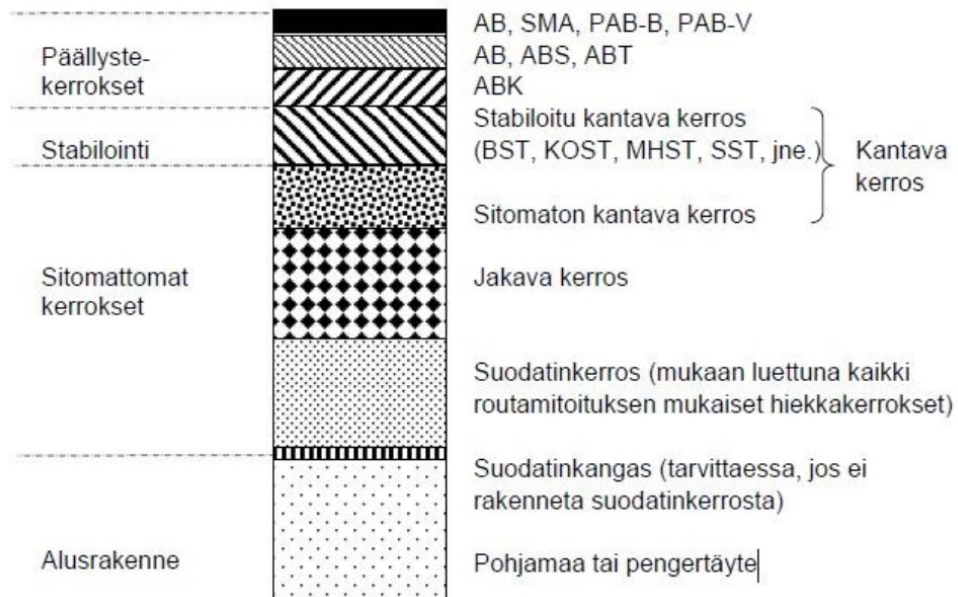
4.1 Historia

Asfaltti on yleisin tierakentamisessa käytetty kulutuskerrosmateriaali. Asfaltti koostuu öljystä jalostetun bitumin ja kiviaineksien seoksesta. Asfaltin historia on monipuolinen sen kestävyuden ja muokattavuuden ansiosta. Asfaltilla on tarkat laatuvaatimukset Suomessa, jotta asfaltti kestää esimerkiksi kulutusta ja pakkasta. Asfalttipäällysteitä on useita laatuja, jotka soveltuvat erilaisiin käyttötarkoituksiin. Usein asfalttiin käytetään lähiseudulta saatavaa kiviainesta.

Asfalttia on käytetty tierakentamisessa jo muinaisen Babylonian valtakunnassa noin vuonna 2500 eaa (Ruud, O. 2013). Ensimmäiset havainnot asfaltista ovat kuitenkin Mesopotamiasta, jossa asfalttia käytettiin muun muassa temppelikympylöissä ja vesitankeissa. Sana asfaltti tulee kreikan kielen sanasta "asphaltos", joka tarkoittaa suojaavaa. Suomessa asfaltin käyttö alkoi vuonna 1920-luvun lopulla ja 1930-luvulla. Syynä tähän oli, että autoilun määrä kasvoi näinä aikoina voimakkaasti ja teiltä vaadittiin tasaisuutta. Asfaltin kestävyuden ja tasaisuuden ansiosta perinteiset kivipinnat tierakentamisessa alkoivat väistymään (Björkman 2015).

4.2 Asfalttipäällysteet

Tien päällystekerrokset ovat kulutuskerros, mahdollinen sidekerros ja kantava kerros. Asfalttipäällysteet koostuvat kiviaineksista, sideaineista ja filleristä. Päällysteissä on ilmaa ja mahdollisesti kuituja tai sideaineen modifiointiaineita. Asfalttipäällystetyyppejä ovat esimerkiksi asfalttibetoni (AB), kivimastikiasfaltti (SMA), valuasfaltti (VA) ja avoin asfaltti (AA) (PANK ry 2017, s.36). Asfalttityyppi valitaan käyttötarkoituksen mukaisesti. Valintaan vaikuttavat esimerkiksi alueen liikennemäärät, nopeusrajoitukset ja käyttökohde. Kuvassa 7 esitetään tien eri rakennekerrokset, jossa asfalttipäällysteet ovat tien päällystekerroksissa.



Kuva 7. Tien rakennekerrokset (PANK ry 2017, s.14).

Kuvassa 7 on esitetty tien rakennekerroksia. Kuvasta 7 huomataan myös, että päälystekerrokset ovat pieni kokonaisuus koko tien rakenteesta. Päälystekerroksen valinta on kuitenkin tärkeä, jotta tie soveltuu käyttötarkoitukseensa ja ottaa vastaan suurimmat kuormitukset.

4.3 Laatu

Asfalttimassan oleelliset ominaisuudet ovat kiviaineksen rakeisuus ja sidepitoisuus. Asfalttimassan laatuvaatimuksia testataan laboratoriossa asianmukaisilla kokeilla, ja vaatimusten täytyminen osoitetaan tyyppitestauksilla. Asfalttimassa tiivistetään asfalttipäälysteeksi, jonka laatuvaatimukset kohdistuvat sen toiminnallisiin ominaisuuksiin, kuten kulumis-, deformaatio, vedenkestävyys-, pakkasenkestävyys- ja tiivistettävyysominaisuuksiin. (PANK ry 2017, s.76)

Kiviaineksen laatu vaikuttaa asfalttipäälysteen kulumiskestävyyteen. Kiviaineksen laadun on oltava hyvä, jotta se soveltuu asfalttipäälysteeseen. Varsinkin karkean kiviaineksen määrä ja muoto vaikuttavat kulumisnopeuteen. Kiviaineksin tasainen jakautuminen asfalttiin on myös tärkeä huomioida kulumiskestävyydessä. Yleensä maanteiden asfalttipäälysteissä käytetään karkearakeista kiviainesta. Karkearakeinen kiviaines tarkoittaa raekooltaan suurempia kiviaineksia, jossa sen alemman seulakoon (d) arvo on suurempi tai yhtä suuri kuin 4 mm ja ylemmän seulakoon (D) arvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 45 mm (PANK ry 2017, s.11). Sen sijaan hienoa kiviainesta käytetään enemmän asfalttipäälysteissä, joissa asfaltin kulumiskestävyys on

pienempää, esimerkiksi kaduilla tai pyöräilyteillä. (Lampinen 1993) Hieno kiviaines tarkoittaa raekooltaan pienempiä kiviaineksia, joissa ylemmän seulakoon (D) arvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 4 mm ja josta pääosa jää 0,063 mm seulalle (PANK ry 2017, s.10).

