

ROUTIMISKERTOIMEN MÄÄRITYS



Seppo Saarelainen

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Alkusanat

Tien pohja- ja päällysrakenteet –tutkimusohjelman (TPPT) lopputulosten tavoitteena on entistä kestävämpien uusien ja perusparannettavien kestopäällystettyjen teiden rakentaminen siten, että myös rakenteiden vuosikustannukset alenevat. TPPT-ohjelmassa kehitettiin tierakenteiden mitoitusta (TPPT-suunnittelujärjestelmä). Suunnittelujärjestelmään kuuluvissa mitoitushjeissa ja menetelmäkuvauksissa esitetään ne menettelytavat ja keinot, joita käyttäen tierakenne voidaan kohdekohtaisesti suunnitella ja mitoittaa. TPPT-suunnittelujärjestelmään sisältyy myös päällysrakenteen elinkaarikustannustarkastelu, jonka suorittamiseksi esitetään menettelytapa.

Suunnittelujärjestelmälle on ominaista, että tierakenteen mitoitus tapahtuu paikkakohtaisilla tiedoilla ja parametreilla (liikenne, ilmasto, pohjamaa, käytettävät rakennemateriaalit, vanhat rakenteet). Mitoituksessa käytettävien pohjamaata ja rakennemateriaaleja koskevien parametrien määrittäminen tapahtuu ensisijaisesti laboratoriokokeilla tai maastossa tehtävin mittauksin ja tutkimuksin. Myös muiden mitoituksessa tarpeellisten lähtötietojen hankinnassa ja ongelmakohtien tai muutoskohtien paikannuksessa käytetään maastossa ja tiellä tehtäviä havaintoja ja mittauksia.

Suunnittelujärjestelmään kuuluvat oleellisena osana sitä täydentävät suunnittelun ja mitoituksen lähtötietojen hankintaa käsittelevät ”menetelmäkuvaukset”. Esitettävät menetelmät ja menettelytavat on todettu käyttökelpoisiksi käytännön havaintojen ja kokeiden perusteella.

TPPT-ohjelman tuloksena laaditaan myös yhteenveto ohjelmaan sisältyneistä, mitoitushjeiden laadinnassa hyväksikäytetyistä koerakenteista sekä yhteenveto tien rakennekerrosten materiaaleista ja niiden valintaan vaikuttavista tekijöistä.

Tämän ”Routimiskertoimen määrittäminen” menetelmäkuvauksen on laatinut Seppo Saarelainen VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta. Menetelmäkuvauksen sisältö on käyty läpi yhdessä tielaitoksen asiantuntijoiden kanssa.

Joulukuussa 2001

Markku Tammirinne

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO JA MÄÄRITELMIÄ.....	3
2	ROUTIMISKERTOIMEN MÄÄRITYSMENETELMÄT	4
3	ROUTIMISKERTOIMEN TAKAISINLASKENTA ROUTANOUSUHAVAINNOISTA.....	4
	3.1 Menetelmät	4
	3.2 Lähtötiedot	4
	3.3 Arviointi likimääräiskaavalla.....	5
	3.4 Arviointi mallikäyrästöjen avulla	6
4	ROUTIMISKERTOIMEN ARVIOINTI LUOKITUSOMINAISUUKSIEN PERUSTEELLA	10
5	ROUTIMISKERTOIMEN PISTEKOHTAINEN MÄÄRITYS ROUTANOUSUKOKEESTA	11
6	ROUTIMISKERTOIMEN MÄÄRITYKSEN LUOTETTAVUUS.....	11
7	KIRJALLISUUS	13

1 JOHDANTO JA MÄÄRITELMIÄ

Pohjamaan **routivuutta** kuvataan maalajin routivuudella. Maalajin routivuutta puolestaan arvioidaan yleisesti rakeisuuden perusteella. Lisäksi routivuuden arviointiperusteena käytetään joskus myös maalajin kapillaarisuutta.

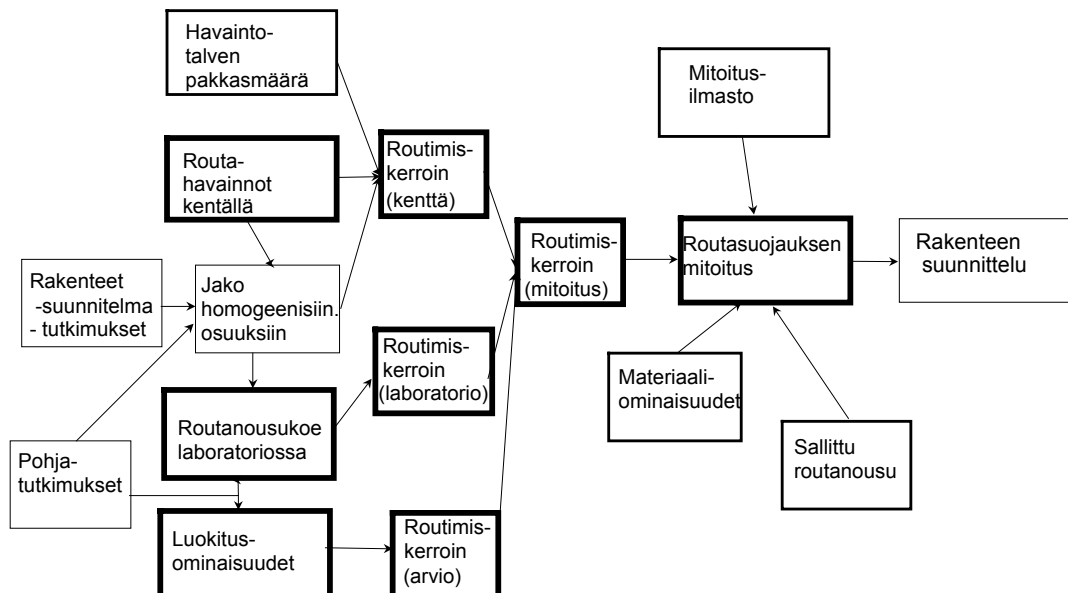
Epäsuorat, luokittelevat routivuuden määritykset kuvaavat yleensä vain kyseisen maalajin routanousuriskiä. Routivaksi luokiteltu maalaji voi jäätyessään paisua, jos vettä jäätyvään materiaaliin on saatavissa. Routivuus maalajin rakeisuuden perusteella määritettynä ei kuvaa millään tavalla routimisen voimakkuutta tai routanousun suuruutta.

