

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma / rakennustuotanto

Jussi Vanhala

SITOMATTOMAN KANTAVAN KERROKSEN RAKENTAMINEN JA KUS-  
TANNUKSET E18-HANKKEELLA

Opinnäytetyö 2013

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Rakennustekniikan koulutusohjelma

VANHALA, JUSSI	Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen ja kustannukset E18-hankkeella
Opinnäytetyö	40 sivua + 10 liitesivua
Työn ohjaaja	yliopettaja Tarmo Kontro lehtori Juha Karvonen
Toimeksiantaja	Destia Oy
Toukokuu 2013	
Avainsanat	kantava kerros, sitomaton, kustannus, murske

Opinnäytetyön aiheena on sitomattoman kantavan kerroksen rakentamisen ja kustannusten selvittäminen E18 Koskenkylä – Kotka -hankkeella. Työn tarkoituksena on selvittää kantavan kerroksen rakentamisen todelliset kustannukset. Tavoitteena oli myös rakentamistavan ja kerrokselle asetettujen laatuvaatimusten selventäminen.

Opinnäytetyössä kerrotaan myös tierakenteen toimivuusvaatimuksista ja suunnittelun lähtökohdista. Kustannukset määritettiin työvaiheen toteutusta seuraamalla. Tutkimuksen tuloksia voidaan verrata urakkalaskennassa käytettäviin arvoihin, ja tietoa voidaan hyödyntää tulevissa kohteissa.

Kokonaiskustannusten minimoimiseksi työvaihe on toteutettava olosuhteisiin sopivasti. Kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä on useita. Jatkuvatöimisellä laaduntarkkailulla voidaan varmistaa, että työvaihe saadaan tehtyä kerralla oikein ja mahdolliset virheet huomataan mahdollisimman pian.

Opinnäytetyön tutkimustuloksia kustannuksista ei julkaista yleiseen käyttöön.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Rakennustekniikan koulutusohjelma

VANHALA, JUSSI

Determination of construction methods and costs of un-  
bounded base course of road in E18 – project

Bachelor's Thesis

40 pages + 10 pages of appendices

Supervisor

Tarmo Kontro, Principal Lecturer

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Commissioned by

Destia Oy

May 2013

Keywords

Base course, unbound, cost, aggregate

The subject of the thesis was to determinate costs and construction methods of un-bounded base course of a road in Koskenkylä – Kotka project. The main function of the thesis was to find out the real costs of base course construction. One of aims was to explore methods of construction and quality requirements.

This thesis also describes functional requirements and planning basis of road structure. The determination of costs was made by keeping track of the construction stage. The results of research can be compared to numbers that are used in contract calculations, so the knowledge can be utilized in future projects.

At the construction stage the circumstances must be noticed to minimize total costs of production. There are many components that have an impact on costs. By using continuing quality control the right construction methods can be ensured and possible mistakes can be noticed in time.

The research results are not published to public use.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	E18-HANKKEEN ESITTELY	6
3	TIEN SUUNNITTELU	8
	3.1 Lähtökohdat	8
	3.2 Tierakenteen toimivuusvaatimukset	8
	3.3 Tierakenteen suunnittelun lähtökohdat	10
	3.4 Päällysrakennekerrokset ja niiden tehtävät	14
4	SITOMATTOMAN KANTAVAN KERROKSEN RAKENTAMINEN	17
	4.1 Levitysmenetelmät	17
	4.2 Kastelu	19
	4.3 Tiivistys	19
	4.4 Materiaali- ym. vaatimukset	20
	4.5 Laadunvarmistus	23
5	KANTAVAN KERROKSEN RAKENTAMINEN E18-HANKKEESSA	25
	5.1 Mittaukset	29
	5.2 Luovuttaminen seuraavaan työvaiheeseen	30
	5.3 Johtopäätökset	31
6	SITOMATTOMAN KANTAVAN KERROKSEN KUSTANNUKSET JA KUSTANNUSLASKELMA	32
	6.1 Murske	33
	6.2 Ajo	34
	6.3 Levitystyö	35
	6.4 Tiivistys	35
	6.5 Kuormaus, kastelu ja laadunvarmistus	36
	6.6 Yhteenlasketut kustannukset ja teoreettinen hinta	36
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	37

LIITTEET

- Liite 1. Tavoitekantavuudet
- Liite 2. Ohjeelliset jyräykerrat
- Liite 3. Kantavuusvaatimukset
- Liite 4. Murskeen kelpoisuus
- Liite 5. Murskeen kelpoisuus
- Liite 6. Esimerkki kuormakirjasta
- Liite 7. Päällystyspohjan vastaanottopöytäkirja
- Liite 8. Kantavan kerroksen tarkkeet
- Liite 9. Kantavuus- ja tiiveysmittaukset
- Liite 10. Hienoainespitoisuus

## 1 JOHDANTO

Jatkuva liikennemäärien kasvu valtatiellä 7 edellyttää tieverkoston parantamista. E18 -tie rakennetaan moottoritieksi Loviisan Koskenkylän ja Kotkan Kymminlinnan välillä. Nykyinen kaksikaistainen tie on katsottu turvattomaksi ja tulevaisuudessa ruuhkautuvaksi. Vuoteen 2040 mennessä moottoritien liikennemäärän on arvioitu olevan 11 300–40 800 autoa vuorokaudessa. (1.)

Työskentelin kesällä 2012 Destia Oy:n alaisuudessa työnjohtoharjoittelijana E18 Koskenkylä – Kotka hankkeella. Lokakuun lopussa aloitettiin kantavan kerroksen rakentaminen lohkon 4 alkupäähän. Hankkeella haluttiin selvittää työvaiheen todelliset kustannukset kyseisessä kohteessa, joten päätimme, että teen opinnäytetyön kyseisestä asiasta.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kantavan kerroksen kustannusten määrittäminen ja niihin vaikuttavien asioiden selvittäminen. Opinnäytetyössä kerrotaan erityisesti sitomattoman kantavan kerroksen rakentamistavasta ja sen laatuvaatimuksista. Kustannukset määritettiin rakennusvaiheen toteutusta seuraamalla ja pitämällä kirjaa käytetyistä resursseista.

Työ sisältää salaisiksi määriteltyjä tietoja, joten tutkimustuloksia kustannuksista ei julkaista yleiseen käyttöön.

## 2 E18-HANKKEEN ESITTELY

E18 Koskenkylä – Kotka -hankkeen tilaajana on Liikennevirasto, ja palveluntuottajana Tieyhtiö Valtatie 7 Oy, jonka osakkaita ovat Meridiam Infrastructure Projects S.á.r.l, Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen, YIT Rakennus Oy ja Destia Oy. Hanke toteutetaan elinkaarimallina, jossa rakentaminen, hoito ja ylläpito toteutetaan kokonaispalveluna. Tieyhtiö Valtatie 7 Oy vastaa hankkeen suunnittelusta, rakentamisesta, kunnossapidosta ja rahoituksesta vuoteen 2026 asti, jolloin sopimuskausi päättyy. Elinkaarimallin mukaan palveluntuottaja saa maksuja tilaajalta valmistuneiden töiden perusteella palvelumaksuina. Rakennustyöt hoitaa Työyhteenliittymä Pulteri, johon kuuluvat Destia Oy ja YIT Rakennus Oy. (1.) Kuvassa 1 esitetään hankkeen sijainti kartalla.



Kuva 1. E18-hankkeen sijainti (1.).

Uutta moottoritietä rakennetaan yhteensä 53 kilometriä, josta nykyisen moottoriliikennetien parantamista moottorietieksi on 17 kilometriä. Kevyenliikenteen väyliä rakennetaan 19 kilometriä, meluntorjuntaa 35 kilometriä ja pohjavesisuojausta 4 kilometriä. Uusia eritasoliittymiä rakennetaan kuusi, ja kahta nykyistä eritasoliittymää parannetaan. Siltapaikkoja hankkeella on 56, ja niille rakennetaan 68 siltaa. Moottoritien rakentaminen aloitettiin marraskuussa 2011, ja se avataan käyttäjille vaiheittain rakennuspaikan mukaan. Kaikki järjestelyt ovat valmiina vuoden 2015 lopussa. (1.)



Kuva 2.(2.)

Hankkeen rakennustyöt on jaettu kuuteen osuuteen, joilla jokaisella on käytännössä oma henkilöstönsä. Työmaan yhtenä paikannuskeinona käytetään paalulukemia (plv). Kuvassa 2 esitetään rakennettavan tielinjan sijainti.

- Tieosuus 1, plv. 59480 – 74580: Välillä Koskenkylä – Loviisa nykyinen moottoriliikennetie täydennetään moottoritieksi. Olemassa olevan tien viereen rakennetaan uusi ajorata, joka on valmis vuoden 2013 lopulla. (1.)
- Tieosuus 2, plv. 74580 – 85600: Loviisan ja Ruotsinpyhtään välille rakennetaan moottoritie kokonaan uudelle linjalle, joka valmistuu vuoden 2013 lopulla. (1.)
- Tieosuus 3, plv. 85600 – 89100: Ruotsinpyhtään ja Ahvenkosken välille rakennetaan hankkeen haastavimmat kohteet. Tieosuudelle rakennetaan Ahvenkosken ylittävät sillat ja Markkinamäen tunneli. (1.)
- Tieosuus 4, plv. 89100 – 96000: Ahvenkosken ja Pyhtään väliselle tieosuudelle rakennetaan moottoritelinja, joka kulkee osittain nykyisen tien vierellä. Tieosuudelle tehdään muun muassa kaksi eritasoliittymää. (1.)
- Tieosuus 5, plv. 96000 – 110100: Pyhtään ja Heinlahden välisellä osuudella uusi maastoon rakennettava tielinja sijoittuu nykyisen valtatie pohjoispuolelle. Tieosuus valmistuu vuoden 2014 lopulla. (1.)
- Tieosuus 6, plv. 110100 – 112970: Heinlahden ja Kymminlinnan väliselle tieosuudelle rakennetaan uusi moottoritie nykyisen valtatie 7:n viereen. (1.)

### 3 TIEN SUUNNITTELU

#### 3.1 Lähtökohdat

Tien suunnittelun lähtökohdaksi on tielle asetetun palvelutason aikaansaaminen. Palvelutasolla kuvataan tien käytettävyyttä ja sen sopivuutta tarkoitukseensa. Tierakenteen suunnittelussa otetaan huomioon muun muassa tien liikenteenvälityskyky, ajonopeus, turvallisuus ja ajomukavuus.(3, 27; 4, 29.)

#### 3.2 Tierakenteen toimivuusvaatimukset

Tierakenne mitoitetaan tien pinnalle asetettujen vaatimusten mukaan. Vaatimukset määritetään suunnitellun liikennemäärän ja nopeuden mukaan. Tierakenteen muodonmuutosten pitää säilyä riittävän pieninä, jotta tien käyttö on turvallista. (3, 31.)



## Tasaisuus

Tien pinnan tasaisuus vaikuttaa tien käyttäjien ajomukavuuteen ja turvallisuuteen. Tien pinnan on oltava riittävän tasainen ja sen on pysyttävä tasaisena tien käyttöajan ajan. Tasaisuuteen ja sen muutoksiin vaikuttavat tien käytöstä johtuva kuluminen, alempien rakennekerrosten muodonmuutokset ja ilmastorasitukset. Epätasaisuus voi ilmetä pituussuuntaisena ja poikittaissuuntaisena epätasaisuutena. Tierakenteen poikisuuntainen epätasaisuus voi ilmetä urautumisena. Kuvan 3 taulukosta ilmenevät tien enimmäisurat 100 metrin keskiarvona. (3, 31.)

**Taulukko 4.** Tien enimmäisurat 100 m:n jakson keskiarvona.

Nopeus, km/h	101...120	81...100	61...80	≤ 60
kvl < 350	17	18	19	20
kvl 350...1500	16	17	18	19
kvl 1500...6000	15	16	17	18
kvl > 6000	15	15	16	17

Kuva 3. Tien enimmäisurat 100 metrin jakson keskiarvona (3, 31.)

Tien pituussuuntaisen tasaisuuden vaatimukset perustuvat liikenteen määrälle ja ajonopeudelle. Tasaisuutta kuvataan ns. IRI -arvolla (International Roughness Index), jolla tarkoitetaan ”tien pinnan pituusprofiilista laskettua pituussuuntaisen epätasaisuuden tunnuslukua, joka kuvaa auton pyörän pystysuoraa liikettä korin suhteen ajon aikana”. Tasaisuus mitataan siihen tarkoitettulla erikoiskalustolla. Kuvassa 4 esitetään tasaisuuden tavoiterajat. (3, 31.)

Nopeus, km/h	101...120	81...100	61...80	≤ 60
kvl < 350	3,5 (3,22)	3,5 (3,22)	4,1 (3,63)	5,5 (4,58)
kvl 350...1500	2,5 (2,54)	3,5 (3,22)	4,1 (3,63)	5,5 (4,58)
kvl 1500...6000	2,5 (2,54)	2,5 (2,54)	3,5 (3,22)	4,1 (3,63)
kvl > 6000	2,5 (2,54)	2,5 (2,54)	2,5 (2,54)	3,5 (3,22)

Kuva 4. ”Tasaisuuden tavoiteraja IRI-arvona (mm/m) määritettynä vähintään 1km:n jaksolle 100 m:n keskiarvona”(3, 31). Kvl = keskimääräinen vuorokausiliikenne.

Pituussuuntaisen tasaisuuden vaatimukset voidaan asettaa myös ”suurimpina sallittuina yksittäisepätasaisuuden määrinä tai pystykiihtyvyytenä” (3, 31). Kuvassa 5 esitetään suurimmat sallitut yksittäisepätasaisuuksien määrät (3, 32).