5. ASFALTTIKIVIAINEKSIEN LAATUVAATIMUKSET

Asfalttikiviaineksin laatuvaatimukset pohjautuvat eurooppalaiseen tuotestandardiin SFS-EN 13043 ja kansalliseen soveltamisstandardiin SFS 7004. Kiviaineksin valmistajan vastuulla on osoittaa kiviaineksin laatu tuotannonaikaisilla testeillä, suoritustasoilmoituksella ja CE-merkinnällä. Suomessa suositellaan käytettäväksi Asfalttinormit 2017 -kirjan asfalttikiviaineksin ominaisuusluokkia viiteasiakirjaksi laatuvaatimuksia asetettaessa. Kiviaineksille tehdään jatkuvaa laadunvalvontaa joko silmämääräisesti tai laadunvalvontatesteillä kiviainestuotannossa. Kiviaineksin laatuvaatimukset jaetaan geometrisiin, mekaanisiin, fysikaalisiin, kemiallisiin ja fillerikiviaineksin laatuvaatimuksiin. (PANK ry 2017, s. 76)

5.1 Geometriset laatuvaatimukset

Geometristen laatuvaatimukset jakautuvat rakeisuuteen, hienoainespitoisuuteen, muoto-ominaisuuksiin ja murtopintaisten rakeiden osuuteen. Vaatimuksia sovelletaan erilaisille kiviaineksille. Kiviaineksin raekokojen ohjeseulat vaihtelevat erilaisissa rakeisuusluokissa.

Rakeisuudessa kiviaineksin raekoko määräytyy alemman seulakoon (d) ja ylemmän seulakoon (D) avulla. Kiviaineksin raekoosta käytetään merkintää d/D. Asfalttikiviaines voidaan sekoittaa asfalttiasemalle toimitetusta kiviaineslajitteesta tai kiviaines voidaan toimittaa koostekiviaineksena esimerkiksi 0/16 mm. Koostekiviaines koostuu karkeiden ja hienojen kiviaineksin seoksesta. Kyseinen kiviaines tunnetaan myös 0-pohjaisena kiviaineksena. Taulukossa 1 esitetään kiviaineksin rakeisuudessa käytettävät ohjeseulat. (PANK ry 2017, s. 77)

Taulukko 1. Kiviaineksien yleisten rakeisuusvaatimusten ilmoittamisessa käytettävät ohjeseulat (PANK ry 2017, s.77).

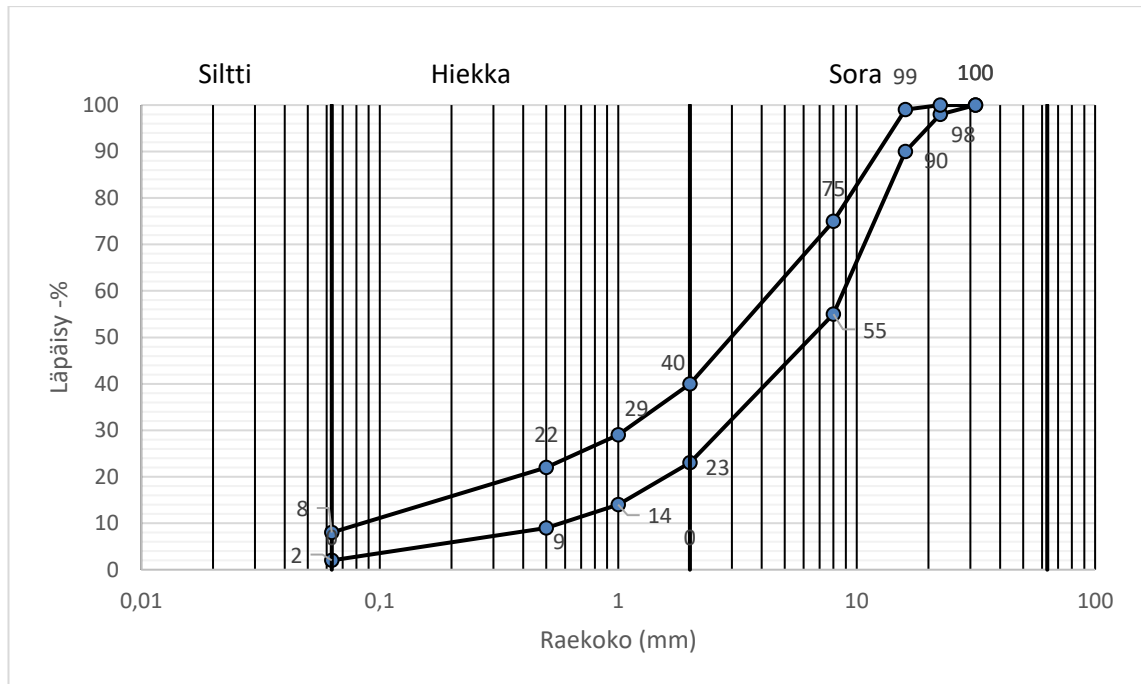
	Ohjeseulat				
	$2 * D$	$1,4 * D$	D	d	$d/2$
Karkea kiviaines ($D > 4 \text{ mm}$ ja $d \geq 1$)					
Hieno kiviaines ($D \leq 4 \text{ mm}$ ja $d = 0$)				0,063	-
Koostekiviaines ($d = 0$ ja $D > 4 \text{ mm}$)				-	-

Suomessa käytetään standardin SFS-EN 13043 mukaisia karkean kiviaineksen rakeisuusluokkia $G_c90/10$, $G_c90/15$ ja $G_{ca}85/15$. Taulukossa 2 esitetään lajitteen 8/16 rakeisuusluokan $G_c90/10$ ohjeseulat ja sallitut vaihteluvälit.

Taulukko 2. Karkean kiviaineksen 8/16 mm ohjeseulat ja sallitut vaihteluvälit rakeisuusluokassa $G_c90/15$. TR=valmistajan ilmoittama tyyppirakeisuus. (PANK ry 2017, s.78)

Lajite	8/16
Rakeisuusluokka	$G_c90/10$
Seula (mm)	
31,5	100
22,4	100
16	90-99
11,2	20-70 (TR \pm 15)
8	0-10
4	0-2

Esimerkiksi kuvassa 8 on AB 16 massan soveltuvien koostekiviaineksien rakeisuusohjealue rakeisuusluokassa DG_A90_{AB} . Ylä- ja alarakeisuuskäyrien väliin jäävä alue on sallituissa rakeisuuden rajoissa.