Routanousuun vaikuttaa talven ankaruus, jota kuvataan **pakkasmäärällä**, sekä paikalliset olosuhteet, kuten routivan maalajin laatu, kuivatusolosuhteet, rakenteen paino ja routasuojaustaso (routimattoman rakenteen lämmöneristyskyky). Edelleen routanousu on verrannollinen routaantuneen, routivan maakerroksen paksuuteen.

Routanousun mukaan mitoitettaessa (Menetelmäkuvaus TPPT 18 Tierakenteen routamitoitus) tierakenne tulee suunnitella paikallisiin pohjasuhteisiin ja ilmasto-oloihin sekä ottamalla huomioon itse rakenne (penger/leikkaus) (kuva 1).

Routimiskertoimella tarkoitetaan routanousunopeuden ja routarajalla vaikuttavan lämpötilagradientin suhdetta. Lämpötilagradientti määritetään pintalämpötilan keskiarvon ja tehokkaan routan syvyyden suhteena.

Routimiskerroin (SP) on pohjamaan routanousun voimakkuuden tunnusluku, jota käytetään routanousun mitoituslaskennassa. Päälysrakenne mitoitetaan tietylle routanousulle ottaen huomioon kohteen mitoitustalven pakkasmäärä, päälysrakenteen materiaalit ja pohjamaan routimiskerroin. Routimiskerointa tarvitaan tien päälysrakenteen routasuojauksen mitoituksessa jatkuvana pitkin rakennettavaa tai perusparannettavaa tielinjaa.



Kuva 1. Tierakenteen routamitoitus, tehtävät ja niiden väliset suhteet (Menetelmäkuvaus TPPT 18).

Routanousuhteella tarkoitetaan mitatun routanousun ja routineen maakerroksen paksuuden suhdetta. Routineen maakerroksen paksuus on jäätyvän maakerroksen paksuus lisätynä routanousun aiheuttamalla jäätyneen kerroksen paksuuden suurenemisella.

2 ROUTIMISKERTOIMEN MÄÄRITYSMENETELMÄT

Routimiskerroin SP voidaan määrittää joko

- takaisinlaskemalla olemassa olevan tien routanousuhavainnoista tai
- arvioimalla likimäärin pohjamaan luokitusominaisuuksien perusteella.

Arviota voidaan varmentaa laboratoriossa pohjamaasta otetulla näytteellä tehtävän routanousukokeen perusteella (Menetelmäkuvaus TPPT 6 Routanousukoe). Näytteen tulee edustaa tien alla routaantuvaa pohjamaata tai alusrakennetta sekä kyseistä homogeeniseksi rajattua maastokohtaa.

3 ROUTIMISKERTOIMEN TAKAISINLASKENTA ROUTANOUSUHAVAINNOISTA

3.1 Menetelmät

Tierakenteiden routamitoitus routanousun perusteella edellyttää pohjamaan routimisoimaisuuksien tuntemista ja ominaisuuksien määrittämistä. Yhtenä vaihtoehtona ominaisuuksien määrittämisessä on routanousun (ja roudan syvyyden) mittaaminen kohteessa. Näistä routanousuhavainnoista routimiskerroin voidaan arvioida, kun pakkasmäärä, routanousu, roudan syvyys ja pohjamaan laatu ovat tunnettuja. Routimiskerroin voidaan arvioida routanousuhavainnoista

- likimääräiskaavoilla,
- käyrästömenetelmällä tai
- routanousukokeesta pistekohtaisesti.

3.2 Lähtötiedot

Takaisinlaskennassa tarvitaan tiedot havaintotalven pakkasmäärästä, tien rakenteesta, pohjamaan laadusta ja tienpinnan routanoususta. Routimiskertoimen arvio voidaan varmentaa mitatun roudan syvyyden perusteella (Menetelmäkuvaus TPPT 5 Roudan syvyyden määrittäminen).

Havaintotalven pakkasmäärä havaintokohteessa määritetään Menetelmäkuvauksessa TPPT 4 "Ilmastorasitus" esitetyllä tavalla havaintotalven vuorokausikeskilämpötilojen perusteella. Näitä ilmastotietoja on menneiltä vuosilta koottuna mm. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa.

Tienpinnan routanousu mitataan menetelmäkuvauksen TPPT 14 "Routanousun ja painuman mittaus" mukaisesti ja roudan syvyys menetelmäkuvauksen TPPT 5 "Roudan syvyyden määrittäminen" mukaisesti.

Vanhan tierakenteen paksuus, kerrokset ja laatu määritetään menetelmäkuvauksessa TPPT 13 "Tien rakennekerrostutkimukset" esitetyllä tavalla. Samassa yhteydessä määritetään myös pohjamaan laatu (savipitoisuus, vesipitoisuus).