Tienopeus, km/h	Yksittäisepätasaisuuksien määrä	
	Pienet 2...3,5, m/s <sup>2</sup>	Enimmäiskiihtyvyys, m/s <sup>2</sup> Suuret > 3,5, m/s <sup>2</sup>
120	2	0
100	3	1
80	6	2
50...60	10	5

Kuva 5. (3, 32.)

### Sivukaltevuus

Tie rakennetaan sivusuuntaan kaltevaksi, niin että vesi johtuu pois ajoradalta. Ajoradoilla ja pientareilla sivukaltevuus suoralla osuudella on 3 %. Sallittu sivukaltevuuden poikkeama moottori- ja moottoriliikenneteillä on 0,3 %, valta- ja kantateillä 0,5 % ja muilla yleisillä teillä 0,7 %. (3, 32.)

### Vaurioitumattomuus, vakavuus ja varusteltavuus

Päällysteen on säilyttävä tarpeeksi vaurioitumattomana sen suunnitellun mitoitusjakson ajan (3, 33). Haitallisten muodonmuutoksien estämiseksi tierakenteella on oltava riittävä stabiliteetti ja varmuus tien rikkoutumista vastaan. Vakavuuden on säilyttävä tien suunnitellun käyttöajan ajan. Tiealue on rakennettava siten, että liikenteelle välttämättömien varusteiden ja opasteiden sijoittaminen alueelle on mahdollista (3, 34).

### 3.3 Tierakenteen suunnittelun lähtökohdat

Tierakenteessa päällysrakenteen tarkoituksena on muodostaa kerros, joka mahdollistaa tielle asetettujen toimivuusvaatimusten toteutumisen. ”Päällysrakenteen suunnittelun lähtökohdانا on rakenteen käyttöikävaatimus”. Tierakenteeseen kohdistuu sitä vaurioittavia rasituksia, jotka ovat ilmastosta, liikenteestä tai rakenteen muodonmuutoksista, kuten painumasta johtuvia. Rakenteen mitoitus ja materiaalivalinnat perustuvat niihin kohdistuviin rasituksiin. (3, 35; 4, 80.)

### Kuormitusluokka

Tierakenteen kuormitusluokka valitaan liikenteestä aiheutuvan rasituksen perusteella. Kuormitusluokka suurenee kuormituskertaluvun (KKL) eli liikennemäärän kasvaessa.

Kuvasta 6 ilmenee kuormitusluokan valintaan vaikuttavat tekijät. Kuormitusluokka määrää tien tavoitekantavuuden ja päällysteen vähimmäispaksuuden. (3,37.)

Kuormitus luokka	Käyttö		
	Leveydellä korjattu kaistan KKL <sub>20v</sub> aksella	Vastaa liikennemäärää molemmat suunnat yhteensä, ajon./vrk	Vastaa liikennemäärää kapealla jyrkkäluiskaisella (L-kerroin = 2,8) tai raaka-ainekuljetusten kuormittamalla tiellä molemmat suunnat yhteensä, ajon./vrk
0,1	alle 100 000	alle 150	alle 100
0,4	100 000...400 000	150...600	100...400
0,8	400 000...800 000	600...1 300	400...800
2,0	800 000...2 000 000	1 300...3 000	800...2000
6,0	2 000 000...6 000 000	3 000...8 000	2 000...6 000
10,0	6 000 000...10 000 000	Vastaa liikennemäärää molemmat suunnat yhteensä, yksiajorataisella tiellä ajon./vrk	Vastaa liikennemäärää molemmat suunnat yhteensä, kaksiajorataisella tiellä ajon./vrk
25,0	10 000 000...25 000 000	8 000...14 000	12 000...20 000
		yli 14 000	yli 20 000

Kuva 6. Kuormitusluokat (3,37.)

Liitteestä 1 ilmenee tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet eri kuormitusluokissa. E18-hankkeen päätien peruskaistat mitoitetaan kuormitusluokan 25,0, ja ohituskaistat luokan 6,0 perusteella.

#### Vaatusluokka

Tien vaatusluokka määräytyy tielle asetetun ajonopeuden, rakenteen tai keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) perusteella (5). Kuvassa 7 on esitetty vaatusluokat.

<i>Tien vaatimusluokka ja niitä kuvaavia tietoja mm. mitoitusnopeus [km/h]</i>	
<i>V1</i>	<i>Moottoriväylät (Mo, Mol) 120 km/h</i>
<i>V2</i>	<i>Pääties (Vt,Kt) 80-100 km/h ja moottoriväylät (Mo, mol) 100 km/h</i>
<i>V3</i>	<i>Seudulliset tiet 80 – 100 km/h ja KVL &gt;1000 ajon/vrk</i>
<i>V4</i>	<i>Seudulliset tiet 60 km/h tai KVL &lt; 1000 ja paikalliset väylät KVL &gt;1000</i>
<i>V5</i>	<i>Paikallisväylät KVL 400 – 1000 ajon./vrk</i>
<i>R1</i>	<i>Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, 80 km/h (1)</i>
<i>R2</i>	<i>Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, 50 - 70 km/h (1)</i>
<i>R3</i>	<i>Väylän poikkileikkauksessa painumaherkkiä rakenteita, alle 50 km/h (1)</i>
<i>K1</i>	<i>Kevyenliikenteen tie, erillinen (päällystetty)</i>
<i>K2</i>	<i>Kevyenliikenteen tie, reunakivellä erotettuna ajoradasta</i>

Kuva 7. Vaatimusluokat (5.)

#### Routamitoitus

Tienrakenteen toimivuuden takaamiseksi rakenteen routanousulle on asetettu vaatimuksia. Routanousu ilmenee tien pinnan kohoamisena, joka aiheutuu maakerroksen tilavuuden muutoksista. Jatkuva tien pinnan korkeuden muuttuminen aiheuttaa pysyvää epätasaisuutta ja halkeilua. Pohjan laatu vaikuttaa rakenteen routimisominaisuuksiin, joten routanousun sallitut arvot vaihtelevat pohjamaan mukaan. (3, 39.) Kuvassa 8 esitetään vaatimusluokittain suurimmat sallitut routanousuarvot.

Vaatusluokat V1...K2 ja niitä kuvaavia tietoja mm. mitoitusnopeus	Suurin sallittu laskennallinen routanousu					Siirtymäkiilan kaltevuus 1:k <sup>4)</sup>
	Tasalaatuinen pohjamaa <sup>1)</sup>			Epätasalaatuinen pohjamaa <sup>1)</sup>		
	Ei teräsverkkoa		Teräsverkko <sup>3)</sup>	Ei teräsverkkoa	Teräsverkko <sup>3)</sup>	
	Norm. tapaus	Louherakenne ym. <sup>2)</sup>				
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 Paikallisiväylät KVL > 1000 ajon./vrk	130	70	160	30	100	1:15
V5, Paikallisiväylät, KVL 400...1000 ajon./vrk	160	100	ei raja-arvoa	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, Kevyen liikenteen väylä, erillinen, päällystetty	70	70	160	30	130	1:10
K2, Kevyen liikenteen väylä, korotettu	Kuten ajoradalla kaikissa tapauksissa.					

<sup>1)</sup> Tasalaatuisuus ja epätasalaatuisuus arvioidaan julkaisun *Tierakenteen suunnittelu* kohdan 3.2 mukaan.

<sup>2)</sup> Koskee louhetta, solumuovia tai maabetonia (SST) sisältäviä rakenteita.

<sup>3)</sup> 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 vastaavaa ratkaisua.

<sup>4)</sup> Hiekkatäytteen siirtymäkiilan pohjan kaltevuus suhteessa tien tasausviivaan. Muista materiaaleista tehtävän kiilan pituus on sama kuin hiekkakiilan pituus, mukaan luettuna lämmöneristeistä tehtävät kiilat.

Kuva 8. Suurin sallittu routanousu päällystetyille väylille (3, 40.)

### Tierakenteen pohjanvahvistus

Kun pohjaolosuhteet ovat epäsuotuisia rakennettavan tien toimivuuden kannalta, on pohjarakennetta vahvistettava. Pohjanvahvistuksen tavoitteena on tienpintaan välittyvien haitallisten muodonmuutosten estäminen. Menetelmä valitaan olosuhteiden mukaan. (3, 147; 6.)

Pohjaolosuhteet selvitetään pohjatutkimuksin. Tutkimusten perusteella saadaan selville kohteen olosuhteet, jotta toimivan tierakenteen mitoitus on mahdollista. Pohjatutkimukset voidaan tehdä esimerkiksi kairauksella. Kuvassa 9 on esimerkki pohjatutkimuksiin soveltuvasta kairasta.

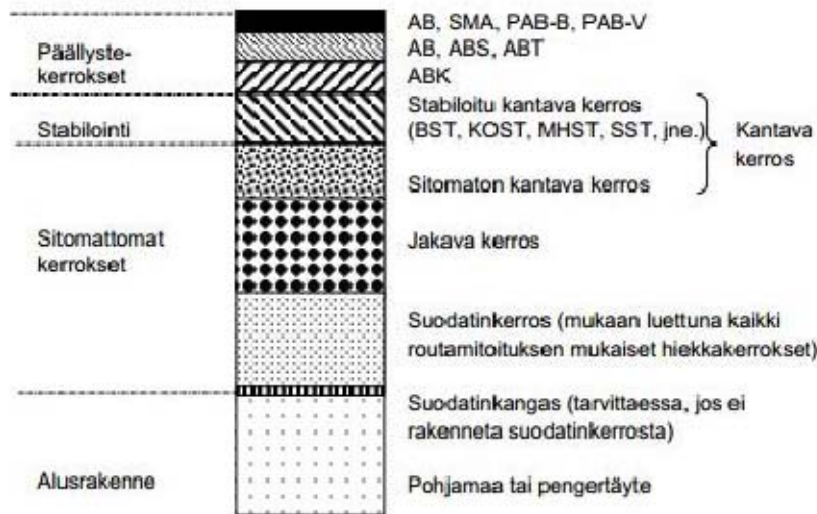




Kuva 9. Monitoimikaira (7).

### 3.4 Päällysrakennekerrokset ja niiden tehtävät

Tien päällysrakenne koostuu alusrakenteen yläpuolisista kerroksista. Pohjaolosuhteiden ollessa rakennuspaikalla hyvät on alusrakenteena kaivettu leikkauspohja. Täyttökohdissa alapuolisina rakenteina on tiivistetyt pengertäyttökerrokset, jotka sisältyvät alusrakenteeseen. Tien päällysrakenteeseen kuuluvat sidotut ja sitomattomat kerrokset sekä siirtymärakenteet, jotka on esitetty kuvassa 10. (4, 79.)



Kuva 10. Päällysrakennekerrokset (8).

### Kulutuskerros

Tien kulutuskerroksena on päällyste. Lähtökohtana päällysteen valinnalle on tienkäyttäjien turvallisuus ja tien ajomukavuus. Materiaalivalintojen perusteena on suunniteltu ajonopeus, riittävän kitkan aikaansaaminen, rengasmelu ja tärinä. Tien epätasaisuus voi ilmetä urautumisena ja pituussuuntaisena tai poikittaissuuntaisena epätasaisuutena. (3, 31.)

Säänkestävien materiaalien käyttö päällystekerroksen rakentamisessa on tärkeää. Jatkuva lämpötilan muutos rakenteessa aiheuttaa lämpölaajenemista ja kutistumista, joka voi johtaa päällysteen halkeiluun. Rakenteen tulee varastoida tarpeeksi lämpöä, sillä nopea lämpötilanmuutos vaikuttaa tien pinnalla esiintyvään kitkaan. Myös materiaalin lajittuminen ja sideaineen nousu pintaan rakennusvaiheessa heikentää kitkaa. (3, 41.)

Päällystekerrokset pyritään rakentamaan tasaisina kerroksina, joten tien sivukaltevuus tehdään oikeaksi jo alemmissa kerroksissa, viimeistään kantavassa kerroksessa. Sivukaltevuus vaikuttaa myös ajodynamiikkaan. (3, 32.)

### Kantava kerros

Kantavan kerroksen olennaisin tarkoitus on tienpinnan tasaaminen päällystyskerrosta varten sekä rakenteeseen kohdistuvien kuormitusten vastaanottaminen ja siirtäminen alapuolisiin rakenteisiin. Rakenteen tulee olla tarpeeksi kestävä ja jäykkä siten, ettei-

vät liikkuvat kuormitukset ja olosuhteiden muutokset, kuten veden johtuminen ja jäätyminen, aiheuta haitallisia muodonmuutoksia. Rakenteeseen jäänyt vesi saattaa aiheuttaa lujuuden heikkenemistä ja routimista, joten vedenläpäisevyyden tulee olla suuri. Siksi on tärkeää, että rakenteessa käytetään vain siihen soveltuvia murskeita. Riittämättömän jäykkyys näkyisi esimerkiksi valmiin asfalttipinnan murtumina. (3, 47; 4, 83.)

Kantava kerros voidaan rakentaa sidottuna tai sitomattomana. Sidotun kantavan kerroksen rakentamisessa voidaan käyttää bitumisia tai hydraulisia sideaineita. (9.)

#### Jakava kerros

Jakavan kerroksen tehtävänä on kantavan kerroksen tavoin lisätä tien kantavuutta ja vastaanottaa tiehen kohdistuvia rasituksia. Jakava kerros toimii myös rakennetta kuivattavana kerroksena. Kerros estää kapillaarisen vedennousun kantavaan kerrokseen, varsinkin suodatinkerroksen puuttuessa. Rakentamiseen käytetään yleensä soraa tai mursketta. Rakenteen toimivuuden kannalta kerroksessa käytettävän materiaalin on oltava riittävän tasalaatuista, eikä sen hienoainespitoisuus saa olla liian suuri. (4, 82; 3, 390.)

