

ROUTANOUSUVAURIORISKIN ARVIOINTI



Henry Gustavsson
TKK Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto

Seppo Saarelainen
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Alkusanat

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

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

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

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

Tämän raportin "Routausuuvaurioriskin arviointi" ovat laatineet tutkija Henry Gustavsson TKK:n Rakennus- ja ympäristötekniikan osastolta (luvusta 6 eteenpäin) ja erikoistutkija Sepo Saarelainen sekä tutkija Harri Kivikoski (luvut 5.2 ja 6.2) VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta.

Joulukuussa 2001

Markku Tammirinne

Sisällysluettelo

ALKUSANAT	2
SISÄLLYSLUETTELO	3
1 JOHDANTO	4
2 TIEN ROUTAMITOITUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	6
3. PAKKASMÄÄRÄN JA ROUTANOUSUN PAIKALLINEN VAIHTELU	7
4 VAURIOINVENTOINNIT	9
4.1 VAURIOINVENTOINNIT	9
4.2 ROUTINEIDEN KATUJEN VAURIOKARTOITUSTEN TULOKSET	9
4.3 RAUDOITETUN KATUPÄÄLLYSTEEN VAURIOITUMINEN.....	13
4.4 TPPT-KOERAKENTEIDEN PÄÄLLYSTEEN ROUTAVAURIOT	14
5 VAURIOITUMISTASO VS. ROUTANOUSU	15
5.1 VAURIOITUMISTASO: KAIKKI ROUTAVAURIOT	15
5.2 VAURIOITUMISTASO: >5 MM HALKEAMAT	15
6 VAURIORISKI	18
6.1 MITOITUSROUTANOUSUN JA –PAKKASMÄÄRÄN VAIKUTUS VAURIORISKIIN (KAIKKI ROUTAVAURIOT).....	18
6.2 VAURIORISKI JA VAURIOITUMISNOPEUS: KAIKKI ROUTAVAURIOT	20
6.3 VAURIORISKI JA VAURIOITUMISNOPEUS: >5 MM HALKEAMAT	21
7 ROUTANOUSUN ELINKAARITARKASTELUT	23
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	30
9 VIITEKIRJALLISUUS	32

1 Johdanto

TPPT suunnittelujärjestelmässä elinkaarikustannusanalyysi on osa tierakenteen suunnittelua ja sen avulla voidaan laskea eri rakennevaihtoehdoille valitun elinkaaren aikaiset tienpitäjän ja tienkäyttäjän kustannukset ja valita vuosikustannuksiltaan taloudellisin ratkaisu. Päälysrakenteen elinkaarikustannusanalyysin suorittaminen on kuvattu menetelmäkuvauksessa TPPT 20 Päälysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi /6/.

Tienpitäjän kustannusten laskemiseksi tarvitaan tieto rakentamiskustannuksista ja tulevien toimenpiteiden kustannuksista ja kestoikästä. Tienpidon ohjauksessa ja ohjelmoinnissa käytetään neljää kuntomuuttujaa, jotka ovat vauriot, urasyvyys, tasaisuus ja kantavuussuhde. Tien kunnossapitotarvetta arvioidaan kuntomuuttujien arvojen ja ennustetun kehittymisen perusteella. Tien pinnalla havaittavat vauriot ovat seurausta liikenteen ja ilmaston sekä painumien kuormittavasta vaikutuksesta.

Rakenteen kuntoa kuvaavat muuttujat ja niiden mitoittaminen sekä kestoikäarvio ovat elinkaarikustannuksia määrittäviä tekijöitä. Lisäksi tien pintakuntomuuttujat voivat olla toimenpiteen laukaisevana tekijänä. Kriittinen kuntomuuttuja voidaan usein arvioida etukäteen liikennemäärän perusteella. Vähäliikenteisillä teillä on yleensä routa- noususta aiheutuvaa epätasaisuutta ja kuormituskestävyyspuutteita, jotka aiheuttavat vaurioitumista. Vilkasliikenteisillä teillä yleinen vauriotyyppi on päällysteen kulumisesta ja deformaatiosta aiheutuva urautuminen.

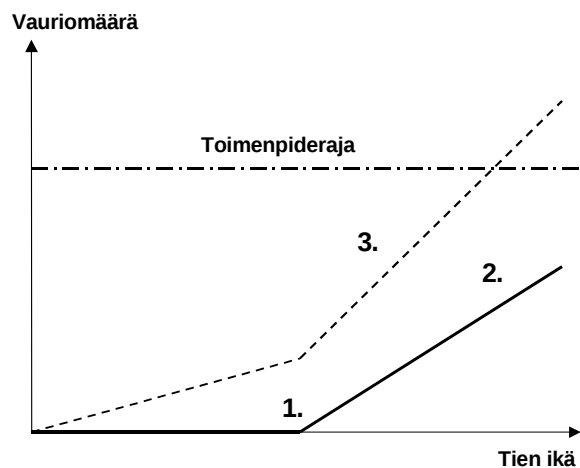
Tien vaurioitumiselle on tyypillistä, että lyhyelläkin tieosuudella halkeamat syntyvät eri aikoina useissa paikoissa. Tämä johtuu materiaalien ominaisuuksien, kerrospaksuuksien ja pohjamaan ominaisuuksien (routivilla mailla ennen kaikkea routaominaisuuksien) vaihteluista. Yhdessä eri kuormitustekijöiden (liikenne, ilmasto) kanssa tämä johtaa monimutkaiseen tierakennesysteemiin, jossa halkeamien syntyminen on luonteeltaan satunnaista. Näin ollen vaurioitumisprosessin hallitseminen edellyttää, että vaurioitumismekanismi tunnetaan samoin kuin ne tekijät, jotka vaikuttavat vaurioiden syntymisajankohtaan sekä vaurioiden kasvunopeuteen ja ominaisuuksien vaihteluun.

Vaurioitumisprosessin mallintaminen tulee edellä mainituista syistä jakaa kolmeen erilliseen osaan seuraavasti (Menetelmäkuvaukset TPPT 17 Kuormituskestävyysmitoitust. Päälysrakenteen väsyminen /7/):

1. Tien edellisen rakenteenparantamis- tai päällystämisaikajankohdan ja ensimmäisen kuormituskestävyysvaurion (halkeama ajourassa) ilmaantumisen välisen ajan mallintaminen. Tämä tarkoittaa halkeaman syntymistodennäköisyyden mallintamista ajan suhteen.
2. Kuormituskestävyysvaurioiden kehittymisen mallintaminen ehdolla, että vaurioituminen on jo alkanut.
3. Tien kokonaisvaurioitumisen ennustamiseksi tulee yllämainittuihin vaurioihin lisätä ilmastorasituksen aiheuttamat vauriot. Tämä tarkoittaa ennen kaikkea routa-

nousun aiheuttamien halkeamien syntymistodennäköisyyden arviointia ajan suhteen.

Kuvassa 1 on vaurioitumisprosessin osavaiheet havainnollistettu periaatekuvana. Kuvassa kohta 1. kuvaa kuormituskestävyysvaurioiden alkamisajankohtaa ja suora 2. niiden kehittymistä ajassa. Käyrällä 3. kuvataan kokonaisvaurioitumista, kun ilmasto-peräiset vauriot (esim. routavauriot) on lisätty kuormituskestävyysvaurioihin.



Kuva 1. Tierakenteen vaurioitumisprosessi. Periaatekuva.

Tässä raportissa on esitetty menettelytapa routanousuvaurioriskin määrittämiseksi elinkaarikustannustarkastelun tarpeisiin. Tien elinkaaritarkasteluissa routanousun aiheuttamia kustannuksia voidaan tarkastella, kun tunnetaan routanousun ja vauriosumman välinen yhteys. Pohjamaan routimiskertoimen ja kohteen pakkasmäärätlastojen perusteella voidaan tietyn rakennepaksuuden omaavan tien routanousujen toistuvuus määrittää. Routanousuvaurioriskin avulla voidaan periaatteessa arvioida tien vaurioitumisnopeutta erilaisissa pohjamaa- ja ilmasto-olosuhteissa mitoitusroutanousun ja –pakkasmäärän perusteella.

Tässä esitettyä menettelyä voidaan soveltaa myös routasuojauksen suunnittelussa. Suunnitteluun voidaan liittää myös rakenteen optimointi, jolloin voidaan tarkastella rakennevaihtoehtojen edullisuutta investointi- ja ylläpito-/ korjauskustannusten suhteen.

2 Tien routamitoitukseen vaikuttavat tekijät

Tien routamitoitus routanousun mukaan tulisi tapahtua niin, että routanousu on arvioitavissa annetulla rakenteella ja annetussa paikassa. Routanousuun vaikuttavat päätekijät ovat talven pakkasmäärä, rakenteen routasuojastaso (rakenteen paksuus, routaeristys), tien poikkileikkaus (lumipeite tiealueella) ja pohjamaan routivuus. Näistä pohjamaa on paikallinen tekijä johon ei voida vaikuttaa, samoin kuin ilmaston ankaruus.

Rakenteen materiaalit ovat valittavissa. Materiaalin käyttäytymiseen vaikuttavia tekijöitä tierakenteessa ovat lähinnä materiaalien kosteusvaihtelu ja kosteusmuutokset. Ilmaston vaihtelu on ehkä tärkein käyttäytymiseen vaikuttava muuttuva tekijä.

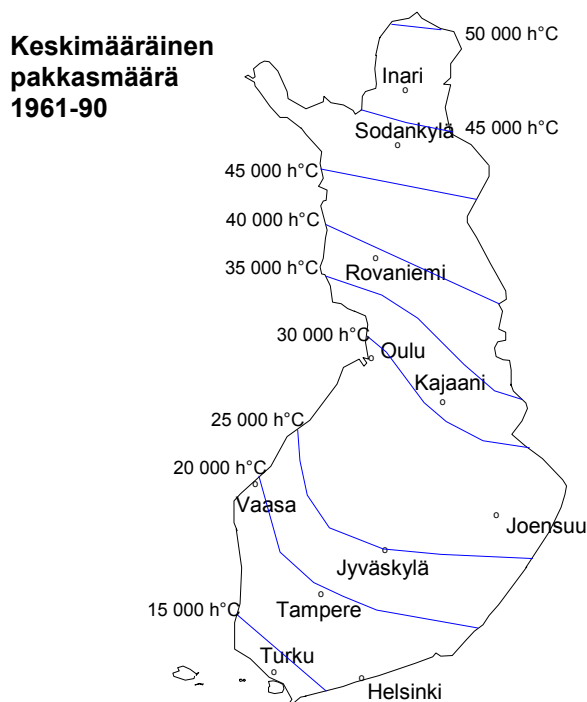
Pakkasmäärän toistuvuus tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä ilmenee kerran 10 vuodessa. Näin ollen myös routanousun, joka on pakkasmäärään verrannollinen, vaihtelu seuraa pakkasmäärän vaihtelua niin, että kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä aiheuttaa todennäköisesti kerran 10 vuodessa toistuvan suurimman routanousun. Samalla tavalla kuin pakkasmäärän mediaania (T_2) vastaavana pakkastalvena routanousu aiheuttaa joka toinen vuosi toistuvan mediaaniroutanousun.

Routanousu voi olla riippuvainen myös talven pakkasprofiilista: ankarina pakkasjaksoina routa tunkeutuu nopeasti syvälle, jolloin routanousu voi jäädä suhteessa pienemmäksi kuin tasaisen lievemmän pakkasen tapauksessa. Edelleen talven lumisuus voi aiheuttaa vaihtelua routimiseen. Tosin runsas lumisade liittyy yleensä voimakkaaseen matalapainetoimintaan, jolle on tyypillistä leudon sään häiriöt. Vastaavasti korkeapaineen aikana lumentulo on vähäisempää, ilma kirkas ja kylmä.

3. Pakkasmäärän ja routanousun paikallinen vaihtelu

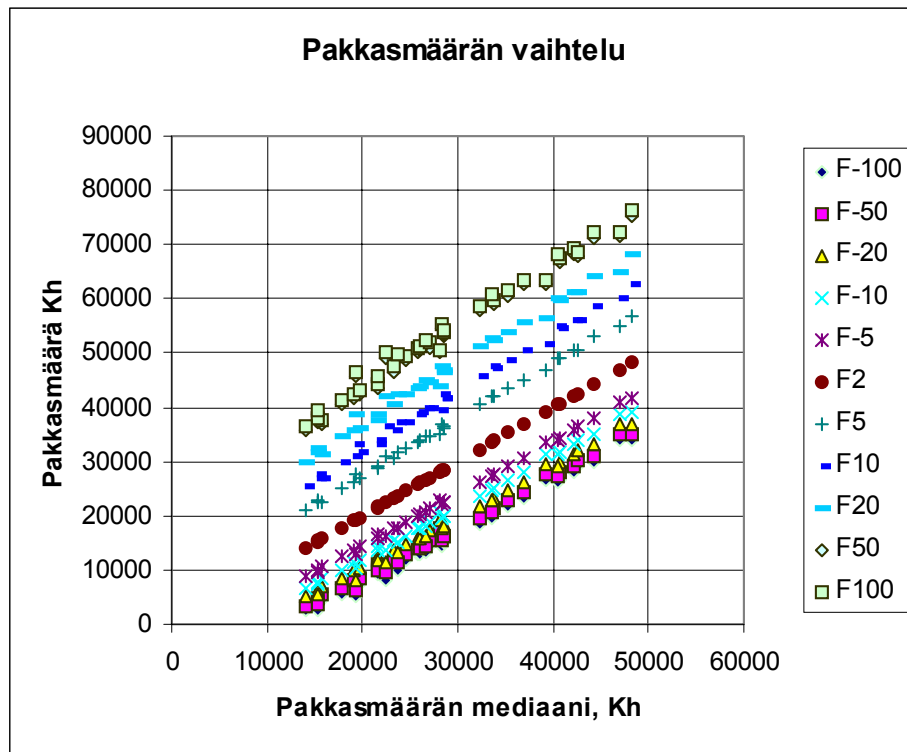
Ilmastohavaintojen perusteella voidaan analysoida paikkakunnittain talven pakkasmäärän vaihtelua. Havaintojakso on 30 vuotta ja viimeisin käsitelty jakso on vuodet 1961-90. Tarkastelu osoittaa, että pakkasmäärä poikkeaa harmonisesti mediaanista eri paikkakunnilla Suomessa (kuva 2). Kerran 10 vuodessa määritetty suurin pakkasmäärä poikkeaa mediaanista noin 12 000 Kh ja suurin kerran 50 vuodessa toistuva pakkasmäärä noin 25 000 Kh. Edelleen on havaittu pakkasmäärän mediaanin ja ilman vuotuisen keskilämpötilan välinen lineaarinen vuorosuhde samoin kuin pakkasmäärän ja lämpöastesumman mediaanien lineaarinen vuorosuhde.

Pakkasmäärän poikkeama mediaanista eri toistuvuuksilla on eri puolilla Suomea likimäärin sama (vrt. kuva 3). Sen mukaan kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä on noin 12000 Kh suurempi kuin mediaani, ja kerran 10 vuodessa toistuva minimiarvo on noin 8500 Kh pienempi kuin mediaani.



Kuva 2. Pakkasmäärän mediaani Suomessa havaintokaudella 1961-90 (Ilmatieteen laitoksen havainnot).

Routanousun suuruuden vaihtelu riippuu rakenteesta, pakkasmäärän tasosta ja pohjaan routivuudesta. Routanousun toistuvuus vastaa pakkasmäärän toistuvuutta. Näin ollen kerran 10 vuodessa toistuvana ankarana talvena ilmenee kerran 10 vuodessa toistuva suurin routanousu.



Kuva 3. Pakkasmäärät eri toistuvuuksilla mediaanin suhteen Suomessa havaintokaudella 1961-90.

Eri todennäköisyystasoilla ilmenevät pakkasmäärät saadaan pakkasmääräkartoista. (vrt. menetelmäkuvaus TPPT 4 Ilmastorasitus /8/). Kartoissa on esitetty pakkasmäärät F2, F5, F10, F20 ja F50, jotka vastaavat niitä suurimpia pakkasmääriä, joita ei vuodessa ylitetä todennäköisyydellä 0.5, 0.8, 0.9, 0.95 ja 0.98.

Pakkasmäärän ja routanousun välinen yhteys voidaan selvittää, jos tierakenteen (lähinnä kerrospaksuudet) sekä pohjamaan ominaisuudet (segregaatiopotentiaali SP) tunnetaan. Pakkasmäärän aiheuttama routanousu saadaan menetelmäkuvauksen TPPT 18 Tierakenteen routamitoitus /5/ käyrästä graafisesti tai se voidaan laskea julkaisussa esitetyillä menetelmillä.

4 Vaurioinventoinnit

4.1 Vaurioinventoinnit

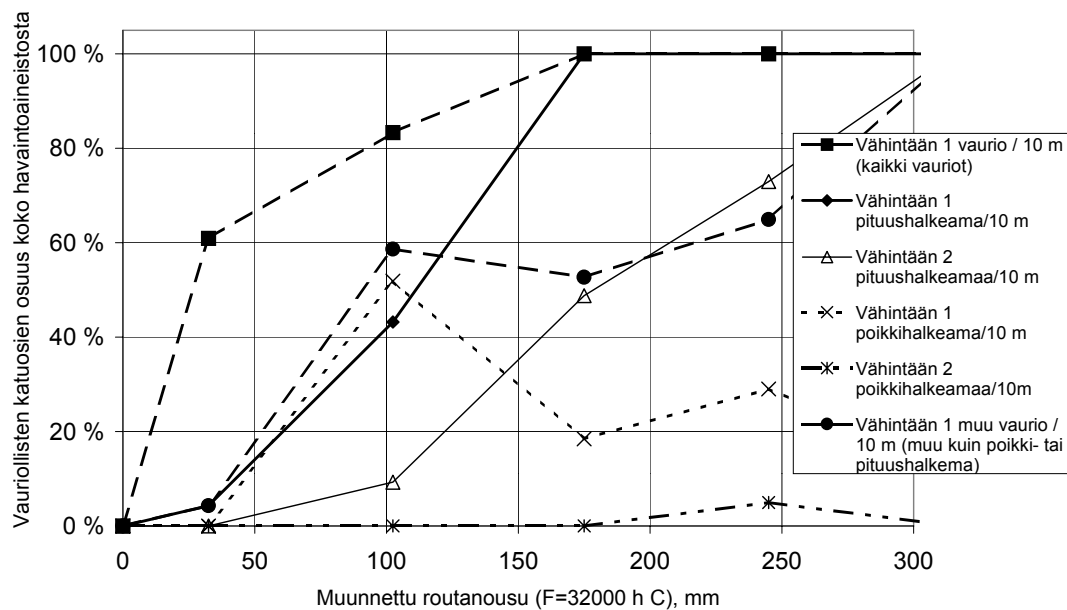
Seuraavassa käsitellään vaurioituneilta pääasiassa päällystetyiltä kaduilta ja jossain määrin myös teiltä tehtyjen vauriokartoitusten tuloksia. Samoilta katu- ja tieosilta on ollut saatavissa myös routanousun mittautustietoja, jolloin on mahdollista verrata routavaurioiden esiintymistä routanousun suhteen. Päällysteen vaurioitumista verrattiin keskilinjan routanousuun. Päällysteen taipuminen on verrannollinen keskilinjan routanousuun. Jos reunan routanousu on vähäinen piennarlumen vaikutuksesta, niin kulmamuuutos on suoraan keskilinjan routanousun ja tien leveyden funktio. Jos myös kadun tai tien reuna routii, niin kulmanmuutos on pienempi.

