



Ville Törmänen

UUSIOTUOTTEIDEN KUSTANNUSVERTAILU KATURAKENTEESSA

UUSIOTUOTTEIDEN KUSTANNUSVERTAILU KATURAKENTEES

Ville Törmänen
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan Koulutusohjelma, Yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Ville Törmänen

Opinnäytetyön nimi: Uusiotuotteiden kustannusvertailu katurakenteessa

Työn ohjaaja: Terttu Sipilä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013 Sivumäärä: 64

Tämän työn tavoitteena oli perehtyä teollisuuden uusiotuotteiden kuten masuunihiekan, LD-teräskuonan, LD-masuunihiekan sekä OKTO-eristeiden valmistukseen ja ominaisuuksiin katurakentamisen kannalta. Lisäksi tavoitteena oli selvittää Oulun kaupungin kolmelle eri katuluokalle rakennuskustannusten ja toiminnan osalta optimaalinen katurakenne vertaillen uusiotuoterakenteita perinteiseen hiekka-murske-rakenteeseen.

Uusiotuotteiden ominaisuuksia selvitettiin perehtymällä tuotteista tehtyihin tuotekortteihin ja suunnitteluohjeisiin. Lähdemateriaaleista kerättiin uusiotuotteiden tärkeimmät ominaisuudet katurakentamisen kannalta ja niiden pohjalta mitoitettiin katurakenteet Oulun kaupungin kolmelle eri katuluokalle, 3, 4, ja 6. Mitoituksissa käytettiin Oulun alueen yleisimpiä pohjamaita eli siltistä hiekkaa (SiHk), silttiä (Si) sekä savista silttiä (SaSi). Mitoitettuja katurakenteita vertailtiin perinteiseen hiekka-murske-rakenteeseen, joka toimi vertailurakenteena.

Työn perusteella saatiin selville eri uusiotuotteiden keskeisimmät ominaisuudet ja käytettävyys katurakentamisen kannalta sekä selvitettiin jokaiselle mitoituksessa olleelle katuluokalle ja pohjamaalle teknillistaloudellisin rakenneytppi. Perinteinen hiekka-murske-rakenne tulee usein edullisimmaksi rakennevaihtoehdoksi tämän hetkisillä materiaali- ja kuljetuskustannuksilla, mutta erot uusiotuoterakenteisiin ovat kohtuullisen pieniä, joten pienten hinnanmuutosten myötä uusiotuotteista voi tulevaisuudessa tulla vertailurakennetta edullisempi vaihtoehto.

Korkeammasta hinnasta huolimatta uusiotuotteilla saavutetaan useita etuja verrattuna hiekka-murske-rakenteeseen. Muun muassa rakennepaksuudet pienenevät uusiotuotteita käytettäessä. Pienemmistä rakennepaksuuksista johtuen kaivannot voidaan tehdä matalampana ja kuivatus saadaan toteutettua kohtuullisen syvyisenä.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 PÄÄLLYSRAKENTEEN MITOITUS	7
2.1 Rakennekerrokset	7
2.2 Kantavuusmitoitus	10
2.3 Routamitoitus	10
2.3.1 Routamitoituksen käsitteitä	10
2.3.2 Sallittu laskennallinen routanousu	11
2.3.3 Routanousun laskeminen	14
2.3.4 Pohjamaan routivuusominaisuudet	16
2.4 Uusituotteiden käyttöön vaikuttavat tekijät	19
3 UUSIOTUOTTEET	22
3.1 Uusiotuotteiden luvat ja asetukset	22
3.1.1 Ympäristölupa	22
3.1.2 CE-merkintä	23
3.2 Yleisimmät uusituotteet katurakentamisessa	24
3.2.1 Masuunihiekka	24
3.2.2 LD-teräskuona	25
3.2.3 LD-masuunihiekka	27
3.3 OKTO-Tuotteet	27
3.3.1 OKTO-eriste	27
3.3.2 OKTO-kevytkiviaines (OKTO-KKA)	28
3.4 Muut uusiotuotteet	29
4 KATURAKENTEEN MITOITUS UUSIOTUOTTEILLA	32
4.1 Katuluokka 3	32
4.1.1 Pohjamaa SiHk	33
4.1.2 Pohjamaa Si	35

4.1.3 Pohjamaa SaSi	37
4.2 Katuluokka 4	39
4.2.1 Pohjamaa SiHk	39
4.2.2 Pohjamaa Si	41
4.2.3 Pohjamaa SaSi	43
4.3 Katuluokka 6	45
4.3.1 Pohjamaa SiHk	45
4.3.2 Pohjamaa Si	47
4.3.3 Pohjamaa SaSi	49
5 KUSTANNUSVERTAILU	52
5.1 Katuluokka 3	52
5.1.1 Pohjamaa SiHk	53
5.1.2 Pohjamaa Si	54
5.1.3 Pohjamaa SaSi	54
5.2 Katuluokka 4	55
5.2.1 Pohjamaa SiHk	56
5.2.2 Pohjamaa Si	56
5.2.3 Pohjamaa SaSi	57
5.3 Katuluokka 6	58
5.3.1 Pohjamaa SiHk	58
5.3.2 Pohjamaa Si	59
5.3.3 Pohjamaa SaSi	60
5.4 Kustannusvertailun yhteenveto	60
6 POHDINTA	62
LÄHTEET	63

1 JOHDANTO

Teollisuuden prosesseista saadaan sivutuotteina materiaaleja, joita voidaan hyödyntää katurakentamisessa ja vähentää näin ollen luonnonmateriaalien käyttöä. Näitä uusiotuotteita hyödyntämällä voidaan rakentaa katurakenteita, joilla saavutetaan monia hyötyjä perinteiseen katurakenteeseen verrattuna.

Tässä työssä tutustuttiin uusiotuotteiden ominaisuuksiin tie- ja katurakentamisen kannalta ja vertailtiin perinteiseen hiekka-murskerakenteeseen. Lisäksi uusiotuotteita hyödyntäen mitoitettiin Oulun kaupungin suunnitteluohjeen mukaisesti katuluokat 3,4 ja 6. Lisäksi selvitettiin kullekin katuluokalle teknillistaloudellinen optimirakenne. Pohjamaana mitoituksissa käytettiin yleisimpiä Oulun alueen pohjamaita eli siltistä hiekkaa, silttiä sekä savista silttiä.

Työn teoriaosuudessa kerrottiin kadun rakennekerroksista, niiden tehtävistä ja ominaisuuksista sekä perehdyttiin kadun kantavuus- ja routamitoitukseen ominaisarvoineen. Lisäksi käytiin läpi erilaiset uusiotuotteet, niiden saatavuus ja lupamenettely sekä tärkeimmät ominaisuudet katurakentamisen kannalta. Käytännön osuudessa perehdyttiin tarkemmin Oulun kaupungin käyttämään katumitoitusohjeeseen ja sen perusteella mitoitettiin kolmelle eri katuluokalle rakenteet käyttäen uusiotuotteita luonnonmateriaalien sijaan. Käytettäviä uusiotuotteita mitoituksissa olivat Masuunihiekka, LD-Masuunihiekka seossuhteella 30/70 sekä OKTO-tuotteet. Muiden uusiotuotteiden osalta käytiin läpi niiden ominaisuudet ja käyttökohteet, mutta niillä ei mitoitettu rakenteita. Työ rajattiin käsittelemään ainoastaan sitomattomia rakenteita, eikä näin ollen hydraulisesti sidottuja rakenteita käsitelty tässä työssä lainkaan, vaikka niitäkin käytetään katurakentamisessa.

2 PÄÄLLYSRAKENTEEN MITOITUS

Oulussa kadut luokitellaan yleisesti niiden liikenneteknisen merkityksen mukaan luokkiin 1 - 6. Jokaiselle katuluokalle määritetään mitoituskantavuuden arvo kantavan kerroksen päältä sekä sallittu routanousun arvo. Katurakenne tulee mitoittaa siten, että rakenteen kantavuus ylittää mitoituskantavuusarvon ja routanousu jää sallitun routanousun alle. (Katujen tyyppirakenteet, 4.)

Mitoituksen kannalta on oleellista tietää rakenteen alapuolisen maaperän ominaisuudet riittävällä tarkkuudella. Maaperää tutkitaan kairauksin, joiden perusteella pohjamaa määritellään. Mitoituksen kannalta merkittävin pohjamaan kerros on noin metrin paksuinen kerros suunnitellun rakenteen alapuolella. Tämän pohjamaan kerroksen maalajin sekä ominaisuuksien perusteella saadaan selville kantavuus- ja routamitoituksessa tarvittavat pohjamaan kantavuusarvo sekä turpoamaprosentti. Pohjamaan tutkimuksissa tulee tutkia myös pohjaveden korkeusasema, sillä se vaikuttaa maaperän vesipitoisuuteen ja samalla turpoamaprosenttiin. (Katujen tyyppirakenteet, 7.)

Kadun päällysrakenne suunnitellaan ja mitoitetaan siten, että se kestää liikennekuormituksesta, roudasta ja sääolosuhteista aiheutuvat rasitukset. Osa päällysrakennemateriaalien mitoitusparametreista on kosteustilasta riippuvaisia, joten myös kuivatuksen suunnittelu liittyy läheisesti päällysrakenteen mitoitukseen. (Tierakenteen mitoitus, 24.)

2.1 Rakennekerrokset

Päällysteen tulee ottaa vastaan liikenteen aiheuttamat kuormat.

Päällystekerroksen tulee muodostaa liikenteelle tasainen, ajomukavuuden mahdollistava ehjä pinta ja luoda edellytykset turvalliselle liikenteelle.

Päällysteeltä vaadittavia ominaisuuksia ovat tasaisuus, kitka ja valonheijastavuus. Lisäksi päällysrakennekerros toimii alempien kerrosten mekaanisena suojana ja estää veden haitallisen pääsyn muihin

rakennekerroksiin. Päällysteen valinta tehdään kohteen laatuvaatimusten sekä vaihtoehtojen hinnan perusteella. Vaatimukset luokitellaan liikenteen määrän ja laadun mukaan. Vilkkaasti liikennöidyillä kaduilla päällysteenä käytetään kivimastiksiasi-asfalttia (SMA) ja pienemmillä kaduilla asfalttibetonia (AB). Lisäksi kiveyksien alla voidaan käyttää avointa asfalttia (AA) tai tiivistä asfalttibetonia (ABT). (Poikkileikkauksen suunnitteluohje, 21; InfraRYL 2012. 11110, 28.)

Kantavan kerroksen tarkoitus on antaa tierakenteelle jäykkyyttä, jakaa liikennekuormitusta alempiin kerroksiin ja tasata alusta päällystettä varten. 50 mm:n profiilikerros lasketaan kantavaan kerrokseen mitoitettaessa kantavuutta. Tarvittaessa kantava kerros voidaan sitoa stabiloimalla kokonaan tai osittain lisäkantavuuden saavuttamiseksi. Stabiloinnista johtuen rakennepaksuus jää pienemmäksi verrattuna sitomattomaan rakenteeseen. (Poikkileikkauksen suunnitteluohje, 9; InfraRYL 2012. 11120, 43.)

Jakavan kerroksen tarkoituksena on lisätä rakenteen kantavuutta, jakaa kuormitusta alaspäin tierakenteessa sekä kuivattaa tierakennettä. Yleensä jakava kerros rakennetaan yhdistettynä kerroksena kantavan kerroksen kanssa. Tällöin sekä jakavan että kantavan kerroksen mitoituksessa noudatetaan kantavan kerroksen vaatimuksia. Pääsääntönä erillisten kantavan ja jakavan kerroksen käytölle voidaan pitää sääntöä: jakava- + kantava- + profiilikerros \geq 450 mm. (Poikkileikkauksen suunnitteluohje, 9; InfraRYL 2012. 11130, 48.)

Suodatinkerros estää pohjamaan sekoittumisen päällysrakenteeseen ja lisää rakenteen kantavuutta, toimii veden kapillaarista nousua vähentävänä kerroksena sekä johtaa vettä pois runkorakenteista. Mikäli on riski pohjamaan ja päällysrakenteen sekoittumiseen, käytetään suodatinkerroksen ja pohjamaan välissä suodatinkangasta. Pääsääntöisesti suodatinkerros rakennetaan hiekasta. Suodatinkerrosmateriaali ei saa sisältää epäpuhtauksia eikä läpimitaltaan 50 mm suurempia kiviä. (Poikkileikkauksen suunnitteluohje, 11; InfraRYL 2012. 11140, 52.)

Eristerakenteilla on tarkoitus ehkäistä ja pienentää päällysrakenteen vaurioitumista ja muodonmuutoksia pinnan toimivuusvaatimuksien mukaisella tavalla. Eristerakenteet suunnitellaan yleensä osaksi suodatinkerrosta ja erillisen eristekerroksen suunnittelua ei juurikaan käytetä. Eristerakenne voidaan tehdä routimattomista materiaaleista, eristelevyistä tai näiden yhdistelmästä. Eristeen täytyy säilyttää sille asetetut ominaisuudet koko suunnitellun käyttöajan ajan. Tärkeimpiä ominaisuuksia eristävyiden kannalta ovat vaurioitumattomuus, lämmönjohtavuus sekä pakkasenkestävyys. Tarvittaessa rakenne kallistetaan siten, ettei vesi pääse kerääntymään rakenteeseen. Oulussa yleisimmät eristerakenteessa käytettävät materiaalit ovat masuunihiekka sekä OKTO-hiekka. (Poikkileikkauksen suunnitteluohje, 13; InfraRYL 2012. 11150, 56.)

Käytettäessä masuunihiekkaa eristemateriaalina tulee huomioida materiaalin sitoutuminen rakenteessa. Koska masuunihiekka saavuttaa kantavuusarvonsa vasta rakenteen sitouduttua, on tarpeen suunnitella masuunihiekkakerroksen päälle vähintään 250 mm:n kerros, joka koostuu 200 mm:n kantavasta kerroksesta sekä 50 mm tasauskerroksesta. Lisäksi kantavuusmittaukset suositellaan tehtäväksi vasta materiaalin sitouduttua. Tietä ei saa ottaa liikennekäyttöön ennen kuin tämä kerros on rakennettu. OKTO-hiekkaa käytettäessä laadunvalvonta-arvot ovat yhtäläiset suodatinkerroksen kanssa. (Poikkileikkauksen suunnitteluohje, 13.)

Eristelevyjä käytettäessä levyt asennetaan yhtenä kerroksena puskusaumoin. Lisäksi pyritään välttämään pitkittäisten saumojen sijoittamista oletettujen rengasurien kohdalle. Eristelevyn alapuolisen suodatinkerroksen tulee täyttää suodatinkerrokselle asetetut vaatimukset ja oltava riittävän tasainen, jotta eristelevy ei pääse rikkoitumaan esimerkiksi irtokiven tai taitteiden takia. Eristelevyn ja sen päällisen rakennekerroksen väliin asetetaan luokan 3 suodatinkangas sitomaan eristelevyt työaikana toisiinsa. Myös uusiotuotteiden yhteydessä käytetään suodatinkangasta pohjamaan kantavuuden ollessa 10 MN/m² tai pienempi. Kun pohjamaan kantavuus on tätä suurempi,

suodatinkankaan käyttötarve päätetään tapauskohtaisesti. (Poikkileikkauksen suunnitteluohje, 13.)

2.2 Kantavuusmitoitus

Kantavuusmitoitukset tehdään käyttäen Odemarkin kaavaa (kaava 1).

Kyseisellä kaavalla saadaan määritettyä rakenteen jokaisen kerroksen päältä saatu teoreettinen kantavuus. Mitoittaessa kantavuuksia Odemarkin kaavalla on tiedettävä mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus, mitoitettavan kerroksen materiaalin E-moduuliluku sekä mitoitettavan kerroksen paksuus. (Tierakenteen mitoitus, 32 - 33.)

Kantavuus lasketaan kaavalla 1 (Tierakenteen mitoitus, 33).

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2 \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}}} \quad \text{KAAVA 1}$$

E_A on mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus (Mpa)

E_p mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus (Mpa)

E mitoitettavan kerroksen materiaalin E-moduuli (Mpa)

h mitoitettavan kerroksen paksuus (m)

a 0,15 m

2.3 Routamitoitus

2.3.1 Routamitoituksen käsitteitä

Roudan syvyydellä tarkoitetaan 0-isotermin sijaintia maaperässä. Roudan syvyys ilmoitetaan tierakenteen keskeltä. Lumipeitteen eristävän vaikutuksen vuoksi roudan syvyys on pienempi tierakenteen reunoilla verrattuna tierakenteen keskiosaan. (Katujen tyyppirakenteet, 6.)

Roudan tunkeumalla pohjamaahan tarkoitetaan sitä etäisyyttä, jonka routa etenee rakennekerrosten alapinnasta pohjamaahan. **Routanousu** koostuu in situ -jäätymislaajenemasta ja routarintamaan imeytyvän veden jäätymisestä aiheutuvasta routanoususta eli segregatoroutanoususta.

Segregatoroutanousussa muodostuu jäälinsejä routivaan pohjamaahan, joiden koko ja esiintymistiheys vaihtelevat pohjamaan mukaan. Routanousu ilmoitetaan tierakenteen keskeltä, ja rakenteen reunoilla routanousu on pienempi. Tierakenteen eri osien välinen routanousuero aiheuttaa rakenteeseen jännitystilan johtaen routavaurioihin. Routavauriot syntyvät, kun tierakenne menettää taivutuslujuutensa. Teiden yleisin routavauriotyyppi on pituussuuntainen keskihalkeama, kun taas kaduilla yleisin vauriotyyppi on epätasaisuus. (Katujen tyyppirakenteet, 6.)