3.3 Arviointi likimääräiskaavalla

Homogeenisen pohjamaan jäätyessä sen routanoususuhde on kaavan (1) muotoa (Saarelainen 1999).

$$\varepsilon_f = \frac{2SP}{k^2} + 0,09w_{vol} \quad (1)$$

Routanoususuhde ε_f on routanousun ja routaantuneen alusrakenteen paksuuden suhde (kaava 2).

$$\varepsilon_f = \frac{h}{z - z_o} = \frac{h}{k\sqrt{F} - z_o} \quad (2)$$

Yhtälöistä (1) ja (2) saadaan:

$$SP = \frac{k^2}{2} \cdot \left(\frac{h}{z - z_o} - 0,09w_{vol} \right) = \frac{k^2}{2} \cdot \left(\frac{h}{k\sqrt{F} - z_o} - 0,09w_{vol} \right) \quad (3)$$

Otaksumalla, että

$$k = 10 \text{ mm}/\sqrt{Kh}$$

$$w_{vol} = 0,4$$

saadaan

$$SP = \frac{50h}{10\sqrt{F} - z_o} - 1,8 \quad (4)$$

joissa	SP on	routimiskerroin, mm^2/Kh
	ε_f	routanoususuhde (-)
	k	routaantumiskerroin, mm/\sqrt{Kh} ($z = k\sqrt{F}$, taulukko 1)
	w_{vol}	tilavuusvesipitoisuus, - ($w_{vol} = w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w}$)
	w	vesipitoisuus, -
	ρ_d	kuivatiheys, kg/m^3
	ρ_w	veden tiheys, kg/m^3
	z_o	päällysrakenteen paksuus, mm
	z	routan syvyys, mm
	h	routanousu, mm
	F	pakkasmäärä, Kh

Routaantumiskerrointa käytetään tavallisesti tasalaatuisen maan routaantumissyvyyden arvioinnissa ja sen suuruus riippuu mm. maalajista ja vesipitoisuudesta. Tien kohdalla routaantumiskerroin riippuu myös tierakenteen lämpöteknisistä ominaisuuksista suhteessa pohjamaahan. Jos tien rakennemateriaalit poikkeavat merkittävästi pohjamaasta tai alusrakenteesta, k-kerroin riippuu siis myös rakennepaksuudesta. Routivalla maapohjalla (esim. siltti) olevan tien kohdalla k-kerroin vaihtelee likimäärin välillä 10...13 (taulukko 1).

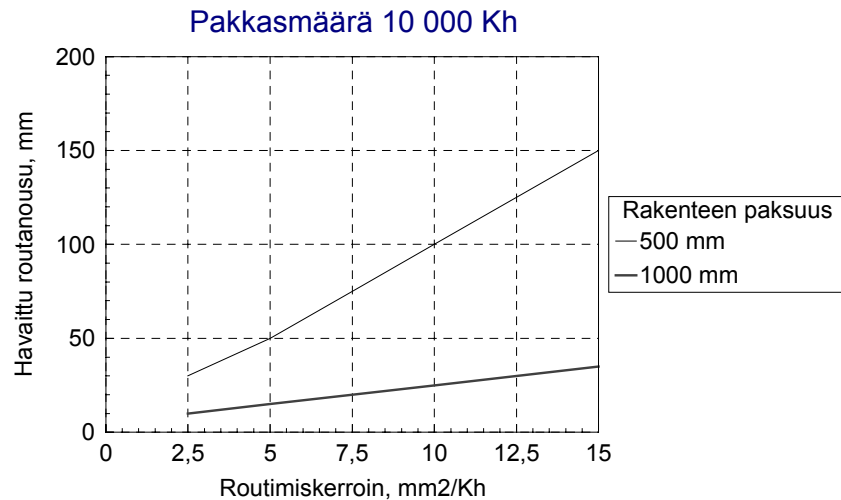
Taulukko 1. Routivalla pohjamaalla olevan tien likimääräinen routaantumiskerroin (k) eri rakennepaksuuksilla. Soveltuu vain suurimman roudan syvyyden arviointiin tien keski-alueella.

Tierakenteen kokonaispaksuus, mm	Routaantumiskerroin roudan syvyyden maksimin arviointiin, $\frac{\text{mm}}{\sqrt{Kh}}$
500	10
1000	10
1500	11
2000	12
2500	13

