



**TIELAITOS**

# Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa

Mitoitus- ja työohjeet



**Tielaitoksen  
Selvityksiä**

**5/2000**

Helsinki 2000

TIEHALLINTO  
Tie- ja  
Liikennetekniikka

Tielaitoksen selvityksiä  
5/2000

## **Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa**

Mitoitus- ja työohjeet

Tielaitos  
TIEHALLINTO

Helsinki 2000

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-603-0  
TIEL 3200594

Edita Oy Ab  
Helsinki 2000

Julkaisua myy  
Tielaitos, painotuotepalvelu  
Telefax 0204 44 2652  
[www.tielaitos.fi/kirjasto/tilaus.htm](http://www.tielaitos.fi/kirjasto/tilaus.htm)

**Tielaitos**  
TIEHALLINTO  
Tie- ja liikennetekniikka  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihde 0204 44 150

## **Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa, Mitoitus- ja työohjeet**

[Use of reclaimed concrete in pavement structures]. Helsinki 2000, Tielaitoksen selvityksiä 5/2000, TIEL 3200594. 25 s + liitt. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-603-0.

**Aiheluokka** 32, 52

**Asiasanat** betoni, murske, uudelleenkäyttö, tienrakennus, päällysrakenne, suunnittelu, kantavuus, ohjeet

## **TIIVISTELMÄ**

Betonimurske on betonituoteteollisuuden tai purkutyömaiden jätebetonista murskattu tuote. Hyvälaatuinen betonimurske on uudelleen tiivistettynä rakenteessa lujittuva.

Betonimursketta on käytetty teiden, katujen ja kenttien jakavassa ja kantavassa kerroksessa Suomessa vuodesta 1994 saakka. Rakennetuissa kohteissa mitatut kantavuudet ovat ylittäneet tavanomaisilla kiviainesrakenteilla saavutettavat kantavuudet ja kokemukset ovat olleet hyviä. Lisäksi betonimursketta on tutkittu laboratorionkokeilla teknisten ja ympäristöominaisuuksien määrittämiseksi.

Betonimurskeen käytön ohjeistamiseksi on TEKES -projektina laadittu betonimurskerakenteiden mitoitus- ja työohjeet. Käytetyt mitoitusparametrit perustuvat suomalaiseen ja kansainväliseen tietämykseen betonimurskeen ominaisuuksista ja rakentamiskokemuksista. Parametrien määrittäminen on esitetty erillisessä *"Betonimurskeen mitoitusparametrit"* -raportissa (Viatak 1999).

Tämän ohjeen I osassa on esitetty betonimurskerakenteiden routa- ja kantavuusmitoituksessa tarvittavat parametrit. Tien kantavuusmitoituksen avuksi on valmiiksi mitoitettu päällysrakenteen yläosa, jossa on käytetty betonimursketta. Kantavuusmitoituksessa I...III-luokan betonimurskeen E-moduulina käytetään 700...280 MPa murskeen laadusta riippuen.

Ohjeen II osassa on esitetty betonimurskerakenteiden työohjeita "Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitys" (TYLT 1994) mukaisen litteroinnin pääotsikoiden alle ryhmiteltynä.

## **Use of reclaimed concrete in pavement structures.**

**Key words** concrete, crusher-run, recycling, road construction, pavement, design considerations, bearing capacity, construction procedures

### **ABSTRACT**

Reclaimed concrete material is generated through the demolition of concrete elements and structures during building demolition operations. Reclaimed concrete, which has been presented in this report, fulfils certain environmental and technical criterions.

Reclaimed concrete has been used in pavement construction since 1994 in Finland. Reclaimed concrete has showed favourable geotechnical properties in field studies on test roads and in laboratory tests and thereby is suitable for use in road constructions. The bearing capacity of the pavements made on Reclaimed concrete has been much better than the pavements made on crushed rock or gravel.

These user guidelines for the use of reclaimed concrete have been made with the financial support of the Finnish Technology Development Centre. The dimensioning parameters of reclaimed concrete and the construction procedures with reclaimed concrete have been studied on the basis of Finnish and foreign experiences. Dimensioning parameters have been reported in detail in a separate report ("Betonimurskeen mitoitusparametrit", Viatek Ltd 1999).

The bearing and the frost dimensioning parameters have been presented in the first part of this report. The design considerations and ready-made dimensioning tables have also been presented. The E-modulus of reclaimed concrete (grade I...III) used in dimensioning is 700...280 MPa depending on the properties of the material.

In the second part of this report the construction procedures of reclaimed concrete pavements have been presented following the format of Finnish Road Administration guidelines.

## ALKUSANAT

Tämä selvitys on tehty betonimurskeen käytön ohjeistamiseksi TEKES –projektina. Tässä työssä on esitetty betonimurskerakenteiden routa- ja kantavuusmitoituksessa tarvittavat parametrit. Tien kantavuusmitoituksen avuksi on laadittu valmiiksi mitoitettut päällysrakenteet, joissa on käytetty betonimursketta. Lisäksi on esitetty betonimurskerakenteiden suunnittelussa huomioon otettavia seikkoja ja on esitetty työohjeita "Tierakennustöiden yleisten laatuvaatimusten ja työselitysten" (TYLT 1994) mukaisen litteroinnin päätöskoiden alle ryhmiteltynä.

Työn ovat tehneet Juha Forsman ja Helena Korjus Viatek Oy:stä. Tielaitoksen puolelta työtä ovat valvoneet Martti Eerola (Tuotannon konsultointi) ja Tuomo Kallionpää (Tiehallinto). Työryhmään ovat kuuluneet myös Lauri Kivekäs, Antti Määttänen ja Jarmo Pekkala Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy:stä, Jussi Jokirinta Kuntaliitosta, Markku Juvankoski VTT Yhdyskuntatekniikasta, Pentti Markkanen (yksityinen konsultti) ja Mikko Leppänen Viatek Oy:stä.

Helsingissä helmikuussa 2000

*Tielaitos  
Tie- ja liikennetekniikka*

## SISÄLTÖ

<u>OSA I: MITOITUSOHJE</u>	<u>8</u>
<u>1 JOHDANTO</u>	<u>8</u>
<u>2 BETONIMURSKEEN KÄYTTÖ TIERAKENTEISSA</u>	<u>8</u>
<u>3 BETONIMURSKEEN LUOKITUS</u>	<u>9</u>
3.2 Luokittelu	9
3.3 Laatuvaatimukset	10
<u>4 BETONIMURSKEEN YMPÄRISTÖKELPOISUUS</u>	<u>11</u>
<u>5 PÄÄLLYSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU</u>	<u>11</u>
5.2 Pohjasuhdetiedot ja nykytilan selvitys	11
5.3 Rakeneratkaisut	12
<u>6 PÄÄLLYSRAKENTEEN ROUTAMITOITUS</u>	<u>12</u>
<u>7 PÄÄLLYSRAKENTEEN KANTAVUUSMITOITUS</u>	<u>13</u>
7.2 Yleistä	13
7.3 Pohjamaan kantavuusluokitus	13
7.4 E-moduulit	13
7.5 Kantavuusmitoitus	14
7.6 Kantavuus- ja routamitoitetut päällysrakenteet	14
7.7 Runsaasti suolattavien korkealuokkaisten teiden päällyste	18
7.8 Analyyttinen mitoitus	18
7.9 Suunnitelma-asiakirjat	18
<u>8 KIRJALLISUUTTA</u>	<u>19</u>

