

TIIVISTELMÄ

Kevytpäällysteisten teiden vaurioitumismallien ja mitoitusmenetelmien kehittäminen –projektin yhtenä tavoitteena oli laatia kevytpäällysteisten teiden rakenteen parantamisen mitoitusmenettely. Kehitetty mitoitusmenettely on tarkoitettu tavanomaisille kevytpäällysteisille teille, joilla tarkoitetaan ohutpäällysteisiä AB-teitä sekä PAB-päällysteisiä teitä. Mitoitusmenettely soveltuu teille, joiden KVL on korkeintaan 3000 ajon./vrk.

Mitoitusmenettelyllä pyritään rajoittamaan kevytpäällysteisten teiden toimintaan oleellisesti vaikuttavien roudan aiheuttamien halkeamien sekä pituus- ja poikkisuuntaisten epätasaisuuksien syntymistä. Poikkisuuntaista epätasaisuutta kuvataan ajourien välisellä harjanteen korkeudella.

Pituushalkeamien mitoittamisessa peruslähtökohtana on kohteen pituushalkeamakartoitus. Mitoittamisen lähtötietoina tarvitaan rakennepaksuus, mitattu routanousu tien keskilinjalla sekä havainto- ja mitoituslavan pakkasmäärät. Näiden pohjalta määritetään mitoituslavan routanousu ja alusrakenteen routimiskerroin. Laadittujen mitoituskäyrästöjen avulla määritetään rakennepaksuus siten, että parannetun rakenteen tien pinnan routanousu paikkakunnan mitoituslavan pakkasmäärällä ei ylitä sallittua routanousua.

Pituussuuntaisen epätasaisuuden mitoittamisessa lähtökohtana on kohteen IRI-mittaus. Mitoittamisen lähtötietoina tarvitaan alusrakenteen materiaalityyppi, mitattu routanousu tien keskilinjalla, rakennepaksuus sekä havainto- ja mitoituslavan pakkasmäärät. Rakennetietojen ja mitoituslavan lasketun routanousun perusteella määritetään tarkasteltavien rakenteiden IRI:n kasvunopeudet. Saatujen epätasaisuuden kasvuarvojen perusteella mitoitetaan parannettu rakenne siten, että epätasaisuuden kasvu ei ylitä mitoituslavan routanousulla sallittua IRI:n kasvunopeutta.

Poikkisuuntaisen epätasaisuuden mitoitus perustuu ajourien välisen harjanteen kasvunopeuden määrittämiseen. Mitoittamisessa tarvitaan tietoja parannettavasta rakenteesta, sen kunnosta, liikenteestä ja ilmastosta (kohteen sijainnista). Harjanteen kasvun määrittäminen pohjautuu ylimmän sitomattoman kerroksen pystysuoraan kimmoiseen kokoonpuristumaan, mikä puolestaan arvioidaan PPL-mittauksilla määritettyjen taipumien ja rakennetietojen perusteella. Kimmoisten kokoonpuristumien perusteella määritetään kerroksen pysyvät muodonmuutokset ottaen huomioon ylimmän sitomattoman kerroksen materiaalin hienoainespitoisuus ja liikennekuormitusten määrä. Harjanteen kasvunopeus määritetään puolestaan pysyvien muodonmuutosten sekä olosuhteita (routimista) ja poikkigeometriaa kuvaavien tekijöiden avulla. Harjanteen kasvunopeus vuotta kohti ”kalibroidaan” kertomalla tiekohteelta mitattu todellinen harjanteen kasvunopeus parannetulle ja parannettavalle rakenteelle laskennallisesti määritettyjen harjanteen kasvunopeuksien suhteella.

Rakenteen parantamisen mitoittamisen tehdään vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa määritetään sellainen routimattomien kerrosten yhteispaksuus, mikä estää mitoitussolosuhteissa pituushalkeamien syntymisen tietyllä todennäköisyydellä. Toisessa vaiheessa arvioidaan laskennallisesti parannettavan ja parannetun rakenteen IRI:n lisääntyminen sekä kalibroidaan tulokset parannettavan rakenteen mitattujen IRI-arvojen perusteella. Kolmannessa vaiheessa arvioidaan laskennallisesti parannettavan ja parannetun rakenteen harjanteen kasvu sekä kalibroidaan tulokset parannettavan rakenteen harjanteen kasvun mitatun arvon perusteella. Parantamistoimenpiteen valinnassa otetaan huomioon aina edellisen vaiheen tulokset.

Keywords: road structure, low volume roads, structure rehabilitation, damage, design

ABSTRACT

One of the aims of the project *Improvement of Thinly Paved Road Failure Models and Design Procedures* was to propose a design method for structure rehabilitation of thinly paved asphalt concrete or soft asphalt concrete roads. The method is suitable for roads with an average daily traffic load of up to 3000 vehicles.

The design method represents an attempt to limit the occurrence of frost-induced cracks and longitudinal and transverse unevenness, which greatly detract from the functional quality of such roads. Transverse unevenness can be described in terms of the height of the ridge between the wheel ruts.

The basic starting point for the elimination of longitudinal cracks is the survey of existing cracks, including details of the thickness of road structure, frost heave measured along the centre line of the road and cold content for the actual winter and the typical winter (F_{10}) to which the design is to apply. These data are used to define the frost heave in the design winter and the segregation potential of the subgrade. The thickness of road structure can then be selected so that the frost heave of the improved road structure at the cold content recorded for the locality in question does not exceed the permitted frost heave.

The design principles with regard to longitudinal unevenness set out from measurement of the IRI. Data are then required on the material quality of the subgrade, frost heave measured along the centre line of the road, thickness of road structure and cold content for the actual winter and the design winter (F_{10}). The structural thickness must be designed so as to ensure that the rate of growth in the IRI does not exceed permitted IRI growth for the frost heave envisaged in the design winter.

Design with respect to transverse unevenness calls for data on the structure and distress of the road to be improved, traffic volumes and the prevailing climate (i.e. the locality in which it is situated). Defining of the development of a ridge between the wheel ruts is based on the vertical elastic compression strain of the uppermost unbound layer, which may in turn be estimated from structural data and the deflections measured by FWD. The vertical elastic compression strains in relation to the fines content of the uppermost unbound layer and the traffic loading are used to define the permanent deformations, while the rate of ridge growth can be determined from these permanent deformations together with factors describing the physical conditions (freezing) and the cross-sectional geometry of the road. The annual rate of ridge growth is then "calibrated" by multiplying the real, measured ridge growth by the ratio between the calculated rates of ridge growth obtained for the improved and original structures.

ALKUSANAT

Tielaitoksen johtoryhmän päätöksellä käynnistettiin *Kevytpäällysteisten teiden vaurioitumismallien ja mitoitusmenetelmien kehittäminen* -projekti kesällä 1999. Projekti toteutetaan osavaiheittain yhteistyössä Oulun yliopiston ja VTT:n kanssa Tiehallinnon ja Tieliikelaitoksen ohjauksessa. Tutkimuksen tässä osavaiheessa (osavaihe V) on kehitetty kevytpäällysteisten teiden rakenteen parantamisen mitoitusmenettely aikaisemmin tehtyjen osavaiheiden sekä tutkimuksen yhteydessä tehtyjen TKT- ja HVS-testien pohjalta.

Seuraavat henkilöt ovat muodostaneet projektin ohjausryhmän:

Aarno Valkeisenmäki	Tieliikelaitos (konsultointi), puheenjohtaja
Panu Tolla	Tieliikelaitos (konsultointi)
Pertti Virtala	Tiehallinto (Hti)
Ismo Iso-Heiniemi	Tiehallinto (Hti)
Tuomas Toivonen	Tiehallinto (Hos)
Kari Lehtonen	Tiehallinto (Htl)
Tuomo Kallionpää	Tiehallinto (Htl)
Esko Ehrola	OY, koordinaattori
Jouko Belt	OY, osavaiheen V vastuhenkilö
Laura Apilo	VTT-YKI, koordinaattori
Jouko Törnqvist	VTT-YKI
Harri Spoof	VTT-YKI
Sami Petäjä	VTT-YKI, sihteeri

Oulun yliopiston rakentamisteknologian tutkimusryhmässä tutkimuksen tekemiseen ja raportin laatimiseen ovat osallistuneet TkL Jouko Belt, DI Veli Pekka Lämsä ja prof. Esko Ehrola. Tutkimuksen kohta 3 "Pituushalkeamien mitoittaminen" on laadittu Harri Kivikosken (VTT) ja kohta 4 "Pituussuuntaisen epätasaisuuden mitoittaminen" Leena Korkiala-Tantun (VTT) työraportin pohjalta. Lisäksi Jouko Törnqvist (VTT) on osallistunut merkittävässä määrin mitoitusmenettelyn kehittämiseen.

SISÄLTÖ

<u>1</u>	<u>JOHDANTO</u>	11
<u>2</u>	<u>MITOITUSMENETTELYN YLEISKUVAUS</u>	12
2.1	<u>Mitoitusmenettelyn soveltaminen</u>	12
2.2	<u>Mitoittavat vauriot ja mitoitustenmenettelyn osavaiheet</u>	13
2.3	<u>Mitoitusmenettelyn lähtötiedot</u>	14
2.3.1	<u>Parannettava tierakenne</u>	14
2.3.2	<u>Parannettu tierakenne</u>	16
2.3.3	<u>Uusi tierakenne</u>	17
2.4	<u>Toimenpiderajat ja mitoituskriteerit</u>	17
2.5	<u>Mitoitusmenettelyn osavaiheiden sisältö</u>	19
2.5.1	<u>Pituushalkeamat</u>	19
2.5.2	<u>Pituussuuntainen epätasaisuus</u>	20
2.5.3	<u>Ajourien välinen harjanne</u>	21
<u>3</u>	<u>PITUUSHALKEAMIEN MITOITTAMINEN</u>	24
3.1	<u>Rakenteen parantamisen mitoittaminen</u>	24
3.1.1	<u>Mitoitusmenetelmän valinta</u>	24
3.1.2	<u>Suosittelava mitoitustenmenettely</u>	24
3.1.2.1	<u>Lähtötiedot</u>	24
3.1.2.2	<u>Mitatun routanousun muuttaminen</u>	
	<u>mitoitustalven routanousuksi</u>	25
3.1.2.3	<u>Mitoitus sallitulle routanousulle</u>	26
3.1.3	<u>Likiarvomenettely</u>	31
3.2	<u>Uuden rakenteen mitoittaminen</u>	32
<u>4</u>	<u>PITUUSSUUNTAISEN EPÄTASAISUUDEN MITOITTAMINEN</u>	33
4.1	<u>Rakenteen parantamisen mitoittaminen</u>	33
4.1.1	<u>Lähtöarvot</u>	33
4.1.2	<u>Routanousumittausten tarpeellisuuden määrittäminen</u>	33
4.1.3	<u>Parannettavan rakenteen laskennallinen ΔIRI</u>	35
4.1.4	<u>Parannetun rakenteen laskennallinen ΔIRI</u>	36
4.1.5	<u>Parannetun rakenteen tarvittava rakennepaksaus</u>	37
4.2	<u>Uuden rakenteen mitoittaminen</u>	37
<u>5</u>	<u>POIKITTAISEN EPÄTASAISUUDEN MITOITTAMINEN</u>	39
5.1	<u>Rakenteen parantamisen mitoittaminen</u>	39
5.1.1	<u>Lähtöarvot</u>	39
5.1.2	<u>Mitoituksen kulku parannettavalle tierakenteelle</u>	40
5.1.2.1	<u>Päällysteen moduuli +20 °C lämpötilassa</u>	
	<u>(kesä)</u>	40
5.1.2.2	<u>Päällysteen moduuli +10 °C lämpötilassa</u>	
	<u>(kevät)</u>	40
5.1.2.3	<u>Taipumaparametrin SCI450 määrittäminen</u>	41
5.1.2.4	<u>Kantavan kerroksen moduuli</u>	43

5.1.2.5	Kantavan kerroksen kimmainen kokoonpuristuma	43
5.1.2.6	Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset	44
5.1.2.7	Parannettavan rakenteen h_{TKT}	45
5.1.2.8	$h_{v \text{ parannettava}}$	46
5.1.3	Mitoituksen kulku parannetulle tierakenteelle	47
5.1.3.1	Parantamisvaihtoehdon valinta	47
5.1.3.2	Päällysteen moduuli +20 °C lämpötilassa (kesä)	47
5.1.3.3	Päällysteen moduuli +10 °C lämpötilassa (kevät)	48
5.1.3.4	D0-taipuman pienennyskerroin	48
5.1.3.5	Taipumaparametri SCI450	50
5.1.3.6	Kantavan kerroksen moduuli	50
5.1.3.7	Kantavan kerroksen kimmainen kokoonpuristuma	51
5.1.3.8	Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset	52
5.1.3.9	Parannetun rakenteen h_{TKT}	53
5.1.3.10	$h_{v \text{ parannettu}}$	54
5.1.4	Harjanteen kasvunopeuden kalibrointi kevyen rakenteen parantamisen yhteydessä	55
5.1.4.1	Mitattu harjanteen kasvunopeus $h_{v \text{ mitattu}}$	55
5.1.4.2	Harjanteen kasvunopeus h_v	56
5.1.5	Harjanteen vertaaminen mitoituskriteeriin	56
5.2	Uuden rakenteen mitoittaminen	57
5.2.1	Lähtöarvot	57
5.2.2	Päällysteen moduulin määrittäminen	57
5.2.3	Kantavan kerroksen moduulin määrittäminen	57
5.2.4	Kantavan kerroksen muodonmuutokset	58
5.2.5	Harjanteen kasvunopeus	58
5.3	Rakentamisen laadun arviointi	59
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	61
7	KIRJALLISUUS	64

1 JOHDANTO

Viime vuosina on voimakkaasti panostettu paksupäällysteisiin AB-teiden käyttäytymisen tutkimiseen TPPT-projektin yhteydessä, jolloin kevytpäällysteiset tiet ovat jääneet vähemmälle huomiolle. Kevytpäällysteisten tierakenteiden mitoittamisen lähtökohtana on hyvin pitkälle käytetty paksuille AB-päällysteisille teille kehitettyjä menetelmiä, missä rakenteen kuormituskestävyys määräytyy pääasiassa päällysteen väsymisen perusteella. Kevytpäällysteisten teiden kuormituskäyttäytyminen poikkeaa kuitenkin paksupäällysteisten AB-teiden käyttäytymisestä. Kun sidottu päällystekerros on ohut ja joustava, raskas liikennekuormitus aiheuttaa sitomattomiin rakennekerrokseen suuria rasituksia, jotka aiheuttavat merkittäviä pysyviä muodonmuutoksia päällysrakennekerrokseen [Belt ym., 2000a].

Kevytpäällysteiset tiet ovat tyypillisesti poikkileikkaukseltaan kapeita ja usein myös tien luiskat ovat jyrkkiä, minkä vuoksi liikennekuormituksen aiheuttamat rasitukset ovat suuria lähellä tien reunaa. Lisäksi sitomattomat päällysrakennekerrokset ovat suhteellisen ohuita, mikä myös lisää liikennekuormituksen aiheuttamia rasituksia. Kevytpäällysteisten teiden käyttäytymisen arviointia vaikeuttaa myös se, että ne ovat rakenteeltaan usein epähomogeenisia ns. rakentamattomia teitä.

Ohutpäällysteisten teiden käyttäytymisen selvittämiseksi käynnistettiin vuonna 1999 *Kevytpäällysteisten teiden vaurioitumismallien ja mitoitusmenettelmien kehittäminen*- projekti, jonka osapuolina ovat Tiehallinto, Oulun yliopiston Rakentamisteknologian tutkimusryhmä ja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.

Tässä raportissa esitetään Kepä-projektin yhteydessä muodostunut käsitys Kevytpäällysteisten teiden rakenteen parantamisen mitoitusmenettelystä. Perusteet mitoitusmenettelylle esitetään erillisissä työraporteissa [Kivikoski, 2001, Korkiala-Tanttu, 2001, Lämsä, 2001].

2 MITOITUSMENETTELYN YLEISKUVAUS

2.1 Mitoitusmenettelyn soveltaminen

Tämä mitoitusmenettely on tarkoitettu tavanomaisille kevytpäällysteisille teille, joilla tarkoitetaan ohutpäällysteisiä AB-teitä (paksuus ennen parantamista 40...80 mm) sekä PAB-päällysteisiä teitä. Sellaiset ohutpäällysteiset tiet, joissa on kulutuskerroksen alapuolisia bitumilla tai sementillä sidottuja tai sitoutuvasta kuonamateriaalista valmistettua kerroksia, eivät kuulu tämän mitoitusmenettelyn soveltamisalueelle. Myöskin lujitteilla vahvistetut tai lämpöeristetyt tierakenteet on rajattu tämän mitoitusmenettelyn ulkopuolelle.

Mitoitusmenettely on tarkoitettu teille, joiden KVL on korkeintaan 3000 ajon./vrk.

Mitoitusmenettelyssä tarkastellaan rakenteen parantamista. Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto tai suuntausta muutetaan, mitoitusmenettely vastaa uuden tien mitoittamista, mikä esitetään ainoastaan yleispiirteisesti. Mitoitusmenettely vastaa poikkisuuntaisen epätasaisuuden (ajourien välisen harjanteen korkeuden) osalta myös uuden tien mitoittamista silloin, kun parantamisessa käytetään ns. rankka parantamista. Harjanteen korkeutta tarkasteltaessa parantaminen on rankkaa silloin, kun parannettavan tien leveys on alle 6.0 m tai parantamisessa lisätään kantavan kerroksen materiaalia yli 300 mm (+uusi kulutuskerros). Hyvin kapeilla teillä ajotapa, rakenteen käyttäytyminen ja rakenne ovat yleensä poikkeavia, minkä takia rakenteen parantaminen mitoitetään kuten uusi tierakenne. Muissa tapauksissa harjanteen korkeutta tarkasteltaessa kyseessä on ns. kevyt parantaminen.

Mitoitusmenettelyssä ei tarkastella maapohjan kokoonpuristumisesta johtuvia painumia eikä niistä aiheutuvia epätasaisuuksia. Niiden osalta tulee soveltaa TPPT-projektissa esitettyjä menetelmiä. Mitoitusmenettelyssä ei myöskään oteta huomioon nastarenkaiden aiheuttamaa kulumista eikä muita päällysteteknisiä asioita. Kuivatus vaikuttaa oleellisesti kevytpäällysteisten tierakenteiden toimintaan. Mitoitusmenettelyssä ei tarkastella erikseen kuivatusta, vaan lähdetään siitä, että kuivatus on kunnossa koko mitoitusajan.

Tässä mitoitusmenettelyn kuvauksessa pääpaino on mitoituslaskelmien suorittamisessa, mistä syystä kaikkia rakenteen parantamisen suunnitteluun liittyviä asioita ei esitetä. Mitoitusmenettelyn hyväksi käyttöä urakoinnin laadun arvioinnissa harjanteen korkeuden osalta tarkastellaan kohdassa 5.3.

Kohdassa 2.4 Toimenpiderajat ja mitoituskriteerit sekä yksityiskohtaisissa mitoitusmenetelmän osien kuvauksissa kohdissa 3-5 esitetään yleisluonteisia raja- ja muita arvoja, joita suositellaan käytettäväksi parantamishankkeilla.

2.2 Mitoittavat vauriot ja mitoitusmenettelyn osavaiheet

Mitoitusmenettelyllä pyritään rajoittamaan seuraavien kevytpäällysteisten teiden toimintaan oleellisesti vaikuttavien vaurioiden syntymistä:

1. Roudan aiheuttamat halkeamat
2. Pituussuuntainen epätasaisuus
3. Poikkisuuntainen epätasaisuus

Roudan aiheuttamat halkeamat ovat pääosin pituussuuntaisia halkeamia. Alusrakenteen vaihteluista johtuen osa roudan aiheuttamista halkeamista saattaa olla vinoja tai poikkittaisia halkeamia.

Pituussuuntainen epätasaisuus IRI on tien palvelutason kannalta kaikkein tärkein tekijä. Toinen palvelutasoon oleellisesti vaikuttava tekijä on poikkisuuntainen epätasaisuus. Poikkisuuntaista epätasaisuutta kuvataan ajourien välisellä harjanteen korkeudella. Kevytpäällysteisillä teillä osittain samat tekijät vaikuttavat sekä poikkisuuntaiseen epätasaisuuteen että verkkohalkeiluun, mistä syystä myös verkkohalkeamat tulevat eräällä tapaa mukaan mitoitukseen. Sen sijaan päällysteen väsymisestä johtuva verkkohalkeilu ei ole mitoittava tekijä kevytpäällysteisillä teillä.

Rakenteen parantamisen mitoittamisen kulku vaiheittain on yleispiirteiltään seuraava:

1. Verrataan parannettavan rakenteen pituussuuntaisten halkeamien määriä toimenpiderajoihin. Jos toimenpiderajat ylittyvät, valitaan sellainen routimattomien kerrosten yhteispaksuus, mikä estää mitoitusolosuhteissa pituushalkeamien syntymisen tietyllä todennäköisyydellä.
2. Arvioidaan laskennallisesti parannettavan rakenteen tapahtunut ja kohdassa 1 määritetyn parantamisvaihtoehdon mukaisen rakenteen IRI:n lisääntyminen mitoitusajana sekä kalibroidaan tulokset parannettavan rakenteen mitattuihin IRI-arvoihin. Jos parantamisvaihtoehdon mukaisen rakenteen IRI ylittää suurimmat sallitut arvot mitoitusajana, parannetaan rakennetta (lisätään routimattomien kerrosten yhteispaksuutta) edelleen siten, että IRI-arvo pysyy sallituissa rajoissa koko mitoitusajan.
3. Arvioidaan laskennallisesti parannettavan ja parannetun rakenteen harjanteen kasvu sekä kalibroidaan tulokset parannettavan rakenteen mitattuihin harjanteen kasvun arvoihin. Parantamistoimenpiteen valinnassa otetaan huomioon edellisissä kohdissa määritetty routimattomien kerrosten yhteispaksuus. Muut vaikuttavat rakennetekijät ovat päällysteen laatu ja paksuus, ylimmän sitomattoman kerroksen

laatu ja paksuus, tien (päällysteen) leveys ja luiskakaltevuus sekä routanousut.

Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto, suuntausta muutetaan tai jos tehdään ns. rankka parantaminen (harjanne), mitoittamisen kulku vaiheittain on seuraava:

1. Arvioidun alusrakenteen routimiskertoimen perusteella määritetään tarvittava routimattomien kerrosten yhteispaksuus.
2. Arvioidaan laskennallisesti kohdassa 1 määritetyn parantamisvaihtoehdon mukaisen rakenteen IRI:n lisääntyminen mitoitusajana. Jos IRI ylittää suurimmat sallitut arvot mitoitusajana, lisätään routimattomien kerrosten yhteispaksuutta siten, että IRI-arvo pysyy sallituissa rajoissa koko mitoitusajan.
3. Arvioidaan laskennallisesti harjanteen kasvu. Rakenteen valinnassa otetaan huomioon edellisissä kohdissa määritetty routimattomien kerrosten yhteispaksuus. Muut vaikuttavat rakennetekijät ovat päällysteen laatu ja paksuus, ylimmän sitomattoman kerroksen laatu ja paksuus, tien (päällysteen) leveys ja luiskakaltevuus sekä routanousut.

2.3 Mitoitusmenettelyn lähtötiedot

2.3.1 Parannettava tierakenne

Tarvittavat lähtötiedot voidaan jakaa rakenne-, kunto-, ilmasto- ja liikennetietoihin.

Rakennetiedot

- Päällystetyyppi, päällysteen paksuus ja päällystehistoria
- Päällysrakenteen (routimattomien kerrosten) paksuus
- Tien (päällysteen) leveys ja luiskan kaltevuus
- Ylimmän sitomattoman kerroksen rakeisuus

Tällä hetkellä yleisimmät kevytpäällysteisten teiden päällystetyypit ovat AB B50/70, AB B70/100, AB B100/150, PAB-B ja PAB-V. Aikaisemmin käytetyt KAB-päällysteet rinnastetaan PAB-B –päällysteisiin ja öljysorat PAB-V –päällysteisiin. Päällysteen paksuus määritetään päällysteeseen tehdystä reiästä. Paksuuden määrittämisessä voidaan hyödyntää myös maatutkaa. Päällystehistoriatiedoista määritetään päällysteen ikä viimeisimmän päällystystoimenpiteen perusteella. Historiatietoja voidaan hyödyntää myös päällysteen paksuuden mittauksia suunniteltaessa.

Routimattomien kerrosten yhteispaksuus määritetään joko koekuopista tai maatutkalla. Yhteispaksuuden määrittämisessä voidaan hyödyntää myös vanhoja suunnitelmia.

Päällysteen leveyden ja luiskan kaltevuuden määrityksissä voidaan hyödyntää vanhoja suunnitelmia, joskin ne tulee varmentaa mittauksin. Jos suunnitelmia ei ole, päällysteen leveys ja luiskan kaltevuus määritetään mittauksin.

Ylimmän sitomattoman kerroksen rakeisuus määritetään rakenteen ulkouran kohdalta otetuista näytteistä.

Kuntotiedot

- Vauriokartoitus kävelen
- Routanousut tien keskilinjalla
- IRI ja sen kehittyminen
- Harjanne ja sen kehittyminen
- Pudotuspainomittaukset kesällä kaistan keskellä

Tavanomaisen vauriokartoituksen lisäksi mitataan pituushalkeamien leveydet sekä määritetään verkkohalkeamat ajourissa ja urapaikkaukset. Routanousut määritetään kohdissa, missä esiintyy routavaurioita ja/tai IRI-arvot ylittävät toimenpiderajat.

IRI:n ja harjanteen osalta tarvittaisiin vähintään kaksi eri aikaista mittausta, jotta voitaisiin määrittää niiden muuttumisnopeudet luotettavasti. Jos on käytettävissä ainoastaan yhdet mittaustiedot, IRI:n ja harjanteen vuosittaisen kasvun määrittäminen on epätarkempaa kuin määrittäessä vastaavat arvot eri aikaisten mittausten perusteella.

Pudotuspainomittauksista tarvitaan D0, D450 ja D600 –taipumat sekä pinnan lämpötila.

Ilmastotiedot

- Kohteen sijainti
- Havaintotalven pakkasmäärä
- Mitoitustalven pakkasmäärä

Kohteen sijaintitietoa tarvitaan pakkasmäärien ja harjanteen kasvun määrittämisessä. Jotta pakkasmäärätiedot olisivat luotettavia, tarvittaisiin rekisteri, johon ne koottaisiin keskitetysti. Rekisterin ylläpito kuuluisi luontevasti tiehallinnolle.

Liikennetiedot

- KVL ja sen kehittyminen

Alemmalla tieverkolla raskaan liikenteen määrän arviointi on ongelmallista. Parhaimpaan lopputulokseen päästään arvioimalla liikennekuormitusten määrä KVL:n perusteella.

2.3.2 Parannettu tierakenne

Parantamisvaihtoehdon mukaisen tierakenteen osalta tarvittavat tiedot voidaan jakaa rakenteeseen liittyviin ja muihin tietoihin.

Rakennetiedot

- Parantamistoimenpide
- Tien/päällysteen leveys ja luiskan kaltevuus
- Parannetun rakenteen päällysrakennepaksuus
- Lisättävän päällysteen tyyppi ja paksuus
- Lisättävän kantavan kerroksen materiaalin rakeisuus ja paksuus

Parantamistoimenpiteenä on joko uudelleenpäällystäminen tai sitomattomien kerrosten lisäys + uusi päällyste. Uudelleenpäällystämässä lisätään uusi kulutuskerros vanhan kulutuskerroksen päälle tai vanha päällyste jyrksitään pois / sekoitetaan kantavaan kerrokseen ja tehdään uusi päällyste tasatun kantavan kerroksen päälle. Routavauriokohdissa parantamistoimenpide määräytyy pääosin pituushalkeamatarkastelun ja osittain IRI-tarkastelun perusteella. Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto, suuntausta muutetaan tai jos tehdään ns. rankka parantaminen (harjanteen osalta), mitoitusmenettely vastaa uuden tien mitoittamista (kohta 2.3.3).

Muut tiedot

- KVL
- Mitoitusikä
- Mitoituskriteerit

Uusia liikennetietoja tarvitaan, jos liikennemäärät poikkeavat parannettavan tierakenteen liikennemääristä. Jos mitoittavana tekijänä käytetään mitoituksen sijasta vaurioitumisnopeuksia, mitoituskikää ei tarvita. Mitoituskriteereitä käsitellään kohdassa 2.4.

2.3.3 Uusi tierakenne

Potentiaalisten rakennevaihtoehtojen osalta lähtötietoina tarvitaan:

- Alusrakenteen routimiskerroin
- Päällysteen laatu ja paksuus
- Kantavan kerroksen materiaalin rakeisuus
- Päällysteen (tien) leveys ja luiskan kaltevuus
- Sijainti
- Mitoitustalven pakkasmäärä
- KVL
- Mitoitusikä
- Mitoituskriteerit

Alusrakenteen routimiskerroin arvioidaan asianomaisen TPPT menetelmäkuvauksen (Routimiskertoimen määrittäminen) perusteella. Päällysrakenteen kokonaispaksuus arvioidaan alusrakenteen routimiskertoimen ja mitoitustalven pakkasmäärän perusteella.

Päällysteen laatu ja paksuus sekä päällysteen leveys ja luiskan kaltevuus määritetään liikenneteknisten seikkojen tai harjanteen kasvun laskelmien perusteella.

KVL:n, mitoitusiän ja mitoituskriteerien osalta menetellään samalla tavalla kuin parannetulla tierakenteella.

2.4 Toimenpiderajat ja mitoituskriteerit

Pituushalkeamien toimenpiderajoiksi esitetään taulukon 1 mukaisia arvoja. Osuuksilla, missä toimenpiderajat ylittyvät, tulee tehdä routanousumittaukset.

Taulukko 1. Pituushalkeamien toimenpiderajat.

Halkeamaleveys	Halkeamien määrä
mm	m/100 m
5-20	≥ 80 m/100 m
20-30	≥ 20 m/100 m
>30	ei riipu halkeamien määrästä

Toimenpiderajojen ylittyessä tehdään routanousumitoitus routanousukriteerien ollessa seuraavat:

- päätiet $h_{\text{sall}} \leq 50$ mm
- paikallistiet $h_{\text{sall}} \leq 100$ mm

Pituussuuntaisen epätasaisuuden osalta parantamistoimenpiteen tarpeellisuus arvioidaan raportin *Päällystettyjen teiden pintakunnon luokittelu, Tielaitoksen selvityksiä 36/1992* pohjalta. Toimenpiderajat on esitetty yli yhden km:n pituisille osuuksille (taulukko 2). Käytännössä toimenpidekriteerinä käytetään IRI:n lisääntymisnopeutta $\Delta IRI_{\text{toimenpideraja}}$ vuotta kohti. Ko. raportissa on esitetty myös toimenpiderajat urasyvyyksille sekä yli yhden km:n pituisille osuuksille että myös 100 m osuuksille. Toimenpiderajat on sidottu tien nopeusrajoitukseen.

Taulukko 2. Toimenpiderajat pituussuuntaiselle epätasaisuudelle ja urasyvyyksille.

Nopeus- rajoitus km/h	IRI 1) mm/m	Ura (välitön toimenpidetarve 3)	
		100 m mm	1000 m mm
100	2.9-3.4	20	15
80	3.6-4.3	24	18
50-60 2)	4.4-5.4	27	21

1) IRI-arvojen vaihtelualueen alapää on tarkoitettu vilkasliikenteisille ja yläpää vähäliikenteisille teille.

2) Pääteillä noudatetaan 80 km/h nopeusrajoituksen mukaisia tasaisuusvaatimuksia.

3) Jos sivukaltevuus on < 1.5 %, raja-arvoja pienennetään 1-5 mm.

Taulukon 2 arvoja ei voida sellaisenaan käyttää mitoituskriteereinä johtuen mitoitusmenettelyn epätarkkuudesta. Jos käytettäisiin taulukon 2 arvoja mitoituskriteereinä, mitoitusiän loppupuolella parannetuilla teillä esiintyisi em. arvoja heikompia tieosuuksia. Mitoituskriteereiksi suositellaan raportissa *Päällystettyjen teiden pintakunnon luokittelu, Tielaitoksen selvityksiä 36/1992* esitettyjä 100 m tasaisuuden luokan tyydyttävä keskiarvoja (taulukko 3). Harjanteen korkeuden osalta mitoituskriteereinä suositellaan käytettäväksi urasyvyyksien luokan tyydyttävä keskiarvoja.

Taulukko 3. Pituussuuntaisen epätasaisuuden ja harjanteen korkeuden mitoituskriteerit.

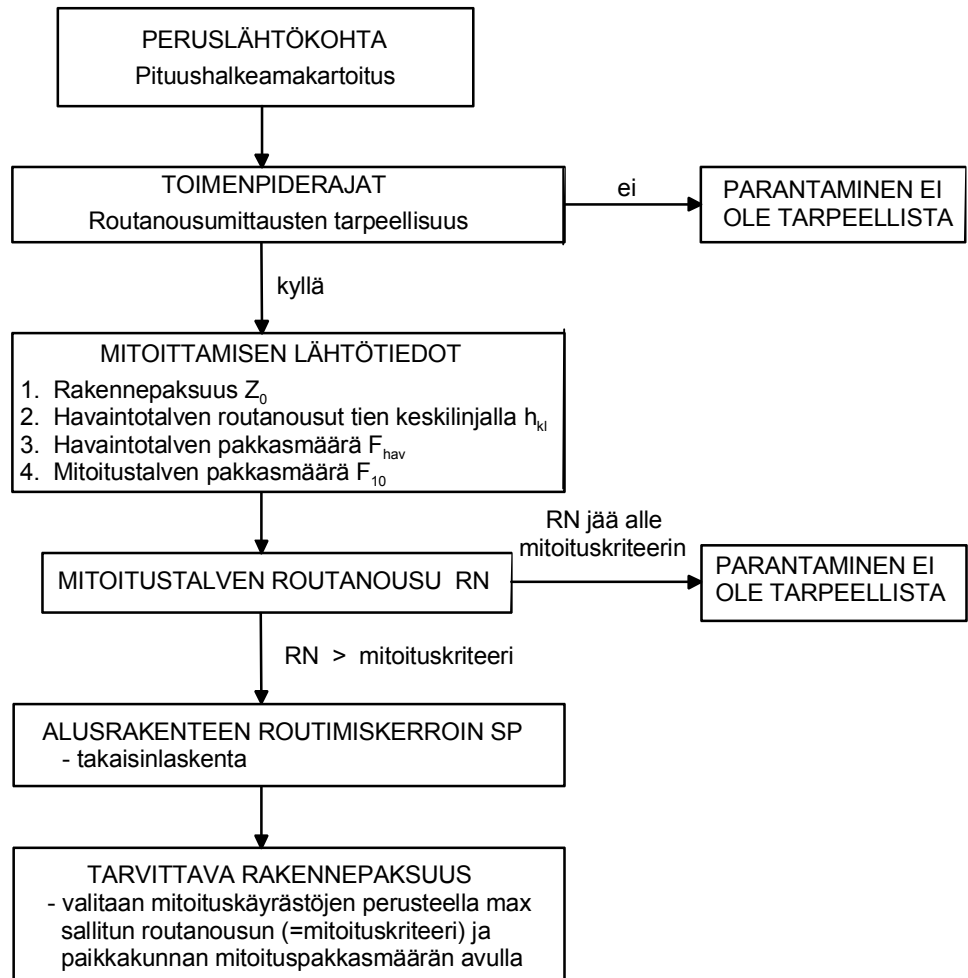
Nopeus- rajoitus km/h	IRI mm/m	Harjanne mm
100	2.4	17
80	3.0	21
50-60	3.7	24

Käytännössä absoluuttisen IRI-arvon sijasta mitoituskriteerinä käytetään IRI:n lisääntymisnopeutta $\Delta IRI_{\text{mitoituskriteeri}}$ vuotta kohti.

2.5 Mitoitusmenettelyn osavaiheiden sisältö

2.5.1 Pituushalkeamat

Roudan aiheuttamien pituushalkeamien mitoittaminen suositellaan tehtäväksi kuvan 1 mukaisesti.



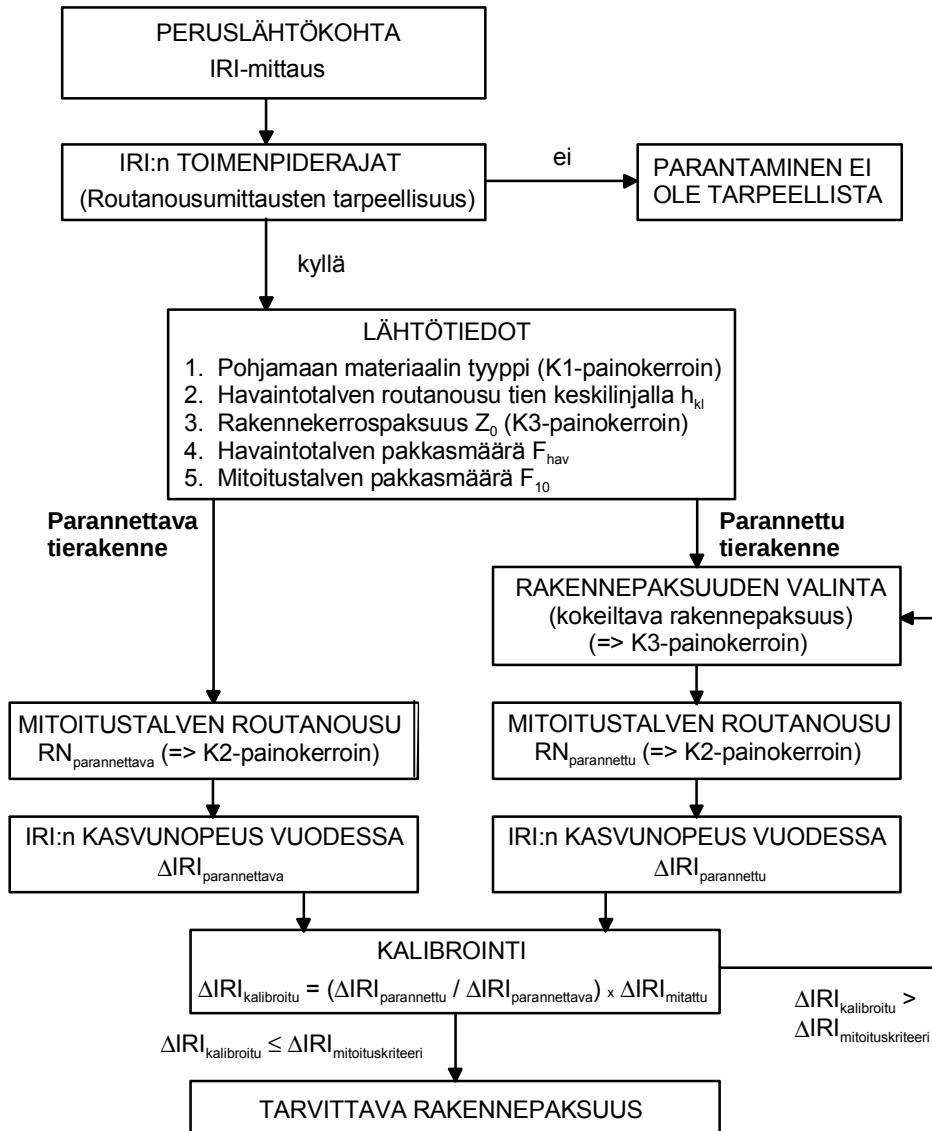
Kuva 1. Roudan aiheuttamien pituushalkeamien mitoittamisen periaate.

Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto tai suuntausta muutetaan, alusrakenteen routimiskerroin arvioidaan TPPT menetelmäkuvauksen *Routimiskertoimen määrittäminen* perusteella. Tällöin tarvittava rakennepaksuus määritetään mitoituskäyrästöjen perusteella mitoituskriteerin (sallitun routanousun), paikkakunnan mitoituslaskennan ja arvioidun alusrakenteen routimiskertoimen avulla.

Rakenteen parantamisessa routimattoman materiaalin lisäämisen ja massanvaihdon lisäksi parantamistoimenpiteinä tulevat kyseeseen vahvisteiden (teräsverkkojen) ja lämpöeristeiden käyttö.

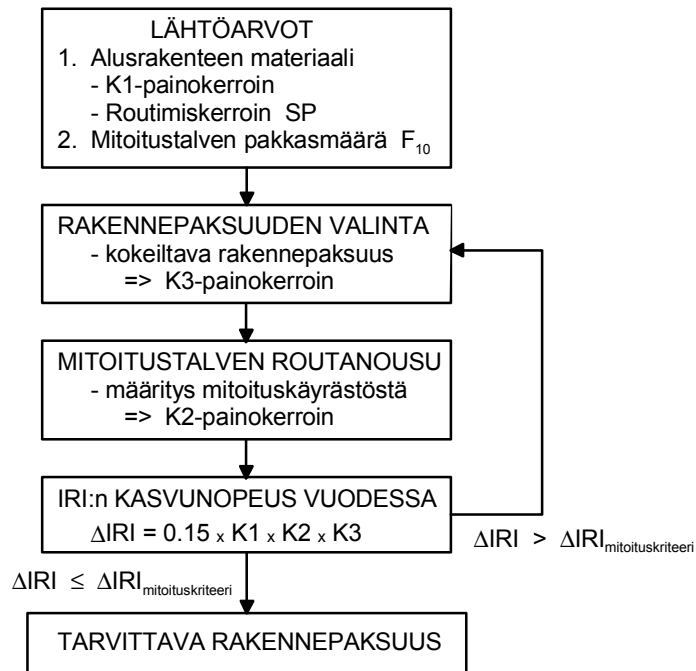
2.5.2 Pituussuuntainen epätasaisuus

Pituussuuntaisen epätasaisuuden mitoittaminen suositellaan tehtäväksi kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. Pituussuuntaisen epätasaisuuden mitoittamisen periaate.

Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto tai suuntausta muutetaan, mitoittaminen vastaa uuden rakenteen mitoittamista ja tehdään kuvan 3 mukaisesti. Alusrakenteen routimiskerroin arvioidaan TPPT menetelmäkuvauksen *Routimiskertoimen määrittäminen* perusteella.

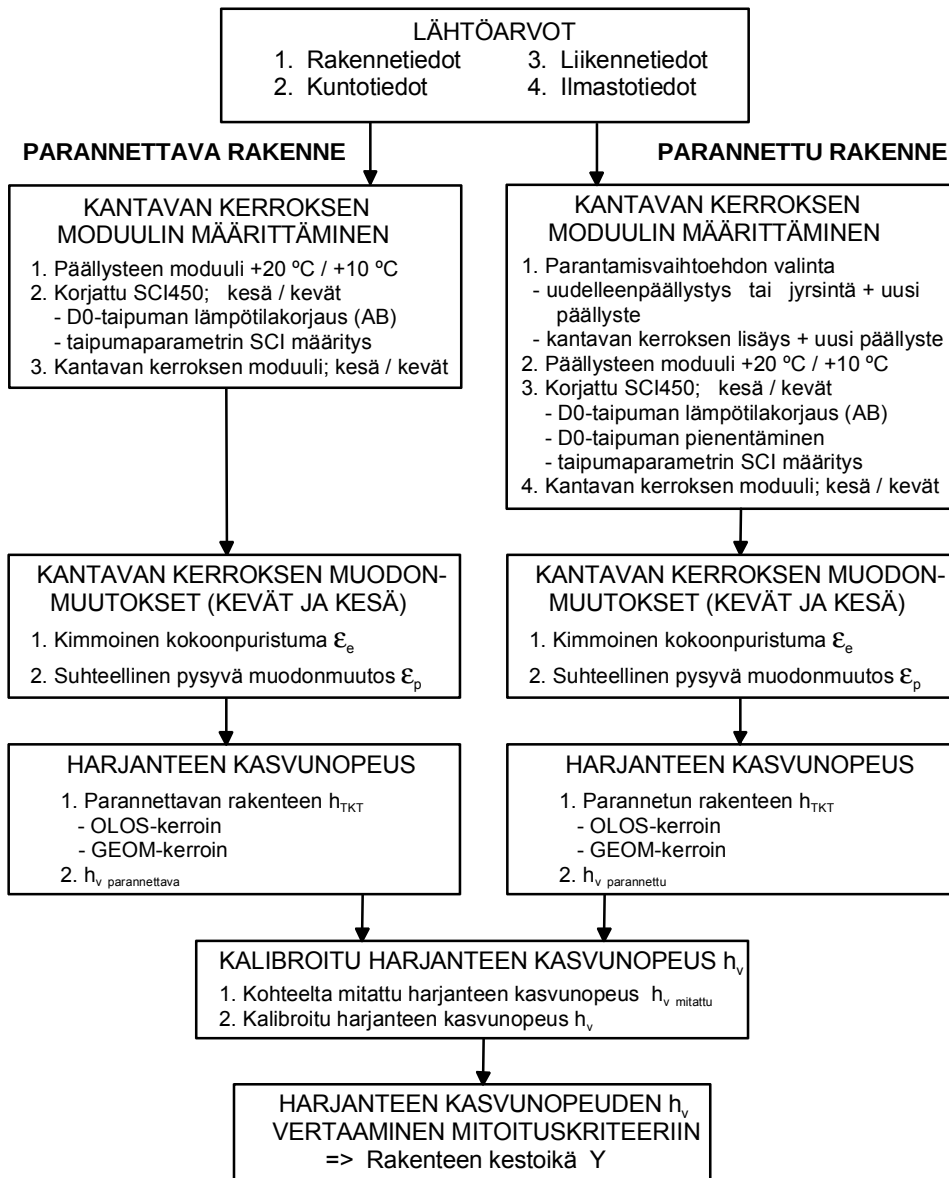


Kuva 3. Uuden rakenteen pituussuuntaisen epätasaisuuden mitoittamisen periaate.