2.3.2 Sallittu laskennallinen routanousu

Tierakenteelle sallitaan tietyn suuruinen routanousu (RN_{sall}). Sallittu routanousu riippuu tien luokasta, rakenteen kestävydestä ja pohjaolosuhteiden tasalaatuisuudesta. Tien luokkaan vaikuttavat liikennemäärä sekä ajonopeus, ja rakenteen kestävyys määräytyy käytettävistä materiaaleista sekä vahvistuksista. Pohjaolosuhteista riippuen sallitulle routanousulle määritetään eri arvot riippuen siitä, onko pohjamaa tasalaatuista vai epätasalaatuista. Epätasalaatuisella pohjamaalla routanousu on epätasaista ja näin ollen sallittu routanousu on pienempi kuin vastaavalla rakenteella tasalaatuisella pohjamaalla. Tasalaatuisella pohjamaalla routanousu on tasaista, jolloin voidaan sallia suurempi routanousun arvo. Suuri routanousu aiheuttaa kuitenkin pituushalkeamia etenkin kapeilla teillä. Sallitut routanousun arvot eri vaatimusluokille löytyvät taulukosta 1. (Tierakenteen suunnittelu, 40.)

TAULUKKO 1. Teiden sallittu laskennallinen routanousu RN_{sall} (Tierakenteen suunnittelu, 41)

Vaatusluokat V1...K2 ja niitä kuvaavia tietoja mm. mitoitusnopeus	Suurin sallittu laskennallinen routanousu (RN_{sall})					Siirtymäkiilan kaltevuus 1 : k ⁴⁾
	Tasalaatuinen pohjamaa ¹⁾			Sekalaatuinen pohjamaa ¹⁾		
	Ei teräsverkkoa		Teräsverkko ³⁾	Ei teräsverkkoa	Teräsverkko ³⁾	
	Norm. tapaus	Louherak. ym. ²⁾				
V1, Moottoriväylät (Mo, mol)	30	30	30	0	0	1:40
V2, Päätiät (Vt, Kt) 80 - 100 km/h	70	70	100	10	10	1:30
V3, Seudulliset tiät 80...100 km/h ja KVL > 1000 ajon/vrk	100	70	130	10	10	1:20
V4, Seudulliset tiät 60 km/h tai KVL < 1000 ja paikallisväylät KVL > 1000 ajon/vrk	130	70	160	30	100	1:15
V5, Paikallisväylät, KVL 400...1000 ajon/vrk	160	100	ei rajaa	70	130	1:15
R1, Reunatuellinen tai viemäröity, 80 km/h, KVL yli 1000 ajon/vrk	30	30	30	0	0	1:30
R2, Reunatuellinen tai viemäröity, 50...70 km/h, KVL yli 1000 ajon/vrk	70	70	100	0	0	1:30
R3, Reunatuellinen tai viemäröity, alle 50 km/h, KVL alle 1000 ajon/vrk	Paikallisen (kuntakohtaisen) käytännön mukaan					
K1, Kevyenliikenteentie, erillinen, päällystetty	70	70	160	30	130	1:10
K2, Kevyenliikenteentie, korotettu	Kuten ajoradalla					

1) Tasalaatuisuus ja sekalaatuisuus (epätasalaatuisuus) arvioidaan kohdan 3.3 mukaan.
 2) Koskee louhetta, solumuovia tai sementtistabilointia (SST) sisältäviä rakenteita.
 3) Teräsverkolla tarkoitetaan julkaisun Teiden suunnittelu IV 7 Rakenteen parantaminen (1991) kuvan 72:3 mukaista teräsverkkoa tai pituushalkeamien torjuntaan yhtä tehokkaaksi (pieni venymä) osoitettua verkkoa tai muuta ratkaisua.
 4) Hiekkatäytteen siirtymäkiilan pohjan kaltevuus suhteessa tien tasausviivaan. Muista materiaaleista tehtävän kiilan pituus on sama kuin hiekkakiilan pituus, mukaan luettuna lämpöeristeistä tehtävät kiilat.

Oulun alueella tehtävään katusuunnitteluun on laadittu oma suunnitteluohje, jossa jokaiselle katuluokalle on määritetty sallittu routanousun arvo (taulukko 2). Laskennoissa mitoituspakkasmääränä on käytetty kerran 10 vuodessa toistuvaa pakkasmäärää, joka on Oulussa $F_{10} = 43000$ Kh. Kyseinen arvo perustuu ilmatieteen laitoksen havaintojen perusteella laatimiin tilastollisiin pakkasmääräkäyriin. Tässä työssä tehdyissä routamitoituslaskelmissa on

käytetty taulukon 2 mukaisia sallittujen routanousujen arvoja. (Katujen tyyppirakenteet, 4-5.)

TAULUKKO 2. Kevättavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä, levykuormituskokeella suoritettujen laadunvalvontamittausten keskiarvovaatimus kantavuudelle kantavan kerroksen päältä sekä sallittu routanousu katuluokittain (Katujen tyyppirakenteet, 5)

Katuluokka	Kevättavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä (mitoituskantavuus) [MN/m ²]	Laadunvalvontamittausten keskiarvo vaatimus kanta- van kerroksen päältä [MN/m ²]	Sallittu routanousu [mm]
Katuluokka E	160	200	10
Katuluokka 2	160	200	30
Katuluokka 3	160	195	50
Katuluokka 4	145	175	50
Katuluokka 5	135	160	50
Katuluokka 6	115	130	50
Katuluokka 6, teräsverkolla vahvistettu erillinen klv ¹⁾	115	130	150

¹⁾ Esim. puistoon sijoittuva kevyenliikenteenväylä, jossa ei ole kunnallistekniikkaa.

Jokaiseen katuluokkaan kuuluvat katutyypit on koottu taulukkoon 3.

TAULUKKO 3. Katuluokkiin kuuluvat katutyypit (Katujen tyyppirakenteet, 4)

- Katuluokka 1: Kokoojakadut ja pääkadut.
- Katuluokka 2: Kokoojakadut ja pääkadut.
- Katuluokka 3: Pientaloalueiden kokoojakadut, kerrostaloalueiden tonttikadut, rivitaloalueiden tonttikadut, Teollisuusalueiden kadut. (Kerrostaloalueiden kokoojakadut).
- Katuluokka 4: Pientaloalueiden tonttikadut, rivitaloalueiden lyhyet tonttikadut, teollisuusalueiden lyhyet tonttikadut, raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet. (Pientaloalueiden kokoojakadut).
- Katuluokka 5: Pysäköintialueet, huoltoliikenne. (Pientaloalueiden lyhyet tonttikadut, pienet pysäköintialueet, huoltoliikenne, kevyenliikenteen väylät).
- Katuluokka 6: Kevyenliikenteen väylät.

2.3.3 Routanousun laskeminen

Kokonaan routimattoman tierakenteen ja lievästi routivan tierakenteen routanousun laskentaan on omat kaavansa. Kaavan valintaan vaikuttavat käytettävien materiaalien routivuusarvot. Routimattoman tierakenteen routanousu lasketaan kaavalla 2 ja lievästi routivaan tierakenteeseen käytetään kaavaa 3.

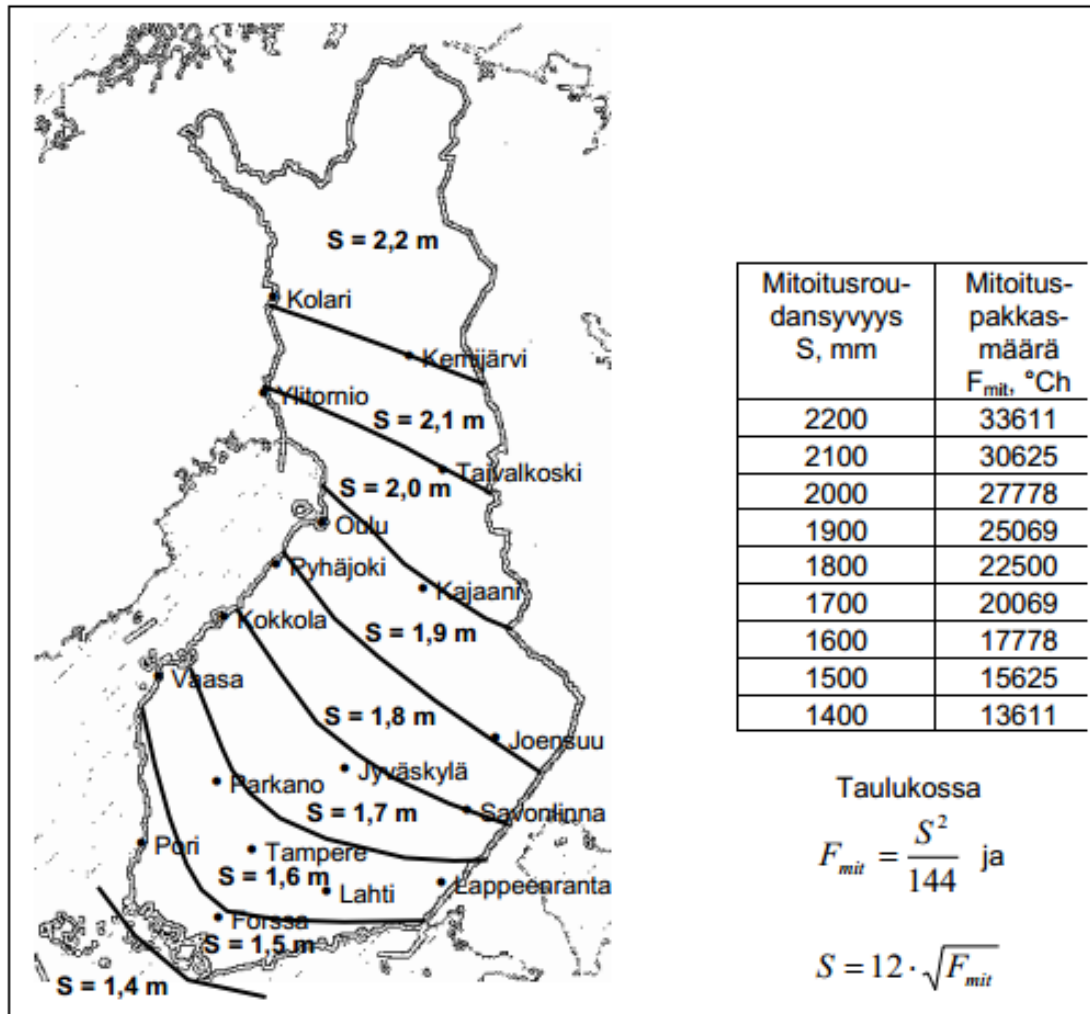
Routanousu lasketaan kaavoilla 2 ja 3. (Tierakenteen suunnittelu, 42.)

$$RN_{\text{lask}} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 \text{ jne.}) \cdot t/100 \quad \text{KAAVA 2}$$

$$RN_{\text{lask}} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 - a_{\text{rva}} \cdot R_{\text{rva}} \text{ jne.}) \cdot t/100 + R_{\text{rva}} \cdot t_{\text{rva}}/100 \quad \text{KAAVA 3}$$

RN_{lask}	on	laskennallinen routanousu (mm)
S		mitoitusroutasyvyys (mm) kuvasta 1
R_i		routimattoman kerroksen paksuus (mm), i on kerroksen nro
a_i		materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta taulukosta 2
t		alusrakenteen routaturpoama (%)
R_{rva}		routivan kerroksen paksuus (mm)
a_{rva}		routivan kerrosmateriaalin vastaavuus eristävyden kannalta, yleensä $a_{\text{rva}} = 1$
t_{rva}		routivan kerrosmateriaalin routaturpoama (%)

Keskimääräistä kylmempänä, kerran 10 vuodessa toistuvana talvena routa tunkeutuu noin 0,5 - 0,9 m kuvan 1 mitoitusroutasyvyyttä ja pakkasmäärällä laskettua roudan syvyyttä syvemmälle. Todellinen routanousu voi olla suurempi kuin laskettu routanousu, joten jäätymiseltä suojattavien vesijohtojen asennussyvyys on kuvan arvoja suurempi. (Tierakenteen suunnittelu, 42.)



KUVA 1. Mitoitusroudansyvyys (S) ja mitoituspakkasmäärä (Fmit) (Tierakenteen suunnittelu, 43)

Mitoituksissa käytettävät materiaalien eristävyden vastaavuusarvot, E-moduuliarvot sekä rtr-painot on koottu taulukkoon 4.

TAULUKKO 4. Materiaalien vastaavuus eristävyden kannalta, E-moduuliarvo ja rtr-paino (tierakenteen suunnittelu, 43; LD-masuunihiekan suunnittelu- ja rakentamisohje, 19; OKTO-kevytkiviaines, 1; OKTO-eriste, 1)

Kerrosmateriaali	Materiaalin vastaavuus eristävyden kannalta, a_1	E-moduuliarvo [MN/m ²]	Rakenneteoreettinen tilavuuspaino [t/m ³]
Hiekka ¹⁾	1,0	50	1,8
Sora, murske ¹⁾	0,9	280	2,1
Masuunihiekka ¹⁾	1,7	600	1,5
LD-Teräskuona ²⁾	1,0	600	2,1
LD-MaHk (30/70) ²⁾	1,4	600	1,8
OKTO-eriste ²⁾	1,7	100	1,75
OKTO-kevytkiviaines ²⁾	1,7	150	1,75

1) Materiaalien arvot ovat standardisoituja, eli kyseisiä arvoja on pakollista käyttää mitoituksessa.

2) Materiaalien arvoja ei ole vielä standardisoitu, mutta kyseisiä arvoja on esitetty standadisoinnin arvoiksi.

2.3.4 Pohjamaan routivuusominaisuudet

Maaperän routivuuteen vaikuttavat maalajin ominaisuudet, pakkasmäärä, veden saatavuus, routimattomien maakerrosten paksuus sekä pohjavedenpinnan korkeusasema. Routivuutta voidaan arvioida eri kriteerien perusteella, joista yleisin routivuuskriteeri perustuu rakeisuuteen. Maalajit voidaan luokitella

rakeisuuden perusteella routiviin ja routimattomiin, mutta routivuuden määrää ei voida määrittää luotettavasti rakeisuuden perusteella. Routivuuslaskelmissa tarvittavat pohjamaan routaturpoama-arvot sekä kantavuusarvot on esitetty taulukossa 5. Pohjamaan oletetaan laskelmissa olevan märkää, lähellä kyllästymispistettä. (Katujen tyyppirakenteet, 7; Tierakenteen suunnittelu, 35.)

TAULUKKO 5. Tien pohjamaan ja/tai alusrakenteen kelpoisuusluokat ja mitoitusominaisuudet (t ja E) kelpoisuusluokittain ”kuivissa” ja ”märissä” olosuhteissa (Tierakenteen suunnittelu, 35)

Kelpoisuusluokka	Läpäisy-% pesuseulonassa		Routaturpoama t (%)		E -moduuli (MPa)		Informatiivisia tietoja		
	0,063 mm seula	2 mm seula	Kui-va	Mär-kä	Kui-va	Mär-kä	Geo-maalajiluokka	Routi-vuus	Mahdollinen käyttö-kohte
S1	alle 7	alle 70	0	0	100	100	Sr, srHk (SrMr, srHkMr)	routi-maton	jakava kerros
S2 ¹⁾	7 – 15	alle 70	0	3	70	50	SrMr, srHkMr	lievästi routiva	penger, stabilointi
S3	16 - 30	alle 70	3	6	50	35	SrMr, srHkMr	routiva	penger kuivana
S4	31 - 50	alle 70	6	12	35	20	siSrMr sisrHkMr	routiva	penger kuivana
H1	alle 7	yli 70	0	0	70	70	Hk, (HkMr)	routi-maton	suodatin
H2 ²⁾	7 - 15	yli 70	3	3	50	50	Hk, HkMr	lievästi routiva	suodatin
H3	16 - 30	yli 70	6	12	35	20	Hk, HkMr	routiva	penger kuivana
H4	31 - 50	yli 70	6	12	35	20	siHk, siHkMr	routiva	penger kuivana
U1	yli 50		12	16	20	20	Si, SiMr, kerrall. Sa/Si ³⁾	erittäin routiva	maaston muotoilut, läjitys
U2	yli 50			6 ⁴⁾		35	jäykkä Sa ⁵⁾	routiva	
U3	yli 50			6 ⁴⁾		10	pehmeä Sa ⁵⁾	routiva	
U4				6		10	Lj	routiva	

1) Kuuluu luokkaan S1, jos läpäisyprosentti 0,02 mm kohdalla on alle 3.

- 2) Kelpoisuusluokan H2 hiekka, joka täyttää suodatinkerroksen laatuvaatimukset ja näytteet tutkitaan ohjeen TYLT Kerros- ja pengerrakenteet mukaisesti: $E = 70 \text{ Mpa}$, $t = 0 \%$ (vaikka muuten E olisi pienempi ja t olisi suurempi).
- 3) Kerrallinen savi/siltti (Sa/Si) on maata, jossa saven joukkoon on ainakin paikoin silttikerroksia tai sitäkin karkeampia (vettä johtavia) kerroksia.
- 4) Saven paikallinen routaturpoama voidaan määrittää myös takaisinlaskennalla lähistön olemassa olevan tien routanousuhavainnoista.
- 5) Savi (Sa) on jäykkä, kun siipikairalla määritetty leikkauslujuus on vähintään 40 kPa ja pehmeää, kun leikkauslujuus on alle 40 kPa .

