

Mirkka Korpi

BETONIMURSKEEN KÄYTTÖ TIERAKENTEESSA

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Elokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Mirkka Korpi: Betonimurskeen käyttö tierakenteessa [Utilisation of crushed concrete in road structures]

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Elokuu 2023

Suomessa betonimurskeen käyttö maarakentamisessa on alkanut 1990-luvulla. Betonimurskeen käyttöä puoltavat sen hyvät, jopa kalliomursketta paremmat, materiaaliominaisuudet ja ympäristöhyödyt. Betonimurske toimii hiilinieluna ja sen käyttö säästää luonnonvaroja ja vähentää kaatopaikalle loppusijoitettavan betonijätteen määrää.

Tässä työssä tutkitaan betonimurskeen soveltuvuutta tierakenteen kerroksiin. Työn tavoitteena on selvittää betonimurskeen hyödyntämisen etuja ja käytön edistämisen haasteita ja mahdollisuuksia. Tutkimus on tehty kirjallisuuskatsauksena kooten yhteen tietoa betonimurskeen ominaisuuksista, lainsäädännön ja ohjeiden vaatimuksista sekä käyttökohteista. Tierakenteen osalta käsitellään rakennekerrosten toiminnallisia tehtäviä, mitoitusta ja vaurioitumista. Betonimurskeen ominaisuuksia verrataan tierakenteen kerrosten vaatimuksiin ja tuodaan esiin sen vahvuuksia ja rajoittavia tekijöitä. Lisäksi SWOT-analyysin keinoin pohditaan betonimurskeen käytön tulevaisuutta.

Betonimurske valmistetaan betonijätteestä murskaamalla. Valmistuksen aikaisella näytteenotolla varmistetaan betonimurskeen laatu ja ympäristökelpoisuus. Betonijätteen alkuperän ja murskeen materiaaliominaisuuksien perusteella murske jaotellaan eri laatuluokkiin. Laadukas betonimurske on routimatonta ja rakenteessa lujittuvaa. Betonimurskeen hyödyntäminen on mahdollista ympäristöluvalla sekä MARA-asetuksen ja EEJ-asetuksen kriteerien mukaisesti. Käyttökohteita on rajattu ympäristön suojelemiseksi ja betonimurskeen ominaisuuksien tarkoituksenmukaiseksi hyödyntämiseksi.

Tierakenteessa päällysrakenteen kerrokset ottavat vastaan liikenteen kuormitukset ja jakavat ne mahdollisimman tasaisesti alusrakenteelle. Betonimursketta voidaan käyttää tierakenteen sitomattomissa kerroksissa ja sen lujittumista voidaan hyödyntää ohentamalla rakennekerroksia. Hyvät tekniset ominaisuudet ja ympäristöhyödyt kannustavat betonimurskeen käytön kasvattamiseen. Tulevaisuudessa betonimurskeen käyttöä voitaisiin edistää hankintakäytäntöjä kehittämällä ja toimijoiden yhteistyötä lisäämällä. Etenkin dokumentoinnin huolellisuus ja tiedonkulun varmistaminen ovat edellytyksiä käytön lisääntymiselle.

Avainsanat: betonimurske, tierakenne, maarakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. BETONIMURSKKE MATERIAALINA	2
2.1 Raaka-aineet.....	2
2.2 Valmistus	2
2.3 CE-merkintä.....	4
2.4 Tekniset ominaisuudet	4
3. BETONIMURSKETTA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ.....	7
3.1 Ympäristölupa.....	8
3.2 Jätteen pienimuotoinen hyödyntäminen kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen luvalla.....	10
3.3 MARA-asetus.....	10
3.4 Betoni-EEJ-asetus	11
3.5 Käyttökohteet.....	14
3.5.1 Ympäristökelpoisuus.....	16
3.5.2 Väyläviraston uusiomateriaaliselvitys.....	16
4. BETONIMURSKKEEN KÄYTTÖ TIERAKENTEESSA.....	18
4.1 Tierakenne.....	18
4.1.1 Tierakenteen mitoitus.....	19
4.1.2 Tierakenteen vaurioituminen.....	20
4.2 Tekniset vaatimukset	22
4.2.1 Muita vaatimuksia	24
4.3 Käyttökohteiden valinta	25
4.4 Kehityskohteet	27
5. YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET	30

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AVCP	Assessment and Verification of Constancy of Performance (Suoritus-tason pysyvyyden arviointi ja varmentaminen)
BeM	Betonimurske
CE	Conformité Européenne (eurooppalainen vaatimustenmukaisuus)
E	Kimmomoduuli, MPa
E _A	Odemarkin menetelmässä kerroksen alta saavutettava kantavuus, MPa
EU	Euroopan unioni
EEJ	Ei enää jätettä
EEJ-asetus	Betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperus-teista annettu valtioneuvoston asetus (VNa 466/2022)
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EoW	End of Waste
HE	Hallituksen esitys
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
Jätel	Jätelaki (646/2011)
KKL	Kuormituskertaluku
MARA-asetus	Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maara-kentamisessa (VNa 843/2017)
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
SWOT	Strengths (vahvuudet), Weaknesses (heikkoudet), Opportunities (mahdollisuudet) ja Threats (uhat)
VNa	Valtioneuvoston asetus
YSL	Ympäristönsuojelulaki (527/2014)

1. JOHDANTO

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali. Betonijätettä syntyy rakennuksen elinkaaren kaikissa vaiheissa, valmistuksessa, korjauksessa ja purkamisessa. Ympäristökuormituksen vuoksi betonin käytössä tulisi pyrkiä resurssitehokkuuteen. Syntyvän jätteen määrän vähentämisen lisäksi tämä tarkoittaa betonielementtien uudelleenkäyttöä ja betonijätteen hyödyntämistä. Suomessa betonijätteen kierrätys aloitettiin 1990-luvulla maarakentamisessa. Koeteitä rakentamalla selvitettiin betonimurskeen ominaisuuksia ja käytettävyyttä tierakenteessa. Betonimurskeen ensimmäiset suunnitteluohjeet julkaistiin jo vuonna 1996 ja mitoitusparametrit vuonna 1999. (Dettenborn 2013)

Nykyisin betonimurskeen käyttöä maarakentamisessa ohjaavat useat kansalliset sekä Euroopan unionin säädökset ja eri tahojen tuottamat ohjeistukset. MARA-asetuksen voimaantulo vuonna 2006 mahdollisti tietyin edellytyksin betonimurskeen hyödyntämisen maarakentamisessa ilman ympäristölupaa. Käyttömahdollisuudet laajenivat edelleen vuonna 2022 voimaan tulleen betonimurskeen EEJ-asetuksen myötä. Näillä lainsäädännön muutoksilla on haluttu lisätä betonimurskeen käyttöä. Betonimurskeen tehokkaalla hyödyntämisellä säästetään luonnonvaroja ja vältetään jätteen loppusijoitusta kaatopaikalle.

Tutkielman aluksi keskitytään betonimurskeeseen materiaalina. Ensin selvitetään betonimurskeen valmistusmenetelmiä ja laadunvalvontaa sekä laatuluokitusta ja murskeen teknisiä ominaisuuksia. Sen jälkeen käsitellään jätteiden hyödyntämiseen liittyvää lainsäädäntöä Suomessa, betonimurskeen hyödyntämisen asetuksia ja lupamenettelyä ja betonimurskeen tämänhetkisiä käyttökohteita. Neljännessä luvussa tarkastellaan tierakenteen tehtäviä ja betonimurskeen kelpoisuutta rakenteeseen. Tierakenteen kerrosten ja mitoituksen esittelyn jälkeen selvitetään kerrosmateriaalien vaatimuksia. Seuraavaksi tutkitaan betonimurskeen soveltuvuutta eri tierakenteen kerroksiin ja käytön hyötyjä. Viimeisenä pohditaan betonimurskeen käytön kasvattamisen edellytyksiä ja kehityskohteita.

Tutkielman tavoitteena on selvittää betonimurskeen ominaisuuksia ja soveltuvuutta eri tierakenteen kerroksiin. Tutkielmassa kootaan yhteen betonimurskeen käyttöä koskevaa lainsäädäntöä ja vaatimuksia sekä nostetaan esiin betonimurskeen käytön hyötyjä tierakenteessa. Lisäksi selvitetään betonimurskeen käytön edistämisen haasteita ja mahdollisuuksia.

2. BETONIMURSKKE MATERIAALINA

2.1 Raaka-aineet

Betonin raaka-aineita ovat kiviaines, sementti ja vesi sekä mahdolliset lisäaineet. Kiviaines on betonin runkoainesta, se on joko soraa tai kalliosta murskattua kiviainesta. Suurin osa betonin painosta on runkoainesta. Betonin sideaineena käytetään kalkkikivestä valmistettavaa sementtiä. Lisäaineita ovat muun muassa huokostimet ja notkistimet, joilla pyritään parantamaan betonin työstettävyyttä. (Häkkinen 2019)

Betonijätettä syntyy betoniteollisuudessa, uudisrakentamisessa sekä rakenteiden ja rakennusten korjauksessa ja purkamisessa. Betonimurske valmistetaan betonijätteestä murskaamalla. (SFS 5884:2022) Betonijäte saattaa sisältää tiiltä sekä pieniä määriä muita materiaaleja, kuten kipsiä, puuta, muovia ja eristemateriaaleja. Epäpuhtaudet heikentävät betonimurskeen laatua. (Linden 2017) Kierrätettyä betonimursketta voidaan käyttää uuden betonin runkoaineena. Myös sementtiä voidaan korvata kierrätetyillä lujituvilla materiaaleilla, esimerkiksi masuunikuonalla ja lentotuhkalla. (Häkkinen 2019)

2.2 Valmistus

Suomessa syntyy vuosittain noin 2,5 miljoonaa tonnia jätebetonia (Betoniteollisuus 2023), arviolta puolet siitä on betoniteollisuuden ja uudisrakentamisen ylijäämäbetonia ja toinen puoli peräisin vanhojen rakennusten purkutyömailta. Betonijätteestä valmistetaan mursketta vuosittain noin 700 000–1 000 000 tonnia. (Forsmann & Dettenborn 2019) Betonimursketta valmistetaan sekä kiinteillä betonijätteen vastaanottoalueilla että purkukohteiden yhteydessä.