Havaintotalven routanousu ei välttämättä vastaa päällysteeseen kohdistunutta suurinta routanousua, jos päällystämisen jälkeen on ollut havaintotalvea merkittävästi kylmempiä talvia. Tämän vuoksi oli kohteiden vertailtavuuden parantamiseksi simuloitava kohteeseen vaikuttaneen kylmimmän talven aiheuttama routanousu. Se arvioitiin määrittämällä pohjamaan routimiskerroin ottamalla huomioon päällysrakenteen paksuus, havaintotalven pakkasmäärä ja mitattu routanousu. Routimiskertoimen, tien päällysrakenteen paksuuden ja kohteen suurimman pakkasmäärän perusteella arvioitiin maksimiroutanousu.

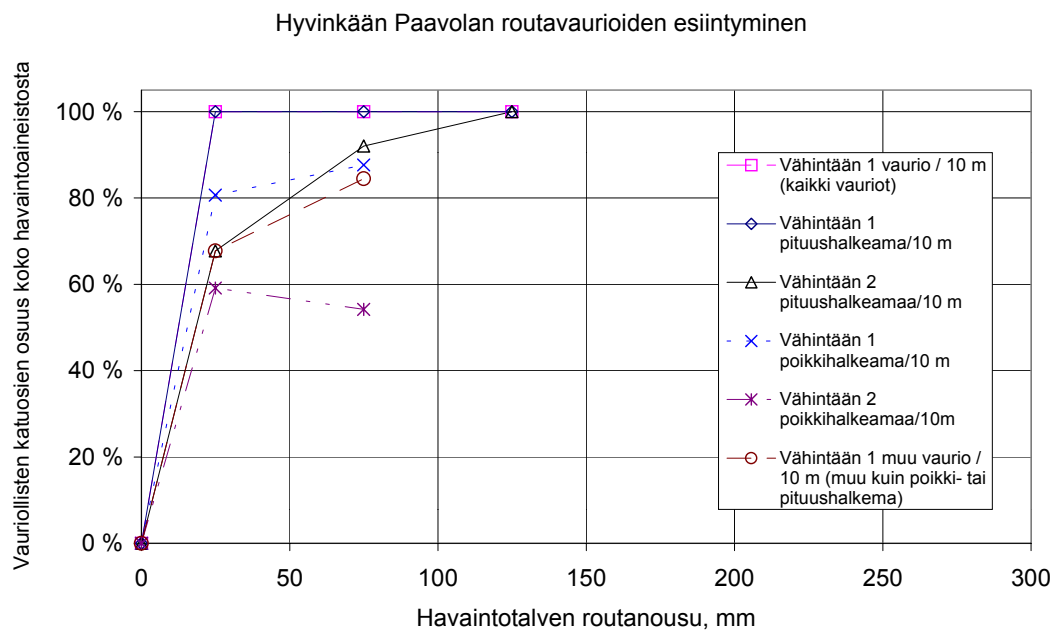
Vaurioinventointi katukohteissa tehtiin laatimalla ko. katuosan vauriokartta jalkaisin tehtyjen havaintojen perusteella. Halkeilu kirjattiin "selvästi havaittaviin hiushalkeamiin asti" (Tielaitoksen käytännössä ovat mukana vain > 5 mm halkeamat). Vauriokartta on aina jossakin määrin subjektiivinen. Vauriokarttoja käytettiin mm. päällystevaurioiden syntyminen syiden sekä esiintymisen laajuuden selvittämiseen. Vauriokartoitusta, johon tässä viitataan, tehtiin "Katujen routasuojaus"- tutkimusohjelman kohteissa (Saarelainen 2001, /1/) sekä eräissä TPPT-koerakennuskohteissa. Lisäksi otettiin mukaan 1980-luvun alkupuolella Joensuussa tehtyjen vaurioinventointien tulokset /2/.

4.2 Routineiden katujen vauriokartoitusten tulokset

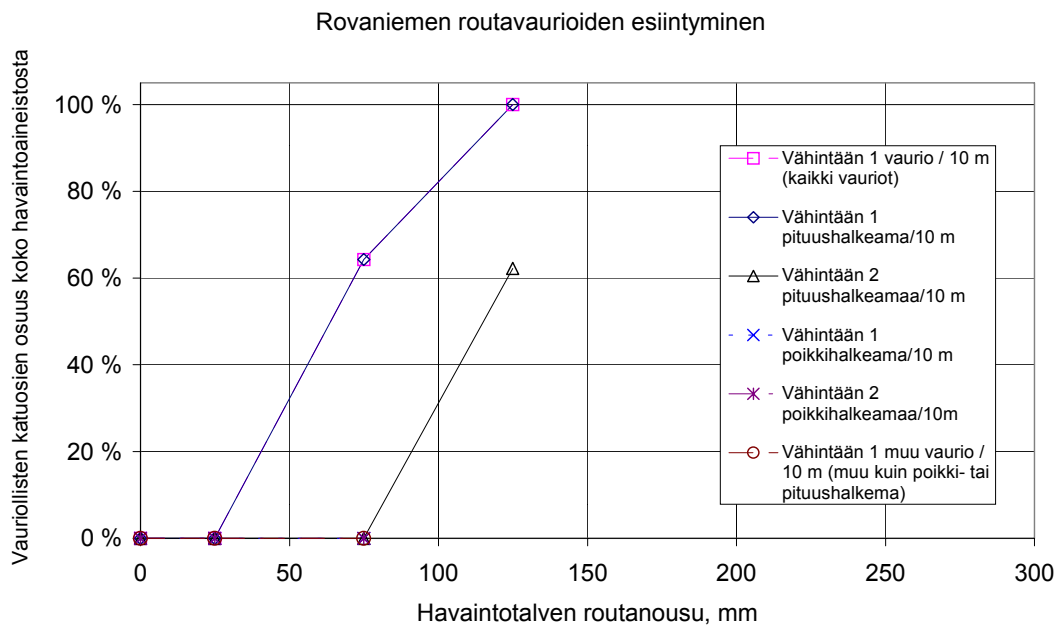
Katujen päällysteen vaurioitumista keskilinjan routanousun suhteen on esitetty kuvissa 4-10. Katujen vaurioitumisen, erityisesti pituus- ja vinohalkeilun, todettiin lisääntyvän routanousun kasvaessa.



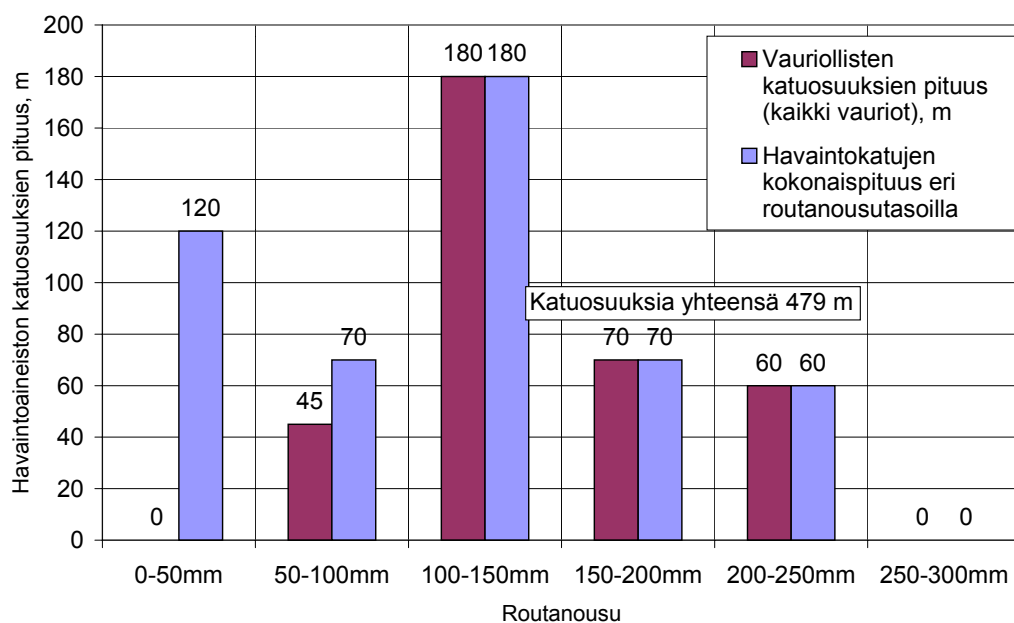
Kuva 4. Joensuun Opatan alueen vaurioiden esiintyminen eri routanousutasoilla päällysteeseen kohdistuneen suuriman routanousun mukaan.



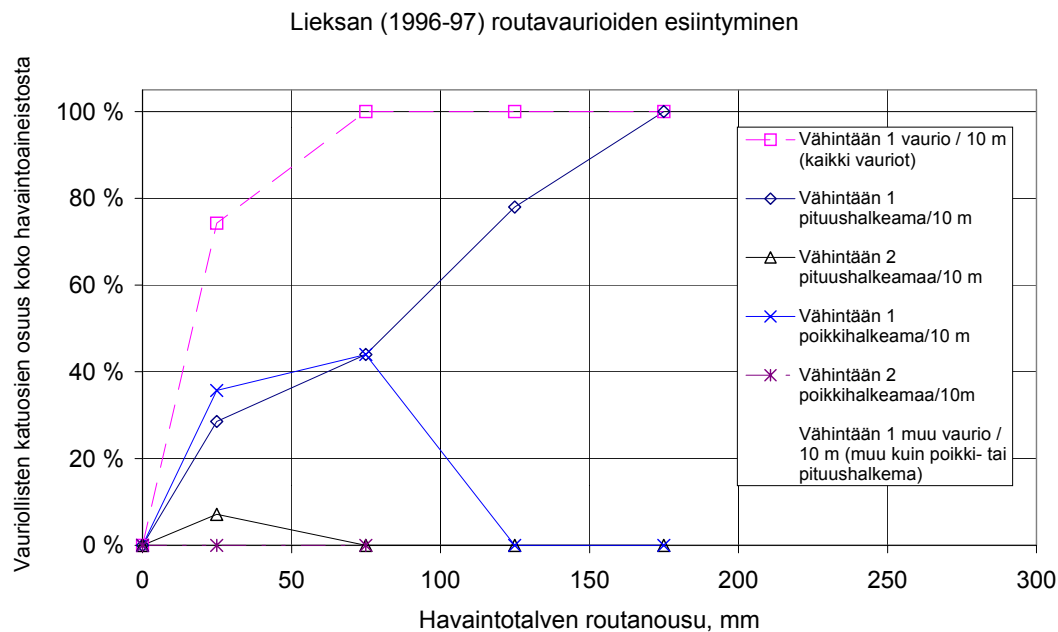
Kuva 5. Hyvinkää, Paavola. Päällystevaurioiden esiintyminen keskilinjän routanousun suhteen havaintotalvena 1996-97.



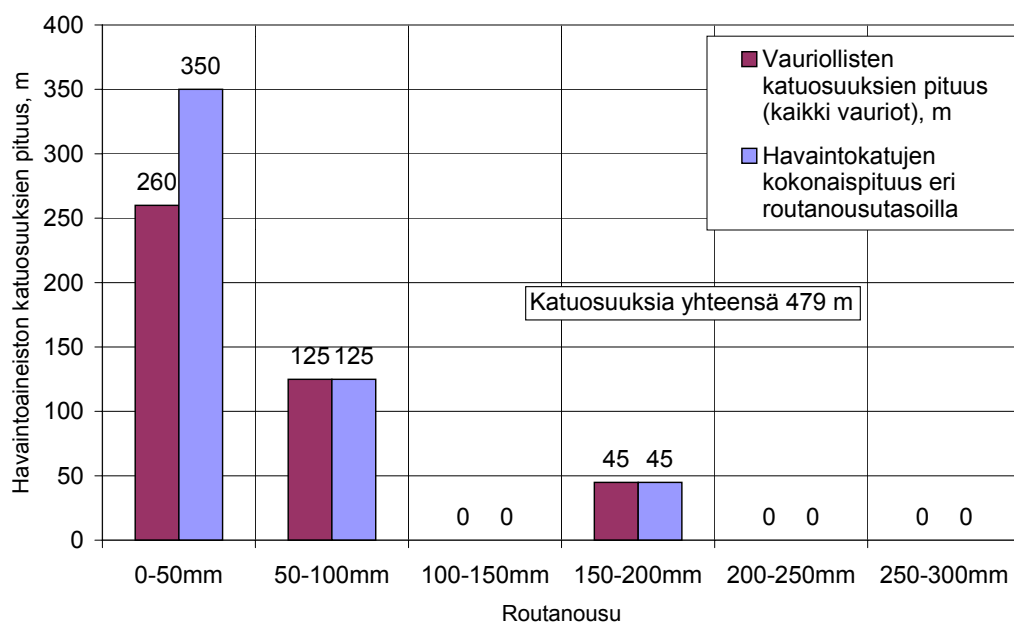
Kuva 6. Rovaniemi, Leukumutka ja Pappilantie. Havaintokatuojen suhteellinen vaurioituminen keskilinjän eri routanousutasoilla (havaintotalvi 1995-96).



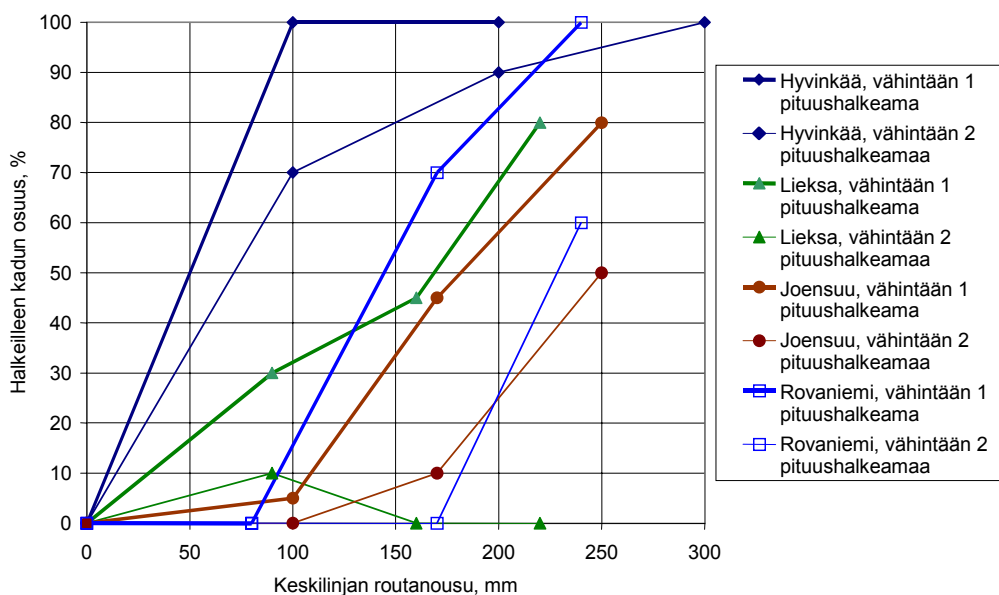
Kuva 7. Rovaniemi, Leukumutka ja Pappilantie. Havaintokatuojen kokonaispituudet ja vaurioituneiden osuuksien pituudet ryhmiteltynä eri keskilinjän routanousutasoille.



Kuva 8. Lieksa, Urheilukatu ja Mönninkatu. Havaintokatujen suhteellinen vaurioituminen keskilinjän eri routanousutasoilla (havaintotalvi 1996-97).



Kuva 9. Lieksa, Urheilukatu ja Mönninkatu. Havaintokatujen kokonaispituudet ja vauriollisten osuuksien pituudet ryhmiteltynä eri keskilinjän routanousutasoille.

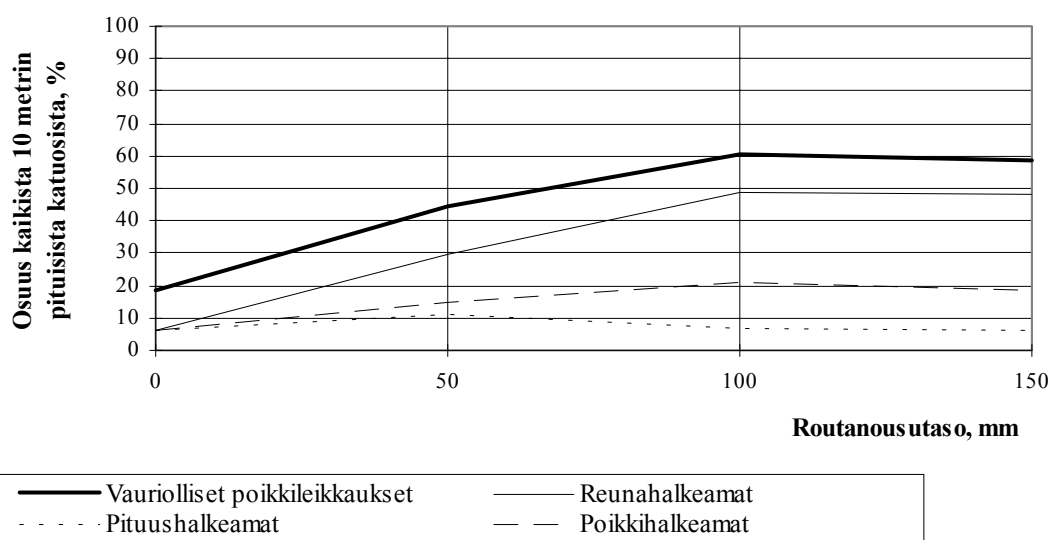


Kuva 10. Routahalkeilleen kadun osuus koko pituudesta katupäällysteen toiminta-aikana arvioidun suurimman keskilinan routanousun suhteen koerakennuskohteissa.

4.3 Raudoitettun katupäällysteen vaurioituminen

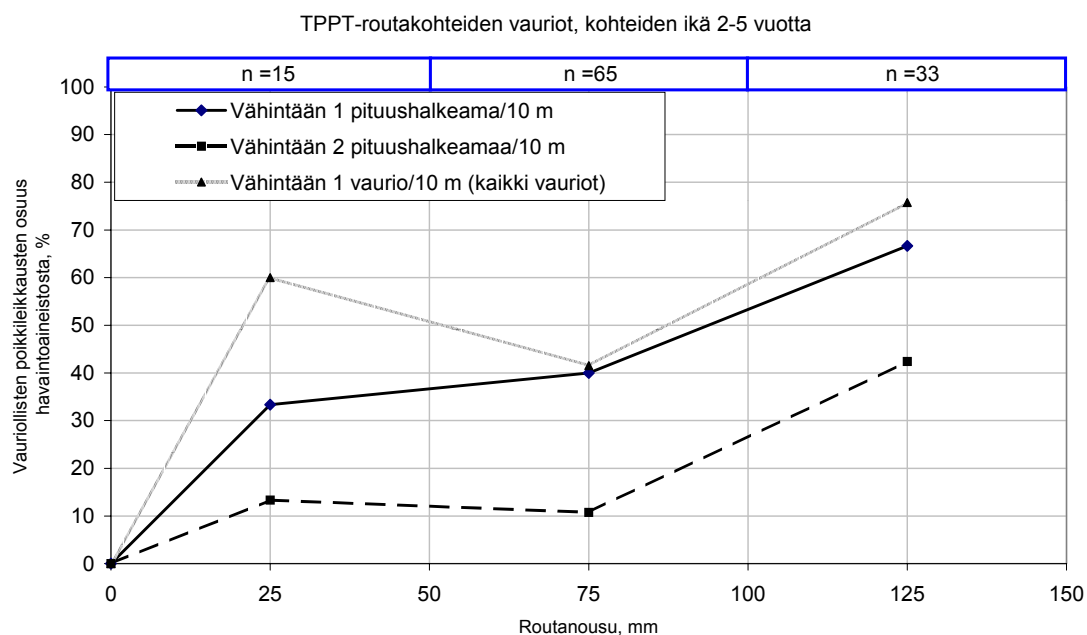
Em. katujen routatutkimus-ohjelmassa analysoitiin Joensuun kaupungin katukohteiden vaurioitumista, kun päällyste oli raudoitettu. Tuloksia on esitetty kuvassa 11.