Routivuuden voimakkuutta voidaan kuvata myös routimiskertoimen (segregaatiopotentiaali) avulla. Kerroin voidaan määrittää joko kokeellisesti routanousukokeen avulla tai takaisinlaskemalla in situ -routanousuhavaintojen perusteella. Takaisinlaskennassa tarvitsee tietää routanousun lisäksi pakkasmäärä, pohjamaan laji sekä rakennekerrosten paksuus. (Katujen tyyppirakenteet, 7.)

Routimiskerroin vaihtelee maalajeittain routivuuden ollessa suurinta savisilla silteillä sekä savisilla silttimoreeneilla, joiden routimiskerroin voi olla $15 \text{ mm}^2/\text{Kh}$. Taulukkoon 6 on kerätty maalajien tyypilliset routimiskertoimet 20 kPa :n kuormituksella vastaten 1 m:n paksuista rakennekerrosta. Lisäksi taulukossa 6 on esitetty laskennoissa käytetyt pohjamaan kuivatilavuuspaino, vesipitoisuus, lämmönjohtavuus sekä kantavuus maalajeittain. Pohjamaan on oletettu olevan kosteaa, lähellä kyllästynyttä tilaa. (Katujen tyyppirakenteet, 7.)

TAULUKKO 6. Pohjamaan laskennoissa käytetyt materiaaliominaisuudet; kuivatilavuuspaino, vesipitoisuus, lämmönjohtavuus, kantavuus ja routimiskerroin (Katujen tyyppirakenteet, 8)

Maalaji	Kuivatila- vuuspaino [kN/m ³]	Vesipitoisuus [%]	Lämmönjoh- tavuus (sula) [W/mK]	Lämmönjoh- tavuus (jäät.) [W/mK]	Kantavuus [MN/m ²]	Routimiskerroin 20 kPa:n kuormituksella [mm ² /Kh] (kvartiilit ja mediaani)		
						0.25	Med.	0.75
hHk	17.0	18	1.4	2.0	20 (30)	0.0	1.0	2.0
siHk	16.5	20	1.4	2.1	20	1.0	3.0	4.0
Si	15.0	26	1.3	2.1	10	3.0	6.0	8.0
hkSi	16.0	22	1.3	2.1	20	1.0	4.0	6.0
saSi	14.0	30	1.2	2.1	5...10	5.0	8.0	10.0
ljSi	12.0	45	1.1	2.3	5	4.0	5.0	6.0
laSa	13.0	40	1.2	2.4	5...10	4.0	5.0	6.0
liSa	11.0	55	1.1	2.4	5...10	3.0	4.0	5.0
ljSa	9.0	70	1.0	2.2	5	3.0	4.0	5.0
SiMr	17.5	16	1.4	2.0	10	4.0	6.0	8.0
saSiMr	17.0	18	1.4	2.1	10	5.0	8.0	10.0
hkSiMr	18.0	15	1.4	2.1	20	4.0	6.0	8.0
HkMr	18.5	13	1.8	2.5	20 (50)	2.0	4.0	6.0
siHkMr	18.0	15	1.4	2.1	20	2.0	6.0	10.0
srHkMr	19.0	12	1.9	2.5	20 (50)	1.0	3.0	6.0
SrMr	20.0	10	2.1	2.6	20 (100)	1.0	2.0	5.0
hkSrMr	19.0	11	1.9	2.4	20 (100)	1.0	2.0	5.0

¹⁾ Suluissa routimattomien materiaalien kantavuudet

Routamitoituksessa voidaan käyttää joko taulukon 5 mukaisia turpoama- ja kantavuusarvoja tai vaihtoehtoisesti taulukon 6 mukaisia routivuuskertoimia ja kantavuusarvoja. Tässä työssä mitoituksessa käytetään turpoama- ja kantavuusarvoja taulukon 6 mukaisesti.

2.4 Uusiotuotteiden käyttöön vaikuttavat tekijät

Uusiotuotteiden käyttöön ja niiden taloudellisuuteen vaikuttavat useat eri tekijät prosessin eri vaiheissa. Osa uusiotuotteista on ominaisuuksiltaan lähellä luonnonmateriaaleja, jolloin niiden käyttö ei poikkea merkittävästi luonnonmateriaalien käytöstä. Osa uusiotuotteista on ominaisuuksiltaan erittäin vaativia ja niiden hyödyntäminen vaatii erityistä huolellisuutta. Seuraavassa on listattu yleisimpiä uusiotuotteiden käyttöön vaikuttavia asioita.

Kuljetuksista, materiaaleista ja niiden saatavuudesta aiheutuvat **kustannukset** vaikuttavat materiaalin valintaan oleellisesti. Pitkät ja kalliit kuljetukset voivat

poissulkea muuten vartenotettavan materiaalin valinnan. Toisaalta taas rakenteeseen voidaan valita kaukaakin tuotava materiaali, jos sen yksikköhinta on muita vaihtoehtoja huomattavasti alhaisempi. Materiaalinvalinnassa siis ratkaisee materiaalihinnan ja kuljetusten aiheuttama yhteiskustannus.

Materiaalin tasalaatuisuuteen vaikuttavat käytetyn raakamateriaalin laatuvaihtelu, vaihtelu uusiotuotteen valmistusprosessissa sekä käsittely- ja varastointitapa. Materiaalin tasaisuus luo edellytykset uusiotuotteen parhaalle mahdolliselle hyötykäytölle. (Sivutuotteiden ominaisuudet, 32.)

Varastoinnin pituudella on vaikutusta tuotteen laatuun. Tietyillä hienojakoisilla materiaaleilla ulkovarastointi lisää materiaalin vettymis- ja liettymisriskiä ja pitkät varastointiajat heikentävät esimerkiksi lentotuhkan sitoutumiskykyä. (Sivutuotteiden ominaisuudet, 32.)

Tuotteiden tiivistettävyyys vaihtelee riippuen uusiotuotteesta. Tiivistymisen onnistuminen riippuu tiivistettävän tuotteen lisäksi myös alusta kantavuudesta. Hauras uusiotuote saattaa rikkoutua liikaa tiivistettäessä ja menettää kantavuusominaisuuksia. Myös **materiaalin käytettävyyys** työmaalla vaihtelee materiaaleittain. Esimerkiksi masuunihiekan ja OKTO-tuotteiden käytettävyyys on luonnonmateriaaleihin verrattavissa, kun taas tukkien käyttö on huomattavasti hankalampaa kuin luonnontuotteiden. (Sivutuotteiden ominaisuudet, 32.)

Joidenkin materiaalien **kokoonpuristuvuus** on huomattavaa rakentamisen aikana. Kokoonpuristuvuuden tasaisuuteen vaikuttaa uusiotuotteen tasalaatuisuus. Osa tuotteista kuten kipsi ja tesäkuona turpoavat uusina, jolloin niiden vanhentaminen ennen käyttöä on huomioitava rakentamisprosessissa. (Sivutuotteiden ominaisuudet, 33.)

Haitta-ainepitoisuudet ja niiden liukoisuus vaikuttavat materiaalin suojaustarpeeseen haitta-ainesten leviämisen estämiseksi. **Suojaustarve** esimerkiksi tuotteelle haitalliselta vedeltä tai suolta on tutkittava uusiotuotetta käytettäessä. (Sivutuotteiden ominaisuudet, 33.)

Materiaalin suuri lujuus vaikuttaa mahdollisiin kaivuutöihin jälkikäteen ja niiden onnistumiseen. Metallien **korroosioriski** voi kasvaa uusiotuotteen happamuuden tai emäksisyyden takia. Esimerkiksi betonimursketta käytettäessä korroosioriski kasvaa ja tämä on huomioitava suunnitelmissa. (Sivutuotteiden ominaisuudet, 33.)

3 UUSIOTUOTTEET

Luonnonmateriaalien säästämiseksi tulisi käyttää vaihtoehtoisia materiaaleja tie- ja katurakentamisessa. Muun muassa teollisuuden prosessien sivutuotteena saatavia materiaaleja voidaan hyödyntää katurakentamisessa. Ilman uusiokäyttöä sivutuotteet ovat arvotonta jätettä, josta yritykset haluavat päästä eroon. Käyttämällä uusiotuotteita voidaan siis säästää luonnonmateriaaleja ja lisäksi teollisuuden sivutuotteet saadaan uusiokäyttöön ekologisella tavalla.

3.1 Uusiotuotteiden luvat ja asetukset

Suomen lainsäädäntö ei tunne käsitettä sivutuote, vaan lain mukaan sivutuotteet ovat joko tuotelainsäädännön mukaisia tuotteita tai ympäristölainsäädännön alaisia jätteitä. Jätelain mukaan jäte on ainetta, jonka haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 15.)

Lähes poikkeuksetta käytettäessä jätettä maarakennuskäyttöön, tarvitaan ympäristösuojelulain (86/2000) 28 §:n mukainen **ympäristölupa**. Lupavelvollisuus ei kuitenkaan koske (YSL 30 § ja YSA, 4 §) jätteitä, joiden käyttö on valtioneuvoston eräiden jätteiden rakennuskäyttöä koskevan asetuksen (591/2006) mukaista. Tällaisia jätteitä ovat betonimurske sekä kivihiilen, turpeen ja puuperäisen aineksen polton lentotuhkat ja pohjatuhkat. Tällöin hyödyntämisestä on kuitenkin tehtävä ilmoitus ympäristösuojelun tietojärjestelmään. Ilmoituksen tekee hyödyntämispaikan haltija tai haltijan valtuuttama jätteen tuottaja ja hyödyntäminen voidaan aloittaa vasta, kun ilmoitus on rekisteröity. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 16.)

3.1.1 Ympäristölupa

Jos ilmoitusmenettelyn edellytykset eivät täyty, täytyy jätteen hyötykäyttöön hakea ympäristölupa. Ympäristölupaa haetaan seuraavissa tapauksissa:

- Sivutuote tai käyttökohde ei kuulu asetuksen soveltamisalaan.

- Tuottajalla ei ole asetuksen mukaista laadunhallintajärjestelmää tai sivutuotetta ei ole tutkittu asetuksen vaatimusten mukaisesti.
- Haitta-aineiden liukoisuudet tai pitoisuudet eivät ole täyttäneet asetuksen mukaisia perustutkimusten ja/tai laadunvalvonnan raja-arvoja.
- Sivutuoterakenteen kerrospaksuus on yli 150 cm tai jokin muu asetuksen 5 §:n jätteen hyödyntämistä koskevista vaatimuksista ei täyty.
(Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 18.)

Ympäristölupaa haetaan kunnan ympäristöviranomaiselta, jos hyödynnettävä määrä on alle 5000 tonnia ja määrän ollessa yli 5000 tonnia, haetaan lupaa alueelliselta ympäristökeskukselta. Hakemukseen täytyy liittää lupaharkinnan kannalta tarpeellinen selvitys toiminnasta, sen vaikutuksista, asianosaisista ja muista merkityksellisistä seikoista. Hakemuksessa tulee olla ainakin seuraavat tiedot:

- hakijaa ja sijoituskohdetta koskevat tunnistetiedot
- yleiskuvaus toiminnasta
- sijoitusalueen kaavoitus tilanne ja kuvaus ympäristön maankäytöstä
- yleistiedot sijoituksen ympäristökuormituksista. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 18.)

3.1.2 CE-merkintä

EU:n rakennustuoteasetus on euroopan unionin jäsenmaiden yhteisesti valmistelma asetus, jolla määritetään yhtenäinen rakennustuotteiden teknisten laatuvaatimusten laatujärjestelmä. EU:n alueella käytettävien rakennustuotteiden täytyy olla CE-merkittyjä 1.7.2013 mennessä. CE-merkinnällä varmistetaan, että tuote täyttää sille asetetut vaatimukset. Lisäksi yhtenäisen merkinnän tavoitteena on tuotteiden vapaa liikkuvuus unionin alueella ja tuotteiden hankintojen helpottuminen muista unionin maista. (Kiviainesten laatuvaatimukset hankinnoissa.)

Kiviaines CE-merkitään käyttökohteittain ja tuotteittain. Merkinnästä tulee selvittää tuotteen tekniset ominaisuudet joko arvoina tai luokkina. Esitettävät arvot ja

luokat määritetään tuotestandardeissa, kuten kevytkiviainekset SFS-EN 13055 ja sitomattomat kiviainekset SFS-EN 13242. Tuotteen valmistaja vastaa CE-merkinnästä, mutta vaativissa kohteissa merkinnän oikeellisuutta varmentaa ilmoitettu laitos, esimerkiksi Inspecta, Sertifiointi tai VTT. TUKES valvoo CE-merkintöjä ja ennen tarjouspyynnön lähettämistä tulee varmistaa, että tarjoajalla on valmius CE-merkintään. (Kiviainesten laatuvaatimukset hankinnoissa.)

3.2 Yleisimmät uusituotteet katurakentamisessa

Yleisimpiä käytettäviä uusiotuotteita katurakentamisessa ovat LD-masuunihiekka, masuunihiekka, LD-teräskuona sekä OKTO-tuotteet. Lisäksi katurakenteessa voidaan hyödyntää vaahtolasia, betonimurskeita, purkuasfalttia sekä rengasrouhetta ja erilaisia teollisuudesta saatavia tuhkia. Seuraavassa on kerrottu näiden tuotteiden valmistuksesta, ominaisuuksista sekä käyttömahdollisuuksista.

3.2.1 Masuunihiekka

Masuunihiekka (MaHk) on raakaraudan valmistusprosessista saatava sivutuote, jonka kemialliset ominaisuudet riippuvat masuuniprosessista sekä käytettävistä raaka- ja sivuaineista. Masuunihiekan pääkomponentit ovat piin (Si), kalsiumin (Ca), alumiinin (Al) ja magnesiumin (Mg) oksidit. Myös rikkiä (S), titaania (Ti), alkaaleja ja mangaania (Mn) esiintyy masuunihiekassa, mutta niiden pitoisuudet ovat verrattaen pieniä. Nykyään masuunihiekan saatavuus vallitsevaan kysyntään verrattuna on heikentynyt siinä määrin, että on tarpeellista sekoittaa sitä muihin uusiotuotteisiin. Tämän takia on kehitetty LD-masuunihiekka, jonka ominaisuuksia ja käyttöä käsitellään myöhemmin tässä työssä.

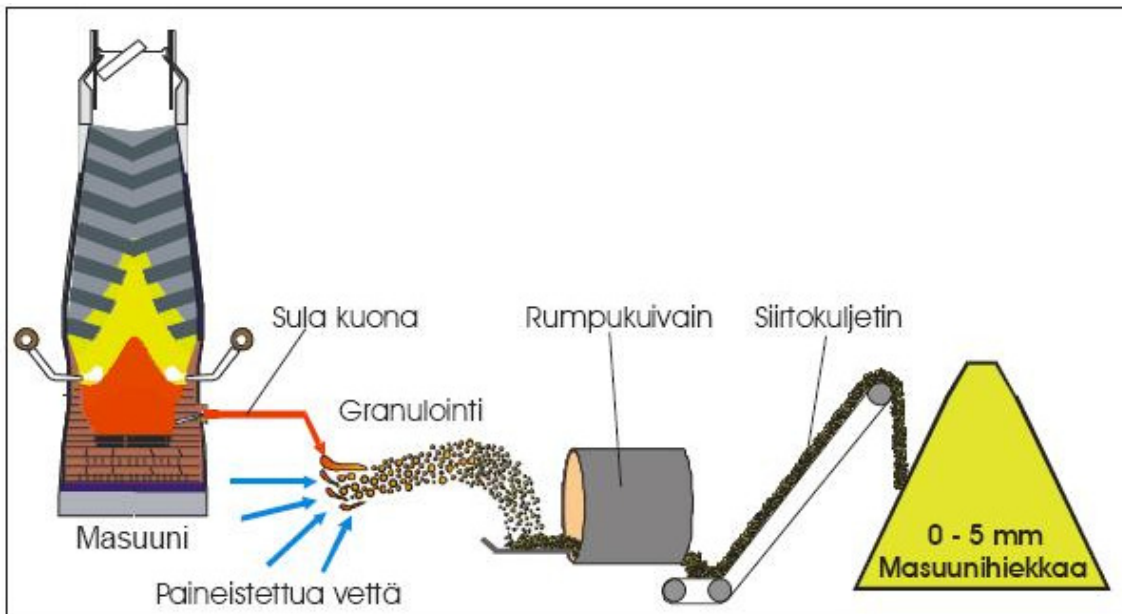
(LD-masuunihiekan suunnittelu- ja rakentamisohje tie-, katu- ja maarakenteissa, 5; Masuunihiekka, 2.)

Korkeassa, noin 1400 - 1500 °C:n lämpötilassa rautamalmin sivukivien oksidit reagoivat masuuniin lisätyn kalkin kanssa muodostaen kuonakerroksen sulan raudan päälle. Masuunin oikean toiminnan vuoksi kuonan koostumus on

pidettävä mahdollisimman tasaisena. Masuunihiekan tärkeimmät ominaisuudet rakentamisen kannalta ovat sen lämmöneristys- ja sitomiskyky.

Rakeisuudeltaan se muistuttaa pitkälti luonnonhiekkä. (LD-masuunihiekan suunnittelu- ja rakentamisohje tie-, katu- ja maarakenteissa, 5; Masuunihiekka, 2.)