Rakenteen parantamisessa routimista voidaan rajoittaa routimattoman materiaalin lisäämisen ja massanvaihdon lisäksi lämpöeristeillä. Pituussuuntaista epätasaisuutta voidaan vähentää myös lisäämällä päällysrakenteen yläosan jäykkyyttä vahvisteilla tai sidotuilla kantavilla kerroksilla.

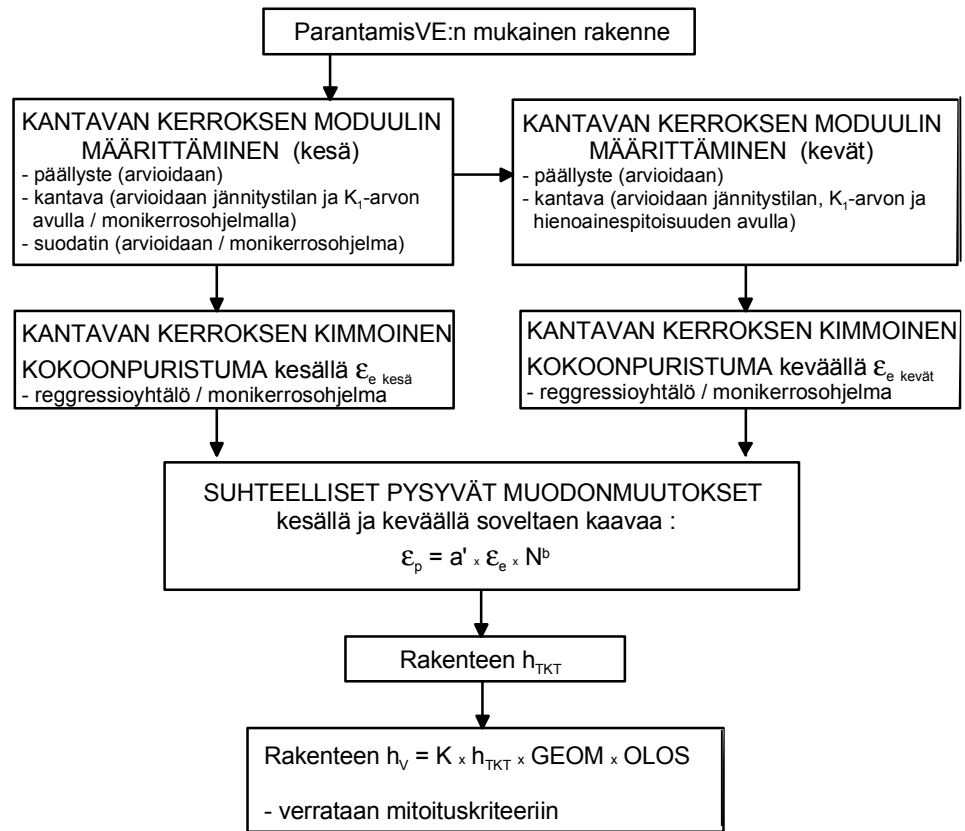
2.5.3 Ajourien välinen harjanne

Ajourien välisen harjanteen kasvun mitoittaminen suositellaan tehtäväksi kuvan 4 mukaisesti.



Kuva 4. Harjanteen kasvun mitoittamisen periaate.

Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto, suuntausta muutetaan tai jos tehdään harjanteen kannalta ns. rankka parantaminen, mitoittaminen vastaa uuden rakenteen mitoittamista ja tehdään kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Uuden rakenteen harjanteen kasvun mitoittamisen periaate.

Rakenteen parantamisessa poikkisuuntaista epätasaisuutta voidaan vähentää vaihtoehtoisesti lisäämällä päällysrakenteen yläosan jäykkyyttä vahvisteilla tai sidotuilla kantavilla kerroksilla. Routimista ja sitä kautta poikkisuuntaista epätasaisuutta voidaan puolestaan vähentää myös lämpöeristeillä.

3 PITUUSHALKEAMIEN MITOITTAMINEN

3.1 Rakenteen parantamisen mitoittaminen

3.1.1 Mitoitusmenetelmän valinta

Pituushalkeamien mitoittamiseen on esitetty kaksi mitoitusmenetelmämallia: suositeltava menettely ja likiarvomenettely. Suositeltavaa menettelyä tulisi käyttää aina, kun se on mahdollista. Tämä edellyttää parannettavan rakenteen routanousujen määrittämistä mittaamalla. Likiarvomenettelyä joudutaan käyttämään tilanteissa, missä ei aikataulullisista syistä pystytä mittaamaan routanousuja.

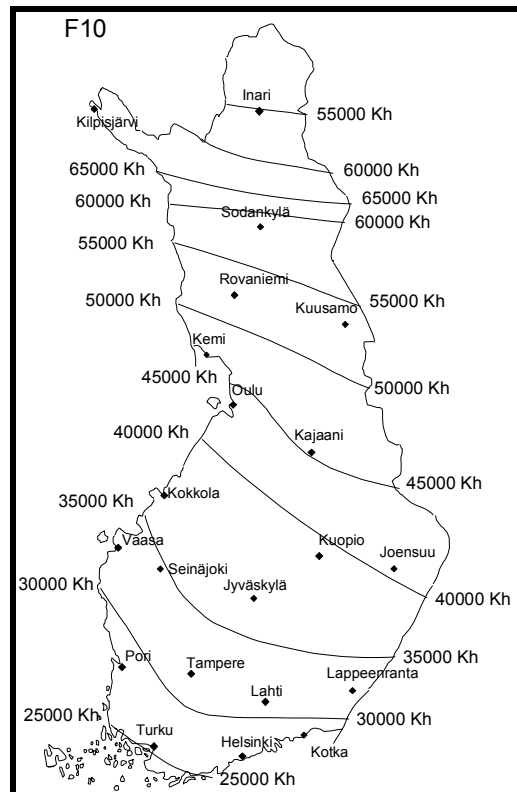
3.1.2 Suositeltava mitoitusmenettely

3.1.2.1 Lähtötiedot

Suosittelavan routamitoitusmenettelyn lähtötietoina tarvitaan:

- rakennepaksuus Z_0
- havaintotalven keskilinjan mitattu routanousu h_{kl}
- havaintotalven pakkasmäärä F_{hav} .
- paikkakunnan mitoituspakkasmäärä F_{10}

Paikkakunnan mitoituspakkasmäärä valitaan kuvan 6 F_{10} pakkasmääräkartan perusteella.



Kuva 6. Mitoitustalven F_{10} pakkasmääräkarta [VTT yhdyskuntateknikka ja Rakennustieto Oy, 1997].

3.1.2.2 Mitatun routanousun muuttaminen mitoitustalven routanousuksi

Mitatut routanousut muutetaan mitoitustalven routanousuiksi seuraavasti:

Havaintotalven roudan syvyys lasketaan yhtälöllä (kaava 1):

$$Z_{hav.} = k \cdot \sqrt{F_{hav.}} \quad (1)$$

missä,

$Z_{hav.}$ = havaintotalven roudan syvyys [mm]

k = $10 [mm / \sqrt{Kh}]$

$F_{hav.}$ = havaintotalven pakkasmäärä [Kh]

Vastaavasti lasketaan mitoitustalven F_{10} roudan syvyys yhtälöllä (kaava 2):

$$Z_{10} = k \cdot \sqrt{F_{10}} \quad (2)$$

missä,

Z_{10}	= mitoitustalven roudan syvyys [mm]
k	= $10 [mm / \sqrt{Kh}]$
F_{10}	= mitoitustalven pakkasmäärä [Kh]

Mitoitustalven routanousu tien keskilinjalla lasketaan yhtälöllä (kaava 3):

$$h_{10} = (Z_{10} - Z_0) / (Z_{hav.} - Z_0) \cdot h_{kl.} \quad (3)$$

missä,

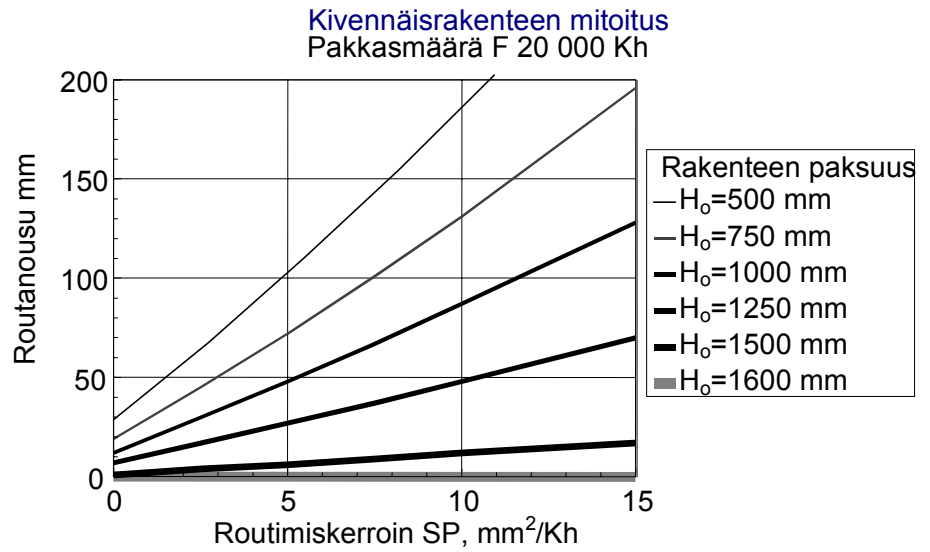
Z_{10}	= mitoitustalven roudan syvyys [mm]
Z_0	= rakennekerrospaksuus [mm]
$Z_{hav.}$	= havaintotalven laskettu roudan syvyys [mm]
$h_{kl.}$	= havaintotalven keskilinjan routanousu [mm]

3.1.2.3 Mitoitus sallitulle routanousulle

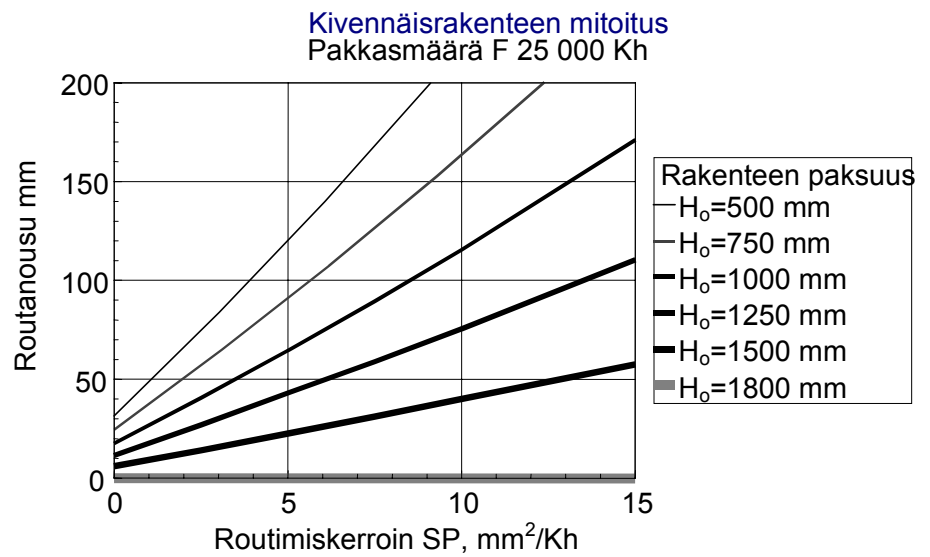
Rakenteen parantamisen routamitoituksessa valitaan mitoituskäyrästöjen avulla tarvittava rakennepaksuus siten, että parannetun rakenteen tien pinnan routanousu paikkakunnan mitoitustalven pakkasmäärällä ei ylitä sallittua routanousua (mitoituskriteeriä). Alusrakenteen routimiskerroin SP voidaan määrittää parannettavan rakenteen keskilinjan routanousun ($h_{kl.}$), rakennekerrospaksuuden (Z_0) ja havaintotalven pakkasmäärän ($F_{hav.}$) avulla ns. takaisinlaskentamenetelmällä likimääräisesti yhtälöllä (kaava 4):

$$SP = 50 \cdot h_{kl.} / (10 / \sqrt{F_{hav.}} - Z_0) - 1,8 \text{ [mm}^2/\text{Kh}] \quad (4)$$

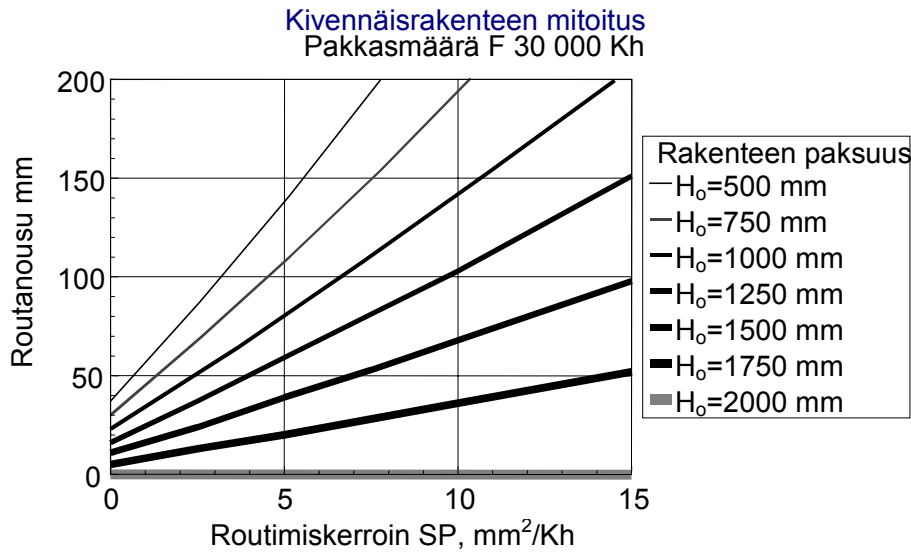
Kuvissa 7 – 15 on esitetty mitoituskäyrästöt kivennäismaarakenteen paksuuden määrittämiseksi sallitun routanousun perusteella eri mitoituspakkasmäärillä.



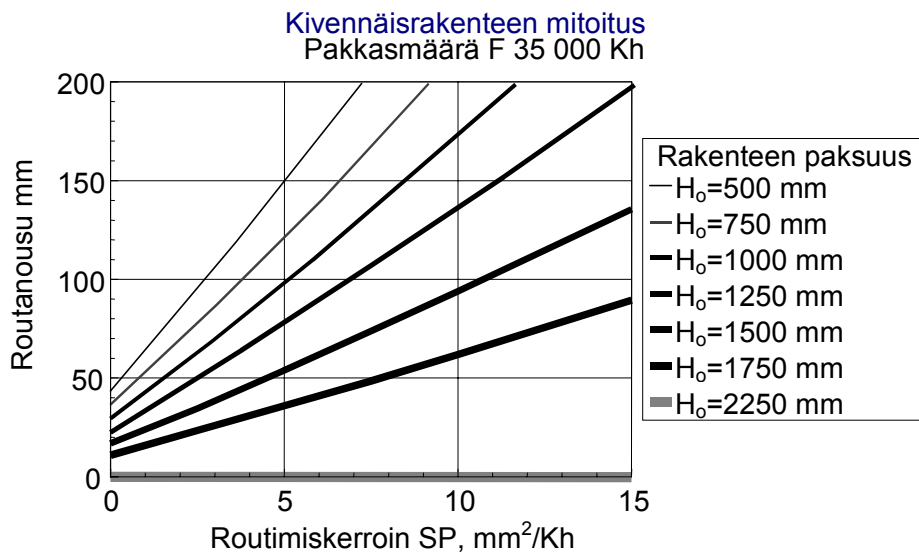
Kuva 7. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 20 000 Kh [Saarelainen, 2001].



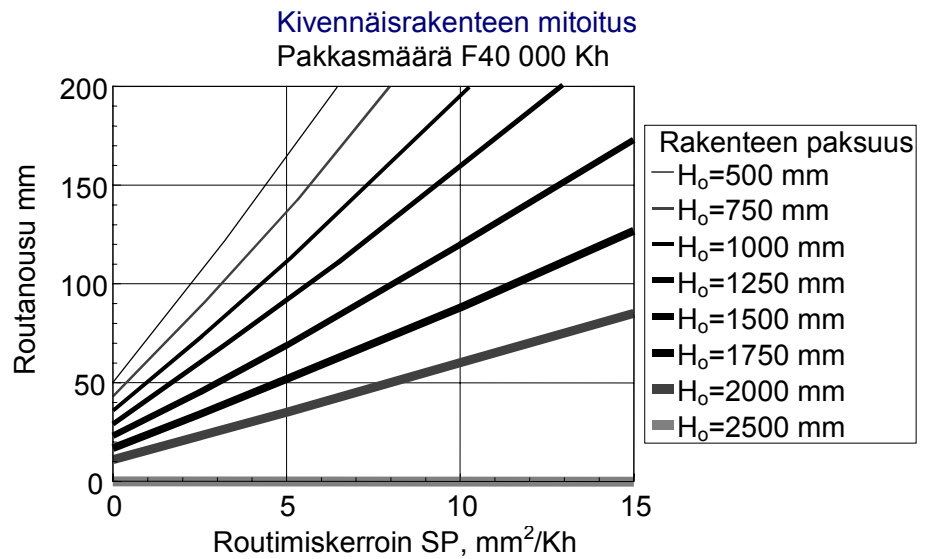
Kuva 8. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 25 000 Kh [Saarelainen, 2001].



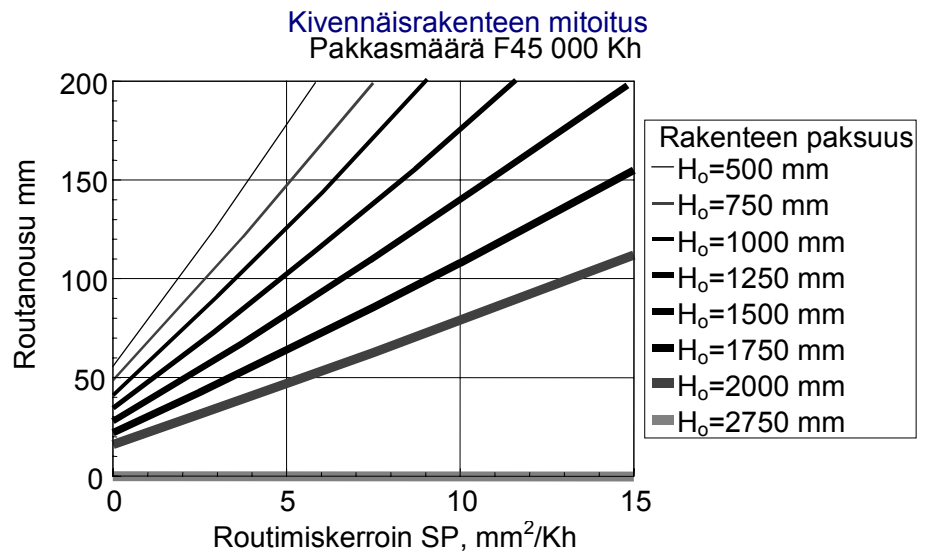
Kuva 9. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 30 000 Kh [Saarelainen, 2001].



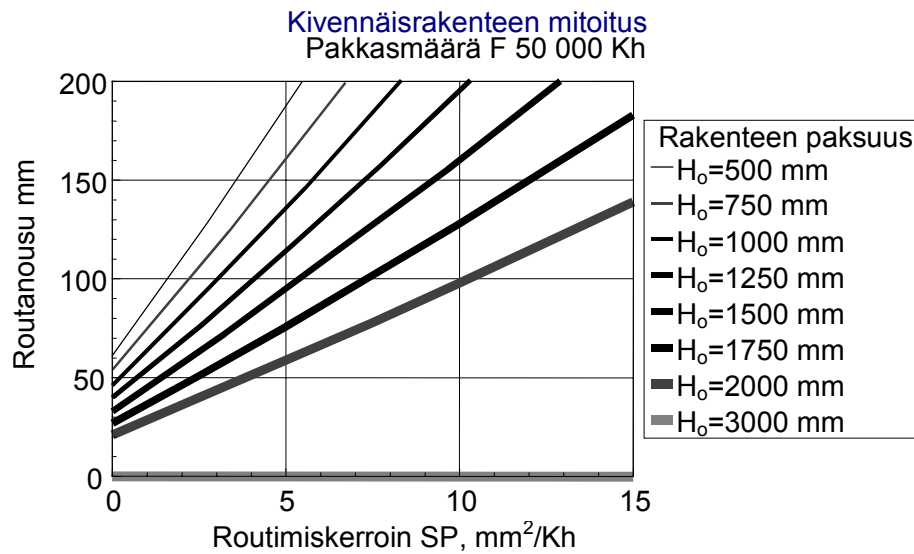
Kuva 10. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 35 000 Kh [Saarelainen, 2001].