Käkisalmenkatu: kumulatiivinen tarkastelu eri vauriotyyppien osuuksista (yhdeällä 10 m katuosalla voi olla useita eri tyyppisiä vaurioita)

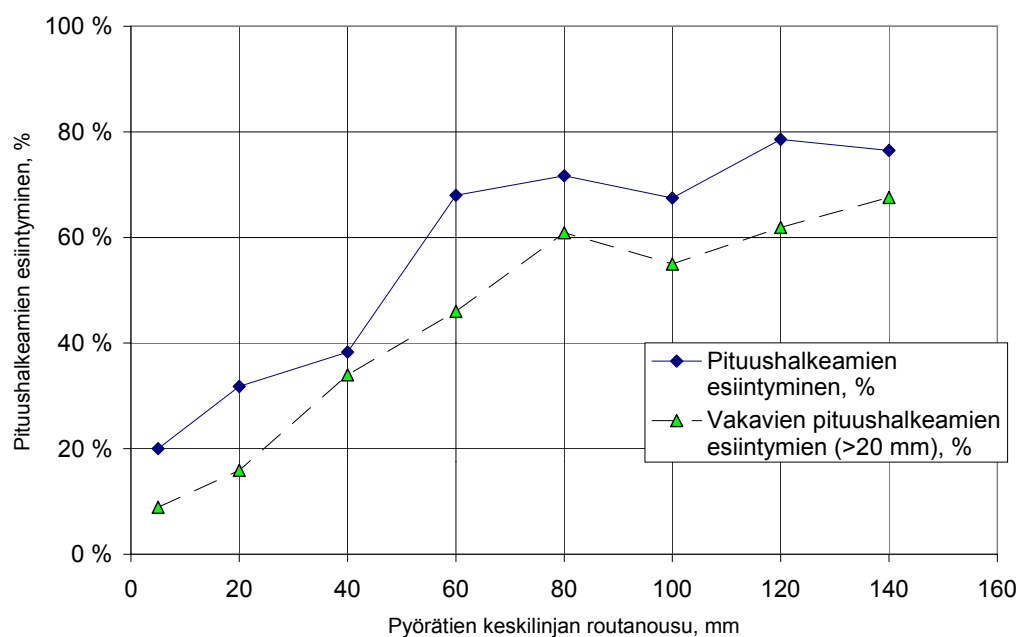


Kuva 11. Käkisalmenkatu. Vauriollisten poikkileikkausten osuus ja pituushalkeaman, reunahalkeaman ja poikkihalkeaman omaavien poikkileikkausten suhteellinen osuus eri routanousutasoilla keväällä 1996.

4.4 TPPT-koerakenteiden päällysteen routavauriot



Kuva 12. Routavaurioituminen suhteessa havaittuun suurimpaan keskilinjän routanousuun TPPT-routakoerakentamiskohteissa /5/ (n = havaintojen lukumäärä).



Kuva 13. Havaittujen vaurioiden prosentuaalinen esiintyminen pyörätiellä. Keskilinjän routanousu havaintotalvena jaettiin 0-30 mm, 30-50 mm, 50-70...150-170 mm alueisiin (Kallio 2000).

5 Vaurioitumistaso vs. routanousu

5.1 Vaurioitumistaso: kaikki routavauriot

Routavaurioiden esiintymistä maksimiroutanousulla 50, 100 ja 150 mm on esitetty taulukossa 1. Vaurioituneeksi tulkittiin päällyste 10 metrin mittaisella osuudella, jos sillä vaurio esiintyi. Näin esimerkiksi pituushalkeaman pituus voi olla vaurioituneella osuudella välillä 0 - 10 m. Vauriosumman määrittämisessä laskettiin tällöin pituushalkeaman keskipituudeksi 5 m.

Taulukko 1. Erilaisten vaurion omaavien päällysteiden esiintyminen eri routanousutasoilla (yhdistetty aineisto: katujen routatutkimus, TPPT, kaikki silminhavaittavat halkeamat mukana).

Routanousu mm	yksi pituushalkeama, %		> yksi pituushalkeama, %		Poikkihalkeama %	Muut vauriot %	Kaikki vauriot %	
	Kadut	TPPT	Kadut	TPPT	Kadut	Kadut	Kadut	TPPT
50	15	30	5	10	10	20	65	50
100	40	50	10	25	50	60	80	60
150	80	70	35	50	30	60	95	80

Em. aineiston perusteella laadittu arvio vauriosummasta eri routanousutasoilla on esitetty taulukossa 2. Vauriokartoituksessa ja siten vauriosummassa ovat mukana kaikki silmin havaittavat vauriot.

Taulukko 2. Arvioitu vauriosumma eri routanousutasoilla, kaikki silminhavaittavat halkeamat mukana .

Routanousu mm	Vauriosumma m ² /100 m
50-100	40
100-150	80
>150	>120

5.2 Vaurioitumistaso: >5 mm halkeamat

Taulukkoon 3 on koottu kohdan 5.1 aineistoa laajempaan aineistoon ja erilaiseen vaurioiden ja vauriosumman laskentaan perustuva yhteys routanousun ja vauriosumman välille. Routan aiheuttamien pituus- ja saumahalkeamien määrää (m/10 m) selvitetiin TPPT-koerakenteiden, kevyttietkohteiden ja eräiden katukohteiden havaintojen perusteella. Päällystetyypit jakautuivat siten, että PAB-päällysteitä oli 54,4 % ja AB-päällysteitä 45,6 %. Pituus- ja saumahalkeamista otettiin tarkasteluun mukaan vain leveydeltään yli 5 mm:n halkeamat. Seuraavassa on esitetty kunkin kohdetyyppin

osalta, miten routanousut, halkeamat ja pakkasmäärä huomioitiin aineiston käsittelyssä.

TPPT-kohteet (yhteispituus 2340 m)

TPPT-kohteiden ikä vaihteli 3 – 6 vuoden välillä. Aineiston käsittelyssä käytettiin routanousuina sellaisen talven arvoja, jolloin routanousut olivat suurimmat. Vaurio-kartoituksella määritetyt pituushalkeamat olivat keväältä 2001. Seurannan aikaiset maksimipakkasmäärät olivat hieman pienempiä kuin F_5 -talvi. TPPT-kohteista jätettiin pois teräsverkkokohteet niiden erilaisen routakäyttämisen ja vaurioitumisen takia.

Kevyttiekohteet (yhteispituus 1400 m)

Havaintotalven 1999 – 2000 pakkasmäärä vastasi tutkittavilla kohteilla tilastollisesti keskimäärin kerran 10 vuodessa toistuvaa leutoa talvea. Kevyttiekohteiden vaaitukset suoritettiin keväällä 2000 maksimiroudan aikaan ja kesällä pohjamaan ollessa sula.

Pituus- ja saumahalkeamatarkastelusta jätettiin 6 kpl kohteita pois, koska niiden vauriot olivat pääasiassa verkkohalkeamia tai purkaumia, joiden joukosta oli vaikeaa erottaa roudan aiheuttamat pituus- ja saumahalkeamat.

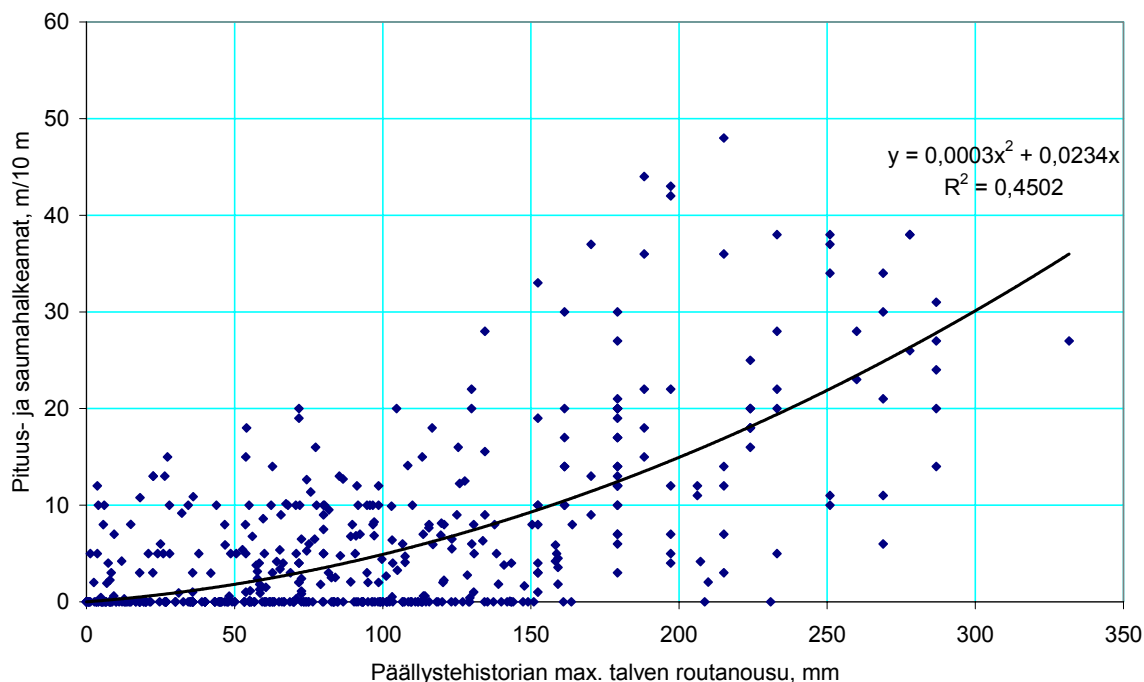
Kevyttiekohteiden osalta ei ollut tietoa mahdollisesta tien rakennekerrosten routimisesta.

Kevyttiekohteiden routanousut laskettiin kunkin kohteen osalta päällystehistorian maksimitalven mukaisiksi routanousuiksi. Pakkasmäärät vaihtelivat tilastollisesti välillä $F_5 - F_{10}$.

Katukohteet (yhteispituus 1510 m)

Katukohteiden havaitut routanousut laskettiin päällystehistorian maksimitalven mukaisiksi routanousuiksi. Pakkasmäärä oli tilastollisesti noin F_5 -talvi.

Kuvassa 14 on esitetty TPPT-, kevyttie- ja katukohteiden routanousun suhde pituus- ja saumahalkeamien määrään. Kevyttie- ja katukohteiden routanousut laskettiin päällystehistorian maksimitalven mukaisiksi routanousuiksi.



Kuva 14. TPPT-, kevyttie- ja katukohteiden routanousun suhde pituus- ja saumahalkeamien määrään m/10 m. Kevyttie- ja katukohteiden routanousut laskettiin päällystehistorian maksimitalven mukaisiksi routanousuiksi.

Tämän aineiston keskimääräinen kerroin pituus- ja saumahalkeamille oli 0,5, joka saatiin laskemalla painotettu kerroin koko aineiston kapeiden ja leveiden pituus- ja saumahalkeamien suhteellisten osuuksien perusteella. Keskimääräisiä vaurioitumisnopeuksia ($\text{m}^2/100 \text{ m}$ vuodessa) laskettaessa poistettiin aineistosta poikkeuksellisen suuret arvot (ylin desiili).

Taulukko 3. Arvioitu keskimääräinen vauriosumma eri routanousutasoilla. Mukana vain $> 5 \text{ mm}$ halkeamat.

Routanousu mm	Vauriosumma $\text{m}^2/100 \text{ m}$
50-100	15
100-150	20
>150	>25

6 Vaurioriski

6.1 Mitoitusroutanousun ja –pakkasmäärän vaikutus vaurioriskiin

Erilaisten olosuhde- ja rakennetekijöiden sekä mitoituksessa käytettyjen olettamusten vaikutuksia tien routakestävyyteen (mitoitusroutanousu, mitoittava pakkasmäärä, pohjamaan SP) voidaan tarkastella vaurioriskin avulla. Tierakenteen routavaurioriskitasoa voidaan tarkastella pakkasmäärän toistuvuuden ja siitä aiheutuvan routanousun toistuvuuden perusteella, kun lisäksi tiedetään luvussa 5 esitetty yhteys routanousun ja tien vaurioitumisen välillä. Tässä luvussa on käytetty kohdan 5.1 mukaista routanousun ja vauriosumman välistä yhteyttä, jossa vauriosumma on määritetty ottamien huomioon kaikki roudan aiheuttamat vauriot (myös < 5 mm).

Luvun 5 kuvien perusteella havaitaan, että keskilinjan routanousutason kasvaessa todennäköisyys routaperäisten vaurioiden syntymiseen kasvaa. Eri tutkimuskohteissa routanousun ja vaurioiden välinen yhteys vaihtelee mm. rakenteellisten seikkojen ja tien leveyden mukaan. Tässä luvussa tehdyissä tarkasteluissa oletetaan, että kun routanousu on alle 50 mm, ei routaperäisiä vaurioita synny. Routanousun ylittäessä 150 mm oletetaan koko ko. tieosan olevan uudelleen päällystyksen ja mahdollisesti rakenteen parantamisenkin tarpeessa.

Koska tässä yhteydessä ei ole korjaustoimenpiteille määritetty absoluuttisia kustannuksia, käytetään 150 mm routanousun aiheuttamalle korjaustoimenpiteelle suhteellista painokerrointa 1 ($=100$ % eli vauriosumma $120 \text{ m}^2/100 \text{ m}$). Em. routanousurajojen väli on jaettu vielä kahteen osaan: 50-100 mm ja 100-150 mm. Mikäli routanousu on välillä 50 – 100 mm, oletetaan tien vauriosumman olevan $40 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ (33 % 120 m^2 :stä) ja routanousun ollessa 100-150 mm siitä aiheutuu vauriosumma $80 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ (66 % 120 m^2 :stä).

Kohteen pakkasmäärän tilastollisen jakauman perusteella voidaan todennäköisyys tietyn suuruisen routanousun syntymiseen laskea erilaisen rakennepaksuuden omaaville teille. Tässä tarkastelussa on laskettu todennäköisyyksiä, joilla eri mitoitusoletamuksilla saatujen tierakenteiden routanousut ovat em. routanousuluokissa (alle 50 mm, 50-100 mm, 100-150 mm ja yli 150 mm).

Vaurioriski on routanousun toteutumistodennäköisyyden ja routanousun aiheuttaman suhteellisen vauriomäärän tulo. Esimerkiksi pakkasmäärällä F5 ja mitoitusroutanousulla 50 mm mitoitetu tie Porissa vaatisi 1100 mm paksuisen routimattoman rakenekerroksen, kun pohjamaan routimiskerroin $SP=5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$. Kyseisen tien routanousu on yli 50 mm joka viides vuosi ($F5 \rightarrow P=0,80$) eli todennäköisyydellä 0,20 ei ylitetä 50 mm routanousua. Routanousu on yli 100 mm noin joka 20. vuosi ($P=0,956$) ja 150 mm routanousu ylitetään joka 67. vuosi ($P=0,985$). Näin ollen routanousu on

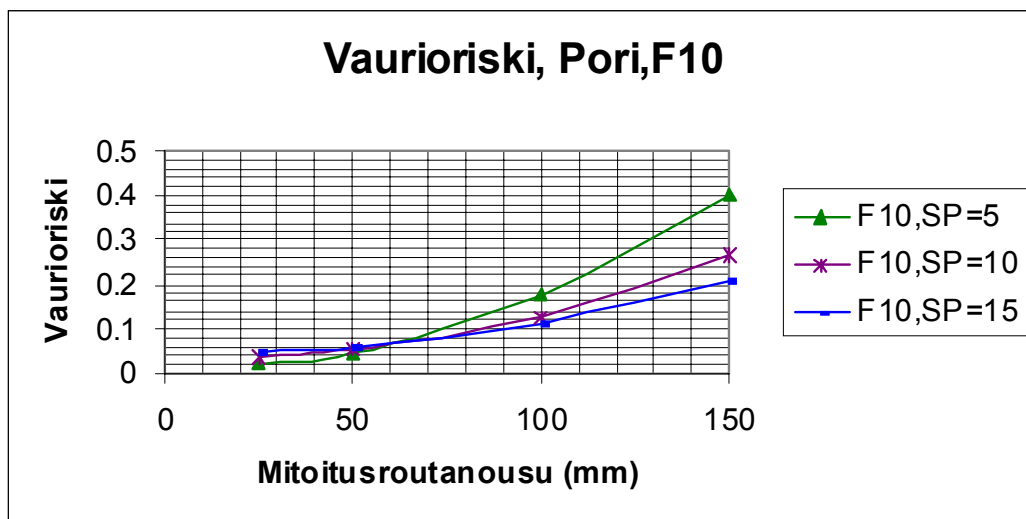
- | | |
|----------------------|---|
| - yli 150 mm | todennäköisyydellä 0,015 ($=1-0,985$), |
| - välillä 100-150 mm | todennäköisyydellä 0,029 ($=0,985-0,956$), |
| - välillä 50-100 mm | todennäköisyydellä $P=0,156$ ($=0,956-0,80$) ja |
| - alle 50 mm | todennäköisyydellä $P=0,8$. |

Vaurioriski ko. tielle on siten $VR=0,8*0+0,156*0,33+0,029*0,66+0,015*1=0,0856$.

Vaurioriski saa arvon $1(=1*1)$, mikäli todennäköisyys $P=1$, että routanousu on yli 150 mm. Tämä tarkoittaa sitä, että tien vauriosumma olisi joka vuosi yli 120 $m^2/100m$.

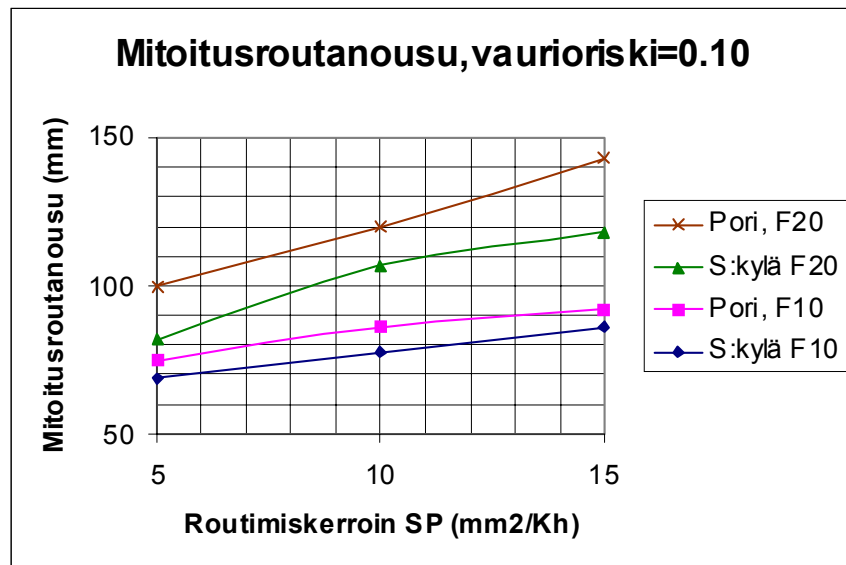
Mitoituksessa käytettävä kohteen pakkasmäärän toistuvuus ja mitoitusroutanousu vaikuttavat mitoitus tuloksena saatavaan rakennekerrospaksuuteen. Lisäksi tarvittavaan routimattomaan rakennekerrospaksuuteen vaikuttaa myös pohjamaan routimiskerroin ja kohteen maantieteellinen sijainti.