<u>OSA II: RAKENTAMISEN TYÖSELITYS</u>	<u>20</u>
<u>4000 PENGER- JA KERROSRAKENTEET</u>	<u>20</u>
4000.1 Yleistä	20
4000.2 Ympäristövaikutukset	20
4000.5 Penkereiden ja kerrosten rakentaminen talvella	20
4000.6 Betonimurskeen laatuvaatimukset	20
<u>4100 MAAPENKEREET</u>	<u>21</u>
<u>4110 TIEPENGER</u>	<u>21</u>
<u>4400 SUODATIN-, ERISTYS- JA JAKAVAT KERROKSET</u>	<u>21</u>
<u>4410 SUODATIN- JA ERISTYSKERROKSET</u>	<u>21</u>
<u>4430 JAKAVAT KERROKSET</u>	<u>21</u>
<u>4500 SITOMATTOMAT KANTAVAT KERROKSET</u>	<u>22</u>
<u>6300 PERUSTUKSET JA TUKIMUURIT</u>	<u>24</u>
<u>6340 BETONIMURSKEARINA</u>	<u>24</u>
<u>6800 KUIVATUSRAKENTEET JA PUTKISTOT</u>	<u>24</u>
<u>SILLANRAKENTAMISEN MAA- JA POHJARAKENTEET (SYT 2 1992)</u>	<u>25</u>
2.7 Täytöt	25
2.7.1 Perustamistason yläpuoliset täytöt	25
2.7.2 Perustamistason alapuoliset täytöt	25



## OSA I: MITOITUSOHJE

### 1 JOHDANTO

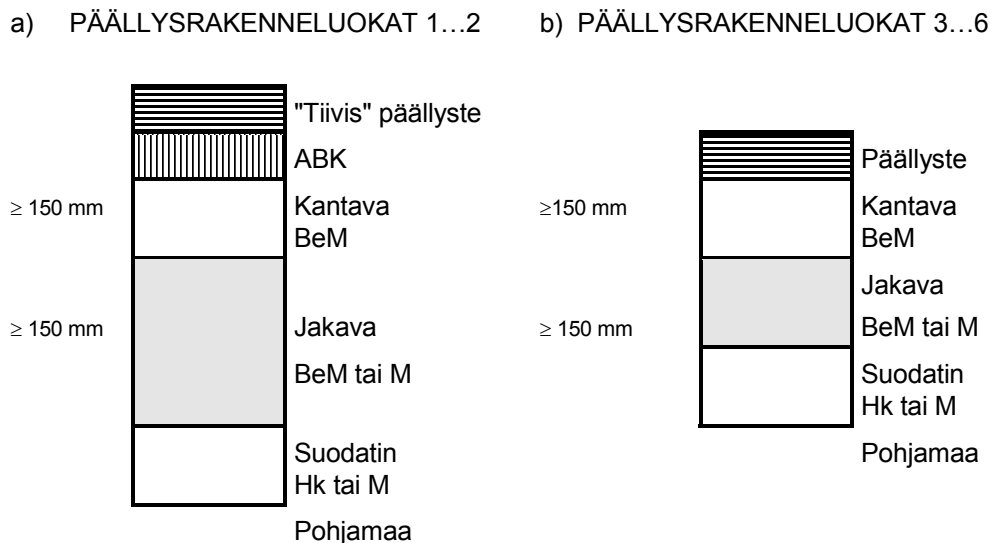
Betonimurskeen uusiokäytön tutkiminen maarakentamisessa on aloitettu 1992 Suomessa. Vuoden 1994 jälkeen betonimursketta on käytetty kymmenissä kohteissa lähinnä tie- ja katurakenteissa jakavassa ja kantavassa kerroksessa. Kohteista kymmenkunta on toiminut myös koerakennuskohteina, joissa on eri ajankohtina tutkittu betonimurskekerroksen kantavuutta ja muita ominaisuuksia. Betonimurskeen materiaaliominaisuuksia ja ympäristökelpoisuutta on tutkittu myös laboratoriossa.

### 2 BETONIMURSKEEN KÄYTTÖ TIERAKENTEISSA

Betonimursketta on teknisesti mahdollista käyttää kaikissa päällys- ja alusrakenteen kerroksissa pengertäyhteestä ja suodatinkerroksesta kantavaan kerrokseen saakka (suodatinkerroksessa edellytetään, että  $d_{20 \text{ suodatin}}/d_{20 \text{ pohjamaa}} = 8 \dots 40$ , ellei ole käytetty suodatinkangasta). Mikäli I ja II-luokan betonimurskeen lujittumista ei hyödynnetä, voidaan niitä käyttää sellaisenaan korvaamaan jakavan ja kantavan kerroksen kallio- ja soramursketta.

Taloudellisesti ja teknisesti mielekkäintä käyttö on kantavassa kerroksessa, jolloin kantavaa kerrosta ja/tai kantavan kerroksen alapuolista jakavaa kerrosta voidaan ohentaa lujittuneen betonimurskeen hyvien kantavuusominaisuuksien ansiosta. Kantavan kerroksen päältä saavutettava korkeampi kantavuus voidaan toisaalta hyödyntää ohentamalla bitumilla sidottujen kerrosten paksuutta. Päällysrakenteen kerroksia ohennettaessa on kuitenkin otettava huomioon, että tierakenteen kokonaispaksuutta ei voi ohentaa routamitoituksen edellyttämästä paksuudesta. Lujittumisominaisuuksien hyödyntämisen edellytyksenä on myös se, ettei betonimurskekerrokseen pääse tunkeutumaan suolaista vettä (ks. kohta 7.6). Sitomattomien rakennekerrosten tiivistetyn paksuuden on oltava vähintään kaksinkertainen verrattuna niiden sisältämän materiaalin maksimiraekokoon. Kuvassa 2.1 on esitetty tyypillinen betonimurskerakenne.

Betonimurskeen luokitusominaisuudet ja mitoitusparametrit on esitetty tarkemmin raportissa *"Betonimurskeen mitoitusparametrit"* (Viatek 1999). Tässä ohjeessa on toistaiseksi päädytty esittämään käytettäväksi pienempiä rakennemuodulleja. Moduuleja voidaan tarkistaa, kun lujittumisen pysyvyydestä ja vaihtelusta saadaan enemmän kokemusta. Tapauskohtaisen harkinnan mukaisesti ja kokeiluluonteisesti voidaan mitoituksessa käyttää myös suurempaa moduulia I-luokan betonimurskeelle. Muut parametrit on koottu liitteen 1 taulukkoon. Betonimurskerakenteiden rakentamishojeet on esitetty tämän ohjeen osan II työselityksessä.



Kuva 2.1: Tyypillinen betonimurskerakenne (BeM=betonimurske).  
 a) Päällysrakenneluokkien 1...2 ja  
 b) päällysrakenneluokkien 3...6 betonimurskerakenne.  
 "Tiivistä" päällystettä suositellaan käytettäväksi kohdan 7.6 periaatteiden mukaisesti korkealuokkaisilla teillä.

### 3 BETONIMURSKEEN LUOKITUS

#### 3.2 Luokittelu

Betonimursketuotteet jaotellaan niiden raaka-aineen ja materiaaliominaisuuksien mukaan. Raaka-aineena voi olla joko betonituoteteollisuudesta tai purkutyömailta peräisin oleva betonijäte.

Betonimurskeet jaotellaan neljään eri luokkaan raaka-aineidensa perusteella taulukon 3.1 kuvauksen mukaisesti. Betonimurskeiden luokitteluperusteita on esitetty taulukoissa 3.2a ja b. Taulukossa 3.2c on esitetty eri betonimurskelajitteiden suositeltavat käyttökohteet tierakenteessa.

Päällysrakenteiden suunnittelussa suositellaan käytettäväksi betonimurskelajitteita I ja II.

Taulukko 3.1: Betonimurskelajitteiden raaka-aineiden kuvaus.