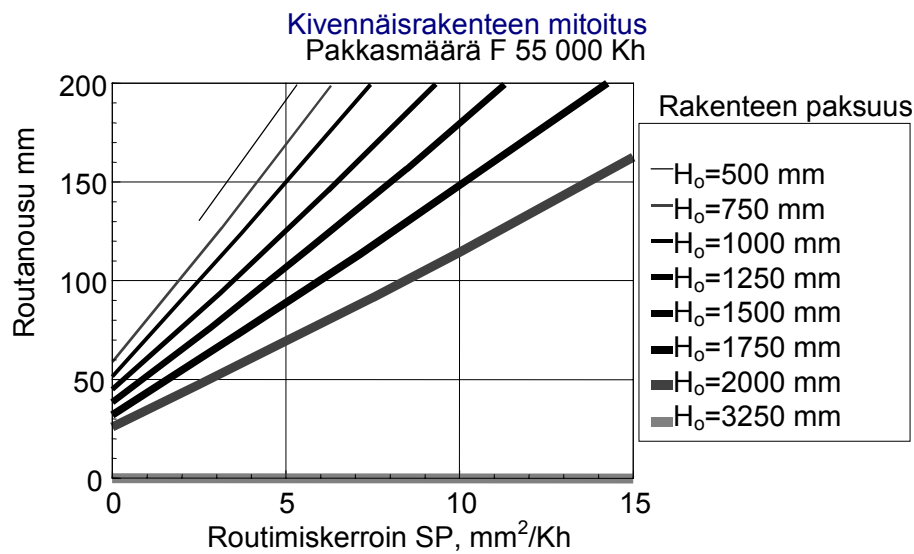
Kuva 11. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 40 000 Kh [Saarelainen, 2001].



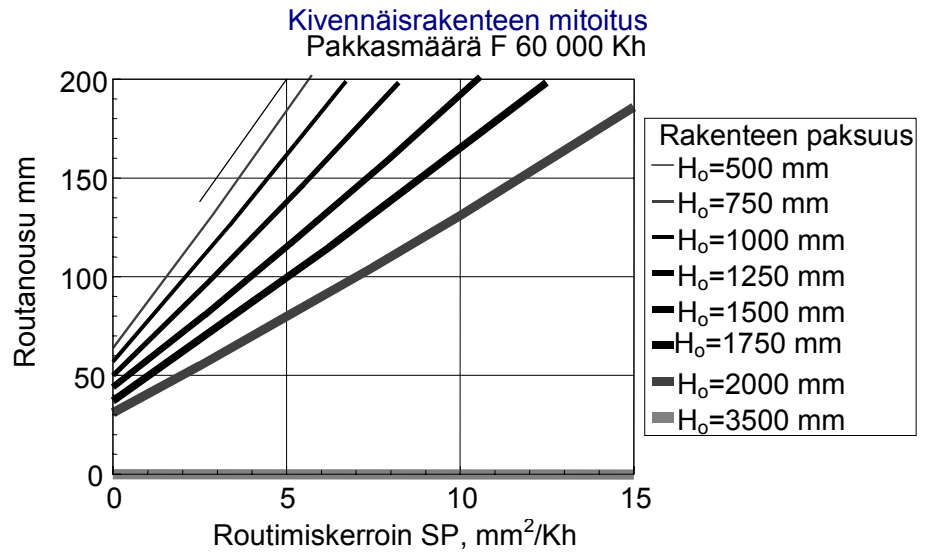
Kuva 12. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 45 000 Kh [Saarelainen, 2001].



Kuva 13. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 50 000 Kh [Saarelainen, 2001].



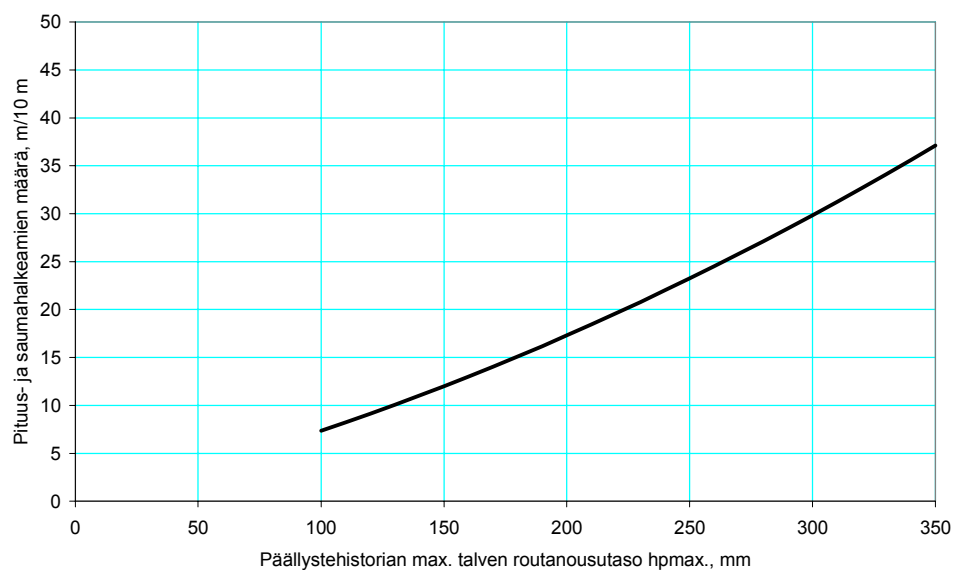
Kuva 14. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 55 000 Kh [Saarelainen, 2001].



Kuva 15. Routanousun riippuvuus routimattoman rakenteen paksuudesta ja routimiskertoimesta SP mitoituspakkasmäärällä 60 000 Kh [Saarelainen, 2001].

3.1.3 Likiarvomenettely

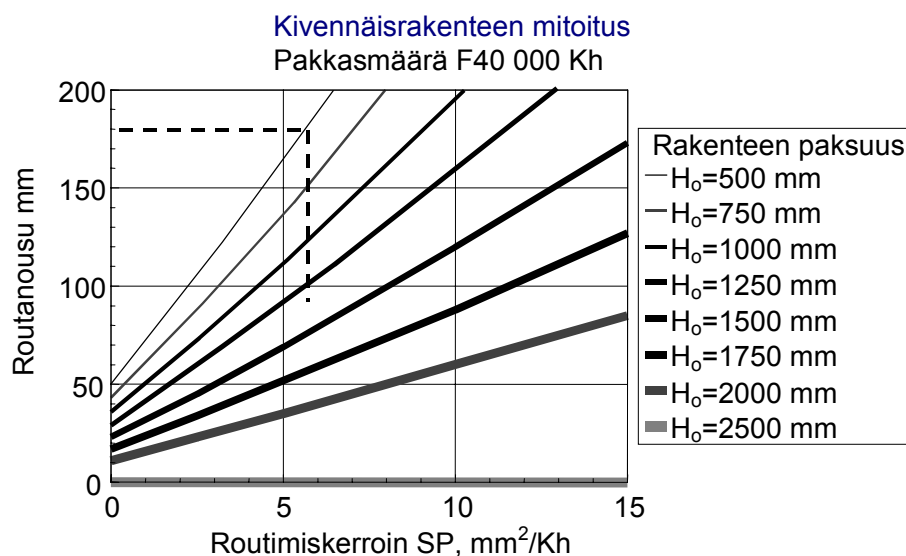
Likiarvomenettelyssä päällystehistorian maksimitalven routanousutaso h_{pmax} arvioidaan pituus- ja saumahalkeamien (≥ 5 mm) määrän perusteella kuvasta 16. Jos parannettavan tierakenteen ikä on luokkaa 10 vuotta eli suhteellisen uusi: h_{pmax} -arvoksi tulee valita hieman käyrän osoittama suurempi arvo.



Kuva 16. Päällystehistorian maksimitalven routanousutason määrittäminen pituus- ja saumahalkeamien määrän perusteella.

Vastaavasti jos ikä on luokkaa 20 vuotta eli suhteellisen vanha: h_{pmax} -arvoksi tulee valita hieman käyrän osoittamaa pienempi arvo. Tämä johtuu siitä, että pituussuuntaiset halkeamat lisääntyvät iän myötä.

Päällystehistorian maksimitalven routanousutason h_{pmax} ja sallitun routanousun h_{sall} perusteella arvioidaan riittävä rakennepaksuus paikkakunnan mitoituspakkasmäärän F_{10} perusteella kuvista 7 – 15. Esimerkiksi jos pituus- ja saumahalkeamien määrä on 15 m/10 m, h_{pmax} saa arvon 180 mm (kuva 16). Tällöin mitoituslaskun pakkasmäärällä 40 000 Kh ja parannettavan rakenteen routimattomalla paksuudella 500 mm vaadittavaksi rakennepaksuudeksi tulee 1250 mm, kun sallittu routanousu on 100 mm (kuva 17). Rakennepaksuutta tulee siis lisätä 750 mm.



Kuva 17. Rakennepaksuuden määrittämisen periaate likiarvomenettelyllä.

3.2 Uuden rakenteen mitoittaminen

Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto tai suuntausta muutetaan, mitoittaminen vastaa uuden tierakenteen mitoittamista. Tällöin tarvittava rakennepaksuus määritetään mitoituskäyrästöjen perusteella kuvia 7 – 15 apuna käyttäen mitoituskriteerin (sallitun routanousun), paikkakunnan mitoituslaskun pakkasmäärän ja arvioidun alusrakenteen routimiskertoimen avulla. Alusrakenteen routimiskerroin arvioidaan TPPT menetelmäkuvauksen *Routimiskertoimen määrittäminen* perusteella.

4 PITUUSSUUNTAISEN EPÄTASAISUUDEN MITOITTAMINEN

4.1 Rakenteen parantamisen mitoittaminen

4.1.1 Lähtöarvot

- IRI-mittaustulokset hankkeelta; IRI_{mitt} viimeisin mittaustulos tai IRI:n kasvunopeus ΔIRI_{mitt} , [mm/m] tai [mm/m/a]
- IRI:n toimenpiderajat $IRI_{toimenpideraja}$, [mm/m]
- Mitoitusikä vuosina Y , [a]
- Pohjamaan materiaalin tyyppi [savi, muu]
- Havaintotalven routanousu tien keskilinjalta h_{kl} , [mm]
- Rakennekerrospaksuus Z_0 , [mm] ja [m]
- Havaintotalven pakkasmäärä F_{hav} , [Kh]
- Mitoitustalven pakkasmäärä F_{10} , [Kh]

4.1.2 Routanousumittausten tarpeellisuuden määrittäminen

Pituussuuntaisen epätasaisuuden IRI mitoittamisessa tarvittavien routanousumääritysten tarpeellisuus ja tiekohdat, missä routanousumittauksia tulee suorittaa selvitetään 100 m IRI-mittausten perusteella. Routanousut tulee IRI:n mitoittamista varten määrittää tien kohdissa, missä tierakenteen parantamisessa tarvitaan (uudelleen)päällystämistä järeämpiä toimenpiteitä IRI:n kasvunopeuden pienentämiseksi.

Näiden tien kohtien sijainti selvitetään routanousumittausten tekemistä varten määrittämällä päällysteen/rakenteen jäljellä oleva ikä ja vertaamalla sitä mitoitusikään.

Kun tierakenteeseen lisätään uusi kulutuskerros (ei tasoita IRI:ä)

Jos IRI-mittauksia on käytettävissä 2:lta tai useammalta ajankohdalta 100 m tieosuutta kohti, jolloin käytettävissä on myös IRI:n kasvunopeus, päällysteen jäljellä oleva ikä määritetään yhtälöllä (kaava 5):

$$t_{p\text{jälj}} = \frac{IRI_{toimenpideraja} - IRI_{mitt}}{\Delta IRI_{mitt}} \quad (5)$$

missä,

- | | |
|------------------------|---|
| $t_{p\text{jälj}}$ | = päällysteen jäljellä oleva ikä, [a] |
| $IRI_{toimenpideraja}$ | = IRI:n toimenpideraja, [mm/m] |
| IRI_{mitt} | = uusin IRI:n mitattu arvo 100 m tieosuudella, [mm/m] |

ΔIRI_{mitt} = IRI:n kasvunopeus 100 m tieosuudella, [mm/m/a]

IRI:n toimenpiderajat on esitetty kohdassa 2.4 taulukossa 2 (sivu 18).

Jos käytettävissä on vain kerran tehty IRI-mittaus 100 m tieosuutta kohti, päällysteen jäljellä oleva ikä määritetään yhtälöllä (kaava 6) :

$$t_{Pjälj} = \frac{IRI_{toimenpideraja} - IRI_{mitt}}{IRI_{mitt} - 1.5} \cdot t_{Pikä} \quad (6)$$

missä,

$t_{Pjälj}$ = päällysteen jäljellä oleva ikä vuosina, [a]
 $IRI_{toimenpideraja}$ = IRI:n toimenpideraja, [mm/m]
 IRI_{mitt} = uusin IRI:n mitattu arvo 100 m tieosuudella, [mm/m]
 $t_{Pikä}$ = päällysteen ikä edellisestä päällystämisestä vuosina, [a]

Kun vanha päällyste jyrsitään pois tai sekoitetaan kantavaan kerrokseen ja pinta tasataan ennen uuden kulutuskerroksen lisäämistä (tasoittaa IRI:ä)

Jos IRI-mittauksia on käytettävissä 2:lta tai useammalta ajankohdalta 100 m tieosuutta kohti, jolloin käytettävissä on myös IRI:n kasvunopeus, rakenteen jäljellä oleva ikä määritetään yhtälöllä (kaava 7):

$$t_{Rjälj} = \frac{IRI_{toimenpideraja} - 1.5}{\Delta IRI_{mitt}} \quad (7)$$

missä,

$t_{Rjälj}$ = rakenteen jäljellä oleva ikä, [a]
 $IRI_{toimenpideraja}$ = IRI:n toimenpideraja, [mm/m]
 ΔIRI_{mitt} = IRI:n kasvunopeus 100 m tieosuudella, [mm/m/a]

Jos käytettävissä on vain kerran tehty IRI-mittaus 100 m tieosuutta kohti, rakenteen jäljellä oleva ikä määritetään yhtälöllä (kaava 8) :

$$t_{Rjälj} = \frac{IRI_{toimenpideraja} - 1.5}{IRI_{mitt} - 1.5} \cdot t_{Pikä} \quad (8)$$

missä,

$t_{Rjälj}$ = rakenteen jäljellä oleva ikä vuosina, [a]
 $IRI_{toimenpideraja}$ = IRI:n toimenpideraja, [mm/m]
 IRI_{mitt} = uusin IRI:n mitattu arvo 100 m tieosuudella, [mm/m]

$t_{pikä}$ = päällysteen ikä edellisestä päällystämisestä vuosina, [a]

4.1.3 Parannettavan rakenteen laskennallinen ΔIRI

IRI:n kasvunopeuden määrittämiseksi mitoituslaskennan olosuhteissa tarvitaan tieto pohjamaan materiaalityypistä, mitoituslaskennan routanoususta ja rakennekerrospaksuudesta, joiden pohjalta valitaan painokertoimet taulukosta 4.

Taulukko 4. Painokertoimien määrittäminen.

Painokerroin	Luokittainen erittely	Painokertoimen arvo
Pohjamaaluokka K1	A. Savi B. Muut	1.6 1.0
Routanousu K2	A. $RN \leq 30$ mm B. $30 < RN < 60$ mm C. $RN \geq 60$ mm	1.0 1.5 $K2 = 0.022 \cdot RN \text{ (mm)} + 0.25$
Rakennekerrospaksuus K3	A. $RK < 1.4$ m, pohjamaa Sa B. Muut	$K3 = 2.9 - 1.33 \cdot RK \text{ (m)}$ 1.0

Mitoituslaskennan routanousu $RN_{\text{parannettava}}$ (h_{10}) määritetään rakennekerrospaksuuden, havaintolaskennan routanousun ja routan syvyyden sekä mitoituslaskennan arvioitun routan syvyyden perusteella kohdan 3.1.2.2 mukaisesti kaavoilla 1, 2 ja 3.

Jos ei aikataulullisista syistä pystytä mittaamaan routanousuja, ne tulee arvioida likiarvomenettelyllä. Tällöin routanousut arvioidaan ensisijaisesti pituussuuntaisten halkeamien perusteella kohdan 3.1.3 mukaisesti. Kohdissa, missä pituushalkeamien määrä on alle toimenpiderajojen, routanousut voidaan karkeasti arvioida IRI:n avulla seuraavasti:

$$\left\{ \begin{array}{ll} RN = 75 \text{ mm} & , \text{kun } IRI_{\text{mitt}} < 3.0 \text{ mm/m} \\ RN = 50 \cdot IRI_{\text{mitt}} - 75 \text{ mm} & , \text{kun } 3.0 \text{ mm/m} \leq IRI_{\text{mitt}} \leq 6.0 \text{ mm/m} \\ RN = 225 \text{ mm} & , \text{kun } IRI_{\text{mitt}} > 6.0 \text{ mm/m} \end{array} \right. \quad (9)$$

missä,

RN = arvioitu routanousu [mm]

IRI_{mitt} = uusin IRI:n mitattu arvo 100 m tieosuudella [mm/m]

IRI:n kasvunopeus mitoituslaskennan olosuhteissa parannettavalle rakenteelle lasketaan painokertoimien määrittämisen jälkeen yhtälöllä (kaava 10):

$$\Delta IRI_{\text{parannettava}} = 0.15 \cdot K1_{\text{parannettava}} \cdot K2_{\text{parannettava}} \cdot K3_{\text{parannettava}} \quad (10)$$

missä,

$\Delta IRI_{\text{parannettava}}$ = IRI:n kasvunopeus vuodessa parannettavalle rakenteelle mitoituslaskennan olosuhteissa, [mm/m/a]

$K1_{\text{parannettava}}$	= pohjamaaluokan painokerroin
$K2_{\text{parannettava}}$	= mitoitustalven routanousun painokerroin parannettavalle rakenteelle
$K3_{\text{parannettava}}$	= päällysrakenteen paksuuden painokerroin parannettavalle rakenteelle

Parannettavan rakenteen tarkastelun perusteella saatua termiä $\Delta IRI_{\text{parannettava}}$ hyödynnetään määritettäessä ”kalibroitu” IRI:n kasvunopeus $\Delta IRI_{\text{kalibroitu}}$ (kohta 4.1.5).

4.1.4 Parannetun rakenteen laskennallinen ΔIRI

Ensimmäinen vaihe parannetun rakenteen tarkastelussa on valita routimattomien rakennekerrosten paksuus Z_0 . Parannetun rakenteen rakennekerrospaksuutta käytetään muuttujana IRI-mitoituksessa. Muuttujana oleminen tarkoittaa sitä, että jos kokeiltavaksi valittu rakennekerrospaksuus osoittautuu IRI-mitoituksen yhteydessä riittämättömäksi, tarkastelun kohteeksi valitaan paksumpi rakenne.

Parannetun rakenteen pohjamaan routimiskerroin SP määritetään takaisinlaskentamenetelmällä parannettavan rakenteen mitatun/arvioidun routanousun, rakennekerrospaksuuden ja pakkasmäärän perusteella kohdan 3.1.2.3 mukaisesti kaavalla 4.

Mitoitustalven routanousu $RN_{\text{parannettu}} (h_{10})$ kokeiltavana olevalle rakennepaksuudelle määritetään kohdan 3.1.2.3 mukaisesti kuvista 7 – 15 pohjamaan routimiskertoimen SP , kokeilun kohteena olevan routimattoman rakenteen kokonaispaksuuden ja mitoitustalven pakkasmäärän perusteella.

IRI:n kasvunopeuden määrittämiseksi parannetulle rakenteelle mitoitustalven olosuhteissa tarvitaan kokeiltavana olevan rakenteen paksuus, arvio mitoitustalvea vastaavan routanousun suuruudesta ko. rakennekerrospaksuudella ja pohjamaan materiaalityyppi. Em. tietojen perusteella määritetään painokertoimet $K1$, $K2$ ja $K3$, jotka valitaan edellä parannettavan rakenteen yhteydessä esitetyn taulukon 4 avulla (kohta 4.1.3).

IRI:n kasvunopeus mitoitustalven olosuhteissa parannetulle rakenteelle lasketaan painokertoimien määrittämisen jälkeen yhtälöllä (kaava 11) :

$$\Delta IRI_{\text{parannettu}} = 0.15 \cdot K1_{\text{parannettu}} \cdot K2_{\text{parannettu}} \cdot K3_{\text{parannettu}} \quad (11)$$

missä,

$\Delta IRI_{\text{parannettu}}$	= IRI:n kasvunopeus vuodessa parannetulle rakenteelle mitoitustalven olosuhteissa, [mm/m/a]
$K1_{\text{parannettu}}$	= pohjamaaluokan painokerroin

$K2_{parannettu}$	= mitoitustalven routanousun painokerroin parannetulle rakenteelle
$K3_{parannettava}$	= päällysrakenteen paksuuden painokerroin parannetulle rakenteelle

Parannetun rakenteen tarkastelun perusteella saatua termiä $\Delta IRI_{parannettu}$ hyödynnetään määritettäessä ”kalibroitu” IRI:n kasvunopeus $\Delta IRI_{kalibroitu}$ (kohta 4.1.5).

4.1.5 Parannetun rakenteen tarvittava rakennepaksuus

IRI:n kasvunopeus vuotta kohti ”kalibroidaan” kertomalla tiekohteelta mitattu todellinen IRI:n kasvunopeus ΔIRI_{mitt} parannetulle (parantamisvaihtoehdon mukainen uusi rakenne) ja parannettavalle (nykyinen rakenne) rakenteelle määritettyjen IRI:n kasvunopeuksien suhteella (kaava 12).

$$\Delta IRI_{kalibroitu} = \Delta IRI_{mitt} \cdot \frac{\Delta IRI_{parannettu}}{\Delta IRI_{parannettava}} \quad (12)$$

missä,

$\Delta IRI_{kalibroitu}$	= IRI:n kasvunopeus vuodessa, [mm/m/a]
ΔIRI_{mitt}	= mitattu IRI:n kasvunopeus 100 m tieosuudella, [mm/m/a]
$\Delta IRI_{parannettu}$	= IRI:n kasvunopeus vuodessa parannetulle rakenteelle mitoitustalven olosuhteissa, [mm/m/a]
$\Delta IRI_{parannettava}$	= IRI:n kasvunopeus vuodessa parannettavalle rakenteelle mitoitustalven olosuhteissa, [mm/m/a]

Tarvittava rakennepaksuus on saavutettu, kun $\Delta IRI_{kalibroitu} \leq \Delta IRI_{mitoituskriteeri}$ (kohta 2.4 taulukko 3). Jos $\Delta IRI_{kalibroitu} > \Delta IRI_{mitoituskriteeri}$, kasvatetaan rakenteen paksuutta iteroimalla (kohdat 4.1.4 ja 4.1.5) niin, että $\Delta IRI_{mitoituskriteeri}$ saavutetaan.