Kuvassa 15 on esitetty esimerkkinä edellä selostetulla tavalla laskettuna mitoitusroutanousun ja vaurioriskin välisiä yhteyksiä Etelä-Suomen (Pori) ilmasto-olosuhteissa, kun mitoituspakkasmääränä on F_{10} (27000Kh). Liitteessä 4 on esitetty vastaavat yhteydet Porissa, kun mitoituspakkasmääränä on käytetty F_5 , F_{10} ja F_{20} . Liitteessä 5 on esitetty vaurioriskin ja mitoituspakkasmäärän välisiä yhteyksiä Sodankylän ilmasto-olosuhteissa ($F_{10}=59000Kh$).



Kuva 15. Mitoitusroutanousun ja vaurioriskin suhde Porissa, kun pohjamaan routimiskerroin on 5, 10 ja 15 mm^2/Kh ja mitoitus talvi F_{10} .

Kuvassa 16 on esitetty em. laskelmien avulla saadut kuvaajat mitoitusroutanousun ja pohjamaan routivuuskertoimen välille, kun vaurioriskin arvo on 0,10 Porissa ja Sodankylässä.



Kuva 16. Mitoitusroutanousun ja pohjamaan routimiskertoimen välinen yhteys Porissa ja Sodankylässä, kun vaurioriski on 0,10.

Kuvista 15 ja 16 havaitaan, että saman mitoitusroutanousun käyttö erilaisilla pohjamailla ja eri ilmasto-olosuhteissa johtaa erilaiseen vaurioriskiin ja siten myös kestokään seuraavasti:

- Vaurioriski kasvaa mitoitusroutanousun kasvaessa (kuva 15).
- Harvemmin toistuvaa mitoituspakkasmäärää käytettäessä voidaan käyttää suurempaa mitoitusroutanousua pyrittäessä samaan vaurioriskiin.
- Samalla mitoitusroutanousulla mitoitetun tien vaurioriski on huomattavasti suurempi lievästi routivalla pohjamaalla kuin voimakkaasti routivalla.
- Pohjois-Suomessa tulisi käyttää pienempää mitoitusroutanousua kuin Etelä-Suomessa (kuva 16).
- Valitulla mitoituspakkasmäärällä ja -routanousulla (esim. F10 ja $h=100$ mm) mitoitetun tien vaurioriski ja kestoikä eivät ole vakioita erilaisilla pohjamailla ja erilaisissa ilmasto-olosuhteissa.

6.2 Vaurioriski ja vaurioitumisnopeus: kaikki routavauriot

Vaurioriski kuvaa keskimääräistä, tietyn suuruisen suhteellisen vauriomäärän toteutumisen todennäköisyyttä tietyllä aikavälillä (tässä yhteydessä vuodessa). Luvun 5.1 mukaan yli 150 mm routanousu aiheuttaa vauriomäärän $120 \text{ m}^2/100 \text{ m}$. Näin ollen vaurioriski voidaan muuttaa keskimääräiseksi vaurioitumisnopeudeksi vuodessa kertomalla vaurioriski vauriosumman arvolla $120 \text{ m}^2/100 \text{ m}$. Kuvan 16 vaurioriskiarvo 0,10 vastaa siis keskimääräistä vaurioitumisnopeutta $12 \text{ m}^2/100 \text{ m/v}$.

Esimerkiksi Porissa 50 mm mitoitusroutanousulla ja pakkasmäärällä F10 mitoitetun tien keskimääräinen vaurioitumisnopeus olisi noin $6 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ vuodessa ($=0,05 \cdot 120 \text{ m}^2/100 \text{ m}$, kuva 15), kun pohjamaan routimiskerroin on 5...15 mm^2/Kh . Lievästi routivalle pohjamaalle suurella mitoitusroutanousulla mitoitetun tien routanousut ovat vuosittain keskimääräisesti suurempia kuin voimakkaasti routivalle pohjalle samalla mitoitusroutanousulla mitoitetun tien. Mikäli tie mitoitetaan 150 mm routanousulle

pakkasmäärällä F10, olisi vaurioitumisnopeus $48 \text{ m}^2/\text{v}$ ($0,4 \cdot 120 \text{ m}^2/100 \text{ m}$) routimis-kertoimen arvolla $\text{SP}=5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$ ja $25 \text{ m}^2/\text{v}$ ($=0,2 \cdot 120 \text{ m}^2/100 \text{ m}$) routimiskertoimella $\text{SP}=15 \text{ mm}^2/\text{Kh}$.

Todellisuudessa routanousun aiheuttama tien vaurioituminen ei tapahdu tasaisesti keskimääräistä, vuotuista vaurioitumisnopeutta noudattaen. Vauriot tapahtuvat kylminä talvina, jolloin pakkasmäärä ja roudan tunkeutumisvyvyys ovat suuria. Lisäksi vaurioitumisnopeutta näin laskettaessa joudutaan oletamaan, että vauriomäärän lisääntyminen on kumuloituvaa. Toisin sanoen routanousun ollessa esimerkiksi kahtena peräkkäisenä vuotena välillä 50-100 mm olisi vauriosumma $40+40=80 \text{ m}^2/100 \text{ m}$. Käytännössä vauriomäärän lisäys ei liene näin suorasti kumuloituvaa, vaan ensimmäisenä talvena syntyneet halkeamat aukeaisivat toisena talvena uudelleen ja niiden määrä lisääntyisi jonkin verran, mutta ei kuitenkaan kaksinkertaistuisi.

6.3 Vaurioriski ja vaurioitumisnopeus: >5 mm halkeamat

Suurin routavaurionopeus ($\text{m}^2/100\text{m/a}$) tarkastelujaksolla, kun otaksutaan, että routanousun ja vauriosumman välillä on luvun 5.2 taulukon 3 mukainen yhteys, jossa vain >5 mm:n halkeamat ovat mukana on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Suurin vaurioitumisnopeus erilaisilla alusrakenteen routimiskertoimilla ja mitoitusroutanousuilla. Vauriosummassa mukana vain >5mm halkeamat.

F_{10}, Kh	$\text{SP}= 5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$		$\text{SP}= 10 \text{ mm}^2/\text{Kh}$		$\text{SP}= 15 \text{ mm}^2/\text{Kh}$	
	$h_{10}=100\text{mm}$	150 mm	100 mm	150 mm	100 mm	150 mm
	Suurin routavaurionopeus, $\text{m}^2/100\text{m/a}$					
30 000	6,5	10,5	4	7,5	3	5,5
40 000	7,5	10,5	4,5	8	3	6,5
50 000	8	10,5	5	9	3,5	7
60 000	8	10,5	5,5	9	4	7,5

Taulukossa 4 esitetty vaurioitumisnopeus vastaa tarkastelujaksolla esiintyvää suurinta vaurioitumisnopeutta. Todennäköisyysjakaumasta johtuen suurin nopeus ilmenee noin 50 mm:n routanousutasolla. Jos mitoitus on tehty 100 mm:n mukaan, niin 50 mm:n esiintyminen jaksolla on sitä lukuisampi, mitä pienempi routimiskerroin on. Taulukon 4 mukaan suurin vaurioitumisnopeus on lievästi routivilla pohjamailla suurempi kuin voimakkaasti routivilla pohjilla. Edelleen vaurioitumisnopeus kasvaa, kun mitoitusroutanousu on suurempi, jolloin rakenne on ohuempi. Mitoitusroutanousun ollessa 50 mm on suurin vaurioitumisnopeus pohjamaasta ja ilmasto-olosuhteista riippumatta vakio $1,5 \text{ m}^2/\text{v}$.

Taulukossa 4 esitetyt suurimmat vaurioitumisnopeudet on määritetty tarkastelemalla 100 ja 150 mm mitoitusroutanousun määrittämän rakennepaksuuden omaavan tien eri suuruisten routanousujen toistuvuutta. Jos tie on mitoitettu 50 mm routanousulla ja pakkasmäärällä F_{10} , se todennäköisesti saavuttaa routanousun $h=50 \text{ mm}$ (tai suurempi) kerran kymmenessä vuodessa pohjamaan routimiskertoimesta ja paikkakunnasta riippumatta. Tällöin vaurioitumisnopeus on $15 \text{ m}^2/10\text{v}=1,5 \text{ m}^2/\text{v}$. Mikäli tie on mitoitettu 100 mm routanousulla ja F_{10} :llä, sen routanousu lievästi routivalle pohjamaalle ($\text{SP}=5$)

rakennettuna ($H=1250$ mm) ylittää 50 mm routanousun Keski-Suomessa ($F_{10}=40\,000$ Kh) keskimäärin 2 vuoden välein ja 100 mm routanousun 10 vuoden välein. Tällöin suurin vaurioitumisnopeus saadaan 50mm routanousun aiheuttaman vauriomäärän ($15\text{ m}^2/100\text{ m}$) ja toistuvuuden suhteena: $15\text{ m}^2/2v=7,5\text{ m}^2/v$, koska 100mm aiheuttama vaurioitumisnopeus on pienempi $2,0\text{ m}^2/v$ ($=20\text{ m}^2/10\text{ v}$). Jos tie olisi mitoitettu 150 mm routanousulle, se ylittäisi 50 mm routanousun 1,4 vuoden välein (kaksi kertaa kolmesta), 100 mm routanousun 2,3 vuoden välein ja 150 mm routanousun 10 vuoden välein. Suurin vaurioitumisnopeus saadaan jälleen 50 mm routanousun ylitysten toistuvuuden perusteella: $15\text{ m}^2/1,4v=10,5\text{ m}^2/v$.

Jos elinkaaritarkastelun kohteena olevan tien rakenteen paksuus poikkeaa routamitoituksen vaatimasta paksuudesta (esimerkiksi kuormituskestävyyden mukaan mitoitettu rakenne on paksumpi kuin routamitoitettu), niin em. vauriotarkastelu ei ole voimassa. Tällöin tarkasteltavan tierakenteen vaurioitumista voidaan arvioida liitteenä olevien käyrästöjen avulla paikkakuntakohtaisesti pakkasmäärän mukaan ($F_{10}=25000, 30000, \dots, 65000\text{ Kh}$, liitteet 6..14).

Tarkastellaan esimerkiksi 1000 mm rakenteen käyttäytymistä edellisen esimerkin olosuhteissa ($SP=5$ ja $F_{10}=40000\text{ Kh}$). Liitteessä 9 on esitetty 50, 100 ja 150 mm routanousun ylityskertojen lukumäärä erilaisissa pohjamaaolosuhteissa eri paksuisille tierakenteille. Kuvaajista havaitaan, että 50 mm routanousu ylitetään alle 2 vuoden ($1,5\text{ v}$), 100 mm routanousu noin 3 vuoden ja 150 mm routanousu noin 17 vuoden välein. Näistä voidaan laskea suurin vaurioitumisnopeus, joka tässä saavutetaan 50 mm routanousun ylityksen seurauksena:

- 50 mm ylitys: $15\text{ m}^2/1,5v=10\text{ m}^2/v$
- 100 mm ylitys: $20\text{ m}^2/3v=7\text{ m}^2/v$
- 150mm ylitys: $25\text{ m}^2/17v=1,5\text{ m}^2/v$

Routanousun aiheuttamia suurimpia vaurioitumisnopeuksia elinkaaritarkasteluissa käytettäessä on huomioitava, että kyseessä on suurin vaurioitumisnopeus, joka saavutetaan yleensä tarkastelujakson alussa. Vaurioituminen ei etene ko. nopeutta koko tarkastelujakson aikana, vaan hidastuu ensimmäisen vaurioita aiheuttaneen talven ($h>50$ mm) jälkeen huomattavasti pienemmäksi. Vaurioitumisnopeus yllä olevassa esimerkissä olisi ensimmäisen kolmen vuoden aikana suurimmillaan $7-10\text{ m}^2/v$ ja kolmessa vuodessa saavutettaisiin vauriomäärä $20\text{ m}^2/100\text{ m}$. Tämän jälkeen vaurioitumisnopeus olisi hyvin pieni ja vauriomäärä $25\text{ m}^2/100\text{ m}$ saavutettaisiin 17 vuoden kuluttua tien rakentamisesta.

Edelleen yksinkertaistamalla voitaisiin pitkän ajanjakson keskimääräisenä vaurioitumisnopeutena em. suurimpien nopeuksien sijasta käyttää mitoitusroutanousun aiheuttaman vauriomäärän ja mitoituspakkasmäärän toistuvuuden suhdetta.

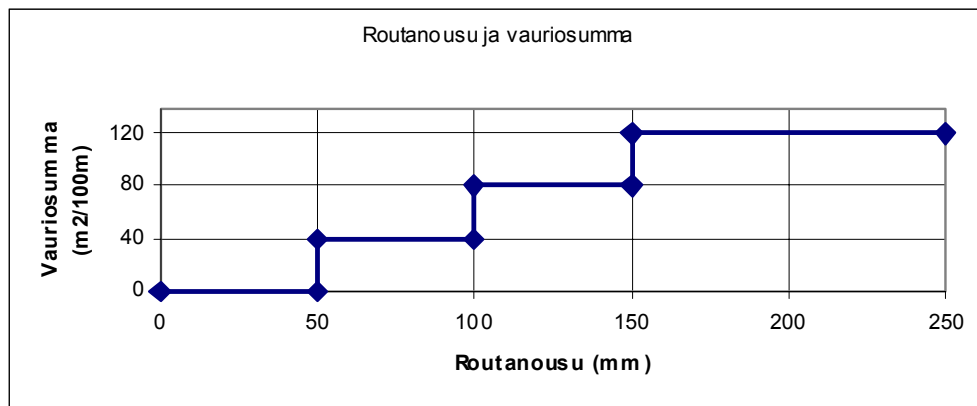
Kun $F_{mit}=F_{10}$:

- $h_{mit}=50\text{ mm} \rightarrow VS=15\text{ m}^2/100\text{ m} \rightarrow \text{nopeus}=15/10=1,5\text{ m}^2/v$
- $h_{mit}=100\text{ mm} \rightarrow VS=20\text{ m}^2/100\text{ m} \rightarrow \text{nopeus}=20/10=2,0\text{ m}^2/v$
- $h_{mit}=150\text{ mm} \rightarrow VS=25\text{ m}^2/100\text{ m} \rightarrow \text{nopeus}=25/10=2,5\text{ m}^2/v$

7 Routanousun elinkaaritarkastelut

Tien elinkaaritarkasteluissa routanousun vaikutus voidaan ottaa huomioon, kun tunnetaan yhteys routanousun suuruuden ja vauriosumman välillä. Luvussa 5.1 yhteys on esitetty siten, että 50 mm routanousu aiheuttaa vauriosumman $40 \text{ m}^2/100 \text{ m}$, 100 mm aiheuttaa $80 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ ja 150 mm aiheuttaa $120 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ (kuva 17). Tien vaurioituminen yleensä lisääntyy jatkuvasti routanousun kasvaessa. Elinkaaritarkasteluissa routanousu on tarkoituksenmukaista jakaa em. tavalla suuruusluokkiin ja olettaa, että alle 50 mm routanoususta ei aiheudu vaurioita.

Vaurioitumisen (vauriosumman) aiheuttama toimenpideraja riippuu tien liikennemäärästä. Vauriosummaa $30\text{--}40 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ voidaan pitää toimenpiderajana vilkkaasti liikennöidyillä pääteillä ja vauriosummaa $50\text{--}80 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ vastaavasti paikallisteillä. Toimenpiderajan ylittäminen johtaa uudelleenpäällystykseen. Siten 150 mm ylittävä routanousu ($120 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ vauriosumma) johtaisi lisäksi rakenteen parantamistarpeeseen.



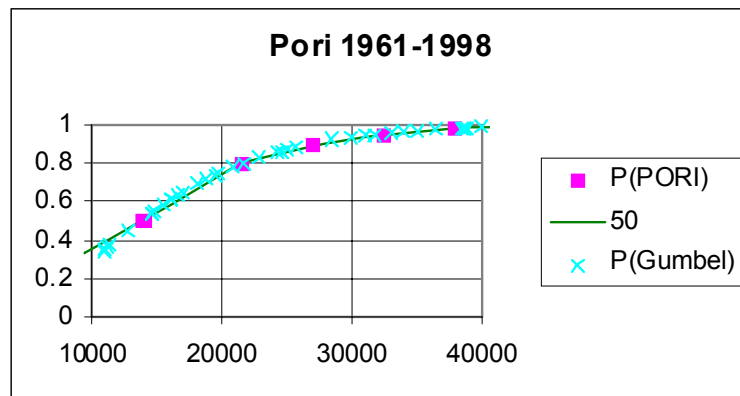
Kuva 17. Routanousun ja vauriosumman välinen yhteys (kaikki halkeamat mukana).

Elinkaarikustannuslaskennassa kunnostustoimenpiteen ajankohta on tunnettava. Routanousun aiheuttaman kunnostustoimenpiteen ajankohta voidaan määrittää, kun tierakenteen tietyn routanousun toistuvuus paikkakunnalla tunnetaan. Pakkasmäärän ja siten myös routanousun toistuvuus voidaan laskea määrittämällä ensin tarkasteltavaan routanousuun tarvittava pakkasmäärä kaavalla (1) (TPPT 18, Tierakenteen routamitoitus /5/).

$$F = \left\{ (H/h) + (h \cdot k) / 2 \left[SP + (0,09 w_{\text{vol}} \cdot k^2) / 2 \right] \right\}^2 \quad (1)$$

missä	H	on	routimattoman rakenteen paksuus
	h		routanousu
	k		routan tunkeutumisvyvyyteen vaikuttava kerroin
			neliöjuurikaavassa ($z = kF^{0,5}$)
	w_{vol}		tilavuusvesipitoisuus
	SP		routivuuskerroin

Seuraavaksi määritetään routanousuun johtavaa pakkasmäärää vastaava todennäköisyys P pakkasmäärän toistuvuuskuvaajasta. Paikkakuntaakohtainen kuvaaja saadaan pakkasmääräkartoista ottamalla pakkasmäärät F2, F5, F10 jne. sekä niitä vastaavat todennäköisyydet P (0.5, 0.8, 0.9 jne). Kuvassa 18 on Porin seudun kuvaaja pakkasmäärän ja sen toteutumistodennäköisyyden välille, jossa neliöt kuvaavat F2:ta, F5:tä jne. Väliarvot voidaan interpoloida (yhtenäinen viiva "50") kuvaajasta tai laskea esim. taulukkolaskentaohjelmalla em. menetelmällä.