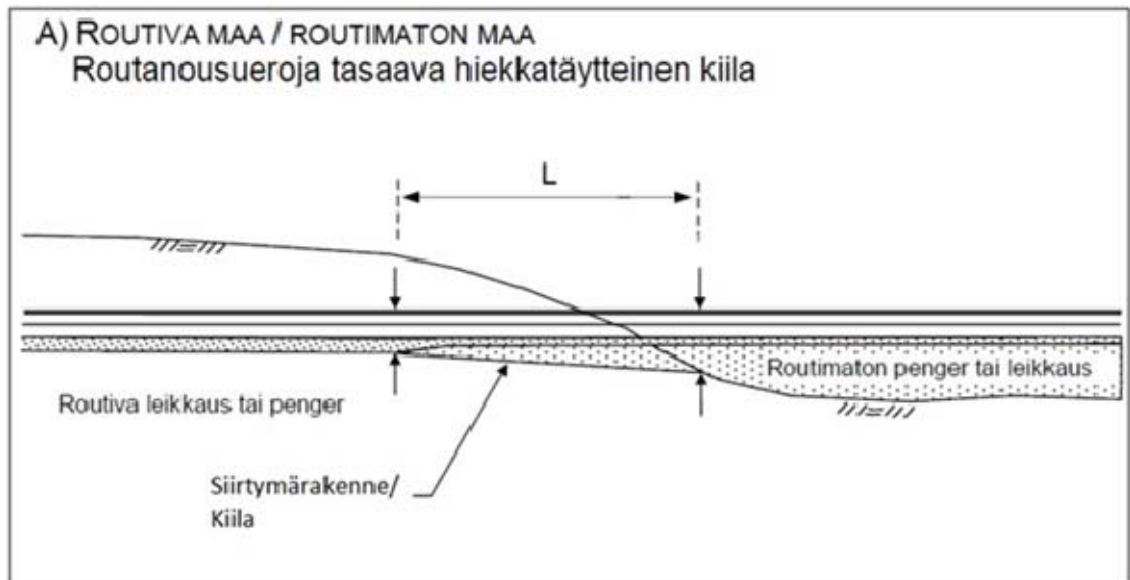
#### Suodatinkerros

Suodatinkerroksen tarkoituksena on erottaa pohjamaa ja päällysrakenne toisistaan. Pohjamaan hienorakeinen aines ei saa sekoittua päällysrakenteeseen, koska silloin päällysrakenne voisi muuttua huonosti vettä kestäväksi ja routivaksi. Suodatinkerros pysäyttää kapillaarisen vedennousun ylempiin kerroksiin. Kerroksen rakentamiseen käytetään yleensä luonnonhiekkaa. Suodatinkerroksen voi korvata suodatinkankaalla, jos rakenne täyttää muuten routa- ja kantavuusmitoitusten vaatimukset. (3, 51; 4, 81.)

#### Siirtymärakenne

Usein tie sijoittuu pohjaolosuhteiltaan hyvin vaihtelevaan maastoon. Tien alusrakenteen muuttuessa tai pohjanvahvistusten reunoilla voi tien pinnassa esiintyä epätasaisuutta. Siirtymärakenteita käytetään ehkäisemään mahdollisia muutoksia, jotka johtuvat rakenteiden erilaisesta routanoususta, painumasta tai tiivistymisestä. Suuria eroja esiintyy esimerkiksi pehmeikköjen ja pohjanvahvistuksien reunoilla. (8.; 10.)





Kuva 11. Esimerkkikuva siirtymärakenteen paikasta tiessä (8.)

#### 4 SITOMATTOMAN KANTAVAN KERROKSEN RAKENTAMINEN

Ennen kantavan kerroksen rakentamisen aloittamista kerroksen alapuolisen rakenteen on täytettävä sen vaatimukset. Sitomaton kantava kerros rakennetaan yhtenä kerroksena. Materiaalina kantavassa kerroksessa käytetään kelpoiseksi todettua kallio- ja sora- ja mursketta, joka on raekooltaan 0-32, 0-40, 0-45, 0-56 tai 0-63 millimetriä. ”Jos kiviainesta joudutaan lisäämään virheellisen korkeustason, epätasaisuuden tai virheellisen rakeisuuden vuoksi, on jo tiivistetty kerros sekoitettava siten, että yhdessä lisäkiviaineksen kanssa uudelleen tiivistettävän kerroksen paksuus on vähintään kaksi kertaa kiviaineksen maksimiraekoko. Lisäkiviaineksen määrän ja rakeisuuden tulee olla sellainen, että sen ja aikaisemmin levitetyn kiviaineksen muodostaman seoksen rakeisuus on vaatimuksen mukainen”.(3, 405.)

##### 4.1 Levitysmenetelmät

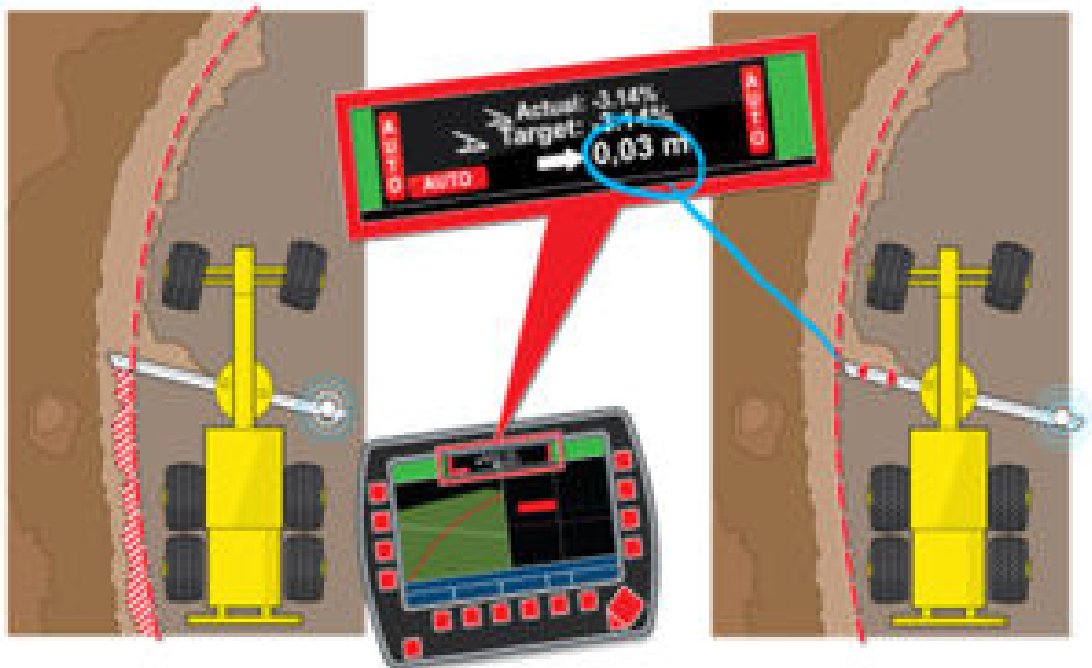
Murskeen levitykseen yleisimmin käytettäviä työkoneita ovat tiehöylä ja murskeenlevitin. Näistä yleisemmin käytetty menetelmä moottoritien kantavan kerroksen rakentamiseen on höyläys. Materiaali kuljetetaan rakennettavalle alueelle kuorma-autoilla. Tiehöyliä käytettäessä autot kippaavat murskekuorman ”matoksi”, jonka työkonet tasaavat oikeaan muotoon. Parhaiten murskeen ajamiseen soveltuu kuorma-auto, jonka lavan perä on tasainen. Ajoreitit jaetaan tasaisesti koko tielle, jotta murskeen lajittuminen ja pinnan urautuminen olisi mahdollisimman vähäistä(3, 405).

## Tiehöylä

Tiehöylää käytetään kantavan kerroksen murskeen levitykseen ja pinnan muotoiluun. Kerroksen tekemiseksi oikeaan korkoon manuaalisesti ohjattava tiehöylä tarvitsee maastoon korkokeppejä, joista kuljettaja voi tarkistaa pinnan tason. Manuaalisesti ohjattavalla höylällä kantavan kerroksen rakentaminen on hitaampaa ja sen tehottomampaa kuin automatisoidulla höylällä.

## Takymetrihöylä

Automaation käyttö työkoneissa on nykyään yleistä. Tien 3D-malliin perustuva takymetriohjaus tiehöylissä nopeuttaa kerroksen rakentamista ja helpottaa koneen kuljettajan työtä. Työkoneessa oleva ohjausjärjestelmä, takymetri, ohjaa höylän terän korkeutta ja sen kulmaa automaattisesti (kuva 12). Järjestelmä paikantaa höylän sijainnin ja säättää sen terän oikeaan asentoon, joten höyläämisen tarve vähenee ja työvaihe nopeutuu. Materiaalin lajittuminen kasvaa yliajokertojen lisääntyessä, joten vähäisemmällä yliajoilla rakenteen laatu on parempi. Kehittyneemmissä järjestelmissä koneen käyttäjällä on mahdollisuus vaikuttaa manuaalisesti terän asentoihin, joilla säädellään leveyttä ja kerrokseen jätettävää tiivistysvaraa. Manuaalinen terän leveyden muuttaminen vähentää materiaalin ajautumista pois linjalta, joten se vähentää materiaalin menekkiä. (11.)



Kuva 12. Takymetrin toiminta (12.)

## Murskeenlevitin

Murskeenlevitin on pyöräkuormaajaan kiinnitettävä laite, jonka tarkoituksena on levittää murske tasaiseksi kerrokseksi (kuva 13). Kuorma-auton purkaa murskekuorman laitteeseen samalla, kun pyöräkuormaaja työntää sitä eteenpäin. Levittimessä on terä, jolla säädellään kerroksen paksuus ja kaltevuus halutuksi. Materiaalihukka on pientä murskeenlevitintä käytettäessä, koska levittimellä on selvä ajolinja, johon murske levittyy. (11.)



Kuva 13. Murskeenlevitin (13.)

## 4.2 Kastelu

Kantavan kerroksen vesipitoisuuden tulee olla suotuisa tiivistykseen oikein. Kastelua tarvitaan, jos vesipitoisuuden katsotaan olevan liian alhainen. (3, 405.)

## 4.3 Tiivistys

Kantavan kerroksen tiivistämiseen käytetään kitkamaalle soveltuvaa täryjyrää. Ohjeelliset jyräyskerrat on esitetty liitteessä 2. Liiallista jyräämistä ja liian painavan jyrän käyttöä rakentamisessa on vältettävä, koska se saattaa rikkoa materiaalia ja heikentää kantavuutta. (3, 405.)

Tiivistystyön tarkkailuun on kehitetty jyrään asennettava laite, joka kertoo rakennettavan kohteen tiiviiden tietokoneelta (kuva 14). Jyrättäessä alueen yli näytölle piiryy

kuva, josta selviää sen tiiviyssaste. Jyrän kuljettaja voi ohjelman avulla selvittää tarvittavien tiivistyskertojen määrän. (14.)



Kuva 14. Täryjyrään asennettu tiivistystyön tarkkailulaite (14.)

#### 4.4 Materiaali- ym. vaatimukset

##### Murske

Sitomattoman kantavan kerroksen rakentamiseen käytetään yleisimmin kalliomursketta tai soramursketta. Myös korvaavia materiaaleja (uusiomateriaaleja) voidaan käyttää, kun niiden ominaisuudet on todettu soveltuviksi käyttötarkoitukseen. Kantavan kerroksen rakentamiseen käytettävä murske on raekooltaan 0-32, 0-40, 0-45, 0-56 tai 0-63 millimetriä. Murskeen laatu vaikuttaa rakenteen toimivuuteen, esimerkiksi kantavuuteen ja pinnan tasaisuuteen. Materiaalin laatu osoitetaan CE-merkinnällä tai vaatimusten mukaisilla testeillä, joista selviää muun muassa materiaalin iskunkestävyys, rakeisuus ja hienoainespitoisuus. (3, 402.)

*”Kantavan kerroksen kiviaines ei saa olla rapautunutta tai rapautumisherkkää”* (3, 403). Murskeen iskunkestävyys voidaan testata Los Angeles -kokeella. Kantavan kerroksen murskeen Los Angeles -luku ei saa ylittää arvoa 30. Rakeisuus tutkitaan esimerkiksi pesuseulonnalla. Kuvan 15 taulukosta ilmenee sallitut rakeisuuden vaihteluvälit eri raekooille. (3, 403.)

Seula, mm	Raekoko, mm ja rakeisuusluokka							
	0/32		0/40		0/45		0/56 ja 0/63	
	G <sub>O</sub>	G <sub>A</sub>	G <sub>O</sub>	G <sub>A</sub>	G <sub>O</sub>	G <sub>A</sub>	G <sub>O</sub>	G <sub>A</sub>
0,5	5...15	5...15	5...15	5...15	5...15	5...15	-	-
1	11...21	15...30	11...21	15...30	11...21	15...30	5...15	5...15
2	17...28	22...33	17...28	22...33	17...28	22...33	11...21	15...30
4	26...38	30...42	26...38	30...42	-	-	17...28	22...33
5,6	-	-	-	-	26...38	30...42	-	-
8	39...51	43...57			-	-	26...38	30...42
10	-	-	39...51	43...57	-	-	-	-
11,2	-	-	-	-	39...51	43...57	-	-
16	58...70	63...77	-	-	-	-	39...51	43...57
20	-	-	58...70	63...77	-	-	-	-
22,4	-	-	-	-	58...70	63...77	-	-
31,5	-	-	-	-	-	-	58...70	63...77

Rakeisuuskäyrän muoto ja ohjealueen leveys:

G<sub>O</sub> = avoin rakeisuus, kapea ohjealue (Suomessa yleisemmin käytetty)

G<sub>A</sub> = normaali, kapea ohjealue (muualla Euroopassa yleisemmin käytetty)

Rakeisuusluokka valitaan hankekohtaisesti.

Kuva 15. Rakeisuuden sallitut vaihteluvälit (15.)