Masuunihiekkä saadaan vesijähdyttämällä eli granuloimalla sulaa masuunikuonaa. (kuva 2.) Granuloinnissa sulaan kuonaan johdetaan vettä 2,5 barin paineella saaden lasimaista ja huokoista materiaalia. Saatu tuote on tasalaatuista, raekooltaan 0 - 5 mm. Vesijähdytyksen jälkeen masuunihiekka johdetaan rumpukuivaimen kautta kuljetushihnalla varastoitavaksi. Tuotteella on CE-merkintä perustuen standardiin SFS-EN 13242. (Masuunihiekka, 2.)



KUVA 2. Masuunikuonan suoragranulointi. (LD-masuunihiekan suunnittelu- ja rakentamisohje tie-, katu- ja maarakenteissa, 5.)

3.2.2 LD-teräskuona

LD-teräskuona on terästeollisuuden sivutuotteena saatava kuonatuote. Yleisimmin käytettyjä kuonanmuodostajia ovat poltettu kalkki (CaO) ja dolomiittikalkki ($\text{CaO}\cdot\text{MgO}$). Teräskuonaa saadaan teräskuonakonverterissa

raakaraudan hiilipitoisuutta laskettaessa eli mellotettaessa. Yleensä hiilipitoisuus laskee 4 %:sta noin 0,05 %:iin. Konvertterissa sulan raudan pinnalle puhalletaan happea, joka muodostaa raudan epäpuhtauksien, kuonanmuodostajien sekä lisäaineiden kanssa kuonan. (LD-masuunihiekan suunnittelu- ja rakentamisohje tie-, katu- ja maarakenteissa, 6.)

Kuonanmuodostuksessa on tavoitteena saada aikaan kuokuva ja pehmeä kuona mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jolloin epäpuhtauksien poisto alkaa nopeasti ja mellotus tehostuu. Konvertterilta kuona siirretään siirtosenkoilla ilmajäähdytyspaikalle, jossa sen annetaan jäähtyä useita päiviä. Kuonan jäähtyttyä se louhitaan koneellisesti irti, louhitaan ja siitä poistetaan vielä metalleja. Tämän jälkeen kuonatuotteet seulotaan haluttuihin jakeisiin ja siirretään kasoihin vanhentumaan. Pohjois-Suomen aluehallintovirasto on myöntänyt 13.12.2012 teräskuonalle CE-merkinnän perustuen standardiin SFS-EN 13242. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 42.)

Teräskuona voi paisua tuoreena kosteuden vaikutuksesta jopa 10 % riippuen materiaalin huokoisuudesta, rakeissa olevien halkeamien sekä vapaan kalkin määrästä. Kalkista johtuen teräskuona on jonkin verran sitoutuva materiaali. Paisuminen ja sitoituminen tapahtuvat hitaasti ajan myötä ja voivat käynnistyä uudelleen rakeiden rikkoutuessa. Tämä täytyy ottaa huomioon teräskuonan käyttöä suunniteltaessa. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 41.)

Teräskuonassa on vähemmän huokosia masuunihiekkaan verrattuna. Lisäksi se on luonnonkiviainesta sekä masuunihiekkaan painavampaa. LD-teräskuona soveltuu sellaisenaan päällystekiviaineeksi sekä varauksin myös kantavaan ja jakavaan kerrokseen. Paisumisesta johtuen täytyy varmistua riittävästä kuonan vanhentamisesta ennen käyttöä rakenteessa. Teräskuonaa voidaan käyttää tierakenteessa myös sekoittamalla sitä esimerkiksi masuunihiekan kanssa. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 41.)

3.2.3 LD-masuunihiekka

LD-masuunihiekka on kehitetty täyttämään masuunihiekan nousseen kysynnän tarve, jota masuunihiekka yksin ei voi täyttää. LD-masuunihiekkaa valmistetaan kolmessa eri seossuhteessa; 10/90, 30/70 sekä 50/50. Seossuhteen ensimmäinen termi kertoo teräskuonan prosenttiosuuden seoksessa. Tuotteiden sekoittamisella on tavoitteena yhdistää kummankin hyvät ominaisuudet. Teräskuona toimii seoksessa masuunihiekan lujittumisen aktivaattorina ja masuunihiekka rajoittaa teräskuonan paisumista. Lisäksi masuunihiekan hyvät adsorptio-ominaisuudet edistävät teräskuonasta liukenevien sulfaattiyhdisteiden sitomisessa. Seoksen kantavuutta ja kulutuskestävyyttä saadaan parannettua teräskuonan avulla, jonka raekoko on karkeampi ja kiviaineksen laatu parempi kuin masuunikuonassa.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto on myöntänyt 13.12.2012 LD-masuunihiekalle CE-merkinnän perustuen standardiin SFS-EN 13242. Yleisin käytetty seossuhde on 30/70 ja sitä käytetään tämän työn mitoituksissa LD-masuunihiekan kohdalla. Seossuhteella on vaikutusta tuotteen käyttöön ja seossuhde 50/50 on yleisin LD-masuunihiekan seossuhde käytettäessä stabilointia. (LD-masuunihiekan suunnittelu- ja rakentamisohje tie-, katu- ja maarakenteissa, 6.)

3.3 OKTO-Tuotteet

3.3.1 OKTO-eriste

OKTO-eristettä käytetään yleisesti routaeristämiseen tien- ja talonrakentamiskohteissa. Sen käyttökohteita ovat tie- ja katurakennekerrosten lisäksi erilaiset perustusten ja alapohjien täytöt, piha- ja kenttärakenteet, työaikainen routamitoitus sekä putkijohtokaivannot ja salaojien ympärystäytöt. Hyvän eristemateriaalin OKTO-eristeestä tekee sen rakeiden huokoisuudesta johtuva lämmöneristävyysarvo. Tuotteen pääkomponentit ovat piioksidi (SiO_2), magnesiumoksidi (MgO) sekä alumiinioksidi (Al_2O_3). Lisäksi OKTO-eriste

sisältää pieniä määriä kromia (Cr), rautaa (Fe) sekä kalsiumoksidia (CaO). (OKTO-eriste, 1.)

OKTO-eristettä valmistetaan ferrogromikuonasta granuloimalla. Granuloinnissa ferrogromikuonaan johdetaan vettä paineella, jolloin sula massa rakeistuu raekokoon 0/11 mm. Tällä tavoin saadaan hyvin huokoinen ja kevyt rakenne, joka soveltuu ominaisuuksiensa puolesta eristeeksi. Luonnonhiekkiaan verrattuna OKTO-eristeen eristävyysarvo on noin 3 - 4 kertaa suurempi. OKTO-eristeen rakenneteoreettisena tilavuuspainona käytetään $1,75 \text{ t/m}^3$ ja E-moduuliarvona 100 MN/m^2 . Tuotteella on CE-merkintä standardiin SFS-EN 13242 perustuen. (OKTO-eriste, 1.)

Käytettäessä OKTO-eristettä tierakenteessa saavutetaan arviolta 30 - 50 % pienempi massanvaihtotarve routasuojauksen kannalta verrattuna luonnonmateriaaleihin. OKTO-eriste on lisäksi kantava materiaali johtuen sen raemuodosta, suuresta kitkakulmasta ($39 - 42^\circ$) sekä hyvästä raejakaumasta. Kantavuudesta johtuen OKTO-eristeen käyttö pienentää myös kantavan/jakavan kerroksen paksuutta. (OKTO-eriste, 1.)

3.3.2 OKTO-kevytkiviaines (OKTO-KKA)

OKTO-kevytkiviainesta (OKTO-KKA) voidaan käyttää monipuolisesti yhdyskuntarakentamisessa. Sen käyttökohteita ovat tie-, katu- ja kevyen liikenteen väylien lisäksi piha- ja kenttäalueet, salaojien ympärystäytöt, routasuojat sekä meluvallit. Rakeisuutensa sekä suuren kitkakulman vuoksi OKTO-KKA on hyvin kantava materiaali verrattuna luonnonhiekkiaan. Lisäksi OKTO-KKA on luonnonhiekkaa kevyempää. Näistä seikoista johtuen OKTO-kevytkiviaines on hyvä jakavan kerroksen materiaali. OKTO-KKA on hydraulisesti sitoutuva materiaali, jolloin sen kantavuus kasvaa sitoutuneena noin nelinkertaiseksi sitoutumattomaan rakenteeseen verrattuna. (OKTO-kevytkiviaines, 1.)

OKTO-KKA saadaan kaatamalla sula, n. $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ kuona märkien teräsvalanteiden päälle 3 - 4 metrin korkeudesta. Sula kuona leviää ohueksi

kerrokseksi valanteiden päälle ja kuonan lämpö siirtyy nopeasti alla oleviin aihioihin, jolloin kuonan jäähtyminen nopeutuu. Jäähtymistä nopeutetaan entisestään kastelemalla kuona voimakkaalla vesisuihkuilla. Prosessi muistuttaa OKTO-eristeelle tehtävää granulointia. Vesijähdytyksestä johtuen kuonasta muodostuu huokoista kiviainesta. Jähdytyksen jälkeen tuote murskataan, seulotaan ja siinä olevat metallit erotetaan, minkä jälkeen OKTO-KKA on valmista käytettäväksi. Yleisin rakeisuus on 0/32 mm, mutta myös muita lajikkeita valmistetaan tarpeen mukaan. Tuottella on CE-merkintä ja se täyttää Standardien SFS-EN 13242 ja SFS-7005 vaatimukset. (Outokumpu Tornio Worksin terässulaton kivituohteiden käyttö tie-. katu- ja maarakenteissa, 5.)

OKTO-KKA irtotiheys on $1,3 \text{ t/m}^3$ ja rakenneteoreettisena tilavuuspainona käytetään $1,7 \text{ t/m}^3$. Rakennetta mitoitettaessa sitomattomalle rakenteelle käytetään E-moduuliarvoa 100 MN/m^2 ja sitoutuneelle rakenteelle E-moduuliarvoa 450 MN/m^2 , kun rakenteella on aikaa sitoutua vähintään vuosi ennen käyttöönottoa. (Outokumpu Tornio Worksin terässulaton kivituohteiden käyttö tie-. katu- ja maarakenteissa, 18; OKTO-kevytkiviaines, 1.)

3.4 Muut uusiotuotteet

Vaahtolasi on puhdistetusta kierrätyslasista valmistettu kevytkiviaines. Infrarakentamisessa vaahtolasia käytetään kevennysrakenteissa ja routasuojauksissa. Tuotteella on CE-merkintä standardiin SFS-EN 13055-2 liittyen. Vaahtolasin tilavuuspaino on noin viidesosa murskeeseen verrattuna, mutta kantavuudeltaan se vastaa karkeaa hiekkaa. Lämmönjohtavuusarvo on jopa neljä kertaa suurempi kuin hiekalla, joten vaahtolasi toimii hyvin eristeenä. (Foamit-vahtolasi.)

Betonimurske jaetaan laatuluokkiin BEM I - IV. Luokan BEM I betonimurske on kiviainespohjaisena teknisesti ja ympäristöolosuhteiltaan turvallinen materiaali sisältäen vähiten epäpuhtauksia. Luokkia II - IV eli purkubetonia käytettäessä

tulee materiaalin laadusta ja haittaamattomuudesta tehdä riittävät tutkimukset. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 35.)

BEM I- ja BEM II- luokan betonimurkeet käyvät päällystettävillä teillä kantavaan ja jakavaan kerrokseen. BEM III -luokan betonimurskeet soveltuvat päällystetyillä teillä jakavaan kerrokseen. BEM IV -luokan betonimursketta voidaan käyttää pengermateriaalina tapauskohtaisen harkinnan mukaan. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 35.)

Purkuasfalttia ovat asfalttirouhe ja -murske. Asfalttirouhetta saadaan jrsittäessä tiepäällystettä ja asfalttimursketta murskatessa päällysteiden purussa syntyviä asfalttikappaleita. Ne ovat kiviainepohjaisina ja vähän hienoainesta sisältävinä teknisesti hyvin käyttökelpoisia ja ongelmattomia materiaaleja. Varastoitaessa eri asfalttilaadut tulee erotella toisistaan. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 37.)

Purkuasfaltti on hyödyllistä käyttää uudelleen päällysteen raaka-aineena sen bitumin ja hyvän kiviaineksen takia. Purkuasfaltit kelpaavat ominaisuuksiensa puolesta myös kantavaan kerrokseen sekä stabilointiin. Siitä voidaan tehdä myös työaikaisia kulutuskerroksia. Suositeltava maksimirakekoko on 20 mm. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 37.)

Rengasrouhetta saadaan paloitelluista rengasmateriaalista. Pääasiassa se koostuu kumista, mutta sisältää myös nokea ja terästä. Rengastuotteet ovat ominaisuuksiltaan stabiileja ja soveltuvat käytettäväksi tierakenteeseen. Niiden joustavuuden sekä alhaisen moduulin vuoksi päälle on tehtävä paksut rakennekerrokset. Paras käyttökohte rengasrouheelle on kevennysrakenteet. Materiaali on mahdollista upottaa veteen. Muita käyttökohteita ovat meluvallit sekä eristys- ja kuivatusrakenteet. Rakentamisessa huomioitavaa on materiaalin runsas kokoonpuristuvuus, josta suurin osa tapahtuu rakennusaikana. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 44.)

Teollisuuden tuhkat voidaan jakaa lento- ja pohjatuhkiin. **Lentotuhkaa** saadaan polttoprosessin savukaasuista erottamalla. Lentotuhka on vedelle herkkä

materiaali, joten sellaisenaan se soveltuu kuivaan penkereeseen pohjavesialueiden ulkopuolella. Tuhkaa käytetään sideaineen osana ja päällysteiden täyteaineena. Rakenteessa lentotuhka soveltuu lähinnä stabiloituna, mutta tällöin kustannukset nousevat merkittävästi. Lentotuhkan laatu vaikuttaa polttoprosessin vaihtelu sekä varastointitapa. Ulkovarastoinnissa tuhka kostutetaan pölyämisen vähentämiseksi ja mahdollinen sitoutumiskyky häviää ulkovarastoinnin myötä. Polttoarinan pohjalla jää **pohjatuhkaa**. Se on lentotuhkaa raskaampaa ja soveltuu suodatinkerrokseen, muttei saa olla kosketuksessa pohjaveteen. (Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, 45.)

4 KATURAKENTEEN MITOITUS UUSIOTUOTTEILLA

Katurakenteen mitoitus tehdään routa- ja kantavuusmitoitusten yhdistelmänä. Jokaiselle katuluokalle on annettu sallittu routanousun arvo sekä kadun tavoitekantavuusarvo, joiden puitteissa katurakenteen mitoitus tehdään. Seuraavassa mitoitetaan uusiotuotteilla kolme Oulun kaupungin katuluokan katua käyttäen katuluokkia 3, 4 ja 6. Kyseiset katuluokat ovat Oulun alueella yleisimpiä katuluokkia, joten ne on siksi valittu mitoitettaviksi katuluokiksi. Käytettävät uusi tuotteet ovat Masuunihiekka, LD-masuunihiekka seossuhteella 30/70 sekä OKTO-tuotteet.

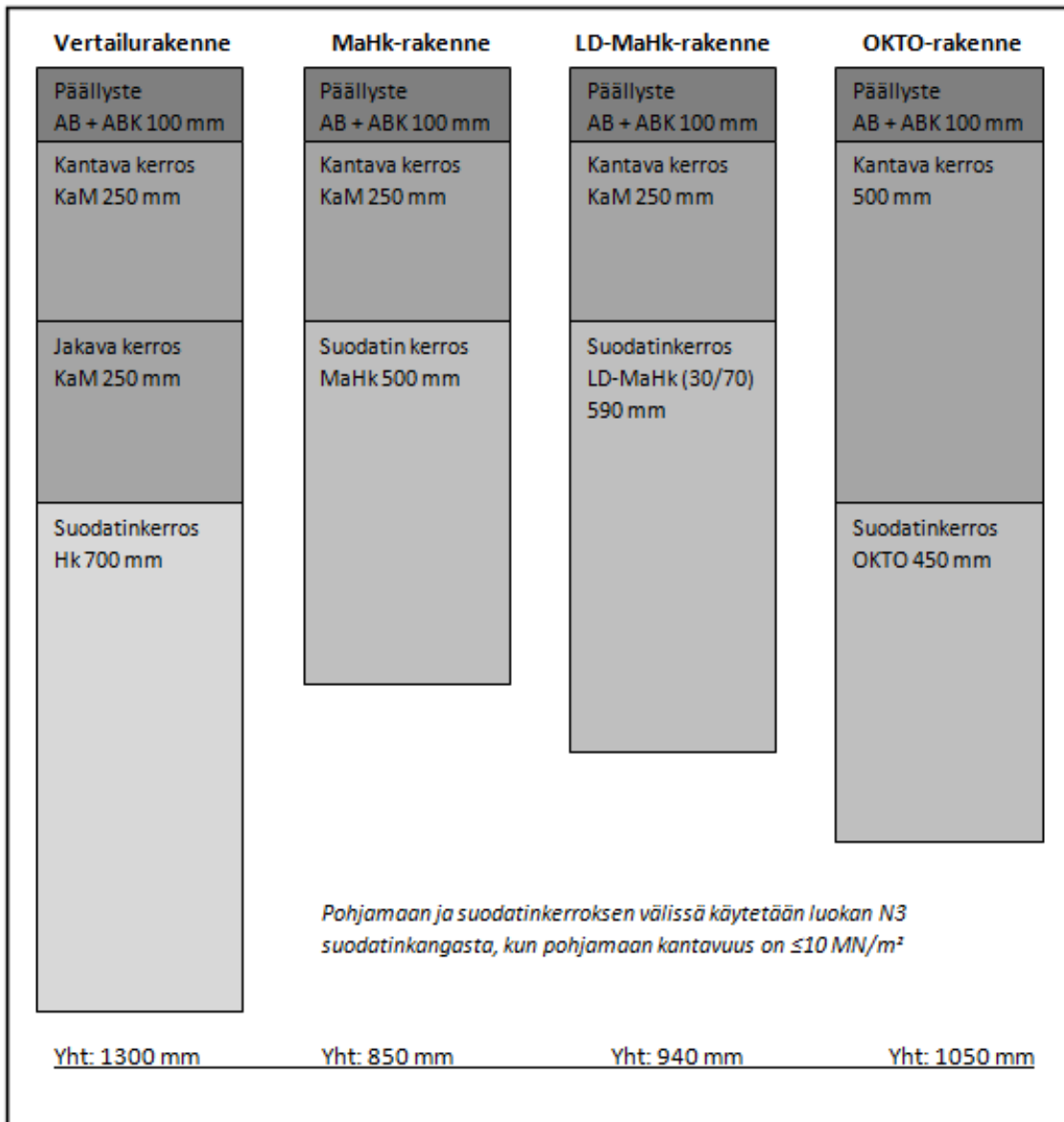
Mitoitettuja katurakenteita verrataan perinteiseen hiekka-murskerakenteeseen, joka toimii mitoitettaessa vertailurakenteena. Mitoituksessa käytetään pohjamaina silttistä hiekkaa (SiHk), silttiä (Si), sekä savista silttiä (SaSi). Mitoitukseen on valittu kyseiset pohjamaat, koska ne ovat uusiotuotteiden tyyppisiä käyttökohteita. Maalajien ominaisuuksista mitoituksessa tarvitaan kantavuusarvoa (E) ja turpoamaprosenttia t (%). Mitoituksissa routasyvyyden arvona käytetään 1,9 m, joka on keskimääräinen routasyvyyden arvo Oulun alueella.