Purkutyömaalla purettavien betonirakenteiden hyödyntämiskelpoisuus selvitetään vielä pystyssä olevan rakenteen esitestauksella, jonka avulla määritetään rakenteen haitta-ainepitoisuus ja haitta-aineiden liukoisuudet. Tämän jälkeen purkutyö suoritetaan lajittelevana purkuna, jossa betonijätteestä erotellaan havaittavissa olevat muut materiaalit ja tarvittaessa pitoisuuksiltaan murskeeseen kelpaamaton jäte. Lajittelun jälkeen betonijäte joko varastoidaan työmaalle murskausta varten tai kuljetetaan kiinteälle vastaanottoalueelle. Jätteen kuljetuksessa ja varastoinnissa on huomioitava, että siihen ei pääse epäpuhtauksia eivätkä myöskään sen mahdolliset epäpuhtaudet aiheuta haittaa ympäristölle tai terveydelle. (SFS 5884:2022)

Kiinteällä vastaanottoalueella jalostusprosessi alkaa jätebetonille silmämääräisesti tehtävästä vastaanottotarkastuksesta ja punnituksesta. Esikäsitelty ja tarvittaessa esipaloi- teltu betonijäte murskataan haluttuun raekokoon murskauslaitoksessa. (Linden 2017) Murskauksen yhteydessä purkubetonista erotetaan metallikappaleet magneettien avulla. Kevyempiä epäpuhtauksia voidaan erotella murskeesta pesu- tai puhallustekni- koilla tai seulomalla, mutta yleensä erottelu tehdään käsin. Lopuksi betonimurske seulo- taan haluttuun palakokoon, jolloin siitä saadaan koostumukseltaan mahdollisimman ta- salaatuista. (Häkkinen 2019) Betonimurske seulotaan tavallisesti raekokoluokkiin 0/45 tai 0/90, mutta kaupallisia betonimursketuotteita on 0/8 mm raekoisesta lajitteesta läh- tien. (Rudus 2017)



Kuva 1. Puhdistettua ja seulottua betonimursketta. (Rudus 2022)

Betonimurskeen laatua seurataan valmistuksen aikana aistinvaraisesti sekä suunnitel- mallisella näytteenotolla. Näytteenoton tarkoituksena on betonimurskeen teknisten omi- naisuuksien laadunvalvonta ja ympäristökelpoisuuden tutkiminen. Laadunvalvontanäyt- teet otetaan valmistuksen aikana poistopään betonimurskevirrasta ja tarvittaessa väliva- rastoidusta murskeesta. Testausiheyden on oltava maarakentamisen kiviaineksia käsit- televän standardin SFS-EN 13242 mukainen tai rakennusosakohtaisten laatuvaatimus- ten ja -suositusten mukainen. Suomessa noudatetaan InfraRYLin (2017) vaatimuksia. Laadunvalvontatutkimustuloksia verrataan standardin SFS 5884:2022 *Betonimurskeen maa- ja viherrakennuskäytön laadunvalvontajärjestelmä* raja-arvoihin, ja tekniset ominai- suudet tutkitaan niin tiheästi kuin täytyy vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi. Be- tonimurskeesta laaditaan tuoteseloste tai markkinoille asetettavalle CE-merkitylle tuot- teelle suoritustasoilmoitus. Valmis betonimurske varastoidaan ja kuljetetaan käyttäjille

ympäristö- ja turvallisuusmääräysten mukaisesti ja huolehtien, että sen laatuominaisuudet täyttävät ilmoitetun laatuluokan vaatimukset. (SFS 5884:2022)

2.3 CE-merkintä

EU:n rakennustuoteasetuksen ((EU) N:o 305/2011) mukaan harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan kuuluvat rakentamisessa käytettävät materiaalit on CE-merkittävä. Maarakentamiseen valmistettavan ja markkinoille saatettavan betonimurskeen tulee olla CE-merkittyä standardin SFS-EN 13242 mukaisesti. CE-merkittävän betonimurskeen raekoko voi olla korkeintaan 90 millimetriä. Samassa kohteessa valmistettava ja käytettävää betonimurskettä ei tarvitse CE-merkitä, mikäli se ei vaihda omistajaa eli sitä ei saateta markkinoille. (Väylävirasto 2022)

CE-merkintä on yhdenmukainen eurooppalainen tapa tuotteen ominaisuuksien ilmoittamiseen ja parantaa tuotteiden vertailtavuutta. CE-merkinnällä valmistaja vakuuttaa, että rakennustuotteen ominaisuudet on tutkittu ja ilmoitettu harmonisoidun tuotestandardin mukaisesti. Valmistaja laatii tuotteelle määrämuotoisen suoritustasoilmoituksen, jossa kerrotaan rakennustuotteen ominaisuuksien arvot ja luokat, ja vastaa tietojen paikkansapitävyydestä. Rakennustuotteiden osalta on huomioitava, että CE-merkintä ei takaa tuotteen soveltuvuutta tiettyyn kohteeseen. Tuotteen kelpoisuus on arvioitava erikseen kohdekohtaisten suunnitelmien, olosuhteiden sekä rakentamismääräysvaatimusten perusteella. (Ympäristöministeriö 2023a) Vaikka betonimurskettä ei CE-merkittäisi, sen laatu on tutkittava ja näytettävä, että se täyttää ympäristökelpoisuuden sekä tilaajan ja käyttökohteen asettamat tekniset laatuvaatimukset. (Väylävirasto 2022)

2.4 Tekniset ominaisuudet

Betonimurskeen tekniset ominaisuudet määritetään valmistuksen aikaisella näytteenotolla. Suoritustasoilmoitukseen sisältyviä teknisiä ominaisuuksia ovat rakeisuus, hienoainespitoisuus, kiintotiheys, iskunkestävyys (LA-luku) ja osa-aineiden luokittelu. Lisäksi suoritustasoilmoituksen ulkopuolella ilmoitetaan puristuslujuus, routivuus, maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus. Murskeen laatuluokka selvitetään vertaamalla määritettyjä ominaisuuksia standardin SFS 5884 mukaisiin raja-arvoihin. Tiettyyn laatuluokkaan kuulukseen betonimurskeen on täytettävä kaikki taulukon 1 kohtien 1–9 vaatimukset.

Taulukko 1. *Betonimurskeen laatuluokitus (SFS 5884:2022)*

Kohta	Ominaisuus	BeM Ia/b	BeM IIa/b	BeM III	BeM IV
1	Raaka-ainelähde	Betoniteollisuus	Betoniteollisuus, rakennus-, saneeraus- tai purkutyömaa	Betoniteollisuus, rakennus-, saneeraus- tai purkutyömaa	Betoniteollisuus, saneeraus- tai purkutyömaa
2	Rakeisuus				
3	Hienoainespitoisuus	< 7 %	< 7 %		
4	Puristuslujuus	> 1,2 MPa	> 0,8 MPa		
5	Routivuus	Routimaton	Routimaton	Vaihtelee	Vaihtelee
6	Kiintotiheys				
7	Uusiokiviaineksen osa-aineiden luokittelu - Betonin osuus Rc - Betoni +kiviaines +lasi Rcug - Tiilen maksimiosuus Rb	Rc > 90 paino-% Rb < 10 paino-%	Rcug > 90 paino-% Rb < 10 paino-%	Rcug > 90 paino-% Rb < 10 paino-%	Rcug > 70 paino-% Rb < 30 paino-%
8	Muiden materiaalien maksimiosuus ¹	< 1 paino-%	< 1 paino-%	< 1 paino-%	< 1 paino-%
9	Kelluvat materiaalit ²	< 5 cm ³ /kg	< 5 cm ³ /kg	< 10 cm ³ /kg	< 10 cm ³ /kg

¹ esimerkiksi metallit, kellumattomat puut, muovit, kumit, yms.

² esimerkiksi solumuovit ja mineraalivilla

Betonijätteen alkuperän ja murskeen materiaaliominaisuuksien perusteella murske jaotellaan kuuteen eri luokkaan: BeM Ia, BeM Ib, BeM IIa, BeM IIb, BeM III ja BeM IV. Betonimurskeen EEJ-asetuksen voimaantulon jälkeen laatuluokittukseen on lisätty tieto tuotteen jätestatuksesta: a-luokan betonimurskeiden jätteeksi luokittelu on päätynyt, muut luokat ovat edelleen jätettä. BeM I-luokan mursketta voidaan valmistaa vain betoniteollisuuden ylijäämäbetonista, luokkien BeM II-IV murskeissa voidaan käyttää myös työmaiden betonijätettä. (SFS 5884:2022)

Kaikki testattavat ominaisuudet eivät vaikuta laatuluokittukseen, mutta niiden on täytettävä käyttökohteen rakennusosien vaatimukset. Luokkien Ia-IIb betonimurskeet ovat routimattomia. Luokkien III-IV murskeen hienoainespitoisuuden ollessa alle 7 prosenttia, routivuus voidaan tarkistaa rakeisuuskäyrältä. Luokkien BeM I-III betonimurskeiden geotekniset ominaisuudet ovat tavallisesti lähellä toisiaan, jos niiden osa-aineissa ja alkupe-
rässä ei ole suuria eroja. BeM IV-luokan murskeen ominaisuudet vaihtelevat enemmän, koska koostumuskin saa olla vaihtelevampi. Taulukossa 2 esitetty mitoitusparametrejä luokissa BeM I-III.

Taulukko 2. *Betonimurskeen mitoitusparametrejä luokille I-III. (Väylävirasto 2022)*

Ominaisuus	Lyhenne	Arvo	Yksikkö
Optimivesipitoisuus	w_{opt}	8...12	%
Maksimikuivatilavuuspaino	γ	17,5...20,5	kN/m ³
Minimikuivatilavuuspaino	γ	12,7...14,5	kN/m ³
Kiintotiheys	ρ	2,55...2,65	t/m ³
Kapillaarisuus	H_c	0,2...0,25	m
Vedenläpäisevyys	k	10^{-4} ... 10^{-5}	m/s
Happamuus	pH	11...12,5	-
Leikkauskestävyysskulma	φ	40	°

Betonimurskerakenteen on todettu lujittuvan rakentamisen jälkeen sen sisältämän sementin hydratoitumisen myötä. Lujittumisen on huomattu olevan suurinta ensimmäisten vuosien aikana ja hidastuvan noin 2–5 vuoden kuluessa rakentamisesta. Lujittuminen vaihtelee laatuluokittain, eikä ole yhtä suurta epäpuhtauksia sisältävillä murskeilla. (HSY 2014) Koerakenteiden kantavuuden kehitystä ja pitkäaikaistoimivuutta koskevissa tutkimuksissa on havaittu betonimurskekerroksen sisältävien tierakenteiden saavuttavan 15–25 prosenttia suuremman kantavuuden päällysteen pinnalta luonnonkiviaineksella rakennettuihin verrattuna. (Dettenborn 2013) Taulukossa 3 on luokkien I-III betonimurskeiden mitoituksessa käytettävät kantavuusarvot eli E-moduulit.

Taulukko 3. *Tien päällysrakenteen mitoituksessa käytettävät betonimurskeen E-moduulit (Liikennevirasto 2018).*

Materiaali	E (MPa)	Huomautukset
BeM Ia/b	700	$E_A \geq 70$, n=10
BeM IIa/b	500	$E_A \geq 50$, n=10
BeM III	280	$E_A \geq 47$, n=6

Käytettävä E-moduuli riippuu myös alustan kantavuudesta (E_A). Jos E_A on pienempi, kuin taulukossa annettu arvo, mitoituksessa käytettävä moduuli on kerroin $n \times E_A$. (Liikennevirasto 2018).

3. BETONIMURSKETTA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ

Betonimurskeen käyttöä maarakentamisessa ohjaavat useat kansalliset sekä Euroopan unionin (EU) säädökset ja eri tahojen tuottamat ohjeistukset. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2008/98/EY) jätteistä on Suomessa pantu täytäntöön jätelailla (JätelL 646/2011) Jätelain tavoitteena on kiertotalouden ja luonnonvarojen kestävä käytön lisääminen sekä jätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen. Lisäksi sillä pyritään ehkäisemään jätteistä ja jätehuollosta aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle, varmistamaan jätehuollon toimivuus sekä ehkäisemään roskaantumista. (JätelL 646/2011)

Jätelaissa on asetettu velvollisuus noudattaa etusijajärjestystä (kuva 2), jonka mukaan on ensisijaisesti vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Mikäli jätteen syntyä ei ole mahdollista ehkäistä, jätteen haltijan on valmisteltava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos jäte ei ole kierrätykseen sopivaa, se tulee hyödyntää muilla tavoin, esimerkiksi energiana. Etusijajärjestyksessä viimeisenä vaihtoehtona on jätteen loppukäsittely. (JätelL 646/2011) Etusijajärjestys perustuu EU:n jätedirektiivissä esitettyyn jätehierarkiaan ja sitä on noudatettava kaikissa jäsenmaissa.



Kuva 2. Jätteiden käsittelyn etusijajärjestys. (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2016)

Betonijätteen osalta etusijajärjestys tarkoittaa, että hankintoja tehdessä ja tuotannossa on pyrittävä välttämään hukkaa. Lisäksi betonirakenteiden elinkaaren aikaisesta kunnossapidosta on huolehdittava ja elinkaarta pyrittävä myös pidentämään korjaamalla ja muokkaamalla rakennuksia vastaamaan nykyisiä käyttötarpeita. Seuraavana hierarki-

assa oleva jätteen uudelleenkäyttö tarkoittaa esimerkiksi purettavien elementtien hyödyntämistä sellaisenaan toisessa paikassa samassa tai uudessa käyttötarkoituksessa. Kierrätykseen sisältyy betonijätteen jalostaminen ja hyödyntäminen uusiomateriaalina kuten betonimurskeena. Betonijätettä ei voida hyödyntää energiana, joten viimeisenä vaihtoehtona on jätteen asianmukainen loppukäsittely vastaanottoaikassa.