Kuva 8. Asfalttibetonin (AB) 0/16 lajitteen ylä- ja alarakeisuuskäyrän ohjealueet (PANK ry 2017, s.80).

Hienoainespitoisuus ilmoitetaan hienoainespitoisuusluokkana. Hienoainespitoisuus määritetään kaikista kiviaineksista standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti pesuseulonnalla (PANK ry 2017, s.76). Hienoainespitoisuus määräytyy seulan 0,063 seulan läpäisyprosentin mukaan. Taulukossa 3 esitetään kiviaineksien hienoainespitoisuuksien luokat.

Taulukko 3. Kiviaineksen hienoainespitoisuuden luokat (PANK ry 2017, s. 81).

Karkea kiviaines	Hienoainespitoisuuden luokka	0,063 seulan läpäisyprosentti
	$f_{0,5}$	$\leq 0,5$
	f_1	≤ 1
	f_2	≤ 2
Hieno kiviaines	f_3	≤ 3
	f_{10}	≤ 10
	f_{16}	≤ 16
	f_{22}	≤ 22
Koostekiviaines	f_3	≤ 3
	f_7	≤ 7
	f_{11}	≤ 11

Kiviaineksien muoto-ominaisuudet määritetään SFS-EN 933-3 mukaisesti ja se ilmoitetaan litteyslukuluokkana. Testissä on kaksi seulontavaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa näyte jaetaan testiseuloille eri raekokolajitteisiin d/D. Sen jälkeen kukin raekokolajitteista d/D seulotaan välppäseuloille, joissa on yhdensuuntaisia D/2 kokoisia rakoja. Litteysluokka määräytyy määritettyjen litteyslukutulosten keskiarvojen perusteella. Suomessa yksittäisen lajitteen litteysluvun keskiarvon tulee olla aina suurempi kuin 3. (SFS-EN 933-3 2012, s.5) Päälysteessä käytettävän kiviaineksen litteysluvulla on merkitystä muodonmuutoksien kannalta. Esimerkiksi litteät kivirakeet murtuvat helpommin kuin pyöreät kivet (Kalliainen, et al. 2017, s. 18). Taulukossa 4 esitetään litteysluvun enimmäisarvojen luokat.

Taulukko 4. Litteysluvun enimmäisarvojen luokat (PANK ry 2017, s.82).

Litteysluku	Litteysluvun arvo
FI_{10}	≤ 10
FI_{15}	≤ 15
FI_{20}	≤ 20
FI_{35}	≤ 35

Murtopintaisten rakeiden vaatimus koskee ainoastaan sora murskeita. Vaatimusluokkana on $C_{50/30}$. Tämä tarkoittaa sitä, että kiviaineksessa täytyy olla täysin tai osittain murskaantuneita rakeita 50-100% ja täysin pyörityneitä rakeita 0-30%. (PANK ry 2017, s.82)

5.2 Mekaaniset ja fysikaaliset laatuvaatimukset

Asfalttikiviaineksien yksi tärkeimmistä laatuvaatimuksista on nastarengaskulutuskestävyys, jota testataan kuulamylytestillä. Suomessa kiviaineksien nastarengaskulutuskestävyys on hyvin tärkeää pitkien talvien takia. Kiviaineksilta vaadittava nastarengaskulutuskestävyys riippuu useasta tekijästä, kuten ajonopeudesta, päällysteen kosteudesta ja liikennemäärästä. Riittävällä kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydellä alennetaan päällysteen urautumisnopeutta. (Kalliainen, et al. 2017, s.19)

Kuulamylyarvo määritetään siten, että tasarakeista kiviainesta pyöritetään rummussa yhdessä teräskuulien ja veden kanssa. Rummun pyöriessä kivet kuluvat. Määrätyn kierrosluvun jälkeen kivet poistetaan rummusta ja seulotaan 2 mm seulalla. Seulan avulla mitataan kiviaineksen kuluminen prosentuaalisena painohävikkinä. (SFS-EN 1097-9 2014, s.6) Taulukossa 5 esitetään nastarengaskulutuskestävyyden luokat ja poikkeavan yksittäisen tuloksen enimmäisarvo.

Taulukko 5. Nastarengaskulutuskestävyyden luokat (PANK ry 2017, s.82).

Luokka	Kuulamylyarvo	Poikkeavan yksittäisen tuloksen enimmäisarvo
A_N7	$\leq 7,4$	8,1
A_N10	$\leq 10,4$	11,5
A_N14	$\leq 14,4$	16,1
A_N19	$\leq 19,4$	21,9
A_N30	$\leq 30,4$	34,5

Taulukossa 5 olevat kuulamylyarvot on laskettu kaavan 1 avulla (SFS-EN 1097-9 2014, s.9). Kuulamylytestin tulos merkitään aina yhden desimaalin tarkkuudella. Luokkarajat esitetään kokonaislukuina. Luokan valitsemiseksi käytetään matemaattisia pyöristyssääntöjä. Esimerkiksi kuulamylytestitulot 10.4 kuuluu luokkaan A_N10 ja vastaavasti testitulot 7,5 pyöristyy kokonaislukuun 8 ja kuuluu tällöin luokkaan A_N10 . Kiviaineksen valmistaja ilmoittaa luokan myös CE-merkinnässä. (Liikennevirasto 2017, s. 27)

$$A_N = \frac{100(M_1 - M_2)}{M_1}, \text{ missä} \quad (1)$$

M_1 = kuivatun yksittäisentestinäytteen alkuperäinen massa grammoina

M_2 = kuivattujen yli 2 mm kiviainesrakeiden massa kulutuskokeen jälkeen grammoina

Asfalttikiviaineksista määritetään kiintotiheys, joka ilmoitetaan kahden desimaalin tarkkuudella yksikössä Mg/m^3 . Kiviaineksista määritetään myös kiviaineksen vedenimeytyminen (WA_{24}) ja jäädytys-sulatuskestävyys. Vedenimeytymistä testataan sen takia, jotta voidaan arvioida kiviaineksen jäädytys-sulatuskestävyyttä. Karkean ja koostekiviaineksen vedenimeytyminen tulee olla $\leq 1 \%$, jotta kiviainesta voidaan pitää jäädytys-sulatuskestävänä. (PANK ry 2017, s.82-83)