4.2 Uuden rakenteen mitoittaminen

Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto tai suuntausta muutetaan, mitoittaminen vastaa uuden tierakenteen mitoittamista. Tällöin tarvittava rakennepaksuus määritetään iteroimalla soveltaen kohtia 4.1.3, 4.1.4 ja 4.1.5.

Lähtöarvoina tarvitaan alusrakenteen routimiskerroin ja paikkakunnan mitoitustalven pakkasmäärä (kuva 6). Alusrakenteen routimiskerroin arvioidaan TPPT menetelmäkuvauksen *Routimiskertoimen määrittäminen* perusteella.

Mitoitustalven routanousu RN uudelle rakenteelle määritetään routanousujen mitoituskäyrästä (kuvat 7 - 15) perusteella, kun tiedetään pohjamaan

routimiskerroin SP, kokeilun kohteena olevan routimattoman rakenteen kokonaispaksuus ja mitoituslavan pakkasmäärä.

IRI:n kasvunopeuden määrittämiseksi uudelle rakenteelle mitoituslavan olosuhteissa tarvitaan pohjamaan materiaalityyppi sekä edellä määritetyt rakenteen paksuus ja arvio routanousun suuruudesta ko. rakenteen paksuudella. Niiden perusteella määritetään painokertoimet K1, K2 ja K3, jotka valitaan edellä esitetyn taulukon 4 avulla (kohta 4.1.3).

IRI:n kasvunopeus mitoituslavan olosuhteissa uudelle rakenteelle lasketaan painokertoimien määrittämisen jälkeen yhtälöllä (kaava 13) :

$$\Delta IRI = 0.15 \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \quad (13)$$

missä,

ΔIRI = IRI:n kasvunopeus vuodessa uudelle rakenteelle
mitoituslavan olosuhteissa, [mm/m/a]

$K1$ = pohjamaaluokan painokerroin

$K2$ = mitoituslavan routanousun painokerroin

$K3$ = päällysrakenteen paksuuden painokerroin

Tarvittava rakennepaksuus on saavutettu, kun $\Delta IRI \leq \Delta IRI_{\text{mitoituskriteeri}}$ (kohta 2.4 taulukko 3). Jos $\Delta IRI > \Delta IRI_{\text{mitoituskriteeri}}$, kasvatetaan rakenteen paksuutta iteroimalla niin, että $\Delta IRI_{\text{mitoituskriteeri}}$ saavutetaan.

5 POIKITTAISEN EPÄTASAISUUDEN MITOITTAMINEN

5.1 Rakenteen parantamisen mitoittaminen

5.1.1 Lähtöarvot

Parannettava tierakenne

- Päällystetyyppi: AB (AB B50/70, AB B70/100, AB B100/150) tai PAB (PAB-B, PAB-V/o)
- Päällysteen paksuus PPAKS, [mm]
- Päällystekerrosten lukumäärä, [1, 2]
- Päällysteen ikä viimeisen päällystystoimenpiteen perusteella Ikä, [a]
- Päällysteen jäykkyyssmoduuli ”uutena” +20 °C:ssa $S_{+20\text{ °C}}$, [MPa]
- Tien leveys TLEV, [m]
- Luiskan kaltevuus n, [1:n]
- Ylimmän sitomattoman rakennekerroksen hienoainesspitoisuus HA (#0.063), [%]
- Verkkohalkeamien määrä ajourissa / 100 m, [m/ 100 m]
- Urapaikkauksen määrä, [m/ 100 m]
- Harjanteen kasvu vuodessa (suoraan tiekohteelta mitattuna tai laskettuna harjanteen korkeuden, alkuharjanteen ja päällysteen iän perusteella) h_v mitattu, [mm/a]
- PPL-taipumat (kaistan keskeltä kesällä) D0, D450 ja D600, [μm]
- Päällysteen pinnan lämpötila PPL-mittausolosuhteissa T_{pinta} , [°C]
- KVL, [ajon/vrk]
- Sijainti, [pohjoinen, etelä]
- Mitoitustalven routanousu tien keskilinjalla h_{10} , [mm]

Parannettu tierakenne

- Parantamistoimenpiteen valinta
VE1 = uudelleenpäällystys
VE2 = Kantavan kerroksen lisäys, max 300 mm (+ uusi päällyste)
- Tien leveys TLEV (jos muuttuu parantamisen yhteydessä), [m]
- Luiskan kaltevuus n (jos muuttuu parantamisen yhteydessä), [1:n]
- KVL (jos eri kuin parannettavalla), [ajon/vrk]
- Mitoitusikä vuosina Y, [a]
- Harjannekriteeri nopeusrajoitusluokittain $H_{\text{mitoituskriteeri}}$, [mm]

Jos parantamistoimenpiteenä uudelleenpäällystys :

- Päällysteen lisäyksen tyyppi:
AB (AB B50/70, AB B70/100, AB B100/150) tai

PAB (PAB-B, PAB-V/o)

- Päällysteen lisäyksen paksuus $Plisä$, [mm]
- Päällysteen lisäyksen jäykkyysmoduuli $+20\text{ °C}$:ssa $S_{+20\text{ °C}}$, [MPa]

Jos parantamistoimenpiteenä kantavan kerroksen lisäys (+ uusi päällyste) :

- Uuden päällysteen tyyppi:
AB (AB B50/70, AB B70/100, AB B100/150) tai
PAB (PAB-B, PAB-V/o)
- Uuden päällysteen paksuus $PPAKS$, [mm]
- Uuden päällysteen jäykkyysmoduuli $+20\text{ °C}$:ssa $S_{+20\text{ °C}}$, [MPa]
- Kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen paksuus $Klisä$, [mm]
- Kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen hienoainespitoisuus HA (#0.063), [%]

5.1.2 Mitoituksen kulku parannettavalle tierakenteelle

5.1.2.1 Päällysteen moduuli $+20\text{ °C}$ lämpötilassa (kesä)

Parannettavan tierakenteen päällysteen jäykkyysmoduuli annetaan mitoituksessa lähtöarvona ja sen suuruus voidaan arvioida taulukon 5 avulla. Kun päällyste on ohut ja yksikerroksinen, parannettavan tierakenteen jäykkyysmoduuliksi tulee valita ns. uuden päällysteen jäykkyyttä vastaava arvo.

Taulukko 5. Päällysteen jäykkyysmoduulin valinta poikittaisen epätasaisuuden mitoitusmenettelyssä.

Päällystetyyppi	Päällysteen jäykkyysmoduuli $+20\text{ °C}$ lämpötilassa, $S_{+20\text{ °C}}$ [MPa]	
	Uusi päällyste ehyt, halkeilematon	Vanha päällyste
AB B50/70	4000	2400
AB B70/100	3500	2100
AB B100/150	2800	1650
PAB-B	2500	1375
PAB-V/o	1500	875

Kun päällystekerroksia on 2, ylimmän kerroksen jäykkyysmoduuliksi tulee valita uuden päällysteen jäykkyyttä vastaava arvo ja alapuolisen kerroksen jäykkyysmoduuliksi ns. vanhan päällysteen jäykkyyttä vastaava arvo. Tällöin mitoituksessa käytettävä koko päällystekerrosta yhteisesti vastaava jäykkyysmoduuli määritetään ylemmän ja alemman kerroksen jäykkyysmoduulien keskiarvona.

5.1.2.2 Päällysteen moduuli $+10\text{ °C}$ lämpötilassa (kevät)

Päällysteen jäykkyysmoduulia lämpötilassa $+10\text{ °C}$ tarvitaan kevätolosuhteissa tehtävissä tarkasteluissa. PAB-päällysteillä jäykkyysmoduulina käytetään kesäarvoa eli oletetaan, että jäykkyysmoduuli ei riipu lämpötilasta. AB-päällysteillä jäykkyys $+20\text{ °C}$:ssa tulee muuttaa vastaamaan lämpötilaa $+10\text{ °C}$ eli kevätolosuhteita seuraavasti (kaava 14):

$$S_{+10^{\circ}\text{C}} = S_{+20^{\circ}\text{C}} \cdot 0.96^{(10^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C})} \quad (14)$$

missä,

$S_{+10^{\circ}\text{C}}$ = AB-päällysteen jäykkyys lämpötilassa $+10^{\circ}\text{C}$ [MPa]

$S_{+20^{\circ}\text{C}}$ = AB-päällysteen jäykkyys lämpötilassa $+20^{\circ}\text{C}$ [MPa]

5.1.2.3 Taipumaparametrin SCI450 määrittäminen

Taipumaparametrin SCI450 määrittämisen yleisperiaate

Taipumaparametri SCI450 määritetään PPL-taipumien D0 ja D450 erotuksena. AB-päällysteisillä tierakenteilla D0-taipumille tulee tehdä lämpötilakorjaus ennen SCI450:n määrittämistä. D0-taipuman lämpötilakorjauksen suorittaminen edellyttää PPL-mittausolosuhteita vastaavan AB-päällysteen keskimääräisen lämpötilan ja AB-päällysteen jäykkyysmoduulin määrittämisen. Muilla päällystetyypeillä D0-taipumaa ei tarvitse lämpötilakorjata, vaan SCI450 määritetään suoraan PPL-mitattujen D0- ja D450-taipumien erotuksena.

AB-päällysteen keskimääräinen lämpötila

AB-päällysteillä päällysteen keskimääräinen lämpötila määritetään päällysteen paksuuden ja PPL-mittauksissa määritetyn pintalämpötilan perusteella yhtälöllä (kaava 15):

$$T_{PPAKS} = (1 - 0.01PPAKS) \cdot T_{pinta} + 0.01PPAKS \cdot (0.964 \cdot T_{pinta} + 0.395) \quad (15)$$

missä,

T_{PPAKS} = keskimääräinen lämpötila AB-päällysteelle, jonka paksuus on PPAKS mm [$^{\circ}\text{C}$]

T_{pinta} = AB-päällysteen pintalämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

$PPAKS$ = AB-päällysteen paksuus [mm]

Kaavassa 15 käytetty päällysteen keskimääräisen ja pintalämpötilan välinen riippuvuus pohjautuu Temmeksen instrumentoidulla koetiellä tehtyihin lämpötilahavaintoihin.

AB-päällysteen jäykkyysmoduuli mittausolosuhteissa

D0-taipuman lämpötilakorjauksen suorittamiseksi tarvitaan myös päällysteen jäykkyysmoduulia PPL-mittausolosuhteissa. Se määritetään lähtöarvona annetun päällysteen jäykkyyden $+20^{\circ}\text{C}$:ssa avulla AB-päällysteille yhtälöllä (kaava 16):

$$S_{mitolos} = S_{+20^{\circ}C} \cdot 0.96^{(T_{mitolos} - 20^{\circ}C)} \quad (16)$$

missä,

$S_{mitolos}$ = AB-päällysteen jäykkyys mittauslämpötilassa $T_{mitolos}$ °C [MPa]
 $S_{+20^{\circ}C}$ = AB-päällysteen jäykkyys tarkastelulämpötilassa +20°C [MPa]

D0-taipuman lämpötilakorjaus AB-teillä

D0-taipuman lämpötilakorjaus kesä- (+20 °C) ja kevätolosuhteissa (+10 °C) suoritetaan AB-päällysteisille tierakenteille yhtälöillä (kaavat 17 ja 18):

$$D0_{kesä} = D0_{mitolos} \cdot \left[(0.998 + 0.00006543PPAKS + 0.0000001363S_{mitolos})^{(+20^{\circ}C - T_{mitolos})} \right] \quad (17)$$

$$D0_{+10^{\circ}C} = D0_{mitolos} \cdot \left[(0.998 + 0.00006543PPAKS + 0.0000001363S_{mitolos})^{(+10^{\circ}C - T_{mitolos})} \right] \quad (18)$$

missä,

$D0_{kesä}$ = kesäolosuhteisiin +20 °C lämpötilakorjattu D0-taipuma [μm]
 $D0_{+10^{\circ}C}$ = kevätolosuhteisiin +10 °C lämpötilakorjattu D0-taipuma [μm]
 $D0_{mitolos}$ = tien pinnan D0-taipuma mittauslämpötilassa [μm]
 $PPAKS$ = AB-päällysteen paksuus [mm]
 $S_{mitolos}$ = AB-päällysteen jäykkyyssmoduuli mittauslämpötilassa [MPa]
 $T_{mitolos}$ = mittauslämpötila [°C]

Taipumaparametri SCI450 AB-teillä

Taipumaparametri SCI450 kesä- ja kevätolosuhteissa lasketaan AB-päällysteisillä tierakenteilla seuraavasti (kaavat 19 ja 20):

$$SCI450_{kesä} = D0_{kesä} - D450_{mitolos} \quad (19)$$

$$SCI450_{+10^{\circ}C} = D0_{+10^{\circ}C} - D450_{mitolos} \quad (20)$$

missä,

$SCI450_{kesä}$ = SCI450:n arvo kesäolosuhteissa (+20 °C) [μm]
 $SCI450_{+10^{\circ}C}$ = SCI450:n arvo kevätolosuhteissa (+10 °C) [μm]
 $D0_{kesä}$ = kesäolosuhteisiin +20 °C lämpötilakorjattu D0-taipuma [μm]
 $D0_{+10^{\circ}C}$ = kevätolosuhteisiin +10 °C lämpötilakorjattu D0-taipuma [μm]
 $D450_{mitolos}$ = tien pinnan D450-taipuma mittauslämpötilassa [μm]

5.1.2.4 Kantavan kerroksen moduuli

Kantavan kerroksen moduuli kesäolosuhteissa (päällysteen lämpötila +20 °C) määritetään yhtälöllä (kaava 21):

$$M_{kant\ kesä} = 967.2 - 3.47PPAKS - 0.026S_{+20^{\circ}C} - 0.82SCI450_{kesä} + 0.07D600 \quad (21)$$

missä,

$M_{kant\ kesä}$	= kantavan kerroksen moduuli lämpötilassa +20 °C [MPa]
$PPAKS$	= päällysteen paksuus [mm]
$S_{+20^{\circ}C}$	= päällysteen moduuli lämpötilassa +20 °C [MPa]
$SCI450_{kesä}$	= SCI450:n arvo kesäolosuhteissa (+20 °C) [μm]
$D600$	= tien pinnan D600-taipuma [μm]

Yhtälössä $SCI450_{kesä}$ on AB-päällysteisillä tierakenteilla määritetty lämpötilakorjattua D0-taipumaa käyttäen ja PAB-päällysteisillä tierakenteilla suoraan mittausolosuhteita vastaava D0-taipumaa käyttäen. D600-taipumana käytetään päällystetyypistä riippumatta suoraan mittausolosuhteissa määritettyä taipuman arvoa.

Kevätolosuhteita (päällysteen tarkastelulämpötilaa +10 °C) vastaava kantavan kerroksen moduuli määritetään puolestaan yhtälöllä (kaava 22):

$$M_{kant\ kevät} = 670.5 - 2.54PPAKS - 0.011S_{+10^{\circ}C} - 0.58SCI450_{+10^{\circ}C} + 0.05D600 \quad (22)$$

missä,

$M_{kant\ kevät}$	= kantavan kerroksen moduuli lämpötilassa +10 °C [MPa]
$PPAKS$	= päällysteen paksuus [mm]
$S_{+10^{\circ}C}$	= päällysteen moduuli lämpötilassa +10 °C [MPa]
$SCI450_{+10^{\circ}C}$	= SCI450:n arvo kevätolosuhteissa (+10 °C) [μm]
$D600$	= tien pinnan D600-taipuma [μm]

Yhtälössä $SCI450_{+10^{\circ}C}$ on AB-päällysteisillä tierakenteilla määritetty lämpötilakorjattua D0-taipumaa käyttäen ja PAB-päällysteisillä tierakenteilla suoraan mittausolosuhteita vastaava D0-taipumaa käyttäen. D600-taipumana käytetään päällystetyypistä riippumatta suoraan mittausolosuhteissa määritettyä taipuman arvoa.

5.1.2.5 Kantavan kerroksen kimmoinen kokoonpuristuma

Kantavan kerroksen kimmoinen kokoonpuristuma kesä- ja kevätolosuhteissa lasketaan seuraavilla yhtälöillä edellä määritettyjen päällysteen ja kantavan kerroksen moduulien perusteella (kaavat 23 ja 24):

$$\varepsilon_{e\text{ kesä}} = 1934.2 - 6.78PPAKS - 0.0419S_{+20^{\circ}\text{C}} - 1.9M_{kant\text{ kesä}} \quad (23)$$

$$\varepsilon_{e\text{ kevät}} = 2665.4 - 10.14PPAKS - 0.0409S_{+10^{\circ}\text{C}} - 3.3M_{kant\text{ kevät}} \quad (24)$$

missä,

$\varepsilon_{e\text{ kesä}}$	= kantavan kerroksen suhteellinen kimmainen kokoonpuristuma lämpötilassa +20 °C (kesäolosuhteissa) [μm/m]
$\varepsilon_{e\text{ kevät}}$	= kantavan kerroksen suhteellinen kimmainen kokoonpuristuma lämpötilassa +10 °C (kevätolosuhteissa) [μm/m]
$PPAKS$	= päällysteen paksuus [mm]
$S_{+20^{\circ}\text{C}}$	= päällysteen moduuli lämpötilassa +20 °C [MPa]
$M_{kant\text{ kesä}}$	= kantavan kerroksen moduuli lämpötilassa +20 °C [MPa]
$S_{+10^{\circ}\text{C}}$	= päällysteen moduuli lämpötilassa +10 °C [MPa]
$M_{kant\text{ kevät}}$	= kantavan kerroksen moduuli lämpötilassa +10 °C [MPa]

5.1.2.6 Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset

Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset kesä- ja kevätolosuhteissa arvioidaan seuraavien TKT-testien pohjalta muodostettujen yhtälöiden avulla (kaavat 25 ja 26) [Belt ym., 2000b]:

$$\varepsilon_{p\text{ kesä}} = a' \cdot \varepsilon_{e\text{ kesä}} \cdot N^b \quad (25)$$

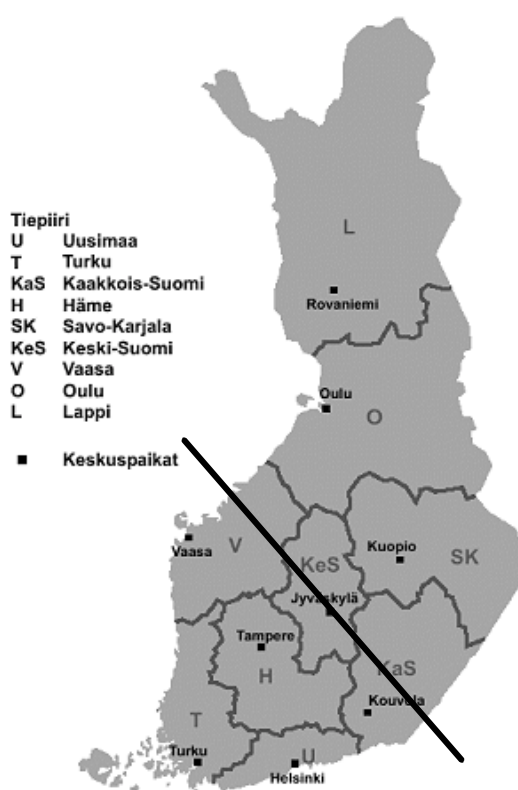
$$\varepsilon_{p\text{ kevät}} = a' \cdot \varepsilon_{e\text{ kevät}} \cdot N^b \quad (26)$$

missä,

$\varepsilon_{p\text{ kesä}}$	= kantavan kerroksen kumulatiivinen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kesäolosuhteissa [μm/m/a]
$\varepsilon_{p\text{ kevät}}$	= kantavan kerroksen kumulatiivinen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kevätolosuhteissa [μm/m/a]
$\varepsilon_{e\text{ kesä}}$	= kantavan kerroksen suhteellinen kimmainen kokoonpuristuma lämpötilassa +20 °C (kesäolosuhteissa) [μm/m]
$\varepsilon_{e\text{ kevät}}$	= kantavan kerroksen suhteellinen kimmainen kokoonpuristuma lämpötilassa +10 °C (kevätolosuhteissa) [μm/m]
a'	= 0.06 = vakio kesä- ja kevätolosuhteissa
N	= kuormitusten lukumäärä
b	= kesäolosuhteissa 0.6 ; kevätolosuhteissa funktio hienoaainespitoisuudesta HA #0.063 kantavassa kerroksessa:
	HA < 4 % ⇒ b = 0.6
	4 % ≤ HA ≤ 10 % ⇒ b = 0.4 + 0.05HA
	HA > 10 % ⇒ b = 0.9

Hienoaineksen määrän vaikutus potenssiin b pohjautuu eri materiaaleilla tehtyihin TKT-testeihin.

Kuormitusten lukumääränä N käytetään 10 %:a lähtöarvona annetusta vuorokausiliikennemäärästä kaistaa kohti (eli $0.05 \times \text{KVL}$) kerrottuna periodin pituudella vuorokausina. Parannettavan tierakenteen tarkastelussa KVL:n arvona käytetään tiekohteelta saatavaa uusinta KVL-tietoutta. Kevätperiodin pituutena käytetään koko Suomessa 30 vrk:ta (eli 1 kk). Kesäperiodin pituutena käytetään Suomen eteläisissä osissa 210 vrk:ta (7 kk) ja Suomen pohjoisissa osissa 180 vrk:ta (6 kk). Eteläisen ja pohjoisen alueen raja kulkee linjalla Kokkola – Jyväskylä – Lappeenranta (kuva 18).



Kuva 18. Eteläisen ja pohjoisen alueen raja kesäkauden pituuden määrittämisessä.