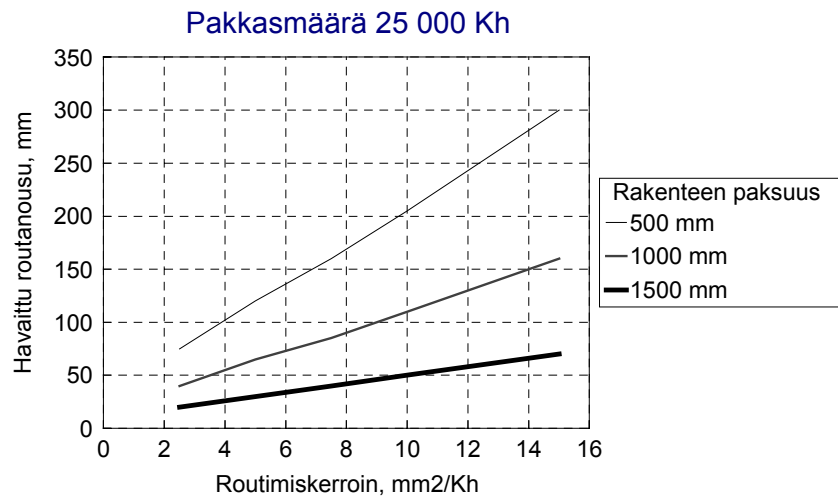
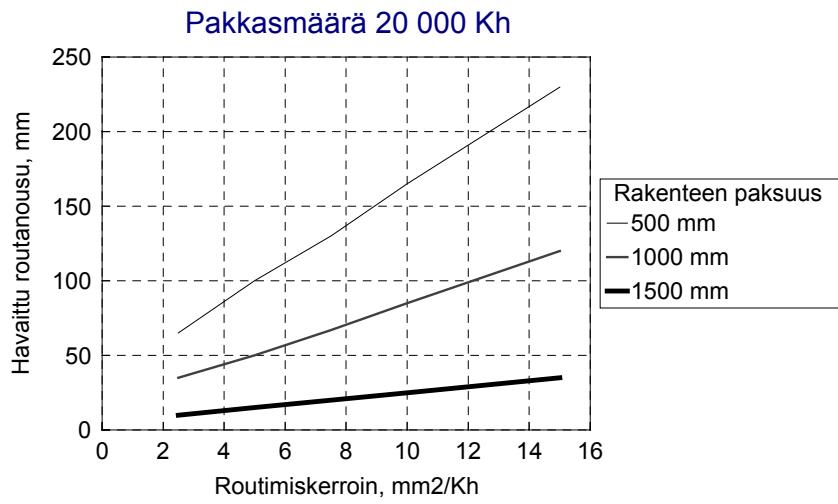
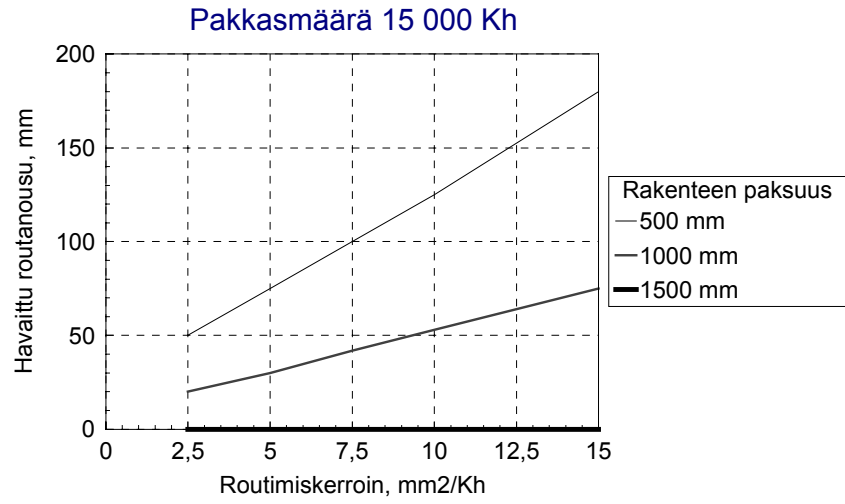
3.4 Arviointi mallikäyrästäojen avulla

Routanousun, routimiskertoimen, pohjamaan routimiskertoimen ja tierakenteen paksuuden vuorosuhde erällä pakkasmäärän arvoilla SSR-mallilla laskettuina (Saarelainen 1992) on esitetty kuvassa 2. Laskennassa tierakenteen on otaksuttu koostuvan päällysteestä, kantavasta ja jakavasta kerroksesta sekä suodatinkerroksesta, joille otaksutaan tavanomainen tiheys ja vesipitoisuus. Pohjamaan otaksutaan olevan routivaa siltiä, jonka kuivatiheys on $1,6 \text{ t/m}^3$ ja vesipitoisuus 25 %.