5.3 Kemialliset laatuvaatimukset

Tärkein asfalttikiviaineksen kemiallisiin vaatimuksiin vaikuttava tekijä on mineraalikoostumus. Mineraalikoostumus määritetään ohuthietutkimuksen avulla. Tutkimuksessa tutkittavasta kivistä valmistetaan ohuthie. Ohuthieheestä tutkitaan polarisaatiomikroskoopilla mineraalikoostumus, mineraalien raekoko, raekokovaihtelu,

mikrorakenne ja mineraalien muuttuneisuus. Tutkimuksessa näytteen läpi johdetaan tasopolarisoitua valoa, joka eri mineraalien läpi johdettuna taittuu kullekin mineraalille ominaisella tavalla. (PANK-2302 1997, s.1-2)

Ohuthietutkimusmenetelmä soveltuu petrografiseen kuvaukseen. Petrografisessa kuvauksessa määritetään tarkka mineraalikoostumus useasta kohdasta koko kallioaluetta edustavasta näytteestä. Petrografisessa kuvauksessa selvitetään myös kiviaineksen rapautuneisuus. Asfalttikiviaines ei saa olla rapautunutta eikä rapautumisaltista. Rapautumista voidaan arvioida sulfidimineraalien, kiilteiden ja pehmeiden mineraalien pitoisuuksien avulla. Suosituksena on, että kiviaineksen sulfidimineraalien määrä ohuthieestä on $\leq 5\%$ tai kiviaineksen kokonaisrikkipitoisuus $S \leq 0,1\%$. Kiilteen määräksi suositellaan enintään $\leq 15\%$ ohuthietutkimuksesta. Jos kiilteen määrä on $15 - 20\%$, kiviaineksen rapautuneisuuden määrää, onko kiille hienorakeista ja onko kiille jakautunut tasaisesti. Pehmeiden mineraalien pitoisuus pitäisi olla alle 20% . Jos pehmeiden mineraalien määrä ylittää 20% , on rapautumattomuus osoitettava esimerkiksi jäädytys-sulatustestillä. Pehmeitä mineraaleja ovat esimerkiksi biotiitti, muskoviitti ja talkki. Asiakkaalle on toimitettava erillisinä dokumentteina yhteenveto tutkimustuloksista, jotka sisältävät myös ohuthieeseen perustuvan petrografisen kuvauksen. (PANK ry 2017, s.76-84)

5.4 Fillerikiviaineksen laatuvaatimukset

Asfaltissa on muiden kiviaineksien lisäksi fillerikiviainesta. Fillerikiviainekselle on myös laatuvaatimuksia, joita ovat geometriset, fysikaaliset, kemialliset ja tasalaatuisuuden vaatimukset. Fillerikiviaineksen on oltava CE-merkittyä niin kuin muidenkin kiviainesten. Fillerikiviaineksesta on aina ilmoitettava raaka-aineen lähde, rakeisuus, kiintotiheys, kalkkifillerin kalsiumkarbonaattipitoisuus, lentotuhkan hiilipitoisuus, ominaispinta-ala ja tiivistetyn fillerin tyhjätila. (PANK ry 2017, s.85)

Fillerikiviaineksen rakeisuus määritetään joko ilmasuihkuseulontana tai pesuseulonnan mukaisesti. Taulukossa 6 esitetään fillerikiviaineksen rakeisuusvaatimukset.

Taulukko 6. Fillerikiviaineksen rakeisuusvaatimukset (PANK ry 2017, s.86).

Seulakoko mm	Läpäisy massaprocenteina	
	Yksittäistulosten kokonaisvaihteluväli	Valmistajan ilmoitettava rakeisuuden vaihteluväli
2	100	-
0,125	85-100	10
0,063	70-100	10

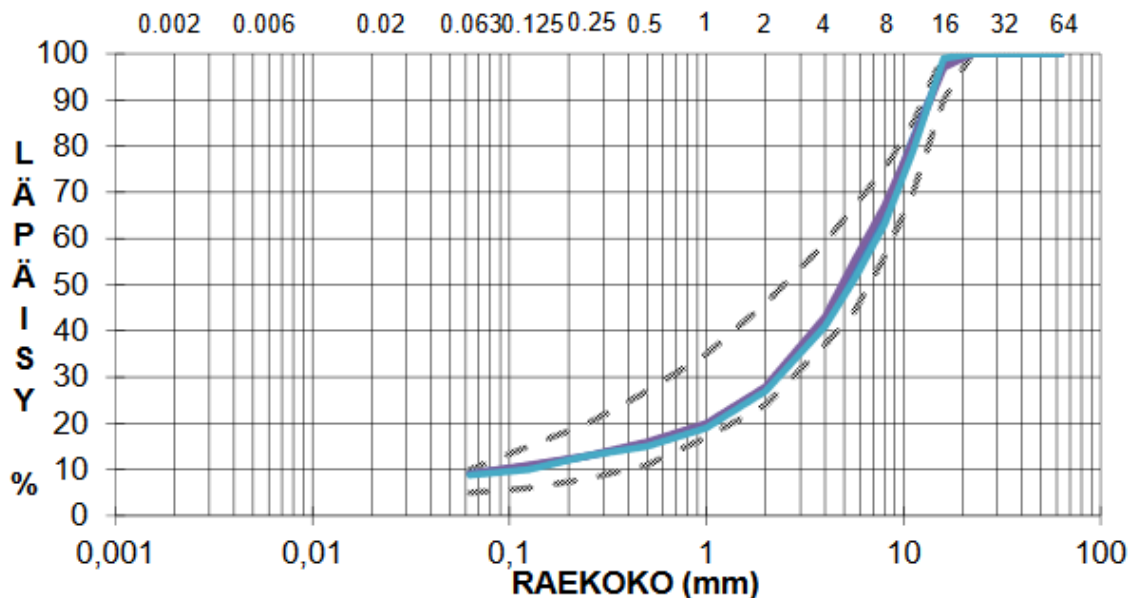
Fillerikiviaineksien fysikaalisissa vaatimuksissa vesipitoisuuden tulee olla pienempi kuin 1 massaprocentti ja fillerin tyhjätila tulee olla välillä 28–45%. Kemiallisissa vaatimuksissa kalsiumkarbonaattipitoisuuden tulee olla ≥ 70 %, ja tasalaatuisuuden vaatimuksissa hehketushäviön vaihteluväli ei saa olla suurempi kuin 6 massaprocenttia. (PANK ry 2017, s.86)