Vaarattomalle rakennus- ja purkujätteelle on valtioneuvoston asetuksessa jätteistä (978/2021) asetettu tavoite 70 painoprosentin materiaalihyödyntämisestä kalenterivuositain. Tavoite ei ole toteutunut, ja hyödyntämisaste on jäänyt viime vuosina 50–60 prosenttiin. Tavoitteen saavuttamiseksi on tehtävä merkittäviä lisätoimia rakennus- ja purkujätteen erilliskeräyksen, kierrätyksen ja muun materiaalina hyödyntämisen tehostamiseksi. Lisäksi tilastoinnin luotettavuutta pyritään parantamaan kehittämällä tiedonkeruuta digitaalisin ratkaisuin. (HE 40/2021 vp) Betoniteollisuus ry:n mukaan betonijätteen kokonaiskierrätysaste on yli 80 prosenttia (Betoniteollisuus 2023), mutta rakennus- ja purkutyömaiden betonijätteen kierrätysaste voi olla selkeästi pienempi.

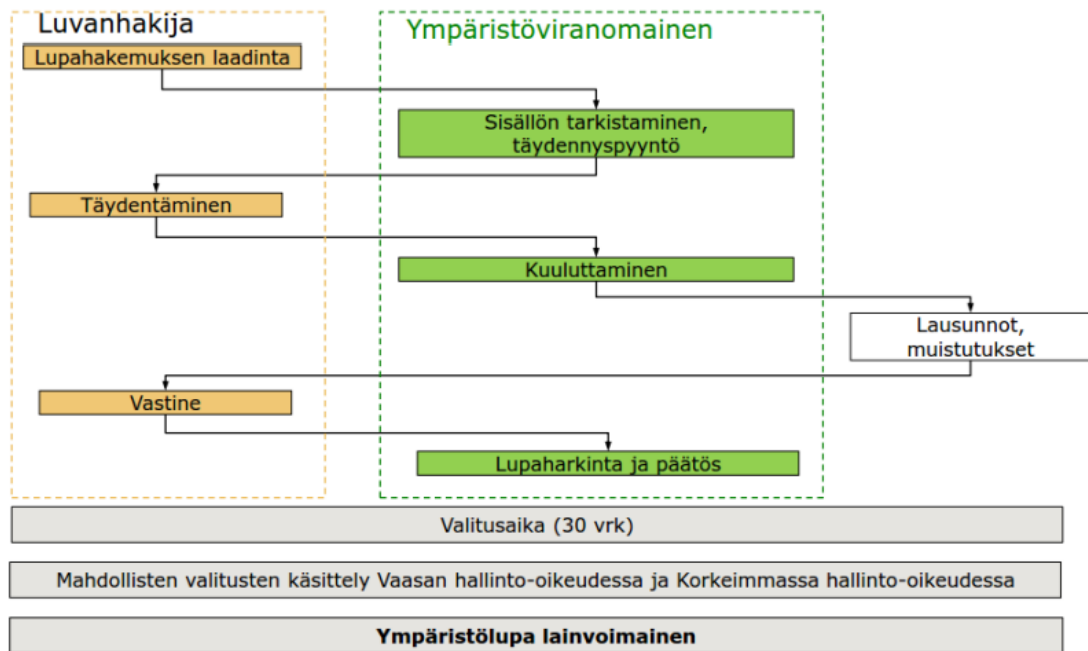
Jätelain lisäksi jäteverolain (1126/2010) mukaiset jäteveron portaittaiset nostot kannustavat betonijätteen kierrätykseen loppukäsittelyn sijaan. Viimeisin korotus on tehty vuoden 2023 alussa ja veron määrä on 80 euroa tonnilta. Jäteveroa maksetaan loppukäsittelypaikkaan toimitettavasta jätteestä.

3.1 Ympäristölupa

Ympäristölupa on oltava ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan, josta säädetään ympäristönsuojelulain liitteen 1 taulukossa. Betonimurskeen hyödyntäminen vaatii lähtökohtaisesti ympäristöluvan, koska sen voidaan katsoa kuuluvan taulukon kohdan 13. f) mukaiseen jätelain soveltamisalaan kuuluvan jätteen ammatti- tai laitospäätöön. Lisäksi lupaa edellytetään toimintaan, jota harjoitetaan tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella, tai jos toiminnasta voi aiheutua pohjaveden pilaantumisen vaaraa tai vesistön pilaantumista sekä naapurisuhteista annetun lain (26/1920) mukaista kohtuutonta rasitusta. (YSL 527/2014)

Ympäristönsuojelulain selvilläolo- ja selvitysohjeiden (6 §) mukaan toiminnanharjoittajan tulee olla selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja niiden hallinnasta sekä vaikutusten vähentämismahdollisuuksista. Ympäristölupahakemukseen sisällytetään jätteen käsittely- ja hyödyntämistoiminnan kuvaus, hyödyntämisaikajänkeä sekä toiminnasta aiheutuvat päästöt ja vaikutukset ympäristöön, maaperään ja vesistöihin (VNa 713/2014). Kunnan ympäristönsuojeluviranomainen käsittelee lupahakemuksen, mikäli

hyödynnettävän betonimurskeen määrä on alle 50 000 tonnia vuodessa ja valtion ympäristölupaviranomainen (aluehallintovirasto), mikäli määrä on yli 50 000 tonnia. Ympäristölupaprosessi on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Ympäristölupaprosessin eteneminen. (Järvinen 2018)

Ympäristöluvan hakeminen on pitkäkestoinen prosessi, aluehallintovirastossa hakemusten tavoitteellinen käsittelyaika on 10 kuukautta. Hyvin laadittu ja ajoissa viranomaiselle toimitettu lupahakemus jouduttaa käsittelyä, vastaavasti käsittelyaika voi pidentyä, mikäli hakemus on puutteellinen ja sitä joudutaan täydentämään. (Aluehallintovirasto 2023) Ympäristölupaviranomainen tiedottaa hakemuksesta kuulutuksella, joka on nähtävillä vähintään 30 vuorokauden ajan. Muilta viranomaisilta pyydetään lausunnot hakemukseen liittyen. Asianosaisten on mahdollista tehdä hakemuksesta muistutus. Luvan hakijalta pyydetään vastine lausunnoista ja muistutuksista. Tämän jälkeen lupaviranomainen tekee asiassa päätöksen. Päätöksestä voi valittaa Vaasan hallinto-oikeuteen ja edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen, jos valituslupa myönnetään. (Ympäristöhallinto 2023) Toiminnan voi aloittaa, kun ympäristölupapäätös on lainvoimainen. Ympäristölupapäätöksessä voidaan antaa lupamääräyksiä, joiden pyrkimyksenä on rajoittaa toiminnan vaikutuksia ympäristöön. Määräykset voivat koskea esimerkiksi toiminnasta aiheutuvien päästöjen valvontaa ja rajoittamista sekä raportointia. (VNa 713/2014)

3.2 Jätteen pienimuotoinen hyödyntäminen kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen luvalla

Betonimurskeen pienimuotoinen ja kertaluonteinen hyödyntäminen voi olla mahdollista kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen luvalla. Käytännössä hyödyntämisen on kunnan tulkinnan mukaan oltava ei-ammattimaista. Hyödyntämismäärälle ei ole laissa asetettua ylärajaa, mutta jätteen laadun mukaan käytön ylärajana on pidetty 100–1000 tonnia jätettä. Pienimuotoisen hyödyntämisen käytännöt, kriteerit ja lupamenettelyt ovat kunta- ja aluekohtaisia. Jollain alueilla kunnat eivät myönnä ollenkaan lupia jätteen hyödyntämiseen. (Väylävirasto 2022)

Tampereen kaupungin ympäristönsuojelumääräysten mukaan maarakentamiskohdeissa voidaan hyödyntää korkeintaan 500 tonnia ympäristölle haitatonta betonimursketta korvaamaan luonnonkiviainesta. Betonijäte tulee murskata korkeintaan 90 millimetrin palakokoon ja murskeesta voidaan rakentaa korkeintaan 1,5 metrin paksuinen kerros. Jätettä sisältävä rakenne on peitettävä tai päällystettävä. Hyödyntämisestä ilmoitetaan kirjallisesti Tampereen kaupungin ympäristönsuojeluviranomaiselle vähintään 30 vuorokautta ennen toiminnan aloittamista. Hyödyntämiseen on oltava maanomistajan ja haltijan suostumus. (Tampereen kaupunki 2023)

3.3 MARA-asetus

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (VNa 843/2017) eli MARA-asetus on merkittävin betonimurskeen hyödyntämistä koskeva säädös. Se mahdollistaa tiettyjen edellytysten täytyessä betonimurskeen käytön maarakentamisessa ilman ympäristönsuojelulain (YSL 527/2014) mukaista ympäristölupaa. Asetuksessa sallittu betonimurskeen käyttö on mahdollista rekisteröinti-ilmoituksella, jota valvoo ELY-keskus sekä kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Rekisteröintimenettelyn etuna on jätteiden hyödyntämisen nopeutuminen ja hallinnollisen prosessin keveneminen sekä yritysten että viranomaisten osalta. (Ympäristöministeriö 2017)

MARA-asetuksella betonimursketta voidaan hyödyntää väylä- ja kenttärakenteissa sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteissa. Betonimurskeen hyödyntämisen on oltava suunnitelmallista ja täytettävä maarakentamiskohteen rakennusosien tekniset ja toiminnalliset vaatimukset. (VNa 843/2017) Materiaalikohtaisilla rajoituksilla pyritään ohjaamaan jätemateriaaleja niille parhaiten soveltuviin käyttökohteisiin, esimerkiksi vallirakenteet on rajattu betonimurskeen käyttömahdollisuuksien ulkopuolelle. Asetuksen mukaisesti aiemmin hyödynnettyä ja rakenteesta poistettua betonimursketta voidaan myös

hyödyntää uudelleen asetuksen mukaisessa maarakentamisessa. (Ympäristöministeriö 2017)

MARA-asetuksella hyödynnettävän betonimurskeen suurin sallittu kappalekoko on 90 millimetriä ja mursketta saa olla rakenteessa yhteensä 1,5 metrin paksuinen kerros. Murskerakenne on peitettävä vähintään 10 senttimetrin paksuisella kerroksella pilaantumaton luonnonkiviainesta tai päällystettävä asfaltilla, jonka tyhjätila on enintään 5 prosenttia tai muulla vastaavalla materiaalilla. Valmiista betonimurskeesta tutkitaan haitallisten aineiden liukoisuus ja pitoisuus MARA-asetuksen vaatimuksien mukaisesti vähintään 20 osanäytteestä koostuvalla kokoomanäytteellä. Yksi kokoomanäyte voi edustaa enintään 10 000 tonnia mursketta tai yhtä murske-erää sen ollessa tätä pienempi. Rakennus- ja purkukohteista peräisin olevan betonimurskeen haitta-aineet tutkitaan purkukohdekohtaisesti. Haitallisten aineiden liukoisuudelle ja pitoisuuksille on määritetty raja-arvot käyttökohteittain. Peitetylle materiaalille ne ovat tiukemmat, sillä sen vedenläpäisevyys on päällystettä suurempi. Betonimurske saa sisältää korkeintaan yhden painoprosentin siihen kuulumatonta vedessä kellumatonta ainesta, kuten puuta, kumia tai metallia. Murskeessa saa olla enintään 10 cm³/kg vettä kevyempiä materiaaleja, kuten muovia ja eristemateriaaleja. Lisäksi betonijäte saa sisältää enintään 30 painoprosenttia tiili- ja kaakelijätettä. (VNa 843/2017) Kaikki laatuluokkien I-IV betonimurskeet täyttävät osa-aineiltaan nämä vaatimukset.