Kuva 18. Todennäköisyydet, että tiettyä pakkasmäärää ei ylitetä (Pori)

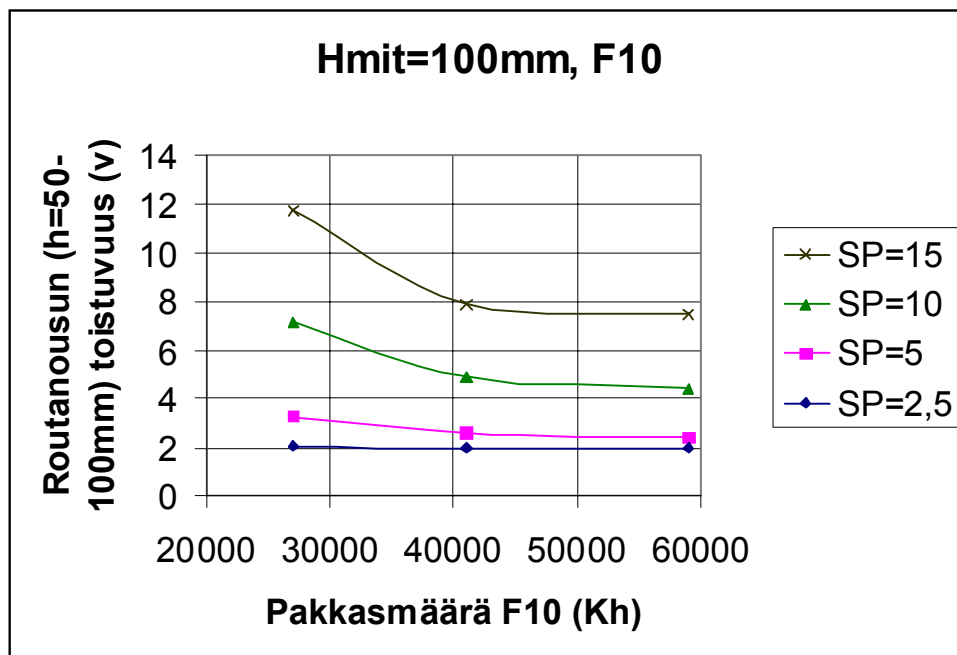
Näin lasketut tietyn pakkasmäärän todennäköisyydet P voidaan muuttaa routanousun toistuvuudeksi (vuosina) seuraavasti

$$\text{Toistuvuus} = 1/(1-P) \quad (2)$$

Toistuvuus voidaan muuttaa tutkittavan routanousun ylityskertojen lukumääräksi (lkm) tarkastelujaksolla (T).

$$\text{lkm} = T/\text{Toistuvuus} \quad (3)$$

Yksinkertaisimmillaan elinkaaritarkastelussa voidaan olettaa, että mitoituspakkasmäärän (esim. F10) toistuvuutta (10 v.) vastaava mitoitusroutanousu (esim. $h=50$ mm) ylitetään/saavutetaan kerran ko. toistuvuusjaksolla. Jos mitoitusroutanousu aiheuttaa toimenpiderajana olevan vauriosumman, voidaan tällöin routanoususta johtuvan korjaustaajuuden ajatella olevan kyseinen mitoituspakkasmäärän toistuvuus. Kun mitoitusroutanousu ja korjaustoimenpiteeseen johtava routanousutaso poikkeavat toisistaan, ei em. menettely välttämättä johda oikein arvioituun vauriosummaan ja korjaustoimenpiteen ajoittamiseen. Mitoitettaessa esimerkiksi pakkasmäärällä F10 ja routanousulla 100 mm saadaan eri ilmasto- ja pohjamaaolosuhteissa välillä 50-100 mm olevia, tien vaurioitumista aiheuttavia routanousuja varsin erilaisella toistuvuudella. Kuvasta 19 nähdään, että voimakkaasti routivalla pohjamaalla ($SP=15$), mitoitusroutanousulla 100 mm mitoitetun tien routanousut ovat välillä 50-100 mm kohteen sijainnista riippuen 8 vuoden (Pohjois-Suomi) ja 12 vuoden (Etelä-Suomi) välein. Lievästi routivalla pohjamaalla ($SP=5$) routanousutaso 50-100 mm saavutetaan keskimäärin joka toinen vuosi.



Kuva 19. Pakkasmäärällä F10 ja routanousulla 100 mm mitoitettun tien routanousutason 50-100 mm toistuvuus (x vuoden välein) eri ilmasto- ja pohjamaaolosuhteissa

Liitteessä 3 on esitetty routanousun 50 mm, 100 mm ja 150 mm ylityskertojen lukumäärät erilaisille rakennepaksuuksille tarkastelujaksolla 40 vuotta Etelä-Suomessa (Pori). Liitteessä 4 on vastaava tarkastelu Joensuussa ja liitteessä 5 Sodankylässä. Kuvaajia käytettäessä on huomioitava, että 50 mm routanousun ylityskertojen lukumäärät sisältävät myös 100 mm ja 150 mm ylityskerrat ja 100 mm ylityskerrat sisältävät 150 mm ylityskerrat. Routanousut on arvioitu pakkasmäärien perusteella menetelmäkuvauksessa TPPT 18 Tierakenteen routamitoitus /5/ esitetyllä kaavalla (1), käyttäen tilavuusvesipitoisuutena 0,4 ja $k=10$.

Elinkaarikustannustarkastelussa näin laskettuja routanousun ylityskertojen lukumääriä voidaan verrata liikenteen aiheuttaman kulutuksen (urautuminen, IRI:n ylitys, jne.) vaatimaan päällystyskertojen lukumäärään. Routanousun aiheuttamien päällystyskertojen määrän tulisi edulliseen elinkaarikustannukseen pyrittäessä yleensä olla pienempi kuin liikenneperäisen vaurioitumisen aiheuttama päällystystarve.

Esimerkki 1.

Pori, valtatie, $SP=5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$, F_{10} , $h=50 \text{ mm}$.

Tien elinkaarikustannuslaskennassa otetaan huomioon sekä rakentamis- että kunnossapitokustannukset. Menetelmäkuvauksessa TPPT 20 "Päällysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi" on esitetty referenssirakenteen rakentamis- ja kunnossapitokustannusten laskentaesimerkki "Valtatiekohde, AB-rakenne, KVL 10 000 ajon./vrk ". Tarkastelujaksona on tässä käytetty 40 vuotta.

Esimerkkikohde sijaitsee Etelä-Suomessa. Pohjamaa on hiekkamoreenia. Kuormituskestävyysmitoituksen mukaan on rakenteen kokonaispaksuus 900 mm. Oletetaan,

että pohjamaan routimiskerroin on $SP=5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$ ja tie sijaitsee Porissa. Menetelmäkuvausten TPPT 18 "Tierakenteen routamitoitus" mukaan mitoitusroutanousu F_{10} -pakkasmäärällä (27 000 Kh) olisi 50 mm (päätie), joka johtaisi käyrästöjen mukaan rakennepaksuuteen n. 1300 mm.

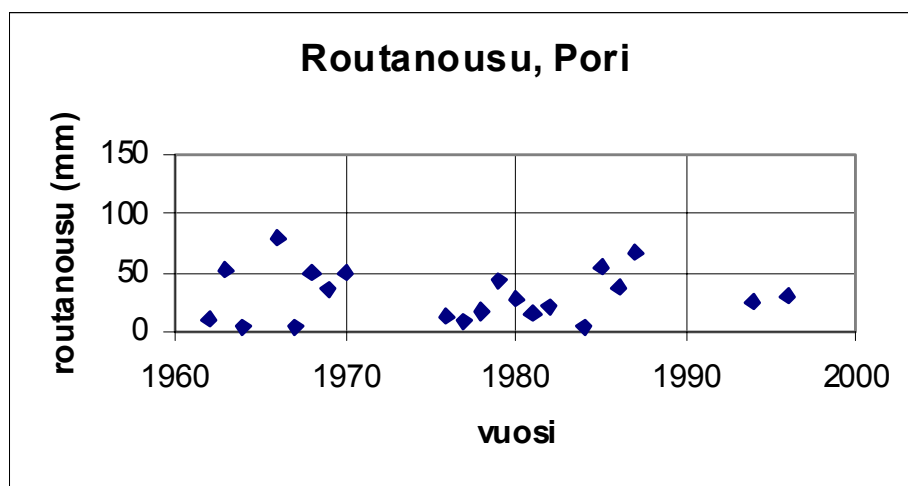
Elinkaarianalyysissä on urautuminen osoittautunut määrääväksi ja päällysteen uusimistarve on oletettu olevan seuraavina vuosina: 0, 6, 12, 18, 24, 30, 35 (eli keskimäärin noin 6 vuoden välein). Rakentamisen jälkeen tehdään urautumisen korjaamiseksi

- 2 kertaa Remixer-päällystys,
- 18. vuotena uudelleen päällystys,
- sitten taas 2 kertaa Remixer ja
- 35. vuotena uudelleen päällystys.

Rakentamiskustannus on 1 971 600 mk. Remixerin hinnaksi on laskettu n. 150 000 mk/km ja uudelleen päällystys 330 000 mk/km. Diskonttaustekijä 20 vuoden kulluttua rakentamisesta (puolella välissä tarkastelujaksoa) 4 % korkokannalla on 0,456 eli Remixerin "keskimääräinen" nykyarvohinta 68 000 mk ja uudelleen päällystys 150 000 mk.

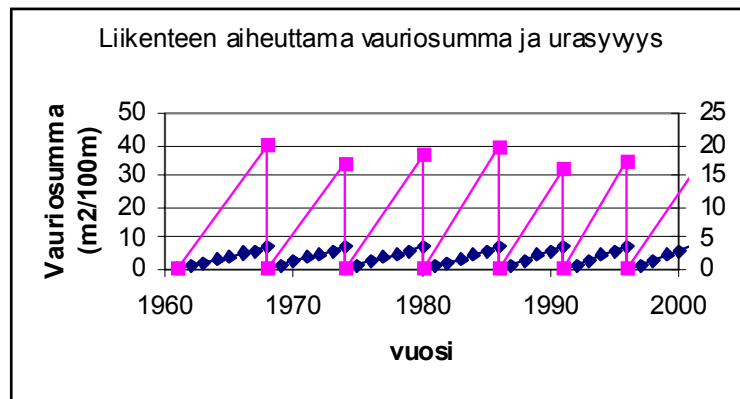
Liitteen 3 käyrästöistä voidaan havaita, että 50 mm routanousu ylitetään tarkastelujaksolla ($T=40 \text{ v}$) 4 kertaa. Tämä on loogista, koska mitoitus tehtiin 50 mm routanousulle pakkasmäärälle F_{10} . Käyrästä havaitaan myös, että 100 mm tai 150 mm routanousua ei todennäköisesti ylitetä 40 vuoden jaksolla kertaakaan. Edellisessä luvussa on 50 mm mitoitusroutanousun vaurioiskiksi Porissa ($SP=5$, F_{10}) saatu 0,04, joka vastaa $4,8 \text{ m}^2/\text{v}$ ($=0,04 \cdot 120$) vaurioitumisnopeutta. Kyseisellä vaurioitumisnopeudella toimenpideraja $40 \text{ m}^2/100\text{m}$ ylitettäisiin noin 8 vuodessa. Tämä hieman lyhyempi "kestoikä" johtuu siitä, että routanousut 100-150 mm ja yli 150 mm ovat myös mahdollisia, vaikkakin niiden todennäköisyys on hyvin pieni.

Kuvassa 20 on esitetty ko. tien ($H=1300 \text{ mm}$, $SP=5$ ja $k=11$) routanousut toteutuneiden pakkasmäärien avulla kaavalla (1) laskettuna Porissa vuosina 1961-2000. Kuvasta 20 havaitaan, että 50 mm ylityskerrat eivät jakaannu kovinkaan tasaisesti, vaan ne ovat osuneet 1960-luvulle (3 kpl) ja 1980-luvulle.



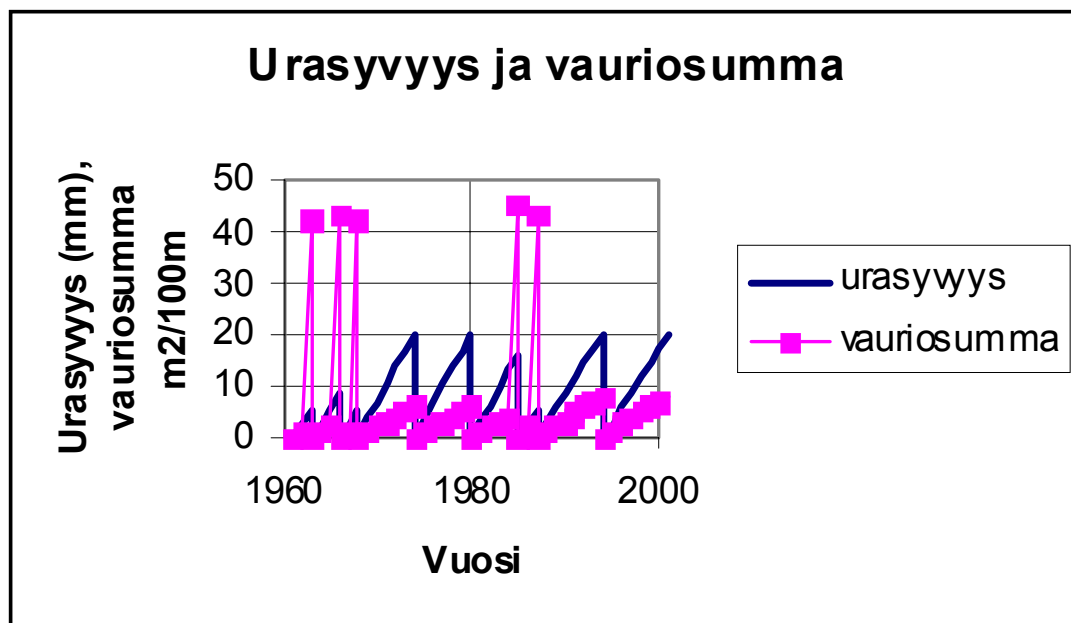
Kuva 20. Porin 1961-2000 toteutuneiden pakkasmäärien mukaan lasketut routanousut tielle, jonka rakenteen paksuus on 1300 mm ja pohjamaan $SP=5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$.

Kuvassa 21 on esitetty urautumisen kehittyminen ja sen aiheuttama päällystystarve (toimenpideraja 20 mm) tielle sekä liikennesäätöjen aiheuttama vauriosumman kehitys ajassa.



Kuva 21. Urautumisen aiheuttama päällystystarve (toimenpideraja 20 mm, oikean reunan asteikko) sekä liikennesäätöjen aiheuttama vauriosumma.

Kuvassa 22 on esitetty sekä liikenteen aiheuttaman urautumisen että liikenteen ja routanousun yhdessä aiheuttaman vauriosumman kehittyminen. Uudelleen päällystystarve on oletettu aiheutuvan 20 mm:n urasyvyydestä ja 40 m²/100 m vauriosummasta.

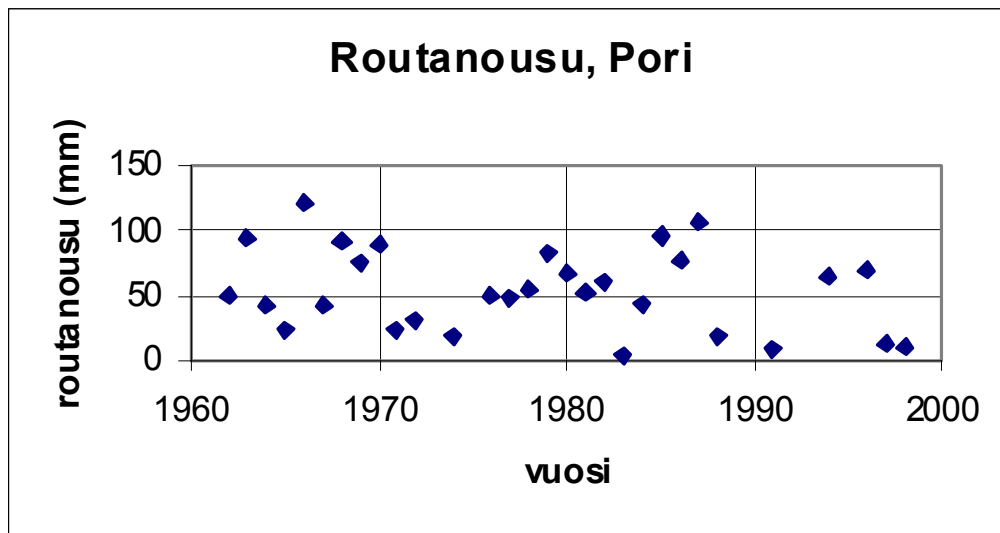


Kuva 22. Liikenteen aiheuttaman urautumisen kehittyminen sekä liikenteen ja routanousun yhdessä aiheuttama vauriosumma.

Kuvista 20 ja 22 havaitaan, että viimeisen 40 vuoden jaksolla routanousun aiheuttama vauriosumman kasvu yli oletetun toimenpiderajan (40 m²/100 m) olisi aiheuttanut tielle 5 ja liikennesäätö 6 päällystyskertaa. Toimenpiderajan ylityksistä (vauriosumma tai uran syvyys) aiheutuisi siten yhteensä 8 uudelleen päällystystä (kuva 22), koska routanousun toistuvuus ei jakaudu tasaisesti tarkastelujaksolle. Elinkaarikustan-

nustarkasteluissa lienee kuitenkin yksinkertaisinta olettaa tietyn routanousun ylityskerrat tasan jakautuneiksi tarkastelujaksolla, vaikkeivät ne sitä ole.

Mikäli tielle ei olisi tehty routamitoitusta, vaan se olisi rakennettu rakenteellisen mitoituksen mukaisesti 900 mm paksuisena, ylittyisi 50 mm routanousu liitteiden 3..5 mukaan 17 kertaa tarkastelujaksolla Porissa, 24 kertaa Joensuussa ja 30 kertaa Sodankylässä. Myös 100 mm routanousutasojen ylityskertoja tulisi useita, kuten myös 150 mm ylityksiä Poria lukuun ottamatta. Kuvassa 23 on esitetty Porissa mitattujen paksuuskäyrien perusteella laskettuja routanousuja 900 mm rakenteelle jaksolla 1960-2000.



Kuva 23. Rakennepaksuudeltaan 900 mm tien routanousut 40 vuoden jaksolla Porissa, kun pohjamaan $SP=5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$.

Esimerkki 2.

Pori, paikallistie, $SP=5 \text{ mm}^2/\text{Kh}$, F_{10} , $h=100 \text{ mm}$

Mikäli em. tien liikennemäärä olisi pienempi, esim $KVL=3000 \text{ ajon./vrk}$ ja tie olisi luokaltaan alhaisempi (paikallistie), olisi sille sallittu routanousu menetelmäkuvauksen TPPT 18 "Tierakenteen routamitoitus" mukaan 100 mm F_{10} :llä. Oletetaan, että liikennesuunnan mukainen päällystystiheys olisi kerran 10 vuodessa.

Routamitoituksen mukaan saataisiin tarvittavaksi rakennepaksuudeksi Porissa 900 mm. Valitaan siis edellisen esimerkin mukainen rakennepaksuus $H=900 \text{ mm}$, jonka oletetaan riittäväksi myös rakenteellisen mitoituksen kannalta.

Liitteen 3 käyrästä saadaan ko. rakenteelle 50 mm ylittävien routanousujen määräksi 17 kpl tarkastelujaksolla ($T=40 \text{ v}$), eli lähes joka toinen vuosi. Routanousua 150 mm ei todennäköisesti ylitetäisi, mutta routanousu olisi 4 kertaa välillä 100..150 mm ja 13 kertaa (=17- 4) välillä 50...100 mm.