4.1 Katuluokka 3

Oulun kaupungin Katujen tyyppirakenteet -julkaisun mukaisesti katuluokkaan 3 kuuluvat pientalo-, kerrostalo- ja rivitaloalueiden tonttikadut sekä teollisuusalueiden kadut. Sallittu routanousu on 50 mm ja tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä 160 MN/m^2 . Routa- ja kantavuusmitoitus tehdään siten, että rakenteen routanousu jää alle 50 mm ja kantavan kerroksen päältä saatava kantavuus ylittää arvon 160 MN/m^2 . Päällysteenä käytetään 100 mm:n vahvuista AB+ABK-kerrosta.

4.1.1 Pohjamaa SiHk

Pohjamaan E-arvo on 20 MN/m^2 ja turpoamaprosentti $t (\%)=7$. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 700 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitikerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 500 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa $45,5 \text{ mm}$ ja kantavuusarvoksi saadaan $164,8 \text{ MN/m}^2$. Uusiotuoterakententeita mitoittaessa käytetään edellämainittuja pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Kuvassa 3 on esitetty vaihtoehtoisten rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 3. Katuluokan 3 rakennevertailut, pohjamaa SiHk

Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 500 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi $178,9 \text{ MN/m}^2$. Rakenteen paksuus on 450 mm vertailurakennetta pienempi.

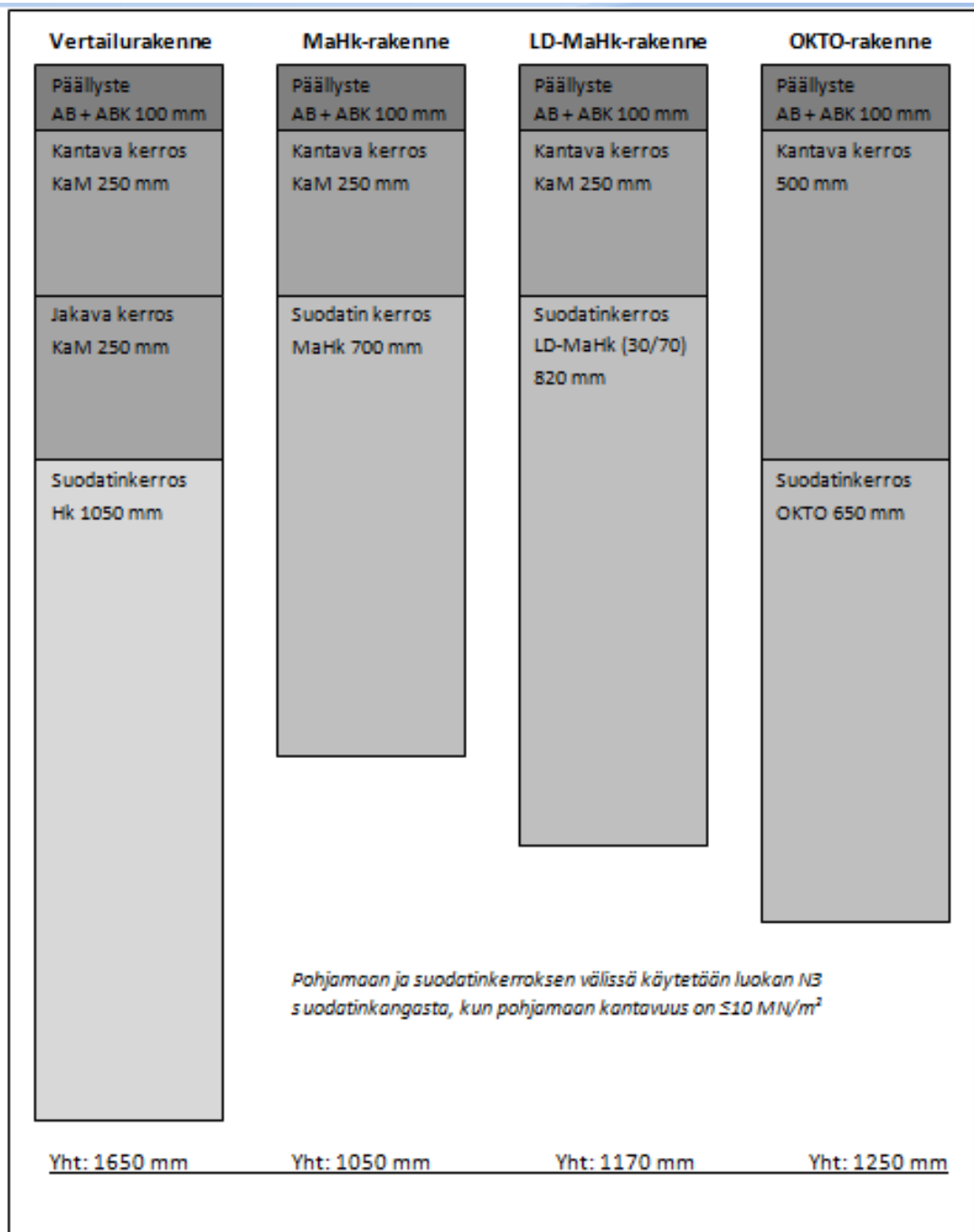
LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 590 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250

mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 259 MN/m². Rakenteen paksuus on 360 mm vertailurakennetta pienempi.

OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 450 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 500 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 40,95 mm ja kantavuusarvoksi 196,4 MN/m². Rakenteen paksuus on 250 mm vertailurakennetta pienempi.

4.1.2 Pohjamaa Si

Pohjamaan E-arvo on 10 MN/m² ja turpoamaprosentti t (%)=14. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 1050 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitinkerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 500 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa 42,0 mm ja kantavuusarvoksi saadaan 166,7 MN/m². Uusiotuoterakententeita mitoittaessa käytetään edellämainittuja Pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Suodatinkerroksen ja pohjamaan välissä käytetään luokan N3-suodatinkangasta estämään pohjamaan sekoittuminen rakenteeseen. Kuvassa 4 on esitetty vaihtoehtoisten rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 4. Katuluokan 3 rakennevertailut, pohjamaa Si

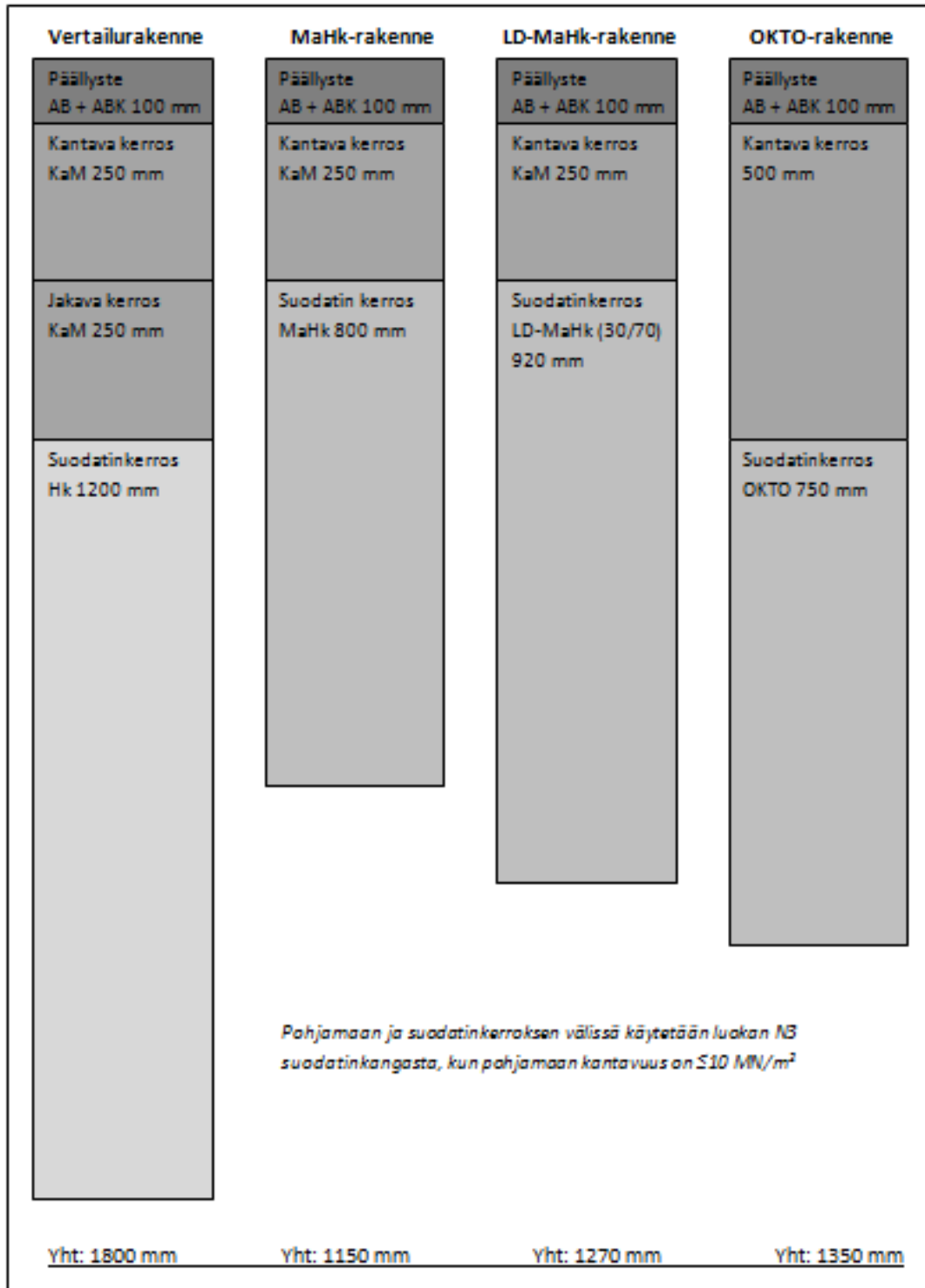
Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 700 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 183 MN/m^2 . Rakenteen paksuus on 600 mm vertailurakennetta pienempi.

LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 820 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 48 mm ja kantavuusarvoksi 284 MN/m². Rakenteen paksuus on 480 mm vertailurakennetta pienempi.

OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 650 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 500 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 34 mm ja kantavuusarvoksi 197 MN/m². Rakenteen paksuus on 400 mm vertailurakennetta pienempi.

4.1.3 Pohjamaa SaSi

Pohjamaan E-arvo on 5 MN/m² ja turpoamaprosentti $t (%) = 26$. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 1200 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitinkerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 500 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa 39,0 mm ja kantavuusarvoksi saadaan 165,7 MN/m². Uusiotuoterakenteita mitoittaessa käytetään edellä mainittuja Pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Suodatinkerroksen ja pohjamaan välissä käytetään luokan N3-suodatinkangasta estämään pohjamaan sekoittuminen rakenteeseen. Kuvassa 5 on esitetty vaihtoehtoisten rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 5. Katuluokan 3 rakennevertailut, pohjamaa SaSi

Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 800 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 162 MN/m². Rakenteen paksuus on 650 mm vertailurakennetta pienempi.

LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 920 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 258 MN/m². Rakenteen paksuus on 530 mm vertailurakennetta pienempi.

OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 750 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 500 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 20 mm ja kantavuusarvoksi 187 MN/m². Rakenteen paksuus on 450 mm vertailurakennetta pienempi.

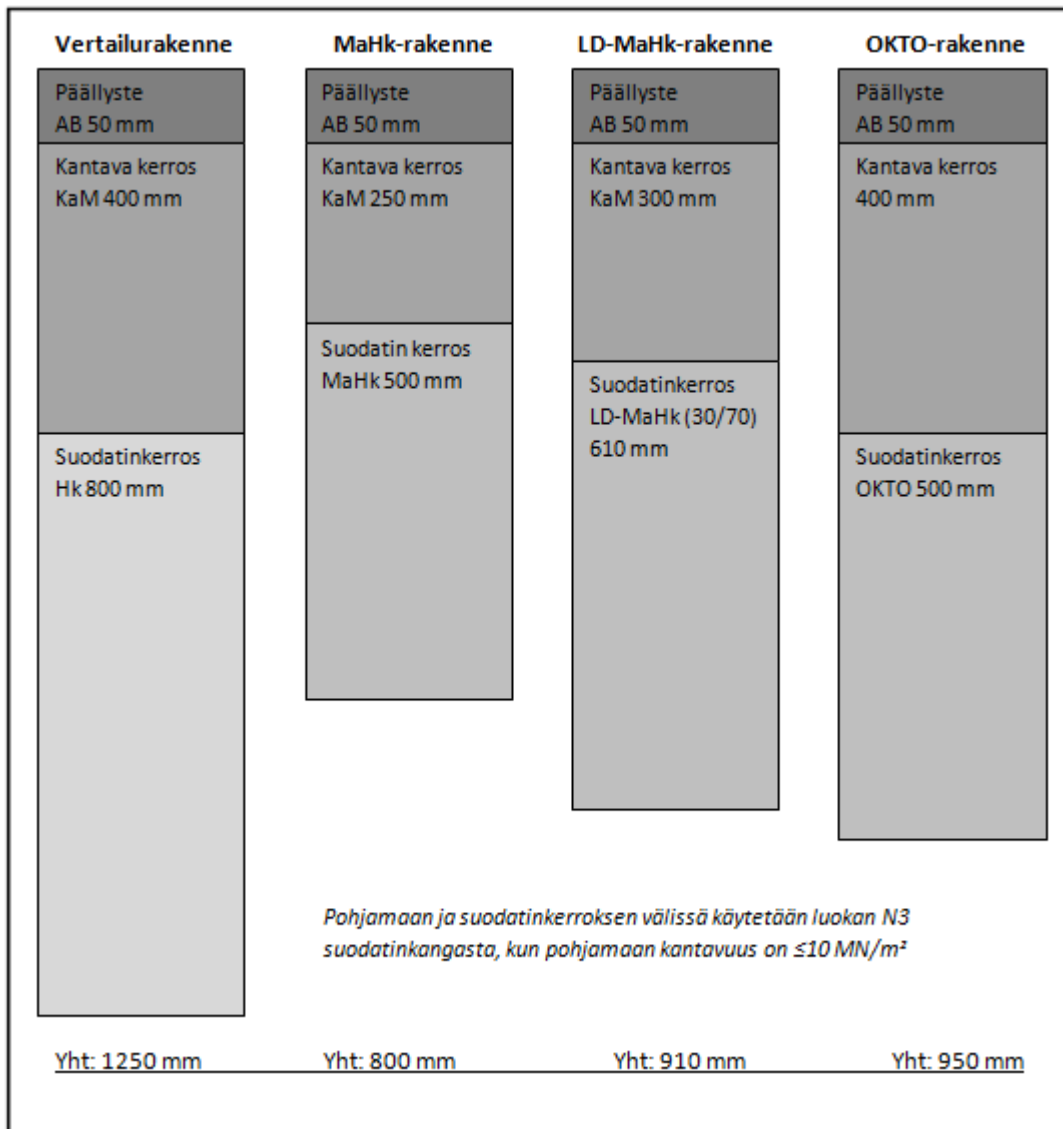
4.2 Katuluokka 4

Oulun kaupungin Katujen tyyppirakenteet -julkaisun mukaisesti katuluokkaan 4 kuuluvat pientalojen tonttikadut, rivitaloalueiden ja teollisuusalueiden lyhyet tonttikadut sekä raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet. Sallittu routanousu on 50 mm ja tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä 145 MN/m². Routa- ja kantavuusmitoitus tehdään siten, että rakenteen routanousu jää alle 50 mm ja kantavan kerroksen päältä saatava kantavuus ylittää arvon 145 MN/m². Päällysteenä käytetään 50 mm:n vahvuista AB-kerrosta.