Betonimurskeen hyödyntämispaikka ei voi sijaita I- tai II-luokan pohjavesialueella eikä alle 30 metrin etäisyydellä talousvesikäytössä olevasta kaivosta tai vedenottamosta. Jätettä sisältävän rakennekerroksen on oltava vähintään 1 metrin etäisyydellä pohjaveden enimmäiskorkeudesta myös muilla pohjavesialueilla. Jättemateriaaleja ei saa hyödyntää asumiseen tai lasten leikkipaikaksi tarkoitetuilla alueilla, luonnonsuojelualueilla, ravintokasvien viljelyyn tarkoitetuilla alueilla, eikä sisämaan tulvavaara-alueilla. Samat ehdot koskevat jättemateriaalin välivarastointipaikan sijaintia. (VNa 843/2017)

3.4 Betoni-EEJ-asetus

Jätteeksi luokittelun päättymisen eli End of Waste (EoW) -menettely on lähtöisin EU:n jätedirektiivistä (2008/98/EY). EU-tasolla on annettu EoW-asetukset lasimurskeelle sekä rauta-, teräs-, alumiini- ja kupariromuille. Direktiivin perusteella on mahdollista antaa kansallisia jätteeksi luokittelun päättymistä koskevia asetuksia, mikäli EU-tasolla ei ole vastaavaa säädöstä. Betonimurskeen ei enää jätettä (EEJ) -asetus on ensimmäinen kansallinen asetus koskien materiaalin jätteeksi luokittelun päättymistä. (Kauppila et. al. 2018; Ympäristöministeriö 2023b).

Betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista annettu valtioneuvoston asetus (VNa 466/2022) eli betoni-EEJ-asetus astui voimaan 1.9.2022. Asetuksessa määritellään kansalliset kriteerit, joiden perusteella betonijätteestä valmistettu murske lakkaa olemasta jätettä ja voidaan saattaa markkinoille tuotteena. Yhtenäiset vaatimukset tukevat toiminnanharjoittajien tasapuolista kohtelua ja edesauttavat jätebetonin tuotteistamista ja jalostamista sekä uusien käyttökohteiden ja innovaatioiden syntyä. Betoni-EEJ-asetuksen vaatimukset täyttävää mursketta voidaan käyttää tarkoituksissa, joissa jalostusarvo on esimerkiksi MARA-asetuksen mukaista maarakentamista korkeampi. (Ympäristöministeriö 2022) EEJ-asetus ei vaikuta muuhun voimassa olevaan lainsäädäntöön ja MARA-asetuksen tai ympäristöluvan mukainen betonimurskeen hyödyntäminen on edelleen mahdollista.

Betoni-EEJ-asetusta sovelletaan toimipaikkakohtaisesti valmistajaan, jolla on ympäristönsuojelulain (527/2014) 27 §:ssä tarkoitettu ympäristölupa betonijätteen murskaustoimintaan tai valmistajaan, jonka toiminnassa murskataan betonijätettä kiinteän betoniaseman ja betonituotetehtaan ympäristönsuojeluvaatimuksista annetun valtioneuvoston asetuksen (858/2018) nojalla. Valmistajan on ilmoitettava kirjallisesti EEJ-asetuksen arviointiperusteiden käyttöönotosta toimivaltaiselle viranomaiselle vähintään 30 vuorokautta ennen niiden käyttöönottamista. Valmistajan on raportoitava toiminnassaan käyttämistään jätteistä, muutoksista laadunvarmistusjärjestelmässä, betonimurskeen haitallisten aineiden ja epäpuhtauksien määristä sekä valmistetun arviointiperusteet täyttävän murskeen määristä vuosittain valvontaviranomaiselle. (VNa 466/2022)

Valmistajalla eli toiminnanharjoittajalla on oltava kolmannen, riippumattoman osapuolen sertifioima laadunvarmistusjärjestelmä. Laadunvarmistusjärjestelmän avulla todennetaan betonijätteen käsittelyn ja valmiin betonimurskeen vaatimusten täytyminen jatkuvatoimisesti. Valmistajan on laadittava näytteenottoa ja näytteiden esikäsittelyä ja testaamista koskevat ohjeet ja sisällytettävä ne laadunvarmistusjärjestelmään. Laadunvarmistusjärjestelmästä vastaavien ja laadunvarmistukseen osallistuvien henkilöiden tulee olla asianmukaisesti perehdytettyjä. Laadunvarmistusjärjestelmää arvioidaan ja auditoidaan suunnitelmallisesti. (VNa 466/2022)

Betonimurskeen raaka-aineena eli syöttöpanoksena voidaan hyödyntää käyttämätöntä betonia, käyttämättömiä betonituotteita tai käytettyä betonia. Valmistajan on tehtävä betonijätteelle vastaanottotarkastus ja määriteltävä vastaanottovaatimukset siten, että betonijätteestä voidaan valmistaa arviointiperusteet täyttävää mursketta. Käyttämättömistä betonituotteista ja käytetystä betonista peräisin oleva betonijäte tarkastetaan vastaanoton yhteydessä jäte-erittäin sekä ennen esikäsittelyä. Vastaanottotarkastuksessa varmistetaan, että purkamisessa syntynyt betonijäte soveltuu laadultaan ja puhtaudeltaan

betonimurskeen valmistukseen, purkaminen on tehty lajittelevana purkuna ja siirtoasiakirja on laadittu. Lisäksi on varmistettava, ettei betonijätteeseen ole päässyt epäpuhtauksia eivätkä erilaiset erät ole sekoittuneet varastoinnin tai kuljetuksen aikana. Vastaanottoa varten on laadittava kirjalliset ohjeet ja vastaanottotarkastuksista on pidettävä kirjaa. Betonijäte-erää, jossa havaitaan työturvallisuutta heikentäviä tai sellaisia epäpuhtauksia, joita ei voida riittävästi poistaa käsittelyssä, ei voida ottaa vastaan. Myös vastaanottamatta jätetyistä eristä on tehtävä kirjanpito, johon on kirjattava erän hylkäysperuste. (VNa 466/2022)

Betonituotteista ja käytetystä betonista peräisin oleva betonijäte esikäsitellään epäpuhtauksien poistamiseksi. Betonijäte murskataan käyttötarkoitusta vastaavaan, enintään 90 millimerin raekokoon. Käsittelyn yhteydessä käytetystä betonista pyritään poistamaan epäpuhtaudet, jotta se täyttäisi kelpoisuusvaatimukset. Asetuksen vaatimukset koskevat haitallisten aineiden sallittuja pitoisuuksia ja liukoisuuksia sekä epäpuhtauksien enimmäismäärää. Valmiin murskeen kelpoisuus osoitetaan kokoomanäytteistä, yksi kokoomanäyte voi edustaa enintään 10 000 tonnia murskettä tai yhtä murske-erää sen ollessa tätä pienempi. Kokoomanäyte koostetaan vähintään 20 jatkuvasta betonimurskevirrasta säännöllisesti otetusta osanäytteestä. Osanäytteet on otettava siten, että niistä muodostettava kokoomanäyte edustaa kokonaisuutena tutkittavaa jäte-erää. Haitta-aineiden ja epäpuhtauksien määrittämiseen on käytettävä standardoituja tai muita riittäviksi todettuja menetelmiä ja määriykset on teetettävä akkreditoitussa laboratorioissa. Näytteenoton menetelmiä, välineitä ja tuloksia koskee tarkka dokumentointivelvollisuus osana laadunvarmistusjärjestelmää. Betoni-EEJ-asetuksen mukaisen betonimurskeen on aina oltava CE-merkittyä. (VNa 466/2022)

Käytetystä betonista valmistettua murskettä voidaan käyttää kiviaineksena talon- ja maarakentamisessa sekä valmisbetonin ja betonituotteiden valmistuksessa. Käyttämättömästä betonista tai betonituotteesta valmistettua murskettä voidaan hyödyntää lisäksi kiviaineksena viherrakentamisessa ja lannoitteena, kalkitusaineena, maanparannusaineena tai kasvualustana. Kaikissa käyttötarkoituksissa kiviaineksena hyödynnettävän murskeen AVCP-luokan on oltava 2+. AVCP-luokka kertoo, missä määrin ilmoitettu laitos osallistuu tuotteen ominaisuuksien ja laadunvalvonnan varmentamiseen valmistuksen aikana. Eri käyttötarkoituksiin tarkoitetut murskeet tulee varastoida erillään. Valmistaja laatii vaatimustenmukaisuusilmoituksen valmistamastaan ja markkinoille tuomastaan betonimurskeesta. Ilmoituksessa on oltava valmistajan tiedot, murskeen laatu ja määrä sekä käyttötarkoitus. Vaatimustenmukaisuusilmoitus on valmistajan vakuutus käyttäjälle betoni-EEJ-asetuksen mukaisten arviointiperusteiden täytymisestä. (VNa 466/2022)



Kuva 4. EEJ-asetuksen myötä betonimursketta voidaan hyödyntää myös kasvualustana. (Moreton Bay Recycling 2019)

Kiviaineksena maarakentamiseen, talonrakentamiseen tai viherrakentamiseen käytettäväksi aiotusta murskeesta on vaatimustenmukaisuusilmoituksessa ilmoitettava hyödyntämispaiikkaa koskevat rajoitukset. Betonimursketta ei saa sijoittaa pohjaveden pinnan alapuolelle. Vedenhankintaa varten tärkeällä tai muuhun vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella betonimurskeen etäisyyden pohjaveden pintaan tulee olla pysyvästi vähintään 2 metriä. Pintavesien ja korroosiolle alttiiden muiden rakenteiden läheisyydessä on huomioitava, että betonimurskeen läpi suotautuvan tai huuhtoutuvan veden pH-arvo on noin 11. Lisäksi betonimurskeen soveltuvuus suunniteltuun rakentamis-kohteeseen on arvioitava käyttökohdekohtaisesti. Lannoitteena, kalkitusaineena, maanparannusaineena tai kasvualustana käytettäväksi aiotun betonimurskeen vaatimustenmukaisuusilmoituksessa on ilmoitettava lannoitelainsäädännön mukainen tyyppinimi, tuoteluokka tai vastaava kuvaus. (VNa 466/2022)

3.5 Käyttökohteet

Betonimurskeen sallitut käyttökohteet eroavat sovellettavan asetuksen mukaan. MARA-asetuksen mukaisia käyttötarkoituksia on rajoitetummin kuin betoni-EEJ-asetuksessa sallittuja. Ympäristöluvalla betonimurskeen käyttö voidaan sallia muissakin kohteissa ja yli 90 millimetrin raekoossa. Käyttökohteiden rajoitukset perustuvat käyttöpaikan sijainnin ympäristön suojelemiseen ja betonimurskeen ominaisuuksien tarkoituksenmukaiseen hyödyntämiseen. (Ympäristöministeriö 2017) Betonimurskeelta vaaditaan maarakennuskäytössä CE-merkintä, kun käyttötarkoitukseen on olemassa harmonisoitu standardi. MARA- ja EEJ-asetuksien mukaisissa käyttökohteissa betonimurskeen on aina oltava CE-merkittyä. Ympäristöluvalla voidaan hyödyntää vaatimukset täyttävää CE-

merkitsemätöntä mursketta vain, jos CE-merkintä ei ole mahdollinen kyseiseen käyttökohteeseen. (Forsman & Dettenborn 2019)

Betoni-EEJ-asetuksen tultua voimaan markkinoilla on tarjolla sekä betonimursketta, joka on luokiteltu jätteeksi ja betonimursketta, jonka jätteeksi luokittelu on päättynyt. Betonimurskeen käyttäjän tulee noudattaa vaatimustenmukaisuusilmoituksessa annettuja ohjeita. (Nissinen & Salminen 2022) MARA-asetuksessa ja ympäristöluvassa käyttökohte on viranomaisen hyväksymä. EEJ-murskeen käyttäminen ei vaadi erillistä hyväksyntää. EEJ-murskeen käytössä tilaajan, rakennuttajan ja suunnittelijan vastuu korostuvat, koska ohjeiden noudattaminen on tuotteen käyttäjän vastuulla.