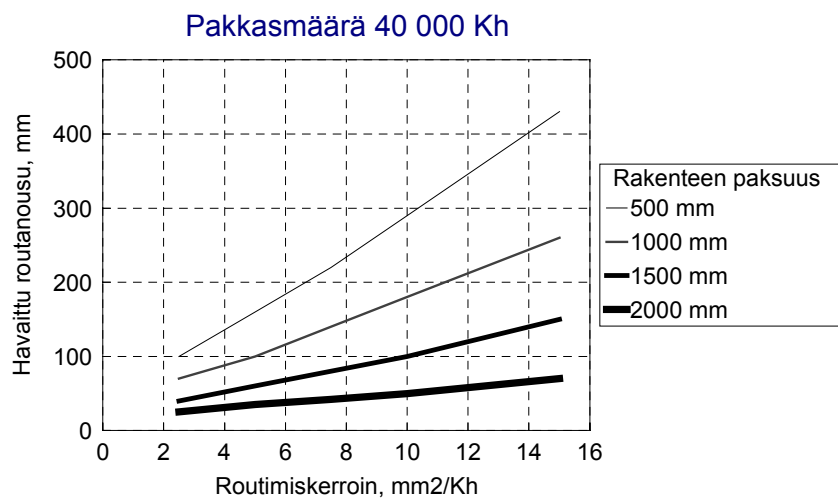
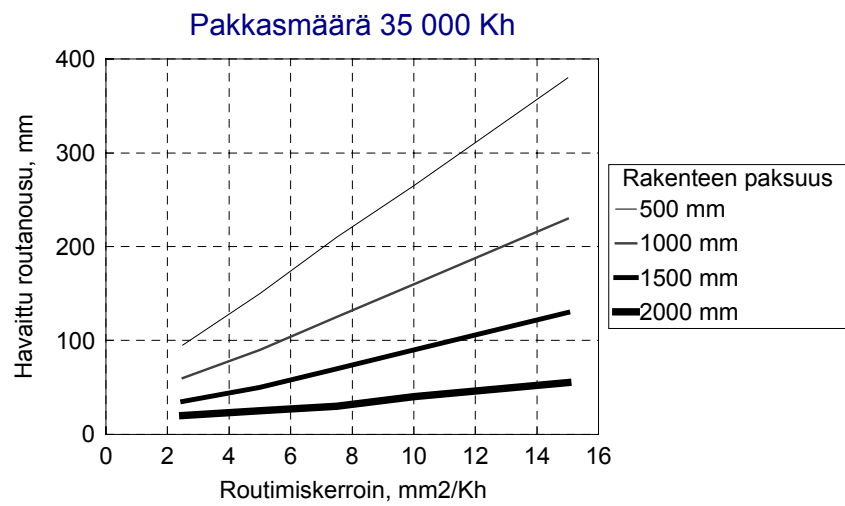
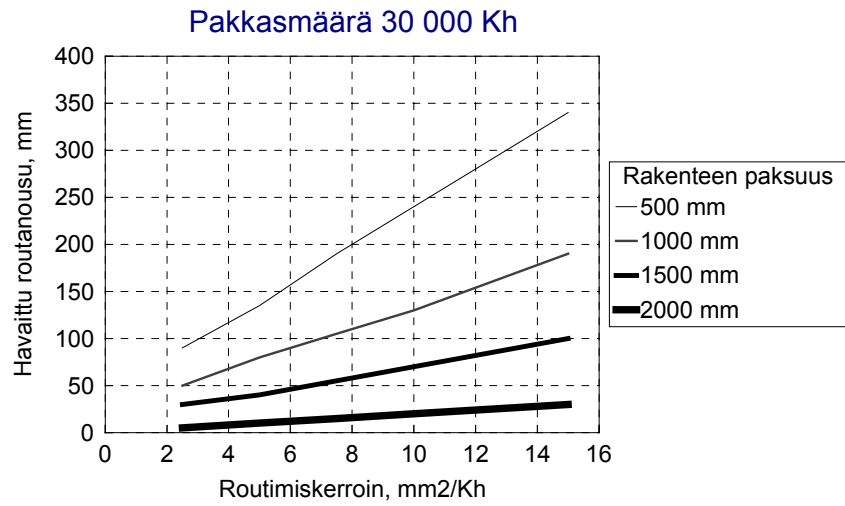
Arviointimallin muodostamiseksi määritetään päällysrakenteen paksuutta ja routanousua vastaava routimiskerroin havaintotalven pakkasmäärää lähimpien pakkasmääräkäyrästäojen avulla. Senjälkeen piirretään pakkasmäärän ja sitä vastaavan routimiskertoimen kuvaaja. Kuvaajasta voidaan määrittää havaintotalven pakkasmäärää vastaava routimiskertoimen arvo.



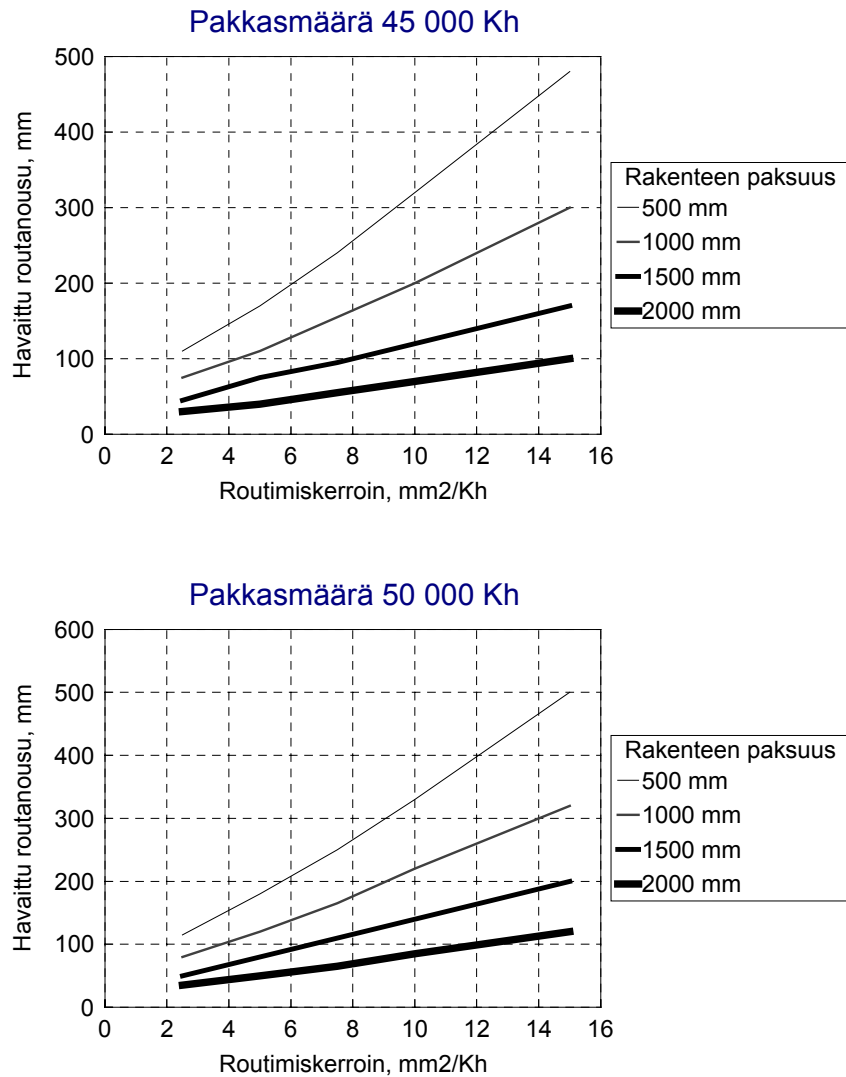
Kuva 2. Havaitun routanousun, routimiskertoimen ja rakenteen paksuuden vuorosuhde, kun havaintotalven pakkasmäärä on 10 000 Kh.