5.1.2.7 Parannettavan rakenteen h_{TKT}

Laskennallinen termi ”Harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella h_{TKT} ” määritetään parannettavalle rakenteelle kesä- ja kevätperiodille edellisessä kohdassa arvioitujen suhteellisten pysyvien muodonmuutosten avulla seuraavasti (kaava 27):

$$h_{\text{TKT}} = h_{\text{TKT kevät}} + h_{\text{TKT kesä}} = 0.3 \cdot (\varepsilon_{p \text{ kevät}} + \varepsilon_{p \text{ kesä}}) \quad (27)$$

missä,

h_{TKT}	= harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella [$\mu\text{m/a}$]
$h_{TKT \text{ kevät}}$	= harjanteen kasvu kevätperiodilla vuodessa [$\mu\text{m/a}$]
$h_{TKT \text{ kesä}}$	= harjanteen kasvu kesäperiodilla vuodessa [$\mu\text{m/a}$]
kerroin 0.3	= oletusarvona käytetty kantavan kerroksen paksuus [m]
$\varepsilon_p \text{ kevät}$	= kantavan kerroksen kumulatiivinen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kevätolosuhteissa [$\mu\text{m/m/a}$]
$\varepsilon_p \text{ kesä}$	= kantavan kerroksen kumulatiivinen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kesäolosuhteissa [$\mu\text{m/m/a}$]

5.1.2.8 h_v parannettava

Harjanteen kasvu vuodessa parannettavalle tierakenteelle geometria ja olosuhdetekijät huomioon ottaen eli h_v parannettava saadaan laskettua yhtälöllä (kaava 28):

$$h_{v \text{ parannettava}} = K \cdot h_{TKT} \cdot GEOM \cdot OLOS \quad (28)$$

missä,

$h_v \text{ parannettava}$	= harjanteen kasvu vuodessa geometria ja olosuhdetekijät huomioon ottaen parannettavalle rakenteelle [$\mu\text{m/a}$]
K	= kalibrintikerroin = 1 kevyen parantamisen yhteydessä
h_{TKT}	= harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella [$\mu\text{m/a}$]
$GEOM$	= poikkigeometriakerroin
$OLOS$	= olosuhdekerroin

GEOM-kerroin määritetään kaavalla 29 kuitenkin siten, että sen arvo on vähintään 0.5. GEOM-kerroin pohjautuu tehtyihin HVS-kokeisiin.

$$GEOM = 0.407 + \frac{-0.273 \cdot TLEV^2 + 2.785 \cdot TLEV - 4.971}{2.7^{(\frac{\%}{3})}} \quad (29)$$

missä,

$GEOM$	= poikkigeometriakerroin
$TLEV$	= tien leveys [m]
n	= luiskan kaltevuus, 1:n

Jos tien leveyden sijasta mitataan päällysteen leveys (PLEV), tien leveys on päällysteen leveys + 0.5 m.

OLOS-kerroin määritetään tien keskilinjän mitoituslavan routanousun (kohta 3.1.2.2) perusteella seuraavalla yhtälöllä (kaava 30):

$$\begin{cases} OLOS = 1 & , \text{ kun } h_{10} < 50 \text{ mm} \\ OLOS = 0.01 \cdot h_{10} + 0.5 & , \text{ kun } 50 \text{ mm} \leq h_{10} \leq 150 \text{ mm} \\ OLOS = 2 & , \text{ kun } h_{10} > 150 \text{ mm} \end{cases} \quad (30)$$

missä,

$OLOS$ = olosuhdekerroin

h_{10} = mitoitustalven routanousu tien keskilinjalla [mm]

Kohdissa, missä ei ole merkittävässä määrin pituushalkeamia tai pituussuuntaista epätasaisuutta (eli routanousuja ei ole tarvinnut mitata) $OLOS$ -kertoimena käytetään arvoa 1.

Jos ei aikataulullisista syistä pystytä mittaamaan routanousuja, ne tulee arvioida likiarvomenettelyllä. Tällöin routanousut arvioidaan ensisijaisesti pituussuuntaisten halkeamien perusteella kohdan 3.1.3 mukaisesti ja toissijaisesti IRI-arvojen perusteella kohdan 4.1.3 mukaisesti kaavalla 9.

Parannettavan rakenteen tarkastelun perusteella saatua termiä h_v parannettava hyödynnetään määritettäessä ”kalibroitu” harjanteen kasvunopeus h_v (kohta 5.1.4.2).

5.1.3 Mitoituksen kulku parannelulle tierakenteelle

5.1.3.1 Parantamisvaihtoehdon valinta

Mitoitusmenettely parannetun tierakenteen osalta alkaa parantamisvaihtoehdon valinnalla. Valittavana on kaksi vaihtoehtoista rakenteen parantamistapaa:

- VE I : uudelleenpäällystäminen
- VE II : kantavan kerroksen materiaalin lisäys (+uusi päällyste)

Uudelleenpäällystämässä joko lisätään uutta päällystettä suoraan vanhan kerroksen päälle tai jyrsitään vanha päällyste pois / sekoitetaan kantavan kerroksen materiaaliin ennen uuden päällysteen levittämistä.

5.1.3.2 Päällysteen moduuli +20 °C lämpötilassa (kesä)

Parannetun rakenteen sisältämien uuden ja vanhojen päällystekerrosten moduulin valinta +20 °C:ssa voidaan suorittaa seuraavan taulukon avulla (taulukko 6).

Taulukko 6. Päälysteen jäykkyysmoduulin valinta poikittaisen epätasaisuuden mitoitusmenettelyssä.

Päälystetyyppi	Päälysteen jäykkyysmoduuli +20 °C lämpötilassa, $S_{+20\text{ °C}}$ [MPa]		
	Uusi päälyste ehyt, halkeilematon	Vanha päälyste väsynyt	* paljon verkkohalkeamia
AB B50/70	4000	2800	2000
AB B70/100	3500	2400	1800
AB B100/150	2800	1900	1400
PAB-B	2500	1500	1250
PAB-V/o	1500	1000	750

* verkkohalkeamia ajourissa > 20 m / 100 m

Uudelleenpäälystämisen yhteydessä mitoituksessa tarvitaan sidottujen kerrosten yhteispaksuuden lisäksi koko päälystekerroksen jäykkyyttä yhteisesti vastaava jäykkyysmoduuli. Se määritetään uuden päälysteen ja alempien vanhojen päälystekerroksien moduulien ja paksuuksien suhteessa.

Kun parantamisvaihtoehtona on kantavan kerroksen materiaalin lisäys, rakenteeseen tulee uusi päälystekerros, minkä moduuliksi tulee valita ehyn, halkeilemattoman päälysteen moduulia vastaava arvo.

5.1.3.3 Päälysteen moduuli +10 °C lämpötilassa (kevät)

Päälystekerroksien jäykkyysmoduulia tarvitaan mitoituksen yhteydessä myös +10 °C lämpötilaan määritettynä. PAB-päälysteillä jäykkyysmoduulina käytetään kesäarvoa eli oletetaan, että jäykkyysmoduuli ei riipu lämpötilasta. AB-päälysteillä jäykkyys +20 °C:ssa tulee muuttaa vastaamaan lämpötilaa +10 °C eli kevätolosuhteita. AB-päälystekerrosten jäykkyyttä kevätolosuhteissa +10 °C kuvaava moduuli määritetään uudelleenpäälystykseen yhteydessä koko sidotulle kerrokselle yhteisesti määritetyn kesämoduulin +20 °C:ssa perusteella ja kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen yhteydessä uudelle päälysteelle valitun kesämoduulin +20 °C:ssa perusteella seuraavaa yhtälöä käyttäen (kaava 31 = kaava 17):

$$S_{+10\text{ °C}} = S_{+20\text{ °C}} \cdot 0.96^{(+10\text{ °C} - 20\text{ °C})} \quad (31)$$

missä,

$S_{+10\text{ °C}}$ = AB-päälysteen jäykkyys lämpötilassa +10 °C [MPa]

$S_{+20\text{ °C}}$ = AB-päälysteen jäykkyys lämpötilassa +20 °C [MPa]

5.1.3.4 D0-taipuman pienennyskerroin

Parannettua rakennetta tarkasteltaessa PPL-mittauksin määritettyä D0-taipuman arvoa tulee pienentää vastaamaan parantamistoimenpiteiden vuoksi jäykempää rakennetta. D0-taipuman pienentäminen suoritetaan toisistaan poikkeavaa menettelyä käyttäen uudelleenpäälystämisen ja kantavan ker-

roksen materiaalin lisäyksen yhteydessä kesä- ja kevätolosuhteisiin lämpötilakorjatuille D0-taipumille.

Uudelleenpäällystämisen yhteydessä päällysteen lisäyksen vaikutus otetaan huomioon pienentämällä D0-taipuman arvoa seuraavasti (kaavat 32 ja 33):

$$uusiD0_{kesä} = (1.087 - 0.00002S_{+20^{\circ}C} - 0.0029Plisä) \cdot D0_{kesä} \quad (32)$$

$$uusiD0_{+10^{\circ}C} = (1.087 - 0.00002S_{+10^{\circ}C} - 0.0029Plisä) \cdot D0_{+10^{\circ}C} \quad (33)$$

missä,

$uusiD0_{kesä}$	= parannetun rakenteen D0-taipuma kesäoloissa +20 °C [μm]
$uusiD0_{+10^{\circ}C}$	= parannetun rakenteen D0-taipuma kevätoloissa +10 °C [μm]
$D0_{kesä}$	= parannettavan rakenteen D0-taipuma kesäoloissa +20 °C [μm]
$D0_{+10^{\circ}C}$	= parannettavan rakenteen D0-taipuma kevätoloissa +10 °C [μm]
$S_{+20^{\circ}C}$	= koko sidotulle kerrokselle määritetty yhteinen moduuli kesäoloissa +20 °C [MPa]
$S_{+10^{\circ}C}$	= koko sidotulle kerrokselle määritetty yhteinen moduuli kevätoloissa +10 °C [MPa]
$Plisä$	= uuden päällystekerroksen paksuus [mm]

Alle 20 mm paksuisia päällystemassan lisäyksiä (esim. ohuet pintaukset) ei oteta huomioon. Jos vanha päällyste jyrsitään pois / sekoitetaan kantavaan kerrokseen, D0-taipuman pienennystä ei suoriteta.

Kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen yhteydessä sitomattoman materiaalin lisäyksen ja uuden päällystekerroksen vaikutus otetaan huomioon pienentämällä D0-taipuman arvoa seuraavien yhtälöiden avulla (kaavat 34 ja 35):

$$uusiD0_{kesä} = (0.9433 - 0.0007Klisä) \cdot D0_{kesä} \quad (34)$$

$$uusiD0_{+10^{\circ}C} = (0.9433 - 0.0007Klisä) \cdot D0_{+10^{\circ}C} \quad (35)$$

missä,

$uusiD0_{kesä}$	= parannetun rakenteen D0-taipuma kesäoloissa +20 °C [μm]
$uusiD0_{+10^{\circ}C}$	= parannetun rakenteen D0-taipuma kevätoloissa +10 °C [μm]
$D0_{kesä}$	= parannettavan rakenteen D0-taipuma kesäoloissa +20 °C [μm]
$D0_{+10^{\circ}C}$	= parannettavan rakenteen D0-taipuma kevätoloissa +10 °C [μm]
$Klisä$	= kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen paksuus [mm]

Yhtälöiden soveltamisalueena on 100–300 mm kantavan kerroksen materiaalin lisäys. Alle 100 mm kantavan kerroksen lisäykset eivät käytännössä ole toteuttamiskelpoisia. Yli 300 mm kantavan kerroksen lisäykset luokitel-

laan puolestaan rankaksi parantamiseksi, minkä yhteydessä mitoitusmenettely on erilainen.

5.1.3.5 Taipumaparametri SCI450

Taipumaparametri SCI450 kesä- ja kevätolosuhteissa lasketaan edellä esitetysti parannetuille rakenteille määritettyjä D0-taipumia ja mittausolosuhteiden D450-taipumia käyttäen seuraavasti (kaavat 36 ja 37):

$$SCI450_{kesä} = uusiD0_{kesä} - D450_{mitolos} \quad (36)$$

$$SCI450_{+10^{\circ}C} = uusiD0_{+10^{\circ}C} - D450_{mitolos} \quad (37)$$

missä,

$SCI450_{kesä}$	= SCI450:n arvo kesäolosuhteissa (+20 °C) [μm]
$SCI450_{+10^{\circ}C}$	= SCI450:n arvo kevätolosuhteissa (+10 °C) [μm]
$uusiD0_{kesä}$	= kesäolosuhteisiin +20 °C lämpötilakorjattu D0-taipuma, missä on otettu huomioon parantamisen vaikutus [μm]
$uusiD0_{+10^{\circ}C}$	= kevätolosuhteisiin +10 °C lämpötilakorjattu D0-taipuma, missä on otettu huomioon parantamisen vaikutus [μm]
$D450_{mitolos}$	= tien pinnan D450-taipuma PPL-mittauslämpötilassa [μm]

5.1.3.6 Kantavan kerroksen moduuli

Kantavan kerroksen moduuli parannetulle rakenteelle kesäolosuhteissa (+20 °C) määritetään yhtälöllä (kaava 38):

$$M_{kant\ kesä} = 967.2 - 3.47PPAKS - 0.026S_{+20^{\circ}C} - 0.82SCI450_{kesä} + 0.07D600 \quad (38)$$

missä,

$M_{kant\ kesä}$	= kantavan kerroksen moduuli +20 °C:ssa [MPa]
$PPAKS$	= sidottujen kerrosten yhteispaksuus [mm]
$S_{+20^{\circ}C}$	= koko sidotulle rakenteelle yhteisesti määritetty moduuli +20 °C:ssa [MPa]
$SCI450_{kesä}$	= SCI450:n arvo kesäolosuhteissa (+20 °C) [μm]
$D600$	= tien pinnan D600-taipuma [μm]

Yhtälössä $SCI450_{kesä}$ on määritetty edellä esitettyä parantamistavasta riippuvaa D0-taipuman pienennystä käyttäen. D600-taipumana käytetään päällystetyypistä riippumatta suoraan mittausolosuhteissa määritettyä taipuman arvoa. Yhtälö on sama kuin vastaavassa kohdassa parannettavan rakenteen yhteydessä käytetty kaavaa 21.

Kevätolosuhteita (+10 °C) vastaava kantavan kerroksen moduuli parannel-
tulle tierakenteelle määritetään puolestaan yhtälöllä (kaava 39):

$$M_{kant\ kevät} = 670.5 - 2.54PPAKS - 0.011S_{+10^{\circ}C} - 0.58SCI450_{+10^{\circ}C} + 0.05D600 \quad (39)$$

missä,

$M_{kant\ kevät}$	= kantavan kerroksen moduuli +10 °C:ssa [MPa]
$PPAKS$	= sidottujen kerrosten yhteispaksuus [mm]
$S_{+10^{\circ}C}$	= koko sidotulle rakenteelle yhteisesti määritetty moduuli +10 °C:ssa [MPa]
$SCI450_{+10^{\circ}C}$	= SCI450:n arvo kevätolosuhteissa (+10 °C) [μm]
$D600$	= tien pinnan D600-taipuma [μm]

Yhtälössä $SCI450_{+10^{\circ}C}$ on määritetty edellä esitettyä parantamistavasta riip-
puvaa D0-taipuman pienennystä käyttäen. D600-taipumana käytetään pääl-
lystetyypistä riippumatta suoraan mittausolosuhteissa määritettyä taipuman
arvoa. Yhtälö on sama kuin vastaavassa kohdassa parannettavan raken-
teen yhteydessä käytetty kaava 22.

5.1.3.7 Kantavan kerroksen kimminen kokoonpuristuma

Kantavan kerroksen kimminen kokoonpuristuma kesä- ja kevätolosuht-
eissa lasketaan seuraavilla yhtälöillä edellä määritettyjen päällysteen ja
kantavan kerroksen moduulien perusteella (kaavat 40 ja 41):

$$\varepsilon_{e\ kesä} = 1934.2 - 6.78PPAKS - 0.0419S_{+20^{\circ}C} - 1.9M_{kant\ kesä} \quad (40)$$

$$\varepsilon_{e\ kevät} = 2665.4 - 10.14PPAKS - 0.0409S_{+10^{\circ}C} - 3.3M_{kant\ kevät} \quad (41)$$

missä,

$\varepsilon_{e\ kesä}$	= kantavan kerroksen suhteellinen kimminen kokoonpuristuma lämpötilassa +20 °C (kesäolosuhteissa) [μm/m]
$\varepsilon_{e\ kevät}$	= kantavan kerroksen suhteellinen kimminen kokoonpuristuma lämpötilassa +10 °C (kevätolosuhteissa) [μm/m]
$PPAKS$	= sidottujen kerrosten yhteispaksuus [mm]
$S_{+20^{\circ}C}$	= koko sidotulle rakenteelle yhteisesti määritetty moduuli +20 °C:ssa [MPa]
$M_{kant\ kesä}$	= kantavan kerroksen moduuli +20 °C:ssa [MPa]
$S_{+10^{\circ}C}$	= koko sidotulle rakenteelle yhteisesti määritetty moduuli +10 °C:ssa [MPa]
$M_{kant\ kevät}$	= kantavan kerroksen moduuli +10 °C:ssa [MPa]

Yhtälöt ovat samoja kuin vastaavassa kohdassa parannettavan rakenteen
yhteydessä käytetyt kaavat 23 ja 24.

5.1.3.8 Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset

Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset kesä- ja kevätolosuhteissa arvioidaan seuraavien yhtälöiden avulla (kaavat 42 ja 43):

$$\varepsilon_{p\text{ kesä}} = a' \cdot \varepsilon_{e\text{ kesä}} \cdot N^b \quad (42)$$

$$\varepsilon_{p\text{ kevät}} = a' \cdot \varepsilon_{e\text{ kevät}} \cdot N^b \quad (43)$$

missä,

$\varepsilon_{p\text{ kesä}}$	= kantavan kerroksen kumulatiivinen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kesäolosuhteissa [$\mu\text{m/m/a}$]
$\varepsilon_{p\text{ kevät}}$	= kantavan kerroksen kumulatiivinen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kevätolosuhteissa [$\mu\text{m/m/a}$]
$\varepsilon_{e\text{ kesä}}$	= kantavan kerroksen suhteellinen kimmainen kokoonpuristuma lämpötilassa +20 °C (kesäolosuhteissa) [$\mu\text{m/m}$]
$\varepsilon_{e\text{ kevät}}$	= kantavan kerroksen suhteellinen kimmainen kokoonpuristuma lämpötilassa +10 °C (kevätolosuhteissa) [$\mu\text{m/m}$]
a'	= 0.06 = vakio kesä- ja kevätolosuhteissa
N	= kuormitusten lukumäärä
b	= kesäolosuhteissa 0.6 ; kevätolosuhteissa funktio hienoainespitoisuudesta HA #0.063 kantavassa kerroksessa:
	HA < 4 % $\Rightarrow$ b = 0.6
	4 % $\leq$ HA $\leq$ 10 % $\Rightarrow$ b = 0.4 + 0.05HA
	HA > 10 % $\Rightarrow$ b = 0.9

Yhtälöt ovat samoja kuin vastaavassa kohdassa parannettavan rakenteen yhteydessä käytetyt kaavat 25 ja 26.

Määritettäessä potenssia b kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen yhteydessä, tulee uuden sitomattoman materiaalin rakentamisen aikainen hienoneminen ottaa huomioon korottamalla sille murskauksen yhteydessä määritettyä hienoainespitoisuutta HA #0.063 1 %-yksiköllä. Muutoin edellytyksenä on, että lisäyksessä käytettävä materiaali täyttää sille asetetut rakeisuus- ja muut laatuvaatimukset

Jos halutaan parannetun rakenteen mitoituksessa hyödyntää tietyn lisättävän kantavan kerroksen materiaalin poikkeuksellisen hyviä ominaisuuksia, potenssi b tulisi määrittää erikseen tehtävällä TKT-testillä.

Kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen vaikutus potenssin b arvoon parannetun rakenteen sitomattomassa yläosassa kevätolosuhteissa otetaan huomioon määrittämällä parannetun rakenteen potenssi b uuden ja vanhan

(=300 mm – kantavan kerroksen lisäyksen paksuus) materiaalin potenssien b ja kerrospaksuuksien suhteessa (kaava 44):

$$b_{\text{parannettu}} = \frac{(b_{\text{lisäysmateriaali}} \cdot Klisä) + (b_{\text{vanha rakenne}} \cdot (300 \text{ mm} - Klisä))}{300 \text{ mm}} \quad (44)$$

missä,

$b_{\text{parannettu}}$	= potenssi b parannetun rakenteen sitomattomassa yläosassa kevätolosuhteissa
$b_{\text{lisäysmateriaali}}$	= lisätyn materiaalin potenssi b kevätolosuhteissa
$b_{\text{vanha rakenne}}$	= potenssi b parannettavan rakenteen sitomattomassa yläosassa kevätolosuhteissa
$Klisä$	= kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen paksuus [mm]

Kesäolosuhteissa potenssina b käytetään vakioarvoa 0.6 kantavan kerroksen materiaalin lisäyksestä huolimatta.

Kuormitusten lukumäärä N määritetään vastaavasti kuin parannettavalla tie-rakenteella (kohta 5.1.2.6). Kuitenkin jos kohteen liikennemäärissä on odotettavissa selviä muutoksia, KVL:n arvona tulee käyttää mitoitusajanjaksolle arvioitua keskimääräistä arvoa. Jos liikennemäärissä ei taas oleteta tapahtuvan muutoksia, KVL:n arvona käytetään uusinta KVL-tietoa.

5.1.3.9 Parannetun rakenteen h_{TKT}

Harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella parannetulle rakenteelle määritetään kesä- ja kevätperiodille arvioitujen pysyvien muodonmuutosten avulla seuraavasti (kaava 45):

$$h_{TKT} = h_{TKT \text{ kevät}} + h_{TKT \text{ kesä}} = 0.3 \cdot (\varepsilon_{p \text{ kevät}} + \varepsilon_{p \text{ kesä}}) \quad (45)$$

missä,

h_{TKT}	= harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella [$\mu\text{m/a}$]
$h_{TKT \text{ kevät}}$	= harjanteen kasvu kevätperiodilla vuodessa [$\mu\text{m/a}$]
$h_{TKT \text{ kesä}}$	= harjanteen kasvu kesäperiodilla vuodessa [$\mu\text{m/a}$]
$kerroin 0.3$	= oletusarvona käytetty kantavan kerroksen paksuus [m]
$\varepsilon_{p \text{ kevät}}$	= kantavan kerroksen kumulatiivinen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kevätolosuhteissa [$\mu\text{m/m/a}$]
$\varepsilon_{p \text{ kesä}}$	= kantavan kerroksen kumulatiivinen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kesäolosuhteissa [$\mu\text{m/m/a}$]

Yhtälö on sama kuin vastaavassa kohdassa parannettavan rakenteen yhteydessä käytetty kaavaa 27.