MARA-asetuksessa betonimurskeen hyödyntäminen on rajattu väylä- ja kenttärakenteisiin sekä teollisuus- ja varastorakennusten pohjarakenteisiin. Väyliin kuuluvat erilaiset kapeahkot kulkuväylät, esimerkiksi tiet ja kadut, pyörätiet ja jalkakäytävät ja ulkoliikuntareitit. Kentät ovat väyliä leveämpiä pinta-alaltaan laajoja maarakenteita, esimerkiksi ratapihoja, pysäköintialueita tai ulkoliikuntapaikkojen kenttiä. InfraRYLin (2017) mukaan betonimurske soveltuu tie- ja katurakenteen jakaviin ja kantaviin kerroksiin sekä maapenkereisiin, esikuormituspenkereisiin ja kaivantojen lopputäyttöihin. EEJ-mursketta voidaan käyttää kiviaineksena talon-, maa- ja viherrakentamisessa, valmisbetonin ja betonituotteiden valmistuksessa sekä kasvualustana, lannoitteena ja kalkitus- tai maanparannusaineena. Betoni-EEJ-asetus on ollut voimassa vasta syyskuusta 2022 lähtien, joten EEJ-murskeen tuotteistus kehittyy ajan kuluessa. Uusia sovelluskohteita ovat esimerkiksi kivikorit, vallit ja viherrakentaminen sekä lannoitteet. (VNa 843/2017; VNa 466/2022)



Kuva 5. Ruduksen Vantaan Länsisalmen toimipisteen sisäänkäynnin kivikorit on täytetty betonimurskeella. (Rudus 2016)

Kuvan 5 kivikoriaita toimii varsinaisen käyttötarkoituksensa lisäksi kasvualustana. Rudus Oy on tutkinut muun muassa erilaisten kiviaineksen ja betonimurskeen sekoitusten toimivuutta kasvualustana vieraslajien torjunnassa ja perhosten sekä hyönteisten olosuhteiden parantamisessa. (Rudus 2016) Myös betonimurskeen emäksisyyttä voitaisiin hyödyntää uusissa käyttökohteissa. Esimerkiksi kohteissa, joissa halutaan nostaa kasvualustan, maan tai valumaveden pH:ta tai happamien valumavesien käsittelyssä ja fosforin sitomisessa. Näistä käyttökohteista ei ole vielä riittävästi tutkimustietoa tai pitkäaikaisia käyttökokemuksia. (Betoniteollisuus 2023)

3.5.1 Ympäristökelpoisuus

Jätteen ympäristökelpoisuudella tarkoitetaan, ettei siitä käyttötarkoituksessaan aiheudu vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle. Ympäristökelpoisuus tutkitaan edustavista kokoomanäytteistä MARA-asetuksen, betoni-EEJ-asetuksen tai ympäristöluvan vaatimusten mukaisesti. Ympäristökelpoisuus tutkitaan valmiista murskeesta tai EEJ-murskeen osalta jatkuvasta betonimurskevirrasta tehtävillä pitoisuus- ja liukoisuusanalyysillä. (SFS 5884:2022) Tutkittavia haitta-aineita ovat muun muassa raskasmetallit, sulfaatit ja PCB-yhdisteet. Sallitut pitoisuudet ja liukoisuudet on esitetty ympäristöluvan ehdossa ja MARA- ja EEJ-asetuksissa. EEJ-asetuksen raja-arvot ovat MARA-asetusta tiukemmat, koska EEJ-murskeen käyttömahdollisuudet ovat vastaavasti laajemmat.

3.5.2 Väyläviraston uusiomateriaaliselvitys

Uusiomateriaaliselvitysten lähtökohtana on Väyläviraston tavoite lisätä uusiomateriaalien käyttöä maarakentamisessa ja vähentää rakennushankkeille niiden ulkopuolelta tuotavien luonnonmateriaalien määrää. Uusiomateriaalien käytön kasvattaminen Väylähankkeissa edellyttää materiaalien käyttömahdollisuuksien, vaihtoehtojen ja saatavuuden selvittämistä hankkeissa jo suunnittelutyön aikana ennen urakkavaiheita. Uusiomateriaaliselvitys voidaan ajoittaa yleis-, rata- tai tiesuunnitelmavaiheeseen tai rakentamissuunnittelun yhteydessä tehtäväksi. Tärkeää, on että selvitys yhdistyy muun suunnittelun kanssa eikä jää siitä irralliseksi dokumentiksi. Selvityksien pilotoinnissa rata-/tiesuunnitelmavaihetta pidettiin parhaana ajankohtana selvityksen tekemiseen. Myös tarvittavat lupaprosessit voidaan käynnistää jo suunnittelun aikana. (Ahlqvist 2018)

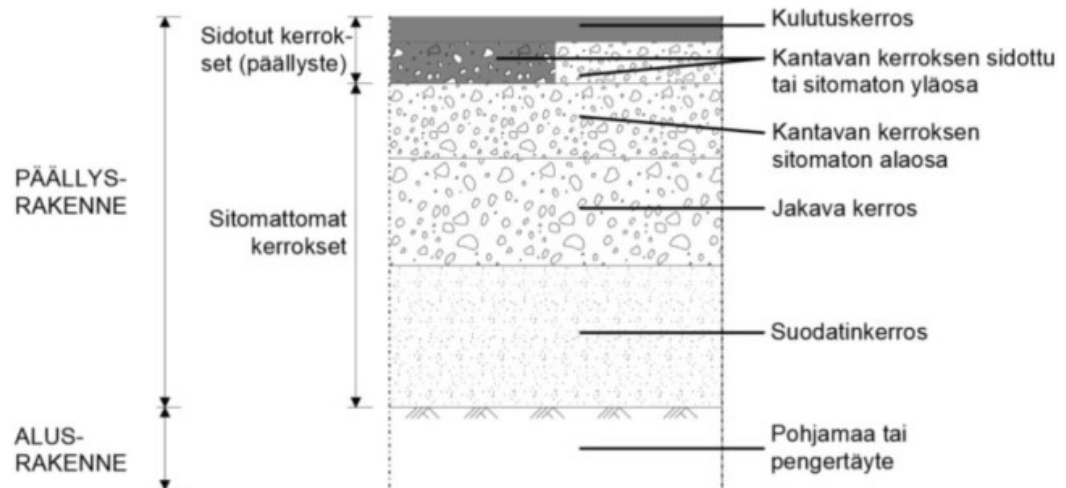
Uusiomateriaaliselvitys laaditaan alustavasti kaikissa tie- ja ratahankkeissa. Jos uusiomateriaalien käyttö on hankkeen massatalouden, kustannusten ja ympäristönäkökohtien mukaan aiheellista sekä teknisesti mahdollista, selvitetään uusiomateriaalien käyttöä perusteellisemmin suunnittelun yhteydessä. (Väylävirasto 2022) Selvityksen sisältö riippuu suunnittelun vaiheesta ja sen laajuutta voidaan varioida hankkeen tarpeiden mukaisesti.

Tie-/ratasuunnitelmavaiheessa selvitys sisältää vähintään hankkeen perustiedot, käyttökelpoiset uusiomateriaalit, niiden käyttökohteet sekä käytön vaikutusten arvioinnin. (Ahqvist 2018)

4. BETONIMURSKEEN KÄYTTÖ TIERAKEN- TEESSA

4.1 Tierakenne

Tierakenne koostuu alus- ja päällysrakenteesta. Alusrakenne on joko pohjamaata tai pengertäytettä. Päällysrakenteessa on useita eri kerroksia, joiden ominaisuudet ja materiaalit eroavat toisistaan. Päällysrakenteen kerrokset ottavat vastaan liikenteen kuormitukset ja jakavat ne mahdollisimman tasaisesti alusrakenteelle laajalle alueelle. Suomessa on tyypillisesti käytetty perinteistä joustavaa päällysrakennetta, joka koostuu sidotuista ja sitomattomista rakennekerroksista. Sidottuja kerroksia ovat kulutuskerros ja mahdollisesti kantavan kerroksen yläosa. Sitomattomia kerroksia ovat kantava kerros kokonaisuudessaan tai sen alaosa, jakava kerros ja suodatinkerros. (Lätti 2015). Päällysrakenteen rakennekerrokset on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Perinteinen joustava päällysrakenne (Belt et al. 2002, s. 11)

Ylin kerros eli päällyste on bitumisella sideaineella sidottu joustava kerros. Päällyste on rakennekerroksista jäykin, se ottaa vastaan suurimmat kuormat ja suojaa muita rakennekerroksia ympäristörasitukselta, kuten sateelta. Lisäksi päällysteen tehtävänä on tarjota liikenteelle turvallinen ja miellyttävä alusta. Kantava ja jakava kerros jakavat liikennekuormituksesta aiheutuvaa rasitusta ja suojaavat alapuolista rakennetta. Kantavan kerroksen on oltava tarpeeksi jäykkä, jottei päällysteen alapintaan muodostu liian suuria, lopulta rakenteen vaurioitumiseen johtavia vetojännityksiä. Kerroksien on kestettävä liikennekuormituksesta aiheutuvia rasituksia ja vaimennettava ne riittävän pieneksi. Kantava ja jakava kerros johtavat ylemmää rakenteeseen päätyneen veden pois rakenteesta

ja siten ehkäisevät routimista. Suodatinkerros estää ylempien rakennekerrosten sekoittumisen alusrakenteeseen ja kosteutta nousemasta kapillaarisesti pohjamaasta. Se hidastaa roudan tunkeutumista pohjamaahan ja kasvattaa routimatonta päällysrakennepaksuutta. Suodatinkerros läpäisee vettä ja osaltaan toimii rakennetta kuivattavana kerroksena. (Lätti 2015)

Jäykkä ja puolijäykkä päällysrakenne ovat Suomessa harvinaisempia. Jäykässä päällysrakenteessa kulutuskerros ja kantava kerros on korvattu betonilaatalla. Rakenne on herkkä epätasaisista painumista ja routimisesta aiheutuville epätasaisuuksille eikä sen pinta kestä nastarengaskulutusta. Puolijäykässä päällysrakenteessa päällysteen alapuolella on yksi tai useampi, tyypillisesti sementillä, sidottu kerros. Puolijäykkää päällysrakennetta on käytetty tapauksissa, joissa tierakenteen kestävyyttä pyritään parantamaan stabiloimalla rakennekerroksia sideaineella. Myös rakenne, jossa on voimakkaasti sitoutuvia sivutuotemateriaaleja, käyttäytyy puolijäykän päällysrakenteen tyyppisesti, esimerkiksi lentotuhka lujittuu rakenteessa. (Lätti 2015)

4.1.1 Tierakenteen mitoitus

Tierakenteen suunnittelussa ja mitoituksessa tulee huomioida liikennemäärä, käytettävät materiaalit ja alusrakenteen laatu. Tierakenne mitoitetaan liikenteen kuormitusta ja routimista vastaan. Alusrakenteen rakeisuuden, tasalaatuisuuden ja kuivatusolosuhteen perusteella määritetään alusrakenneluokka. Tierakenteen routa- ja kuormituskestävyysmitoituksessa käytettävät mitoitusparametrit riippuvat alusrakenneluokasta. (Liikennevirasto 2018)