4.2.1 Pohjamaa SiHk

Pohjamaan E-arvo on 20 MN/m² ja turpoamaprosentti $t (%) = 7$. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 800 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitinkerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 400 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa 48,3 mm ja kantavuusarvoksi saadaan 153,5 MN/m². Uusiotuoterakententeita mitoittaessa käytetään edellämainittuja Pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Kuvassa 6 on esitetty vaihtoehtoisten

rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 6. Katuluokan 4 rakennevertailut, pohjamaa SiHk

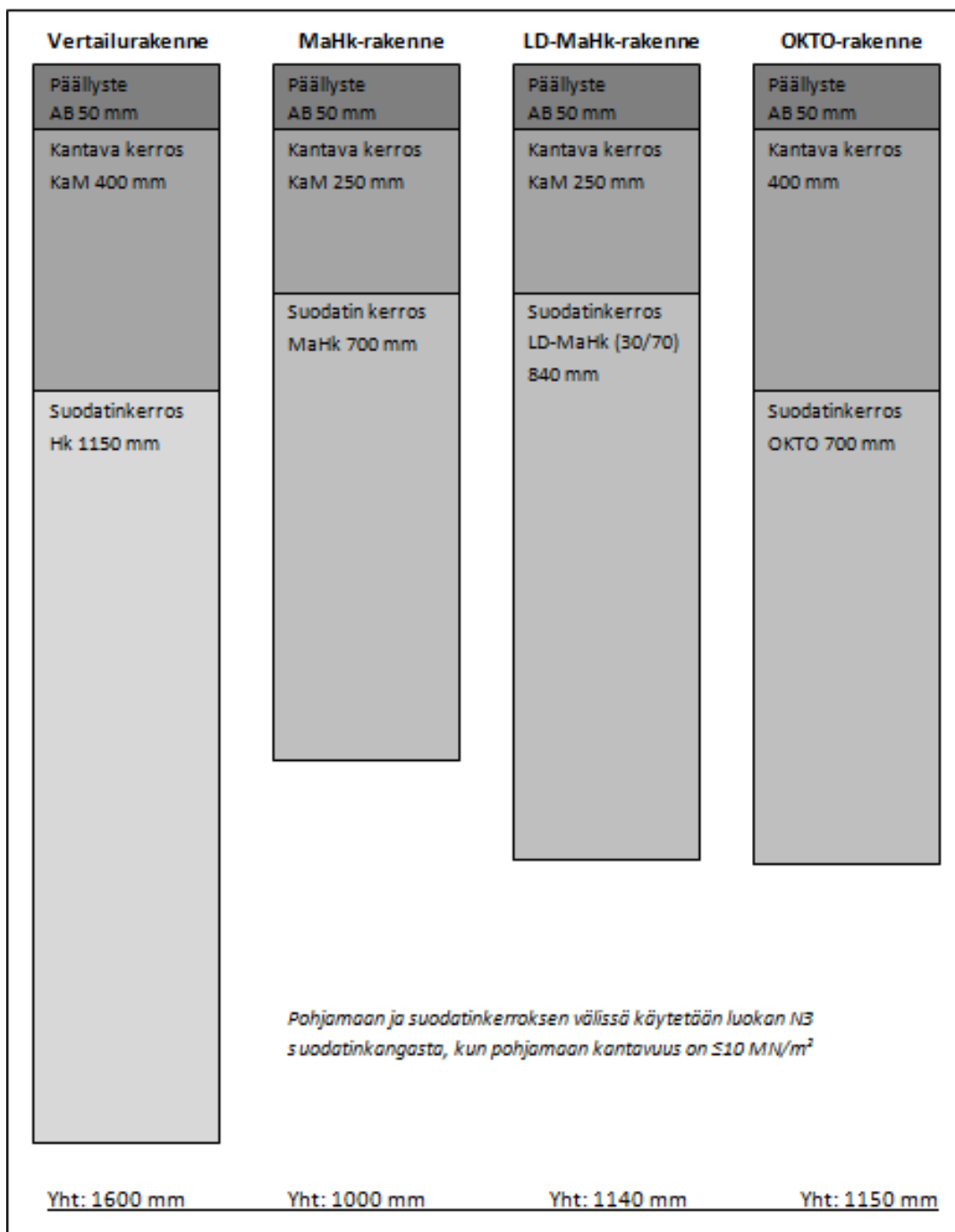
Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 500 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 179 MN/m^2 . Rakenteen paksuus on 450 mm vertailurakennetta pienempi.

LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 610 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 300 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 265 MN/m². Rakenteen paksuus on 340 mm vertailurakennetta pienempi.

OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 500 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 400 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 45 mm ja kantavuusarvoksi 177 MN/m². Rakenteen paksuus on 300 mm vertailurakennetta pienempi.

4.2.2 Pohjamaa Si

Pohjamaan E-arvo on 10 MN/m² ja turpoamaprosentti t (%)=14. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 1150 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitinkerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 400 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa 47,6 mm ja kantavuusarvoksi saadaan 155,4 MN/m². Uusiotuoterakenteita mitoittaessa käytetään edellämainittuja Pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Suodatinkerroksen ja pohjamaan välissä käytetään luokan N3-suodatinkangasta estämään pohjamaan sekoittuminen rakenteeseen. Kuvassa 7 on esitetty vaihtoehtoisten rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 7. Katuluokan 4 rakennevertailut, pohjamaa Si

Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 700 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250

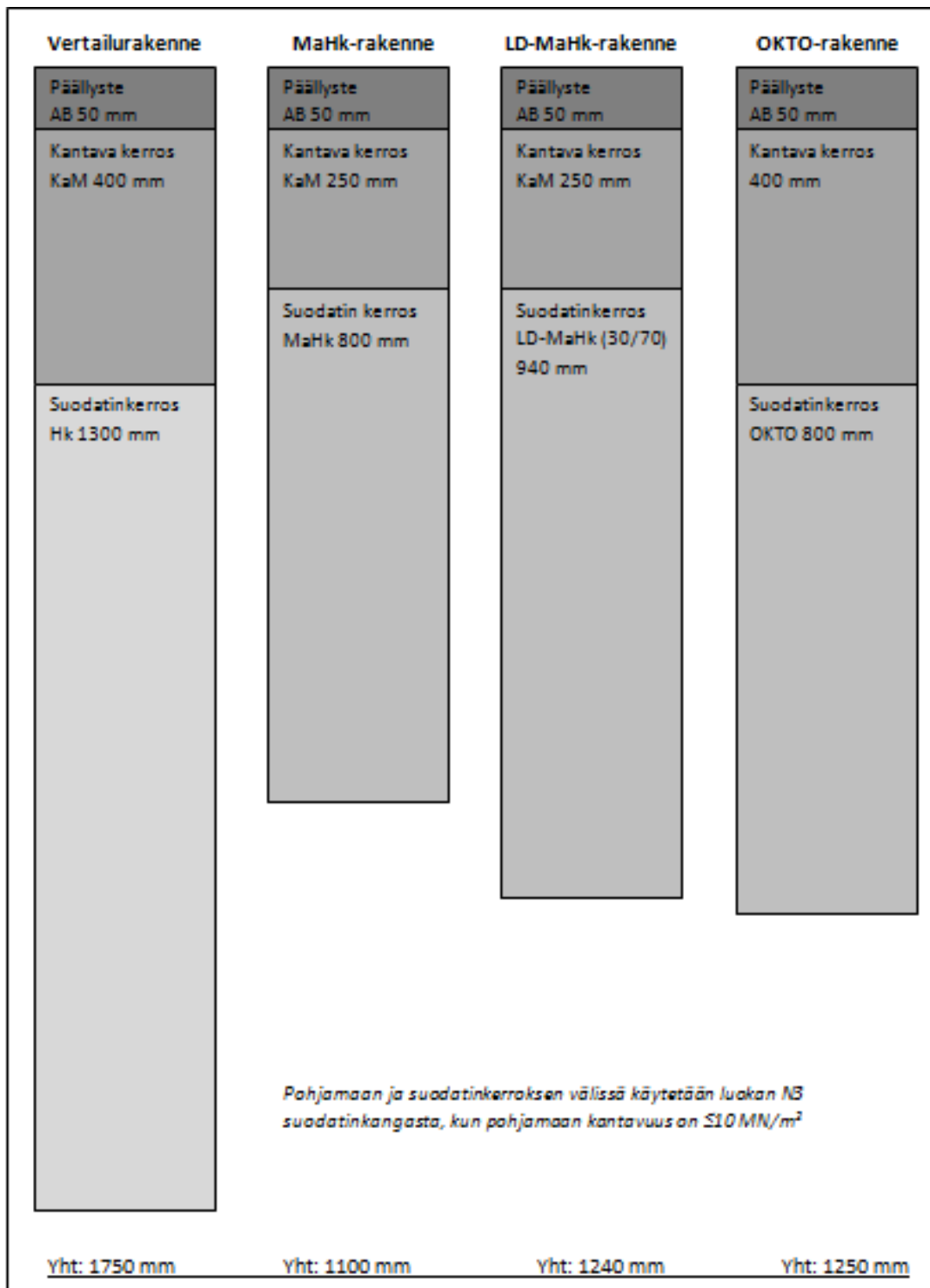
mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 183 MN/m². Rakenteen paksuus on 600 mm vertailurakennetta pienempi.

LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 840 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 289 MN/m². Rakenteen paksuus on 460 mm vertailurakennetta pienempi.

OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 700 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 400 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 42,0 mm ja kantavuusarvoksi 178 MN/m². Rakenteen paksuus on 450 mm vertailurakennetta pienempi.

4.2.3 Pohjamaa SaSi

Pohjamaan E-arvo on 5 MN/m² ja turpoamaprosentti t (%)=26. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 1300 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitikerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 400 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa 49,4 mm ja kantavuusarvoksi saadaan 154,9 MN/m². Uusiotuoterakententeita mitoittaessa käytetään edellämainittuja Pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Suodatinkerroksen ja pohjamaan välissä käytetään luokan N3-suodatinkangasta estämään pohjamaan sekoittuminen rakenteeseen. Kuvassa 8 on esitetty vaihtoehtoisten rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 8. Katuluokan 4 rakennevertailut, pohjamaa SaSi

Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 800 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250

mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 147 MN/m². Rakenteen paksuus on 500 mm vertailurakennetta pienempi.

LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 940 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 49 mm ja kantavuusarvoksi 263 MN/m². Rakenteen paksuus on 360 mm vertailurakennetta pienempi.

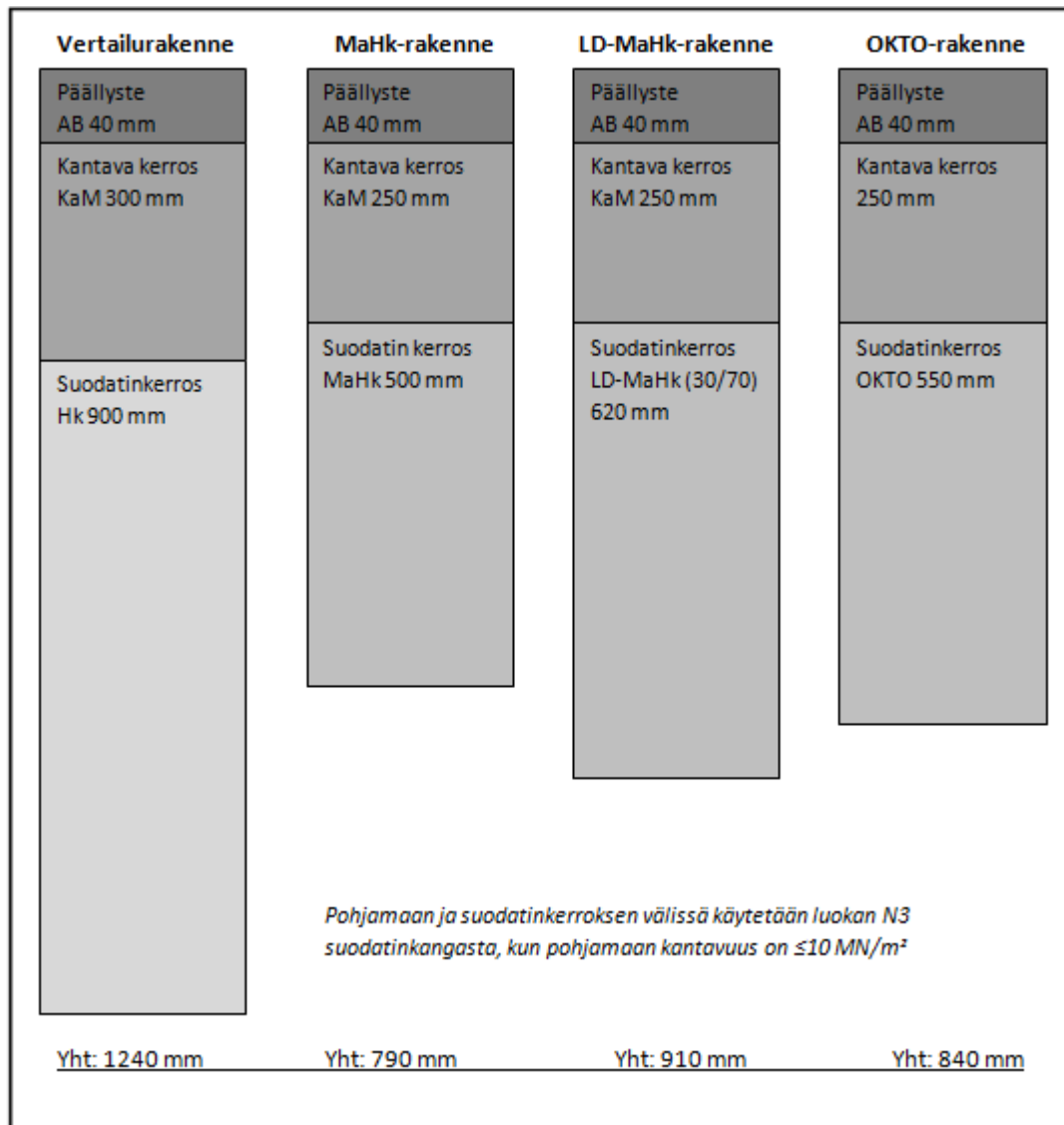
OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 800 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 400 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 34 mm ja kantavuusarvoksi 166 MN/m². Rakenteen paksuus on 350 mm vertailurakennetta pienempi.

4.3 Katuluokka 6

Oulun kaupungin Katujen tyyppirakenteet -julkaisun mukaisesti katuluokkaan 6 kuuluvat kevyenliikenteen väylät. Sallittu routanousu on 50 mm ja tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä 115 MN/m². Routa- ja kantavuusmitoitus tehdään siten, että rakenteen routanousu jää alle 50 mm ja kantavan kerroksen päältä saatava kantavuus ylittää arvon 115 MN/m². Päälysteenä käytetään 40 mm:n vahvuista AB-kerrosta.

4.3.1 Pohjamaa SiHk

Pohjamaan E-arvo on 20 MN/m² ja turpoamaprosentti t(%)=7. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 900 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitinkerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 300 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa 48,3 mm ja kantavuusarvoksi saadaan 123,9 MN/m². Uusiotuoterakententeita mitoittaessa käytetään edellämainittuja Pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Kuvassa 9 on esitetty vaihtoehtoisten rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 9. Katuluokan 6 rakennevertailut, pohjamaa SiHk

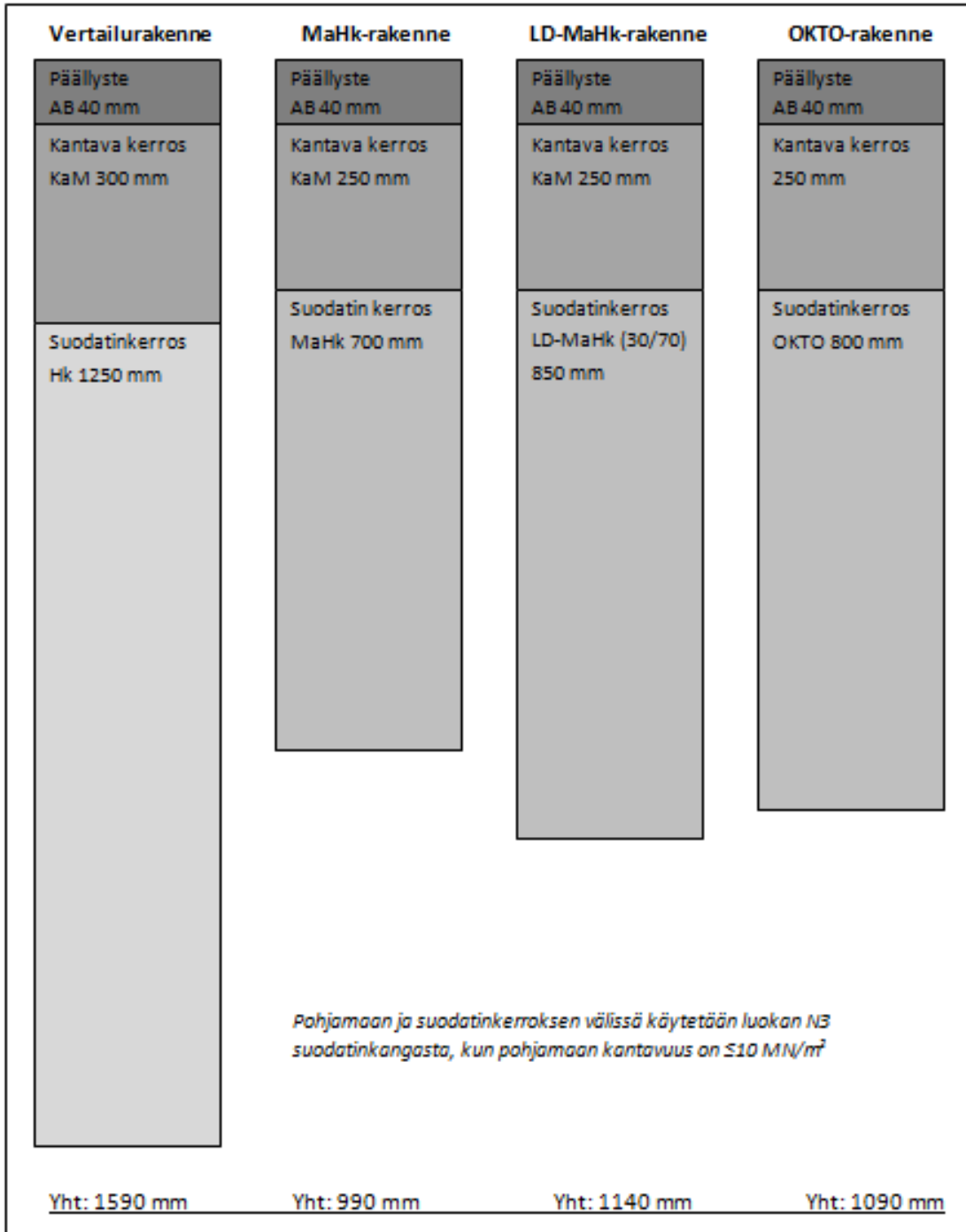
Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 500 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 49,0 mm ja kantavuusarvoksi 160 MN/m^2 . Rakenteen paksuus on 450 mm vertailurakennetta pienempi.

LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 620 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 268 MN/m^2 . Rakenteen paksuus on 330 mm vertailurakennetta pienempi.

OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 550 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 49,0 mm ja kantavuusarvoksi 162,4 MN/m². Rakenteen paksuus on 400 mm vertailurakennetta pienempi.

4.3.2 Pohjamaa Si

Pohjamaan E-arvo on 10 MN/m² ja turpoamaprosentti t (%)=14. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 1250 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitikerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 300 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa 47,6 mm ja kantavuusarvoksi saadaan 125,3 MN/m². Uusiotuoterakententeita mitoittaessa käytetään edellämainittuja Pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Suodatinkerroksen ja pohjamaan välissä käytetään luokan N3-suodatinkangasta estämään pohjamaan sekoittuminen rakenteeseen. Kuvassa 10 on esitetty vaihtoehtoisten rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 10. Katuluokan 6 rakennevertailut, pohjamaa Si

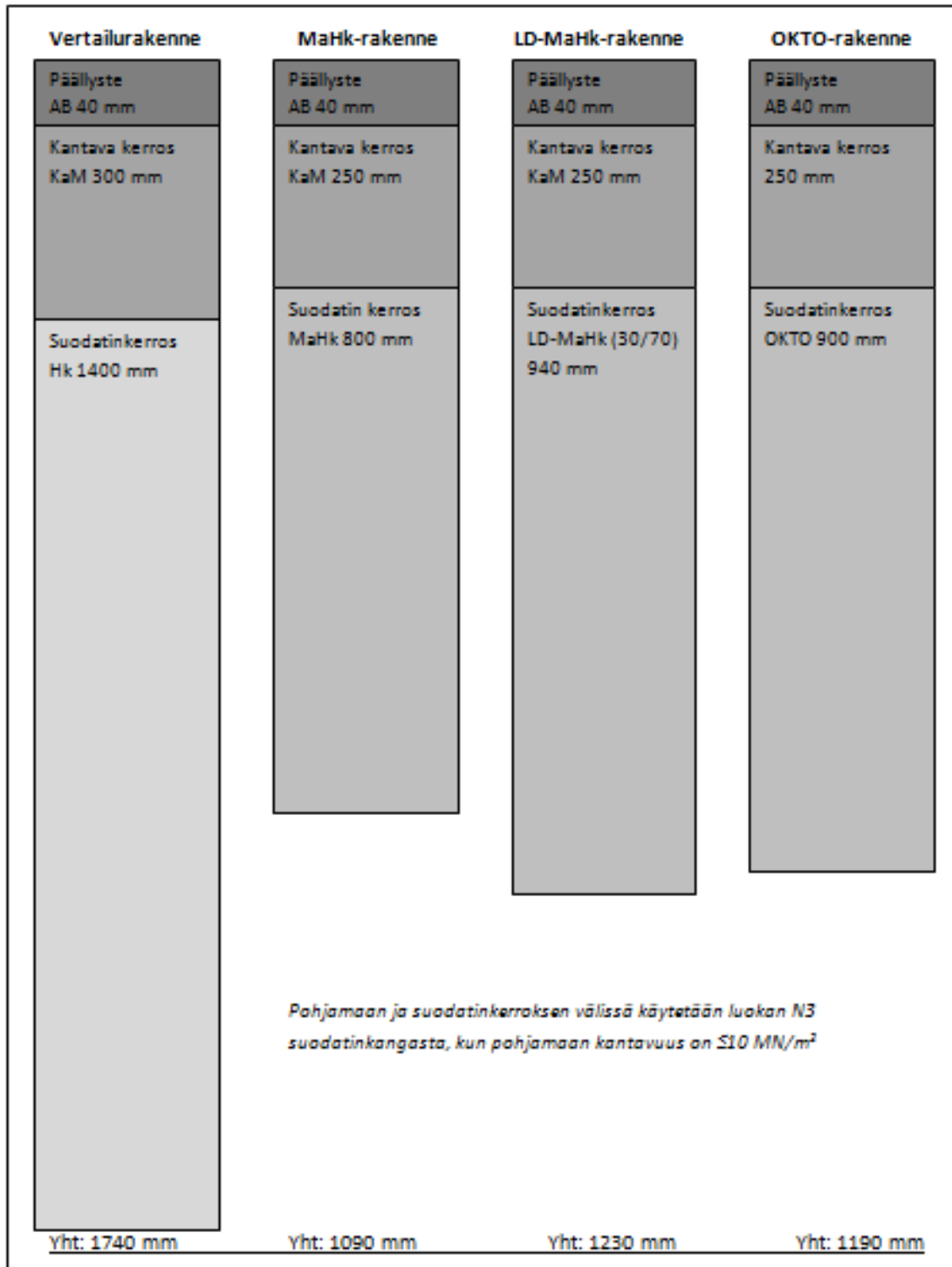
Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 700 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 183 MN/m^2 . Rakenteen paksuus on 600 mm vertailurakennetta pienempi.

LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 850 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 49 mm ja kantavuusarvoksi 291 MN/m². Rakenteen paksuus on 450 mm vertailurakennetta pienempi.

OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 800 mm:n vahvuksena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuksena. Routanousun arvoksi saadaan 46 mm ja kantavuusarvoksi 170 MN/m². Rakenteen paksuus on 500 mm vertailurakennetta pienempi.

4.3.3 Pohjamaa SaSi

Pohjamaan E-arvo on 5 MN/m² ja turpoamaprosentti $t (%) = 26$. Käytettävässä vertailurakenteessa suodatinkerros tehdään hiekasta 1400 mm:n paksuisena ja jakava sekä kantava kerros profiloitinkerroksineen kalliomurskeesta yhteensä 300 mm:n paksuisena. Tällöin routanousu alittaa sallitun raja ollessa 49,4 mm ja kantavuusarvoksi saadaan 124,8 MN/m². Uusiotuoterakententeita mitoittaessa käytetään edellämainittuja Pohjamaan E-arvoa, turpoamaprosenttia sekä routasyvyyttä. Suodatinkerroksen ja pohjamaan välissä käytetään luokan N3-suodatinkangasta estämään pohjamaan sekoittuminen rakenteeseen. Kuvassa 11 on esitetty vaihtoehtoisten rakenteiden paksuudet verrattuna vertailurakenteeseen. Rakenteiden routanousut ja kantavuusarvot on mainittu myöhemmin tässä luvussa.



KUVA 11. Katuluokan 6 rakennevertailut, pohjamaa SaSi

Masuunihiekkaa käytettäessä suodatinkerros tehdään masuunihiekasta 800 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250

mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 50 mm ja kantavuusarvoksi 150 MN/m². Rakenteen paksuus on 700 mm vertailurakennetta pienempi.

LD-MaHk(30/70) käytettäessä suodatinkerros tehdään LD-masuunihiekasta 940 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 49 mm ja kantavuusarvoksi 263 MN/m². Rakenteen paksuus on 400 mm vertailurakennetta pienempi.

OKTO-rakenteessa suodatinkerros tehdään OKTO-materiaalista 900 mm:n vahvuisena ja yhdistetty kantava+jakava kerros kalliomurskeesta 250 mm:n vahvuisena. Routanousun arvoksi saadaan 48 mm ja kantavuusarvoksi 150 MN/m². Rakenteen paksuus on 600 mm vertailurakennetta pienempi.

5 KUSTANNUSVERTAILU

Rakenteen laskentakustannukset muodustuvat käytettävien materiaalien hinnoista, kuljetuskustannuksista sekä maaleikkauksen hinnasta. Tämän työn kustannusvertailuissa on käytetty Oulun kaupungin saamien viimeaikaisten tarjousten keskimääräisiä hintoja. Kustannuslaskelmissa käytettävät hinnat on nähtävissä taulukossa 7.

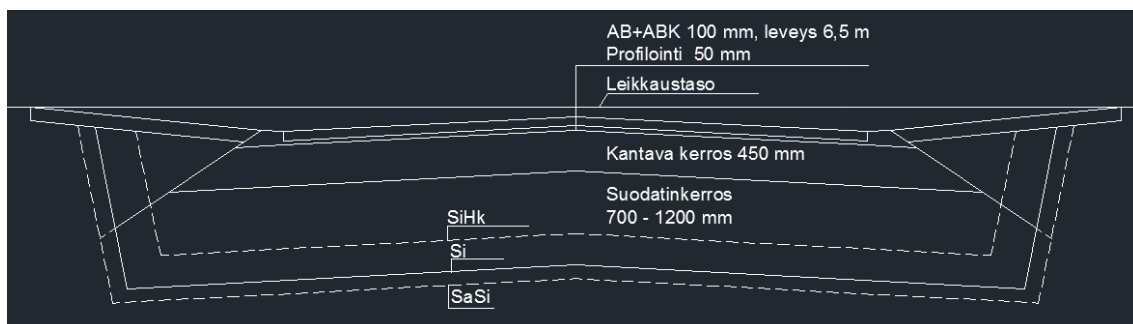
TAULUKKO 7. Materiaalien keskimääräisiä hintoja kustannuslaskennassa.

Maa-leikkaus €/m3ktr	Suodatin kerros €/m3ktr	Kantava kerros €/m3ktr	OKTO- eriste €/m3ktr	MaHk €/m3ktr	LD- MaHk (30/70) €/m3ktr	Profilointi €/m2tr	Asfaltti ajoradan alla €/m2tr	Asfaltti jkpp €/m2tr	Suodatin- kangas €/m2tr
7,60	14,20	24,40	40,00	39,00	39,00	3,50	11,20	9,00	1,43

Kustannusvertailussa laskettiin jokaiselle katuluokkien 3, 4 ja 6 rakennetyypille keskiarvohintoihin perustuva kustannusarvio. Vertailut tehtiin erikseen jokaiselle pohjamaalle ja tulokset sekä keskeisimmät erot rakenteiden välillä on kerrottu tässä luvussa. Kustannuserot joidenkin rakenteiden välillä olivat pieniä, jolloin esimerkiksi rakennusmateriaalien saatavuus ja tätä kautta kuljetuskustannukset tai leikkausmassojen siirtokustannukset saattavat nousta ratkaiseviksi tekijöiksi valittaessa rakennetyypistä. Myös rakennepaksumuksia tulee vertailla, sillä rakenteen suuri kokonaispaksuus asettaa haasteita esimerkiksi salaojien sijoitukseen.

5.1 Katuluokka 3

Katuluokan 3 mitoitettujen rakenteiden mitat vaihtelevat vallitsevan pohjamaan mukaan. Kuvassa 12 yhtenäisellä viivalla on kuvattu vertailurakenne pohjamaan ollessa silttiä. Katkoviivoilla on merkitty eroavaisuudet rakenteessa, kun pohjamaa on joko silttistä hiekkaa tai savista silttiä.



KUVA 12. Katuluokan 3 vertailurakenteiden vaihtelut pohjamaan mukaan.

5.1.1 Pohjamaa SiHk

Kustannusvertailun mukaisesti edullisin rakennetyyppi on MaHk-rakenne, mutta sekä vertailu- että LD-MaHk-rakenteet ovat kustannuksiltaan lähellä sitä.

Uusiotuoterakenteet ovat rakennepaksuuksiltaan huomattavasti vertailurakennetta pienemmät, jolloin niiden käyttö tulee kyseeseen etenkin paikoissa, joissa käytettävissä oleva tila on vähäistä leveys- tai korkeussuunnassa. Tällaisia paikkoja ovat esim. saneerauskohteet, joissa kadun ympäristö on jo valmiiksi rakennettu. Tällöin leveyssuunnassa tila on rajoitettu. Lisäksi olemassa olevien putkien takia voidaan pyrkiä mahdollisimman ohueen rakenteen kokonaispaksuuteen. Taulukkoon 8 on koottu keskeiset uusiotuoterakenteiden kustannuserot vertailurakenteeseen.

TAULUKKO 8. Kustannusvertailu katuluokassa 3, pohjamaan ollessa SiHk.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	397		1,3 m
MaHk-rakenne	375 (-21,9)	-5,5 %	0,85 m (-0,45 m)
LD-MaHk-rakenne	416 (+18,5)	+4,7 %	0,94 m (-0,36 m)
OKTO-Rakenne	439 (+42,4)	+10,7 %	1,05 m (-0,25 m)

5.1.2 Pohjamaa Si

Kustannusvertailun mukaisesti edullisin rakennetyyppi on MaHk-rakenne, mutta sekä vertailu- että OKTO-rakenteet ovat kustannuksiltaan lähellä sitä.

Uusiotuoterakenteet ovat rakennepaksuuksiltaan huomattavasti vertailurakennetta pienemmät, jolloin niiden käyttö tulee kyseeseen etenkin paikoissa, joissa käytettävissä oleva tila on vähäistä. Taulukkoon 9 on koottu keskeiset vertailurakenteiden kustannuserot vertailurakenteeseen.

TAULUKKO 9. Kustannusvertailu katuluokassa 3, pohjamaan ollessa Si.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	495		1,65 m
MaHk-rakenne	479 (-15,6)	-3,2 %	1,05 m (-0,6m)
LD-MaHk-rakenne	538 (+43,0)	+8,7 %	1,17 m (-0,48 m)
OKTO-Rakenne	553 (+58,51)	+11,8 %	1,25 m (-0,4 m)

5.1.3 Pohjamaa SaSi

Kustannusvertailun mukaisesti edullisin rakennetyyppi on MaHk-rakenne, mutta sekä vertailu- että LD-MaHk-rakenne ovat kustannuksiltaan lähellä sitä.

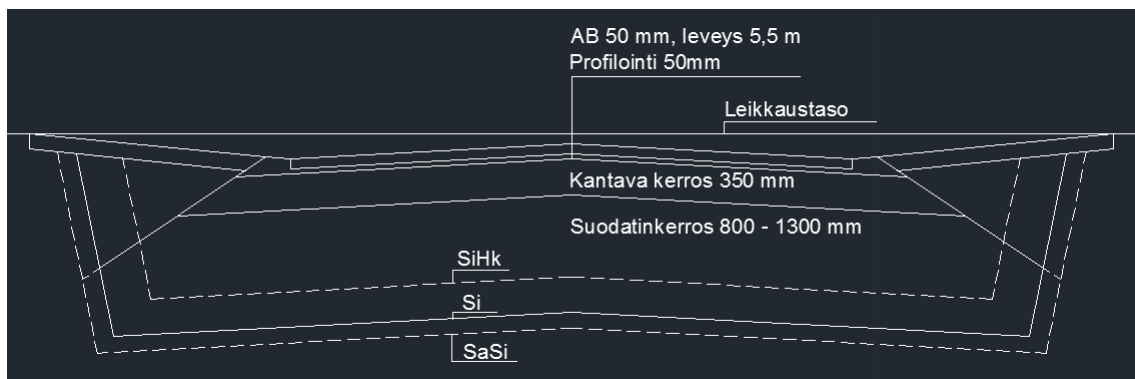
Uusiotuoterakenteet ovat rakennepaksuuksiltaan huomattavasti vertailurakennetta pienemmät, jolloin niiden käyttö tulee kyseeseen etenkin paikoissa, joissa käytettävissä oleva tila on vähäistä. Taulukkoon 10 on koottu keskeiset uusiotuoterakenteiden kustannuserot vertailurakenteeseen.