Lajite	Raaka-aine
<b>BeM I</b>	Epäpuhtauksista vapaa betonijäte, joka on peräisin esim. betonituoteteollisuudesta
<b>BeM II</b>	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte
<b>BeM III</b>	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte, jonka uudelleenlujittuminen rakenteessa on epävarmaa
<b>BeM IV</b>	Purkutyömailta tai muualta peräisin oleva betonijäte, joka ei lujitu rakenteeseen tiivistettynä ja voi olla routivaa

*Taulukko 3.2: Betonimurskeiden perusominaisuudet (a), epäpuhtaudet (b) ja suositeltavat käyttökohteet (c).*

a)	Rakeisuus**	Lujittuminen	Routivuus	E-moduuli
<b>BeM I</b>	0-45 mm	Lujittuu	Routimaton	700 MPa
<b>BeM II</b>	0-45 mm	Lujittuu	Routimaton	500 MPa
<b>BeM III</b>	0-45 mm	Epävarmaa	Routimaton	280 MPa
<b>BeM IV</b>	Vaihtelee	Ei lujitu	Vaihtelee	≤ 200 MPa*

\* harkittava tapauskohtaisesti ottaen huomioon mahdollinen routivuus

\*\* Tielaitoksen rakeisuusohjealue 0/45 (TYLT 1999)

E-moduulien määrittäminen on esitetty raportissa "Betonimurskeen mitoituspäätökset" (Viitek 1999)

b)	Tiilen max. Osuus [paino-%]	Muiden materiaalien max. osuus * [paino-%]	Liukoisuuskokeet murskausvaiheessa
<b>BeM I</b>	0	0,5	ei vaadita
<b>BeM II</b>	10	1	vaaditaan
<b>BeM III</b>	10	1	vaaditaan
<b>BeM IV</b>	30	1	vaaditaan

\* puu, muovi, yms. Tämän paino-% vaatimuksen lisäksi erityisen keveitä materiaaleja (esim. solumuovi- ja vuorivillaeristeet) tai orgaanisia materiaaleja ei saa olla haitallisessa määrin.

c)	Eri betonimurskelajitteiden soveltuvuus		
	Kantavakerros	Jakavakerros	Pengertäyte
	I, II, (III)	(I), II, III, (IV)	(I-III) IV

c-taulukossa I - IV tarkoittavat betonimurskelajitteita, joita voidaan suositella kuhunkin kohteeseen, ympäristökelpoisuus on kuitenkin otettava huomioon. Betonimurskelajitteen tunnuksen ollessa suluissa, kyseessä ei ole taloudellisesti tai teknisesti optimaalisin käyttökohte.

### 3.3 Laatuvaatimukset

Betonimurskeen laatuvaatimukset ovat seuraavat. Laadunvalvontamenetelmät ja ohjelma on esitetty *liitteessä 2*.

- **Rakeisuus:** Luokkien I, II ja III betonimurskeen rakeisuuskäyrän tulee täyttää Tielaitoksen ohjeissa (TYLT 1999) esitetyt kantavan kerroksen rakeisuusvaatimukset. IV-luokassa rakeisuusvaatimukset asetetaan tapauskohtaisesti.
- **Puristuslujuus:** *Liitteissä 2 ja 3* esitetyllä tavalla valmistettujen koekappaleiden 28 d:n puristuslujuuden on oltava I-luokan betonimurskeella vähintään 1,2 MPa ja II-luokan betonimurskeella 0,8 MPa, III-IV -luokan betonimurskeille ei aseteta puristuslujuusvaatimusta.
- **Routivuus:** Luokkien I, II ja III betonimurskeiden on oltava routimattomia määritettynä *liitteen 2* mukaisesti. IV-luokassa routivuuskriteerit asetetaan tapauskohtaisesti.
- **Materiaalin puhtaus:** Tiilen ja muiden materiaalien maksimiosuudet on esitetty *taulukossa 3.2b*.

## 4 BETONIMURSKEEN YMPÄRISTÖKELPOISUUS

Betonimurskeen toimittaja vastaa tuotteen ympäristökelpoisuudesta VTT:n (1996) laatiman hyötykäytön laadunvalvontajärjestelmän mukaisesti. Murskeen ympäristökelpoisuus tutkitaan betonin murskausvaiheessa. Purkubetonia murskattaessa (luokat II...IV) on ympäristökelpoisuus aina tutkittava VTT:n ohjeen mukaisesti. Betonituoteteollisuuden elementtijätteen ympäristökelpoisuuden tutkimista ei vaadita murskattaessa.

*Taulukossa 4.1 on esitetty VTT:n laadunvarmistusjärjestelmän mukaiset suurimmat sallitut liukoisuudet CEN:n pikatestillä [prEN 12457 1996, menetelmä 3] määritettynä. Raja-arvoja ollaan tarkistamassa ja ne saattavat muuttua. Mahdolliset uudet raja-arvot tullaan esittämään Sivutuotteet maa-rakenteissa –menettelytapaoppaassa [Mroueh et al. 1999].*

*Taulukko 4.1: VTT:n suositus eri aineiden liukoisuudelle betoni- ja tiilimurskeesta tutkittuna CEN:in pikatestillä [Wahlström & Laine-Ylijoki 1996].*

Haitta-aine	Sulfaatti	Kromi	Kadmium	Kupari	Lyijy
Raja-arvo [mg/kg]	750	0,5	0,02	0,4	1,0

Jos työmaa sijaitsee pohjavesialueella, on betonimurskeen käyttömahdollisuus etukäteen selvittävä yhdessä betonimurskeen toimittajan ja ympäristöviranomaisen kanssa.

## 5 PÄÄLLYSRAKENTEIDEN SUUNNITTELU

### 5.2 Pohjasuhdetiedot ja nykytilan selvitys

Tierakenteiden alus- ja päällysrakenteen suunnittelulla, materiaalivalinnoilla ja kerrospaksuuksilla pyritään siihen, että päällysrakenteen pinta saisi ja se säilyttäisi vaadittavan toiminnallisen kunnon eli palvelutason koko sen ajanjakson, jolle se on suunniteltu.

Päällysrakenteen mitoitukseen vaikuttavat pohjamaan laatu, rakennemateriaalit ja liikennemäärä (tieluokka). Tärkeimmät pohjamaan laatutekijät ovat kevätkantavuus ja routivuus. Sekä uuden että korjattavan tierakenteen osalta edellä mainitut pohjamaan ominaisuudet on selvittävä suunnittelun lähtökohdaksi. Korjauskohteissa on lisäksi selvittävä olemassa olevan päälly- ja alusrakenteen materiaalien routivuus. Koko tiepenkereen painuma- ja stabiliteettimitoituksen perustaksi on pohjamaan painuma- ja lujuusominaisuudet myös selvittävä.

Betonimurskerakenteiden suunnitteluun riittävät samantasoiset pohjasuhdetiedot ja korjauskohteissa myös nykytilan tiedot kuin normaalia kiviainesrakennetta suunniteltaessa.

### 5.3 Rakenneratkaisut

Betonimurskerakenteiden kantavuusmitoitus tehdään toistaiseksi Odemarkin mitoituusyhtälöllä, joka on esitetty Tielaitoksen ohjeessa (TVH 1985). Ohjeessa Odemarkin yhtälön käyttöön liitettyjä lisäehtoja ja ensisijaisia kerros-paksuuksia noudatetaan sillä poikkeuksella, että BeM I:n ja II:n käyttökelpoinen E on korkeintaan  $10 \times E_A$  (muilla laatuluokilla korkeintaan  $6 \times E_A$ ).

Betonimurskekerroksen minimipaksuudeksi suositellaan vähintään 150 mm, jolloin murske lujittuu paremmin ja aikaansaa laattavaikutusta. Minimipaksuuden on aina oltava vähintään kaksinkertainen murskeen maksimiraekoon verrattuna.

Koska betonimurskeen vedenläpäisevyys on pienempi kuin normaalilla murskeella (*liite 1*), on betonimurskeen pinnan sivukallistuksen oltava riittävä ( $\geq 3 \%$ ).

Betonimurskekerroksen päällä voidaan käyttää ohutta kantavan kerroksen laatuvaatimukset täyttävää murskekerrosta ( $\#_{\max}=16\dots 25$  mm) tai bitumiemulsiota/-liuosta ja sorasirotetta estämässä veden haihtumista lujittuvasta betonimurskekerroksesta. Näin voidaan vähentää tai välttää kerroksen lisäkastelulta tiivistyksen ja päällystyksen välisenä aikana. Tämän murskekerroksen paksuuden on oltava vähintään kaksi kertaa kerroksessa käytetävän murskeen raekoko.

## 6 PÄÄLLYSRAKENTEEN ROUTAMITOITUS

Routimisen rajoittamisella pyritään routanousuerojen ja näistä aiheutuvien tien pinnan epätasaisuuksien ja halkeamien vähentämiseen. Routan sulamisen aiheuttama kantavuuden lasku otetaan huomioon kevätkantavuuteen perustuvassa kantavuusmitoituksessa.