Etenkin raskas liikenne kuormittaa tien rakennekerroksia, mistä voi aiheutua päällysteen halkeilua ja palautumattomia muodonmuutoksia alemmissä kerroksissa. Kuormituskestävyysmitoituksella pyritään ehkäisemään tien rakennekerrosten vaurioitumista. Kuormituskertaluvulla (KKL) kuvataan raskaan liikenteen aiheuttamaa rasitusta standardiakselien ylityskertojen lukumäärällä laskenta-ajan aikana. Kuormituskertaluku lasketaan ajosuuntakohtaisesti (KKL_{SUUNTA}). Laskennan lähtötiedoksi tarvitaan ennusteet liikenteen kokonaismäärästä ja raskaan liikenteen määrästä 10 vuotta tien liikenteelle avaamisesta. Laskentakaava riippuu liikenteen kokonaismäärästä ja tieluokasta. Kuormituskertaluku määrää tien kuormitusluokan, jonka perusteella saadaan tavoitekantavuus päällysteen ja kantavan kerroksen päältä ja päällysteen minimipaksuus. (Liikennevirasto 2018)

Kantavuusmitoitus tehdään pääsääntöisesti Odemarkin kaavalla. Mitoitus aloitetaan alusrakenteesta ylöspäin valiten kerrospaksuuksia ja materiaaleja niin, että päästään vä-

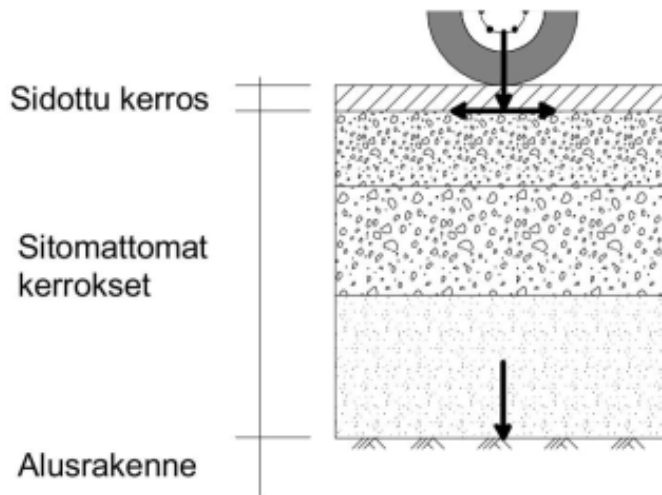
hintään kuormitusluokan mukaisiin tavoitekantavuuksiin. Kantavuusmitoituksen lähtötiedoksi tarvitaan materiaalien laskennalliset E-moduulit. Kaupallisten kiviainesten E-moduulit arvioidaan taulukoista niiden rakeisuusluokan ja raekoon perusteella, luonnonkiviainesten rakeisuuskäyrän ja läpäisyprosentin perusteella. Uusiomateriaalien E-moduuleille on oma taulukkonsa. Kerrospaksuuksia on mahdollista pienentää, jos tavoitekantavuus saavutetaan ohuemmillä kerroksilla. Kantavuuden lisäksi on kuitenkin huomioitava kustannustehokkuus sekä routamitoitus. (Liikennevirasto 2018)

Routamitoitus tehdään alusrakenteeltaan routiville tieosuuksille. Routamitoituksella pyritään hallittuun routanousuun ja tielle sallitaan tietty routanousu (RN_{SALL}), jonka suuruus riippuu tien vaatimusluokasta, pohjamaan tasalaatuisuudesta ja käytetyn rakennetyypin vaurioitumisherkkyydestä. Suuremman liikennemäärän ja mitoitusnopeuden tieosuuksilla sallittu routanousu on pienempi kuin vähäliikenteisillä teillä. Sekalaatuiselle pohjamaalle sallitaan tasalaatuisesta pienempi routanousu, sillä se routii epätasaisemmin. Tierakenteen laskennallisen routanousun (RN_{LASK}) määrittämiseksi on selvitettävä routautuvan alusrakenteen paksuus sekä alusrakenteen routaturpoama. Laskennallista routanousua verrataan suurimpaan sallittuun routanousuun. Tarvittaessa laskennallista routanousua voidaan pienentää esimerkiksi kasvattamalla kerrospaksuuksia ja sallittua routanousua suurentaa käyttämällä päällysrakenteessa lujiteverkkoa. (Liikennevirasto 2018)

4.1.2 Tierakenteen vaurioituminen

Liikennekuormitus on merkittävin tekijä tierakenteen vaurioitumisen kannalta. Kuormitus siirtyy rakenteeseen renkaiden kautta dynaamisena kuormituksena. Pyöräkuorman seurauksena päällysteeseen kohdistuu erilaisia jännityksiä, joista vetojännitykset ovat yleensä päällysteen vaurioitumisen kannalta merkittävämpiä kuin puristusjännitykset. Tierakenteen sidotut kerrokset pystyvät vastaanottamaan veto- ja puristusjännityksiä, mutta sitomattomat kerrokset kestävät vain puristusta. (Lätti 2015)

Perinteisessä joustavassa päällysrakenteessa liikennekuormituksen kestämisen kannalta kriittisimmät jännitykset ovat sitomattoman kerroksen yläpintaan kohdistuva pystysuuntainen puristusjännitys ja sidotun kerroksen alapintaan muodostuva vaakasuuntainen vetojännitys. Vetojännityksen suuruus riippuu sidotun ja sitomattoman kerroksen jäykkyyserosta. Jos rakenteessa on jäykkä kantava kerros, kriittinen vetojännitys siirtyy kantavan kerroksen alapintaan, koska siellä on suurin jäykkyysero. Jännitykset, joita kutsutaan myös kriittisiksi rasituksiksi, on esitetty nuolilla kuvassa 7. (Lätti 2015)



Kuva 7. Pyöräkuorman alla joustavaan päällysrakenteeseen kohdistuvat kriittiset rasitukset (Belt et al. 2002, s. 24)

Rakenteen vaurioitumisen ehkäisemiseksi rakennekerrosten jäykkyydet tulisi sovittaa toisiinsa niin, ettei kerrosten välillä ole liian suuria jäykkyyseroja, jottei pääse syntymään suuria vetojännityksiä. Erityisen haitallisia ovat jäykkyyserot sidottujen ja sitomattomien kerrosten rajapinnassa. Tierakenteen kerrokseen muodostuvat jännitykset voivat johtaa rakenteen muodonmuutoksiin, joista osa on palautumattomia. Etenkin palautumattomat muodonmuutokset edistävät rakenteen vaurioitumista. (Lätti 2015)

Tavallisesti tierakenteen vaurioituminen näkyy ulospäin päällysteen halkeiluna. Halkeamatyyppejä on erilaisia, eikä niistä pystytä suoraan päättelemään vaurion aiheuttajaa. Päällysteessä voi esiintyä pieniä suonimaisia hiushalkeamia, jotka johtuvat päällysteen väsymisestä. Riittävän usein toistuvat vetojännitykset altistavat rakenteen väsymishalkeilulle, joka voi edetä verkkohalkeiluksi. Liikenne irrottaa paloja voimakkaasti verkkohalkeilleesta päällysteestä ja päällyste reikiintyy. Halkeamat nopeuttavat tierakenteen vaurioitumista, kun vesi pääsee kulkeutumaan alempiin sitomattomiin kerrokseen ja niiden kyky vastaanottaa kuormitusta heikkenee kosteustilan kasvaessa. Liikennekuormituksen lisäksi halkeamia aiheuttavat puutteelliset rakenteet, esimerkiksi kuormitukseen nähden liian pieni sivuttaistuki ja ympäristökuormitus, esimerkiksi routiminen. (Lätti 2015)

Toinen helposti havaittavissa oleva vaurioitumistyyppi on urautuminen. Urautuminen voi johtua päällysteen heikosta tiivistämisestä, jolloin se tiivistyy jälkeinpäin liikennekuorman vaikutuksesta tai päällysteen muodonmuutoksista, kun massan koostumus ja rakenne eivät ole sopivia kyseiseen kohteeseen. Heikkolaatuinen sitomaton kerros voi painua liikennekuorman alla ja työntää vieressä olevaa maamateriaalia sivulle, jolloin materiaali kohoaa jyrkästi uran reunoilla. Myös sääolosuhteet vaikuttavat, lumettomana tal-

vena nastarenkaat kuluttavat päällysteen pintaa. Ajomukavuus laskee ja liikenneturvallisuus heikkenee tien vaurioitumisen myötä, esimerkiksi vettä keräävät urat lisäävät vesiliirron riskiä. Paikallinen vaurio vaikuttaa koko tierakenteen toimintaan, sillä vauriot tehostavat toisiaan ja kiihtyvät, jos niiden korjauksia ei tehdä riittävän ajoissa. (Lätti 2015)

4.2 Tekniset vaatimukset

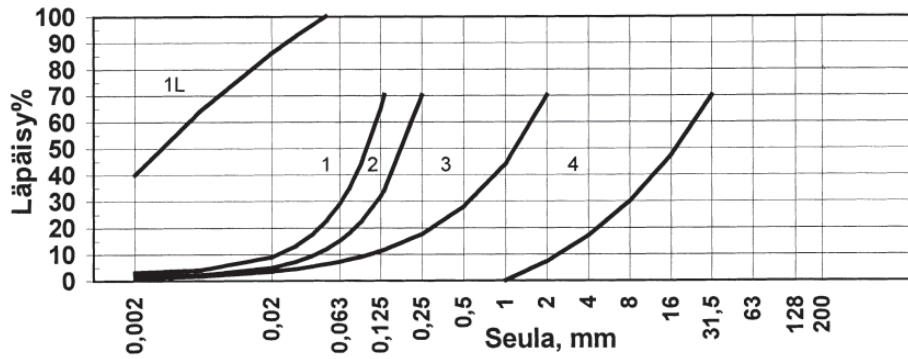
Tierakenteen kuormituskestävyyden kannalta materiaalien jäykkyys ja lujuus ovat keskeisimmät ominaisuudet. (Väylävirasto 2018) Elina Lätti on DI-työssään (2015) koonnut aiemmasta kirjallisuudesta testattuja betonimurskeen jäykkyys- ja lujuusarvoja, jotka vastasivat melko hyvin Tierakenteen suunnitteluohjeen (2018) betonimurskeen mitoitusparametreja. Luokkien I-III betonimurske soveltuu teknisiltä ominaisuuksiltaan useimpiin tierakenteen kerroksiin. Myös IV-luokan betonimursketta on mahdollista käyttää maarakennusmateriaalina, mutta sen mitoitusparametrit on tällöin selvitettävä kohteessa käytettävästä murskeesta erikseen. (Väylävirasto 2022)

Maarakenteissa voidaan käyttää vain riittävän tasalaatuisia ja teknisiltä ominaisuuksiltaan sekä maarakennuskelpoisuudeltaan käyttökohteeseen soveltuvia uusiomateriaaleja. Materiaalin kelpoisuus voidaan osoittaa SFS-EN 13242 standardin mukaisella CE-merkinnällä tai, jos sitä ei voida CE-merkitä, edellä mainitun standardin mukaisella laadunvarmistuksella ja InfraRYLin vaatimukset täyttävillä tuoteominaisuuksilla. InfraRYLin mukaan betonimursketta voidaan käyttää tierakenteen jakavassa ja sitomattomassa kantavassa kerroksessa, kun se täyttää liitteen T18 vaatimukset. Liitteessä on eritelty vaatimuksia teknisille ominaisuuksille ja niiden testaustiheydelle eri rakennekerroksissa. (InfraRYL 2017)

Taulukko 4. *Sitomattoman kantavan kerroksen ja jakavan kerroksen vaatimukset betonimurskeelle sekä suositukset testaustiheydeksi. (muokattu lähteestä InfraRYL 2017)*