5.1.3.10 h_v parannettu

Harjanteen kasvu vuodessa parannetulle tierakenteelle geometria ja olosuhdetekijät huomioon ottaen eli h_v parannettu saadaan laskettua yhtälöllä (kaava 46):

$$h_{v \text{ parannettu}} = K \cdot h_{TKT} \cdot GEOM \cdot OLOS \quad (46)$$

missä,

$h_{v \text{ parannettu}}$	= harjanteen kasvu vuodessa geometria ja olosuhdetekijät huomioon ottaen parannetulle rakenteelle
K	= kalibrintikerroin = 1 kevyen parantamisen yhteydessä
h_{TKT}	= harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella
$GEOM$	= poikkigeometriakerroin
$OLOS$	= olosuhdekerroin

GEOM-kerroin määritetään kaavalla 47 kuitenkin siten, että sen arvo on vähintään 0.5.

$$GEOM = 0.407 + \frac{-0.273 \cdot TLEV^2 + 2.785 \cdot TLEV - 4.971}{2.7^{(\frac{n}{3})}} \quad (47)$$

missä,

$GEOM$	= poikkigeometriakerroin
$TLEV$	= tien leveys [m]
n	= luiskan kaltevuus, 1:n

Kaava 47 on sama kuin vastaavassa kohdassa parannettavan rakenteen yhteydessä käytetty kaava 29.

OLOS-kerroin määritetään tien keskilinjän mitoituslavan routanousun (kohta 3.1.2.2) perusteella seuraavalla yhtälöllä (kaava 48):

$$\begin{cases} OLOS = 1 & , \text{ kun } h_{10} < 50 \text{ mm} \\ OLOS = 0.01 \cdot h_{10} + 0.5 & , \text{ kun } 50 \text{ mm} \leq h_{10} \leq 150 \text{ mm} \\ OLOS = 2 & , \text{ kun } h_{10} > 150 \text{ mm} \end{cases} \quad (48)$$

missä,

$OLOS$	= olosuhdekerroin
h_{10}	= mitoituslavan routanousu tien keskilinjalla [mm]

Yhtälö on sama kuin vastaavassa kohdassa parannettavan rakenteen yhteydessä käytetty kaavaa 30.

Kohdissa, missä ei ole merkittävässä määrin pituushalkeamia tai pituussuuntaista epätasaisuutta (eli routanousuja ei ole tarvinnut mitata) OLOS-kertoimena käytetään arvoa 1.

Jos ei aikataulullisista syistä pystytä mittaamaan routanousuja, ne tulee arvioida likiarvomenettelyllä. Tällöin routanousut arvioidaan ensisijaisesti pituussuuntaisten halkeamien perusteella kohdan 3.1.3 mukaisesti ja toissijaisesti IRI-arvojen perusteella kohdan 4.1.3 mukaisesti.

Parannetun rakenteen tarkastelun perusteella saatua termiä $h_{v \text{ parannettu}}$ hyödynnetään määritettäessä ”kalibroitu” harjanteen kasvunopeus h_v (kohta 5.1.4.2).

5.1.4 Harjanteen kasvunopeuden kalibrointi kevyen rakenteen parantamisen yhteydessä

5.1.4.1 Mitattu harjanteen kasvunopeus $h_{v \text{ mitattu}}$

Kevyen parantamisen yhteydessä poikittaisen epätasaisuuden mitoittamisen lähtökohtana on harjanteen vuosittainen kasvunopeus ennen parantamista $h_{v \text{ mitattu}}$, mikä määritetään parannettavalla tieosalla suoritettavien tiemittauksien avulla. Jos harjanteen korkeuden mittaustuloksia löytyy useiden vuosien ajalta, voidaan $h_{v \text{ mitattu}}$ määrittää suoraan ko. mittaustuloksista. Jos mitoitus tehdään pelkästään tämän hetkistä harjanteen korkeuden arvoa käyttäen, tulee $h_{v \text{ mitattu}}$ arvioida päällysteen iän (ikä edellisestä toimenpiteestä) sekä harjanteen ja ns. alkuharjanteen korkeuden perusteella seuraavaa yhtälöä käyttäen (kaava 49):

$$h_{v \text{ mitattu}} = \frac{\text{Harjanne} - \text{Alkuharjanne}}{\text{Ikä}} \quad (49)$$

missä,

$h_{v \text{ mitattu}}$	= tieosuudelta mitattu todellinen harjanteen korkeuden vuosittainen kasvunopeus [mm/a]
<i>Harjanne</i>	= tieosuudelta mitattu todellinen harjanteen korkeus [mm]
<i>Alkuharjanne</i>	= päällystetyypille ominainen alkuharjanteen korkeus heti päällystämisen jälkeen (oletusarvot AB; 2mm, PAB-B; 3.5 mm, PAB-V/o; 5 mm [mm])
<i>Ikä</i>	= päällysteen ikä edellisestä toimenpiteestä määritettynä [a]

Urapaikkausten kohdalla $h_{v \text{ mitattu}}$:n arvona käytetään urasyvyyden toimenpiderajoja (kohta 2.4 taulukko 2).

5.1.4.2 Harjanteen kasvunopeus h_v

Harjanteen kasvunopeus h_v määritetään ”kalibroimalla” (kertomalla) tiekohteelta mitattu todellinen harjanteen kasvunopeus $h_{v \text{ mitattu}}$ parannetulle (parantamisvaihtoehdon mukainen uusi rakenne) ja parannettavalle (nykyinen rakenne) rakenteelle mitoitusmenettelyssä määritettyjen harjanteen kasvunopeuksien suhteella (kaava 50).

$$h_v = h_{v \text{ mitattu}} \cdot \frac{h_{v \text{ parannettu}}}{h_{v \text{ parannettava}}} \quad (50)$$

missä,

h_v	= harjanteen korkeuden vuosittainen kasvunopeus [mm/a]
$h_{v \text{ mitattu}}$	= tieosuudelta mitattu todellinen harjanteen korkeuden vuosittainen kasvunopeus [mm/a]
$h_{v \text{ parannettu}}$	= parantamisVE:n mukaiselle rakenteelle laskennallisesti määritetty harjanteen korkeuden vuosittainen kasvunopeus [mm/a]
$h_{v \text{ parannettava}}$	= laskennallisesti määritetty harjanteen korkeuden vuosittainen kasvunopeus parannettavalle tierakenteelle [mm/a]

5.1.5 Harjanteen vertaaminen mitoituskriteeriin

Rakenteen kestoikä määritetään jakamalla mitoituskriteerin mukainen suurin sallittu harjanteen korkeus $H_{\text{mitoituskriteeri}}$ vähennettynä alkuharjanteella harjanteen korkeuden vuosittaisella kasvunopeudella h_v (kaava 51). Jos rakenteen kestoikä on pienempi kuin mitoitusikä Y , rakennetta tulee vahvistaa.

$$\frac{H_{\text{mitoituskriteeri}} - \text{Alkuharjanne}}{h_v} \geq Y \quad (51)$$

missä,

$H_{\text{mitoituskriteeri}}$	= mitoituskriteerin mukainen suurin sallittu harjanteen korkeus (kohta 2.4) [mm]
Alkuharjanne	= päällystetyypille ominainen alkuharjanteen korkeus heti päällystämisen jälkeen [mm]
h_v	= harjanteen korkeuden vuosittainen kasvunopeus [mm/a]
Y	= tierakenteen mitoitusikä [a]

5.2 Uuden rakenteen mitoittaminen

5.2.1 Lähtöarvot

- Päällystetyyppi: AB (AB B50/70, AB B70/100, AB B100/150) tai PAB (PAB-B, PAB-V/o)
- Päällysteen paksuus PPAKS, [mm]
- Päällysteen jäykkyyssmoduuli +20 °C:ssa $S_{+20\text{ °C}}$, [MPa]
- Tien leveys TLEV, [m]
- Luiskan kaltevuus n, [1:n]
- Mitoitustalven routanousu tien keskilinjalla h_{10} , [mm]
- Ylimmän sitomattoman rakennekerroksen hienoainespitoisuus HA (#0.063), [%]
- Ylimmän sitomattoman rakennekerroksen K1-kerroin
- KVL, [ajon/vrk]
- Sijainti, [pohjoinen, etelä]
- Mitoitusikä vuosina Y, [a]
- Harjannekriteeri nopeusrajoitusluokittain $H_{\text{mitoituskriteeri}}$, [mm]

5.2.2 Päällysteen moduulin määrittäminen

Uuden rakenteen mitoittamisessa annetaan lähtöarvona päällysteen jäykkyyssmoduuli kesäolosuhteissa eli +20 °C:ssa. Moduulin suuruus voidaan arvioida kohdassa 5.1.2.1 esitetystä taulukosta 5.

AB-päällysteillä vastaava jäykkyyssmoduuli kevätolosuhteissa eli +10 °C määritetään kohdassa 5.1.2.2 esitetyllä kaavalla 14. PAB-päällysteillä jäykkyyssmoduulina käytetään kesäarvoa eli oletetaan, että jäykkyyssmoduuli ei riipu lämpötilasta.

5.2.3 Kantavan kerroksen moduulin määrittäminen

Kantavan kerroksen moduuli voidaan määrittää suoraan monikerrosohjelmalla (esim. Kenlayer) tai arvioida sen suuruus seuraavissa kohdissa esitetyjä yhtälöitä käyttäen.

Kantavan kerroksen moduulin arvioimiseksi kesäolosuhteissa määritetään pääjännitysten summa $\phi_{\text{kesä}}$ 0.15 m syvyydelle ylimmän sitomattoman kerroksen pinnasta. Sen määrittämisessä on kaksi vaihtoehtoista menettelytapaa, joista toinen sisältää päällystetietojen lisäksi myös arvion suodatinkerroksen moduulin suuruudesta (kaavat 52 ja 53):

$$\phi_{\text{kesä}} = 977.2 - 140 \cdot \ln PPAKS - 37.4 \cdot \ln S_{+20\text{ °C}} + 24.6 \cdot \ln M_{\text{suodatin}} \quad (52)$$

tai

$$\phi_{\text{kesä}} = 1091.1 - 141 \cdot \ln PPAKS - 38.1 \cdot \ln S_{+20^\circ \text{C}} \quad (53)$$

missä,

$\phi_{\text{kesä}}$	= pääjännitysten summa kantavassa kerroksessa kesäolosuhteissa [kPa]
$PPAKS$	= päällysteen paksuus [mm]
$S_{+20^\circ \text{C}}$	= päällysteen moduuli lämpötilassa +20 °C [MPa]
M_{suodatin}	= suodatinkerroksen moduuli [MPa]

Pääjännitysten summan ja kantavan kerroksen materiaalin K_1 -arvon perusteella määritetään kantavan kerroksen moduuli $M_{\text{kant kesä}}$ kesäolosuhteissa (+20 °C) seuraavalla yhtälöllä (kaava 54):

$$M_{\text{kant kesä}} = K_{1 \text{ kesä}} \cdot \phi_{\text{kesä}}^{0.5} \quad (54)$$

missä,

$M_{\text{kant kesä}}$	= kantavan kerroksen moduuli +20 °C:ssa [MPa]
$K_{1 \text{ kesä}}$	= kantavan kerroksen materiaalin K_1 -kerroin kesäolosuhteissa
$\phi_{\text{kesä}}$	= pääjännitysten summa kantavassa kerroksessa +20 °C:ssa

Kantavan kerroksen moduuli kevätolosuhteissa $E_{\text{kant kevät}}$ (+10 °C:ssa) arvioidaan päällysteen paksuuden ja jäykkyuden sekä kantavan kerroksen materiaalin K_1 -arvon perusteella kaavalla 55 seuraavasti :

$$M_{\text{kant kevät}} = 98.5 - 1.01PPAKS - 0.0032S_{\text{pääl}+10^\circ \text{C}} + 0.0159K_{1 \text{ kevät}} \quad (55)$$

missä,

$M_{\text{kant kevät}}$	= kantavan kerroksen moduuli +10 °C:ssa [MPa]
$PPAKS$	= päällysteen paksuus [mm]
$S_{\text{pääl}+10^\circ \text{C}}$	= päällysteen moduuli lämpötilassa +10 °C [MPa]
$K_{1 \text{ kevät}}$	= kantavan kerroksen materiaalin K_1 -kerroin kevätolosuhteissa = $0.6 \cdot K_{1 \text{ kesä}}$

5.2.4 Kantavan kerroksen muodonmuutokset

Kantavan kerroksen muodonmuutokset määritetään vastaavalla menetelmällä kuin parannettavan rakenteen tarkastelun yhteydessä. Kimmoisten kokoonpuristumien määrittäminen kevät- ja kesäolosuhteissa on esitetty edellä kohdassa 5.1.3.7 ja suhteellisten pysyvien muodonmuutosten määrittäminen kevät- ja kesäolosuhteissa edellä kohdassa 5.1.3.8.

5.2.5 Harjanteen kasvunopeus

Harjanteen kasvunopeus TKT-testien perusteella h_{TKT} määritetään vastaavalla tavalla kuin parannettavan rakenteen yhteydessä (kohta 5.1.3.9).

Harjanteen kasvunopeus h_v uuden rakenteen mitoittamisen yhteydessä määritetään suoraan kertomalla h_{TKT} kalibrointikertoimella K , poikkigeometriakertoimella $GEOM$ ja olosuhdekertoimella $OLOS$. Yhtälö vastaa rakenteen parantamisen yhteydessä esitettyjä yhtälöitä (kohta 5.1.3.10). $GEOM$ - ja $OLOS$ -kertoimien arvot määräytyvät täysin samoin periaattein kuin rakenteen parantamisen yhteydessä. K -kerroin saa uuden rakenteen mitoittamisen yhteydessä arvon 0.25.

Uuden tierakenteen kestoikä poikittaisen epätasaisuuden suhteen voidaan nyt määrittää jakamalla harjanteen korkeuden mitoituskriteeri $H_{\text{mitoituskriteeri}}$ (kohta 2.4, taulukko 3) vähennettynä alkuharjanteella edellä esitetysti määritetyllä harjanteen kasvunopeudella h_v (kaava 56). Jos kestoikä on pienempi kuin mitoitusikä, rakennetta tulee vahventaa.

$$\frac{H_{\text{mitoituskriteeri}} - \text{Alkuharjanne}}{h_v} \geq Y \quad (56)$$

missä,

$H_{\text{mitoituskriteeri}}$	= mitoituskriteerin mukainen suurin sallittu harjanteen korkeus (kohta 2.4) [mm]
Alkuharjanne	= päällystetyypille ominainen alkuharjanteen korkeus heti päällystämisen jälkeen [mm]
h_v	= harjanteen korkeuden vuosittainen kasvunopeus [mm/a]
Y	= tierakenteen mitoitusikä [a]

Yhtälö on sama kuin rakenteen parantamisen yhteydessä käytetty kaavaa 51.

5.3 Rakentamisen laadun arviointi

Poikittaisen epätasaisuuden mitoitusmenettelyä voidaan hyödyntää myös urakoinnin laadunvalvonnassa ja laadun osoittamisessa. Esimerkiksi jos edellytetään, että harjanteen korkeus saa olla takuuajan jälkeen korkeintaan tietyn suuruinen, harjanteen korkeuden sallittu vuosittainen kasvunopeus voidaan periaatteessa ratkaista yhtälöstä (kaava 57):

$$H_{\text{takuu aika}} = \text{Alkuharjanne} + 4 \cdot h_{v \text{ sall}} + (t_{\text{takuu aika}} - 2) \cdot h_{v \text{ sall}} + c \quad (57)$$

missä,

$H_{\text{takuu aika}}$	= sallittu harjanteen korkeus takuuajan lopussa [mm]
Alkuharjanne	= päällystetyypille ominainen alkuharjanteen korkeus heti päällystämisen jälkeen [mm]
$h_{v \text{ sall}}$	= sallittu harjanteen korkeuden vuosittainen kasvunopeus [mm/a]
$t_{\text{takuu aika}}$	= takuu aika [a]
c	= vakio [mm]

Alkuharjanteen osalta tarvittaisiin mittauksia eri tyyppisillä päällysteillä juuri valmistuneilla hankkeilla, jotta alkuharjanteelle voitaisiin määrittää edustaviin mittauksiin perustuvat arvot. Kaavassa 57 tekijä $4 H_{v\text{ sall}}$ perustuu otaksu-
maan, että kahtena ensimmäisenä vuotena harjanteen vuosittainen kasvu on kaksinkertaista myöhempiin vuosiin verrattuna. Vakio c puolestaan johtuu harjanteen mittausmenetelmän toleranssista.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Ohutpäällysteisten teiden käyttäytymisen selvittämiseksi käynnistettiin vuonna 1999 *Kevytpäällysteisten teiden vaurioitumismallien ja mitoitusmenettelmien kehittäminen* -projekti. Tässä raportissa esitetään projektin yhteydessä muodostunut käsitys Kevytpäällysteisten teiden rakenteen parantamisen mitoitusmenettelystä.

Mitoitusmenettely on tarkoitettu tavanomaisille kevytpäällysteisille teille, joilla tarkoitetaan ohutpäällysteisiä AB-teitä (paksuus ennen parantamista 40...80 mm) sekä PAB-päällysteisiä teitä. Mitoitusmenettely soveltuu teille, joiden KVL on korkeintaan 3000 ajon./vrk.

Mitoitusmenettelyssä tarkastellaan rakenteen parantamista. Jos parantamisessa tasausviivaa lasketaan, tehdään massanvaihto tai suuntausta muutetaan, mitoitusmenettely vastaa uuden tien mitoittamista, mikä esitetään ainoastaan yleispiirteisesti. Mitoitusmenettelyn kuvauksessa pääpaino on mitoituskalkelmien suorittamisessa.

Mitoitusmenettelyllä pyritään rajoittamaan kevytpäällysteisten teiden toimintaan oleellisesti vaikuttavien roudan aiheuttamien halkeamien sekä pituus- ja poikkisuuntaisten epätasaisuuksien syntymistä. Poikkisuuntaista epätasaisuutta kuvataan ajourien välisellä harjanteen korkeudella.

Rakenteen parantamisen mitoittamisen tehdään vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa määritetään sellainen routimattomien kerrosten yhteispaksuus, mikä estää mitoitusolosuhteissa pituushalkeamien syntymisen tietyllä todennäköisyydellä. Toisessa vaiheessa arvioidaan laskennallisesti parannettavan ja parannetun rakenteen IRI:n lisääntyminen sekä kalibroidaan tulokset parannettavan rakenteen mitattujen IRI-arvojen perusteella. Kolmannessa vaiheessa arvioidaan laskennallisesti parannettavan ja parannetun rakenteen harjanteen kasvu sekä kalibroidaan tulokset parannettavan rakenteen harjanteen kasvun mitatun arvon perusteella. Parantamistoimenpiteen valinnassa otetaan huomioon aina edellisen vaiheen tulokset.

Pituushalkeamien mitoittamisessa peruslähtökohtana on kohteen pituushalkeamakartoitus, minkä pohjalta määritetään routanousumittausten tarpeellisuus. Mitoittamisen lähtötietoina tarvitaan rakennepaksuus, mitattu routanousu tien keskilinjalla sekä havainto- ja mitoitustalven pakkasmäärät. Näiden pohjalta määritetään mitoitustalven routanousu ja alusrakenteen routimiskerroin. Varsinaisessa routamitoituksessa määritetään laadittujen mitoituskäyrästäjien avulla rakennepaksuus siten, että parannetun rakenteen tien pinnan routanousu paikkakunnan mitoitustalven pakkasmäärällä ei ylitä sallittua routanousua.

Pituussuuntaisen epätasaisuuden mitoittamisessa lähtökohtana on IRI-mitaus, minkä pohjalta määritetään parantamisen tarpeellisuus ja kalibroidaan laskentatulokset. Mitoittamisen lähtötietoina tarvitaan alusrakenteen materi-

aalityyppi, mitattu routanousu tien keskilinjalla, rakennepaksaus sekä havainto- ja mitoituslaskun pakkasmäärät. Em. tietojen ja mitoituslaskun routanousun perusteella määritetään parannettavan rakenteen laskennallinen IRI:n kasvunopeus vuodessa. Parannettavan rakenteen laskennallisen IRI:n kasvunopeuden määrittämisessä puolestaan tarvitaan (iteroitava) rakennepaksaus, mitoituslaskun routanousu ja alusrakenteen routimiskerroin. Laskennalliset tulokset kalibroidaan parannettavan rakenteen mitattujen IRI-arvojen perusteella. Saatujen epätasaisuuden kasvuarvojen perusteella mitoitetaan parannettu rakenne siten, että epätasaisuuden kasvu ei ylitä mitoituslaskun routanousulla sallittua IRI:n kasvunopeutta.

Poikkisuuntaisen epätasaisuuden mitoitus perustuu ajourien välisen harjanteen kasvunopeuden määrittämiseen. Mitoittamisessa tarvitaan tietoja parannettavasta rakenteesta, sen kunnosta, liikenteestä ja ilmastosta (kohteen sijainnista). Harjanteen kasvun määrittäminen pohjautuu ylimmän sitomattoman kerroksen pystysuoraan kimmoiseen kokoonpuristumaan, mikä puolestaan arvioidaan PPL-mittauksilla määritettyjen taipumien ja rakennetietojen perusteella. Kimmoisten kokoonpuristumien perusteella määritetään kerroksen pysyvät muodonmuutokset ottaen huomioon ylimmän sitomattoman kerroksen materiaalin hienoainespitoisuus ja liikennekuormitusten määrä. Harjanteen kasvunopeus määritetään puolestaan pysyvien muodonmuutosten sekä olosuhteita (routimista) ja poikkigeometriaa kuvaavien tekijöiden avulla. Harjanteen kasvunopeus vuotta kohti ”kalibroidaan” kertomalla tiekohteelta mitattu todellinen harjanteen kasvunopeus parannetulle ja parannettavalle rakenteelle laskennallisesti määritettyjen harjanteen kasvunopeuksien suhteella.

Harjanteen kasvun mitoitusmenettely on muodostettu laskentamallien avulla siten, ettei tarvita parannettavan rakenteen eri kerrosten moduulien takaisinelaskentaa eikä monikerrosohjelmien käyttöä rasiusten määrityksissä.