Murskeen hienoainespitoisuus, eli 0,063 millimetrin seulan läpäisyprosentti, saa olla korkeintaan 7 % kalliomurskeilla ja 9 % soramurskeilla. Tutkimusten mukaan kantavan kerroksen hienoainespitoisuudella on tien päällysteen vaurioitumiseen suoria vaikutuksia. Kalliomursketta käytettäessä päällysteen vaurioituminen kasvaa hienoainespitoisuuden ollessa yli 6 %. Hienoainespitoisuus testataan myös valmiista kantavasta kerroksesta otettavista näytteistä. (16.; 3, 403.)

Kantavuus ja tiiveys

Kantavan kerroksen kantavuusvaatimukset määräytyvät kuormitusluokan mukaan (3, 48). Esimerkiksi E18-hankkeessa kantavan kerroksen kantavuusvaatimus on 235 MPa ja tiiveyssuhdetta kuvaavan E2/E1-luvun vaatimus on 2,3. Yleiset kantavuus vaatimukset on esitetty liitteessä 3. Tiiveysvaatimukset määräytyvät kantavuusvaatimusten tavoin kuormitusluokan mukaan (3, 48.). Kuvan 16 taulukoissa on esitetty sitomattoman kantavan kerroksen tiiveyssuhdevaatimukset.



**Taulukko 21310:T4.** Levykuormituslaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset.

Kantavuus, MPa	Tiiviyssuhde $E_2/E_1$
< 145	$\leq 2,0$
145 ... 159	$\leq 2,1$
160 ... 174	$\leq 2,2$
175 ... 189	$\leq 2,3$
190 ... 204	$\leq 2,4$
205 ... 219	$\leq 2,5$
220 ... 234	$\leq 2,6$
$\geq 235$	$\leq 2,7$

**Taulukko 21310:T5.** Pudotuspainolaitteella sitomattoman kantavan kerroksen pinnalta mitatun tiiviyssuhteen vaatimukset.

Kantavuus, MPa	Tiiviyssuhde $E_2/E_1$
< 145	$\leq 1,7$
145 - 159	$\leq 1,8$
160 - 174	$\leq 1,9$
175 - 189	$\leq 2,0$
190 - 204	$\leq 2,1$
205 - 219	$\leq 2,2$
220 - 234	$\leq 2,3$
$\geq 235$	$\leq 2,4$

Kuva 16. Tiiviyssuhdevaatimukset (15.)

Pinnan muoto

Kerroksen pinnalle on asetettu yleisiä laatuvaatimuksia kaltevuudelle, tasaisuudelle ja sijainnille. Sallitut poikkeamat on esitetty kuvassa 17.

Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	- 0 / + 150 mm
Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	$\pm 20$ mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	20 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	$\pm 10$ mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	$\pm 0,5$ %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	12 mm

Kuva 17. Kantavan kerroksen pinnan sallitut poikkeamat (3, 406.)

## 4.5 Laadunvarmistus

Kantavan kerroksen laadulla on suuri merkitys tierakenteen toimivuuteen. Laadulliset virheet heikentävät rakenteen kestävyyttä, mikä voi nopeuttaa tien vaurioitumista. Kerrokselle asetettujen vaatimusten ja laadun toteutuminen varmennetaan ennen seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä.

Valmiista kerroksesta mitataan pinnan korko, kaltevuus ja leveys 20 metrin välein (3, 407). Hienoainespitoisuuden kelpoisuuden osoittamiseksi valmiista kantavasta kerroksesta otetaan murskenäytteitä. Näytteistä tutkitaan kerroksen hienoainespitoisuus ja rakeisuus pesuseulontamenetelmää käyttäen. (3, 407.) ”*Kantavuus mitataan 100 metrin välein kultakin ajoradalta*” (3, 407). ”*Kantavan kerroksen tiivistystyön laatu varmistetaan työkohtaisesti sovittavalla tavalla tai jollakin seuraavista tavoista. Tiivistystyön laadun on täytettävä valitun menetelmän vaatimukset.*” (3, 406.) Jos tiiveys mitataan menetelmällä 1, mittaukset tehdään 150 metrin välein. Menetelmää 2 käyttäen tiiveys mitataan 100 metrin välein. ”*Mittaukset tehdään kultakin ajoradalta ja yli 1,5 metrin pientareelta*” (3, 407).

Menetelmä 1, säteilymittauslaite

”*Kerroksen kuivatiheys mitataan kalibroidulla säteilymittauslaitteella (kuva 18.) ja lasketaan mittaustuloksen ja kuivatiheyden maksimiarvon suhde eli tiivysaste. Tiivysasteen tulee olla keskimäärin vähintään 95 % ja yksittäisen arvon vähintään 90 %. Kuivatiheyden maksimiarvo määritetään koetiivistyksellä tai laboratoriossa käyttäen parannettua Proctor- tai tärypöytämenetelmää*”. (3, 406.)



Kuva 18. Säteilymittauslaite (17.)

Menetelmä 2, pudotuspaino- ja levykuormituslaite

*”Pudotuspaino- tai levykuormituslaitteella (kuva 19.) mitataan tiiviyssuhde  $E2/E1$  (Toisesta kuormituksesta lasketun kantavuusarvon suhde ensimmäisestä kuormituksesta laskettuun kantavuusarvoon)”* (3, 406). Levykuormituslaitteella ja pudotuspainolaitteella mitatun tiiviyssasteen vaatimukset on esitetty kuvan 16 taulukoissa (s.23).



Kuva 19. Pudotuspainolaite KUAB FWD 50 (18.)



### Menetelmä 3, kevyt pudotuspainolaite

*”Tiiviyssuhde mitataan kevyellä pudotuspainolaitteella. Tulos saa olla korkeintaan 1,1-kertainen verrattuna koetiivistyksessä määritettyyn tiivistyssuhteen tavoitearvoon”.(3, 406.)*

### Menetelmä 4

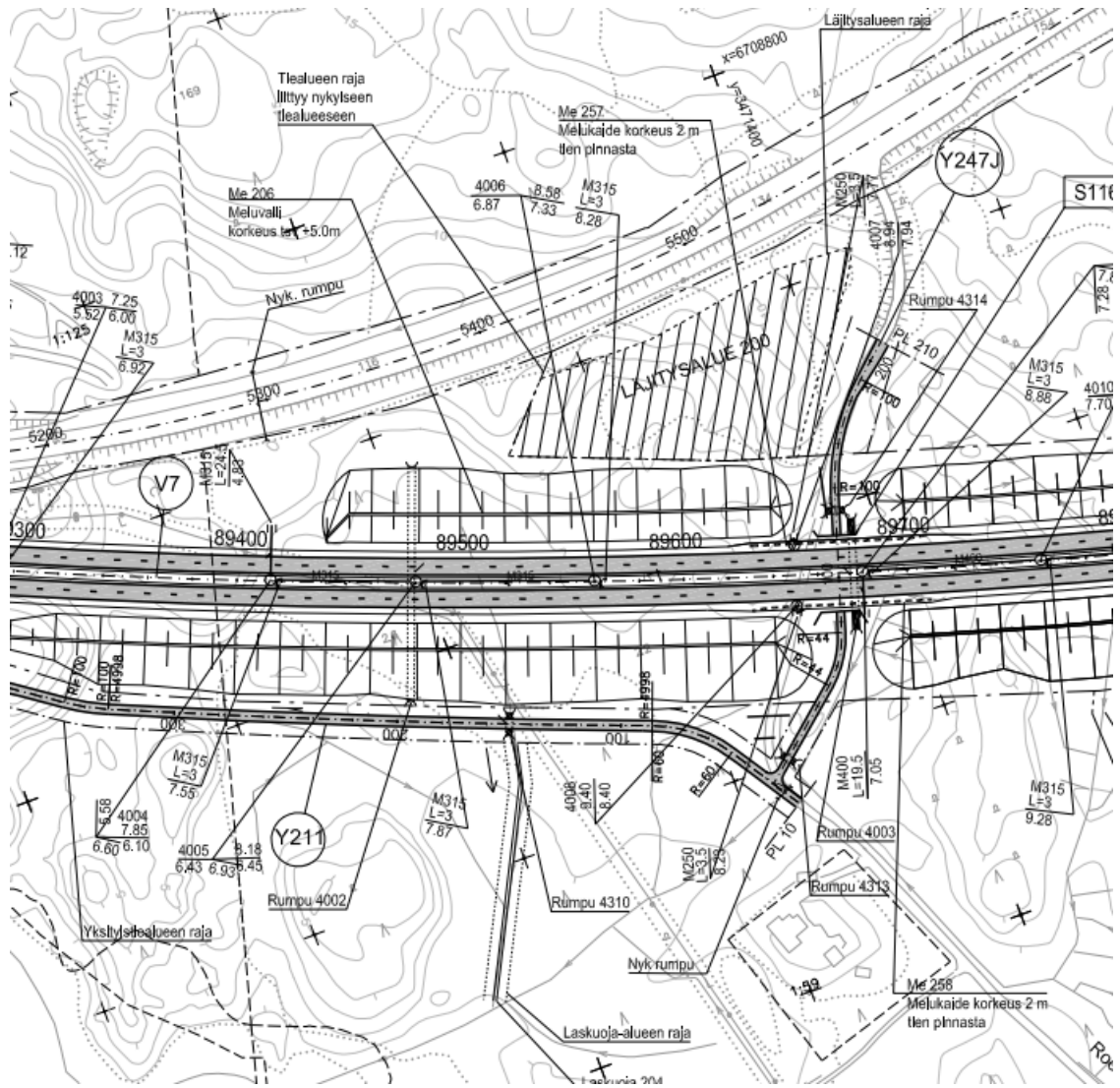
*”Osoittamalla, että tiivistystä on jatkettu niin kauan, että jyrämittarin arvot eivät ole enää parantuneet ja osoittamalla, että kahdesta huonoimmat jyrämittariarvot antaneesta kohdasta mitatut tiiviyssasteet (menetelmä 1) tai tiiviyssuhteet (menetelmä 2) täyttävät vaatimukset” (3, 406).*

### Menetelmä 5

*”Osoittamalla, että jyräys on tehty liitteessä 3 annettuja ohjeita noudattaen” (3, 406).*

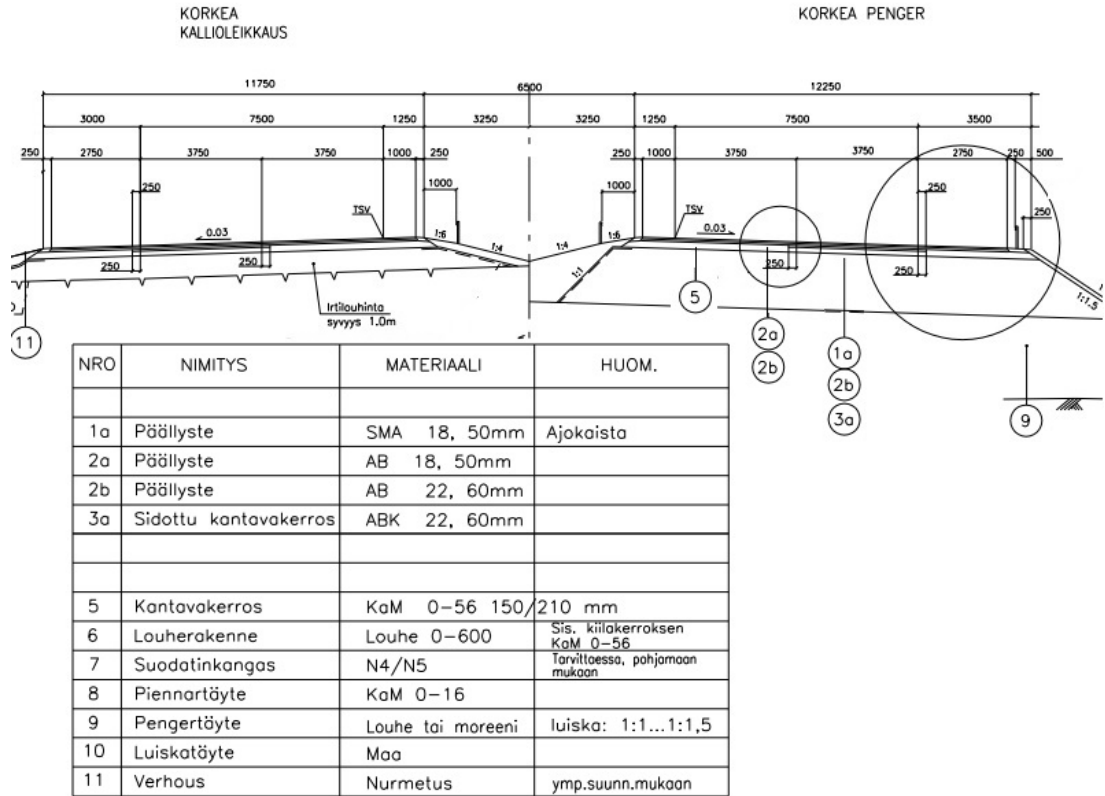
## KANTAVAN KERROKSEN RAKENTAMINEN E18-HANKKEESSA

Opinnäytetyössä tehty tarkastelu perustuu E18-hankkeessa tehtyyn kantavan kerroksen rakentamiseen (kuva 20.). Kantava kerros rakennettiin paaluvälille 88620 – 90440. Rakennettavan osan kokonaispituus oli 1 820 metriä ja leveys 11,75 metriä. Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen aloitettiin maanantaina 22. lokakuuta 2012.