6. LAADUNVALVONTATULOKSIEN ARVIOINTIA

6.1 Mittaustulokset

Kiviaineksen laadunvalvontatuloksia arvioidaan Väyläviraston julkaisemien raporttien perusteella. Laadunvalvontatulokset ovat peräisin Väyläviraston selvityksestä, jossa tarkastellaan tierakenteissa käytettävien kiviaineksen ominaisuuksia ja mittaustuloksia. Selvityksen tarkoituksena oli varmistaa kiviaineksen hyvä laatu tierakentamisessa. Raportissa käsitellään muun muassa asfalttikiviaineksen rakeisuutta, litteyslukuja ja kuulamylyarvoja. Mittaustulokset käsitellään erillisinä tapauksina. Mittaustulosten perusteella ei voida tarkastella kiviaineksen laatua kokonaisuudessaan, sillä kiviaineksen laatuun vaikuttavat muutkin kuin edellä mainitut tekijät. Mittausdata on hankittu pistokoemaisella näytteenottotavalla. (Kalliainen, et al. 2017)

Vuonna 2016 useista hankkeista otettiin näytteitä, joiden ominaisuudet selvitettiin. Kuvassa 9 on esitetty asfalttibetonin (AB) 16 näytteiden rakeisuuskäyrät. Näytteitä oli kaksi kappaletta. Kyseiset näytteet oli otettu asfalttimassasta heti asfalttimassan levityksen jälkeen. Katkoviivalla on merkitty asfalttinormien 2017 mukainen ohjeellinen raekokoalue. Rakeisuuskäyrästä huomataan se, että rakeisuudet ovat asfalttinormien 2017 mukaiset eli laatu toteutuu rakeisuuden osalta.



Kuva 9. Asfalttibetonin (AB) 16 näytteiden rakeisuudet (Kalliainen, et al. 2017, s. 25).

Laadunvalvontatuloksissa arvioitiin kiviaineksen muoto-ominaisuuksia eli litteyslukuja. Raportissa esitetyt litteyslukutulokset koostuivat kuudesta kiviainesnäytteestä.

Litteyslukutestejä tehtiin sattumanvaraisille päällystekiviaineksille. Kyseiset kiviainekset olivat kalliomursketta (KaM) 0/16 mm. Taulukossa 7 on esitetty litteyslukutulokset. Punaisella on merkitty ne luokat, jotka poikkeavat suoritustasoilmoituksen ilmoitetusta luokasta. Suoritustasoilmoitus on kiviaineksen valmistajan ilmoitettu luokka (PANK ry 2017).

Taulukko 7. Litteysluvut (Kalliainen, et al. 2017, s. 19).

Näyte	Koetulos	Luokka	Suoritustasoilmoituksessa ilmoitettu luokka
TC1	11	FI15	FI15
TC2	13		
TC3	10		
TD1	24	FI25	FI35
TD2	24		
TD3	25		
TI1	14	FI15	FI15
TI2	14		
TI3	13		
TJ1	18	FI25	FI15
TJ2	21		
TJ3	19		
TG1	16	FI20	FI15
TG2	19		
TG3	15		
TH1	22	FI25	FI20
TH2	18		
TH3	23		

Taulukossa 7 on havaittavissa kolmea poikkeamaa, kun verrataan tulosta kiviainestoitimittajan suoritustasoilmoitukseen. Poikkeamat ovat selkeitä, sillä vähintään kaksi kolmesta rinnakkaisnäytteestä ylittää kiviaineksessa ilmoitetun luokan (Kalliainen, et al. 2017, s.18). Laatu toteutuu vain kolmessa kiviaineksessa. Litteysluvun enimmäisarvot on esitetty taulukossa 4.

Nastarengaskulutuskestävyys otettiin kahdeksasta kiviainesnäytteestä. Kiviaineksista TI oli kalliomursketta (KaM) 8/16 mm ja muut kiviainesnäytteet olivat kalliomursketta (KaM) 0/16 mm. Taulukossa 8 on esitetty näytteiden kuulamylyarvot. Punaisella on merkitty ne luokat, jotka poikkeavat suoritustasoilmoituksen ilmoitetusta luokasta.

Taulukko 8. Testinäytteiden kuulamylyarvot (Kalliainen, et al. 2017, s.20).

Näyte	Koetulos	Tulos	Luokka	Suoritusasteilmoituksessa ilmoitettu luokka
TC4	15,3	15,6	An19	An14
	15,9			
TC5	15,8	15,3		
	14,7			
TD4	9,2	9,3	An10	An10
	9,4			
TD5	9,5	9,7		
	10,0			
TI4	10,9	10,7	An14	An10
	10,6			
TI5	11,2	11,0		
	10,7			
TJ4	10,9	10,8	An14	An10
	10,6			
TJ5	10,4	10,1		
	9,9			
TG4	6,7	6,9	An7	An7
	7,1			
TG5	6,7	6,5		
	6,2			
TH4	14,3	14,3	An14	An14
	14,2			
TH5	14,5	14,3		
	14,2			
TL1	6,0	6,0	An10	An7
	6,0			
TL2	8,6	8,5		
	8,4			
TM1	11,5	11,5	An14	An10
	11,5			
TM2	10,7	10,5		
	10,2			

Taulukossa 8 on poikkeamia neljässä kiviainesnäytteessä. Poikkeavat näytteet ylittävät sallitun raja-arvon. Poikkeavan yksittäisen tuloksen enimmäisarvo on esitetty taulukossa 5. Laadunvalvontatulokset on tehty ennen vuotta 2017, jolloin yksittäisnäytteiden tulokset eivät saaneet ylittää raja-arvoa 15 %. Näytteille tehtiin lisätestejä, kuten kuulamylyttestejä ja myös petrografista tarkastelua, jotta poikkeamat voitaisiin selittää.

Kuulamylyarvojen tarkkuutta ja täsmällisyyttä voidaan tutkia toistettavuuden (r) ja uusittavuuden (R) kaavoilla (SFS-EN 1097-9 2014, s.10). Toistettavuus tarkoittaa kahden tuloksen välistä erotusta 95% todennäköisyydellä, kun testi tehdään samasta näytteestä, samoilla välineillä ja samassa laboratorioissa. Jotta voidaan arvioida laboratorion sisäistä luotettavuutta, on laskettava kahden kuulamylykeskiarvojen erotus ja verrattava sitä suoritustasoilmoituksen mukaisen kuulamylyluokan toistettavuuden arvoon. Jos erotus on pienempi tai yhtä suuri kuin toistettavuus, tulokset ovat toistettavuuden raja-arvojen sisällä. Uusittavuudella mitataan kahden laboratorion välisiä eroavaisuuksia, kun testi tehdään samasta näytteestä. Ensimmäisenä lasketaan kahden eri laboratorion kuulamylytulosten keskiarvot, ja keskiarvojen erotusta verrataan uusittavuuden arvoon. Jos erotus on pienempi tai yhtä suuri kuin uusittavuuden arvo, tulokset ovat testausmenetelmän uusittavuuden sisällä. (SFS-EN 932-6 2003, s. 4-6) Kuulamylyarvojen toistettavuus lasketaan kaavan 2 avulla ja uusittavuus lasketaan kaavan 3 avulla (SFS-EN 1097-9 2014, s.10).

$$r = 0,13 \cdot A_N - 0,17 \quad (2)$$

$$R = 0,14 \cdot A_N + 0,27 \quad (3)$$

A_N = kuulamylyarvo

TC kiviainekselle saadaan kahden kuulamylykeskiarvon erotukseksi 0,3. Suoritustasoilmoituksen ilmoitettu luokka on A_{N14} , jolloin toistettavuus on 1,7. Erotus on pienempi kuin toistettavuuden arvo, joten tulokset ovat toistettavuuden raja-arvojen sisällä.