Liikenteen aiheuttamia päällystyskertoja olisi rakentamisen jälkeen yhteensä 4 kpl vuosina 10, 20, 30 ja 40. Routanousun aiheuttamia korjaustoimenpiteitä olisi 17 ker-

taa, mikäli toimenpiderajana pidetään $40 \text{ m}^2/100 \text{ m}$ ja 4 kertaa, jos toimenpiderajaksi valitaan $80 \text{ m}^2/100 \text{ m}$.

Remixerin keskimääräinen nykyarvohinta on $68\,000 \text{ mk/km}$ (ks. esim. 1). Mikäli rakennepaksuutta lisätään 100 mm , aiheutuu siitä noin $30\,000 \text{ mk/km}$ lisäys tien rakentamiskustannukseen ($B=11 \text{ m}$, suodatinhiekkä 20 mk/m^3). Paksuudeltaan 1300 mm rakenne ei vaatisi uudelleenpäällystyskertoja liikenteen aiheuttamaa tarvetta enempää (4 kpl). Rakenteen paksuntaminen 900 mm :stä 1300 mm :iin aiheuttaisi noin $4 \cdot 30\,000 \text{ mk} = 120\,000 \text{ mk}$ lisäyksen rakentamiskustannuksiin, mutta toisaalta $13 \cdot 68\,000 = 884\,000 \text{ mk}$ vähennyksen kunnossapitokustannuksiin (nykyarvo), eli noin $664\,000 \text{ mk}$ säästön.

Esimerkki 3.

Joensuu, paikallistie, $SP=15 \text{ mm}^2/\text{Kh}$, F_{10} , $h=100 \text{ mm}$

Mikäli esimerkin 2 kohde olisi Joensuussa ja pohjamaan $SP = 15 \text{ mm}^2/\text{Kh}$, vaatisi routamitoitus ($h_{\text{sall}}=100 \text{ mm}$, paikallistie) rakennepaksuudeksi ($F_{10}=41\,000 \text{ Kh}$) 1700 mm . Tällä rakenteella ylittäisiin 40 vuoden tarkastelujaksolla 50 mm routanousu 10 kertaa, 100 mm routanousu 5 kertaa ja 150 mm routanousu 2 kertaa (liite 4). Routanousu olisi täten välillä $100\text{--}150 \text{ mm}$ 3 kertaa ($=5-2$) ja välillä $50\text{--}100 \text{ mm}$ 5 kertaa ($=10-5$).

Mikäli rakenteeksi valitaankin 1900 mm rakenne, ylittyisi 50 mm routanousu 3 kertaa, 100 mm routanousu 2 kertaa ja 150 mm routanousu ei ylittyisi kertaakaan. Tämä rakenne ei vaatisi lisäkunnostustarpeita routanoususta johtuen, vaan liikennesäätönsä aiheuttama 4 päällystystä riittäisi. Kustannussäästö 200 mm rakenteen paksuntamisesta olisi suuruusluokkaa $6 \cdot 68\,000 - 2 \cdot 35\,000 = 338\,000 \text{ mk/km}$ (nykyarvo).

HUOMAUTUS

EM. KUSTANNUSTARKASTELUT ON TEHTY YKSINKERTAISTAEN KÄYTTÄMÄLLÄ KESKIMÄÄRÄISTÄ DISKONTTAUSTEKIJÄÄ PUOLESSA VÄLISSÄ TARKASTELUJAKSOA (20 V).

KÄYTTÄJIEN LISÄKUSTANNUKSIA EI OLE HUOMIOITU.

REMIXER-MENETELMÄN KÄYTTÖ ROUDAN AIHEUTTAMIEN HALKEAMIEN KORJAUKSEEN EI LIENE KÄYTTÖKELPOINEN; KORJAUSTOIMENPITEENÄ VARSINAISTA UUELLEENPÄÄLLYSTYSTÄ KÄYTETTÄESSÄ ”KUSTANNUSSÄÄSTÖT” RAKENTEEN PAKSUNTAMISESTA OLISIVAT SITEN VIELÄKIN SUUREMPIA.

8 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tien elinkaaritarkasteluissa otetaan huomioon sekä rakentamis- että kunnossapitokustannukset tietyn tarkastelujakson aikana (Menetelmäkuvaus TPPT 20 Päälysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi /6/). Routanousun aiheuttamia kustannuksia voidaan tarkastella, kun tunnetaan routanousun ja vauriosumman välinen yhteys. Pohjamaan routimiskertoimen ja kohteen pakkasmäärätilastojen perusteella voidaan tietyn rakennepaksumuden omaavan tien routanousujen toistuvuus määrittää. Tässä raportissa on routanousut jaettu neljään luokkaan ja oletettu vaurioinventointeihin perustuen suoraviivainen yhteys tien keskilinjän routanousun ja vauriosumman välille. Kunnostustoimenpiteen laukaisevana tekijänä pidetään tien liikennemäärän perusteella määräytyvää vauriosumman toimenpiderajaa.

VTT:n tutkimusprojektissa routavaurioiden kartoituksessa on kaikki silmin havaittavat halkeamat kirjattu, kun taas Tielaitoksen vauriosumman laskentakäytännössä alle 5 mm halkeamia ei huomioida. Tielaitoksen vauriosumman laskennassa ovat pituus- ja saumahalkeamien painokertoimet lisäksi varsin pieniä etenkin 5..20 mm halkeamille. Vauriokartoituskäytännön eroavuuksista ja vauriosumman laskentaperusteista johtuen on tässä raportissa esitetty routanousun ja vauriosumman välille kaksi toisistaan huomattavasti eroavaa yhteyttä. Tielaitoksen mukaisilla vauriosummilla (luku 5.2) ei routanoususta tielle näyttäisi aiheutuvan juuri koskaan korjaustarvetta, vaikka mitoitusroutanousuna käytettäisiin 150 mm. Luvun 5.1 mukainen routanousun ja vauriosumman välinen yhteys johtaisi korjaustarpeeseen huomattavasti useammin ja sillä näyttäisi olevan jonkinlainen yhteys TPPT:n mitoitusroutanoususuosituksiin eri tie-luokissa.

Tässä esitetyn vaurioriskiselvityksen mukaan ei samaa mitoitusroutanousua käyttäen päästä samaan päällysteen kestoikään erilaisissa pohjamaa- ja ilmasto-olosuhteissa, vaan

- samalla mitoitusroutanousulla mitoitettun tien vaurioriski on huomattavasti suurempi lievästi routivalla pohjamaalla kuin voimakkaasti routivalla.
- Pohjois-Suomessa tulisi käyttää pienempää mitoitusroutanousua kuin Etelä-Suomessa.

Tien vaurioitumisnopeus erilaisissa pohjamaa- ja ilmasto-olosuhteissa voidaan periaatteessa määrittää mitoitusroutanousun ja –pakkasmäärän perusteella. Routanousun aiheuttama vaurioituminen ei käytännössä kuitenkaan noudata vakionopeutta tarkastelujaksolla, vaan vauriot syntyvät yksittäisen, kylmän talven aiheuttamina. Routanousun vaikutus tien vaurioitumiseen ei myöskään todennäköisesti ole suoraan kumuloituva, vaan suurimmat vaurioitumisnopeudet havaitaan yleensä tarkastelujakson alussa. Ensimmäisen vaurioita aiheuttavan talven jälkeen vaurioitumisnopeus hidastuu huomattavasti. Tiettyyn vauriomäärän (ja mahdollisesti toimenpiderajaan) johtavien talvien toistuvuuden selvittämien elinkaaritarkasteluissa olisikin suositeltavampaa, kuin vaurioitumisnopeuden käyttäminen.

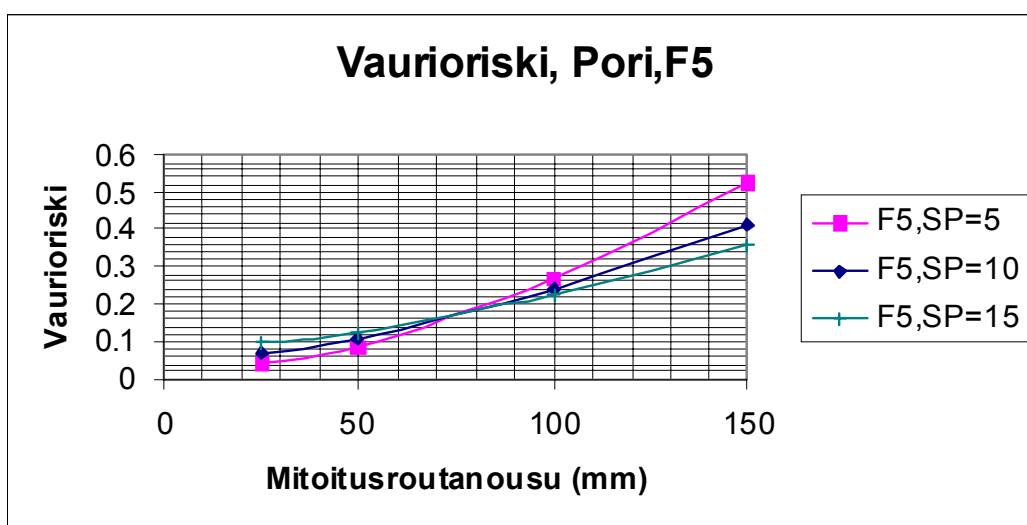
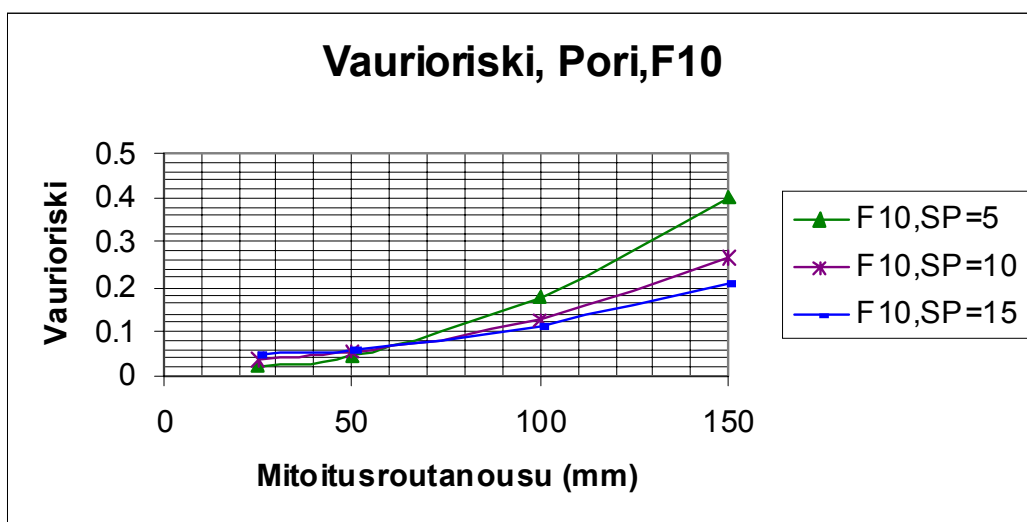
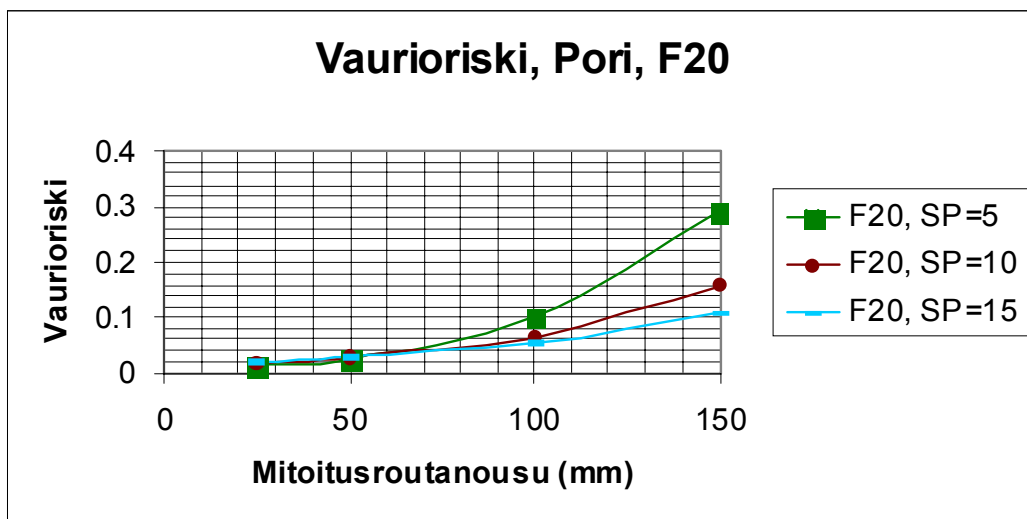
Kylmien talvien ja siten vaurioita aiheuttavien routanousujen toistuvuus ei tapahdu tasaisin välein. Etelä-Suomessa on pakkasmäärä viimeksi ylittänyt keskimäärin kerran 5 vuodessa toistuvan arvon (F_5) vuonna 1987. Tästä johtuen mm. kuntorekisteristä

viime vuosien keskimääräisiä vaurioitumisnopeuksia tarkasteltaessa saatetaan päätyä harhaan johtaviin arvoihin routanousun vaikutuksista vaurioitumiseen.

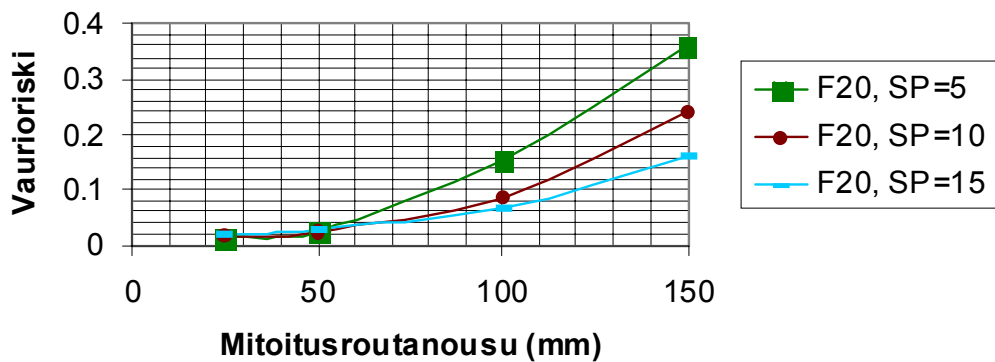
9 Kirjallisuus

1. Saarelainen S. 2001. Katujen routasuojaus. Yhteenveto koerakentamisesta. Ympäristöministeriö, Infrakluster-ohjelma, www-sivut (sähkö. julk.).
2. Joensuun Karsikon ja Opotan katujen routavauriotutkimukset 1982-84. VTT Geotekniikan laboratorio, Tie- ja liikennelaboratorio, raportit (ei julk.).
3. Kallio V., Pyöräteiden routavauriotutkimus. Tielaitos, tie- ja liikennetekniikka. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 10/2000. 2000
4. Routimiskertoimen määrittäminen. Menetelmäkuvaus TPPT 7. 2001
5. Tierakenteen routamitoitus. Menetelmäkuvaus TPPT 18. 2001
6. Päälysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi. Menetelmäkuvaus TPPT 20. 2001
7. Kuormituskestävyysmitoitus. Päälysrakenteen väsyminen. Menetelmäkuvaus TPPT 17. 2001
8. Ilmastorasitus. Pakkasmäärän ja sulamiskauden pituuden määrittäminen. Menetelmäkuvaus TPPT 4. 2001