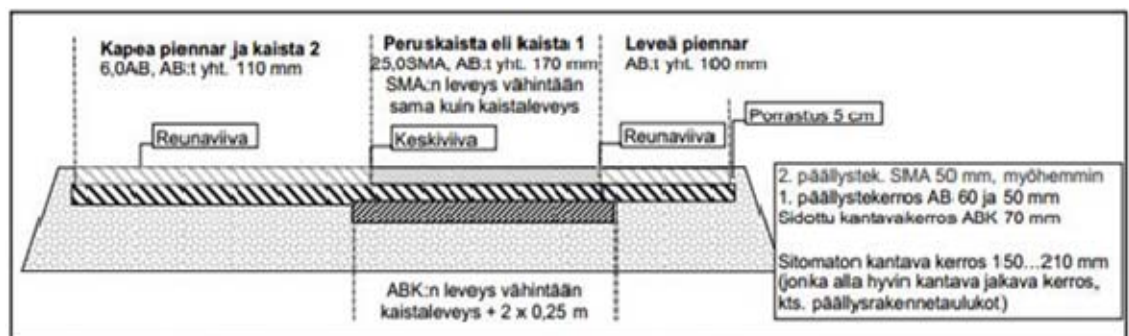
Kuva 20. Suunnitelmapartta paaluväliltä 89300 – 89800 (19.)

Rakentamisaikalla alusrakenteena oli louherakenne, jonka korkeus vaihteli pohjaolosuhteiden mukaan. Louherakenne oli kiilattu raekoon 0-56 kalliomurskeella. Kiilattun louherakenteen päälle rakennettiin kantava kerros. Kuvassa 21 on esitetty tehdyn tierakenteen poikkileikkaus kalliroleikkauksen ja korkean penkereen osilta.



Kuva 21. Tierakenteen poikkileikkaus (19.)

Tavoitteena oli rakentaa peruskaistan kohdalle myös sidottu kantava kerros ennen talvea. Aikataulu oli tiukka, koska päällysteurakoitsijan kanssa oli sovittu sidotun kantavan kerroksen rakentamisajankohta. Myöhään syksyllä tehtävässä työssä pakkaneen ja lumi olivat suurimpia huolenaiheita.



Kuva K2.1. Päätien kuormitusluokat ja päällysteet poikkileikkauksessa

Kuva 22. Esimerkkikuva kantavan kerroksen ja päällysteen poikkileikkauksesta. (19)

Kantavan kerroksen materiaalina käytettiin raekokojen 0-55 ja 0-32 kalliomurskeita, jotka oli murskattu aiemmin tielinjalta louhitusta kalliosta. Liitteissä 4 ja 5 esitetään murskeen kelpoisuuden osoittavien rakeisuus- ja Los Angeles -lukutestien tulokset.

Murskekat sijaittivat tielinjan paalulla 91000. Kuormaamiseen käytettiin pyöräkuormaajaa, jonka vaa'alla seurattiin käytetyn murskeen määrää. Seuranta perustui autoilijoiden täyttämiin kuormakirjoihin, joihin kuljettajat täyttivät koneelta saadun murskeen painon kuormittain. Liitteessä 6 on esimerkki kuormakirjasta.

Murskeen kuljetusmatka kasalta rakennettavalle osuudelle oli noin 500 – 2 500 metriä. Rakentaminen aloitettiin paalulta 90440, josta työ eteni edelleen kauemmas materiaalin noutopaikasta. Kuorma-autojen reitit kulkivat työmaatiellä, joten ulkopuolisesta liikenteestä ei ollut tässä tilanteessa haittaa. Murskeen ajoon käytettiin enimmäkseen normaaleja ”tasaperäisiä” kuorma-autoja, mutta kaluston puutteen vuoksi työvaiheessa jouduttiin käyttämään tilapäisesti myös asfaltin ajoon tarkoitettuja kuorma-autoja. Asfalttiautoissa lavan perä oli muodoltaan kupera, joten murskematosta tuli korkeampi ja kapeampi. Kuorma-autojen määrä vaihteli päivittäin tiehöylien käytettävyyden mukaan.

Murskeen levitykseen käytettiin takymetrihöylää sekä tavallista manuaalisesti ohjattavaa höylää. Murskeenlevitintä ei tässä tapauksessa käytetty. (Kuva 23.)



Kuva 23. Murskeen ajo ja levitystyö käynnissä

Varsinaista murskeenajoa ohjasivat höylänkuljettajat, jotka määräivät, mihin kohtaan kuorma tuli ajaa. Normaalialia höylää käytettiin enimmäkseen karkeaan murskeen levitykseen, jonka jälkeen takymetrihöylä viimeisteli pinnan muodon. Asfalttiautojen käyttö murskeen ajossa hidasti tiehöylien tyotehokkuutta, koska korkeamman ja kaapeamman murskematon muotoileminen vaati useampia ylityskertoja.

Muu työmaaliikenne ohjattiin tielinjan toiselle puolelle ja valmiilla alueella ajo kiellettiin, jotta kantavan kerroksen murskeenkuljetus ei häiriintyisi ja ajouria syntyisi mahdollisimman vähän.

Kantavan kerroksen rakentamisessa paikalla oli kastelutraktori. Kastelua ei kuitenkaan tarvittu kuin hetkellisesti, koska murskeen vesipitoisuus todettiin pääosin sopivaksi.

Sitomaton kantava kerros rakennettiin ensin sidotun kerroksen alapinnan tasolle. Kun sidottu kantava kerros oli tehty, voitiin murskekerros nostaa kaistan 2 ja pientareiden kohdalta oikeaan tasoon.

#### 4.6 Mittaukset

Kantavan kerroksen laatu ja suunnitelmien toteutuminen osoitettiin seuraavissa kohdissa esitettyjen mittauksien mukaisesti.

##### Kaltevuus

Pinnan kaltevuuden mittaus suoritettiin 3 metriä pitkällä oikolaudalla, johon oli kiinnitetty digitaalinen vatupassi. Kaltevuus mitattiin 20 metrin välein koko rakennettavan kerroksen pituudelta. Kaltevuusmittauksissa todettiin pinnan kaltevuuden ylittävän sen toleranssin (0,3 %) paalulukemilla 89980 – 90020 ja 90200. Kohdat höylättiin ja jyrättiin uudelleen oikeaan kaltevuuteen. Liitteessä 7 on esimerkki kaltevuusmittausten tuloksista.

##### Korkeus

Sitomattoman kantavan kerroksen sallittu pinnan korkeuspoikkeama oli  $\pm 0,02$  metriä. Korkeustason mittasi Destia Oy:n mittamies. Kerroksen taso ei ylittänyt sallittuja

poikkeamia, joten rakenne oli oikeassa korossa. Liitteessä 8 on esitetty esimerkki korkeustason mittaustuloksista.

#### Kantavuus- ja tiiveysmittaukset

Kantavuus- ja tiiveysmittaukset suoritettiin pudotuspainolaitteella. Kantavan kerroksen tavoitekantavuus oli 235 MPa ja tiiveysvaatimus 2,3. Mittausten perusteella valmiin kerroksen laatu osoittautui kelpolliseksi. Liitteessä 9 on esitetty kantavuus- ja tiiveysmittausten tulokset.

#### Hienoainespitoisuus

Kerroksesta otettiin näytteet hienoainespitoisuuden ja rakeisuuden todistamiseksi. Näytteet testattiin laboratoriossa pesuseulonnalla. Testien perusteella kerroksen hienoainespitoisuus ja rakeisuus olivat vaatimustenmukaisia. Liitteessä 10 on paalulta 89680 otetun näytteen rakeisuustulokset.

#### 4.7 Luovuttaminen seuraavaan työvaiheeseen

Kantavan kerroksen pintaan maalattiin sidotun kerroksen aloitus- ja lopetuskohdat. Luovuttaessa valmista kerrosta seuraavaan työvaiheeseen käytiin päällystystyoönjohtajan kanssa läpi kerroksen pinnan muoto ja kaltevuus. Luovutuksesta laadittiin päällystyspohjan vastaanottopöytäkirja, johon kirjattiin mahdolliset puutteet. Kuvassa 24 on seuraavana kesänä otettu ilmakuva rakennuskohteesta.





Kuva 24. Valmis kantava kerros rakennuskohteessa (1.)

#### 4.8 Johtopäätökset

##### Materiaalin lajittuminen

Valmiissa pinnassa havaittiin paikoittain vähäistä murskeen lajittumista. Joissakin kohdissa murskeen hienoaines oli vajonnut pinnalta alas ja kerroksen pinnalla näkyi isompirakeista mursketta. Lajittuminen oli kuitenkin niin pientä, ettei sen katsottu aiheuttavan ongelmia. Korjaustoimenpiteitä tässä tapauksessa ei tarvittu tehdä. Jos lajittumisen määrä olisi katsottu ongelmaksi, olisi murskekerros pitänyt sekoittaa ja tiivis-

tää uudelleen. Hienoaineksen puuttuminen sitomattoman kerroksen pinnalta lisää sidotun kerroksen materiaalin menekkiä ja siten myös kustannuksia.

### Murskeen ajo

Murskeen ajossa käytettiin tilapäisesti asfaltin ajoon tarkoitettuja kuorma-autoja. Asfalttiautojen käyttö kantavan kerroksen rakentamisessa hidasti murskeen levitystyötä, sillä kapeamman ja korkeamman murskematon muotoileminen vaati useamman yliajokerran tiehöylältä verrattuna tavanomaisilla kuorma-autoilla ajettuun murskemattoon.

## 5 SITOMATTOMAN KANTAVAN KERROKSEN KUSTANNUKSET JA KUSTANNUSLASKELMA

Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittellä sitomattoman kantavan kerroksen rakentamisesta aiheutuvat kustannukset E18-hankkeen paaluvälillä 88620 – 90440. Kustannus selvityksen perusteella voidaan laskea vastaavan rakennekerroksen hinta. Tutkimustuloksia voidaan myös verrata suunnitelmissa käytettyihin arvoihin. Kustannukset määritettiin työvaiheen toteutusta seuraamalla.

Sitomattoman kantavan kerroksen rakentamiskustannuksiin vaikuttaa eniten työhön kulutettu aika. Työn nopeuteen ja tehokkuuteen vaikuttavat työntekijöiden osaaminen ja materiaalin kuljetusmatka. Kuljetusmatkan kasvaessa kuorma-autoja tarvitaan enemmän levitystyön työtahdin säilyttämiseksi. Projektilla murskekasat sijoituivat aivan kantavan kerroksen rakentamispaikan läheisyyteen, joten kuljetusmatka oli suotuisin mahdollinen.

Kantavan kerroksen ajo ja murskeenlevitys toteutettiin alihankintana. Alihankintoina tehdyt työt hinnoiteltiin käytetyn ajan perusteella. Tiivistystyössä käytettiin vuokratun kaluston ja oman kuljettajan lisäksi aliurakoitsijoiden koneita ja työvoimaa.

Murskeen ajosta tehtiin kuvan 25 mukainen taulukko, josta ilmenee käytetyn murskeen määrä sekä ajoon käytetty aika ja hinta autokohtaisesti.



PVM	AUTO	AIKA, H	KM	LAJ. 0-56	LAJ. 0-32	€/h	HINTA €	tonnia/h
22. loka								
	EGY-998	6,5	1-2	395,65				60,87
	LSY-863	10,5	1-2	647,3				61,65
23. loka								
	LSY-863	10,5	1-2	702,85				66,94
	NGL-696	9,5	1-2	507,85				53,46
24. loka								
	VMY-356	3	1-2	126,3				42,1
	LSY-896	10,5	1-2	713,7				67,97
	EGY-998	10	1-2	575,8				57,58
25. loka								
	EGY-998	9,5	1-2	516,3				54,35
	TR	4	1-2	127,8				31,95
	MYF-291	7	1-2	478,45				68,35
	LSY-863	10,5	1-2	748,75				71,31
26. loka								
	TR	8	1-2	303,4				37,93
	EGY-998	8	1-2	423,3				52,91
	EYH-977	8,5	1-2	285,15	157,8			52,11
	MYF-291	8,5	1-2	305,75	143,4			52,84
	ARF-806	4,5	1-2	141,2	142,65			63,08
	HOI-707	4,5	1-2	145,55	142,3			63,97
29. loka								
	TR	9,5	1-2	176,75				18,61
	IIH-433	9,5	1-2	317,1				33,38
	MYF-291	9,5	1-2	314,05	142,75			48,08
	LSY-863	9	1-2	438,95				48,77
	EGY-998	10	1-2	388,35				38,84
	EYH-977	10	1-2	306,25	142,6			44,89
30. loka								
	TR	2	1-2	49,6				24,8
	IIH-433	8	1-2	71,3	163,65			29,37
	MYF-291	11	1-2	125,95	277			36,63
	LSY-863	5	1-2	182,5	59,6			48,42
	EGY-998	11,5	1-2	180,5	399,7			50,45
	EYH-977	10	1-2	234,75	270,45			50,52
31. loka								
	EGY-998	7,5	1-2		377,75			50,37
	EYH-977	6,5	1-2		326,08			50,17
	MYF-291	7,5	1-2		309,25			41,23
Yhteensä		260		9931,15	3054,98			
				Mursketta yht. Tn	12986,13			

Kuva 25. Taulukko kantavan kerroksen murskeenajosta

## 5.1 Murske

Kantavan kerroksen rakentamisessa käytetyn murskeen hinta muodostuu irtilouhin-  
nasta, murskauksesta ja laadunvalvonnasta. Kalliomurskeen hinta on korkeampi pie-  
nemmälle raekoolle, joten 0-32 -kalliomurske on kalliimpaa kuin 0-56 -murske. (Tau-  
lukko 1.)

Taulukko 1. Murskeen hintaan vaikuttavat tekijät

	#0-56	#0-32
Laadunvalvonta	X €/tonni	X €/tonni
Irtilouhint	X €/tonni	X €/tonni
Murskaus	X €/tonni	X €/tonni
Yhteensä	X €/tonni	X €/tonni
Käytetyn murskeen määrä	9 931,15 tonnia	3 054,98 tonnia
Käytetyn murskeen hinta	9 931,15 tn x X € X €	3 054,98 tn x X € X €

Mursketta käytettiin yhteensä 12 986,15 tonnia. Murskeen paino muutetaan rakenneteoreettiseksi tilavuudeksi jakamalla paino kertoimella 2,3. Tällöin käytetyn murskeen rakenneteoreettiseksi tilavuudeksi tulee 5 646,15 m<sup>3</sup>rtr.