Ehdotetun rakenteen parantamisen mitoitusmenettelyn suurin ero muihin/aikaisempiin mitoitusmenetelmiin on siinä, että rakenteen kuormituskestävyys arvioidaan ylimmän sitomattoman kerroksen pysyvien muodonmuutosten avulla.

Mitoitusmenettely pohjautuu suhteellisen vähäiseen kenttä- ja laboratorioaineistoon, mistä syystä menettelyn varmentamiseksi tarvittaisiin lisätutkimuksia mm. seuraavista asioista:

- erilaisten sitomattoman kantavan kerroksen materiaalien pysyvät muodonmuutosominaisuudet (TKT ja ICT –testit)
- painokertoimien (IRI) sekä geometria-, olosuhte- ja kalibrointikertoimien (harjanne) verifiointi laajahkolla kenttäaineistolla
- vaihtoehtoisia materiaaleja (bitumistabilointeja) sisältävien rakenteiden pysyvien muodonmuutosten mitoitusmenettely
- mitoitusmenettelyn hyödyntäminen urakoinnin laadun arvioinnissa

- parannettavan rakenteen (vanhan) päällysteen moduulin arviointi

Koska ehdotettu mitoitusmenettely sisältää lukuisan määrän kaavoja, siitä tulisi tehdä ohjelmasovellus, jotta sen käyttö helpottuisi. Lisäksi ehdotettu mitoitusmenettely tulisi integroida suunnittelujärjestelmään.

7 KIRJALLISUUS

Belt, J., Lämsä, V.P., Liimatta, L., Ehrola, E. 2000a. Kevytpäälysteteiden vauriomallien ja mitoitussuunnittelumenetelmien kehittämisen perusteet. Tielaitos, Tuotanto, Konsultointi. Tielaitoksen selvityksiä 18/2000. TIEL 3200607.

Belt, J., Lämsä, V.P., Ehrola, E. 2000b. Sitomattoman kantavan kerroksen pysyvät muodonmuutokset. Tielaitos, Tiehallinto. Tielaitoksen selvityksiä 60/2000. TIEL 3200646.

Kivikoski, H. 2001. Roudan aiheuttamat halkeamat. VTT Rakennus- ja Yhdyskuntatekniikka. Työraportti.

Korkiala-Tanttu, L. 2001. Pituussuuntainen epätasaisuus. VTT Rakennus- ja Yhdyskuntatekniikka. Työraportti.

Lämsä, V.P. 2001. Poikkisuuntaisen epätasaisuuden mitoitussuunnittelun kehittäminen. Teoreettiset laskelmat. Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä. Työraportti.

Saarelainen, S. 2001. Tien routamitoitus. TPPT-menetelmäkuvaus.

VTT Yhdyskuntatekniikka ja Rakennustieto Oy. 1997. Talonrakennuksen routasuojausohjeet.

HARJANTEEN MITOITUSESIMERKKI

Lähtöarvot

Parannettava tierakenne

Päällystetyyppi: PAB-B

Päällystekerrosten lukumäärä: 1

Päällysteen paksuus PPAKS: 60 mm

Päällysteen ikä: 8 vuotta

Päällysteen jäykkyysmoduuli ($S_{+20\text{ °C}}$): 2500 MPa

Päällysteen leveys PLEV: 6.0 m (eli tien leveys TLEV: 6.5 m)

Luiskan kaltevuus: 1 : 2.1 eli $n = 2.1$

Kantavan kerroksen materiaalin hienoainespitoisuus HA (#0.063): 7 %

Verkkohalkeamien määrä ajourissa: 18 m / 100 m

Urapaikkauksen määrä: 2 m / 100 m

Harjanteen korkeus mitattuna kohteelta: 17.1 mm

PPL-taipumat (kaistan keskeltä kesällä):

D0 = 502 μm

D450 = 185 μm

D600 = 126 μm

Päällysteen pinnan lämpötila PPL-mittausolosuhteissa T_{pinta} , 26.4 °C

KVL: 1178 ajon/vrk

Kohteen sijainti: eteläinen

Mitoitustalven routanousu tien keskilinjalla h_{10} : 69 mm

Parannettu tierakenne

Parantamistoimenpiteen valinta: (esimerkkilask. ensin VE1:llä sitten VE2:lla)

VE1 = Uudelleenpäällystys

Päällysteen lisäyksen tyyppi: PAB-B

Päällysteen lisäyksen paksuus Plisä: 40 mm

Päällysteen lisäyksen jäykkyysmoduuli ($S_{+20\text{ °C}}$): 2500 MPa

Päällysteen leveys PLEV: 6.0 m (ei muutosta)

Luiskan kaltevuus: 1 : 2.1 eli $n = 2.1$ (ei muutosta)

KVL: 1178 ajon/vrk (ei muutosta)

VE2 = Kantavan kerroksen lisäys (+ uusi päällyste)

Uuden päällysteen tyyppi: PAB-B

Uuden päällysteen paksuus PPAKS: 40 mm

Uuden päällysteen jäykkyysmoduuli ($S_{+20\text{ °C}}$): 2500 MPa

Kantavan kerroksen materiaalin lisäyksen paksuus Klisä: 100 mm

Kantavan lisäyksen hienoainespitoisuus HA: 4 %

Päällysteen leveys PLEV: 6.0 m (ei muutosta)

Luiskan kaltevuus: 1 : 2.5 eli $n = 2.5$

KVL: 1178 ajon/vrk (ei muutosta)

Mitoitusikä vuosina Y: 15 vuotta

Harjannekriteeri nopeusrajoitusluokittain $H_{\text{mitoituskriteeri}}$: 21 mm (80 km/h)

LIITE 1/2

Mitoituksen kulku parannettavalle tierakenteelle

Päällysteen moduuli $S_{pää}$:

PAB-B -päällyste +20 °C:ssa 2 500 MPa[taulukko 5]

(kuten ehyt, halkeilematon päällyste)

PAB-B -päällyste +10 °C:ssa 2 500 MPa

(PAB:lle ei lämpötilakorjausta)

Taipumaparametrin SCI450 määrittäminen :

PAB-päällyste => ei D0-taipuman lämpötilakorjausta

SCI450 kesäolosuhteissa 502-185 = 317 μm [kaava 19]

SCI450 kevätolosuhteissa 502-185 = 317 μm [kaava 20]

Kantavan kerroksen moduuli M_{kant} :

M_{kant} kesäolosuhteissa 967.2 - 3.47 · 60 - 0.026 · 2500 - 0.82 · 317 + 0.07 · 126
= 443 MPa[kaava 21]

M_{kant} kevätolosuhteissa 670.5 - 2.54 · 60 - 0.011 · 2500 - 0.58 · 317 + 0.05 · 126
= 313 MPa[kaava 22]

Kantavan kerroksen kimmainen kokoonpuristuma ϵ_e :

ϵ_e kesäolosuhteissa 1934.2 - 6.78 · 60 - 0.0419 · 2500 - 1.9 · 443
= 581 $\mu\text{m/m}$ [kaava 23]

ϵ_e kevätolosuhteissa 2665.4 - 10.14 · 60 - 0.0409 · 2500 - 3.3 · 313
= 922 $\mu\text{m/m}$ [kaava 24]

Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset ϵ_p :

$a' = 0.06$ kesä- ja kevätolosuhteissa

$b_{kesä} = 0.6$

$b_{kevät} = 0.75$ (HA-pitoisuudella 7 % ; $0.4 \cdot 0.05 \cdot 7 = 0.75$)

$N_{kesä} = 12\,369$ kpl (=0.05 · 1178 · 210 vrk, sijainti; eteläinen)

$N_{kevät} = 1\,767$ kpl (=0.05 · 1178 · 30 vrk)

ϵ_p kesäolosuhteissa = $a' \cdot \epsilon_{kesä} \cdot [(N_{kesä} + N_{kevät})^{b_{kesä}} - N_{kevät}^{b_{kesä}}] = 0.06 \cdot 581 \cdot [(1767 + 12369)^{0.6} - 1767^{0.6}] = 7\,685$ $\mu\text{m/m/a}$ [kaava 25]

ϵ_p kevätolosuhteissa = $0.06 \cdot 922 \cdot 1767^{0.75} = 15\,072$ $\mu\text{m/m/a}$ [kaava 26]

Harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella parannettavalle rakenteelle h_{TKT} :

$h_{TKT} = 0.3 \cdot (7685 + 15072) = 6\,827$ $\mu\text{m} / \text{a}$ [kaava 27]

Harjanteen kasvu vuodessa geometria ja olosuhdetekijät huomioon ottaen parannettavalle rakenteelle $h_{v\text{ parannettava}}$:

K-kerroin = 1

OLOS-kerroin = $0.01 \cdot 69 + 0.5 = 1.190$ [kaava 30]

GEOM-kerroin = $0.407 + (-0.273 \cdot 6.5^2 + 2.785 \cdot 6.5 - 4.971) / 2.7^{(2.1/3)} = 1.204$ [kaava 29]

$h_{v\text{ parannettava}} = (1 \cdot 6827 \cdot 1.204 \cdot 1.190) / 1000 = 9.78$ mm / a[kaava 28]

Laskettua arvoa käytetään laskennan myöhemmässä vaiheessa termin h_v (harjanteen kasvunopeus) arvon määrittämisessä.

Mitoituksen kulku parannetulle tierakenteelle (VE I)

Parantamismuutostehdon valinta :

Parantamistoimenpiteeksi valitaan uudelleenpäällystys (VE I) ja suoritetaan laskenta, kun rakenne uudelleenpäällystetään 40 mm PAB-B -kerroksella.

Päällysteen moduuli $S_{pää}$:

PAB-B -päällyste, 40 mm uusi kerros +20 °C:ssa 2 500 MPa[taulukko 6]

PAB-B -päällyste, 60 mm vanha kerros +20 °C:ssa 1 500 MPa (väsynyt) ..[taulukko 6]
 koko PAB-B -kerrokselle yhteisesti +20 °C:ssa $(40/100) \cdot 2500 + (60/100) \cdot 1500 = 1\,900$ MPa

PAB-B -päällyste +10 °C:ssa 1 900 MPa (PAB:lle ei lämpötilakorjausta)

D0-taipuman pienentäminen rakenteen muuttumisen vuoksi :

uusi D0 kesäolosuhteissa $(1.087 - 0.00002 \cdot 1900 - 0.0029 \cdot 40) \cdot 502$
 $= 468 \text{ } \mu\text{m}$ [kaava 32]

uusi D0 kevätolosuhteissa $(1.087 - 0.00002 \cdot 1900 - 0.0029 \cdot 40) \cdot 502$
 $= 468 \text{ } \mu\text{m}$ [kaava 33]

Taipumaparametrin SCI450 määrittäminen :

PAB-päällyste => ei D0-taipuman lämpötilakorjausta

SCI450 kesäolosuhteissa $468 - 185 = 283 \text{ } \mu\text{m}$ [kaava 36]

SCI450 kevätolosuhteissa $468 - 185 = 283 \text{ } \mu\text{m}$ [kaava 37]

Kantavan kerroksen moduuli M_{kant} :

M_{kant} kesäolosuhteissa $967.2 - 3.47 \cdot 100 - 0.026 \cdot 1900 - 0.82 \cdot 283 + 0.07 \cdot 126$
 $= 347 \text{ MPa}$ [kaava 38]

M_{kant} kevätolosuhteissa $670.5 - 2.54 \cdot 100 - 0.011 \cdot 1900 - 0.58 \cdot 283 + 0.05 \cdot 126$
 $= 238 \text{ MPa}$ [kaava 39]

Kantavan kerroksen kimmoinen kokoonpuristuma ϵ_e :

ϵ_e kesäolosuhteissa $1934.2 - 6.78 \cdot 100 - 0.0419 \cdot 1900 - 1.9 \cdot 347$
 $= 517 \text{ } \mu\text{m/m}$ [kaava 40]

ϵ_e kevätolosuhteissa $2665.4 - 10.14 \cdot 100 - 0.0409 \cdot 1900 - 3.3 \cdot 238$
 $= 790 \text{ } \mu\text{m/m}$ [kaava 41]

Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset ϵ_p :

$a' = 0.06$ kesä- ja kevätolosuhteissa

$b_{kesä} = 0.6$

$b_{kevät} = 0.75$ (HA-pitoisuudella 7 % ; $0.4 \cdot 0.05 \cdot 7 = 0.75$)

$N_{kesä} = 12\,369 \text{ kpl}$ ($= 0.05 \cdot 1178 \cdot 210 \text{ vrk}$, sijainti; eteläinen)

$N_{kevät} = 1\,767 \text{ kpl}$ ($= 0.05 \cdot 1178 \cdot 30 \text{ vrk}$)

ϵ_p kesäolosuhteissa $= a' \cdot \epsilon_{kesä} \cdot [(N_{kesä} + N_{kevät})^{b_{kesä}} - N_{kevät}^{b_{kesä}}] = 0.06 \cdot 517 \cdot [(1767 +$

LIITE 1/4

$$12369^{0.6} - 1767^{0.6} = 6\,834 \text{ } \mu\text{m/m/a} \dots\dots\dots[\text{kaava 42}]$$

$$\varepsilon_p \text{ kevätolosuhteissa} = 0.06 \cdot 790 \cdot 1767^{0.75} = 12\,915 \text{ } \mu\text{m/m/a} \dots\dots\dots[\text{kaava 43}]$$

Harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella parannetulle rakenteelle h_{TKT} :

$$h_{\text{TKT}} = 0.3 \cdot (6834 + 12915) = 5\,925 \text{ } \mu\text{m/a} \dots\dots\dots[\text{kaava 45}]$$

Harjanteen kasvu vuodessa geometria ja olosuhdetekijät huomioon ottaen parannetulle rakenteelle $h_{v \text{ parannettu}}$:

$$K\text{-kerroin} = 1$$

$$\text{OLOS-kerroin} = 0.01 \cdot 69 + 0.5 = 1.190 \dots\dots\dots[\text{kaava 48}]$$

$$\text{GEOM-kerroin} = 0.407 + (-0.273 \cdot 6.5^2 + 2.785 \cdot 6.5 - 4.971) / 2.7^{(2.1/3)} = 1.204 \dots\dots[\text{kaava 47}]$$

$$h_{v \text{ parannettu}} = (1 \cdot 5925 \cdot 1.204 \cdot 1.190) / 1000 = 8.49 \text{ mm/a} \dots\dots\dots[\text{kaava 46}]$$

Laskettua arvoa käytetään laskennan myöhemmässä vaiheessa termin h_v (harjanteen kasvunopeus) arvon määrittämisessä.

Rakenteen kestoiän määrittäminen (VE I)

Kohteelta mitattu harjanteen kasvunopeus $h_{v \text{ mitattu}}$ harjanteen korkeuden perusteella:

$$h_{v \text{ mitattu}} = (17.1 - 3.5) / 8 = 1.70 \text{ mm/a} \dots\dots\dots[\text{kaava 49}]$$

Harjanteen kasvunopeus h_v :

$$h_v = 1.7 \cdot (8.49 / 9.78) = 1.48 \text{ mm/a} \dots\dots\dots[\text{kaava 50}]$$

Harjanteen vertaaminen mitoituskriteeriin:

Kestoiäksi saadaan yhtälöä 51 käyttäen 11.9 vuotta $([21 - 3.5] / 1.48)$. Rakenteen kestoikä on selvästi pienempi kuin lähtöarvoissa esitetty mitoitusikä 15 vuotta, joten valittu parantamistoimenpide ei ole riittävä.

Toinen laskentakierros eli mitoituksen kulku parannetulle tierakenteelle (VE II)

Parantamisvaihtoehdon valinta:

Parantamistoimenpiteeksi valitaan kantavan kerroksen materiaalin lisäys (VE II) ja suoritetaan laskenta, kun vanha päällyste sekoitetaan vanhaan kantavan kerroksen materiaaliin, lisätään 100 mm mursketta ja päällystetään rakenne 40 mm PAB-B -kerroksella.

Päällysteen moduuli $S_{\text{pää}}$:

$$\text{PAB-B -päällyste } +20 \text{ } ^\circ\text{C:ssa } 2\,500 \text{ MPa (uusi päällyste)} \dots\dots\dots[\text{taulukko 6}]$$

$$\text{PAB-B -päällyste } +10 \text{ } ^\circ\text{C:ssa } 2\,500 \text{ MPa (PAB:lle ei lämpötilakorjausta)}$$

D0-taipuman pienentäminen rakenteen muuttumisen vuoksi:

$$\text{uusi D0 kesäolosuhteissa } (0.9433 - 0.0007 \cdot 100) \cdot 502 = 438 \text{ } \mu\text{m} \dots\dots\dots[\text{kaava 34}]$$

$$\text{uusi D0 kevätolosuhteissa } (0.9433 - 0.0007 \cdot 100) \cdot 502 = 438 \text{ } \mu\text{m} \dots\dots\dots[\text{kaava 35}]$$

Taipumaparametrin SCI450 määrittäminen :

PAB-päällyste => ei D0-taipuman lämpötilakorjausta

SCI450 kesäolosuhteissa $438 - 185 = 253 \mu\text{m}$ [kaava 36]

SCI450 kevätolosuhteissa $438 - 185 = 253 \mu\text{m}$ [kaava 37]

Kantavan kerroksen moduuli M_{kant} :

M_{kant} kesäolosuhteissa $967.2 - 3.47 \cdot 40 - 0.026 \cdot 2500 - 0.82 \cdot 253 + 0.07 \cdot 126$
 $= 564 \text{ MPa}$ [kaava 38]

M_{kant} kevätolosuhteissa $670.5 - 2.54 \cdot 40 - 0.011 \cdot 2500 - 0.58 \cdot 253 + 0.05 \cdot 126$
 $= 401 \text{ MPa}$ [kaava 39]

Kantavan kerroksen kimmoisin kokoonpuristuma ϵ_e :

ϵ_e kesäolosuhteissa $1934.2 - 6.78 \cdot 40 - 0.0419 \cdot 2500 - 1.9 \cdot 564$
 $= 486 \mu\text{m/m}$ [kaava 40]

ϵ_e kevätolosuhteissa $2665.4 - 10.14 \cdot 40 - 0.0409 \cdot 2500 - 3.3 \cdot 401$
 $= 835 \mu\text{m/m}$ [kaava 41]

Suhteelliset pysyvät muodonmuutokset ϵ_p :

$a' = 0.06$ kesä- ja kevätolosuhteissa

$b_{\text{kesä}} = 0.6$

$b_{\text{kevät}} = 0.7$ vanhan ($b=0.75$) ja lisäyksen ($b=0.6$) kantavan materiaalin paksuuden suhteen perusteella $(0.6 \cdot 100 + 0.75 \cdot 200) / 300 = 0.7$ [kaava 44]

$N_{\text{kesä}} = 12\,369 \text{ kpl}$ ($=0.05 \cdot 1178 \cdot 210 \text{ vrk}$, sijainti; eteläinen)

$N_{\text{kevät}} = 1\,767 \text{ kpl}$ ($=0.05 \cdot 1178 \cdot 30 \text{ vrk}$)

ϵ_p kesäolosuhteissa $= a' \cdot \epsilon_{\text{kesä}} \cdot [(N_{\text{kesä}} + N_{\text{kevät}})^{b_{\text{kesä}}} - N_{\text{kevät}}^{b_{\text{kesä}}}] = 0.06 \cdot 486 \cdot [(1767 + 12369)^{0.6} - 1767^{0.6}] = 6\,424 \mu\text{m/m/a}$ [kaava 42]

ϵ_p kevätolosuhteissa $= 0.06 \cdot 835 \cdot 1767^{0.7} = 9\,397 \mu\text{m/m/a}$ [kaava 43]

Harjanteen kasvu vuodessa TKT-testien perusteella parannetulle rakenteelle h_{TKT} :

$h_{\text{TKT}} = 0.3 \cdot (6424 + 9397) = 4\,746 \mu\text{m/a}$ [kaava 45]

Harjanteen kasvu vuodessa geometria ja olosuhdetekijät huomioon ottaen parannetulle rakenteelle $h_{\text{v parannettu}}$:

K-kerroin $= 1$

OLOS-kerroin $= 1.000$ (mitoitusroutanousulla 50 mm)[kaava 48]

GEOM-kerroin $= 0.407 + (-0.273 \cdot 6.5^2 + 2.785 \cdot 6.5 - 4.971) / 2.7^{(2.5/3)} = 1.105$ [kaava 47]

$h_{\text{v parannettu}} = (1 \cdot 4746 \cdot 1 \cdot 1.105) / 1000 = 5.24 \text{ mm/a}$ [kaava 46]

Laskettua arvoa käytetään laskennan myöhemmässä vaiheessa termin h_v (harjanteen kasvunopeus) arvon määrittämisessä.

Rakenteen kestoiän määrittäminen (VE II)

Kohteelta mitattu harjanteen kasvunopeus $h_{\text{v mitattu}}$ harjanteen korkeuden perusteella :

$h_{\text{v mitattu}} = (17.1 - 3.5) / 8 = 1.70 \text{ mm/a}$ [kaava 49]

LIITE 1/6

Harjanteen kasvunopeus h_v :

$$h_v = 1.7 \cdot (5.24 / 9.78) = 0.91 \text{ mm/a} \dots\dots\dots [\text{kaava 50}]$$

Harjanteen vertaaminen mitoituskriteeriin :

Kestoiäksi saadaan yhtälöä 51 käyttäen 19.2 vuotta $([21 - 3.5] / 0.91)$. Rakenteen kestoikä ylittää lähtöarvoissa esitetyn mitoitusiän 15 vuotta, joten valittu parantamistoimenpide on riittävä.

VE II:ssa parannetun rakenteen harjanteen kasvu h_{TKT} TKT-testien perusteella on 4.75 mm/a (kaava 45) ja ”kalibroitu” harjanteen kasvunopeus h_v 0.91 mm/a (kaava 50). Ero muodostuu pääasiassa TKT-laitteen mittakaavatekijästä ja kuormitusnopeudesta ($\sim 5 \text{ km/h}$) sekä siitä, että TKT-laitteessa pyöräkuormitus tapahtuu täsmälleen samaa kulku-uraa pitkin. Myös GEOM-kerroin (1.105, kaava 47) on vaikuttanut jonkin verran asiaan. Harjanteen kasvunopeuksien suhde samoin kuin uuden rakenteen mitoittamisessa käytettävä kalibrointikertoimen K arvo 0.25 (sivu 59) vastaa kohtuullisen hyvin yleisesti käytettäviä laboratorioissa määritettyjen ja kentältä mitattujen arvojen suhteita.