*Kuva 2 (jatkoa). Havaitun routanousun, routimiskertoimen ja rakenteen paksuuden vuoro-
suhde, kun havaintotalven pakkasmäärä on 15 000, 20 000 tai 25 000 Kh.*



*Kuva 2 (jatkoa). Havaitun routanousun, routimiskertoimen ja rakenteen paksuuden vuoro-
suhde, kun havaintotalven pakkasmäärä on 30 000, 35 000 tai 40 000 Kh.*



*Kuva 2 (jatkoa). Havaitun routanousun, routimiskertoimen ja rakenteen paksuuden vuoro-
suhde, kun havaintotalven pakkasmäärä on 45 000 tai 50 000 Kh.*

Esimerkki

Routimiskerroin arvioidaan havaintojen perusteella seuraavasti:

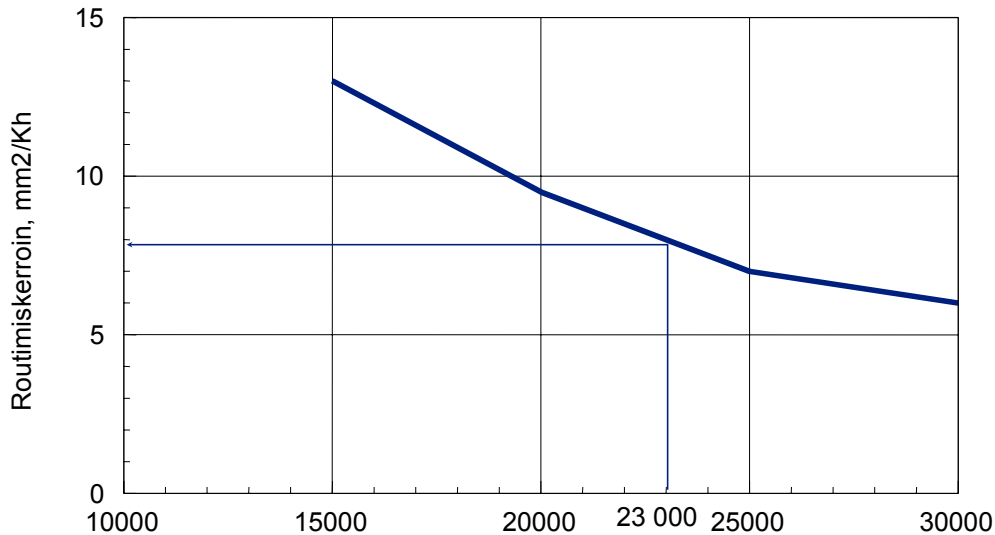
Havainnot kohteessa:

- määritetty rakenteen paksuus $z_0 = 700$ mm
- laskettu havaintotalven pakkasmäärä $F = 23\ 000$ Kh
- mitattu routanousu $h = 125$ mm

Käyrästä kuvassa 2 määritetään pakkasmäärää 20 000 Kh ja 25 000 Kh vastaava routimiskerroin (taulukko 2). Routanousukertoimen ja routanousun vuorosuhde havaitulla routanousulla ja rakenteen paksuudella on esitetty kuvassa 3.

Taulukko 2. Routimiskerroin SP ja pakkasmäärä, kun rakenteen paksuus on 700 mm, ja routanousu on 125 mm (esimerkki).

Pakkasmäärä, Kh	Routimiskerroin SP, mm ² /Kh
15 000	13
20 000	9,5
25 000	7
30 000	6



Kuva 3. Routimiskertoimen arviointi. Esimerkki.

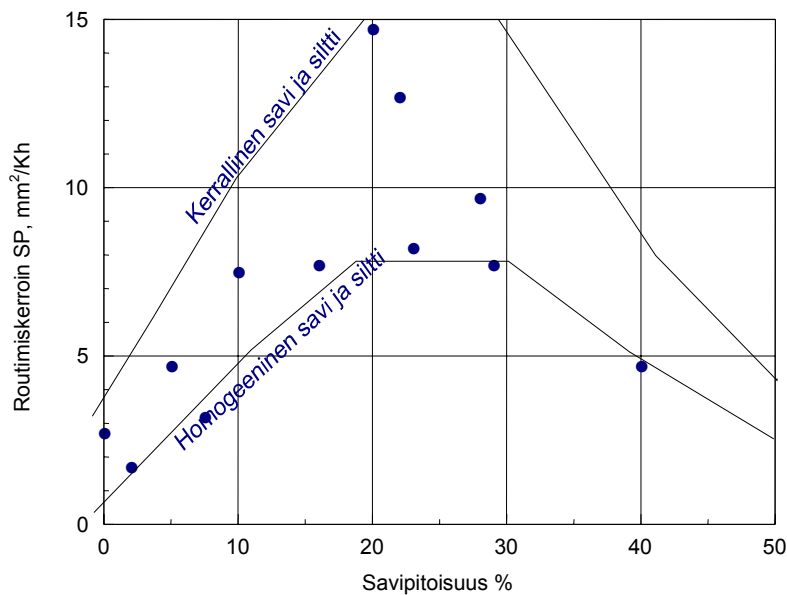
Kuvasta 3 saadaan routimiskertoimen arvoksi noin 7,8 mm²/Kh. Kaavalla (4) saadaan routimiskertoimen arvoksi SP = 5,85 mm²/Kh.

4 ROUTIMISKERTOIMEN ARVIOINTI LUOKITUSOMINAISUUKSIEN PERUSTEELLA

Routimiskertoimen suuruusluokka voidaan karkeasti arvioida maalajin rakeisuustietojen perusteella. Arvioinnin perusteena voi olla maalajin hienousluku, savilajitepitoisuus tai jokin muu maalajin luokitusominaisuus. Suurin osa epäsuorista arviointimenettelyistä pohjautuu laboratoriomäärittysten ja luokitusominaisuuksien empiiriseen vuorosuhteeseen.