## 5.2 Ajo

Murske kuljetettiin alihankintana. Yleisesti kuorma-autojen hintojen vaihtelu perustui niiden kuljetuskapasiteettiin. Autojen tarve määräytyi kuljetusmatkan pituudesta ja levityskoneiden nopeudesta. Kantavan kerroksen rakentaminen aloitettiin murskekasojen läheisyydestä, joten työn edetessä kauemmas autoja otettiin käyttöön enemmän levitystyön työtahdin säilyttämiseksi. Optimaalisin tilanne kuormauksen kannalta olisi sopiva määrä autoja kuormaajaa kohden. Liian useaa autoa käytettäessä murskekasoille saattoi kertyä jonoa, mistä seuraa turhaa odottelua. Kuorma-autojen hinta määräytyi käytetyn ajan mukaan. Murskeen ajon kokonaiskustannuksiksi tuli X €

### 5.3 Levitystyö

Murskeen levitystyössä käytettiin perinteistä tiehöylää sekä takymetrillä varustettua koneohjattua tiehöylää. Alihankintana tehdyn työn kustannukset automatisoidulla tiehöylällä olivat X 90 €/ tunti ja normaalilla tiehöylällä X €/ tunti. Automaatiosta saadun hyödyn takia koneohjatun tiehöylän käyttö oli kannattavaa. Taulukossa 2 on esitetty tiehöylien kustannukset.

Taulukko 2. Levitystöihin käytetty aika ja niiden kustannukset

Pvm	Höylätyyppi	Tunnit	Hinta/h	Yht. €
Ma 22.10	Takyh.	10	X	X
Ti 23.10	Norm.	10	X	X
Ke 24.10	Norm.	10,5	X	X
To 25.10	Norm.	11	X	X
Pe 26.10	Norm.	8,5	X	X
	Takyh.	9	X	X
Ma 29.10	Norm.	9,5	X	X
	Takyh.	10	X	X
Ti 30.10	Takyh.	13	X	X
Ke 31.10	Takyh.	8,5	X	X
Yhteensä		100 h	X	X €

### 5.4 Tiivistys

Kantava kerros tiivistettiin vuokratulla kalustolla ja alihankintana. Kaikki tiivistystyöt tekijästä riippumatta hinnoiteltiin tässä tapauksessa tuntityönä. Tiivistystyön hinnaksi määriteltiin X €/ tunti. Hintaan kuuluu kaikki tiivistämistyöhön sisältyvät kustannukset.

set. Tiivistämiseen käytettiin työtunteja yhteensä 113,5 tuntia. Kokonaisuudessaan tiivistystyö tuli maksamaan  $X \text{ €}$  ( $113,5 \text{ h} \times X \text{ €}$ ).

### 5.5 Kuormaus, kastelu ja laadunvarmistus

Kuormaamiseen käytettiin pyöräkuormaajaa. Tässä työssä koneen hinnoittelu perustuu kuormatun murskeen määrään, joka on  $X \text{ €/tn}$ . Kokonaisuudessaan mursketta käytettiin 13 074,08 tonnia. Täten hinnaksi tulee  $X \text{ €}$  ( $X \text{ €} \times 13\,074,08 \text{ tn}$ ). Kasteluun tarkoitettujen kaluston hinta oli  $X \text{ €/tunnilta}$ . Kastelutraktori oli keskimäärin 8 tuntia päivässä paikalla. Kustannuksiksi tällöin tuli  $X \text{ €}$

Kerroksen laadunvarmistukseen kuuluvien laboratoriokokeiden hinta on  $X \text{ €/h}$ , ja se sisältää murskeen kelpoisuuden mittauksen. Näitä sekä mittamiehen tekemistä tarkastusmittauksista aiheutuvia kustannuksia ei huomioida tässä työssä, sillä ne sisältyvät hankkeen laadunvalvontaan. Kantavuus- ja tiiveysmittauksien hinta  $X \text{ €/tunnilta}$ . Työmaalla kantavuus- ja tiiveysmittauskaluston minimiveloitus oli 4 tuntia tehtyjen sopimusten mukaan.

### 5.6 Yhteenlasketut kustannukset ja teoreettinen hinta

Rakennetun kerroksen kustannukset saadaan laskemalla edelliset kohdat yhteen. Taulukossa 3 on esitetty myös hinta rakenneteoreettisen tilavuuden mukaan.

Taulukko 3. Yhteenlasketut kustannukset, todellisen murskeenkulutuksen mukaan

Levitys €	Tiivistys €	Kastelu €	Kuormaus €	Ajo €	Murske €	Yhteensä € (pl. murske)
X	X	X	X	X	X	X
€ m <sup>3</sup> rtr	€ m <sup>3</sup> rtr	€ m <sup>3</sup> rtr	€ m <sup>3</sup> rtr	€ m <sup>3</sup> rtr	-	€ m <sup>3</sup> rtr

Taulukossa 3 esitettyjen arvojen lisäksi kustannuksia kertyi kantavuus- ja tiiveysmittauksista noin  $X \text{ €}$

## Teoreettinen hinta

Kantavan kerroksen rakentamista suunniteltaessa tai urakkaa laskettaessa työlle laskeaan teoreettinen hinta. Hinta perustuu rakennettavaan kerrokseen käytettävän murskeen rakenneteoreettiseen tilavuuteen. Rakenneteoreettinen tilavuus saadaan kerroksen pituudesta, leveydestä ja paksuudesta. Hintaan sisältyy levitys- ja tiivistystyö, kastelu, kuormaus sekä ajo. Käytettävän materiaalin kustannuksia tässä tapauksessa ei huomioida, sillä materiaali hankitaan eri paikasta eri hankkeissa. Laskettava hinta pysyy vakiona ajomatkasta aiheutuvia kustannuksia lukuun ottamatta (Taulukko 4.).

Taulukko 4. Kantavan kerroksen rakentamisen kustannukset, kun ajomatka vaihtelee

Levitys, tiivistys, kastelu €/m <sup>3</sup> rtr	Kuormaus €/m <sup>3</sup> rtr	Ajo €/m <sup>3</sup> rtr	Hinta yhteensä €/m <sup>3</sup> rtr	Ajomatka
X	X	X	X	0-1 km
X	X	X	X	1-2 km
X	X	X	X	2-3 km

Kantavaa kerrosta rakennettiin paaluvälille 90440 – 88500 yhteensä 4 796,5 m<sup>3</sup>rtr. Muutettaessa rakenneteoreettinen tilavuus murskeen painoksi kertoimena käytetään lukua 2,3, eli murskeen menekki on teoriassa 11 031,95 tonnia.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Verrattaessa teoriassa käytettäviä arvoja ja todellisia kustannuksia on tuloksissa havaittavissa merkittäviä eroja. Tutkimustulosten perusteella ajokustannukset ovat suurempia suhteessa levitys-, tiivistys- ja kastelukustannuksiin. Ajokustannusten kasvu voi johtua työvaiheen nopeasta luonteesta. Rakennekerros haluttiin valmiiksi mahdollisimman nopeasti, joten murskeenajoon otettiin käyttöön periaatteessa maksimimäärä kuljetuskalustoa. Optimaalinen autojen määrä suhteessa kuormaajien ja tiehöylien määrään pitää kustannukset osaltaan minimissä.

Levitysvaiheessa mursketta voi ajautua pois tielinjalta ja rakenteesta. Tämän takia murskeen menekki voi olla suurempaa kuin teoriassa on laskettu. Kuormakirjojen mukaan mursketta käytettiin 12 986,13 tonnia, joka on enemmän kuin teoriassa tarvittavan murskeen määrä (11 031,95 tonnia).

Murskeen lajittumiselle ei ole yksiselitteistä syytä. Kantavan kerroksen mursketta levitettäessä tavoitteena on saada mahdollisimman vähäisellä levityksellä murskeen pinta haluttuun tasoon. Murskeen hienoaines painuu rakennekerroksen alaosiin levitystyötä pitkitettäessä, joten kerroksen laatu on sitä parempaa, mitä vähemmän materiaalia käsitellään. Tämän takia murskeenajoon ja levitykseen on suotavaa käyttää vain siihen tarkoitettua kalustoa. Takymetrihöylän käyttö projektissa todettiin kannattavaksi automatiikasta saadun hyödyn perusteella.

Tiivistystyöhön käytettiin jyrää, jossa oli automatisoitu tiivistyksen tarkkailulaite. Projektilla laite oli vasta kokeiluasteella, eikä sitä käytetty kyseisen kantavan kerroksen rakentamisessa. Tulevaisuudessa tehtävillä projekteilla on mahdollista, että koneautomaatiota käytetään laadunvarmistukseen, kuten tiiveys- ja paikkatietojen mittauksiin, jotta niihin käytettäviä resursseja voidaan pienentää.

Automatisoitua höylää käytettäessä myös virheet työkoneen tietokoneessa ovat mahdollisia. Rakennusvaiheessa laitteen toimivuus on hyvä varmistaa säännöllisin väliin valmiin rakenteen korkoja mittaamalla, jotta virheet huomataan mahdollisimman pian. Tässä projektissa valmiin rakenteen tarkkeita seurattiin laadunvarmistuksen ja tien vierellä olleiden korkomerkkien avulla.

## LÄHTEET

- (1) E18 Koskenkylä – Kotka. Saatavissa:  
[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/hankkeet/kaynnissa/koskenkyla\\_loviisa\\_kotka](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/hankkeet/kaynnissa/koskenkyla_loviisa_kotka). 28.1.2013
- (2) Hankekortti. Liikennevirasto. Saatavissa:  
[http://www.kohava18.info/esitt/vt7\\_hankekortti\\_koskenkyla-loviisa-kotka\\_121010.pdf](http://www.kohava18.info/esitt/vt7_hankekortti_koskenkyla-loviisa-kotka_121010.pdf). 10.2.2013
- (3) InfraRYL 2006 Osa 1, Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
- (4) Tietekniikan perusteet. Hartikainen Olli-Pekka, 2002.
- (5) Tien geotekninen suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 10/2012. Saatavissa:  
[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2012-10\\_tien\\_geotekninen\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-10_tien_geotekninen_web.pdf). 11.5.2013
- (6) Teiden pohjarakenteiden suunnitteluperusteet, Tiehallinnon julkaisu 2001. Saatavilla: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100002-01i.pdf>. 4.4.2013
- (7) Uudenmaan pohjatutkimus Oy:n internetsivut. Saatavilla:  
<http://www.uudenmaanpohjatutkimus.fi/?page=upt>. 11.5.2013
- (8) Tierakenteen suunnittelu, Tiehallinnon julkaisu 2004. Saatavilla:  
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>. 11.5.2013
- (9) Kantavan kerroksen stabilointi, Tiehallinnon julkaisu 2002. Saatavilla:  
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200006-02.pdf>. 4.4.2013
- (10) Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä, Tielaitoksen selvityksiä 39/1994. Saatavilla: [http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf2/tiepenkereen\\_siirtymarakenteet.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf2/tiepenkereen_siirtymarakenteet.pdf). 3.4.2013

- (11) Johdatus tierakentamisen automaatioon, Tiehallinnon selvityksiä 61/2004. Saatavilla: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200915-vjohdatustienrakautom.pdf>.  
25.3.2013
- (12) Scanlaserin internetsivut. Saatavilla: [http://www.scanlaser.fi/fi/mikrofynt-mikrograde-3d\\_1221.htm](http://www.scanlaser.fi/fi/mikrofynt-mikrograde-3d_1221.htm). 25.4.2013
- (13) Proelco Oy:n internetsivut. Saatavilla: <http://www.proelco.fi/osaaminen.html>.  
25.4.2013
- (14) Sitomattomien materiaalien jatkuvatoiminen tiivistystarkkailu, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä, 2012. Saatavilla:  
[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/Its\\_2012-25\\_sitomattomien\\_materiaalien\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/Its_2012-25_sitomattomien_materiaalien_web.pdf). 12.4.2013
- (15) InfraRYL Osa 1, Ylläpito. Saatavilla:  
[http://www.rts.fi/infraryl/21310\\_sitomatontantava\\_kerros\\_2009\\_1.pdf](http://www.rts.fi/infraryl/21310_sitomatontantava_kerros_2009_1.pdf). 12.3.2013
- (16) Sitomattoman kantavan kerroksen murskeen laadun vaikutus tien vaurioitumiseen, Tiehallinnon selvityksiä 62/2003. Saatavilla:  
<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200853-vsitomatontantavkerrmurs.pdf>. 24.3.2013
- (17) International Road Federation. Saatavilla: <http://www.irfnews.org/buyers-guide/profile/troxler-electronic-laboratories/>. 12.4.2013
- (18) West Coast Road Masters Oy:n internetsivut. Saatavilla:  
<http://www.roadmasters.fi/kalusto.html> 25.4.2013
- (19) TYL Pulterin projektipankki, Päälyysrakenteet.



Liite 1/1

**Taulukko 13.** Kuormitusluokka 0,1. Tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet.

KKL-luokka	SOP	PAB-V	PAB-B	AB
Tavoite päällysteen päältä	115 MPa	130 MPa	165 MPa	170 MPa
Päällysteen paksuus	–	40 mm	40 mm	40 mm
Tavoite kantavan päältä	115 MPa	115 MPa	145 MPa	145 MPa
Kantavan laatu	M	M	M, MHST, BST	M, MHST, BST

**Taulukko 14.** Kuormitusluokka 0,4. Tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet.

KKL-luokka	PAB-V	PAB-B	AB
Tavoite päällysteen päältä	145 MPa	165 MPa	170 MPa
Päällysteen paksuus	40 mm	40 mm	40 mm
Tavoite kantavan päältä	130 MPa	145 MPa	145 MPa
Kantavan laatu	M, MHST, BST	M, MHST, BST	M, MHST, BST

**Taulukko 15.** Kuormitusluokka 0,8. Tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet.

KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)	PAB-V	PAB-B	AB	AB
Tavoitekantavuus (0...6 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	–	–	230 MPa 80 mm	–
Tavoitekantavuus (0 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	145 MPa 40 mm	165 MPa 40 mm	185 MPa 50 mm	390 MPa 80 mm
Tavoite kantavan päältä	130 MPa	145 MPa	145 MPa	280 MPa
Kantavan laatu	M, MHST, BST	M, MHST, BST	M, MHST, BST	SST

<sup>1)</sup> Vaiheittain rakentamisen aika (vuosia tien avaamisesta) päätetään tiekohtaisesti.