Betonimurskeen lämmönjohtavuus on hieman pienempi kuin kiviainesmurskeella, mutta routamitoituksessa suositellaan käytettäväksi rakeisuudeltaan vastaavan kiviaineksen lämmönjohtavuutta. Betonimurskeet I, II ja III ovat routimattomia. Murskelajite IV voi olla routivaa.

Tierakenteiden, joissa on käytetty betonimursketta, routamitoitus tehdään Tielaitoksen ohjeiden mukaisesti kuten käytettäessä normaaleja kiviaineksia. *Taulukoiden 7.3...7.4* päällysrakenteissa on päällysrakenteen alaosan kantavuus mitoitettava ottaen huomioon routamitoitus.

## 7 PÄÄLLYSRAKENTEEN KANTAVUUSMITOITUS

### 7.2 Yleistä

Alusrakenteella tarkoitetaan leikkauksen kohdalla tiivistettyä pohjamaata ja penkereen kohdalla pengertäytettä. Myös erilaiset pohjanvahvistukset sekä leikkaus- ja pengerialuiskat lasketaan kuuluviksi alusrakenteeseen.

Päällysrakenne on alusrakenteen päälle tuleva rakenne, jonka tehtävänä on ottaa vastaan liikenteen kuormitukset ja jakaa ne alusrakenteelle tasaisesti alusrakenteen kantokyvyn ylittymättä. Päällysrakenteeseen kuuluvat sidotut ja sitomattomat rakennekerrokset sekä siirtymäkiilat ja maalaatikko. Tien päällysrakenteen eri osien nimitykset on esitetty *kuvassa 2.1*.

Päällysrakenteen kantavuusmitoituksessa tulee aina ottaa huomioon myös routamitoitus.

### 7.3 Pohjamaan kantavuusluokitus

Päällysrakenteen mitoitus perustuu alusrakenteen kantavuuteen. Alusrakenteen kantavuusluokka saadaan Tielaitoksen ohjeesta [TVH 1985].

### 7.4 E-moduulit

Betonimurskeiden E-moduuleina (=rakennemuodulleina) käytetään aiemmin *taulukossa 3.2a* esitettyjä moduuleita. Ne perustuvat koerakenteiden kantavuusmittauksista Odemarkin yhtälöä käyttäen tehtyjen takaisinlaskentojen tuloksiin. Koerakenteet, mittaukset ja laskennat on esitetty raportissa "Betonimurskeen mitoitustparametrit" [Viitek 1999]. Materiaalin suhteellisen lyhyen käyttöhistorian takia mittaustulosten mukaisia moduuleja on redusoitu huomattavasti alaspäin määrittäessä mitoitusmoduuleja.

*Taulukko 7.1: Tien päällysrakennemateriaalit ja materiaalien rakennemuodullit [TVH 1985; Tielaitos 1991a]. Sementillä lujitetun kitkamaan arvot "Sementtistabilointiohjeesta" [Tielaitos 1991b].*

Materiaali	E-moduuli [MPa]
Asfalttibetoni	2 500
Kevytasfalttibetoni	1 500
Bitumisora	2 500
Imeytyssepellys	700
Sementillä lujitettu kitkamaa	4 000...8 000
- asemasekoitettu	2 000...5 000
- tiesekoitettu	
Routimaton murske (jakavan tai kantavan kerroksen rakeisuusalue)	200...280
Sora ja sorainen hiekka (jakavan kerroksen rakeisuusalue)	150...280
Routimaton hiekka (suodatinkerroksen rakeisuusalue)	30...100

"Tavanomaiset" tien päällysrakennemateriaalit ja materiaalien Odemarkin kantavuusmitoituksen rakennemuodullit on esitetty *taulukossa 7.1*.

## 7.5 Kantavuusmitoitus

Tiet on jaoteltu liikennemäärien mukaisesti päällysrakenneluokkiin 1-6. Mitoitettaessa valitaan päällystetyypin ja kuormituskertaluvun avulla tieosalle päällysrakenneluokka ja tätä vastaava mitoituksen tavoitekantavuus Tielaitoksen ohjeen [TVH 1985] mukaisesti. Tavoitekantavuus päällysteen päältä on ensisijainen mitoituseruste ja tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä on sitomattomien rakennekerrosten mitoituksessa käytettävä kantavuus.

Ohjeessa [Tielaitos 1991a] on esitetty mitoituksen tavoitekantavuudet lopullisen ja 1. päällysteen (jos käytetään vaiheittain rakentamista), kantavan ja jakavan päältä. Lisäksi ohjeessa on esitetty päällysteen ja kantavan kerroksen rakennepaksuudet, kun kantavan kerroksen E-moduulina on 280 MPa (esim. III-luokan betonimurske).

Oheisissa rakennetaulukoidissa (*taulukot 7.2 ja 7.3*) on esitetty päällysteen ja kantavan kerroksen paksuudet sekä tavoitekantavuudet käytettäessä I ja II-luokan betonimursketta. Rakenteet on mitoitettu Odemarkin menetelmällä käyttäen betonimurskeen moduulina 700 MPa (7.2a ja 7.3a) tai 500 MPa (7.2b ja 7.3b) betonimurskeen luokasta (I...II) riippuen.

*Taulukossa 7.2* betonimurskeen suurempi moduuli on hyödynnetty ohentamalla kantavan kerroksen paksuutta. *Taulukossa 7.3* kantavan betonimurskekerroksen parempi kantavuus on hyödynnetty ohentamalla lisäksi päällysteen paksuutta 20 mm päällysteen paksuuden ollessa yli 100 mm ja 10 mm päällysteen paksuuden ollessa 50...100 mm. Alle 50 mm päällystekerrosta ei ole ohennettu. Päällystettä voitaneen ohentaa enemmänkin, mutta tällöin betonimurskekerroksen alapintaan kohdistuvien vetojännitysten suuruus ja niiden vaikutukset tulisi tarkastella analyytisesti.

## 7.6 Kantavuus- ja routamitoitetut päällysrakenteet

*Taulukossa 7.4* on esitetty 1AB-luokan päällysrakenteet, joissa on käytetty kiviainesmursketta (a) tai I-luokan betonimursketta (b) kantavassa kerroksessa. *Taulukko 7.4a* on saatu korjaamalla TVH:n ohjeen [1985] rakenteita Tielaitoksen ohjeiden [1991a] mukaisesti. *Taulukon 7.4b* esimerkkimitoituksessa on betonimurskekerroksen suurempi kantavuus hyödynnetty siten, että jakava kerros on korvattu suodatinkerroksen materiaalilla (toisaalta suodatinkerros materiaali myös voidaan luonnollisesti korvata suodatinkankaalla ja esim. soralla tai murskeella).

Koska tierakenteen mitoituksessa on yleensä tapauskohtaisesti optimoitava rakennekerrokset käytettävissä olevien materiaalien perustella, ei tähän ohjeeseen ole liitetty enempää valmiiksi mitoitettuja rakennetaulukoita, vaan mitoitus suositellaan tehtäväksi Odemarkin menetelmällä tässä esitettyjen ohjeiden mukaisesti.

*Taulukko 7.2: Tavoitekantavuudet ja rakennepaksuudet, kun kantavan kerroksen E-moduulina on 700 MPa (BeM I, a) ja 500 MPa (BeM II, b). Betonimurskekerroksen päältä saavutettavaa suurempaa kantavuutta ei tässä hyödynnetä ohentamalla päällysteen paksuutta.*

a) Päällysrakenne-luokka	1 AB	2 AB	3 AB	4 AB	5-6 AB	4-6 PAB-B
<b>Tavoitekantavuus, MPa</b>						
- lopullinen	420	365	265	250	175	160
- 1. päällyst. päältä	235	235	200	200	175	160
- kantavan päältä	160	160	145	145	145	145
- jakavan päältä	90	90	90	90	90	90
<b>Kerrospaksuudet, mm</b>						
- päällysteet	170	140	100	90	40	40
- kantava kerros	150	150	150	150	150	150
- jakava ja suod.	*					

b) Päällysrakenne-luokka	1 AB	2 AB	3 AB	4 AB	5-6 AB	4-6 PAB-B
<b>Tavoitekantavuus, MPa</b>						
- lopullinen	420	365	265	250	175	160
- 1. päällyst. päältä	235	235	200	200	175	160
- kantavan päältä	160	160	145	145	145	145
- jakavan päältä	90	90	90	90	90	90
<b>Kerrospaksuudet, mm</b>						
- päällysteet	170	140	100	90	40	40
- kantava kerros	170	170	150	150	150	150
- jakava ja suod.	*					

\* Mitoitetaan siten, että rakenteen kokonaispaksuus täyttää routamitoituksen vaatimuksen ja mitoituskantavuus jakavan päältä on vähintään 90 Mpa (jos tehdään yhdistetty jakava + kantava kerros, mitoituskantavuuden tulee olla kantavan päältä vähintään yllä esitetty).