Kenttähavainnoista lasketun routimiskertoimen ja vastaavan pohjamaan savipitoisuuden likimääräinen vuorosuhde on esitetty kuvassa 4. Samalla savipitoisuudella homogeenisen saven routimiskerroin oli keskimääräistä pienempi, kun taas kerrallisilla savilla (mm. itä-Suomen savet) keskimääräistä suurempi. Mitoitusta varten tulisi valita ylärajan arvo tai tarkistaa vuorosuhde routanousukokeella laboratoriossa. Routanousukokeen suorittamisesta on menetelmäkuvaus TPPT 6 ”Routanousukoe. Routimiskertoimen (SP) määrittäminen laboratoriossa”.

Pohjamaan savipitoisuus tutkitaan pohjatutkimusten yhteydessä laboratoriossa. Näytteet otetaan pohjamaasta erillisen tutkimussuunnitelman mukaan. Näytteiden tulee edustaa koko jäätyvää alusrakennekerrosta.



Kuva 4. Routimiskertoimen SP riippuvuus savipitoisuudesta eräiden kenttähavaintokohteiden mukaan (Saarelainen 1992, Saarelainen 1999, TPPT:n koerakennuskohteet).

5 ROUTIMISKERTOIMEN PISTEKOHTAINEN MÄÄRITYS ROUTANOUSUKOKEESTA

Routimiskerroin voidaan määrittää tutkimuskohteen edustavasta pisteestä otetulla maanäytteellä laboratoriossa soveltaen menetelmäkuvausta TPPT 6 ”Routanousukoe. Routimiskertoimen (SP) määrittäminen laboratoriossa”. Maastoalue ja maakerros, johon määritettyä SP-arvoa voidaan soveltaa, määräytyy alueen pohjamaan rakenteen ja pohjatutkimustietojen perusteella.

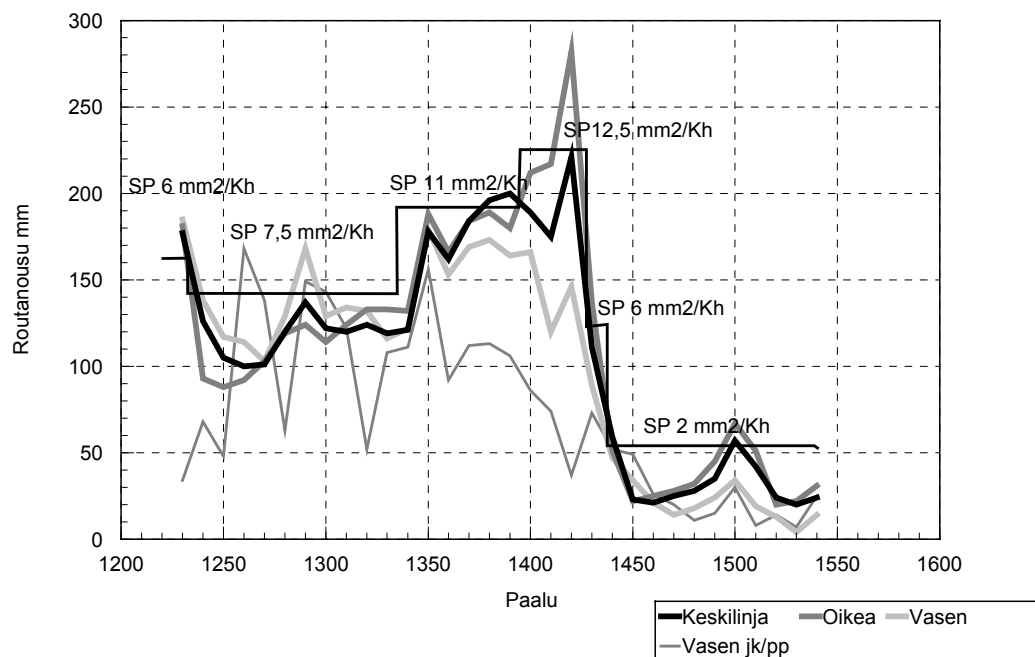
6 ROUTIMISKERTOIMEN MÄÄRITYKSEN LUOTETTAVUUS

TPPT-suunnittelujärjestelmässä routanousun mitoituksessa (menetelmäkuvaus TPPT 18 Tierakenteen routamitoitus) käytetään pohjamaan parametrina routimiskerrointa SP. Sen arvo on mahdollista määrittää paikallisesti havaitun routanousun perusteella takaisinlaskennalla. Menetelmä soveltuu käytettäväksi lähinnä parantamiskohteissa, missä routanousu voidaan havaita tielinjalla. Routanousulle ja routimiskertoimelle on ominaista pienipiirteinen vaihtelu.

Toisena vaihtoehtona on routimiskertoimen vaihtelun arviointi epäsuorasti pohjamaan luokitusominaisuuksien perusteella kontrolloiden SP-arvoa alueittain tai pisteittäin routanousukokeella laboratoriossa. Esim. pelkän savipitoisuuden käyttö johtaa epätarkkuuteen, jonka suuruusluokkaa voidaan arvioida kuvan 4 savipitoisuus-routimiskerroin -vuorosuhteen perusteella. Tekemällä kontrolloivia routanousukokeita voidaan arvion luotettavuutta parantaa. Routanousun määrittäminen pisteittäin laboratoriossa vastaa likimain kenttähavainnoista määritettyä routanousua.