**Taulukko 16.** Kuormitusluokka 2,0. Tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet.

KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)	AB	AB	AB
Tavoitekantavuus (0...6 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	265 MPa 90 mm	–	–
Tavoitekantavuus (0 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	200 MPa 50 mm	420 MPa 80 mm	265 MPa 90 mm
Tavoite kantavan päältä	160 MPa	310 MPa	160 MPa
Kantavan laatu	M, MHST, BST	SST	M, MHST, BST

<sup>1)</sup> Vaiheittain rakentamisen aika (vuosia tien avaamisesta) päätetään tiekohtaisesti.

**Taulukko 17.** Kuormitusluokka 6,0. Tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet.

<b>KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>
Tavoitekantavuus (0...8 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	360 MPa 140 mm	340 MPa <sup>2)</sup> 130 mm	– –
Tavoitekantavuus (0...2 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	285 MPa 100 mm	265 MPa 90 mm	465 MPa 110 mm
Tavoitekantavuus (0 v.) ja päällysteen kokonaispaksuus	215 MPa 60 mm	215 MPa 50 mm	395 MPa 80 mm
Tavoite kantavan päältä	160 MPa	160 MPa	285 MPa
Kantavan laatu	M, MHST	BST	SST

<sup>1)</sup> Vaiheittain rakentamisen aika (vuosia tien avaamisesta) päätetään tiekohtaisesti.

<sup>2)</sup> Edellyttää vaatimusta suurimmalle sallitulle takuuajan (yleensä 3 vuotta) deformaatiouralle. Muuten tavoitekantavuus on sama kuin rakenteella, jonka kantava kerros on sitomatonta mursketta (M).

**Taulukko 18.** Kuormitusluokka 10,0. Tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet.

<b>KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>
Tavoitekantavuus (0...6 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	420 MPa 170 mm	380 MPa <sup>2)</sup> 150 mm	490 MPa 130 mm
Tavoitekantavuus (0...2 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	360 MPa 140 mm	325 MPa 120 mm	– –
Tavoitekantavuus (0 v.) ja päällysteen kokonaispaksuus	285 MPa 100 mm	270 MPa 90 mm	420 MPa 100 mm
Tavoite kantavan päältä	160 MPa	160 MPa	265 MPa
Kantavan laatu	M tai MHST	BST	SST

<sup>1)</sup> Vaiheittain rakentamisen aika (vuosia tien avaamisesta) päätetään tiekohtaisesti.

<sup>2)</sup> Edellyttää vaatimusta suurimmalle sallitulle takuuajan (yleensä 3 vuotta) deformaatiouralle. Muuten tavoitekantavuus on sama kuin rakenteella, jonka kantava kerros on sitomatonta mursketta (M).

**Taulukko 19.** Kuormitusluokka 25,0. Tavoitekantavuudet ja päällysteen vähimmäispaksuudet.

<b>KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>
Tavoitekantavuus (0...6 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	475 MPa 200 mm	420 MPa <sup>2)</sup> 170 mm	520 MPa 130 mm
Tavoitekantavuus (0...2 v.) <sup>1)</sup> ja päällysteen kokonaispaksuus	420 MPa 170 mm	360 MPa 140 mm	– –
Tavoitekantavuus (0 v.) ja päällysteen kokonaispaksuus	340 MPa 130 mm	285 MPa 100 mm	420 MPa 100 mm
Tavoite kantavan päältä	160 MPa	160 MPa	265 MPa
Kantavan laatu	M, MHST	BST	SST

<sup>1)</sup> Vaiheittain rakentamisen aika (vuosia tien avaamisesta) päätetään tiekohtaisesti.

<sup>2)</sup> Edellyttää vaatimusta suurimmalle sallitulle takuuajan (yleensä 3 vuotta) deformaatiouralle. Muuten tavoitekantavuus on sama kuin rakenteella, jonka kantava kerros on sitomatonta mursketta (M).



## Liite 2

**Taulukko 18110:T3.** Tiivistyskoneiden ohjeellinen jyräskertamäärä eri kerrospaksuuksilla maa-aineksen ollessa lähellä opti-  
mivesipitoisuutta.

Jyrätyyppi	Paino, t	Ylityskertojen ohjearvo													
		Suodatin-/ eristys- kerros		Jakava kerros / välikerros		Kantava kerros		Alusrakenne H <sup>1)</sup> ≤ 30			Alusrakenne H <sup>1)</sup> > 30			Louhe	
Kerrospaksuus enintään, m		0,25	0,5	0,25	0,4	0,2	0,3	0,25	0,5	0,8	0,25	0,5	0,8	0,8	1,0
Täryjyrät <sup>2)</sup>															
vedettävät	> 5	4	7	5	8	5	9	3	6	11	3	7	13	6 <sup>12)</sup>	7 <sup>12)</sup>
2 täryvalssia	> 5	3	4	3	5	3	6	2	4	8	2	4	8		
1 täryvalssi	> 5	4	7	5	8	6	9	3	6	11	3	6	11	5 <sup>13)</sup>	7 <sup>13)</sup>
Kumipyöräjyrät <sup>3)</sup>															
	< 20 <sup>4)</sup>	6	–	8	–	10	–	6	–	–	6	–	–	–	–
	> 20 <sup>5)</sup>	4	8	6	12	8	12	4	8	14	3	6	11	–	–
Staattiset valssijyrät <sup>6)</sup>															
	> 10	–	–	–	–	10	–	7	–	–	7	–	–	–	–
Pyöräkuormaimet <sup>7)</sup>															
	> 40	–	–	–	–	–	–	4	8	14	3	7	13	–	–
Puskutraktorit <sup>8)</sup>															
	> 10	–	–	–	–	–	–	4	–	–	6	–	–	–	–
Sorkkajyrät <sup>9)</sup>															
	7...10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10)	10)	–	–	–
Tärylevyt <sup>11)</sup>															
	> 0,05	6	–	7	–	6	–	5	–	–	6	–	–	–	–
	> 0,1	5	–	6	–	6	–	4	–	–	5	–	–	–	–
	> 0,2	4	–	5	–	5	–	3	–	–	4	–	–	–	–
	> 0,4	3	–	4	–	4	–	3	–	–	3	–	–	–	–

1) H = hienoainespitoisuus (0,063 mm:n seulan läpäisy-%).

2) Eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen. Amplitudi aluksi noin 1,5 mm ja viimeiset ylityskerrat < 1 mm, penkereen ja suodattimen jyräysnopeus 1...3 km/h, jakavan ja kantavan 3...6 km/h. Viivakuorma > 1,5 t/m.

3) Eivät sovellu runsaasti koheesioainesta sisältävien maalajien tiivistämiseen, rengaspaine soraisilla maalajeilla 500 kPa ja hiekkaisilla maalajeilla 300 kPa, jyräysnopeus yli 5 km/h.

4) Pyöräpaino > 2 t.

5) Pyöräpaino > 3 t.

6) Eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen. Viivakuorma > 5 t/m.

7) Eivät sovellu märkien silttien maalajien tiivistämiseen.

8) Soveltuvat ohuiden kerrosten ja märkien silttien tiivistämiseen.

9) Soveltuvat silttien ja savien tiivistämiseen.

10) Urakoitsijan on esitettävä käyttämänsä sorkkajyrän tekniset tiedot (myös sorkan pituus, sorkan pään pinta-ala) ja työntekijöille annettavat jyräsohjeet.

11) Käytetään yleensä ahtaiden alueiden ja kaivantojen täytössä kitkamaalajien tiivistämiseen. Teho riittää yleensä vain ohuen kerroksen (100...250 mm) tiivistämiseen. Parempaan tiivistystehoon päästään tärylevyillä, joiden pohja on muotoiltu siten, että alkutiivistyksen jälkeen levy tiivistää pienemmällä pinta-alalla ja siten suuremmalla pintapaineella.

12) Paino vähintään 8 t.

13) Paino vähintään 13 t.

### Liite 3

**Taulukko 32.** Tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä mitattuna. Kuormitusluokka 0,1.

<b>KKL-luokka</b>	<b>SOP</b>	<b>PAB-V</b>	<b>PAB-B</b>	<b>AB</b>
Tavoite kantavan päältä	115 MPa	115 MPa	145 MPa	145 MPa
Kantavan laatu	M	M	M, MHST, BST	M, MHST, BST

Tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä mitattuna. Kuormitusluokka 0,4.

<b>KKL-luokka</b>	<b>PAB-V</b>	<b>PAB-B</b>	<b>AB</b>
Tavoite kantavan päältä	130 MPa	145 MPa	145 MPa
Kantavan laatu	M, MHST, BST	M, MHST, BST	M, MHST, BST

Tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä mitattuna. Kuormitusluokka 0,8.

<b>KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)</b>	<b>PAB-V</b>	<b>PAB-B</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>
Tavoite kantavan päältä	130 MPa	145 MPa	145 MPa	280 MPa
Kantavan laatu	M, MHST, BST	M, MHST, BST	M, MHST, BST	SST

Tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä mitattuna. Kuormitusluokka 2,0.

<b>KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>
Tavoite kantavan päältä	160 MPa	310 MPa	160 MPa
Kantavan laatu	M, MHST, BST	SST	M, MHST, BST

Tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä mitattuna. Kuormitusluokka 6,0.

<b>KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>
Tavoite kantavan päältä	160 MPa	160 MPa	285 MPa
Kantavan laatu	M, MHST	BST	SST

Tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä mitattuna. Kuormitusluokka 10,0.

<b>KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>
Tavoite kantavan päältä (MPa)	160 MPa	160 MPa	265 MPa
Kantavan laatu	M tai MHST	BST	SST

Tavoitekantavuus kantavan kerroksen päältä mitattuna. Kuormitusluokka 25,0.

<b>KKL-luokka (Vaiheittain rakent. aika)</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>
Tavoite kantavan päältä	160 MPa	160 MPa	265 MPa
Kantavan laatu	M, MHST	BST	SST



**RAKEISUUSTUTKIMUS, KESKIARVO**

Projekti	TYL Pulteri	Paikka	Vt 7 lohko 4
Urakoitsija	Veljekset Turpeinen Ky	Materiaali	KaM
Tilaaaja	TYL Pulteri	Lajite	0/31.5 ABK
Yhteyshenkilö	Nina Viinikainen	Diaarinro	
Kunta	Pyhtää	Kasa	
Lisätieto			

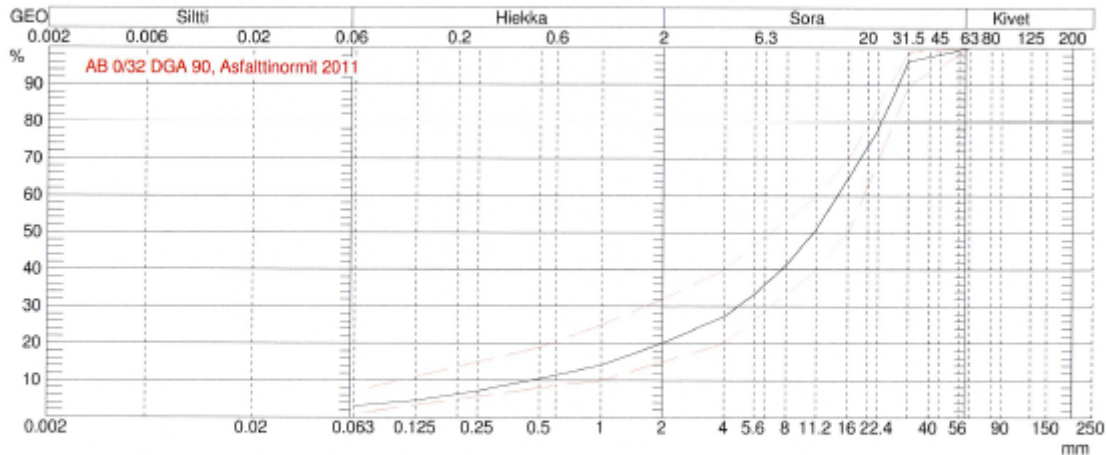
Näytteenottoväli	31.5.2012 - 5.6.2012
Näytteitä	11

Seulontatapa	Pesuseulonta (SFS-EN 933-1)
E-moduli [MPa]	200

Kokeen nimi (Menetelmä) [Yksikkö]	Keskiarvo	Max
Vesipitoisuus (SFS-EN 1097-5:99) [%]	0.59	0.80
Kiintotiheys, näennäinen (SFS-EN 1097-6:00) [Mg/m <sup>3</sup> ]	2.64	2.64
Litteysluku (SFS-EN 933-3:97) [%]	19	25
Kuulamylyjarvo (SFS-EN 1097-9:98) [%]	13.3	13.3

Seulat mm	Ohjealue		Läpäisy %
	min	max	
63	100	100	100
31.5	90	99	96
22.4			78
16	50	70	65
11.2	40	60	51
8			41
5.6			33
4	20	40	27
2	15	32	20
1	10	25	14
0.5	8	19	10
0.25			7
0.125			5
0.063	1,0	7,0	3,0

\* Poikkeaa ohjealueita



Huom! Testaustulos koskee ainoastaan testattua näytettä.