*Taulukko 7.3: Tavoitekantavuudet ja rakennepaksuudet, kun kantavan kerroksen E-moduulina on 700 MPa (BeM I, a) ja 500 MPa (BeM II, b). Betonimurskekerroksen päältä saavutettava suurempi kantavuus on hyödynnetty ohentamalla päällysteen paksuutta.*

a) Päällysrakenneluokka	1 AB	2 AB	3 AB	4 AB	5-6 AB	4-6 PAB-B
<b>Tavoitekantavuus, MPa</b>						
- lopullinen	420	365	265	250	175	160
- 1. päällysteen päältä	235	235	200	200	175	160
- kantavan päältä ****	186 (193)	191 (193)	160 (172)	162 (172)	145 (172)	145 (172)
- jakavan päältä	90	90	90	90	90	90
<b>Kerrospaksuudet, mm</b>						
- päällysteet	150 **	120 **	90 ***	80 ***	40	40
- kantava kerros	180	180	150	150	150	150
- jakava ja suod.	*					

b) Päällysrakenneluokka	1 AB	2 AB	3 AB	4 AB	5-6 AB	4-6 PAB-B
<b>Tavoitekantavuus, MPa</b>						
- lopullinen	420	365	265	250	175	160
- 1. päällysteen päältä	235	235	200	200	175	175
- kantavan päältä ****	186 (193)	191 (193)	160 (167)	162 (167)	145 (155)	145 (155)
- jakavan päältä	90	90	90	90	90	90
<b>Kerrospaksuudet, mm</b>						
- päällysteet	150 **	120 **	90 ***	80 ***	40	40
- kantava kerros	220	220	170	170	150	150
- jakava ja suod.	*					

\* Mitoitetaan siten, että rakenteen kokonaispaksuus täyttää routamitoituksen vaatimuksen ja mitoituskantavuus jakavan päältä on vähintään 90 MPa (jos tehdään yhdistetty jakava + kantava kerros, mitoituskantavuuden tulee olla kantavan päältä vähintään yllä esitetty)

\*\* Päällysteen paksuutta ohennettu 20 mm

\*\*\* Päällysteen paksuutta ohennettu 10 mm

\*\*\*\* Tavoitekantavuus, jolla tavoitekantavuus päällysteen päältä toteutuu. Suluissa ko. betonimursketta vastaava mitoituskantavuus kerroksen päällä.

Taulukko 7.4: Esimerkki 1AB –päällysrakenneluokan rakennetaulukoista, joissa on käytetty kiviainesmursketta (a) tai betonimursketta (b) kantavassa kerroksessa. Taulukko (a) on saatu päivittämällä TVH:n ohjeen [1985] rakenteita Tielaitoksen ohjeiden [1991a] mukaisesti. Taulukon (b) rakenteissa on käytetty I-luokan betonimursketta.

a) PÄÄLLYSRAKENNELUOKKA 1 AB

Rakennekerros	Pohjamaan kantavuusluokka								
	A	B	C	D	E	F	G	E-G	E-G
Lopullinen mitoituskantavuus <sup>1)</sup>			∇420	∇420	∇420	∇420	∇420	∇420	∇420
Päällyste E=2500 MPa	170	170	170 ∇160	170 ∇160	170 ∇160	170 ∇160	170 ∇160	170 ∇160	170 ∇160
Kantavan murske E=280 MPa	150 -	200 -	250 ∇90	250 ∇90	250 ∇90	250 ∇90	250 ∇90	250 ∇90	250 ∇90
Jakavan sora E=200 MPa	-	-	200 ∇50	200 ∇50	250 ∇40	250 ∇40	250 ∇40	250 ∇40	250 ∇40
Suodatin E= 70 MPa	- ∇300	- ∇200	- ∇100	150 ∇50	300 ∇20	500 ∇10	700 ∇5	900	1100
Päällysrakenteen kokonaispaksuus	320	370	620	770	970	1170	1370	1570	1770

b) PÄÄLLYSRAKENNELUOKKA 1 AB

Rakennekerros	Pohjamaan kantavuusluokka								
	A	B	C	D	E	F	G	F	F
Lopullinen mitoituskantavuus <sup>1)</sup>			∇460	∇422	∇420	∇432	∇430	∇430	∇421
Päällyste E=2500 MPa	170	170	170 ∇185	170 ∇163	170 ∇162	170 ∇163	170 ∇167	170 ∇167	170 ∇163
Betonimurske E=700 MPa	150	150	150	200 ∇63	250 ∇55	250 ∇55	250 ∇54	220 ∇64	210 ∇66
Jakavan sora E=200 MPa	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suodatin E= 70 MPa	- ∇300	- ∇200	- ∇100	400 ∇50	580 ∇20	750 ∇10	950 ∇5	1180 ∇10	1390 ∇10
Päällysrakenteen kokonaispaksuus	320	320	320	770	970	1170	1370	1570	1770

1) Jos päällyste rakennetaan vaiheittain, noudatetaan kerrosten paksuudessa ja ajoituksessa Tielaitoksen ohjetta [Tielaitos 1991a].

170 = kerroksen paksuus 170 mm

∇420 = mitoituskantavuus 420 MPa

## 7.7 Runsaasti suolattavien korkealuokkaisten teiden päällyste

Käytettäessä lujittuvaa betonimursketta kantavassa kerroksessa runsaasti suolattavilla vilkasliikenteisillä pääteillä (päällysrakenneluokka 1 ja 2) suositellaan käytettäväksi SMA -päällysteen (tai muiden avoimien päällysteiden) sijasta huomattavasti vähemmän vettä läpäisevää AB-päällystettä. Tiiviillä päällysteellä voidaan estää suolaisen veden tunkeutumista lujittuneeseen betonimurskekerrokseen ja siten vähentää betonimurskekerroksen mahdollista vaurioitumisriskiä suolakuormituksen johdosta. Betonimurskerakenteiden suolapakkasrapautumisesta ei ole havaintoja toteutetuissa kohteissa, mutta suu-rempan puristuslujuuteen lujittuvalla maabetonilla suolapakkasrapautumista on havaittu.

## 7.8 Analyttinen mitoitus

Tielaitoksen valmisteilla olevassa kuormituskestävyyden mitoitusohjeessa Odemarkin menetelmän tilalle tai rinnalle tulee analyttinen menetelmä, jossa käytetään taipumasuppilon muotoa, päällysteen alapinnan ja rakennekerrosten sallittuja muodonmuutoksia sekä dynaamisia materiaalien kimmomoduuleja sidotuille kerroksille. Kriittiset rasitukset määräytyvät ns. väsymisfunktioiden avulla. Väsymisfunktio ilmaisee materiaalin kestävyys-suhteellisenä muodonmuutoksena kuormituskertaluvun suhteen. Erilaisten materiaalien väsymisominaisuudet poikkeavat toisistaan, joten kullekin materiaalityypille on olemassa oma väsymisfunktionsa.