Kiviainekselle TC tehtiin useita kuulamylytestejä eri laboratorioissa poikkeaman syyn selvittämiseksi. Testejä varten otettiin uusia näytteitä, ja kiviainekselle tehtiin 25 kuulamylytestiä neljässä eri laboratorioissa. Kaavan 3 avulla verrataan esimerkiksi kahden laboratorion eroavaisuuksia. Ensimmäisessä laboratorioissa kuulamylytuloksien keskiarvoksi saatiin 13,7 ja toisessa 14,2. Laboratorioiden välinen erotus on 0,5. Luokassa A_{N14} uusittavuus on 2,2, joten tulokset ovat testausmenetelmän uusittavuuden sisällä. Kiviainekselle päätettiin tehdä petrografinen tarkastelu, koska kuulamylyarvojen poikkeavuus täytyy selvittää. Kuvassa 10 on esitetty TC kiviaineksen petrografinen tarkastelu. (Kalliainen, et al. 2017, s.22)



Kuva 10. Kiviaineksen TC graniittinen (vasemmalla) ja liuskeinen osa (oikealla) (Kalliainen, et al. 2017, s.25).

Petrografisen tarkastelun jälkeen huomataan, että kiviaines TC sisältää 2 % kiilleliusketta. Kiviaineksesta eroteltiin graniittinen ja liuskeinen osa. Molemmille osille suoritettiin kuulamylytestit. Kuulamylytestit osoittivat sen, että graniittisen osan kuulamylyarvo oli 14,3 ja liuskeisen osan arvo oli 19,3. TC kiviaineksen poikkeamaa selitti se, että liuskeinen osa vaikutti paljon alkuperäiseen kuulamylytulokseen. Kiviaineksen heterogeenisyys vaikuttaa merkittävästi tuloksiin. (Kalliainen, et al. 2017, s.22-23)

Taulukon 9 kiviaineksien TL ja TM rinnakkaisnäytteiden testitulokset vaihtelivat melko paljon. TL kiviaineksen ensimmäiset näytteet täyttivät ilmoitetun luokan. Rinnakkaisnäytteessä havaittiin poikkeamaa kiviaineksen ominaisuuksissa. Poikkeamaa selitti se, että TL_1 edusti vanhaa murskauserää ja TL_2 uutta murskauserää. TM kiviaineksien poikkeamaa voitiin arvioida toistettavuuden ja uusittavuuden kaavoilla. Laboratoriossa A saadaan kahden kuulamylykeskiarvojen erotukseksi 1. Suoritustasoilmoituksen ilmoitettu luokka on A_{N10} , jolloin toistettavuus on 1,1. Erotus on pienempi kuin toistettavuuden arvo, joten laboratorion tulokset ovat toistettavuuden raja-arvojen sisällä. TM kiviaineksille toteutettiin kuulamylytestejä myös toisessa laboratoriossa. TM_1 kiviainekselle saatiin laboratoriossa A kuulamylykeskiarvoksi 11,5 ja laboratoriossa B 11,1. Luokassa A_{N10} uusittavuus on 1,67. Laboratorioiden välinen erotus on 0,4 joten tulokset ovat testausmenetelmän uusittavuuden sisällä. (Kalliainen, et al. 2017) Taulukossa 9 on esitetty kahden eri laboratorioiden väliset kuulamylytulokset TL ja TM kiviaineksille.

Taulukko 9. Kiviaineksille TL ja TM kahdessa eri laboratoriossa tehtyjen kuulamylytestien tulokset (Kalliainen, et al. 2017, s.21).

Näyte	Koetus, kursivilla keskiarvo		Luokka	Suoritustaso-ilmoituksessa ilmoitettu luokka
	Laboratorio A	Laboratorio B		
TL1	6,0	5,4	A _N 10	A _N 7
	6,0	5,7		
<i>ka</i>	6,0	5,6		
TL2	8,6	8,9		
	8,4	8,5		
<i>ka</i>	8,5	8,7		
TM1	11,5	10,8	A _N 14	A _N 10
	11,5	11,5		
<i>ka</i>	11,5	11,1		
TM2	10,7	10,3		
	10,2	10,1		
<i>ka</i>	10,5	10,2		

Kiviaines TM_1 ylittää suoritustasoilmoituksessa ilmoitetun luokan A_N10 , sillä taulukon 5 mukaan yksittäisen tuloksen enimmäisarvo saa olla 11,5 ja kuulamylyarvot saavat olla enintään $\leq 10,4$. Kiviaineksen TM_2 kuulamylytulokset ovat suoritustasoilmoituksen mukaiset. (Kalliainen, et al. 2017, s.21)

6.2 Tutkimustuloksien vaikutus laatuvaatimuksiin

Laadunvalvontatuloksien tarkoituksena oli selvittää ja tarkastella Suomessa käytettävien kiviainesten ominaisuuksia ja laatuja paikkansapitävyyttä. Selvityksessä havaittiin poikkeamia. (Kalliainen, et al. 2017, s. 26-27) PANK ry reagoi poikkeamiin julkaisemalla kuulamylytulosten arviointiin liittyvän korjauksen vuoden 2017 asfalttinormeihin. Tuloksien perusteella kiviaineksien laatuvaatimuksista poistettiin aiemmin sallitun 15 % yksittäisen tuloksen ylitys (Kalliainen, et al. 2017, s. 26-27). Kuulamylytestissä rinnakkaisnäytteiden tulosten tulee olla 10 % sisällä, jos tulokset eivät ole 10 % sisällä niin pitää testata 2 uutta näytettä (PANK ry 2017).