Jakelu

Päiväys 31.05.2012

Allekirjoitus



Salonen Joni

 Lab.vaanu 420096  
 Teollisuuskuja 2, Pyhtää  
 040-3500460  
 etunimi.sukunimi@destia.fi



## TUTKIMUSSELOSTUS



**INFRATIETO**  
Espoon laboratorio

Päivämäärä 2.10.2012

Työnumero 2522012

PANK -hyväksytty testausorganisaatio

TILAAJA TYL Pulteri	
NÄYTTEEN OTTOPAIKKA Lohko 4 pl 91000	PROJEKTI
NÄYTTEEN OTTOAIKA 27.9.2012	NÄYTTEEN OTTAJA Joni Salonen
NÄYTTEEN TIEDOT KaM 0/56 KK, tunnus 2                      Murskattu laboratoriossa	

					LUJUUSLUOKAT VAATIMUKSET					
					Kokeen tunnus					
Koe	Menetelmä									
Los Angeles -luku	SFS-EN 1097-2	20			≤20	≤25	≤30	≤40	≤50	≤60
Allekirjoitukset										
Laborantti					Palvelupäällikkö					
		Veikko Oksanen						Sami Similä		
Jakelu:	Kari Kytömäki, ETE Minna Soranko, ETE Matti Järvensivu, AS-IT Joni Salonen, AS-IT									

Testaustulos koskee ainoastaan testattua näytettä



KUORMAKIRJA

N<sup>o</sup> 006686

Päiväys	Tilausno	Autoilija TIMO RUUKOLA		
Tilaaaja TYL PULTERI -4		Rek.no EGY-998	Ajo päättyi klo	Km
Laskutusosoite HAARAJA		Kuorma m <sup>3</sup> /tn	Ajo alkoi klo	Km
		Ajomatka km	Erotus	

Pvm	Kuljetustehtävä/kuormat	Määrä	Yks	ä-hinta	YHTEENSÄ
29.10	7,00 - 17,30 1-2km SII7/HÖYLÄ 0-55 MURSKKE 388,35 TN	(10h)			
30.10	7,00 - 19,00 1-2km SII7/HÖYLÄ MURSKKE 0-55 180,5 TN MURSKKE 0-32 399,7 TN	(11,50h)			
31.10	7,00 - 19,00 1-2km SII7 - HÖYLÄ MURSKKE 0-32 377,75 TN	(7,50h)			
				eroton	€
				ALV 23%	€
				YHT ALV 23%	€
				<input type="checkbox"/> Laskutus <input type="checkbox"/> Käteinen	
				Kuittaus	

Valikoinen ja sitinen:  
laskutus


Punainen:  
Autonlaji

Keltainen:  
Asiakas

KYMEN KTK  
Takojaantie 20  
48230 KOTKA  
WWW.KYMENKTK.FI

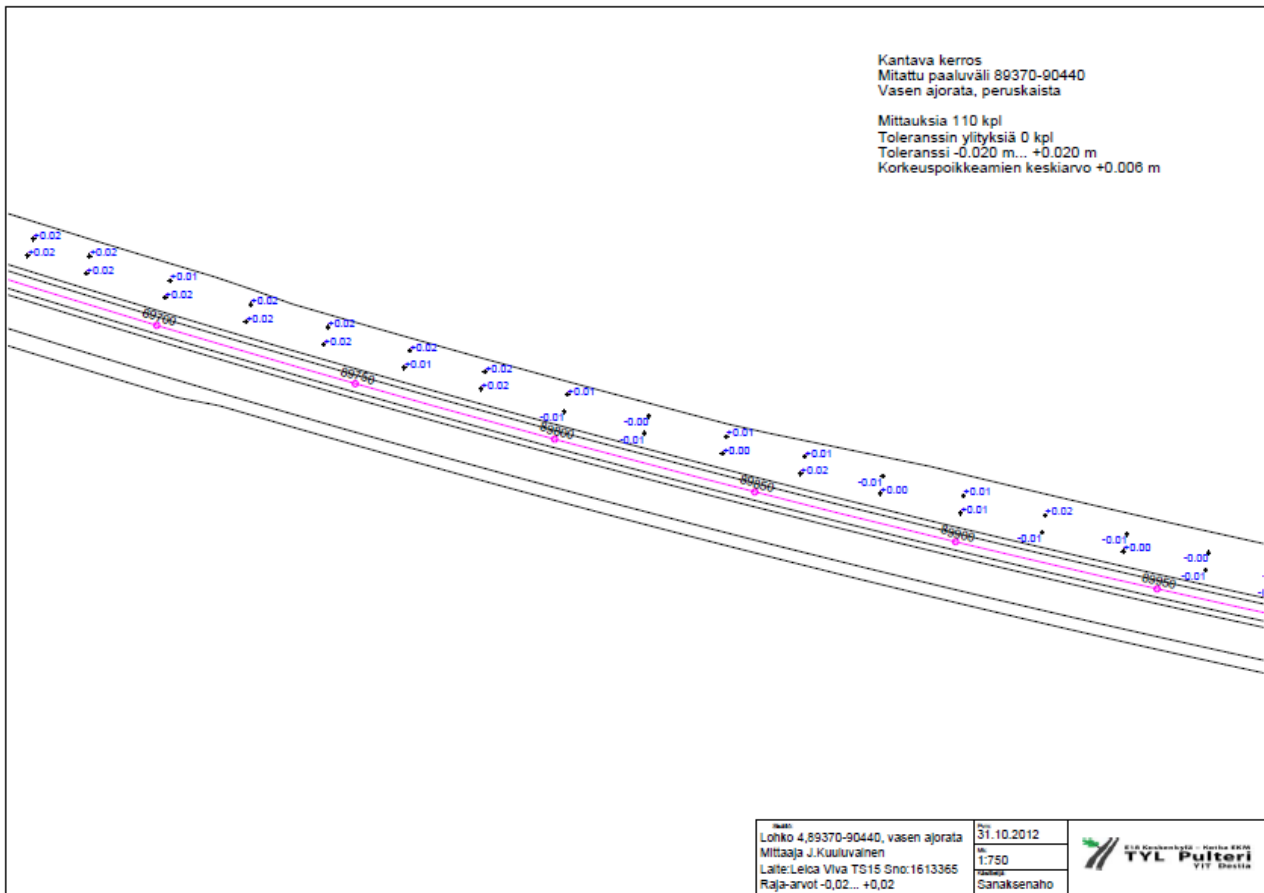
YHTEYSTIEDOT  
Aluetoimistot  
Kotka: puh. 05 230 7300, fax 05 260 1830  
Kouvola: puh. 020 786 1810, fax 05 375 8300

Nordea 202418-65290  
Sampo 800018-1474538  
Y-tunnus 0357242-6  
Alvrek

Projekti, urakkaosa E18 Koskenkylä – Kotka EKM		Laatija Vanhalu Jussi				
Tilaaaja Liikennevirasto		Pvm. 29.10.2012				
Tiedot pohjatöiden vastaanotto-kohteesta	Päällystealustan luovuttaja TYL PULTERI, L4					
	Luovutettava kohde ABK70	Paaluväli		Ajorata	Kaista	
Havainnot	Paalu	Sivukaltevuus (%) teor. tot.		Päällyste- pohjan leveys (m)	Keskiharjan poikkeama (cm)	Tasaisuus T=täyttää E=ei täytä
	90160	2,7				
	90140	2,8				
	90120	2,8				
	90100	2,7				
	90080	2,8				
	90060	2,7				
	90040	2,9				
	90020	3,0	2,3			Höylätty
	90000	3,3	2,5			+ Jyrä
	89980	2,9	2,5			ludestaan
	89960	3,0				
	89940	3,0				
	89920	2,6				Höylätty + Jyrä
	89900	2,7				ludestaan
		Kyllä	Ei			
	Kantavuusmittaukset täyttävät vaatimukset					
Huomautukset/ kommentit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaltevuuden toleranssit: moottoritie <math>\pm 0,3\%</math>-yks. // muut valta- ja kantatiet <math>\pm 0,5\%</math>-yks. // seutu- ja yhdystiet <math>\pm 0,7\%</math>-yks.</li> <li>• Varmista paalukohtainen teoreettinen kaltevuus pituusleikkauksesta</li> </ul>					
Aika ja paikka						
Allekirjoitukset	Alustan luovuttaja			Alustan vastaanottaja		
						



# Liite 8



# Liite 9

## Kantavuusmittaus pudotuspainolaitteella

Päivä	Lohko	Paalu	Ajr	Kaista	E2	Tavoite- kantavuus	Alitus	Minimi	Alitus	Aika	E2/E1	Tiiviyys vaatimus
30.10.2012	1	89200	2	2	256	235	21	207	49	9:14:57	1,23	2,3
30.10.2012	1	89250	2	2	295	235	60	207	88	9:16:02	1,43	2,3
30.10.2012	1	89300	2	2	287	235	52	207	80	9:17:10	1,19	2,3
30.10.2012	1	89350	2	2	354	235	119	207	147	9:18:23	1,14	2,3
30.10.2012	1	89400	2	2	284	235	49	207	77	9:19:21	1,28	2,3
30.10.2012	1	89450	2	2	251	235	16	207	44	9:20:30	1,57	2,3
30.10.2012	1	89500	2	2	214	235	-21	207	7	9:21:46	1,66	2,3
30.10.2012	1	89550	2	2	231	235	-4	207	24	9:22:55	1,56	2,3
30.10.2012	1	89600	2	2	259	235	24	207	52	9:24:03	1,38	2,3
30.10.2012	1	89650	2	2	291	235	56	207	84	9:25:08	1,17	2,3
30.10.2012	1	89700	2	2	259	235	24	207	52	9:26:15	1,49	2,3
30.10.2012	1	89750	2	2	271	235	36	207	64	9:27:34	1,28	2,3
30.10.2012	1	89800	2	2	260	235	25	207	53	9:28:35	1,38	2,3
30.10.2012	1	89850	2	2	265	235	30	207	58	9:29:44	1,35	2,3
30.10.2012	1	89900	2	2	229	235	-6	207	22	9:30:58	1,56	2,3
30.10.2012	1	89950	2	2	265	235	30	207	58	9:32:04	1,65	2,3
30.10.2012	1	90000	2	2	291	235	56	207	84	9:33:15	1,38	2,3
30.10.2012	1	90050	2	2	238	235	3	207	31	9:38:34	1,31	2,3
30.10.2012	1	90100	2	2	429	235	194	207	222	9:48:15	1,21	2,3
30.10.2012	1	90150	2	2	322	235	87	207	115	9:49:23	1,36	2,3
30.10.2012	1	90200	2	2	219	235	-16	207	12	9:50:27	1,32	2,3
30.10.2012	1	90250	2	2	236	235	1	207	29	9:51:33	1,37	2,3
30.10.2012	1	90300	2	2	257	235	22	207	50	9:52:45	1,66	2,3
30.10.2012	1	90350	2	2	199	235	-36	207	-8	9:53:49	1,59	2,3
30.10.2012	1	90340	2	2	254	235	19	207	47	9:54:50	1,40	2,3
30.10.2012	1	90400	2	2	217	235	-18	207	10	9:56:02	1,33	2,3

West Coast Road Masters Oy  
Hiekkakatu 45  
28130 PORI

Y-tunnus 2474532-2  
www.roadmasters.fi  
juha-matti.vainio@roadmasters.fi

GSM 0400 121 907

## RAKEISUUSTUTKIMUS

Projekti	TYL Pulteri	Paikka	
Urakoitsija		Materiaali	KaM
Tilaja	TYL Pulteri	Lajite	KK
Yhteyshenkilö	Hannu Haapoja	Diaarinro	
Kunta	Pyhtää	Kasa	
Lisätieto			

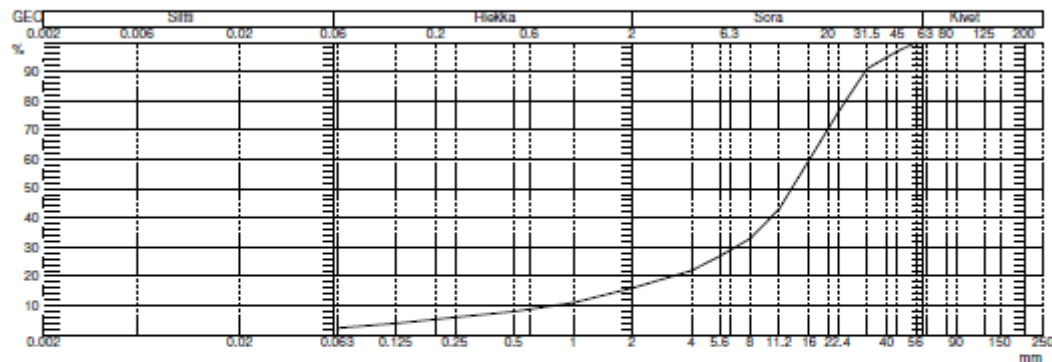
Näytetunnus	9
Paalu	89680 vas., vas.
Näytteenottoaika	26.10.2012

Seulontatapa	Pesuseulonta (SFS-EN 933-1)
E-moduli [MPa]	200
Routivuus (InfraRYL)	Routimaton
Routivuus GEO	Routimaton

Kokeen nimi (Menetelmä) [ Yksikkö ]	Tulos
Vesipitoisuus (SFS-EN 1097-5:99) [%]	1.11

Seulat mm	Ohjealue		Läpäisy %
	min	max	
80			100
56			100
45			97
31.5			91
22.4			76
16			60
11.2			43
8			33
5.6			27
4			22
2			16
1			11
0.5			8
0.25			6
0.125			4
0.063			2,4

\* Poikkeaa ohjeseuista



Huomi! Testausulos koskee ainoastaan testattua näytettä.

Jakelu

Päiväys 29.10.2012

Allekirjoitus

Salonen Joni

Lab.vuuro 420096  
Teollisuuskujja 2, Pyhtää  
040-3500480  
etunimi.sukunimi@destia.fi