Analyttisen mitoituksen työkaluksi on Tielaitoksen toimesta kehitetty APAS-mitoitusohjelmaa, joka on koekäyttövaiheessa. Tällä hetkellä APASiin on olemassa väsymissuorat pohjamaille, sitomattomille kiviaines-materiaaleille, maabetoneille, bitumistabiloidulle murskeelle ja asfalttipäällysteille. Betonimurskeelle ei ole määritetty omaa väsymisfunktioita. Tästä syystä betonimurskerakenteiden luotettava mitoitus APASilla ei ole vielä mahdollista ennen kuin väsymissuorat on määritetty.

Näin ollen betonimurskerakenteiden mitoitus perustuu edelleen ainoastaan moduuleihin perustuvaan kantavuusmitoitukseen (Odemark). Vaihtoehtoisesti betonimurskerakenteen alapinnan taipumia ja jännityksiä ja sitä kautta rakenteen kestoikää voidaan arvioida APASilla lähinnä betonimurskekerroksen alapinnan muodonmuutosten perusteella.

## 7.9 Suunnitelma-asiakirjat

Betonimurskerakenteita käytettäessä suunnitelma-asiakirjat vastaavat kiviainesrakenteen asiakirjoja. Betonimurskerakentamista ei ole otettu huomioon Tierakennustöiden yleisissä laatuvaatimuksissa ja työselityksessä [TYLT 1994]. Tämän ohjeen II osassa on esitetty TYLTin litteroinnin pääotsikoiden alle jaoteltu työselitys.

## 8 KIRJALLISUUTTA

Mroueh U-M., Wahlström M., Mäkelä E., Heikkinen P., Salminen R., Juvankoski M., Tammirinne M., Kauppila J., Sorvari J. 1999. Sivutuotteet maarakenteissa, menettelytapaopas, luonnos 16.11.1999 (valmistuu 2000).

prEN 12457. 1996. Characterization of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials. Determination of the leaching of constituents from granular waste materials and sludges, Draft July 1996.

Tie- ja vesirakennushallitus 1985 Teiden suunnittelu, Päällysrakenne. TVL:n ohjeet, Kansio B.

Tielaitos 1991a. Teiden suunnitteluohjeen muutos 15.4.1991. Skk-143/45/91

Tielaitos 1991b. Sementtistabilointiohje. TIEL 2222614.

TYLT 1999. Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitys. Murskaustyöt. Tielaitos, TIEL 2212809-98.

TYLT 1994. Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitys. Penger- ja kerrosrakenteet. Tielaitos, TIEL 2212460-94.

Viatek 1999. Betonimurskeen mitoituspärametrit. Betonimurskeen ohjeistamisprojekti 1998-1999. (julkaisu on tilattavissa Viatek Oy:stä, p. 09-430 1561, fax. 09-430 1560, e-mail. mirja.niskanen@viatek.fi).

Wahlström, M. ja Laine-Ylijoki, J. 1996. Mineraalisen rakennusjätteen kierrätys - Mineraalisen rakennusjätteen laadunvarmistusjärjestelmä. VTT Kemiantekniikka. Espoo. Loppuraportti 17.6.1996. Julkaisematon. 33 s. + liitteet. (saatavissa VTT Kemiantekniikasta raportin tekijöiltä).

## OSA II: RAKENTAMISEN TYÖSELITYS

### 4000 PENGERT- JA KERROSRAKENTEET

#### 4000.1 Yleistä

Tämä työselitys koskee betonimursketta, joka täyttää *luvuissa 3 ja 4* esitetyt vaatimukset. Tässä on käytetty "Tierakennustöiden yleisten laatuvaatimusten ja työselitysten" [TYLT 1994] mukaisen litteroinnin pääotsikoita.

Betonimurskeen luokitusominaisuudet ja mitoitusparametrit on esitetty raportissa "Betonimurskeen mitoitusparametrit" [Viatek 1999]. Kantavuusmitoituksessa tarvittavat betonimurskeen rakennemuodut on esitetty myös tämän ohjeen *taulukossa 7.1*. Muut ominaisuudet on esitetty *liitteessä 1*. Betonimurskeiden luokittelu on esitetty tämän ohjeen *taulukoissa 3.1 ja 3.2*. Betonimurskeet BeM I, II ja III ovat routimattomia. BeM IV-murske voi olla routivaa.

Betonimurske toimitetaan normaalin kiviaineksen tapaan työmaalle. Kuljetus, mahdollinen varastointi ja levitys työmaalla ei vaadi erityisjärjestelyjä.

#### 4000.2 Ympäristövaikutukset

Betonimurskeen toimittaja vastaa murskeen ympäristökelpoisuudesta toimittajalle ilmoitettujen kunkin käyttöpaikan vaatimusten mukaisesti.

Jos työmaa sijaitsee pohjavesialueella, on betonimurskeen käyttömahdollisuus etukäteen selvitettävä yhdessä betonimurskeen toimittajan ja ympäristöviranomaisen kanssa.

#### 4000.5 Penkereiden ja kerrosten rakentaminen talvella

Betonimurske on rakennettava noin 3-4 viikkoa ennen pakkaskauden alkua syksyllä, mikäli murskeen uudelleen sitoutuminen halutaan hyödyntää. Sitoutumisen ei kuitenkaan tarvitse tapahtua täydellisesti ennen pakkaskauden alkua, koska sitoutuminen jatkuu keväällä.

#### 4000.6 Betonimurskeen laatuvaatimukset

*Taulukoissa 3.1 ja 3.2* on esitetty betonimurskeen luokitteluperusteet. Betonimurskeen laatuvaatimukset on esitetty *kohdassa 3.2*. Laadunvalvontamenetelmät on esitetty liitteessä 2. Ympäristövaatimukset on esitetty *kohdassa 4*.

## 4100 MAAPENKEREET

### 4110 TIEPENGGER

Betonimursketta on teknisesti mahdollista käyttää kaikissa päälly- ja alusrakenteen kerroksissa pengertäytteestä ja suodatinkerroksesta kantavaan kerrokseen saakka. Taloudellisesti ja teknisesti mielekkäintä käyttö on kantavassa kerroksessa.

Alusrakenne ja pengertäyte rakennetaan tienrakennustöiden yleisten laatuvaatimusten ja työselitysten mukaisesti.

## 4400 SUODATIN-, ERISTYS- JA JAKAVAT KERROKSET

### 4410 SUODATIN- JA ERISTYSKERROKSET

BeM -lajitteet I, II ja III soveltuvat käytettäväksi suodatin- ja eristyskerrokseen. BeM IV:n soveltuvuus on erikseen selvitettävä tapauskohtaisesti. Korkealuokkaisten betonimurskeiden käyttö suodatin- ja eristyskerroksessa on vain poikkeustapauksessa teknisesti ja taloudellisesti mielekkästä. Käytettäessä betonimursketta suodatin-kerroksessa, on materiaalin täytettävä TYLT [1994] kuvan 4410.1 rakeisuusvaatimukset ( $d_{20 \text{ suodatin}}/d_{20 \text{ pohjamaa}} = 8 \dots 40$ ). Suodatinkankaan päällä voidaan lajitteita I, II ja III käyttää vaikka niiden rakeisuus poikkeaisikin edellä esitetystä rakeisuusvaatimuksesta.

Suodatin- ja eristyskerros toteutetaan noudattaen tierakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia ja työselityksiä [TYLT 1994]. Ennen kerroksen rakentamista varmistetaan, ettei alusrakenteeseen jää vettä kerääviä painanteita.

### 4430 JAKAVAT KERROKSET

BeM -lajitteet I, II ja III soveltuvat käytettäväksi jakavaan kerrokseen. BeM IV:n soveltuvuus jakavaan kerrokseen on erikseen selvitettävä tapauskohtaisesti. Betonimurskeita I...III käytettäessä voidaan jakavan kerroksen kantavuuden edellyttämää paksuutta yleensä ohentaa. Routamitoituksen edellyttämän rakenteen koko-naispaksuuden on kuitenkin pysyttävä riittävänä.

Jakava kerros rakennetaan kuten käytettäessä tavanomaista sora- tai kalliomursketta. Työssä noudatetaan tierakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia ja työselityksiä. Taulukossa 1 on esitetty jakavan kerroksen sallitut poikkeamat [TYLT 1994]. Betonimurskekerroksen pinta tasataan vähintään 3 % sivukaltevuuteen.