Koska rakennetta ei yleensä voida vaihdella seuraamaan vaihtelevaa routanousua, niin routanousuhavaintojen ja päällysrakenteen paksuuden perusteella tehdään suunnitteluosuu-
della jako routamitoituksen kannalta homogeenisiin osuuksiin. Kunkin osuuden mitoitussarvo

määritetään joko maksimin tai varovaisen maksimikeskiarvon perusteella (kuva 5). Tällöin voidaan otaksua, ettei mitoituksessa sovellettu routanousu toistu riskitasoa merkittävästi useammin ja suurempana.



Kuva 5. Rovaniemi, Pappilantie. Routanousu keväällä 1997 (Saarelainen 1999).

Kuvasta 5 havaitaan, että routanousu ja samalla routimiskerroin vaihtelevat homogeenisiksi määritettyjen osuuksien sisälläkin. Esimerkissä mitoittava routanousukerroin vastaa homogeenisella osuudella mitattua suurinta routanousua. Tällöin mitoittava routanousu toteutuu vain näissä pisteissä. Muissa homogeenisen osuuden pisteissä kriteeri toteutuu pienemmällä todennäköisyydellä.

Kenttäkohteista takaisin lasketun SP-arvon vaihtelu samalla savipitoisuudella on kuvan 4 perusteella $\pm 2 - 3 \text{ mm}^2/\text{Kh}$. Eri savipitoisuuksia vastaavat SP-arvot ovat seuraavat:

Taulukko 3. Routimiskertoimen SP riippuvuus savipitoisuudesta (vrt. kuva 4).

Savipitoisuus, %	SP(min)	SP (keskiarvo)	SP(max)
0	0	2	4
10	5	7,5	10
20	7,5	11	15
30	7,5	11	15
40	5	7	9

Routanousu on likimäärin lineaarisesti verrannollinen routimiskertoimeen. Tällöin routanousuarvion virhe on SP-arvon tasolla $5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$ noin $\pm 40 \%$ ja SP-arvon tasolla $10 \text{ mm}^2/\text{Kh}$ noin $\pm 20 \%$.

Jos mitoitusroutanousu on keskiarvoon perustuvan arvion mukaan 50 mm, niin routanousu voi olla lievästi routivilla pohjamailla 30-70 mm ja voimakkaasti routivilla mailla 40-60 mm. Mitoitusroutanousulla 100 mm vaihtelu on vastaavasti 60-140 mm tai 80-120 mm.

Jos mitoituksessa lähdetään siitä, ettei vaurioitumiskriteeriä saa ylittää, niin on suositeltavaa käyttää luokitusominaisuuksien perusteella arvioidulle routimiskertoimelle yläkiarvoa. Tämä johtaa keski-Suomen olosuhteissa ($F_{10} = 40\,000 \text{ Kh}$) noin 100-200 mm paksuupiin

rakennekerrokseen. Lämpöeristetyssä rakenteessa tarvitaan vastaavasti 10-20 mm enemmän lämpöeristepaksuutta. Arviota voidaan tarkentaa routanousukokeilla laboratoriossa tai routanousuhavainnoin.

Pohjamaan routimiskerroin voidaan luotettavimmin arvioida tienpinnan routanousuhavaintojen perusteella. Jos havaintoja ei ole käytettävissä, tulisi pohjamaan laatu tutkia rakeisuusmäärityksin. Rakeisuusmääritysten perusteella määritetyillä homogeenisilla osuuksilla voidaan routimiskerroin tarkentaa laboratoriossa routanousukokeella.

7 KIRJALLISUUS

Ilmastorasitus. Menetelmäkuvaus TPPT 4. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2001

Routanousukoe. Routimiskertoimen (SP) määrittäminen laboratoriossa. Menetelmäkuvaus TPPT 6. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2001

Routanousun ja painuman mittaus. Menetelmäkuvaus TPPT 14. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2001

Tierakenteen routamitoitus. Menetelmäkuvaus TPPT 18. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 2001

Saarelainen S., 1999. Katujen routasuojaus. Työraportti koerakentamisesta 1995-97.

Saarelainen S., 1992. Modelling frost heaving and frost penetration at some observation sites in Finland. The SSR model. VTT, Publications 95. 120 s.

Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus

TPPT Menetelmäkuvaukset

TPPT ***Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus***

Nro

- 17 Kuormituskestävyysmitoitus. Päällysrakenteen väsyminen
- 18 Tierakenteen routamitoitus
- 19 Tien jatkuvan painumaprofiilin laskenta pixelimallilla
- 20 Päällysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi
- 21 Mitoituksen lähtötietojen hankkiminen

TPPT

Nro

Menetelmäkuvaukset

- 1 Pudotuspainolaitemittaus (PPL-mittaus)
- 2 Rakennekerrosmoduulien takaisinlaskenta sekä jännitysten ja muodonmuutosten laskenta
- 3 Liikennesuunnittelun laskeminen
- 4 Ilmastorasitus. Pakkasmäärän ja sulamiskauden pituuden määrittäminen
- 5 Routausmittauksen määrittäminen
- 6 Routausmittaus. Routimiskertoimen (SP) kokeellinen määrittäminen
- 7 Routimiskertoimen määrittäminen
- 8 Lämmönjohtavuuden määrittäminen
- 9 Sähköinen vastusluotaus tien painumalaskennan lähtötietojen hankkimisessa
- 10 Radiometrinen reikämittaus
- 11 CPTU - kairaus
- 12 Lämpäisevän kerroksen määrittäminen painumalaskennan tarpeisiin
- 13 Tien rakennekerrostutkimukset
- 14 Routausmittaus ja painuman mittaus
- 15 Tien vauriokartoitus ja vaurioiden kuvaus
- 16 Palvelutasomittaus (PTM) tien rakenteen parantamisen suunnittelussa