TAULUKKO 10. Kustannusvertailu katuluokassa 3, pohjamaan ollessa SaSi.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	545		1,80 m
MaHk-rakenne	528 (-17,8)	-3,3 %	1,15m (-0,65 m)
LD-MaHk-rakenne	587 (+41,9)	+7,7 %	1,27 m (-0,53 m)
OKTO-Rakenne	600 (+54,8)	+10,0 %	1,35 m (-0,45 m)

5.2 Katuluokka 4

Katuluokan 4 mitoitettun rakenteen mitat vaihtelevat vallitsevan pohjamaan mukaan. Kuvassa 13 yhtenäisellä viivalla on kuvattu vertailurakenne pohjamaan ollessa silttiä. Katkoviivoilla on merkitty eroavaisuudet rakenteessa, kun pohjamaa on joko siltistä hiekkaa tai savista silttiä.



KUVA 13. Katuluokan 4 vertailurakenteiden vaihtelut pohjamaan mukaan.

5.2.1 Pohjamaa SiHk

Kustannusvertailun perusteella rakenne olisi edullisinta rakentaa MaHk-rakenteella, mutta vertailurakenne on kustannuksiltaan lähes yhtä edullinen. Rakennepaksuudet vertailurakenteeseen verrattuna ovat huomattavasti pienemmät uusiotuotteilla, joten uusiotuoterakenteiden käyttö tulee kyseeseen esimerkiksi saneerauskohteissa, joissa tilaa on vähän käytettävissä.

Taulukkoon 11 on kerätty oleelliset eroavaisuudet uusiotuoterakenteiden ja vertailurakenteen välillä.

TAULUKKO 11. Kustannusvertailu katuluokassa 4, pohjamaan ollessa SiHk.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	340		1,25 m
MaHk-rakenne	326 (-13,7)	-4,0 %	0,8 m (-0,45 m)
LD-MaHk-rakenne	386 (+46,7)	+13,7 %	0,91 m (-0,34 m)
OKTO-Rakenne	375 (+35,3)	+10,4 %	0,95 m (-0,3 m)

5.2.2 Pohjamaa Si

Uusiotuoterakenteista MaHk-rakenne on kyseisessä tapauksessa edullisin rakentaa verrattuna muihin uusiotuoterakenteisiin sekä vertailurakenteeseen. Vertailurakenteen sijaan on tarpeellista käyttää uusiotuoterakenteita, koska rakennepaksuus pienenee oleellisesti ja esimerkiksi salaojien syvyys ei tällöin tule kohtuuttomaksi. Oleelliset vertailuarvot rakennevaihtoehtojen välillä on koottu taulukkoon 12.

TAULUKKO 12. Kustannusvertailu katuluokassa 4, pohjamaan ollessa Si.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	437		1,60 m
MaHk-rakenne	413 (-24,2)	-5,5 %	1,0 m (-0.6 m)
LD-MaHk-rakenne	482 (+44,7)	+10,2 %	1,14 m (-0,46 m)
OKTO-Rakenne	465 (+27,8)	+6,4 %	1,15 m (-0,45 m)

5.2.3 Pohjamaa SaSi

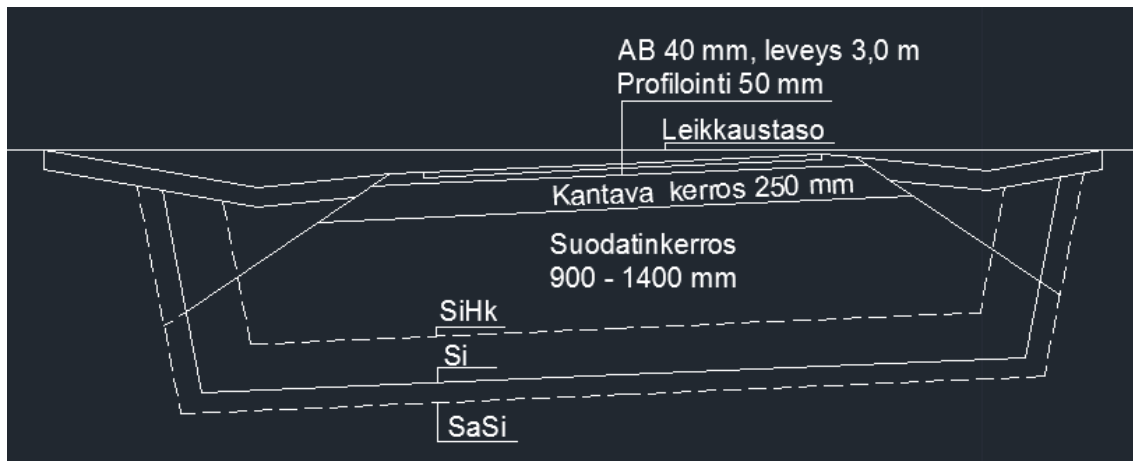
MaHk-rakenteella rakennettaessa katurakenne tulee edullisimmaksi, mutta vertailurakenne sekä uusiotuoterakenteista OKTO-rakenne on lähestulkoon samanhintainen sen kanssa. Uusiotuotteiden käytön hyödyllisyyttä rakenteessa lisää saavutettava rakennepaksuuden pieneneminen. Esimerkiksi salaojien sijoituksen kannalta olisi edullisempaa käyttää uusiotuoterakenteita perinteisen rakenteen sijaan. Eri rakennevaihtoehtojen oleelliset erot on koottu taulukkoon 13.

TAULUKKO 13. Kustannusvertailu katuluokassa 4, pohjamaan ollessa SaSi.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	476		1,60 m
MaHk-rakenne	455 (-21,0)	-4,4 %	1,1 m (-0,5 m)
LD-MaHk-rakenne	517 (+41,1)	+8,6 %	1,24 m (-0,36 m)
OKTO-Rakenne	512 (+35,6)	+7,5 %	1,25 m (-0,35 m)

5.3 Katuluokka 6

Katuluokan 6 mitoitettujen rakenteiden mitat vaihtelevat vallitsevan pohjamaan mukaan. Kuvassa 14 yhtenäisellä viivalla on kuvattu vertailurakenne pohjamaan ollessa silttiä. Katkoviivoilla on merkitty eroavaisuudet rakenteessa, kun pohjamaa on joko siltistä hiekkaa tai savista silttiä.



KUVA 14. Katuluokan 6 vertailurakenteiden vaihtelut pohjamaan mukaan.

5.3.1 Pohjamaa SiHk

Edullisimman, MaHk-rakenteen kanssa lähes samoihin kustannuksiin päästään käyttämällä vertailurakennetta. LD-MaHk-rakenne on huomattavasti kalliimpi muihin vaihtoehtoihin verrattuna ja sen käyttö ei ole kannattavaa, jos muita materiaalivaihtoehtoja on saatavilla. Uusiotuotteiden pienemmän rakennepaksuuden myötä niiden käyttö on varteen otettava vaihtoehto kohteissa, joissa tilaa ei ole paljon käytettävissä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi saneerauskohteet, joissa katualueen ympäristö on jo valmiiksi rakennettu. Rakennevaihtoehtojen keskeisimmät eroavaisuudet on koottu taulukkoon 14.

TAULUKKO 14. Kustannusvertailu katuluokassa 6, pohjamaan ollessa SiHk.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	195		1,24 m
MaHk-rakenne	193 (-1,05)	-0,5 %	0,79 m (-0,45 m)
LD-MaHk-rakenne	225 (+30,7)	+15,8 %	0,91 m (-0,33 m)
OKTO-Rakenne	208 (+13,6)	+7,0 %	0,84 m (-0,4 m)

5.3.2 Pohjamaa Si

Rakennepaksuutta vertailtaessa uusiotuotteiden käyttö on kannattavampaa verrattuna perinteiseen hiekka-murske-rakenteeseen. Tämä siksi, että kuivatuksen kannalta tärkeitä salaojia ei sijoiteta kohtuuttoman syvälle maahan. Kustannusten kannalta MaHk-rakenteen rakentaminen tulee edullisimmaksi, mutta etu vertailu- ja OKTO-rakenteisiin jää melko pieneksi. Taulukkoon 15 on koottu vertailurakenteen keskeisimmät erot uusiotuoterakenteisiin nähden.

TAULUKKO 15. Kustannusvertailu katuluokassa 6, pohjamaan ollessa Si.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	262		1,59 m
MaHk-rakenne	249 (-13,7)	-5,2 %	0,99 m (-0,6 m)
LD-MaHk-rakenne	294 (+31,2)	+11,9 %	1,14 m (-0,45 m)
OKTO-Rakenne	283 (+20,0)	+7,6 %	1,09 m (-0,5 m)

5.3.3 Pohjamaa SaSi

MaHk-rakennetta käyttämällä saavutetaan kustannusten kannalta edullisin ratkaisu. Ero OKTO- ja vertailurakenteeseen verrattuna on kuitenkin pieni, joten tuotteiden saatavuus ja kuljetuskustannusten hinta saattaa vaikuttaa siihen, mikä rakennevaihtoehto tulee lopulta edullisimmaksi. Rakennepaksuuksien kannalta uusiotuoterakenteet ovat parempia vertailurakenteeseen nähden, sillä tilantarve niillä on pienempi ja salaojia ei tarvitse sijoittaa kohtuuttoman syväälle. Taulukossa 16 on kerrottu eri rakennetyyppien eroavaisuudet.

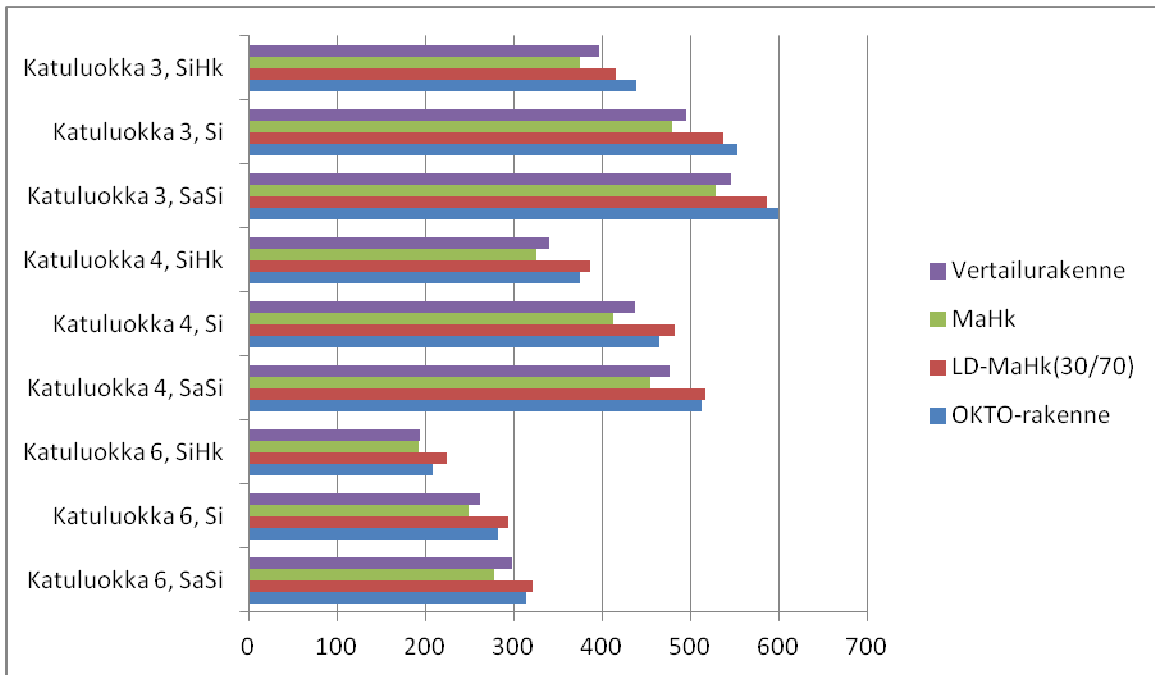
TAULUKKO 16. Kustannusvertailu katuluokassa 6, pohjamaan ollessa SaSi.

Rakennetyyppi	Hinta €/m (ero vertailurakenteeseen)	Hinta verrattuna vertailurakenteeseen	Rakennepaksuus (ero vertailurakenteeseen)
Vertailurakenne	299		1,79 m
MaHk-rakenne	278 (-20,1)	-6,7%	1,09 m (-0,7 m)
LD-MaHk-rakenne	322 (+23,4)	+7,8 %	1,23 m (-0,56 m)
OKTO-Rakenne	314 (+15,6)	+5,2 %	1,19 m (-0,6 m)

5.4 Kustannusvertailun yhteenveto

Kustannusvertailun helpottamiseksi kuvaan 15 on kerätty jokaiselle katuluokalle ja pohjamaalle rakennevaihtoehtojen kustannukset rakennettavaa metriä kohden.

KUVA 15. Yhteenvedo rakennevaihtoehtojen kustannuksista, €/m.



6 POHDINTA

Luonnonmateriaalien saatavuus heikkenee lähitulevaisuudessa siinä määrin, että katurakenteita suunniteltaessa tulee miettiä vaihtoehtoisten rakennevaihtoehtojen käyttöä. Teollisuuden prosesseista saatavia sivutuotteita voidaan hyödyntää uusiotuotteina katurakenteissa niiden hyvistä ominaisuuksista johtuen. Rakenteen mitoituksen kannalta oleellisimpia ominaisuuksia ovat materiaalin kantavuusarvo eli E-arvo sekä eristävyysarvo. Perinteisiin luonnonmateriaaleihin verrattuna uusiotuotteiden ominaisuudet ovat joko yhtä hyviä tai jopa parempia.

Vaikka uusiotuotteet ovat tällä hetkellä hieman kalliimpia perinteisesti käytettäviin luonnonmateriaaleihin verrattuna, niitä käyttämällä saavutetaan monia etuja perinteiseen hiekka-murske-rakenteeseen nähden. Uusiotuotteita käytettäessä saavutetaan pienempi rakenteen kokonaispaksuus johtuen materiaalin paremmasta E-arvosta hiekkaan verrattuna. Pienemmän rakennepaksuuden myötä esimerkiksi salaojaputket saadaan asennettua kohtuulliselle syvyydelle. Rakennepaksuuden pientymisen myötä myös sivuttainen tilantarve katualueella pienenee. Tämä on eduksi esimerkiksi saneerauskohteissa, joissa katualueen ympäristö on jo rakennettu valmiiksi.

Kustannuserot perinteisen hiekka-murska-rakenteen ja uusiotuotterakenteiden välillä ovat sen verran pieniä, että materiaalien, maaleikkauksen tai kuljetuskustannusten hinnan muutoksien myötä lähes mikä tahansa rakennevaihtoehto voi tulla edullisemmaksi vaihtoehdoksi toteuttaa. Mitoittaessa rakenteita tulee huomioida kohteen maantieteellinen sijainti. Tämä siksi, että uusiotuotteiden valmistuspaikkojen läheisyydessä rakenteen kustannukset uusiotuotteilla rakennettaessa voivat tulla yllättävän edulliseksi. Valmistuspaikkojen ollessa kaukana tulee perinteinen hiekka-murske-rakenne edullisimmaksi johtuen uusiotuotteiden suurista kuljetuskustannuksista. Mitoituksessa tulee huomioida myös edellä mainittu rakennepaksuuksien pieneneminen käytettäessä uusiotuotteita.

LÄHTEET

Foamit-vahtolasi. Saatavissa:

<http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/?Page=FoamitTienjakadunrakennus>. Hakupäivä 6.3.2013.

InfraRYL 2012. Rakennustieto. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/infraryl/extra/yleista.html.stx>. Hakupäivä 22.2.2013.

Katujen tyypirakenteet. 30.8.2005. Laatija Oulun kaupunki, Tekninen keskus.

Kiviainesten laatuvaatimukset hankinnoissa. Laatija Infra ry. Saatavissa:

http://www.infrary.fi/files/3740_CE-merkintjahankinnoissakytettvtkiviainestenlaatuvaatimukset.pdf.

Hakupäivä 6.3.2013.

LD-masuunihiekan suunnittelu- ja rakentamisohje tie-, katu- ja maarakenteissa. 8.1.2013. Laatija WSP Finland Oy.

Maa- ja tienrakennustuotteet, Masuunihiekka, MaHk. Laatija Ruukki Oy.

Saatavissa:

http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Mineraalituotteet/Ruukki_Maa-ja_tienrakennustuotteet_%20masuunihiekka.pdf. Hakupäivä 15.2.2013.

OKTO-eriste. Laatija Morenia Oy. Saatavissa:

<http://www.morenia.fi/morenia/fi/tuotteetjapalvelut/tuotteet/oktorakennustuotteet/OKTOeriste/Documents/OKTO-eriste.pdf>. Hakupäivä 22.2.2013.

OKTO-kevytkiviaines. Laatija Morenia Oy. Saatavissa:

<http://www.morenia.fi/morenia/fi/tuotteetjapalvelut/tuotteet/oktorakennustuotteet/OKTOeriste/Documents/OKTO-KKA.pdf>. Hakupäivä 22.2.2013.

Outokumpu Tornio Worksin terässulaton kivituoitteiden käyttö tie- ja katu- ja maarakenteissa. Laatija Outokumpu. Saatavissa:

http://www.morenia.fi/morenia/fi/tuotteetjapalvelut/tuotteet/oktorakennustuoitteet/okto_mitoitusohjeet/Documents/Okto%20kivituoitteet%20Stainless%20mitoitushje.pdf. Hakupäivä 5.3.2013.

Poikkileikkauksen suunnitteluohje. 13.9.2005. Laatija Oulun kaupunki, Tekninen keskus.

Sivutuoitteiden käyttö tierakenteissa. 16.1.2007. Laatija Tiehallinto.

Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100041-v-07-sivutuoteohje.pdf>. Hakupäivä 26.2.2013.

Tierakenteen suunnittelu. 22.12.2004. Laatija Tiehallinto. Saatavissa:

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>. Hakupäivä 18.2.2013.