Tiivistys ja tiivistystyön valvonta tehdään kuten käytettäessä tavanomaista sora- tai kalliomursketta noudattaen tienrakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia ja työselityksiä. Tiivistystyö on suoritettava lähellä betonimurskeen optimivesipitoisuutta (noin  $10 \pm 2 \%$ ), mikäli murskeen uudelleensitoutuminen halutaan hyödyntää.

Suuremmissa kohteissa ja mikäli tiivistystarkkailu perustuu työmenetelmän seurantaan tehdään koejyräys TYLT:in [1994] ohjeiden mukaisesti. Koejyräyksellä selvitetään tarvittava tiivistysmäärä ja mahdollinen vedenlisäystarve.

Tiivistystyötä voidaan nopeuttaa ja tehostaa kastelemalla betonimurske lähelle optimivesipitoisuuttaan ja antamalla veden imeytyä murskeeseen jonkin aikaa (5...15 min) ennen tiivistämistä.

Mikäli betonimurskeen uudelleen sitoutuminen halutaan hyödyntää, tiivistetyn kerroksen ei saa antaa kuivua ensimmäisen 1 kk:n aikana tai kantavan kerroksen rakentamiseen saakka tiivistämisen jälkeen.

*Taulukko 1: Jakavan kerroksen sallitut mittapoikkeamat [TYLT 1994].*

Sallitut poikkeamat	
TASOSIJAINTI	
-tasosijainnin poikkeama	$\pm 100 \text{ mm}$
-tasosijainnin poikkeaman muutos	100 mm / 20 m
TASO	
-yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	$\pm 30 \text{ mm}$
-yksittäisen poikkeaman muutos	30 mm / 20 m
-tason keskiarvon poikkeama	$\pm 15 \text{ mm}$
MITAT	
-yläpinnan leveyden yksittäinen poikkeama	$\pm 60 \text{ mm}$
-yläpinnan leveyden keskiarvon poikkeama	$\pm 30 \text{ mm}$
KALTEVUUS	$\pm 1,0 \%$ -yksikköä
KERROSPAKSUUDEN KESKIVARVO	- 5 mm
TASAISUUS OIKOLAUDALLA MITATTUNA	30 mm / 5 m

## 4500 SITOMATTOMAT KANTAVAT KERROKSET

BeM -lajitteet I, II ja III soveltuvat käytettäväksi kantavaan kerrokseen.

Kantava kerros rakennetaan betonimurskeesta kuten käytettäessä tavanomaista sora- tai kalliomursketta. Työssä noudatetaan tienrakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia ja työselityksiä. *Taulukossa 2* on esitetty kantavan

kerroksen sallitut poikkeamat [TYLT 1994]. Betonimurskekerroksen pinta tasataan vähintään 3 % kaltevuuteen.

Tiivistys ja tiivistystyön valvonta tehdään kuten käytettäessä tavan-omaista sora- tai kalliomursketta noudattaen tierakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia ja työselityksiä. Tiivistystyö on suoritettava lähellä betonimurskeen optimivesipitoisuutta ( $10 \pm 2$  %), mikäli murskeen uudelleensitoutuminen halutaan hyödyntää.

Suuremmissa kohteissa ja mikäli tiivistystarkkailu perustuu työmenetelmän seurantaan tehdään koejyräys TYLTin [1994] ohjeiden mukaisesti. Koejyräyksellä selvitetään tarvittava tiivistysmäärä ja mahdollinen vedenlisästarve.

Tiivistystyötä voidaan nopeuttaa ja tehostaa kastelemalla betonimurske lähelle optimivesipitoisuuttaan ja antamalla veden imeytyä murskeeseen jonkin aikaa (5...15 min) ennen tiivistämistä.

Taulukko 2: Kantavan kerroksen sallitut mittapoikkeamat [TYLT 1994].

Sallitut poikkeamat	
TASOSIJAINTI	
-tasosijainnin poikkeama	$\pm 100$ mm
-tasosijainnin poikkeaman muutos	100 mm / 20 m
TASO	
-yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	$\pm 20$ mm
-yksittäisen poikkeaman muutos	20 mm / 20 m
-tason keskiarvon poikkeama	$\pm 10$ mm
MITAT	
-yläpinnan leveyden yksittäinen poikkeama	$\pm 60$ mm
-yläpinnan leveyden keskiarvon poikkeama	$\pm 30$ mm
KALTEVUUS	$\pm 0,5$ %-yksikköä
KERROSPAKSUUDEN KESKIARVO	- 5 mm
TASAISUUS OIKOLAUDALLA MITATTUNA	20 mm / 5 m

Kantavuusmitoituksessa hyödynnettävä betonimurskeen lujittuminen edellyttää murskeen riittävää kosteutta ensimmäisen 1 kk:n aikana kerroksen tiivistyksen jälkeen. Riittävä kosteus voidaan ylläpitää seuraavasti:

- 1) ABK tai AB-päällysteellä tai
- 2) bitumiemulsiolla ja kiviaineskerroksella välittömästi tiivistyksen jälkeen tai
- 3) kastelemalla kerros esim. kasteluautolla.

Vaihtoehdot 1 ja 2 eivät vaadi lisäkastelua tiivistyksen jälkeen. Vaihtoehdos-



sa 3 kastelun tarve riippuu säätilasta. Tavanomaisena kesänä, jolloin sadekuuroja on ajoittain, kastelua ei paljon tarvita. Pitkinä hellejaksoina kastelua tarvitaan päivittäin. Jos betonimurskekerroksen päälle tehdään ohut murskekerros (n. 50 mm), vähenee kastelun tarve. Kastelu tapahtuu esimerkiksi kasteluautolla.

## **6300 PERUSTUKSET JA TUKIMUURIT**

### **6340 BETONIMURSKEARINA**

Betonimurskearina tehdään korvaamalla kiviainesarina betonimurskeella. Betonimurskeiden I ja II lujittumista voidaan hyödyntää arinan mitoituksessa pohjamaan kantavuudesta riippuen. Betoni-murskeen käyttöä vedenpinnan alaisissa täyttötöissä ei suositella, koska materiaali saattaa liettyä ennen lujittumistaan.

### **6800 KUIVATUSRAKENTEET JA PUTKISTOT**

Lujittuvaa betonimursketta ei voi käyttää putkikaivantojen alkutäytössä. Lisäksi on otettava huomioon betonimurskeen korroosio-ominaisuudet: betonimurskeen korkea alkalisuus (pH yli 11) saattaa kosteissa olosuhteissa suorassa kontaktissa aiheuttaa alumiinin tai galvanoidun teräsputken korroosiota.

Betonimurskeita voidaan käyttää putkikaivantojen lopputäytössä ottaen huomioon betonimurskeen korroosio-ominaisuudet.

Tierakenteesta pois kaivetulla betonimurskeella, johon on sekoittunut mahdollisia muita hyvälaatuisia kiviaineksia, voidaan täyttää tavanomaisesta kiviaineksesta rakennettuun suodatinkerrokseen ja jakavaan kerrokseen kaivettu kaivanto. Puhdasta rakenteesta kaivettua betonimursketta voidaan käyttää kiviainesrakenteisessa jakavassa ja kantavassa kerroksessa kuten normaalia kiviainesta. Betonimurskerakenteen kaivutyö on tehtävä vaiheittain siten, että eri materiaalit voidaan täyttövaiheessa hyödyntää.

Puhdasta rakenteesta kaivettua betonimursketta voidaan käyttää betonimurskeesta II ja III rakennetussa jakavassa ja kantavassa kerroksessa. Tällöin betonimurske tulee tiivistää huolellisesti. Betonimurskeesta I rakennetussa jakavassa ja kantavassa kerroksessa tulee käyttää ”uutta” I-luokan betonimursketta.

Aukikaivu saattaa vaatia raskaan kaivinkoneen tai betonimurskekerroksen rikkomisen.

## **SILLANRAKENTAMISEN MAA- JA POHJARAKENTEET (SYT 2 1992)**

### **2.7 Täytöt**

#### **2.7.1 Perustamistason yläpuoliset täytöt**

Betonimursketta voidaan käyttää perustamistason yläpuolisiin täyttöihin SYT 2:n ohjeiden mukaisesti kuten normaaleja kiviaineksia.