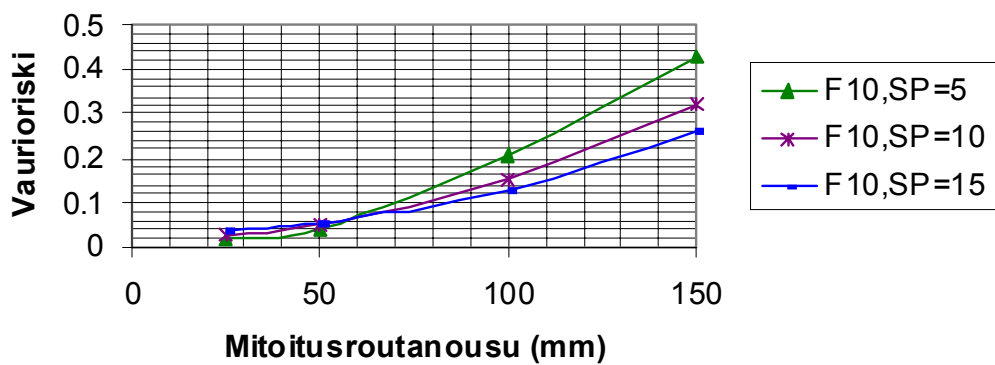
Liite 1



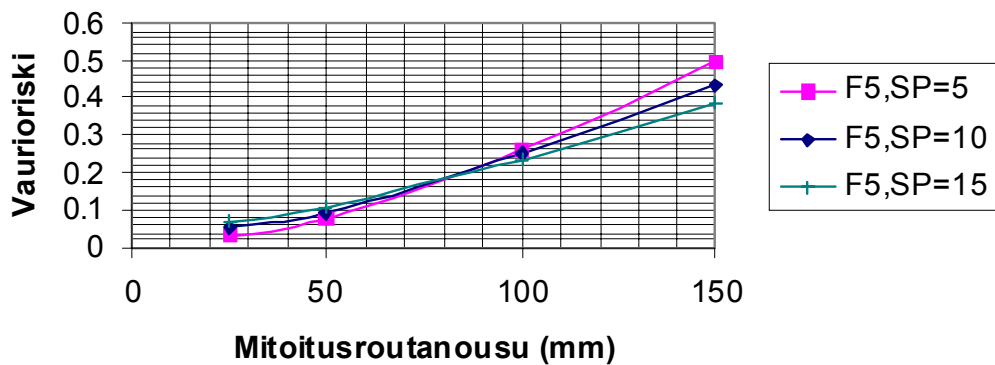
Vaurioriski, Sodankylä, F20



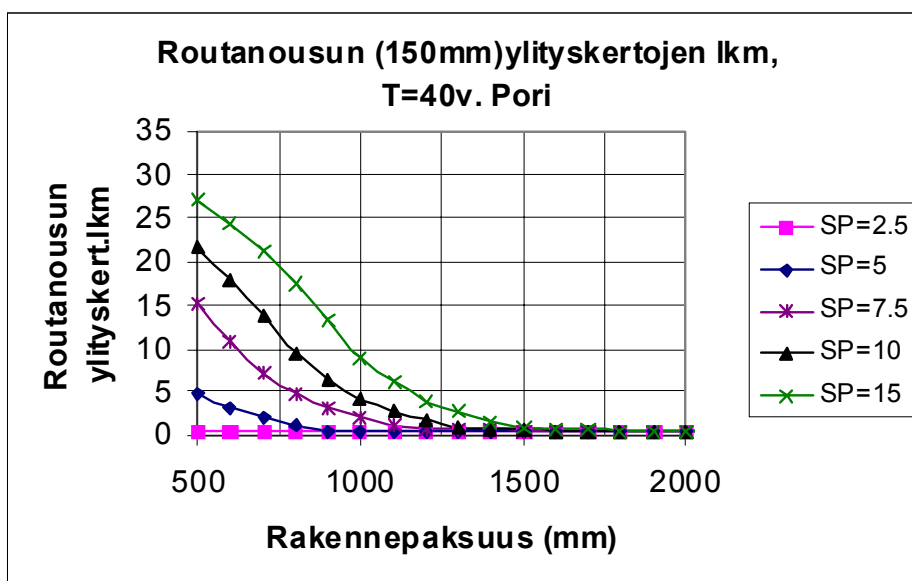
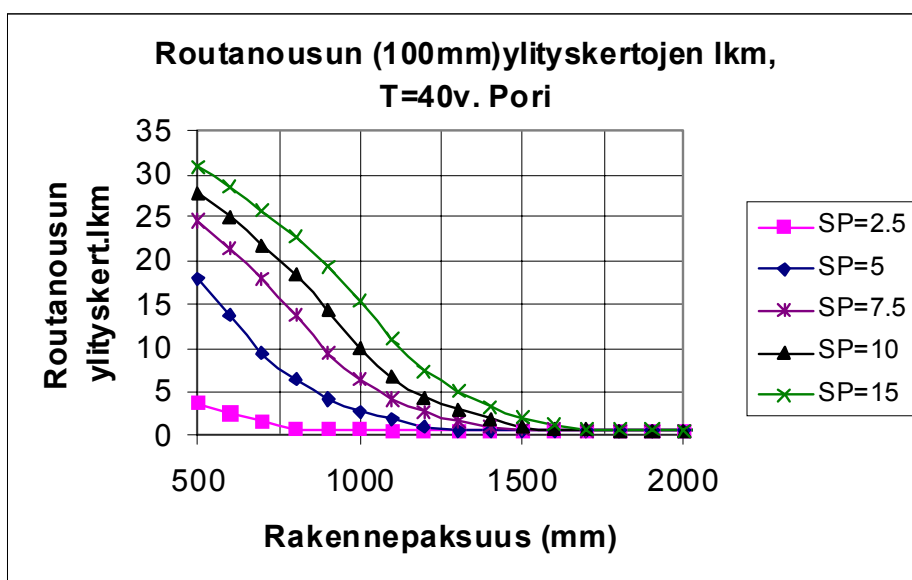
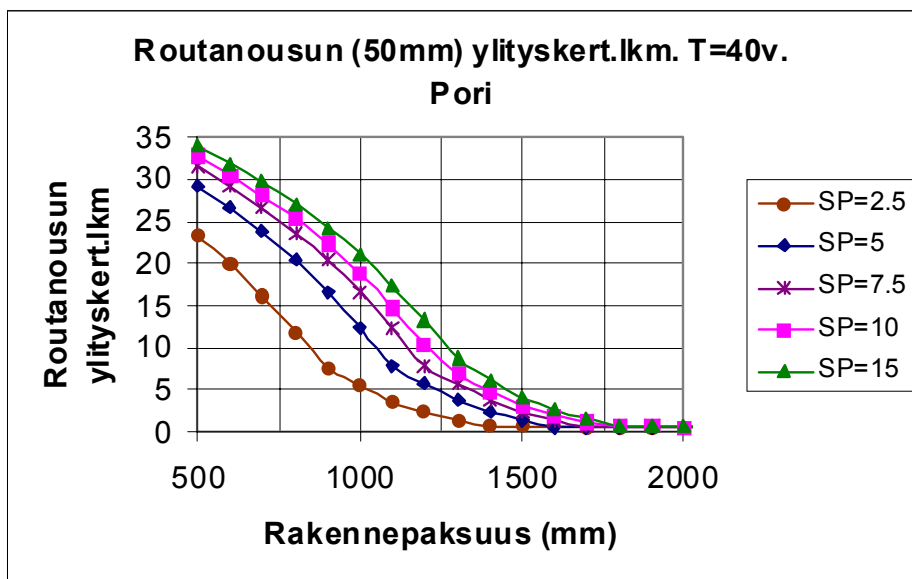
Vaurioriski, Sodankylä, F10



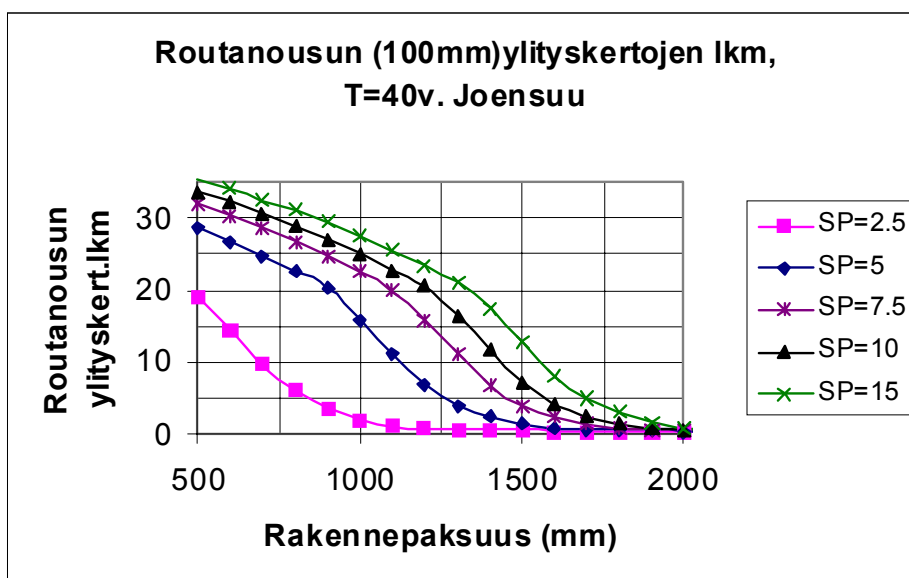
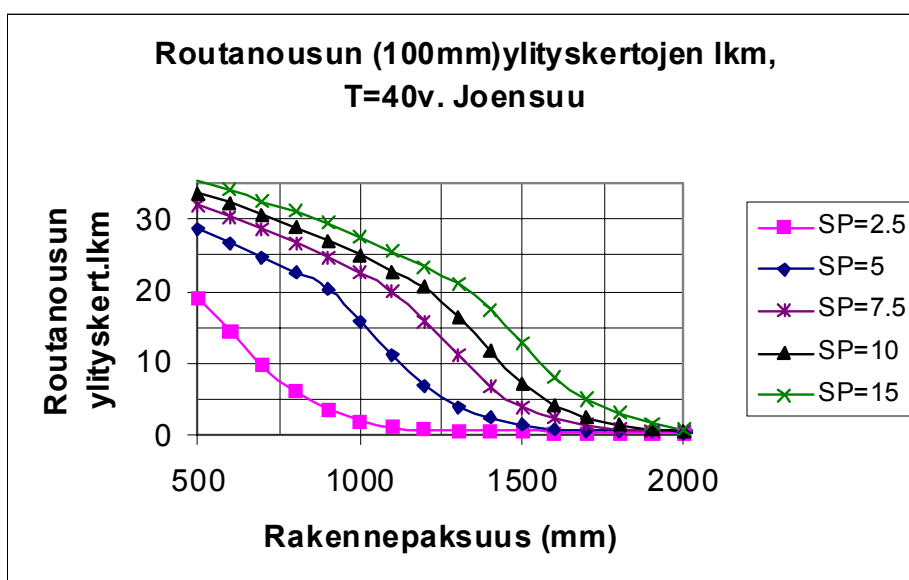
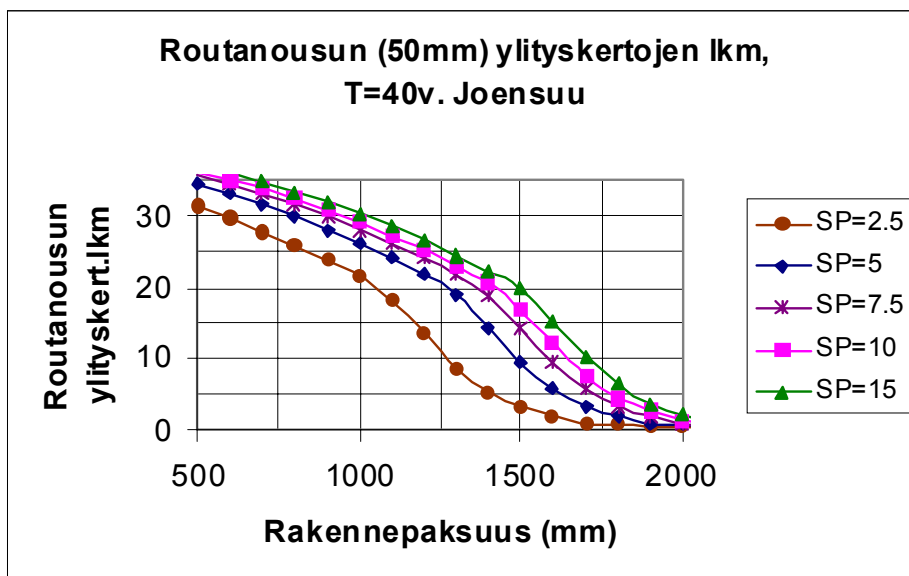
Vaurioriski, Sodankylä, F5

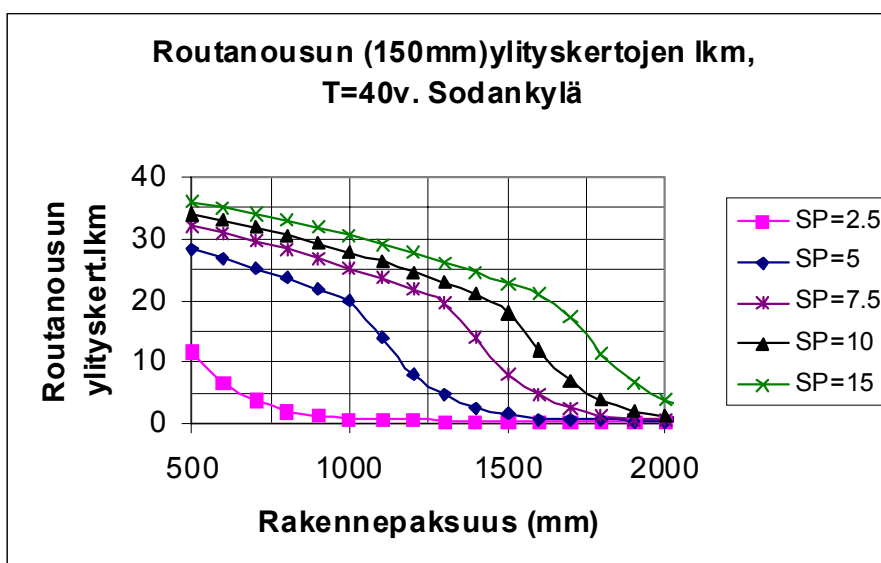
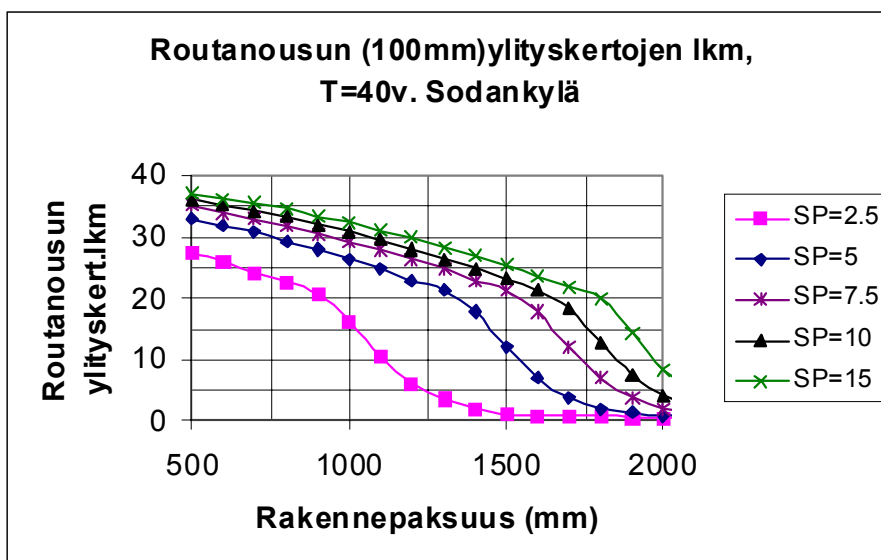
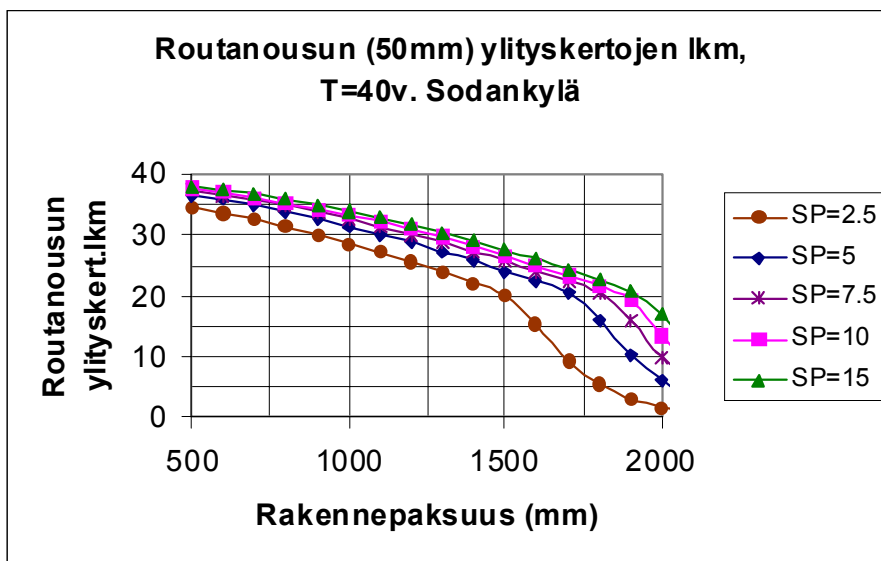


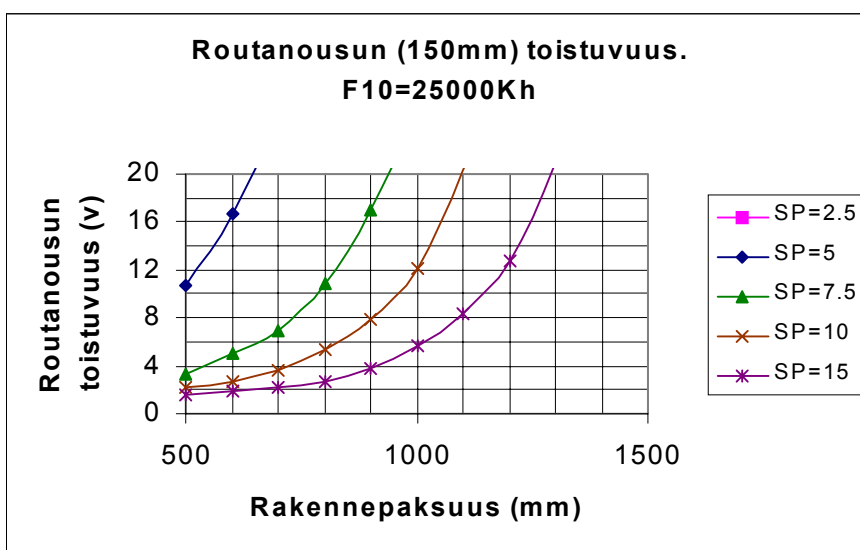
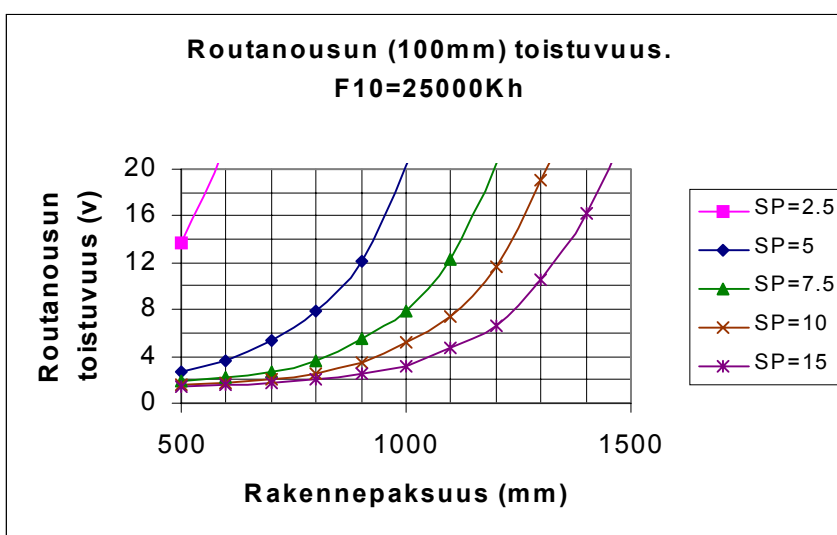
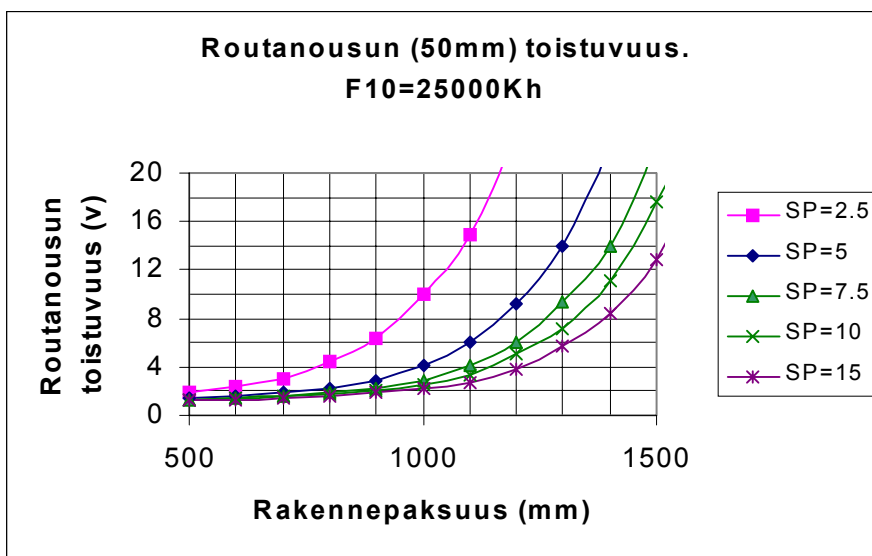
Liite 3