OMINAISUUS	SITOMATON KANTAVA KERROS		JAKAVA KERROS, KUN D ≤ 90 mm	
	Vaatus	Testaustiheys	Vaatus	Testaustiheys
Betonimurskeen luokka	BeM Ia/b tai BeM IIa/b		BeM Ia/b tai BeM IIa/b tai BeM III	
Raekokojakautuma	Luokka G _O tai G _A (SFS-EN 13285)	Kerran viikossa tai 1/5000 tn	Murske luokka G _P tai G _C (SFS-EN 13285)	Vähintään kerran viikossa tai 1/5000 tn
Hienoainespitoisuus	f ₇	Kerran viikossa tai 1/5000 tn	f ₇	Kerran viikossa tai 1/5000 tn
Iskunkestävyys	Ilmoitettu arvo	Kaksi kertaa vuodessa	-	-
Litteysluku	Fl ₅₀	Kerran kuukaudessa	-	-
Kiintotiheys	Ilmoitettu arvo	Kerran kuukaudessa	Ilmoitettu arvo	Kerran kuukaudessa
Vedenimeytyminen	WA _{NR}	-	WA _{NR}	-
Uusiokiviaineksen luokittelu	R _{C90} R _{b10-} X ₁₋ FL ₅₋	Kerran kuukaudessa	R _{cug90} R _{b10-} X ₁₋ FL ₁₀₋	Kerran kuukaudessa
Jääditys-sulatuskestävyys	-	-	-	-
Puristuslujuus 28d	BeM I 1,2 MPa BeM II 0,8 MPa	1/10 000 tn tai 1/murskauserä	BeM I 1,2 MPa BeM II 0,8 MPa BeM III -	1/murskauserä

Kantavaan kerrokseen kelpaavat luokkien Ia/b murskeet ja luokkien IIa/b murskeet, jotka sisältävät vähintään 90 prosenttia betonia, betonituotteita, laastia tai betoniharkkoja ja korkeintaan 10 prosenttia poltettua tiiltä, kalkkihiekkatiiliä tai -harkkoja tai kellumatonta vaahbetonia. Osa-aineiden luokittelu tulee tehdä vähintään kerran kuukaudessa standardin SFS 933-11:2009 Karkean uusiokiviaineksen osa-aineiden luokittelutesti mukaisesti. Jakavassa kerroksessa voidaan käyttää myös vaatimukset täyttävää III-luokan betonimursketta. Kaikkien tierakenteessa käytettävien betonimurskeiden on oltava routimattomia. (InfraRYL 2017). Korkeintaan 7 prosenttia hienoainesta sisältävän murskeen routimattomuus tarkistetaan rakeisuuskäyrän perusteella (kuva 8).



Kuva 8. Betonimurskeen routivuuden arviointi rakeisuuskäyrän perusteella. (SFS 5884:2022)

Alueiden 2, 3 ja 4 materiaalit, joiden rakeisuuskäyrät ovat kokonaan oman alueensa sisäpuolella ovat routimattomia. Materiaali on routiva, jos rakeisuuskäyrän alapää sijaitsee hienomman alueen puolella. Alueella 1 sijaitsevat materiaalit ovat routivia ja alueen 1L materiaalit lievästi routivia. (SFS 5884:2022) Jakavassa kerroksessa murskeen enimmäisraekoko on korkeintaan puolet ja kantavassa kerroksessa enintään 1/3 kerralla tehtävän kerroksen paksuudesta. Enimmäisraekoko valitaan kuormitusolosuhteiden mukaan. Suurempi raekoko lisää kerroksen kantavuutta, mutta vaikeuttaa sen tasaamista ja liikennöintiä. (InfraRYL 2017).

Kantavassa kerroksessa käytettäväksi aiotulle betonimurskeelle on määritettävä kiven iskunkestävyyttä kuvaava LA-luku. Betonimurskeen LA-luvulle ei ole vielä asetettu vaatimusta, koska sen vaikutusta rakenteen toimivuuteen ja pitkäaikaiskestävyyteen ei ole tutkittu riittävästi (SFS 5884:2022). Kantavan kerroksen kiviaineksen tulee kestää jäädytys-sulamisrasituksia eikä se saa olla rapautunutta tai herkästi rapautuvaa. Jäädytys-sulatustesti ei sovellu betonimurskeen laadunarviointiin, ja betonimurskeen pakkasenkestävyys pohjautuu sen routimattomuuteen ja puristuslujuuden kehitykseen. I-luokan betonimurskeen tulee saavuttaa 28 vuorokauden kuluessa 1,2 MPa:n puristuslujuus ja II-luokan murskeen 0,8 MPa:n puristuslujuus. Betonimurskeen valmistajan tulee osoittaa vaatimusten täyttyminen. (InfraRYL 2017)

4.2.1 Muita vaatimuksia

Betonimurskeen on täytettävä MARA- tai EEJ-asetuksessa tai ympäristöluvassa asetetut ympäristökelpoisuusehdot. Betonimurske ei saa vaurioittaa tai aiheuttaa korroosiota sen kanssa kosketuksissa oleviin rakenteisiin. (InfraRYL 2017). Betonimurskeen korkean pH-arvon takia sen läpisioutautuva vesi on emäksistä. Alumiinisten tarvikkeiden käyttöä betonimurskeen työstämisen yhteydessä ei suositella, jos niillä ei ole emäk-

sisyyttä kestäväää suojapinnoitusta. Betonimurskerakenteissa ei voida käyttää polyestereisiä geolujitteita tai polyesteristä valmistettua suodatinkangasta, koska polyesteri ei siedä emäksistä olosuhdetta. (Väylävirasto 2022)

4.3 Käyttökohteiden valinta

Betonimurskeen valintaan tiettyyn rakennuskohteeseen vaikuttaa murskeen saatavuus, laatu ja kustannukset. Betonimurskeen käytön tulisi aina olla teknisesti ja taloudellisesti perusteltua, eikä sitä tulisi "dumpata" rakenteeseen vain edullisuuden tai helpon saatavuuden perusteella. Tierakenteessa hyvälaatuinen betonimurske soveltuu erityisen hyvin käytettäväksi kantavaan ja jakavaan kerrokseen. Luokkien I ja II betonimurskeiden kantavuusarvot ovat kalliomursketta suurempia. Betonimurskeen lujittumista rakenteessa on mahdollista hyödyntää ohentamalla rakennekerroksia, jos kantavuusmitoitusta käytetään mitoitusperusteena. Lujittumisominaisuutta on mahdollista hyödyntää, kun betonimurskeella rakentaminen on huomioitu jo suunnitteluvaiheessa myös muiden kerrosten materiaaleissa sekä paksuudessa. Lujittumisominaisuutta hyödynnettäessä tulee betonimurskekerroksen paksuuden olla vähintään 0,20 metriä laattavaikutuksen varmistamiseksi. Lujittuminen edellyttää huolellista tiivistämistä optimivesipitoisuudessa ja riittävää jälkihoitoa. (Väylävirasto 2022)

Tierakenteen kuormituskestävyyden kannalta on olennaista huomioida, että rakenteen suuri jäykkyys ei välttämättä lisää sen kestävyyttä. Rakennekerrosten väliset liian suuret jäykkyyserot aiheuttavat vetojännityksiä ja altistavat rakenteen vaurioitumiselle. Betonimurskeen uudelleen lujittumisen seuraukseksi on epäilty, että materiaalista tulisi lopulta liian jäykkä ja hauras. Jos betonimurske lujittuisi sidotun rakenteen kaltaiseksi, myös sen vaurioitumismekanismit muuttuisivat. Jäykkä päällysrakenne on altis esimerkiksi routimisesta aiheutuvalle epätasaisuudelle. (Lätti 2015) Suomessa betonimurskerakenteiden ei ole pitkäaikaisissa seurannoissa havaittu lujittuvan näin pitkälle. (Dettenborn 2013)



Kuva 9. Betonimurskeen levitystä tierakenteeseen. (Kunnas 2023)

Betonimurskerakenteen lujittumisen on arveltu hankaloittavan tierakenteen kunnossapitoa ja vaativan erityistä kalustoa. Lujittuneen betonimurskerakenteen uudelleen kaivettavuutta on tutkittu aukikaivukokeilla eri olosuhteissa. Betonimurskeen kaivuvastuksen on todettu olevan kalliomursketta suurempi, mutta siltikin se on kaivettavissa tavanomaisella kaivinkonekalustolla ympärivuotuisissa olosuhteissa. Hartiavoimin lapiolla kaivettavaksi kaivuvastus on liian suuri, joten putki- ja johtokaivantoihin on tehtävä alkutäytöt luonnonkiviaineksesta. Kaivettaessa betonimurske irtoaa rakeisena eikä sen rakeisuus juurikaan muutu aukikaivun myötä. Kovan kuormituksen alaisena ollut I-luokan betonimurske saattaa irrota pieninä kokkareina, jotka yleensä hajoavat lapiolla lyömällä eivätkä hankaloita työskentelyä. Auki kaivettu betonimurske voidaan käyttää rakenteessa uudelleen, sillä se tiivistyy takaisin rakenteeseen jopa luonnonkiviainesta paremmin. Uudelleen tiivistetystä rakenteesta otettujen näytteiden perusteella betonimurske saavuttaa 28 vuorokauden lujittumisajan jälkeen noin 70 prosenttisesti alkuperäisen puristuslujuutensa. (Linden 2017)

Betonimurskeen käyttöä tierakenteessa puoltavat myös ympäristöhyödyt. Betonimurskeella voidaan korvata luonnonkiviainesta ja sen käyttö vähentää loppukäsittelyyn toimitettavan betonijätteen määrää. Joissain tapauksissa betonijäte voidaan murskata jo purkutyömaalla, eikä sitä tarvitse erikseen kuljettaa murskausasemalle, jolloin kuljetusmatkat lyhenevät. Myös betonimurskeen lujittumisominaisuuden hyödyntäminen ohuempina kerrospaksuuksina pienentää murskeen kuljetusmääriä. (Ollikainen 2021) Lisäksi betonimurske sitoo itseensä hiilidioksidia ja toimii siten hiilinieluna. Betonin sisältämä se-

mentti reagoi ympäröivän ilman hiilidioksidin kanssa ja karbonatisoituu. Karbonatisoitumista tapahtuu betonin koko elinkaaren ajan, mutta reaktio kiihtyy murskauksen jälkeen, kun ilman kanssa kosketuksissa olevan betonin pinta-ala moninkertaistuu. Sementin valmistuksessa kalkkikiveä poltettaessa vapautuu merkittävä määrä hiilidioksidia, josta huomattava osa sitoutuu takaisin betoniin karbonatisoitumisreaktiossa. Arviolta neljännes hiilidioksidista sitoutuu betoniin jo betonin toimiessa rakenteena ja jopa kaksi kolmasosaa murskauksen jälkeen 30 vuoden käyttöiän aikana. (Linden 2017) Käytössä on huomioitava, että betonimurske saattaa sisältää epäpuhtauksia ja haitta-aineita, jotka vahingoittaisivat ympäristöä kulkeutuessaan rakenteesta maaperään tai pohjaveteen. Ympäristöriskien ehkäisemiseksi betonimurskeen käyttökohteita ja hyödyntämispaikkoja rajoitettu ja sen ympäristökelpoisuus on varmistettava näytteenotolla. (Ollikainen 2021)

4.4 Kehityskohteet

Betonimurske on vakiinnuttanut asemansa maarakennusmateriaalina etenkin tierakenteissa. Pirkanmaan ELY-keskuksen alueella betonimurske on ylivoimaisesti hyödynnettyin jätemateriaali. Vuosina 2018–2022 hyödyntämismäärät ovat vaihdelleet 200 000 ja reilun 350 000 tonnin välillä. Suurin osa hyödynnetyistä betonimurskeista on peräisin laitosmaisilta toimijoilta ja noin 20–30 prosenttia purkutyömailta. MARA-asetuksen ilmoitusmenettely on helpottanut ja nopeuttanut betonimurskeen hyödyntämistä. (Pajunen 2023). Myös EEJ-asetuksella lienee vastaavanlaisia vaikutuksia tulevaisuudessa. Tässä luvussa betonimurskeen tulevaisuuden näkökulmia pohditaan SWOT-analyysin keinoin. SWOT-lyhenne sisältää englanninkieliset sanat Strengths (vahvuudet), Weaknesses (heikkoudet), Opportunities (mahdollisuudet) ja Threats (uhat). Analyysin avulla voidaan jäsentää ja arvioida betonimurskeen käytön nykytilaa sekä tulevaisuuden haasteita ja mahdollisuuksia. Yhteenveto SWOT-analyysistä on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. *Betonimurskeen SWOT-analyysi.*

Betonimurskeen hyvät tekniset ominaisuudet mahdollistavat tarkoituksenmukaisen käytön laajasti eri maarakennuskohteissa. Betonimurskeesta on paljon tutkittua tietoa, ja sitä on koottu ohjeisiin merkittävien infrarakentamishankkeiden tilaajien, kuten Väyläviraston ja kaupunkien, toimesta. Betonimurske toimii hiilinieluna, ja sen käytöllä voidaan säästää luonnonvaroja sekä pienentää kuljetusmatkoja ja -kustannuksia.