#### **2.7.2 Perustamistason alapuoliset täytöt**

Betonimursketta voidaan käyttää perustamistason alapuolisiin täyttöihin ja sillan taustan täyttöön SYT 2:n ohjeiden mukaisesti kuten normaaleja kiviaineksia.

## **LIITTEET**

1. Betonimurskeen ominaisuudet
2. Betonimurskeen laadunvalvontamenetelmät ja valvontaohjelma

### Betonimurskeen ominaisuudet

- Esitetyt arvot edustavat rajallisen tutkimusmäärän perusteella arvioituja vaihteluvälejä. Käytännössä vaihteluväli saattaa olla huomattavasti suurempikin.
- Parametrit ja parametrien määrittäminen on esitetty tarkemmin raportissa "Betonimurskeen mitoitussparametrit" [Viitek 1999]
- Osa esitetyistä ominaisuuksista on määritetty lujittumattomalle "irto-murskeelle" (a) ja osa lujittuneelle murskeelle (b).

<i>Ominaisuus</i>	<i>Yksikkö</i>	<i>BeM I</i> (ontelolaatta- murske)	<i>BeM II</i> (purkubetoni- murske)	<i>Betonimurske</i> <i>yleensä</i>	<i>a/b</i>
Optimivesipitoisuus, $w_{opt}$	%	8...10	8...12	8...12	a
Maksimikuivatilavuuspaino	kN/m <sup>3</sup>	18...20	17,5...20,5		a
Minimikuivatilavuuspaino	kN/m <sup>3</sup>		12,7...14,5		a
Kiintotiheys	t/m <sup>3</sup>			2,55...2,65	a
Puristuslujuus, 7 d ikäisenä	MPa	1,2...1,3	0,3...1,1		b
Puristuslujuus, 28 d ikäisenä	MPa	2,0...2,1	0,6...1,3		b
Kapillaarisuus, $H_c$	m	0,25	0,20		a
Vedenläpäisevyys, k	m/s	$1...7 \times 10^{-5}$			a
<b>Happamuus, pH</b>				≥ 11	a
Segregaatiopotentiaali, SP	mm <sup>2</sup> /Kh	0,11...0,28			a
Lämpökapasiteetti, $C_{sula}$ (kenttähavainnoista takaisin- laskettu)	Wh/m <sup>3</sup> K	485...590			b
Kitkakulma	°			40	a
CBR-luku	%			90...140	a
Haurausarvo *		20...22	23...25		a
Los Angeles-luku *		22...24	27...29		a

\* erittäin riippuvainen murskatun betonin ja betonin kiviaineen laadusta, joten arvot voivat poiketa huomattavastikin tässä esitetystä.

## **BETONIMURSKEEN LAADUNVALVONTAMENETELMÄT JA VALVONTAOHJELMA**

### **1. Raaka-aineen vastaanotto murskausasemalle**

- Materiaalin puhtauden varmistaminen
  - Silmämääräinen tarkistus
- Vastaanottokirjanpito
  - Materiaalin alkuperä
  - Materiaalin laatu
  - Toimittaja
  - Määrä

### **2. Murskaus**

- Näytteenotto
  - Kasasta tai
  - Kuljetinhihnalta

Näytteenotossa noudatetaan PANK-2001 Kiviainesnäytteiden ottaminen ja käsittely, kohta 5.5 ja Suomen betoniyhdistys by 43 betonin kiviainekset, kohdat 6.4 ja 6.8.

### **3. Betonimurskeen laatuvaatimukset**

Määritettävät ominaisuudet (murskeen toimittajan teettämät tutkimukset):

- Rakeisuus
- Routivuus
- Maksimi irtotiheys ja optimivesipitoisuus
- Puristuslujuus
- Materiaalin puhtaus (muiden aineiden kuten puu, muovi, yms. määrä)
- Ympäristökelpoisuus (VTT 1996 suositusten mukaisesti, katso s. 10)

#### **Rakeisuus:**

Rakeisuus määritetään seulomalla. Seulomisia tehdään 1 seulonta 2000 tonnia kohden tai vähintään 2 seulontaa/viikko. Rakeisuuden tulee olla Tielaitoksen kantavan kerroksen kiviainesmurskeen 0/45 ohjekäyrän alueella [Murskaustyöt. Tielaitoksen yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset 1999].

#### **Routivuus:**

Materiaalin routivuus määritetään rakeisuuden avulla. Seulomalla määritettyä materiaalin rakeisuuskäyrää verrataan Tielaitoksen ohjeissa [Teiden suunnittelu, TVH:n ohjeet, kansio B 1985, kuva 12:2] esitettyihin rakeisuus-käyriin. Edellä esitetyt rakeisuusvaatimukset täyttävä betonimurske on routimatonta. Materiaalin routivuutta seurataan samalla näytteenottovälillä kuin rakeisuutta.

#### **Maksimi irtotiheys ja optimivesipitoisuus:**

Maksimi irtotiheys ja optimivesipitoisuus määritetään parannetulla Proctor -kokeella tai IC -testerillä. IC -kokeessa käytetään työpaineena 4,0 bar ja kierroksia 160.

**Puristuslujuus:**

Lujittumisen seuraamiseksi tehdään IC -testerilaitteistolla yksi näytesarja/10 000 tn tai vähintään 1 näytesarja/murskauserä. Yksi näytesarja sisältää 7 koekappaletta. Koekappaleet valmistetaan vastaavalla tavalla kuin määritetään maksimikuivatilavuuspaino. Puristaminen suoritetaan ohjeen BY 15 Betoninormit 1993 mukaisesti.

Kolme koekappaletta puristetaan 7 vuorokauden ikäisenä ja kolme 28 vuorokauden ikäisenä. Seitsemäs koekappale on varakappale, joka puristetaan tarvittaessa. Koekappaleet säilytetään + 20 °C lämpötilassa muovikelmulla peitettynä.

**Materiaalin puhtaus:**

Orgaanisten epäpuhtauksien (puu, muovi yms.) määrä ja tiilipitoisuus (# 8 mm seulalle jääneestä kuivatusta näytteestä) määritetään riittävän usein, kuitenkin vähintään 20 000 t välein. Määrittäminen tehdään standardin NEN 5942 (Nederlandse norm 1990) mukaisesti seuraavin tarkennuksin:

- Yli #8 mm rakeet jaetaan silmämääräisesti kolmeen ryhmään: betoni, tiilet ja muut. Tiilleksi lasketaan lujudeltaan tiiltä vastaavat mineraali-pohjaiset materiaalit, kuten poltetut tiilet, kalkkihiekkatiilet, keraamiset laatat, kevytbetonit, muurauslaasti....
- Kunkin materiaalin paino-osuudet (paino-%) lasketaan #8 mm seulalle jääneestä kokonaisuudesta.

Materiaalin tiilipitoisuus ja erittäin keveiden eristemateriaalien (esim. solu-muovi, vuorivilla yms.) määrää arvioidaan jatkuvasti silmämääräisesti murskeesta murskaamalla.

Betonimurskeen luokituksessa epäpuhtauksien suhteen käytetään seuraavia raja-arvoja:

	tiilen maksimimäärä [paino-%]	muita materiaaleja (puu, muovi...) [paino-%]
BeM I	0	0,5
BeM II	10	1
BeM III	10	1
BeM IV	30	1

**4. Betonimurskeen vastaanotto työmaalle**

- Materiaalin laadun arvioiminen
  - Silmämääräinen tarkistus
  - Materiaalin rakeisuus todetaan TYLT [1994] mukaisin näytteenotto-välein työmaalla
- Vastaanottokirjanpito
  - - Mitä lajitetta
  - - Kuka toimitti ja milloin
  - - Määrä
- Rakentamiskirjanpito
  - - Mihin kuormat on sijoitettu. Kirjataan esim. mitä paaluväliä on rakennettu ko. päivänä betonimurskeella
  - - Erytistoimenpiteet (kastelu...)