Väyläviraston selvityksen perusteella asfalttikiviainesvaatimukset kehittyivät tarkemmiksi vuodelle 2017. Asfalttikiviaineksien kuulamylytestin testaustaajuutta ja näytemääriä muutettiin. Nykyään kuulamylytestien tulokset toteutetaan testaustaajuudella 1 testaustulos / 6000 tonnia, ja testejä on tehtävä aina vähintään 3 testiä / tuotantoerä. Kuulamylytuloksien tulee täyttää myös taulukon 5 vaatimukset. (Kalliainen, et al. 2017, s. 26-27)

Kuvan 9 rakeisuuskäyrää määritettäessä näytteet oli otettu kuumasta asfalttimassasta heti levittämisen jälkeen, jolloin näytteet olivat tasalaatuisia ja laboratoriossa käsiteltäviä. Kyseinen näytteenottotapa toteutti paremmin myös kandidaatintyön tavoitetta, jossa tarkasteltiin asfalttipäällysteissä käytettävien kiviaineksien laatua. (Kalliainen, et al. 2017, s. 26-27)

Laadunvalvontatuloksiin vaikuttivat useat eri tekijät, muun muassa näytteenottotapa näytteen heterogeenisuus ja näytteen tasalaatuisuus. Näytteenotto on tehtävä huolella ja ohjeiden mukaisesti, jotta tutkimustulokset ovat luotettavia. Esimerkiksi asfalttimassasta otetun näytteen rakeisuus on hyvin todennäköisesti erilainen kuin kiviainestuotannosta otetun näytteen rakeisuus. Kuulamylytestien tuloksiin ei sen sijaan ole kovin suurta merkitystä, onko näyte otettu asfalttimassasta vai kiviainestuotannosta. Kiviainekset ovat kestäviä, joten asfalttimassan kuumuus ja kiviaineksien kuljetus eivät vaikuta kiviaineksien kuulamylytuloksiin. Tutkimustuloksista huomattiin, että näytteiden tasalaatuisuus ja heterogeenisuus vaikuttivat tuloksiin erittäin paljon. Petrografisen kuvauksen tekeminen kiviaineksesta oli erittäin tärkeää, jotta kiviaineksien erilaisia ominaisuuksia ymmärrettiin paremmin.

Laadunvalvontatulosten vaihtelun vuoksi oli tärkeää arvioida laboratorioden luotettavuutta. Laboratorioden täsmällisyyttä ja luotettavuutta voitiin arvioida kaavojen 2 ja 3 avulla. Kaavan 2 avulla todettiin, että laboratorioden sisäiset tulokset olivat toistettavuuden raja-arvojen sisällä. Eri laboratorioissa saatujen tulosten väliset erot olivat myös pieniä. Kaavan 3 avulla todettiin, että eri laboratorioden tulokset olivat testausmenetelmän uusittavuuden sisällä. Mahdolliset eroavaisuudet laboratorioden välillä voivat johtua esimerkiksi henkilökunnan tekemistä virheistä, mittausvälineistöistä tai osaamisen puutteesta. (Kalliainen, et al. 2017)

7. YHTEENVETO

Kandidaatintyössä perehdyttiin asfalttikiviaineksien laatuvaatimuksiin. Kandidaatintyössä selvitettiin kiviaineksien geologisia syntytapoja, joiden avulla kivilajien ominaisuuksia asfaltissa ymmärretään paremmin. Asfalttikiviaineksien laatuvaatimuksiin kiviainestuotannossa perehdyttiin, koska kiviaineksen laadun asettaminen tehdään tuotannon aikana. Kiviainesvalmistajan velvollisuutena on ilmoittaa asiakkaalle tuotannaikaisten testien tulokset suoritustasoilmoituksella ja CE-merkinnällä.

Asfalttikiviaineksien laatuvaatimukset perustuvat Suomessa Asfalttinormit 2017 -kirjaan. Laatuvaatimukset koostuvat geometrisistä, mekaanisista, fysikaalisista ja kemiallisista laatuvaatimuksista sekä fillerikiviaineksien laatuvaatimuksista. Vaatimuksia valvotaan tarkasti kiviainestuotannon laadunvalvontaohjeiden mukaan.

Laadunvalvontatuloksien arvioinnissa perehdyttiin Väyläviraston tekemään selvitykseen, jossa tutkittiin kiviaineksien rakeisuutta, litteyslukuja ja kuulamylyarvoja eri väylähankkeista. Rakeisuuden osalta laatu toteutui, mutta litteysluvuissa ja kuulamylyarvoissa havaittiin poikkeamia. Poikkeavat litteysluvut ja kuulamylyarvot ylittivät ilmoitetun luokan. Poikkeavilla litteysluvuilla voi olla merkitystä asfaltin laatuun, sillä litteät kivirakeet murtuvat pyöreitä kivirakeita helpommin. Luokan ylittävä kuulamylyarvo kertoo kiviaineksen heikommasta nastarengaskulutuskestävyydestä. Kuulamylyarvojen poikkeamia selittivät näytteiden heterogeenisyys ja eroavaisuudet murskauserien välillä. Eri laboratorioiden tuloksien väliset erot eivät juuri eronneet toisistaan, joten laboratorioiden testaukset olivat luotettavia ja täsmällisiä. Tutkimuksen jälkeen havaittiin, että laatuvaatimusten kriteerejä täytyy selkeyttää, jotta laadun arviointi olisi helpompaa. Kuulamylytuloksien osalta havaittiin, että kiviainesvalmistajat olivat soveltaneet väärin Asfalttinormit 2011 kirjassa esitettyä yksittäiselle näytteelle sallittua poikkeamaa, sillä tulokset olivat liukuneet lähelle luokkarajoja ja jopa niiden yli. Tämän johdosta PANK ry päätti tarkentaa ohjeita ja julkaisi korjauksen Asfalttinormit 2017 -kirjassa. (Kalliainen, et al. 2017)

Kiviainestuotannon ja asfalttikiviaineksien laadun tarkkailu ovat tärkeässä roolissa Suomessa, sillä Suomen hankalat olosuhteet tieliikenteessä vaativat hyvää kiviainesta. Erityisesti kiviainesten nastarengaskulutuskestävyyden on oltava asfalttipäällysteissä riittävä, jotta teiden urautumisnopeus ei ole liian suuri. Suomen kallioperä on vaihteleva, jonka seurauksena kiviainekset ovat heterogeenisiä ja kiviaineksia täytyy testata. Testaustaaajuus suunnitellaan siten, että voidaan olla varmoja siitä, että kiviainekset

täyttävät asetetut vaatimukset (PANK ry, s.87). Laadun tarkastelun tärkein lähtökohta on kuitenkin hyvä näytteenottotapa, jotta tulokset vastaisivat kiviaineksien ominaisuuksia. Asfalttikiviaineksia kehitetään yhä paremmiksi ja toimivammiksi Suomen olosuhteisiin nähden jatkuvan tutkimustyön avulla (Kalliainen, et al. 2017).