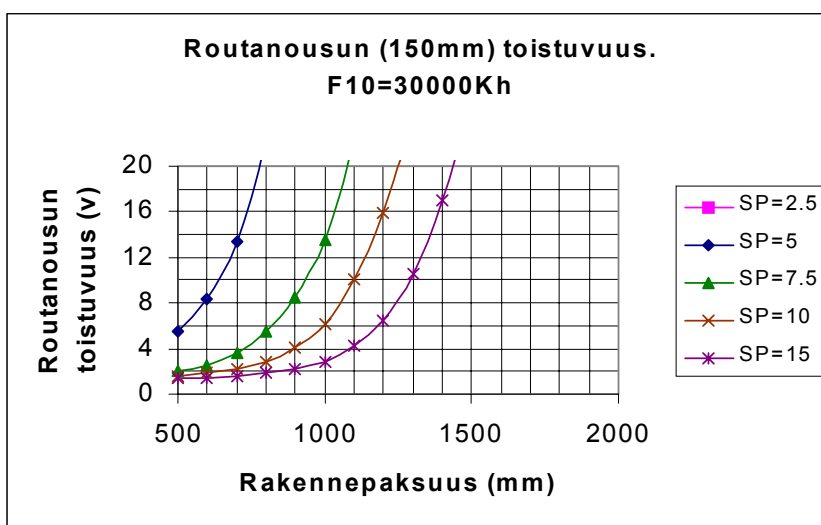
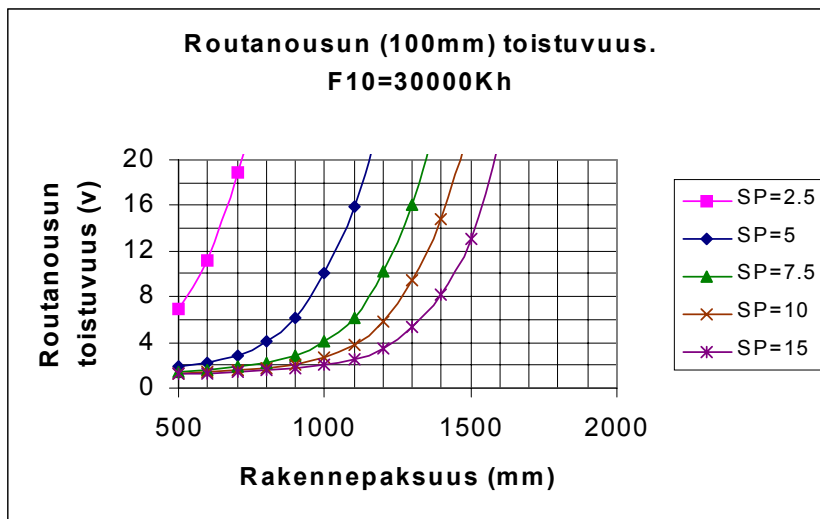
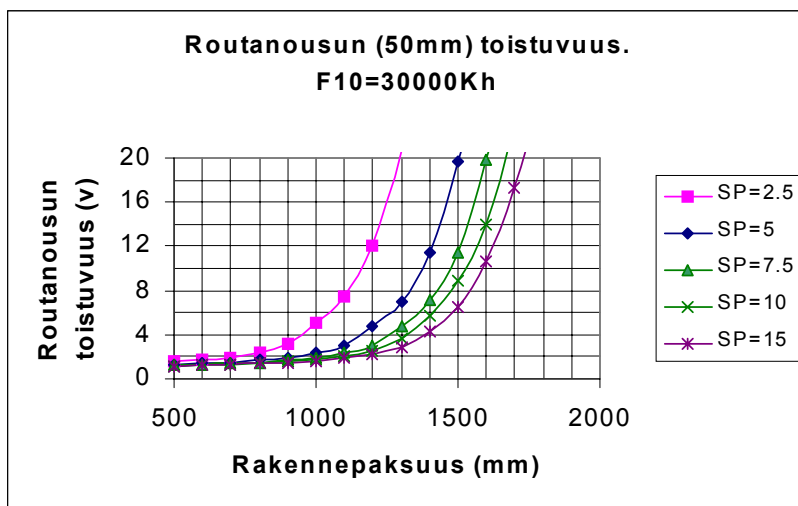
Liite 4



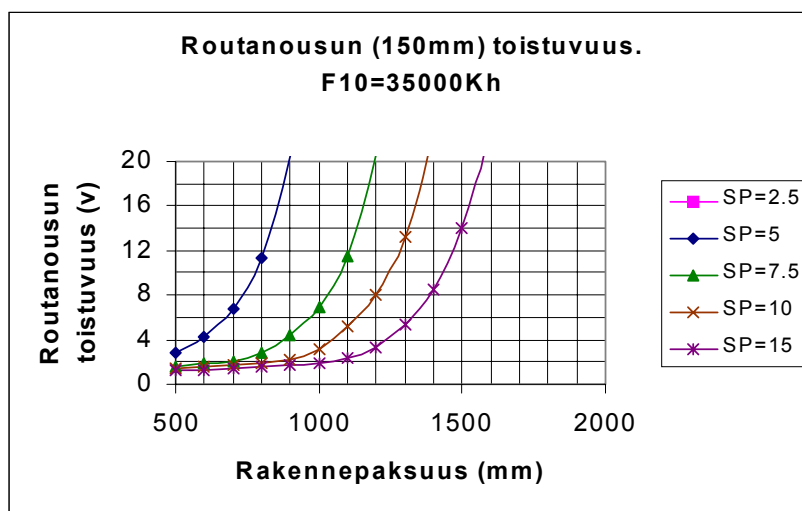
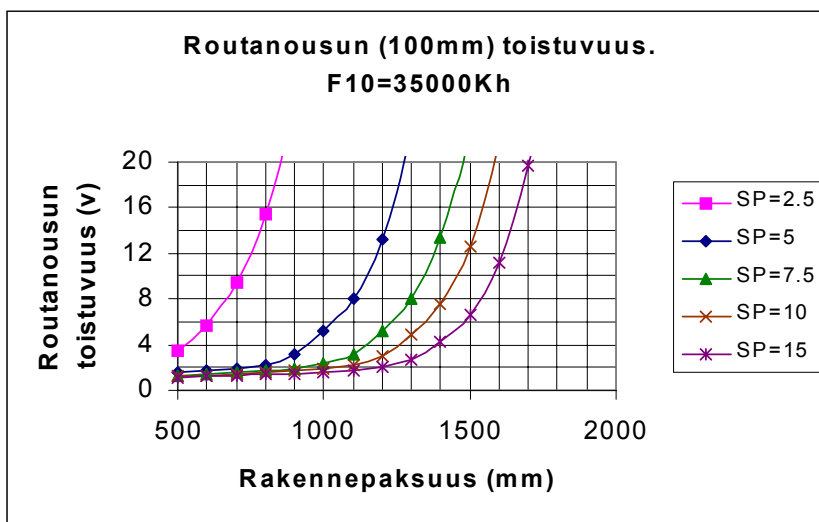
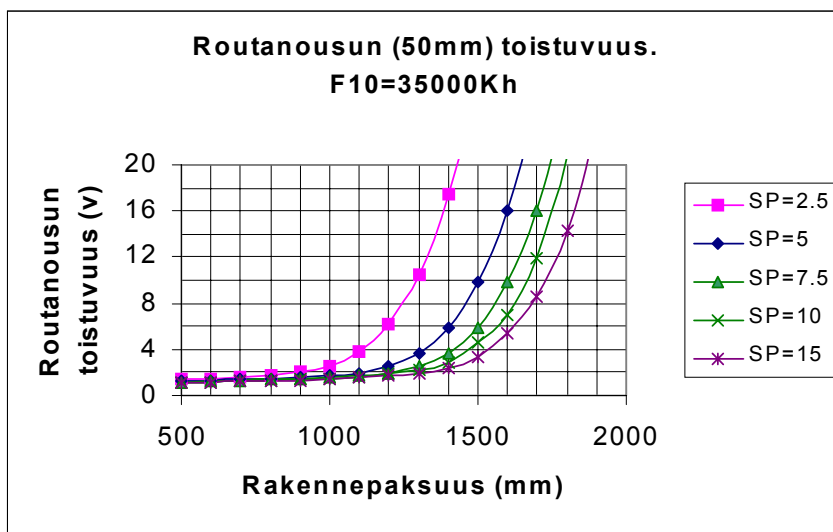




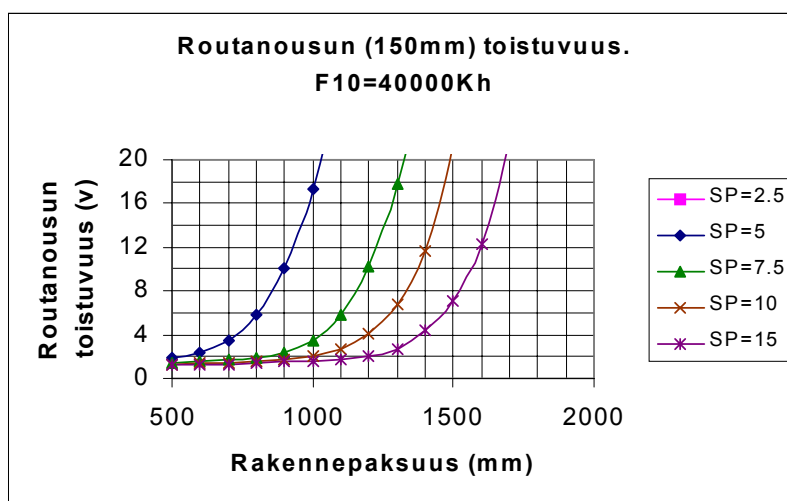
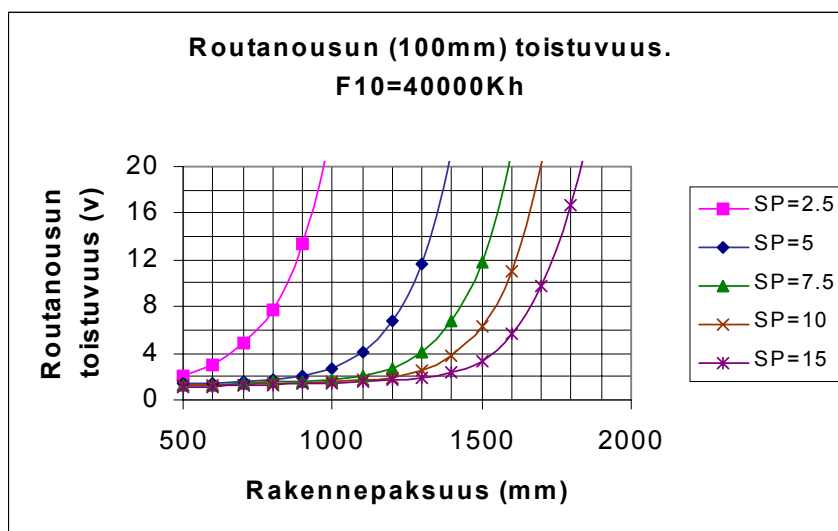
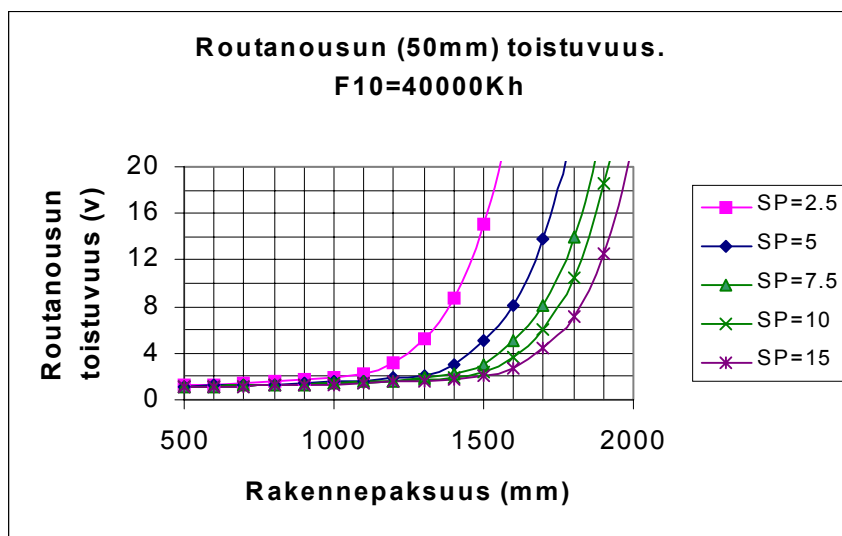
Liite 7



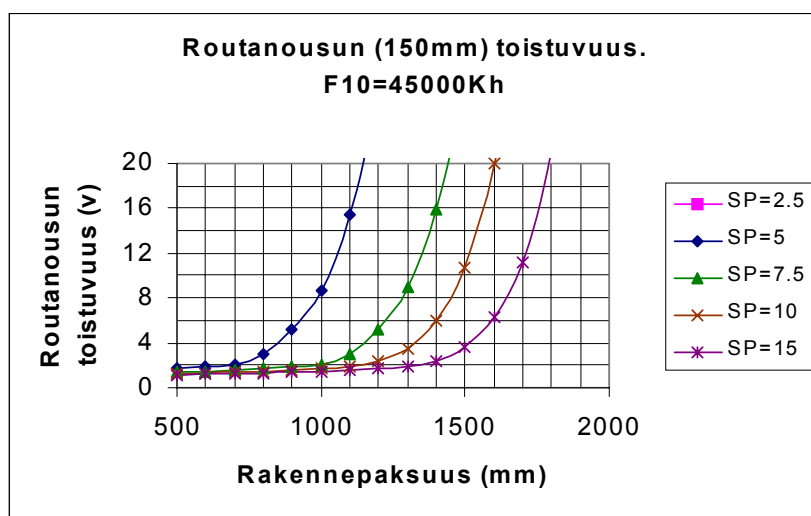
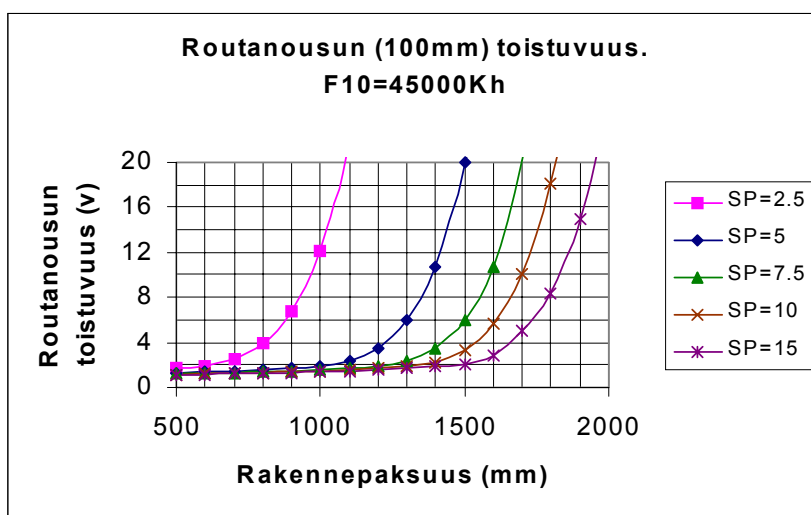
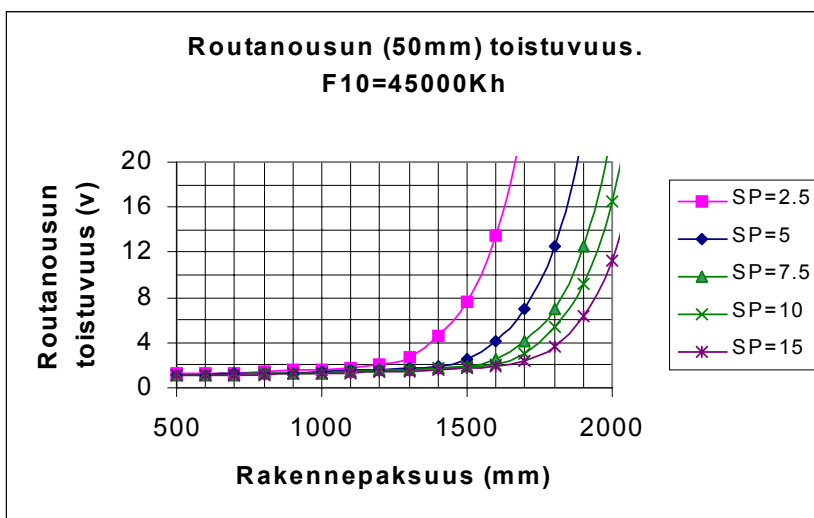
Liite 8

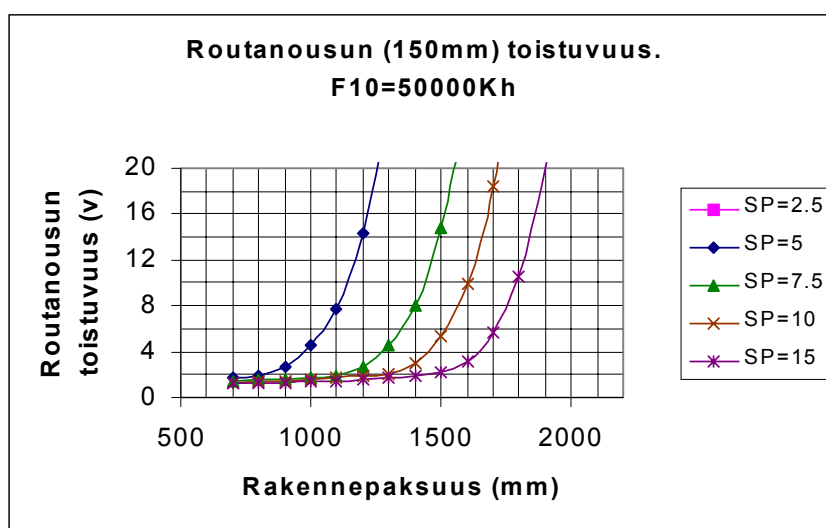
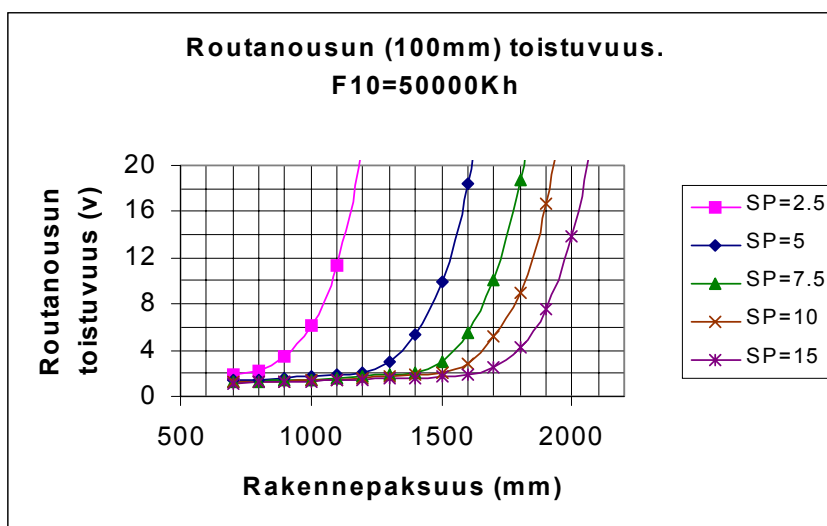
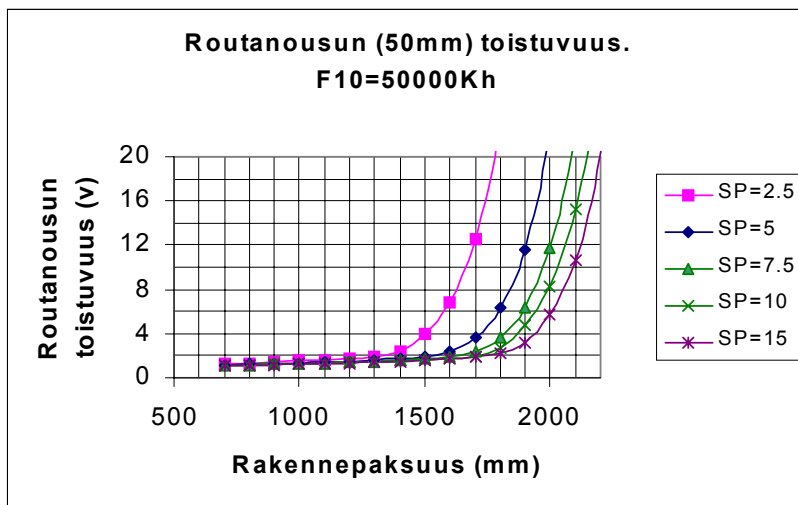


Liite 9



Liite 10





Liite 12