Betonimurskeen käyttöä rajoittavat yhteistyön puutteet alueellisesti, aikataulullisesti ja eri hankkeiden välillä. Murskeen käytön edistämiseksi tulisi tunnistaa ja yhteensovittaa purettavat ja rakennutettavat kohteet ajoissa, jotta varmistutaan murskeen saatavuudesta ja laadusta. Huolellisen lajittelevan purun, edustavan näytteenoton ja riittävän ominaisuuksien selvittämisen sekä dokumentoinnin tarve on laadunvarmistuksen kannalta merkittävä. (Pajunen 2023)

Tulevaisuudessa betonimurskeen käyttöä voitaisiin tehostaa hankintakäytäntöjä kehittämällä, esimerkiksi huomioimalla kiertotalouskriteerejä urakoiden tarjousvaiheessa laadullisena vertailuperusteena. (Pajunen 2023) Massakoordinaatiolla voitaisiin lisätä tiedonkulkua ja yhteistyötä organisaatioiden välillä sekä yhteensovittaa purku- ja rakennuskohteita. Lisäksi EEJ-asetus helpottaa jätebetonin tuotteistamista ja jalostamista sekä tuonee rohkeutta kokeilla uusia käyttökohteita.

Uhkana on, että kokeiluista huolimatta onnistuneetkin käytännöt eivät yleisty ja samoja haasteita ratkotaan monella eri hankkeella. Erityisesti pienemmillä toimijoilla uusiomateriaalien käyttö voi olla satunnaista ja ennakkoluulot, aiemmat epäonnistumiset sekä tiedonkulun haasteet voivat kasvattaa kynnystä betonimurskeen käyttöön. Täysin päinvastaisena uhkana on betonimurskeen käytön helppouden ja taloudellisen kannattavuuden niin huomattava lisäys, ettei se enää kannusta jätteen määrän vähentämiseen.

5. YHTEENVETO

Betonijätettä syntyy betoniteollisuudessa, uudisrakentamisessa sekä rakenteiden ja rakennusten korjauksessa ja purkamisessa. Betonijätteen sisältämät epäpuhtaudet heikentävät valmistettavan betonimurskeen laatua, minkä takia jätteet tulee lajitella jo purkuvaiheessa. Valmistuksen aikaisella näytteenotolla varmistetaan betonimurskeen laatu ja ympäristökelpoisuus. Betonijätteen alkuperän ja murskeen materiaaliominaisuuksien perusteella murske jaotellaan eri laatuluokkiin. Betonimurske on rakenteessa lujittuva ja parhaimmillaan saavuttaa kalliomursketta suuremman kantavuuden.

Betonimurskeen käyttöä maarakentamisessa ohjaavat kansalliset sekä Euroopan unionin säädökset ja eri tahojen tuottamat ohjeistukset. Hyödyntäminen on mahdollista ympäristöluvalla sekä MARA-asetuksen ja EEJ-asetuksen kriteerien mukaisesti. Asetuksissa rajoitetaan betonimurskeen raekokoa, käyttökohteita, hyödyntämispaikkoja sekä haitta-aineiden pitoisuuksia ja liukoisuuksia. Lainsäädännön ja ohjeiden tavoitteena on betonimurskeen turvallinen ja tarkoituksenmukainen käyttö.

Tierakenteessa päällysrakenteen kerrokset ottavat vastaan liikenteen kuormitukset ja jakavat ne mahdollisimman tasaisesti alusrakenteelle. Suomessa käytetään tyypillisesti perinteistä joustavaa päällysrakennetta, jonka sitomattomissa rakennekerroksissa voidaan käyttää betonimurskettä. Kuormituskestävyyden kannalta kriittisimmät jännitykset muodostuvat rakennekerrosten rajapintoihin, joten rakennekerrosten jäykkyudet tulisi sovittaa toisiinsa rakenteen vaurioitumisen ehkäisemiseksi. Tierakenteen mitoituksessa betonimurskeen lujittuminen on huomioitava myös muiden kerrosten materiaaleissa ja paksuudessa. Lujittumisesta huolimatta betonimurskeen aukikaivu onnistuu tavanomaisella kaivinkonekalustolla, sillä kaivettaessa betonimurske irtoaa rakeisena ja tiivistyy uudestaan rakenteeseen.

Hyvät tekniset ominaisuudet ja ympäristöhyödyt puoltavat betonimurskeen käytön kasvattamista. EEJ-asetuksen myötä betonimurskeen sovelluskohteet ovat laajentuneet ja tuotteistaminen on helpottunut. Tulevaisuudessa betonimurskeen käyttöä voitaisiin edistää hankintakäytäntöjä kehittämällä ja yhteistyötä lisäämällä. Onnistuneiden käytäntöjen dokumentointi, osaamisen kasvattaminen, tiedon avoin saatavuus ja tiedonkulku eri toimijoiden välillä ovat edellytyksiä betonimurskeen käytön lisäämiselle. Vaikka betonimurskeen käytön taloudellinen kannattavuus ja sujuvuus edelleen kasvaisivat, on muistettava, että ensisijaista on pyrkimys betonijätteen synnyn vähentämiseen.

LÄHTEET

- Ahlqvist, E. (2018). Väyläsuunnittelun uusiomateriaaliselvitykset. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 6/2018. Liikennevirasto, suunnittelu- ja hankkeet toimiala, Helsinki.
- Aluehallintovirasto 2023. Ympäristölupa. Saatavissa (viitattu 12.5.2023): <https://avi.fi/asioi/yritys-tai-yhteiso/luvat-ilmoitukset-ja-hakemukset/vesi-ja-ymparisto/ymparistolupa>
- Belt, J., Lämsä, V.-P., Savolainen, M. & Ehrola, E. (2002). Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto. Tiehallinnon selvityksiä 15/2002. Tiehallinto, Helsinki.
- Betoniteollisuus (2023). Betoni ja ympäristö. Kiertotalous. Betonin kierrätys ja uudelleenkäyttö. Betoniteollisuus Ry. Saatavissa (viitattu 6.6.2023): <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>
- Euroopan unioni (2008). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY.
- Forsman, J. & Dettenborn, T. (2019). Betonimurske kaupunkien julkisessa maarakentamisessa. Ohje. Helsinki, Espoo, Tampere, Turku & Vantaa.
- HE 40/2021 vp, Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi jätelain ja eräiden siihen liittyvien lakien muuttamisesta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2021/20210040>
- HSY (2014). Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Betonimurske. Käyttö-ohjesuunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon. HSY:n vesihuolto, Helsinki.
- Häkkinen, S. (2019). Betonijätteen hyödyntämisen toimintamallit maarakentamisessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Rakennetun ympäristön laitos. Espoo.
- InfraRYL (2017). Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- Järvinen, K. 2018. Ympäristönormit ja kierrätysmateriaalit infrarakentamisessa. Esitys. 6.3.2018. Rakennuttajan pätevytymiskoulutus RAP 28.
- JäteL 646/2011. Jätelaki. Annettu Helsingissä 17.6.2011.
- Jäteverolaki 1126/2010. Annettu Helsingissä 17.12.2010.
- Kauppila, J., Turunen, T., Häkkinen, E., Salminen, J., Lazarevic, D. (2018). Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja 9/2018. Helsinki.

Kunnas, T. (2023). Betonimurske – jätettä vai ei? Ja mitä väliä sillä on? *Betoni-lehti* 1/2023. Saatavissa (viitattu 31.7.2023): https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2023/03/BET_2301_86-91.pdf

Liikennevirasto (2018). Tierakenteen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 38/2018. Liikennevirasto, Tie- ja geotekninen yksikkö. Helsinki.

Linden, T. (2017). Betonimurskeen käyttö raitiotierakentamisessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Lätti, E. (2015). Vaihtoehtoisten maarakennusmateriaalien mekaaniset ominaisuudet. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Moreton Bay Recycling (2019). 6 ways recycled concrete products are used in projects. Moreton Bay Recycling. Saatavissa (viitattu 3.8.2023): <https://moretonbayrecycling.com.au/recycled-concrete-products/>

Nissinen, J. & Salminen, J. (2022). Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista. Soveltamisohje 31.8.2022. Ympäristöministeriö.

Ollikainen, S. (2021). Betoni- ja tiilijätteen hyödyntäminen sähköasemien maarakentamisessa. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Tampere.

Pajunen, E. (2023). Tietoisku MARA-ilmoitusmenettelystä ja jätteen hyödyntämisestä Pirkanmaalla. Pirkanmaan ELY-keskus. Saatavissa (viitattu 31.7.2023): <https://projects.tuni.fi/uploads/2023/02/4f33d4df-ely.pdf>

Rudus (2016). Ajankohtaista. Kivikorista hyvä kasvualusta. Rudus Oy. Saatavissa (viitattu 5.6.2023): <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2016/06/27/kivikorista-hyva-kasvualusta>

Rudus (2017). Betoroc-murskeohje. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun.

Rudus (2022). Ajankohtaista. Odotettu asetus hyväksyttiin – Betonimurskeen jätteeksi luokittelu päättyy 1.9.2022. Rudus Oy. Saatavissa (viitattu 31.7.2023): <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2022/06/17/odotettu-asetus-hyvaksyttiin-betonimurskeen-jatteeksi-luokittelu-paattyy-1-9-2022>

SFS-EN 5884:2022 (2022). Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunhallintajärjestelmä. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 13242:2008 (2008). Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.

SFS 933-11:2009 (2009). Karkean uusiokiviaineksen osa-aineiden luokittelutesti. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.

Tampereen kaupunki (2023). Tampereen kaupungin ympäristönsuojelumääräykset. Kaupunginvaltuuston päätös 20.3.2023 § 38.

Varsinais-Suomen ELY-keskus (2016). Projektit ja hankkeet. Jättekuljetusten valvonnan kehittämishanke. Saatavissa (viitattu 31.7.2023): <https://www.ely-keskus.fi/varsinais-suomi-jatekuljetusten-valvonnan-kehittamishanke>

VNa 591/2006. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Annettu Helsingissä 28.6.2006.

VNa 843/2017. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Annettu Helsingissä 7.12.2017.

VNa 978/2021. Valtioneuvoston asetus jätteistä. Annettu Helsingissä 18.11.2021.

Väylävirasto (2022). Betonijätteen käsittely ja käyttö väylähankkeissa. Väyläviraston ohjeita 43/2022. Väylävirasto, Tekniikka ja ympäristö -osasto. Helsinki.

Ympäristöhallinto (2023). Luvat ja velvoitteet. Ympäristölupa. Saatavissa (viitattu 12.5.2023): <https://www.ymparisto.fi/fi/luvat-ja-velvoitteet/ymparistolupa>

Ympäristöministeriö (2017). Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. Muistio. Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö (2022). Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista 9.6.2022. Muistio. Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö (2023a). Rakentaminen ja maankäyttö. Rakennustuotteet. CE-merkintä. Saatavissa (viitattu 3.6.2023): <https://ym.fi/ce-merkinta>

Ympäristöministeriö (2023b). Ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen. Ympäristönsuojelun lainsäädäntö ja ohjeet. Jätelainsäädäntö. Saatavissa (viitattu 6.7.2023): <https://ym.fi/jatelainsaadanto>

YSL 527/2014. Ympäristönsuojelulaki. Annettu Helsingissä 27.6.2014.