LÄHTEET

ASKO (2017). Asfalttialan oppimateriaali. Raaka-aineet. PANK ry. 14 s.

Björkman, J. (2015). Helsingin kaupungin museo. Mukulaa, nupukiveä ja asfalttia. Kirjoitettu 11.11.2015. Saatavilla (viitattu: 10.2.2022): <https://www.helsinginkaupunginmuseo.fi/2015/11/11/mukulaa-nupukivea-ja-asfalttia/>

GTK (2013). Suomen kallioperä. Saatavilla: <https://kaiva.fi/geologia/suomen-kalliopera/>

Hietala (2019). Kiviaineksen raemuodon vaikutus nastarengaskulutuskestävyyteen Diplomityö. 13 s. Saatavilla (viitattu: 2.3.2022): [Kiviaineksen raemuodon vaikutus nastarengaskulutuskestävyyteen - Trepo \(tuni.fi\)](https://www.tuni.fi/tietokanta/kiviaineksen-raemuodon-vaikutus-nastarengaskulutuskestavyyteen-treppu-tuni-fi)

Infra ry (2021). Louhinta ja kiviainestuotanto. Saatavilla (viitattu: 11.2.2022): <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/tietoa-alasta/Louhinta-ja-kiviaines/>

Infra ry (2017). Ohje kiviainesten CE-merkintään. Saatavilla (viitattu: 13.2.2022): <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Jasenpalvelu/Jasentiedotteet-kansio/2017/ohje-kiviainesten-ce-merkintaan/>

Kaiva.fi (2013a). Kivilajien jaottelua ja syntyvät. Saatavilla (viitattu: 15.2.2022): <https://kaiva.fi/geologia/kivilajit-ja-malmien-synty/kivilajien-jaottelu-ja-syntyvat/>

Kaiva.fi (2013b). Suomen kallioperä. Saatavilla (viitattu: 15.2.2022): <https://kaiva.fi/geologia/suomen-kalliopera/>

Kalliainen, A., Kuula P. & Leppänen M., (2017). Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Helsinki. 1-80 s

Lampinen, A. (1993). Kestopäällysteiden urautuminen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Lonka H., Loukola-Ruskeeniemi, K., Ehrukainen E., Gustafsson J., Honkanen M., Härmä P., Jauhainen P., Kuula P., Nenonen K. & Pellinen T., (2015). Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75045>

Paakkola, J. (1997). Magmasta maantiehen. Moniste. Geologian perusteita tienrakentajille 8.-9.4.1997 Nokia. 6-7s.

PANK ry (2017). Asfalttinormit. 2. painos. Helsinki: Päällystealan neuvottelukunta PANK ry. 1-87 s.

PANK-2302 (1997). Ohuthietutkimus. Kiviainekset, mineraloginen koostumus. PANK. 1-2 s. Saatavilla: <https://www.pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-2-kiviainekset/>

Peltonen, P. (1986). Kiviaineksen alueelliset laatuselvitykset. Luento TTKK:n täydennyskoulutuskurssi. 10.2.1986-11.2.1986. Tampere. 22 s.

Ruud, O. (2013). Bitumen. Store Norske Lexikon. WWW-dokumentti. Saatavissa (viitattu: 12.2.2022): <https://snl.no/bitumen>

Ruuskanen J., (1999). Syötteen vaikutus murskaimen tuotteeseen ja toimintaan.

Ruuskanen, J. (2006). Influence of rock properties on compressive crusher performance, Tampere University of Technology, Tampere, 236 s.

SFS-EN 932-6 (2003). Toistettavuuden ja uusittavuuden määritelmät. Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 4-6 s.

SFS-EN 933-1 (2012). Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 4 s.

SFS-EN 933-3 (2012). Raemuodon määrittäminen. Litteysluku. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 1-5 s.

SFS-EN 933-4 (2008). Raemuodon määrittäminen. Muotoarvo. Kiviainesten geometrinen ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 1 s.

SFS-EN 1097-2 (2020). Iskunkestävyyden määrittämismenetelmät. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 1 s.

SFS-EN 1097-6 (2022). Kiintotiheyden ja vedenimeytymisen määrittäminen. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 1 s.

SFS-EN 1097-9 (2014). Kuulamylyttesti. Pohjoismainen testi. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 1-9 s.

SFS-EN 1367-1 (2007). Jäädytys-sulatuskestävyyden määrittäminen. Kiviainesten lämpö- ja rapautuvuusominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 1 s.

SFS-EN 1744-1 (2013). Kemiaallinen analyysi. Kiviainesten kemiallisten ominaisuuksien testaus. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 1 s.

SFS-EN 13043 (2003). Eurooppalainen tuotestandardi. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 1-40 s.

Suomen Betoniyhdistys ry (2018a). Louhinta- ja kuljetusvaihe. Betonin kiviainekset by 43. Helsinki

Suomen Betoniyhdistys ry (2018b). Murskaus ja seulonta. Betonin kiviainekset by 43. Helsinki.

Suomen Kansallinen Geologian Komitea (2018a). Johdatussedimentti kivilajeihin. Saatavilla (viitattu: 10.2.2022): <https://www.geologia.fi/2018/06/25/johdatus-sedimenttikiviin/>

Suomen Kansallinen Geologian Komitea (2018b). Mitä ovat metamorfiset kivet? Saatavilla (viitattu: 10.2.2022): <https://www.geologia.fi/2018/06/25/mita-ovat-metamorfiset-kivet/>

Suomen Kansallinen Geologian Komitea (2019c). Kalliokiviaines. Saatavilla (viitattu: 10.2.2022): <https://www.geologia.fi/2019/12/18/kalliokiviaines/>

Suomen Kansallinen Geologian Komitea (2019d). Magmakivilajien luokittelu. Saatavilla (viitattu: 10.2.2022): [Magmakivien luokittelu – Geologia.fi](https://www.geologia.fi/magmakivien-luokittelu-geologia-fi)

Tapani Tervo (2019). Kivilajien syntytavat. Saatavilla (muokattu 23.3.2022): <https://kaiva.fi/geologia/kivilajit-ja%20-malmien-synty/kivilajien-jaottelu-ja-syntytavat/>